

КОЛИВАЛЬНИЙ ХАРАКТЕР БІЛКІВ ТЕПЛОВОГО ТА ХОЛОДОВОГО ШОКУ СОРТІВ ВІВСА ПОСІВНОГО В УМОВАХ СТРЕСОВИХ ЧИННИКІВ СЕРЕДОВИЩА

Н.Г. НЕСТЕРОВА,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна,*

ORCID 0000-0001-8366-2621

Ю.В. РУБАН,

*Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
м. Чорнобиль, Україна,*

ORCID 0000-0002-1767-3688

О.Ю. ПАРЕНЮК,

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ,*

*Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
м. Чорнобиль,*

ORCID 0000-0002-9057-8441

К.Є. ШАВАНОВА,

*АТ «Kernel-group», м. Київ, Україна,
ORCID 0000-0002-6798-3123, koriza@ukr.net*

С.П. ЛІКАР,

*старший науковий співробітник сектору методичного забезпечення
відділу експертизи на відмінність, однорідність та стабільність сортів
рослин,*

Український інститут експертизи сортів рослин

Анотація. У статті наведено результати досліджень експресивності генетичних систем адаптації сортів вівса посівного різного еколого-географічного походження та цільового призначення до низьких та високих температур. Виділено специфічні білки холодового та теплового шоку, встановлено значну активність ферменту пероксидази у сортів Айворі та Нептун, що характери-

зує їхню підвищену стійкість до холодового окисного стресу. Виявлено, що сорти Айворі, Аркан та Нептун є стійкими до високотемпературного та водного стресу, що зумовлено вищим вмістом білків теплового шоку з молекулярною масою 80, 70 та 60 кДа. У сорту Гессер знизився вміст високомолекулярних білків (250 кДа) та білків з молекулярною масою 110, 100, 80 і 70 кДа, що дає можливість віднести даний сорт до низькостійких сортів.

Встановлено вищу активність пероксидази у сортів Айворі, Аркан та Нептун, що характеризує їхню підвищену стійкість до окисного стресу зимового та літнього періодів і показано, що сорти Айворі та Нептун володіють високою експресивністю білків і є високиморозо- та посухостійкими, Аркан та Артур – середньо морозо- та посухостійкими, а сорт Гессер володіє низькою стійкістю до стресових умов середовища, що дещо обмежує його використання на території України. Досліджено, що найбільшою пероксидазною активністю в оптимальних умовах вирощування та за дії водного та високотемпературного стресів володіють сорти Айворі зернового призначення та Нептун – фуражно-го призначення, що дає підстави рекомендувати ці сорти до вирощування у зоні Лісостепу та Степу України.

Ключові слова. Овес посівний, сорти, пероксидаза, ІФХ, пролін, морозостійкість, посухостійкість.

Вступ.

Стреси зимового та літнього періодів призводять до різкого зниження продуктивності, а часто і загибель рослин вівса. За дії стресових чинників інтенсивні сорти можуть реалізувати лише 15-30% потенційної продуктивності (Ненко та ін., 2018).

Умови ґрунтово-кліматичних зон Лісостепу і Степу України сприяють отриманню високих урожаїв вівса посівного, що здатні витримувати конкуренцію на міжнародному ринку (Жученко, 2001). Водночас, отримання стабільно високих урожаїв суттєво обмежується впливом несприятливих чинників зовнішнього середовища – зимових морозів, особливо після тривалої теплої погоди, та літньої посухи (Ван та ін., 2008). Тому тільки ті сорти, у яких наявна висока якість із адаптованістю до умов даного регіону

зростання, можуть успішно оброблятися без втрати врожайності (Хі, 2014).

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває не тільки питання виділення перспективних генотипів, але й визначення експресивності генетичних систем, тобто здатності реалізувати потенційні можливості генотипу у визначених умовах середовища (Сарахан, 2011). Основною метою досліджень було вивчення експресивності генетичних систем адаптації досліджуваних сортів вівса посівного до низьких температур у стані спокою та високим температурам літнього періоду на прикладі білків, які мають пероксидазну активність. Для досягнення поставленої мети було виділено також завдання щодо визначення вмісту білків холодового та теплового стресів, активності функціонування антиоксидантної системи сортів вівса посівного,

що різняться за ступенем стійкості до низьких та високих температур.

Матеріал і методи дослідження.

Об'єктами досліджень стали сорти вівса посівного зернового (високо – Айворі та середньостійкі – Аркан та Артур) та фуражного призначення (високо – Нептун та низькостійкий – Гесер). Місце проведення досліджень – технічна колекція злакових посівів Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, м. Київ. Лабораторні дослідження проведено на базі лабораторії відділу фізіології дії гербіцидів ІФРГ НАН України та лабораторії кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУ-БіП України. Вміст білків визначали спектральним методом на спектрофотометрі UNICO 2800, активність пероксидази – спектральним методом, вміст проліну – за методикою Мокроносова, білкові спектри – методом електрофорезу у ПАГ (Ненько та ін., 2017). Визначення індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) проводили за допомогою хронофлуорометра "Флоратест", розробленого Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Дослідження проводили у польових умовах та під час моделювання стресу (штучне зневоднення; температури -25°C та $+55^{\circ}\text{C}$). Експериментальні дані обробляли за допомогою загальноприйнятих методів варіаційної статистики. Аналізований період 2017-2020 рр..

Результати дослідження та їхнє обговорення.

Гідротермічні умови Лісостепової та Степової зони України за

2017-2020 рр. показали суттєве підвищення максимальних та мінімальних температур у грудні та січні. Так, у грудні максимальна температура повітря підвищувалася з $8-10^{\circ}\text{C}$ до 16°C , а мінімальна – з $-14...-12^{\circ}\text{C}$ до $-2...0^{\circ}\text{C}$. У січні 2020 року – мінімальна температура повітря підвищувалася від $-18...-16^{\circ}\text{C}$ до -8°C , а максимальна за аналізований період становила стабільно 12°C . Відомо, що аналіз фракційного складу білкового комплексу з пероксидазною активністю у досліджуваних сортів злакових та плодових культур показав вміст широкого спектру білків з молекулярною масою 140, 130, 120, 100, 90, 80, 70, 65, 55, 50 і 40 кДа [5]. Так, сорти Айворі (володар – Заатен-Уніон ГмбХ) та Нептун (володар – Чернігівський інститут агропромислового виробництва УААН) відрізнялися від інших досліджуваних сортів наявністю білка з молекулярною масою 60 кДа і великим вмістом білків з молекулярною масою 100, 80, 50 і 40 кДа, що, вірогідно, пов'язано з їхнім еколого-географічним походженням та високою адаптацією до гідротермічних умов. Сорт Аркан на відміну від інших досліджуваних сортів містив білок з молекулярною масою 140 кДа, а сорт Артур – білок з молекулярною масою 110 кДа. На відміну від інших сорт Гесер містив білки з молекулярною масою 65 кДа та 70 кДа, що підтверджує експресивність генетичних систем.

Одним з показників, що характеризують рівень окиснювального стресу у рослині, служить активність роботи фотосинтетичної системи, до якої відноситься флуоресценція хлорофілу та активність первинного антиоксидантного ферменту – пероксидази. Пероксидазна активність у досліджуваних сортів коливається

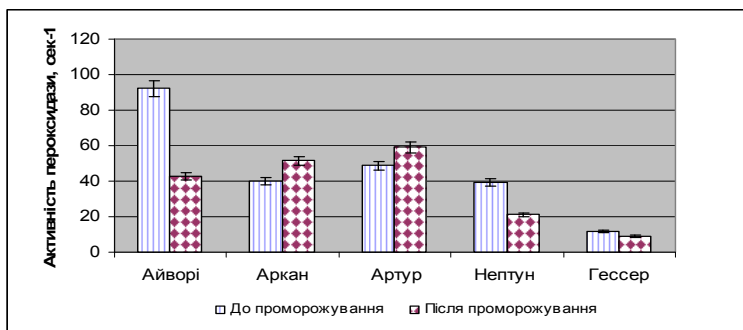


Рис. 1 Активність пероксидази сортів вівса до та після проморожування проростків, 2019 р.

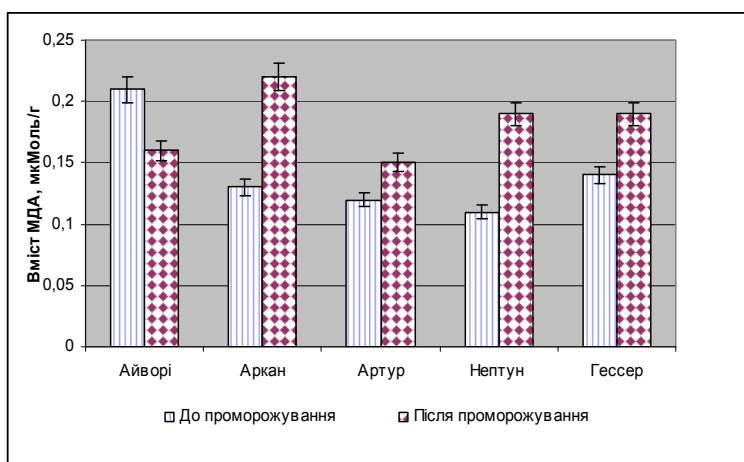


Рис. 2 Уміст малонового діальдегіду в сортів вівса до та після проморожування проростків, 2019 р.

ся від 11,78 сек-1 у сорту Гесер до 92,14 сек-1 у сорту Айворі. Значні відмінності сортів за показником пероксидазної активності, насамперед характеризують специфіку зимостійкості сортів і можуть бути пов'язані із відмінностями у спектрах білків, які володіють власне пероксидазною активністю (рис. 1).

Після проморожування проростків вівса у модельному досліді пероксидазна активність більшості

сортів зменшується, а у сортів Аркан та Артур – дещо знижується; вміст малонового діальдегіду у всіх сортів достовірно підвищується, а у сорту Айворі – знижується, що пояснюється його еколого-географічним походженням (рис. 2).

Під час проморожування проростків вівса у лабораторного досліді встановлено, що у більшості досліджуваних сортів зникають високомолекулярні білки з молекулярною

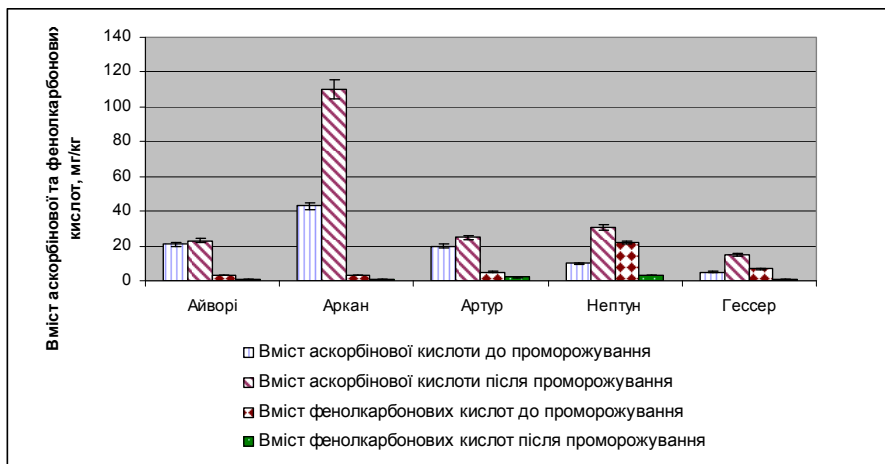


Рис. 3 Уміст аскорбінової та фенол карбонових кислот у проростках вівса до та після проморожування, 2019 р.

масою 140, 130, 120 кДа та низькомолекулярні фракції з молекулярною масою 55, 50 і 40 кДа, водночас з'являються фракції з молекулярною масою 110 кДа (сорт Айворі), 85 кДа – у всіх сортів, 80 кДа (у всіх сортів, окрім Гессер), 65 і 60 кДа у сортів Айворі і Нептун, що може бути пов'язане із дещо спільним походженням цих двох сортів та їх високою стійкістю до посухи. Таким чином, можна зробити висновок про те, що у всіх досліджуваних сортів за дії низьких температур білки холодового стресу мають молекулярну масу 85, 80 і 65 кДа., а у сортів Айворі та Нептун – додатково молекулярну масу 60 кДа. Значна активність пероксидази у проростках вівса сортів Айворі, Аркан та Нептун характеризує підвищену стійкість їх до окисного стресу і узгоджується з вищим вмістом аскорбінової кислоти у сортів Аркан та Нептун та фенолкарбонових кислот – у сорту Нептун (рис. 3).

На території зони Лісостепу та Степу, де знаходяться польові ділян-

ки дослідних культур, липень та серпень 2018-2020 рр. були жаркими та посушливими. Температура повітря досягала 33 та 37 °С, опади склали відповідно 6 та 2 см. Максимальна температура літа 2020 року перевищила максимальну температуру літа 2019 року на 4-7 °С, а мінімальна – на 3-5 °С. Особливо екстремальним, у зв'язку з повною відсутністю опадів був серпень 2019 року

Аналіз електрофоретичних спектрів водосолерозчинних білків, що проявляють пероксидазну активність, дає можливість охарактеризувати експресивність генетичних систем досліджуваних сортів вівса у комплексі з цілою низкою фізіолого-біохімічних критеріїв та оцінити потенційну стійкість рослин до спеки та посухи. Електрофоретичний спектр білків з пероксидазною активністю у рослин вівса представлений білками з молекулярною масою 250, 120, 110, 100, 85, 70, 60 кДа. На відміну від Айворі в сорті Аркан містилося більше білків з молекулярною ма-

сою 110, 100, 85 кДа, а в сорті Нептун – з молекулярною масою 100, 85, 70 та 60 кДа. Сорт Гессер відрізнявся від інших досліджених сортів великим вмістом високомолекулярних білків з молекулярною масою 250, 120 та 110 кДа. Визначення активності ферменту пероксидази у серпні 2020 року дало змогу встановити, що серед досліджуваних сортів вищою пероксидажною активністю у звичайних умовах і за дії водного стресу виділявся сорт Айворі, а за сумісної дії водного і високотемпературного стресу – 2 сорти – Айворі та Нептун (рис. 4).

За дії високотемпературного стресу у модельному досліді у сортів Аркан та Артур збільшився вміст білків з низькою молекулярною масою: 100, 80, 70, 60 кДа у сорти Аркан та 110, 80, 70 кДа у Артур. У сортів Айворі та Нептун підвищився вміст білків з молекулярною масою 70 і 60 кДа. Лише у сорту Гессер знизився вміст високомолекулярних білків (250 кДа) та білків з молекулярною масою 110, 100, 80 і 70 кДа. Результати досліджень свідчать про те, що сорти

Айворі, Нептун та Аркан є стійкими до високотемпературного та водного стресів, що зумовлено вищим вмістом білків теплового шоку з молекулярною масою 80, 70 та 60 кДа.

Визначення індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) "а" в асимілюючих тканинах рослин дає можливість оцінити активність роботи власне фотосистеми II, яка є найчутливішою до чинників зовнішнього середовища (Нестерова та ін., 2019). Таку інформацію доцільно використовувати для оцінки стійкості рослин, оскільки ІФХ дає первинні дані щодо функціонування фотосинтетичного апарату та можливі відхилення у разі стресової дії (Ільєнко, 2017). Так, у сортів Айворі, Аркан та Нептун підвищення температури до + 30 °С викликало достовірне збільшення кривої ІФХ порівняно із контролем (у якості контролю було обрано $t = + 25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для сортів Артур та Гессер подібне підвищення було незначним. Подальше підвищення температури до + 40 °С в усіх досліджених сортах не призводило до появи піків ІФХ, що пов'язано

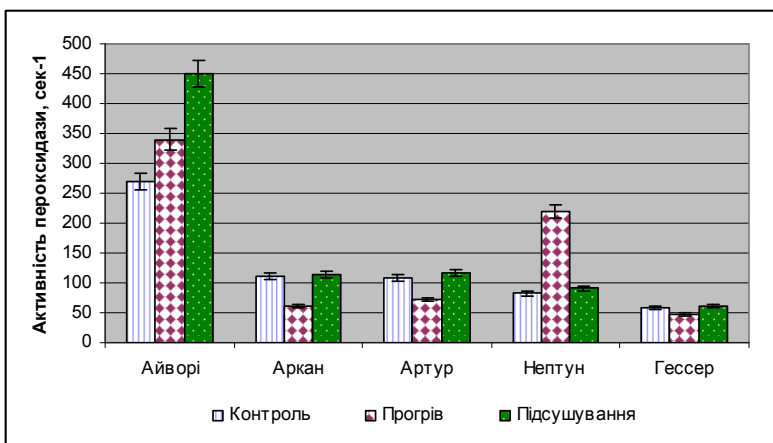


Рис. 4 Активність пероксидази у сортах вівса за дії водного та високотемпературного стресів, 2020 р.

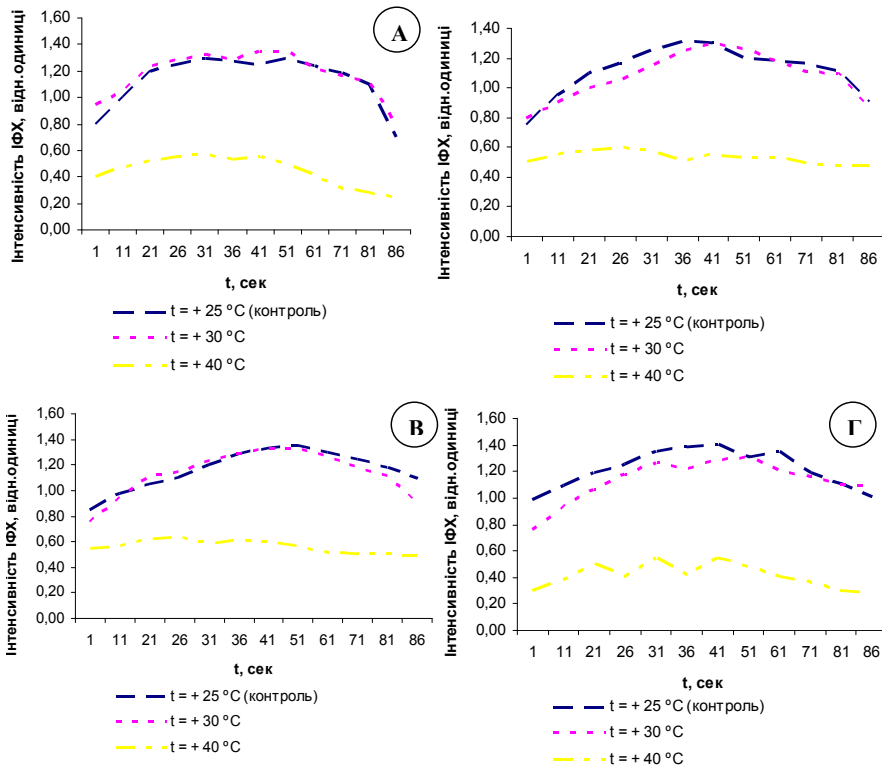


Рис. 5 ІФХ листків сортів вівса А – Айворі; Б – Аркан; В – Нептун; Г – Гессер, 2020 р.

із негативним впливом високих температур на електрон-транспортний ланцюг фотосинтетичної системи. Водночас, у сортів Айворі та Нептун динаміка кривої ІФХ була стабільнішою та швидше виходила на плато, що свідчить про вищу потенційну стійкість до посухи та водного дефіциту зазначених сортів (рис. 5).

У процесі вегетації вміст зв'язаних форм води в листках досліджуваних сортів достовірно знижувався. Значний вплив на вміст зв'язаної води має осмопротектор пролін (амінокислота) – продукт гідролізу білків. У разі випадіння опадів вміст проліну у листках знижувався, а в разі поси-

лення посухи – збільшувався. У серпні вищий вміст проліну відзначався в сортів Айворі, Аркан та Нептун. Однак під час визначення залежності між вмістом зв'язаної води та проліну, а також іншого осмопротектора – сахарози (окрім сортів Аркан, Артур та Гессер) спостерігалася зворотна кореляція. Це може бути пов'язано із активним гідролізом білка, що збільшує вміст вільного проліну в цитозолі (рис. 6).

Висновки.

У результаті визначення експресивності генетичних систем адаптації да-

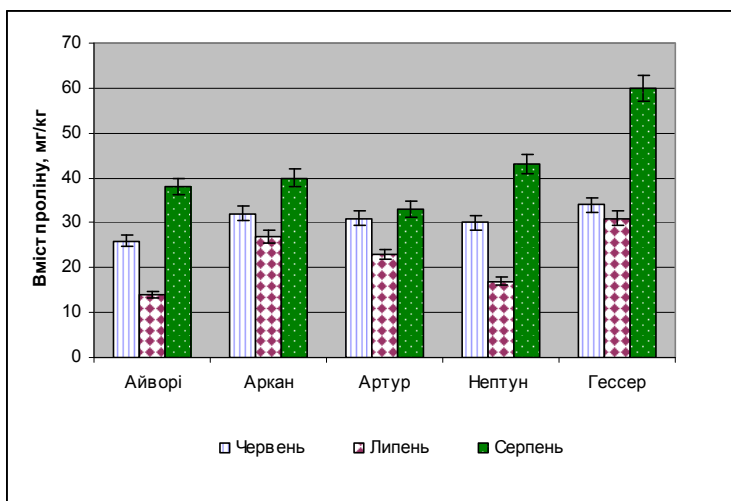


Рис. 6 Динаміка вмісту проліну у рослин вівса за літній період, 2020 р.

них сортів вівса до низьких температур у стані спокою та високих температур літнього періоду виділено специфічні білки теплового та холодового стресу стійкості сортів вівса посівного різного еколого-географічного походження до абіотичних чинників зимового та літнього періодів. Було встановлено вищу активність пероксидази у сортів Айворі, Аркан та Нептун, що характеризує їх підвищену стійкість до окисного стресу зимового та літнього періодів. За результатами досліджень показано, що сорти Айворі та Нептун володіють високою експресивністю білків і є високоморозо- та посухостійкими, Аркан та Артур – середньо морозо- та посухостійкими, а сорт Гессер володіє низькою стійкістю до стресових умов середовища, що дещо обмежує його використання на території України. Було виявлено, що найбільшою пероксидазною активністю в оптимальних умовах вирощування та за дії водного та високотемпературного стресів володіють сорти Айворі зернового призначення та Нептун – фуражно-го призначення, що дає можливість ре-

комендувати ці сорти до вирощування у зоні Лісостепу та Степу України.

References

1. N. Nenko, G. Kisileva, E. Ulianovskaya, E. Yablonskaya, and A. Karavaeva, "Physiological-biochemical criteria of the apple-tree resistance to the summer period abiotic stresses" Eurasian J. Biosci., vol. 12, no. 1, 2018, pp. 55–61
2. A. A. Zhuchenko, Adaptive system of plant breeding (ecological and genetic basis), M., vol. 2. 2001, P. 211
3. Y. Wan, H. Schwaninger, D. Li, C. J. Simon, Y. Wang, and C. Zhang, "The eco-geographic distribution of wild grape germplasm in China" VITIS - J. Grapevine Res., vol. 47, no. 2, 2008, pp. 77–80, doi: 10.5073/VITIS.2008.47.77-80
4. W. Xu, R. Li, N. Zhang, F. Ma, Y. Jiao, and Z. Wang, "Transcriptome profiling of Vitis amurensis, an extremely cold-tolerant Chinese wild Vitis species, reveals candidate genes and events that potentially connected to cold stress" Plant Mol. Biol., vol. 86, no. 4, 2014, pp. 527–541, doi:

- 10.1007/S11103-014-0245-2.
5. E. V. Sarahan, "Features of the practical application of portable biosensor devices families 'Floratest'", 2011, pp. 10–94
6. N. Nenko, V. S. Petrov, I. A. Ilina, G. K. Kisel'eva, M. A. Sundyeva, and V. V. Sokolova, "Physiological and biochemical mechanisms of adaptation to low-temperature stresses of grapes varieties of various ecological geographical origin" Sadovod. i Vinograd., vol. 5, 2017, pp. 33–38
7. N. Nesterova, O. Pareniuk, V. Illienko, Y. Ru-ban, K. Shavanova, and N. Shpyrka, "Physiological Reactions in Cereals Family Avena Sativa L. and Avena Nuda L., Caused by Lowerature Stress Factors", ELNANO 2019, pp. 502–506, doi: 10.1109/ELNANO.2019.8783870.
8. V. Illienko, N. Nesterova, O. Pareniuk, Y. Ruban, and K. Shavanova, "Estimation of the effect of radionuclide contamination on Vicia sativa L. induction of chlorophyll fluorescence parameters using 'Floratest' optical biosensor", Biophotonics-Riga 2017, vol. 10592, p. 20, doi: 10.1117/12.2297563

N. Nesterova, Y. Ruban, O. Pareniuk, K. Shavanova, S. Likar (2022)
OSCILLATING CHARACTER OF HEAT AND COLD SHOCK PROTEIN CONTENT
OF OATS PLANTS IN THE CONDITIONS OF STRESSFUL FACTORS OF THE
ENVIRONMENT. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2):5-13.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16268>
[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.007](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.007)

Abstract. The article presents the results of research on the gene expression systems of adaptation of sowing oats from the different ecological and geographical origins at low and high temperatures. Specific cold and heat shock proteins were isolated. Significant peroxidase activity was found in Ivory and Neptune varieties, which characterizes their increased resistance to cold oxidative stress.

It was found that the varieties Ivory, Arkan and Neptune are resistant to high temperature and water stress, due to the higher content of heat shock proteins with a molecular weight of 80, 70 and 60 kDa. The content of high-molecular proteins (250 kDa) and proteins with a molecular weight of 110, 100, 80 and 70 kDa has decreased in the Hesser variety, which makes it possible to classify this variety as a low-resistance variety. Higher peroxidase activity was found in Ivory, Arkan and Neptune varieties, which characterizes their increased resistance to oxidative stress in winter and summer.

It is shown that Ivory and Neptune varieties have high protein expression and are highly frost- and drought-resistant, Arkan and Arthur – moderately frost- and drought-resistant, and Gesser variety has low resistance to stressful environmental conditions, which somewhat limits its use in Ukraine.

It is found that the highest peroxidase activity in optimal growing conditions and under the action of water and high temperature stress have varieties Ivory grain purpose and Neptune – fodder purpose, which allows to recommend these varieties for growing in the Forest-Steppe and Steppe of Ukraine.

Keywords: sowing oats, varieties, peroxidase, IChF, proline, cold resistance, drought resistance.

EFFECT OF CHELATES OF MINERAL ELEMENTS ON ADAPTIVE PROCESSES IN THE ORGANISM UNDER OXIDATIVE STRESS

R. PALONKO,

ORCID ID

<https://orcid.org/0000-0001-5275-5366>

romanpalonko@gmail.com

L. KALACHNIUK,

ORCID ID

<https://orcid.org/0000-0002-5545-8495>

lilkalachnyuk@gmail.com

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

Abstract. A review of literary sources shows the prevalence of the problem of the development of oxidative stress as a side effect of many pathological processes in animals and humans. It is essential to develop ways and means of its prevention and correction since its correction can be a non-specific therapy in developing many pathological processes.

The development of oxidative stress caused deviations in redox processes, the permeability of cellular membranes, and their integrity. Overcoming the effects of oxidative stress requires bio-preparations with high bioavailability, which can stimulate the body's natural antioxidant defense system and neutralize the toxic effects of xenobiotics. Reducing the manifestation of oxidative stress is often adapting the body's natural antioxidant protection system to increase the supply or formation of reactive oxygen species and free radical oxidation products.

Macro- and microelements are absorbed by the body of animals and humans mainly through the digestive system. To correct deficiencies of certain elements, mineral, and vitamin-mineral supplements used in the diet, and drugs for parenteral administration - under acute deficiency.

Chelates of chemical elements are increasingly used in therapeutic practice, as they are characterized by higher bioavailability compared to organic and inorganic salts of the same elements.

The use of compounds with higher bioavailability makes it possible to introduce a smaller amount of the drug in terms of metal, which will avoid the irritating effect and improve the organoleptic indicators, preserving or even enhancing the therapeutic effect. Chelates have a lower irritating effect at the same concentrations as in saline solutions.

Therefore, the study of the biochemical mechanisms of action of the drug (in particular, in the correction of oxidative stress) is an urgent issue that prompts us to study it to develop a drug with high bioavailability and confirm its effectiveness.

Key words: *bio-preparations, chelate, magnesium, phosphorus, oxidative stress.*

Introduction.

It is known that the production of reactive oxygen species (ROS) increases with the development of many pathological processes in the body of animals and humans (Hybertson, B. M., Gao, B., Bose, S. K., & McCord, J. M., 2011). ROS cause the formation of free radicals and the development of oxidative stress when the amount of ROS formation is greater than the speed of their neutralization and is accompanied by a violation of redox processes, the permeability of cell membranes, and their integrity (Tarallo, A. et al., 2021).

Oxidative stress occurs as a result of a wide range of pathological processes: infection, inflammation, stress, xenobiotic poisoning, etc. Therefore, it is important to develop methods and means of its prevention and correction (Melov, S., 2002). The development of drugs made based on available raw materials and effective methods of their application requires a fundamental study of the body's adaptation mechanisms to the action of oxidative stress (Barnes, P. J., 2020).

The antioxidant defense system (ADS) is responsible for the neutralization of ROS and free radicals in the body, which includes the enzymes superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase, and glutathione reductase, and glutathione tripeptide together with cofactors (Barnes, P. J., 2020).

Magnesium participates (as a cofactor) in more than 300 catalytic reactions, due to which it is involved in energy, protein, lipid, and other exchanges (Morais,

J. B. et al., 2017). Studies indicate a direct relationship between the content of magnesium in the body and glutathione, as well as the activities of AOZ enzymes (Kaliaperumal, R. et al., 2021). Since glutathione is involved in the detoxification of toxic metabolites, magnesium, which is necessary for its synthesis, exhibits pronounced antioxidant properties (Chen, Y. et al., 2019). It should be noted that preparations containing phosphorus combined with organic radicals are used as a source of organic phosphorus to enhance metabolic processes (Hax, L. T. et al., 2019; Nuber, U. et al., 2016). They are characterized by a high metabolic rate and low toxicity. Studies show that such phosphorus-containing drugs are not cumulative, and their use ensures the supply of phosphates to metabolic pathways, which are subsequently used for phosphorylation and the formation of macroergic compounds (Kreipe, L. et al., 2011; Rollin, E. et al., 2010).

The combined magnesium and phosphorus preparation based on casein "Biophosphomag" (hereinafter the preparation) is chemically composed of artificially phosphorylated cow's milk casein as a ligand that chelates magnesium ions. The drug was created as a complex with a high therapeutic and preventive, adaptogenic, and stimulating effect, while it was made based on available raw materials (Калачнюк Л. Г. та ін., 2020, а, б).

Chelates of chemical elements are increasingly used in therapeutic practice, as they are characterized by higher bioavailability compared to organic and

inorganic salts of the same elements (Grande, A. et al., 2020; Jahanian, R., & Rasouli, E., 2015).

Purpose of article. Therefore, the study of the biochemical mechanisms of action of the drug (in particular, in the correction of oxidative stress) is an urgent issue that prompts us to study it to develop a drug with high bioavailability and confirm its effectiveness.

Chelates of mineral elements and their application.

Macro- and microelements are absorbed by the body of animals and humans mainly through the digestive system. To correct deficiencies of certain elements, mineral and vitamin-mineral supplements are used in the diet, and in the case of acute deficiency, drugs for parenteral administration are used (Breyman, C., 2017; Fong, J., & Khan, A., 2012). The lack of certain elements in animals is due to the intensification of productivity compared to natural conditions, and in humans - due to the deep processing of food (Shah, N. C. et al., 2014; Yamamoto, M., & Yamaguchi, T., 2007). A common problem for humans and animals is the absence or imbalance of some elements in geochemical zones (Shenkin, A., 2006).

A chelate is an organic coordination compound consisting of a central metal atom and a polydentate ligand connected in a cyclic or ring structure. Chelates of mineral substances are most often obtained by the interaction of metal ions from a solution of their salt with free amino acids or peptides. The chelation process is characterized by the formation of two or more coordination bonds between one metal cation and two or more separate binding sites of one ligand. Usually, chelates are used,

in which the ligands are amino acids or proteins, as they demonstrate the highest bioavailability (Cao, J. et al., 2000).

Chelates of chemical elements are increasingly used in therapeutic practice, as they have higher bioavailability compared to organic and inorganic salts of the same elements and, as a result, show more pronounced therapeutic effects (Grande, A. et al., 2020; Jahanian, R., & Rasouli, E., 2015). The use of compounds with higher bioavailability makes it possible to introduce a smaller amount of the drug in terms of metal, which will avoid the irritating effect and improve the organoleptic indicators, preserving or even enhancing the therapeutic effect. Chelates have a lower irritating effect at the same concentrations as saline agents (Fouad, G. T et al., 2013).

The use of peptides, rather than individual amino acids for the synthesis of chelates, makes it possible to create complex multi-element complexes with a single ligand. The high bioavailability of chelates with proteins as ligands can be explained by the fact that they can be absorbed as oligopeptides after hydrolysis to di- and tripeptides. It was established that di- and tripeptides are absorbed by enterocytes of the small intestine with the help of the PepT1 cotransport system. The PepT1 system does not participate in the absorption of free amino acids from the alimentary canal. The rate of absorption of amino acids in the form of di- and tripeptides using PepT1 is 70-80% higher than the rate of absorption of free amino acids (Miner-Williams, W. M. et al., 2014). This gives reason to assert that the main number of amino acids assimilated by the body is absorbed in the form of di- and tripeptides and that oligopeptides are effective conductors increasing the bioavailability of substances combined with them.

The absorption efficiency of chelates is determined by several criteria of their bioavailability, namely: low molecular weight, the ability of ligands to be metabolized in the body, stability, etc. (Ashmead, S. D., 2001). An equally important factor that determines the high bioavailability of elements in the composition of chelates is that the ligand protects the metal ion from the formation of insoluble complexes (Thongon, N., & Krishnamra, N., 2011; Thongon, N., & Krishnamra, N., 2012).

The degree of assimilation of ions of many metals is directly correlated with the degree of their chelation (Robberecht, H. et al., 2020). After assimilation by the body, chelates are hydrolyzed with the release of a metal ion and amino acid residues. Amino acid residues are used for the synthesis of peptides, and the metal ion is transported through the circulatory system to the place of performance of its functions (Hertrampf, E., & Olivares, M., 2004; Jeppsen, R. B., 2001; Pineda, O., & Ashmead, H. D., 2001).

Since chelates have several unique chemical properties, their therapeutic use is not limited to the correction of the lack of macro- and microelements (Ibrahim, O., & O'Sullivan, J., 2020; Kwiatkowski, J. L., 2008; Kontoghiorghis, C. N. et al., 2015). Studies demonstrate numerous advantages of chelates of microelements and macroelements in comparison with inorganic and organic salts of these elements (Name, J. J. et al., 2018; Ma, W. Q. et al., 2012; Case, D. R. et al., 2021).

Assimilation of magnesium ions in the body occurs in the digestive system. The divalent magnesium ion can combine with two amino acids through ionic bonds through carboxyl groups and donor-acceptor bonds with the amino

groups of these amino acids (Figure 1).

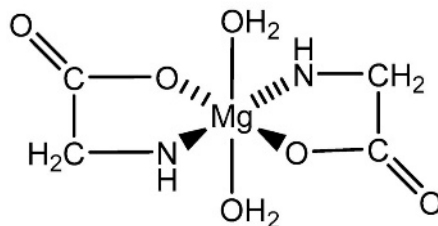


Fig. 1. Chemical structure of magnesium chelate on the example of Magnesium bis-glycinate (Case, D. R. et al., 2020).

Crystallographic studies show that the Mg^{2+} cation mainly has a coordination number of 6. Its radius is relatively small and is 0.86 Å, and according to the Pearson classification, it is a rigid ion, due to which the ligand- Mg^{2+} complexes are stable. The most stable complexes are formed with O-donors and less stable with N-donors. Many biological molecules can be effective ligands for magnesium ions, among them peptides and free amino acids due to free carboxyl and amino groups, nucleic acids, and free nucleotides due to phosphate groups, water molecules, etc. (Rutkowska-Zbik, D. et al., 2013).

The use of magnesium preparations in the form of chelates has several advantages, since magnesium mineral compounds, for example, magnesium sulfate, has a pronounced irritating effect on the intestines in high concentrations (Durlach, J. et al., 2005).

Biophosphomag is a combined magnesium and phosphorus preparation based on casein.

The combined magnesium and phosphorus preparation based on casein (Biophosphomag) is chemically

composed of artificially phosphorylated cow's milk casein as a ligand that chelates magnesium ions. The appearance of the finished drug is a homogeneous powder from white to pale yellow (Калачнюк Л. Г. та ін., 2020а). In aqueous solutions with neutral and acidic pH, it is almost insoluble and easily soluble at $\text{pH} > 8$. It is recommended to combine the drug with vitamin B6 to enhance and supplement the therapeutic and preventive effect (Калачнюк Л. Г. та ін., 2020b). The drug obtained during the original synthesis protocol is easily subject to further modification and can be used as a raw material for the further development of more complex drugs (Калачнюк Л. Г. та ін., 2020а). Cow's milk casein, which is a mixture of several phosphoproteins (Rehan, F. et al., 2019; Madende, M. et al., 2015), serves as the raw material for the synthesis of the drug. The choice of casein as a chelating agent and carrier of functional groups is determined by its physicochemical and biological characteristics. First, casein is a complete protein, so it has in its amino acid sequence all essential amino acids in the optimal ratio for the body. Some serine residues in the structure of casein are naturally phosphorylated, which explains its ability to coagulate at low pH values. Coagulation of casein under the influence of low pH values is used by mammals for more effective hydrolysis and assimilation, and this property is also used to

isolate casein from whole milk (Rafiq, S. et al., 2016). Another advantage of choosing casein for the synthesis of the drug is its prevalence and commercial availability. The above advantages of casein should contribute to the effectiveness of the drug synthesized on its basis and its introduction.

To obtain the drug, casein is chemically modified in two stages. The first stage of modification was protein phosphorylation. The reaction of direct esterification of orthophosphoric acid with O-nucleophiles (free hydroxy groups) is covered in sources (Li, C. et al., 2016; Xiong, B. et al., 2018; Matheis, G. et al., 1983). The main reaction mechanism is $\text{S}_{\text{N}}2$ since the reaction by the asynchronous $\text{S}_{\text{N}}1$ mechanism involves a slow first stage of nucleophile dissociation. The attacking groups in this reaction are the hydroxyl groups of threonine, serine, and tyrosine. The electrophilic center is the Phosphorus atom of orthophosphoric acid, from which the hydroxyl group is split off. The reaction can be catalyzed by transition metal ions (Cu^{2+} , Fe^{2+}). The scheme of this reaction based on the example of esterification of threonine with orthophosphoric acid is shown in Figure 2.

The second stage of the synthesis was magnesium chelation with additionally phosphorylated casein. The mechanism of chelation of magnesium ions by peptides is explained by their structure. Peptides are organized into primary,

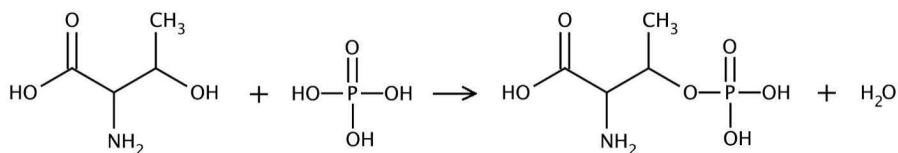


Fig. 2. Scheme of the esterification reaction of orthophosphoric acid with an O-nucleophile using threonine as an example

secondary, tertiary, and some quaternary structures. The primary structure is a sequence of amino acid residues interconnected by peptide bonds formed by the carboxyl group of one amino acid and the amino group of the next (-CONH-) (Li, Q. et al., 2014). Peptide bonds are characterized by reverse isomerism – tautomerism (Smith, M. B., 2001). The tautomerism of the peptide bond is explained by the migration of Hydrogen from Nitrogen to Oxygen, due to this, the peptide bond tautomerizes from the keto form to the enol (-C(OH)N-) isoform and vice versa. The enol form, due to the labile proton, is more reactive. The transition of one isoform to another and a stable balance between them can be achieved artificially (Kamiya, K. et al., 2006).

The formation of complex compounds by peptides occurs after the tautomerization of their keto-enol form. The formed enol form of the peptide bond contains a hydroxyl group, in which the proton becomes labile due to a strong shift of the electron cloud from Hydrogen to Oxygen and partial attraction of this electron cloud by Nitrogen. Showing lower electronegativity, metal cations can displace hydrogen from the enol form of a peptide bond (Sproul, G. D., 2020). Metal ions, which have free unfilled electronic orbitals, are also able to interact with nitrogen by the donor-acceptor mechanism. With the simultaneous formation of ionic and coordination bonds, the peptide seems to wrap around the metal ion, which is called chelation (from the Greek *Chelè* - claw) (Flora, S. J., & Pachauri, V., 2010).

The formation of complex compounds by peptides occurs after the A review of literary sources shows the prevalence of the problem of the de-

velopment of oxidative stress as a side effect of many pathological processes in animals and humans (Hybertson, B. M. et al., 2011; Melov, S., 2002). Considering this, it is important to develop methods and means of its prevention and correction, since its correction can be a non-specific therapy in developing many pathological processes (Tarallo, A. et al., 2021).

It was mentioned above that Magnesium is involved in maintaining the functional state of the oxidative stress (Morais, J. B. et al., 2017). Studies indicate a direct relationship between the content of magnesium in the body and glutathione, as well as the activities of enzymes (Kaliaperumal, R. et al., 2021; Chen, Y. et al., 2019). Since glutathione is involved in the detoxification of toxic metabolites, magnesium, which is necessary for its synthesis, exhibits pronounced antioxidant properties. Preparations that contain phosphorus combined with organic radicals are used as a source of organic phosphorus to enhance the course of metabolic processes (Weiller, M., 2020; Pereira, R. A. et al., 2013).

As a complete protein, casein contains all proteinogenic amino acids in the optimal ratio for the mammalian body. Due to its availability, distribution, and several physicochemical features, casein is used in the pharmaceutical industry as a carrier of active components (Głąb, T. K., & Boratyński, J., 2017).

The use of chelates of mineral elements has many advantages, which is the reason for the spread of their use. The main ones are higher bioavailability and lower irritating effect in comparison with salt means of the same elements (Udechukwu, M. C. et al., 2016; Allen, L. H., 2002).

Neutralizing the effects of oxidative stress requires drugs that can stimulate the body's natural antioxidant defense system (ADS) and neutralize the toxic effects of xenobiotics (Barnes, P. J., 2020). Since Magnesium can stimulate many metabolic processes, as well as maintaining the functional state of the ADS, its combination with Phosphorus as part of a chelate complex is potentially promising for combating oxidative stress.

Based on the theoretical generalization and analysis of the results of our experimental studies, it is possible to propose a hypothetical biochemical mechanism of the adaptogenic action of the combined magnesium and phosphorus preparation based on casein under conditions of oxidative stress (Figure 3).

The mechanism of adaptogenic action of the drug is explained by its chemical structure and biological prop-

erties. After entering the digestive tract, the biological preparation hydrolyzes to oligopeptides. According to literature data, oligopeptides consisting exclusively of L-amino acid residues are most intensively absorbed, those containing individual D-amino acid residues are assimilated less intensively, and di- and tripeptides, which consist exclusively of D-amino acid residues, are not absorbed in all. Since casein is the starting material for the synthesis after the hydrolytic splitting of the drug only oligopeptides consisting of L-amino acid residues are formed (Rubio-Aliaga, I., & Daniel, H., 2008).

After entering enterocytes, oligopeptides can be subjected to cytosolic hydrolysis or transported unchanged through the basolateral membrane to the portal system of the liver [209]. At the same time, the magnesium ions combined with them are strongly absorbed,

High bioavailability of magnesium ions in the composition of the preparation*



Modulation of the activity of the antioxidant protection system and enhancement of the synthesis of reduced glutathione under the influence of magnesium ions **



Adaptogenic effect of the preparation under conditions of oxidative stress ***

Figure 3. Hypothetical biochemical mechanism of the adaptogenic action of the combined magnesium and phosphorus preparation based on casein under conditions of oxidative stress. Note: * – bioavailability of the drug and magnesium content; ** – antioxidant properties of the drug; * – research under conditions of induced oxidative stress.**

which are then used by the body to ensure the functioning of magnesium-dependent enzymatic systems, etc.

Conclusion and Perspectives.

Therefore, the investigation of the biochemical mechanisms of the bio-preparation's action (in particular, when correcting oxidative stress) is an urgent problem, which prompts its study to develop a drug with high bioavailability and confirm its effectiveness.

Acknowledgments. The work was performed within the research topics

State registration No.0120U102130 and 0116U001883.

References

1. Hybertson, B. M., Gao, B., Bose, S. K., & McCord, J. M. (2011). Oxidative stress in health and disease: The therapeutic potential of Nrf2 activation. *Molecular Aspects of Medicine*, 32(4-6), 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2011.10.006>
2. Tarallo, A., Damiano, C., Strollo, S., Minopoli, N., Indrieri, A., Polishchuk, E., Zappa, F., Nusco, E., Fecarotta, S., Porto, C., Coletta, M., Iacono, R., Moracci, M., Polishchuk, R., Medina, D. L., Imbimbo, P., Monti, D. M., De Matteis, M. A., & Parenti, G. (2021). Correction of oxidative stress enhances enzyme replacement therapy in Pompe disease. *EMBO Molecular Medicine*, 13(11), e14434. <https://doi.org/10.15252/emmm.202114434>
3. Melov, S. (2002). Animal models of oxidative stress, aging, and therapeutic antioxidant interventions. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 34(11), 1395–1400. [https://doi.org/10.1016/s1357-2725\(02\)00086-9](https://doi.org/10.1016/s1357-2725(02)00086-9)
4. Barnes, P. J. (2020). Oxidative stress-based therapeutics in COPD. *Redox Biology*, 33, 101544. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101544>
5. Morais, J. B., Severo, J. S., Santos, L. R., de Sousa Melo, S. R., de Oliveira Santos, R., de Oliveira, A. R., Cruz, K. J., & do Nascimento Marreiro, D. (2017). Role of magnesium in oxidative stress in individuals with obesity. *Biological Trace Element Research*, 176(1), 20–26. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0793-1>
6. Kaliaperumal, R., Venkatachalam, R., Nagarajan, P., & Sabapathy, S. K. (2021). Association of serum magnesium with oxidative stress in the pathogenesis of diabetic cataract. *Biological Trace Element Research*, 199(8), 2869–2873. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02429-9>
7. Chen, Y., Xiong, S., Zhao, F., Lu, X., Wu, B., & Yang, B. (2019). Effect of magnesium on reducing the UV-induced oxidative damage in marrow mesenchymal stem cells. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 107(6), 1253–1263. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36634>
8. Hax, L. T., Rincón, J., Schneider, A., Pegoraro, L., Franco Collares, L., Alves Pereira, R., Pradié, J., Del Pino, F., & Nunes Corrêa, M. (2019). Effect of butafosfan supplementation during oocyte maturation on bovine embryo development. *Zygote*, 27(5), 321–328. <https://doi.org/10.1017/S0967199419000327>
9. Nuber, U., van Dorland, H. A., & Bruckmaier, R. M. (2016). Effects of butafosfan with or without cyanocobalamin on the metabolism of early lactating cows with subclinical ketosis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(1), 146–155. <https://doi.org/10.1111/jpn.12332>
10. Kreipe, L., Deniz, A., Bruckmaier, R. M., & van Dorland, H. A. (2011). First report about the mode of action of combined butafosfan and cyanocobalamin on hepatic metabolism in nonketotic early lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 94(10), 4904–4914. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4080>
11. Rollin, E., Berghaus, R. D., Rapnicki, P., Godden, S. M., & Overton, M. W. (2010). The

- effect of injectable butaphosphan and cyanocobalamin on postpartum serum beta-hydroxybutyrate, calcium, and phosphorus concentrations in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(3), 978–987. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2508>
12. Патент України на корисну модель №139707. Препарат ветеринарний «Біофосфомаг». МПК, А61К 31/66 (2006.01). Калачнюк Л. Г., Арнаута О. В., Вірьовка В. М., Пальонко Р. І., Смірнов О. О., Мартиненко О. А., Прис-Каденко В. О., Аль-Баду Л-Є. Н. Номер заявки: u 201907874. Дата подання заявки: 11.07.2019 р. Опубліковано 10.01.2020, Бюл. № 1/2020 (а)
 13. Патент України на корисну модель №139707. Препарат ветеринарний «Біофосфомаг-Плюс». МПК, А61К 31/66 (2006.01). Калачнюк Л. Г., Арнаута О. В., Вірьовка В. М., Пальонко Р. І., Смірнов О. О., Мартиненко О. А., Прис-Каденко В. О., Аль-Баду Л-Є. Н. Номер заявки: u 201907874. Дата подання заявки: 11.07.2019 р. Опубліковано 10.01.2020, Бюл. № 1/2020 (b)
 14. Grande, A., Leleu, S., Delezie, E., Rapp, C., De Smet, S., Goossens, E., Haesebrouck, F., Van Immerseel, F., & Ducatelle, R. (2020). Dietary zinc source impacts intestinal morphology and oxidative stress in young broilers. *Poultry Science*, 99(1), 441–453. <https://doi.org/10.3382/ps/pez525>
 15. Jahanian, R., & Rasouli, E. (2015). Effects of dietary substitution of zinc-methionine for inorganic zinc sources on growth performance, tissue zinc accumulation and some blood parameters in broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(1), 50–58. <https://doi.org/10.1111/jpn.12213>
 16. Breymann, C., Honegger, C., Hösli, I., & Surbek, D. (2017). Diagnosis and treatment of iron-deficiency anaemia in pregnancy and postpartum. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 296(6), 1229–1234. <https://doi.org/10.1007/s00404-017-4526-2>
 17. Fong, J., & Khan, A. (2012). Hypocalcemia: Updates in diagnosis and management for primary care. *Canadian Family Physician*, 58(2), 158–162. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22439169/>
 18. Shah, N. C., Shah, G. J., Li, Z., Jiang, X. C., Altura, B. T., & Altura, B. M. (2014). Short-term magnesium deficiency downregulates telomerase, upregulates neutral sphingomyelinase and induces oxidative DNA damage in cardiovascular tissues: Relevance to atherogenesis, cardiovascular diseases and aging. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 7(3), 497–514. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3992387/>
 19. Yamamoto, M., & Yamaguchi, T. (2007). Causes and treatment of hypomagnesemia. *Clinical Calcium*, 17(8), 1241–1248. <https://europepmc.org/article/MED/17660622>
 20. Shenkin, A. (2006). Micronutrients in health and disease. *Postgraduate Medical Journal*, 82(971), 559–567. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2006.047670>
 21. Cao, J., Henry, P. R., Guo, R., Holwerda, R. A., Toth, J. P., Littell, R. C., Miles, R. D., & Ammerman, C. B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *Journal of Animal Science*, 78(8), 2039–2054. <https://doi.org/10.2527/2000.7882039x>
 22. Fouad, G. T., Evans, M., Sharma, P., Baisley, J., Crowley, D., & Guthrie, N. (2013). A randomized, double-blind clinical study on the safety and tolerability of an iron multi-amino acid chelate preparation in premenopausal women. *Journal of Dietary Supplements*, 10(1), 17–28. <https://doi.org/10.3109/19390211.2012.758217>
 23. Miner-Williams, W. M., Stevens, B. R., & Moughan, P. J. (2014). Are intact peptides absorbed from the healthy gut in the adult human? *Nutrition Research Reviews*, 27(2), 308–329. <https://doi.org/10.1017/S0954422414000225>

24. Ashmead, S. D. (2001). The chemistry of ferrous bis-glycinate chelate. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 51(1), 7–12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11688084/>
25. Thongon, N., & Krishnamra, N. (2011). Omeprazole decreases magnesium transport across Caco-2 monolayers. *World Journal of Gastroenterology*, 17(12), 1574–1583. <https://doi.org/10.3748/wjg.v17.i12.1574>
26. Thongon, N., & Krishnamra, N. (2012). Apical acidity decreases inhibitory effect of omeprazole on Mg(2+) absorption and claudin-7 and -12 expression in Caco-2 monolayers. *Experimental & Molecular Medicine*, 44(11), 684–693. <https://doi.org/10.3858/emm.2012.44.11.077>
27. Robberecht, H., Verlaet, A., Breynaert, A., De Bruyne, T., & Hermans, N. (2020). Magnesium, iron, zinc, copper and selenium status in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Molecules*, 25(19), 4440. <https://doi.org/10.3390/molecules25194440>
28. Hertrampf, E., & Olivares, M. (2004). Iron amino acid chelates. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 74(6), 435–443. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.435>
29. Jeppsen, R. B. (2001). Toxicology and safety of Ferrochel and other iron amino acid chelates. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 51(1), 26–34. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11688078/>
30. Pineda, O., & Ashmead, H. D. (2001). Effectiveness of treatment of iron-deficiency anemia in infants and young children with ferrous bis-glycinate chelate. *Nutrition*, 17(5), 381–384. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(01\)00519-6](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(01)00519-6)
31. Ibrahim, O., & O'Sullivan, J. (2020). Iron chelators in cancer therapy. *Biometals*, 33(4-5), 201–215. <https://doi.org/10.1007/s10534-020-00243-3>
32. Kwiatkowski, J. L. (2008). Oral iron chelators. *Pediatric Clinics of North America*, 55(2), 461–482. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2008.01.005>
33. Kontoghiorghe, C. N., Kolnagou, A., & Kontoghiorghe, G. J. (2015). Phytochelators intended for clinical use in iron overload, other diseases of iron imbalance and free radical pathology. *Molecules*, 20(11), 20841–20872. <https://doi.org/10.3390/molecules201119725>
34. Name, J. J., Vasconcelos, A. R., & Valzachi Rocha Maluf, M. C. (2018). Iron bisglycinate chelate and polymaltose iron for the treatment of iron deficiency anemia: A pilot randomized trial. *Current Pediatric Reviews*, 14(4), 261–268. <https://doi.org/10.2174/1573396314666181002170040>
35. Ma, W. Q., Sun, H., Zhou, Y., Wu, J., & Feng, J. (2012). Effects of iron glycine chelate on growth, tissue mineral concentrations, fecal mineral excretion, and liver antioxidant enzyme activities in broilers. *Biological Trace Element Research*, 149(2), 204–211. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9418-5>
36. Case, D. R., Zubieta, J., Gonzalez, R., & Doyle, R. P. (2021). Synthesis and chemical and biological evaluation of a glycine tripeptide chelate of magnesium. *Molecules*, 26(9), 2419. <https://doi.org/10.3390/molecules26092419>
37. Rutkowska-Zbik, D., Witko, M., & Fiedor, L. (2013). Ligation of water to magnesium chelates of biological importance. *Journal of Molecular Modeling*, 19(11), 4661–4667. <https://doi.org/10.1007/s00894-012-1459-3>
38. Case, D. R., Zubieta, J., & P Doyle, R. (2020). The coordination chemistry of bio-relevant ligands and their magnesium complexes. *Molecules*, 25(14), 3172. <https://doi.org/10.3390/molecules25143172>
39. Durlach, J., Guiet-Bara, A., Pagès, N., Bac, P., & Bara, M. (2005). Magnesium chloride or magnesium sulfate: A genuine question. *Magnesium Research*, 18(3),

- 187–192. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16259379/>
40. Rehan, F., Ahemad, N., & Gupta, M. (2019). Casein nanomicelle as an emerging bio-material-A comprehensive review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 179, 280–292. <https://doi.org/10.1016/j.col-surf.2019.03.051>
41. Madende, M., Osthoff, G., Patterton, H. G., Patterton, H. E., Martin, P., & Opperman, D. J. (2015). Characterization of casein and alpha lactalbumin of African elephant (*Loxodonta africana*) milk. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8308–8318. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9195>
42. Rafiq, S., Huma, N., Pasha, I., Sameen, A., Mukhtar, O., & Khan, M. I. (2016). Chemical composition, nitrogen fractions and amino acids profile of milk from different animal species. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(7), 1022–1028. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0452>
43. Li, C., Chen, T., & Han, L. B. (2016). Iron-catalyzed clean dehydrogenative coupling of alcohols with P(O)-H compounds: A new protocol for ROH phosphorylation. *Dalton Transactions*, 45(38), 14893–14897. <https://doi.org/10.1039/c6dt02236g>
44. Xiong, B., Wang, G., Zhou, C., Liu, Y., Li, J., Zhang, P., & Tang, K. (2018). DCC-assisted direct esterification of phosphinic and phosphoric acids with O-nucleophiles. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 193(4), 239–244. <https://doi.org/10.1080/10426507.2017.1395438>
45. Matheis, G., Penner, M. H., Feeney, R. E., & Whitaker, J. R. (1983). Phosphorylation of casein and lysozyme by phosphorus oxychloride. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31(2), 379–387. <https://doi.org/10.1021/jf00116a049>
46. Li, Q., Dahl, D. B., Vannucci, M., Joo H., & Tsai, J. W. (2014). Bayesian model of protein primary sequence for secondary structure prediction. *PloS one*, 9(10), e109832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109832>
47. Smith, M. B. (2001). Acyl substitution reactions. In M. B. Smith & J. March (Eds.), *Advanced organic chemistry* (5th ed., pp. 1218–1223). New York: Wiley Interscience.
48. Kamiya, K., Boero, M., Shiraishi, K., & Oshiyama, A. (2006). Enol-to-keto tautomerism of peptide groups. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(9), 4443–4450. <https://doi.org/10.1021/jp056250p>
49. Sproul, G. D. (2020). Evaluation of electronegativity scales. *ACS Omega*, 5(20), 11585–11594. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00831>
50. Flora, S. J., & Pachauri, V. (2010). Chelation in metal intoxication. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(7), 2745–2788. <https://doi.org/10.3390/ijerph7072745>
51. Hybertson, B. M., Gao, B., Bose, S. K., & McCord, J. M. (2011). Oxidative stress in health and disease: The therapeutic potential of Nrf2 activation. *Molecular Aspects of Medicine*, 32(4-6), 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2011.10.006>
52. Melov, S. (2002). Animal models of oxidative stress, aging, and therapeutic antioxidant interventions. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 34(11), 1395–1400. [https://doi.org/10.1016/s1357-2725\(02\)00086-9](https://doi.org/10.1016/s1357-2725(02)00086-9)
53. Tarallo, A., Damiano, C., Strollo, S., Minopoli, N., Indrieri, A., Polishchuk, E., Zappa, F., Nusco, E., Fecarotta, S., Porto, C., Coletta, M., Iacono, R., Moracci, M., Polishchuk, R., Medina, D. L., Imbimbo, P., Monti, D. M., De Matteis, M. A., & Parenti, G. (2021). Correction of oxidative stress enhances enzyme replacement therapy in Pompe disease. *EMBO Molecular Medicine*, 13(11), e14434. <https://doi.org/10.15252/emmm.202114434>
54. Morais, J. B., Severo, J. S., Santos, L. R., de Sousa Melo, S. R., de Oliveira Santos, R., de Oliveira, A. R., Cruz, K. J., & do Nascimento Marreiro, D. (2017). Role of magnesium in

- oxidative stress in individuals with obesity. *Biological Trace Element Research*, 176(1), 20–26. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0793-1>
55. Kaliaperumal, R., Venkatachalam, R., Nagarajan, P., & Sabapathy, S. K. (2021). Association of serum agnesium with oxidative stress in the pathogenesis of diabetic cataract. *Biological Trace Element Research*, 199(8), 2869–2873. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02429-9>
 56. Chen, Y., Xiong, S., Zhao, F., Lu, X., Wu, B., & Yang, B. (2019). Effect of magnesium on reducing the UV-induced oxidative damage in marrow mesenchymal stem cells. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 107(6), 1253–1263. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36634>
 57. Weiller, M., Alvarado-Rincón, J. A., Jacometo, C. B., Barros, C. C., de Souza, I., Hax, L. T., da Silva, T. C., Mattei, P., Barbosa, A. A., Feijó, J. O., Pereira, R. A., Brauner, C. C., Rabassa, V. R., Del Pino, F., & Corrêa, M. N. (2020). Butaphosphan effects on glucose metabolism involve insulin signaling and depends on nutritional plan. *Nutrients*, 12(6), 1856. <https://doi.org/10.3390/nu12061856>
 58. Pereira, R. A., Silveira, P. A., Montagner, P., Schneider, A., Schmitt, E., Rabassa, V. R., Pfeifer, L. F., Del Pino, F. A., Pulga, M. E., & Corrêa, M. N. (2013). Effect of butaphosphan and cyanocobalamin on postpartum metabolism and milk production in dairy cows. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 7(7), 1143–1147. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000013>
 59. Głąb, T. K., & Boratyński, J. (2017). Potential of casein as a carrier for biologically active agents. *Topics in Current Chemistry*, 375(4), 71. <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0158-z>
 60. Udechukwu, M. C., Collins, S. A., & Udenigwe, C. C. (2016). Prospects of enhancing dietary zinc bioavailability with food-derived zinc-chelating peptides. *Food & Function*, 7(10), 4137–4144. <https://doi.org/10.1039/c6fo00706f>
 61. Allen, L. H. (2002). Advantages and limitations of iron amino acid chelates as iron fortificants. *Nutrition Reviews*, 60(7), S18–S45. <https://doi.org/10.1301/002966402320285047>
 62. Barnes, P. J. (2020). Oxidative stress-based therapeutics in COPD. *Redox Biology*, 33, 101544. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101544>
 63. Rubio-Aliaga, I., & Daniel, H. (2008). Peptide transporters and their roles in physiological processes and drug disposition. *Xenobiotica*, 38(7-8), 1022–1042. <https://doi.org/10.1080/00498250701875254>

Р. Пальонко, Л. Калачнюк (2022). ВПЛИВ ХЕЛАТИВ МІНЕРАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА АДАПТАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ОРГАНІЗМІ ЗА ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСУ .

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 14-26.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16269>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.008](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.008)

Анотація. Огляд літературних джерел свідчить про розповсюдженість проблеми розвитку оксидативного стресу як побічного явища багатьох патологічних процесів у тварин і людей. Зважаючи на це, важливе значення мають розробка способів і засобів його профілактики та корекції, оскільки його корекція може бути неспецифічною терапією при розвитку багатьох патологічних процесів.

В умовах розвитку оксидативного стресу спостерігають порушення окисно-відновних процесів, проникності клітинних мембран та їх цілісності. Подолання наслідків оксидативного стресу потребує препаратів з високою біодоступністю, які здатні сти-

мулювати природну систему антиоксидантного захисту організму та нейтралізувати токсичні ефекти ксенобіотиків. Зниження прояву оксидативного стресу часто полягає в адаптації природної системи антиоксидантного захисту організму до збільшення надходження чи утворення активних форм кисню та продуктів вільнорадикального окиснення.

Макро- і мікроелементи засвоюються організмом тварин і людини переважно через систему травлення. Для корекції дефіцитів окремих елементів використовують мінеральні та вітамінно-мінеральні добавки до раціону, а у випадку гострого дефіциту – препарати для парентерального введення.

Хелати хімічних елементів все частіше використовуються в терапевтичній практиці, оскільки їм властива вища біодоступність порівняно з органічними та неорганічними солями цих же елементів

Застосування сполук з вищою біодоступністю дозволяє вводити меншу кількість препарату в перерахунку на метал, що дозволить уникнути подразнюючої дії та покращити органолептичні показники зберігши або навіть посиливши терапевтичний ефект. Хелатам властива нижча подразнювальна дія за тих же концентрацій, що і в сольових засобах.

Отже, дослідження біохімічних механізмів дії препарату (зокрема при корекції оксидативного стресу) є актуальним питанням, що спонукає нас до його вивчення з метою розробки препарату з високою біодоступністю та підтвердження його ефективності.

Ключові слова: біопрепарати, оксидативний стрес, магній, фосфор, хелат.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ДЕРЕВИНИ РОСЛИН ЗРОСТАЮЧИХ НА ГІРНИЧИХ СУБСТРАТАХ

М. М. ХАРИТОНОВ,

доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри
загального землеробства та ґрунтознавства,
<https://orcid.org/0000-0002-9886-678X>

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Н. В. МАРТИНОВА,

кандидат біологічних наук, завідувач лабораторії природної флори
ботанічного саду, <https://orcid.org/0000-0002-1523-1886>

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро

І. В. РУЛА,

кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро
<https://orcid.org/0000-0003-4229-6463>

М. Г. БАБЕНКО,

кандидат сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник,
<https://orcid.org/0000-0002-0920-3846>

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро
E-mail: kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

Анотація. Швидкорослі деревні культури відповідають агрономічним, екологічним і соціальним параметрам, пов'язаним з успішним використанням у якості джерела енергії. Хімічний склад деревини визначає її біоенергетичну якість. Однак умови зростання також значним чином можуть впливати на термічну поведінку сировини. У зв'язку з цим, було вивчено особливості процесів термічної деструкції деревини верби, тополі, маслинки, айланту та павловнії, вирощених на різних варіаціях фітомеліорованих гірничих порід, що залишилися після видобутку марганцевої руди. Термоліз досліджених видів відбувався у межах температур 30-60°C–490-590°C. У деревини маслинки усі чотири стадії деструкції чітко виражені, тоді як у інших видів діапазони розкладання геміцелюлози та целюлози частково перекриваються. Специфіка техноземів, на яких зростали досліджені рослини, впливає на теплові характеристики деревини. Змінення проявляються у швидкості проходження реакцій, вмісту легколетких компонентів та змінненні зольності деревини. Найбільш чутливими до умов довкілля є легколеткі компоненти, які, так само, впливають на швидкість проходження реакцій та на термостабільність деревини. Серед досліджених видів найбільш яскраві відмінності були відмічені для деревини маслинки та тополі.

Ключові слова: деревні енергетичні рослини, рекультивовані землі, гірничі субстрати, термоліз.

Актуальність.

Швидкорослі деревні культури є привабливим джерелом біомаси, оскільки вони здатні відповідати багатьом агрономічним, екологічним і соціальним параметрам, пов'язаним з успішним використанням у якості джерела енергії. Верб, тополя, айлант, маслинка, павловнія та інші володіють багатьма характеристиками, необхідними для спеціальних енергетичних культур, що робить їх відмінним вибором в якості вихідної сировини. Платанції швидкорослих рослин забезпечують максимально ефективний вихід біопалива на 3-4 рік з початку їхньої закладки і надалі експлуатуються впродовж 20-25 років. Насадження швидкорослих деревних порід дають можливість отримувати деревину, яка використовується як поновлюване джерело енергії, що забезпечує «нейтральність» по відношенню до викидів CO_2 . Невибагливість до умов зростання дозволяє успішно створювати такі енергетичні плантації на малопродуктивних ґрунтах різного механічного складу, а також використовувати для відновлення порушених земель [3, 13, 12, 2]. Ефективним способом конверсії деревини в паливо вважається така технологія термохімічного перетворення, як піроліз. Процес піролізу є складним, проходить через низку реакцій та залежить від багатьох чинників. Генетична складова, хімічний склад, наявність інших речовин, у тому числі екстрактних речовин, можуть впливати на температурні режими деградації основних компонентів біомаси.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Деревна біомаса – це ресурс із коротким вуглецевим циклом [9]. Це надзвичайно важливо для майбутніх енергетичних потреб. Ця обставина призвела до підвищеної зацікавленості до теплових характеристик деревини в тому числі і до кінетичних закономірностей її термічної деградації [1]. Хімічний склад листяних порід широко варіює. Це пов'язано з цілою низкою чинників. Найбільш важливими є видові особливості, ґрунтові та кліматичні умови зростання деревних культур. Варіації у компонентному складі рослинної біомаси визначають особливості термічної поведінки, але, як правило, термічна деструкція здійснюється у три етапи. На першому відбувається вилучення вологи, адсорбція води та випаровуються легкі речовини. На другому етапі розкладаються основні компоненти та утворюється вугілля [16, 6]. На останньому завершується розпад лігніну та відбувається окиснення вугілля, що утворилося на попередній стадії [15]. Хімічний склад деревини визначає її біоенергетичну якість [4]. Однак умови зростання також значно можуть впливати на термічну поведінку сировини [14, 11]. На даний час багато досліджень зосереджено на підвищенні ефективності використання деревної біомаси та вдосконаленні технологій спалювання [8]. Є думка, що енергетичні властивості деревної біомаси залежать від ґрунту, клімату та типу деревини. Було проведено та опубліковано деякі дослідження, при-

свячені впливу типу деревини [5, 7, 10], тоді як вплив умов вирощування сировини на характеристики теплової деструкції деревини повністю не вивчені.

Мета дослідження. Вивчення процесу термічної деструкції деревини верби, тополі, маслинок, айланту та павловнії, вирощених на різних варіаціях фітомеліорованих гірничих порід, що залишилися після видобутку марганцевої руди.

Матеріали і методи дослідження.

Дослідження було проведено на Покровському стаціонарі рекультиватії земель Дніпровського аграрно-економічного університету. Були досліджені зразки 3-річної деревини маслинок (*Elaeagnus angustifolia*), верби (*Salix×hybrida*), тополі (*Populus×hybrida*) та айланту (*Ailanthus altissima*) та павловнії (*Paulownia Clone 112*), що зростали на насипному шарі чорнозему (НШЧ), фітомеліорованих сіро-зеленій глині (СЗГ), суміші лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини (ЛС+ЧБГ). Теплова поведінка біомаси різних деревних енергетичних культур була

проведена за допомогою термогравіметричного аналізатора (дериватографа) Q-1500D системи F. Paulik – J. Paulik – L. Erdey, що реєструє зміни маси і термічні зміни випробуваного матеріалу під впливом температури. У якості еталонної речовини був використаний прожарений до 1500°C оксид алюмінію.

Результати дослідження та їх обговорення.

Термічне розкладання трьохрічної деревини досліджуваних рослин відбувається відповідно двом процесам: процесу розкладання летких сполук і руйнуванню основних компонентів: геміцелюлози, целюлози і лігніну (табл.1).

Перший період випаровування води та розкладання легколетких компонентів протікає в температурному діапазоні 50-180°C і характеризується низькими швидкостями і відсотком втрати ваги. Процес супроводжується ендотермічними реакціями, на кривих ДТГ спостерігається один пик деструкції. Точка екстремуму спостерігається у межах від 90°C (тополя, верба, маслинка) до 110°C (павловнія).

1. Характеристики термічного розкладання деревини

Маслинка								
Стадія	ЛС+ЧБГ				СЗГ			
	Інтервал, °C	Точка екстремуму, °C	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, °C	Точка екстремуму, °C	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	50-170	90	11,2	8,0	30-180	90	17,8	15,0
II	170-280	270	32,8	24,6	180-280	270	27,6	21,6
III	280-360	290	32,8	28,8	280-360	300	37,4	32,8
IV	360-540	400	10,2	33,32	360-490	380	7,2	23,0

Тополя								
Стадія	НШЧ				СЗГ			
	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	50-160	90	10,6	7,8	60-160	90	9,4	5,8
II, III	160-400	300	33,0	60,6	160-390	300	42,0	61,2
IV	400-550	440	8,4	23,4	390-550	440	11,4	25,8
Верба					Айлант			
Стадія	ЛС+ЧБГ				ЛС+ЧБГ			
	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	60-190	90	10,8	8,4	50-180	100	7,6	5,05
II, III	190-390	300	39,4	59,4	180-420	320	38,4	64,64
IV	390-540	450	10,8	23,2	400-590	460	9,2	24,6
Павловія								
Стадія	НШЧ				ЛС+ЧБГ			
	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, °С	Точка екстремуму, °С	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	60-160	110	5,6	4,82	60-190	110	7,4	5,4
II, III	160-360	270	41,8	59,7	190-400	270	46,2	67,6
IV	360-560	360	6,4	29,55	400-560	410	6,6	21,4

Другий період розпаду основних компонентів деревини (геміцелюлози, целюлози та лігніну) характеризується екзотермічними реакціями так само складається з трьох етапів.

Деревина верби та тополі має схожий хімічний склад та схожий процес термічної деструкції. Діапазони розкладання геміцелюлози та целюлози частково перекриваються, тому на кривих ДТГ проявляється тільки один пік за температури 300°C. Втрата ваги на цьому етапі складає 59,4-61,2%.

Розкладання лігніну і утворення негорючого залишку відбувається в температурному діапазоні 390-550°C зі слабким піком на рівні 440-450°C.

Як у випадку з вербою та тополою, основне розкладання геміцелюлози айланту збігається з початком розпаду целюлози, тому в інтервалі деструкції холоцелюлози спостерігається тільки єдина точка екстремуму. Однак вона спостерігається за більш високою температурою – 320°C та втрата ваги на цьому етапі трохи більша та

складає 64,4%. Розпад лігніну триває у діапазоні 400-590°C без яскраво виражених піків.

Діапазони стадій деструкції геміцелюлози та целюлози у деревини павловнії також частково перекривалися. Єдиний пік деструкції спостерігався за температури 270°C, а максимальна швидкість розкладання була найвищою серед досліджуваних видів та складала 42-46%/хв. Етап розкладання лігніну проходив досить повільно. Найбільша швидкість складала 6,4-6,6%/хв.

На відміну від інших видів, термоліз деревини маслинки мав чітко виражені стадії розкладання основних компонентів. Розкладання геміцелюлози відбувалося у діапазоні температур 170-180°C з екстремальною точкою 270°C, руйнування целюлози в діапазоні 280-360°C з піком в інтервалі температур 290-300°C і розкладання лігніну без виражених піків.

Спостерігалися відмінності в теплових характеристиках рослин, що зростали на різних технозомах. Так, термоліз деревини маслинки, зростає на сіро-зеленій глині, починався та

закінчувався за більш низьких температурах, ніж деревині на технічній суміші (ЛС+ЧБГ). Процеси на початковому етапі тривали швидше на 59,0%, втрачання ваги збільшувалося на 87,5%. На стадії розкладання основних компонентів геміцелюлоза і лігнін розкладалися з меншою швидкістю, а целюлоза, навпаки, з більшою (рис. 1). Також повнота згоряння була меншою – частка залишкової маси складала 7,6% проти 5,3% на суміші ЛС+ЧБГ.

Деревина тополі мала помітні відмінності в швидкості розкладання холоцелюлози. У деревині, вирощеної на сіро-зеленій глині вона була на 27,3% більше, ніж у деревини рослин на чорноземі (рис.2). Також, згоряння сировини, зібраної на цьому субстраті було більш повним, відсоток залишкової маси склав 7,2%, тоді як на чорноземі 8,2%.

У випадку з павловнією етап випаровування води та розкладання легколетких компонентів був коротшим у варіанті з насипним шаром чорнозему. Однак швидкість цього процесу була вищою у деревині, ви-

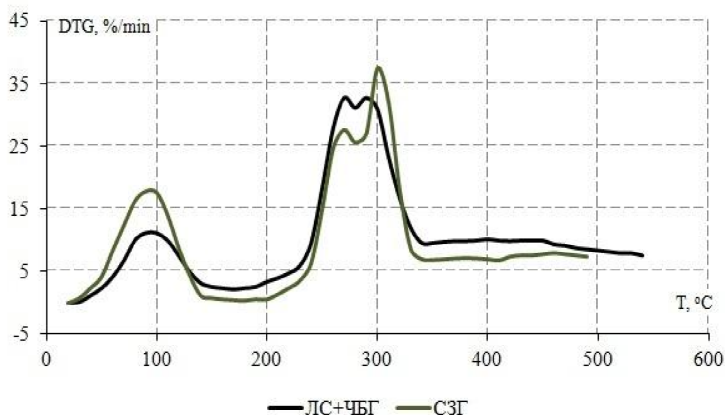


Рис. 1. ДТГ криві термічної деструкції деревини маслинки на різних типах гірничих субстратів

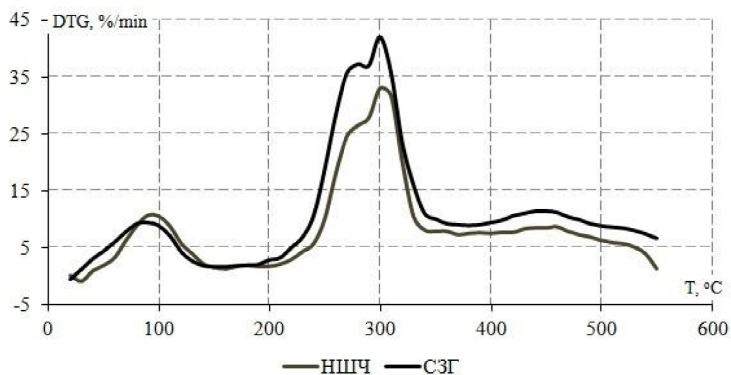


Рис. 2. ДТГ криві термічної деструкції деревини тополі на різних типах гірничих субстратів

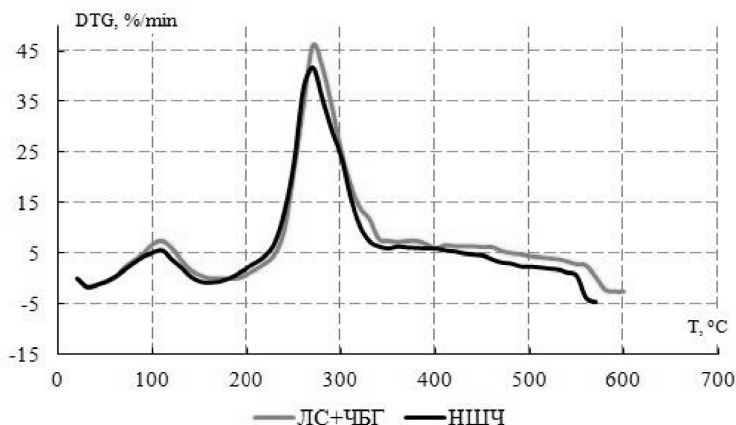


Рис. 1. ДТГ криві термічної деструкції деревини маслинки на різних типах гірничих субстратів

рощеної на технічній суміші (рис.3).

У варіанті на технічній суміші, тривалість процесу деструкції холоцелюлози була більше, швидкість вище. Відсоток втрати ваги також був більшим – 67,6% проти 59,7%. Процес розкладання лігніну у варіанті з технічною сумішшю був коротшим та пік деструкції був зсунутий у бік більш високих температур. Втрата ваги (21,4%) була меншою, ніж у варіанті з чорноземом (29,55%). Повнота згоряння деревини була майже

однаковою на обох субстратах, частка залишкової маси становила 5,6% (ЛС+ЧБГ) та 5,9% (НШЧ).

Висновки і перспективи.

Термічний розпад холоцелюлози маслинки відбувається з двома яскраво вираженими точками екстремуму. У тополі, верби, павловнії та айланту в цій області спостерігається тільки один пік, оскільки розкладання геміцелюлози відбувається за більш висо-

ких температур і її точка екстремуму перекивається піком деструкції целюлози.

Специфіка техноземів, на яких зростали досліджені рослини, впливає на теплові характеристики деревини. Змінення проявляються у швидкості проходження реакцій, вмісту легколетких компонентів та змінності зольності деревини. Найбільш яскраві відмінності були відмічені для деревини маслини та тополі.

References

1. Brostow W. Combustion properties of several species of wood / W.Brostow, K.P.Menard, N Menard // *Chem. Technol.* – 2009– Vol.3(3). – P.173–176.
2. Feng Q. Marginal land suitability for switchgrass, *Miscanthus* and hybrid poplar in the Upper Mississippi River Basin (UMRB) / Q.Feng, I.Chaubey, B.Engel, R.Cibin, K.P. Sudheer, J.Volenec // *Environmental Modelling & Software.* – 2017. – Vol.93. – P.356–365. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.027>.
3. Gelfand I. Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest / I. Gelfand, R. Sahajpal, X. Zhang, C. Izauralde, K.L. Gross, G.P.Robertson // *Nature.* – 2013. – Vol. 493. – P. 514–517. <https://doi.org/10.1038/nature11811>
4. González Martínez M. Impact of biomass diversity on torrefaction: Study of solid conversion and volatile species formation through an innovative TGA-GC/MS apparatus / M. González Martínez, C. Dupont, S.Thiéry, X.-M. Meyer, C. Gourdon // *Biomass and Bioenergy.* – 2018. – Vol. 119. – P.43–53.
5. Khalil R.A. Thermal analysis of energy crops / R.A.Khalil, E.Mészáros, M.G.Grønli, G. Várhegyi, I. Mohai, B.Marosvölgyi, J.E.Hustad // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* – 2008. – Vol.81. – P.52–59.
6. Larabi C. Monitoring pine wood thermolysis under hydrogen atmosphere by in situ and ex situ techniques / C. Larabi, W. Al Maksoud, K.C.Szeto, O.Boyron, A. Roubaud, P. Castelli, J.J.Walter // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* – 2013. – Vol.100. – P.81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.11.022>
7. Liu S. A sustainable woody biomass biorefinery / S.Liu, H. Lu,R. Hu, A. Shupe, L. Lin, B. Liang // *Biotechnology Advances.* – 2012. – Vol.30. – 785–810.
8. Lyytimäki J. Burning wet wood: varieties of non-recognition in energy transitions / J. Lyytimäki // *Clean Technologies and Environmental Policy.* – 2019. – Vol.21. – P.1143–1153.
9. Poletto M. Thermal decomposition of wood: Kinetics and degradation mechanisms / M. Poletto, A.J. Zattera, R.M.C. Santana // *Bioresource Technology.* – 2012. –Vol.126. – P.7–12.
10. Prins M.J. Torrefaction of wood: Part 1. Weight loss kinetics / M.J. Prins, K.J. Ptasinski, F.J.J.G. Janssen // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* – 2006. – Vol.77(1). – P.28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2006.01.002>
11. Rodrigues A. Relationship between soil chemical composition and potential fuel quality of biomass from poplar short rotation coppices in Portugal and Belgium / A. Rodrigues, S.P.P. Vanbeverem, M.Costa, R. Ceulemans // *Biomass and Bioenergy.* –2017. – Vol.105. – P.66–72.
12. Saha M., Eckelman M.J. Geospatial assessment of potential bioenergy crop production on urban marginal land / M. Saha, M.J.Eckelman // *Applied Energy.* – 2015. – Vol.159. – P.540–547. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.021>
13. Schweier J., Becker G. Economics of poplar short rotation coppice plantations on marginal land in Germany / J.Schweier, G.Becker // *Biomass and Bioenergy.* – 2013. – Vol.59. – P.494–502. <https://doi.org/10.1016/j.bbe.2013.05.002>

- org/10.1016/j.biombioe.2013.10.020.
14. Sebio-Puñal T. Thermogravimetric analysis of wood, holocellulose, and lignin from five wood species / T. Sebio-Puñal, S. Naya, J. López-Beceiro, J.Tarrio-Saavedra, R. Artiaga // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2012. – Vol.109. – 1163–1167.
15. Shen D. K. Kinetic study on thermaldecomposition of woods in oxidative environment / D. K. Shen, S.Gu, K. H. Luo, A.V. Bridgwater, M. X. Fang // Fuel. – 2009. – Vol.88. – P. 1024–1030. doi:10.1016/j.fuel.2008.10.034
16. Walkowiak M., Bartkowiak M. The kinetics of the thermal decomposition of the willow wood (*Salix viminalis* L.) exposed to the torrefaction process / M.Walkowiak, M. Bartkowiak // *Drewno: prace naukowe, doniesienia, komunikaty*. – 2012. – Vol. 55. – C.37–49.

M.M. Kharytonov, N.V. Martynova, I.V. Rula, M.G. Babenko (2022).

THERMAL ANALYSIS OF SWITCHGRASS (*PANICUM VIRGATUM* L.) GROWN ON RECLAIMED LANDS.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 27-34.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16263>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.002](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.002)

Abstract. Fast growing tree crops respond the agronomic, ecological and social parameters associated with successful use as an energy source. The chemical composition of wood determines its bioenergetic quality. However, growth conditions can also significantly affect the thermal behavior of raw materials. In this regard, the features of thermal destruction of willow, poplar, oleaster, ailanthus and paulownia grown on different variations of phytomeliorated substrates left after the extraction of manganese ore were studied. Thermolysis of the studied species occurred within the temperature range of 30-60°C–490-590°C. In oleaster wood, all four stages of degradation are clearly expressed, while in other species, the ranges of decomposition of hemicellulose and cellulose partially overlap. The specificity of technozems, on which the studied plants grew, affects the thermal characteristics of wood. Changes are manifested in the rate of reactions, the content of volatile components and the change in the ash content of wood. Volatile components are most sensitive to environmental conditions. They, in turn, affect the rate of reactions and the heat resistance of wood. Among the studied species, the most pronounced differences were noted for the wood of oleaster wood and poplar.

Key words. woody energy plants, reclaimed land, post-mining substrates, thermolysis

ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ЗМІНИ РОСЛИН ТОМАТІВ ЗА БАКТЕРІАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ

В.А. БОГОСЛАВЕЦЬ,

аспірант,

<https://orcid.org/0000-0002-6625-691X>

Н.Г. НЕСТЕРОВА,

доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики,

<https://orcid.org/0000-0001-8366-2621>

Ю.В. КОЛОМІЄЦЬ,

професор кафедри екобіотехнології та біорізнноманіття,

<http://orcid.org/0000-0002-1919-6336>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Л.М. БУЦЕНКО,

старший науковий співробітник,

<http://orcid.org/0000-0002-3575-4289>

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України

E-mail: julyja12345@gmail.com

Анотація. Помідор (*Lycopersicon esculentum* L.) є однією з найважливіших овочевих культур, що широко вирощуються в усьому світі. Проте глобальна економічна продуктивність цієї культури обмежується цілою низкою фітопатогенів. Бактеріальна крапчастість і м'яка гниль томатів, що викликається видами *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* і *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, є одними з найбільш поширених бактеріальних захворювань, що призводять до значних втрат і знижують як якість, так і кількість плодів та погіршують харчову цінність томатів. Рослини томатів уражуються даними збудниками впродовж усього вегетаційного періоду, ураження характеризується хлорозами, некрозами та гнилями.

Метою роботи був аналіз впливу на фізіолого-біохімічні показники паростків томатів ураження збудниками *P. syringae* pv. *tomato* та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*.

Встановлено, що штами *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 спричиняють зниження енергії проростання та схожості насіння томатів сорту Чорний принц, Північна королева, Загадка та Ляна на 30-

40 % порівняно з контролем. За аналізом фізіолого-біохімічних показників найбільш стійкий до збудників *P. syringae* pv. *tomato*, *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* сорт Північна королева. Обробка рослин томатів суспензією досліджуваних штамів зумовлює зменшення вмісту хлорофілів в проростках на 58-93 %. За співвідношенням хлорофілу *a/b* встановлено, що вищою стійкістю до бактеріального ураження володіють сорти Північна королева та Чорний принц. За впливу клітинних суспензій *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 відмічено зміни активності ферментів антиоксидантної системи в проростках томатів, що свідчить про зниження окисних процесів клітин.

Ключові слова: *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, томати, хлорофіл, антиоксидантні ферменти

Вступ.

Томат – однорічна, трав'яниста культура родини Пасльонових, широко поширена в Україні та світі (Kornienko S.I., Rud V.P., 2015). Рослини томатів у процесі онтогенезу проходять декілька фаз, зокрема, появу сходів, першого справжнього листка, розростання надземної маси й коренів, утворення бруньок, цвітіння, формування й дозрівання плодів. За сприятливих умов у рослин у перші 2-3 тижні після сходів переважає ріст кореневої системи та повільне збільшення сім'ядольних листків (Akhatov A.K. et al., 2013). Причиною втрат врожаю томатів є ураження збудниками різної етіології, яке проявляється на різних етапах росту та розвитку. Втрати врожаю через ураження томатів збудниками бактеріальних хвороб можуть сягати 45% (Bohoslavets V.A. et al., 2020). Основними бактеріальними хворобами, які завдають значної шкоди посівам томатів є м'яка гниль томатів – збудник *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* та бактеріальна крапчастість – збудник *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*.

На початкових етапах ураження

збудник *P. syringae* pv. *tomato* виділяє ферменти, які спричиняють розпад целюлозних та пектинових речовин ураженої рослини, в результаті відбувається закупорення ксилемних судин (Drenova N.V. et al., 2013). Спостерігається розвиток хлоротичних і некротичних ділянок, зниження продукції фотосинтетичних асимілятів у проростках, що призводить до загибелі сходів. У фазі появи першого справжнього листа на краях відбувається утворення маслянистих плям, які просвічуються (Butsenko L. et al., 2017). Під час розростання рослини плями досягають 2 – 3 мм та мають жовтуватий або бурий ореол. На пізніх стадіях розвитку плями зливаються, листя скручується і відмирає. Рідше аналогічні симптоми з'являються на стеблах, живцях, пелюстках віночка та плодах (Kolomiets J.V. et al., 2017).

Одним із факторів патогенності збудника м'якої гнилі *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* є синтез пектиназ, які руйнують пектинові речовини серединних пластинок клітинних стінок рослин. У разі ураження молодих рослин до фази 5-го справжнього листка, а також сянців бактерії

P. carotovorum subsp. *carotovorum* зумовлюють симптоми чорної ніжки

томата. Чорна ніжка проявляється впродовж усього періоду вегетації (Naas H. et al., 2018). Ураження рослин томатів у фазі сходів призводить до загибелі значної частини рослин, у фазі цвітіння можуть уражуватися окремі стебла, водночас решта куща вегетує, утворюючи інфіковані дрібні плоди. Уражені тканини стебла мають темно-коричневе або чорне забарвлення, симптоми розвиваються на прикореневій частині. На хворих рослинах жовтіють та скручуються листки й поступово засихають. Уражені рослини відстають у рості, листки на верхівці стебла зближуються, утворюється так звана скупчена верхівка (Garg A., Singh S. 2016).

Відомо, що в результаті бактеріального ураження у рослин розвивається окислювальний стрес як наслідок порушення балансу генерації активних форм кисню (АФК) і роботи антиоксидантної системи (Wang Y. et al., 2018). З відкриттям сигнальної і захисної ролі АФК особлива увага надається оксидоредуктазам, що регулюють їх рівень в клітині. Первинним бар'єром проти АФК виконує супероксиддисмутаза (СОД), яка каталізує дисмутацію радикалів $O_2^{\cdot-}$ і перешкоджає перетворенню супероксидного аніон-радикалу на гідроксильний радикал, що має високу токсичність. СОД служить акцептором вільних кисневих радикалів, що гальмує перекисне окиснення ліпідів та білків (Cantu D. et al., 2008).

Споживання молекулярного кисню клітинами супроводжується утворенням проміжних продуктів, такі як супероксид-аніон радикал ($O_2^{\cdot-}$), перекис водню (H_2O_2), і гідроксильний радикал ($HO^{\cdot}$). Перекис водню, в свою чергу, піддається дії каталази, яка перетворює H_2O_2 на кисень і воду.

У рослинах ізоформи каталази, локалізовані в пероксисомах та гліоксисомах клітин рослин. Крім того, відомо, що каталази у патогенній системі можуть ініціювати систему сумісності, знижуючи високі концентрації АФК, що продукуються рослиною як захисний механізм (Meena M. et al., 2016).

Наступним важливим ферментом антиоксидантної системи рослин є пероксидаза, яка є поліфункціональним ферментом і бере участь в окисно-відновних реакціях фотосинтезу, процесах дихання, метаболізмі білків і регулюванні ростових процесів рослини, що дозволяє їй оперативно реагувати на інфікування фітопатогенами. Пероксидаза утилізує АФК у реакціях полімеризації фенольних сполук з утворенням лігніну. Безпосередню участь в синтезі лігніну, що обмежує надходження поживних речовин до патогена в зоні його проникнення в тканини рослини, приймають участь аніонні пероксидази (Panstruga R. et al., 2009). У літературі зустрічається безліч даних щодо ролі антиоксидантної системи рослин в захисних механізмах томатів до бактеріального ураження, але питання залишається відкритим.

Метою дослідження є аналіз впливу на фізіолого-біохімічні показники паростків томатів ураження збудниками *P. syringae* pv. *tomato* та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*.

Матеріали та методи.

Матеріалом дослідження слугували штами *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207, виділені в господарствах Київської області з уражених рослин томатів, сорти томата української селекції Північна коро-

лева, Чорний принц, Загадка, Ляна, які характеризуються різною стійкістю до грибних хвороб.

Для виявлення дії штамів на енергію проростання і схожість насіння томатів замочували у клітинній суспензії штамів *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 1x10⁷ КУО/мл, за температури 20–22 °С, контроль – стерильна вода (Patyka V. et al., 2019). Визначали кількість пророслого насіння на 3, 5, 10 і 14 добу, масу та довжину сформованих проростків – на 14 добу. Кількість насіння, яке наклюнулось на 3-5 добу (перший облік) вважали за лабораторну енергію проростання, а які проросли через 10-14 діб (другий облік) – за схожість. Під час першого обліку візуально враховували наявність у насіння грибної і бактеріальної інфекції: обростання насіння міцелієм грибів або наявність на насінні бактеріального слизу або ексудату. Під час другого обліку проводили підрахунок насіння, що проросло, вимірювали довжину пагонів і корінців, а також підраховували індекс кореня (ІК) та індекс пагона (ІП):

$$\text{ІК} = \text{ДКК} / \text{ДКД} \times 100\%,$$

де ДКД – довжина кореня у досліді; ДКК – довжина кореня у контролі;

$$\text{ІП} = \text{ДПК} / \text{ДПД} \times 100\%,$$

де ДПД – довжина пагона у досліді; ДПК – довжина пагона у контролі.

Концентрацію хлорофілів у проростках рослин сортів томата визначали спектрофотометрично. Оптичну густину екстрактів вимірювали на сканувальному спектрофотометрі Optizen POP (Південна Корея), вміст

хлорофілу а за довжини хвилі 662 нм і хлорофілу b – 644 нм. Кількісний вміст хлорофілів розраховували за формулами Х. М. Починка (Pochinok H.N., 1976).

Активність пероксидази (КФ 1.11.1.7) визначали за методом А.М. Бояркіна, який базується на визначенні швидкості реакції окиснення бензидину до утворення продукту окиснення синього кольору. Наважку рослинного матеріалу масою 200–500 мг розтирали у фарфоровій ступці з водою або ацетатним буфером рН=5,4 і переносили у мірну колбу на 50 мл. Після 10 хв настоювання витяжку центрифугували за частоти 4000 об/хв. Вимірювання проводили з використанням червоного світлофільтра за довжини хвилі 590 нм. Активність пероксидази виражали в умовних одиницях густини на 1 г сирі маси за хвилину.

Вміст супероксиддисмутази (КФ 1.15.1.11) визначали за ступенем інгібування відновлення нітросинього тетразолію (НСТ) в присутності нікотинамідаденіндинуклеотиду (NADH) та феназинметасульфату (ФМС). До складу реакційної суміші входили 1,2 мл 0,15 М фосфатного буфера (рН – 7,8), 0,1 мл 0,160 мМ розчину ФМС, 0,3 мл 0,610 мМ розчину НСТ, 0,2 мл 1 мМ розчину NADH. Супернатант додавали до інкубаційної суміші в кількості 0,3 мл. Реакцію активували додаванням NADH і зупиняли через 1 хв додаванням 1 мл льодяної оцтової кислоти. Інтенсивність забарвлення вимірювали за довжини хвилі 540 нм. Активність виражали в умовних одиницях на 1 г сирі маси за хвилину (Ermakov A.I., 1982).

Активність каталази визначали титриметричним методом, заснованим на урахуванні кількості перокси-

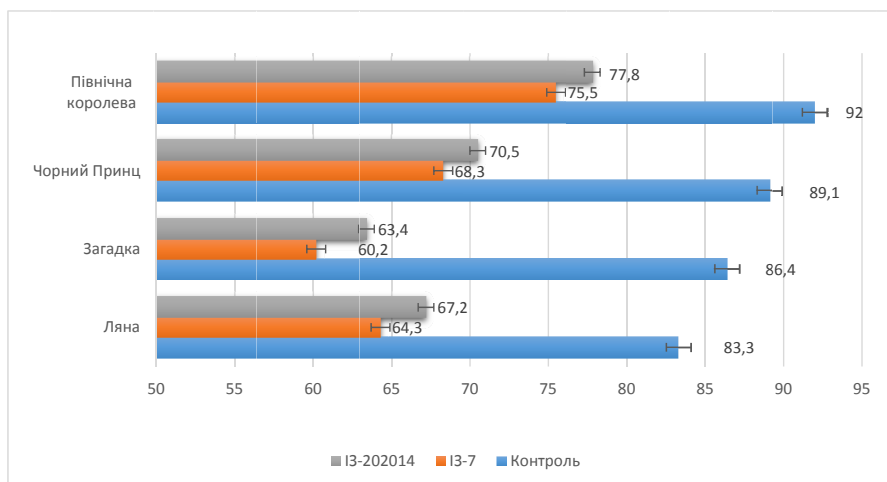


Рис. 1. Енергія проростання насіння досліджуваних сортів томатів на 7 добу.

ду водню, розкладеного під дією ферментного препарату. Час інкубації – від 20 до 30 хв. За різницею між контрольним та дослідним титруванням визначали кількість пероксиду водню, розкладеного за час інкубації, в розрахунку на 1 г вихідної рослинної речовини. Активність каталази виражали у мкМ за хвилину на 1 г сирової маси (Ермаков А.І., 1982).

Статична обробка даних включала визначення середніх арифметичних, їх стандартні відхилення за допомогою програми Microsoft Excel. Достовірність відмінностей ($p \leq 0,05$) оцінювали за t-критерієм Стюдента.

Результати та обговорення.

Загальноприйнятою є оцінка проростання насіння та ріст проростків (Bolwell G.P. et al., 2002), оскільки найбільш чутливими до бактеріального стресу є початкові етапи онтогенезу рослин (Asma A. et al., 2015). З огляду на це, ми провели дослідження впливу клітинної суспензії шта-

мів *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 на енергію проростання і схожість насіння досліджуваних сортів томатів.

Встановлено, що енергія проростання насіння усіх сортів томатів на 7 добу в контролі становила 83,3–92,0 % (рис. 1).

У варіантах за обробки суспензією клітин *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 виявлено зниження енергії проростання насіння сортів томата від 60,2 до 75,5%, *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 – 63,4–77,8%. Енергія проростання насіння сорту Загадка за обробки клітинами штамів була найменшою, тоді як для сорту Північна королева енергія проростання сягала 75,5 % за обробки *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207, та 77,8 – *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014.

Схожість насіння як один з основних показників якості насіннєвого матеріалу значно впливає на врожайність. Досліджувані сорти

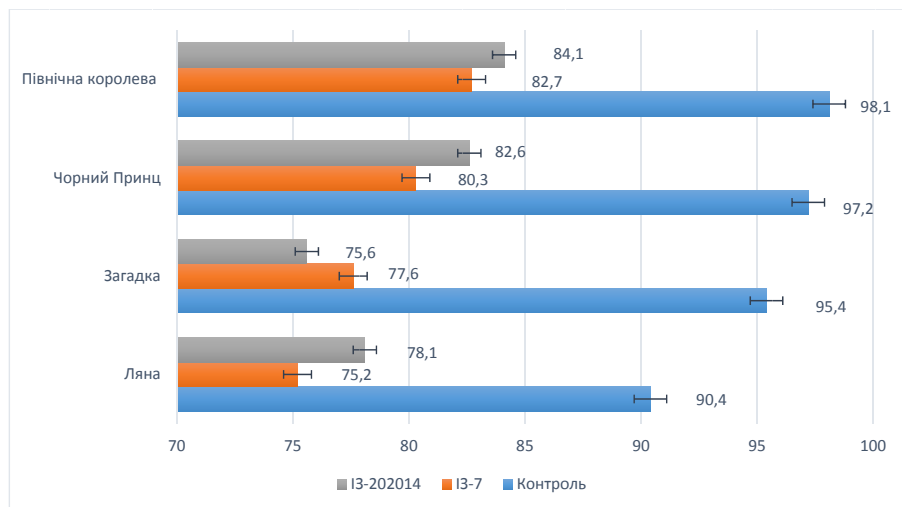


Рис. 2. Схожість насіння сортів томатів на 10 добу, %.

томата в контролі характеризувалися високою лабораторною схожістю, яка коливалася в межах від 90,4 до 98,1%. За обробки суспензією клітин *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 і *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 на 10 добу схожість насіння для даних сортів знизилася і становила 75,2-82,7 та 75,6-84,1 відповідно (рис. 2). Отже досліджувані сорти виявилися чутливими до збудників бактеріальної крапчастості і м'якої гнилі томатів.

За результатами вивчення впливу живих клітин штамів на енергію проростання і схожість насіння томатів досліджені сорти можна розділити на дві групи. Найбільш чутливими до збудника є сорти Загадка і Ляна. Найбільш стійким є сорти томатів української селекції Північна королева і Чорний принц.

Встановлено також пригнічення росту проростків рослин томатів досліджених сортів за оброблення насіння суспензією живих клітин *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*

IZ207 і *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 (табл. 1).

Живі клітини *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 найбільшою мірою знижували індекс кореня і пагона томатів досліджуваних сортів. Довжина корінця паростків за оброблення насіння чотирьох сортів живими клітинами *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 становила 16-55% від контролю (табл. 1). Сорти характеризувалися помірною чутливістю до збудника м'якої гнилі. Довжина кореня за оброблення насіння сортів живими клітинами *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 зменшувалася на 5-37% порівняно із контролем (рис. 3).

Індекс пагона є більш стабільною характеристикою, а його зміна має виражену сортову специфіку. Нами відмічено підвищену стійкість сорту Чорний принц (ІП – 71-95 %) до збудників м'якої гнилі та бактеріальної крапчастості томатів.

Обробка насіння живими клітинами бактерій призводила до змен-

1. Вплив штамів фітопатогенних бактерій на формування проростків томатів на 7 та 14 добу

Сорт	Варіант (штам)	7 доба		14 доба	
		Індекс кореня, %	Індекс пагона, %	Індекс кореня, %	Індекс пагона, %
Загадка	Контроль	100	100	100	100
	IZ202014	67	63	68	62
	IZ207	73	86	73	81
Ляна	Контроль	100	100	100	100
	IZ202014	45	46	44	53
	IZ207	79	63	42	52
Північна королева	Контроль	100	100	100	100
	IZ202014	79	72	83	63
	IZ207	59	74	61	67
Чорний принц	Контроль	100	100	100	100
	IZ202014	66	81	78	71
	IZ207	86	95	93	76

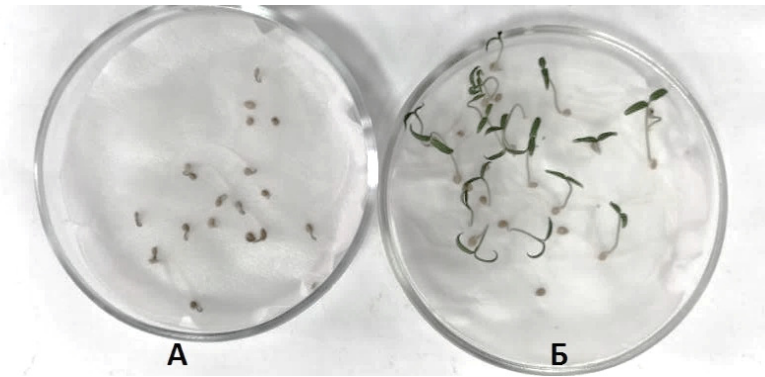


Рис. 3. Вплив *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* на рослини томатів сорт Ляна на 7 добу (А- IZ202014, Б- контроль)

шення сирої маси проростків порівняно з контролем (табл. 2). Величина зниження маси залежала від штаму: в варіантах з *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 показники були суттєво нижчі, ніж в варіанті з *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014.

Симптоми хвороби на проростках спостерігали на 10 добу після

обробки насіння живими клітинами збудника м'якої гнилі у вигляді первинних некрозів, які утворювалися в нижній частині стебла. Пошкоджені стебла ставали темно-бурими, на 14 добу починалася мацерація клітин. Збудник спричиняв потемніння судинної системи, ураження паренхіми та загибель сходів. За дії збудника

2. Маса проростків сортів томатів за дії штамів фітопатогенних бактерій

Сорт	Варіант (штам)	Маса проростків, мг	
		7 доба	14 доба
Загадка	Контроль	100±0,2	180±1,2
	IZ202014	53±1,2*	80±0,6*
	IZ207	42±0,1*	65±0,5*
Ляна	Контроль	52±1,2	72±0,2
	IZ202014	30±0,7*	42±0,7*
	IZ207	31±0,8*	45±0,8*
Північна королева	Контроль	46±1,2	67±0,9
	IZ202014	36±0,3*	50±0,1*
	IZ207	34±0,7*	49±0,6*
Чорний принц	Контроль	38±0,2	61±0,2
	IZ202014	28±0,7*	45±0,2*
	IZ207	31±0,1*	52±2,0*

Примітка: * – зазначено статистично достовірні відмінності між експериментом і контролем ($p < 0,05$)

бактеріальної крапчастості зазначали типові симптоми, зокрема утворення некротизованих та хлорозних ділянок, які були оточені жовтою окантовкою, уражені зони зливалися, листки скручувалися і відмирили (рис. 4).

Проникнення в тканини збудників бактеріозів спричиняє зміни



Рис. 4. Симптоми рослин томатів сорту Загадка за ураження *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* на 14 добу

інтенсивності дихання і фотосинтезу і активності ряду окисно-відновних ферментів. У здорових рослинах ефективність проходження процесу фотосинтезу залежить від кількісного вмісту зелених пігментів у листках та співвідношення їхніх форм (Filimon R.V. et al., 2016). Співвідношення вмісту хлорофілу а до хлорофілу b визначає структурну організацію хлоропластів і потенціал адаптації рослини до бактеріального ураження.

Для вивчення змін фотосинтетичного апарату томатів за дії збудників бактеріальної крапчастості і м'якої гнилі ми дослідили концентрації хлорофілів у листках дослідних рослин. Уміст хлорофілу а в листках томатів досліджуваних сортів за обробки суспензії клітин *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 знижувався на 2,47–19,80%, за обробки суспензії клітин

P. carotovorum subsp. *carotovorum* IZ207 – 6,53–29,87% (табл. 3).

3. Уміст пігментів в проростках томатів під дією фітопатогенних бактерій

Варіант (штам)	Хлорофіли, мг/г		Сума хлорофілів	a/b
	а	б		
Сорт Ляна				
Контроль	6,04±0,05	2,55±0,02	8,92±0,02	2,10
IZ202014	5,12±0,04*	1,73±0,04*	6,85±0,03*	2,96
IZ207	4,86±0,02*	1,70±0,03*	6,56±0,01*	2,86
Сорт Чорний принц				
Контроль	6,28±0,06	2,75±0,07	9,03±0,01	2,28
IZ202014	5,98±0,04*	2,34±0,03*	8,32±0,05*	2,55
IZ207	5,87±0,05*	2,23±0,02*	8,10±0,02*	2,63
Сорт Загадка				
Контроль	5,86±0,01	2,52±0,03	8,38±0,03	2,33
IZ202014	4,70±0,06*	1,66±0,02*	6,36±0,02*	2,83
IZ207	4,11±0,09*	1,52±0,03*	5,63±0,04*	2,70
Сорт Північна королева				
Контроль	6,08±0,06	2,88±0,02	8,63±0,02	2,38
IZ202014	5,93±0,04*	2,28±0,03*	8,21±0,04*	2,60
IZ207	5,40±0,03*	2,02±0,01*	7,42±0,03*	2,67

Примітка: * – зазначено статистично достовірні відмінності між експериментом і контролем ($p < 0,05$)

У листках проростків томатів за дії суспензії клітин *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 концентрація хлорофілу b зменшувалася на 10,59-38,55 %, тоді як за дії *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 – 11,51-40,98 %.

Проростки більшості вищих рослин містять хлорофілу a вдвічі більше, ніж хлорофілу b (Song G., Wang Q., 2022). Чим вищий вміст хлорофілу b у листках рослин, тим вищим є їхній адаптивний потенціал до бактеріального ураження та стабільніша пігментна система. Найвищим співвідношенням хлорофілу a/b, а відповідно й найнижчою стійкістю до досліджуваних штамів, характеризуються сорти Ляна та Загадка; вищою стійкістю до бактеріального уражен-

ня відзначаються сорти Північна королева та Чорний принц.

Одним із найефективніших способів захисту рослин від ураження фітопатогенами є локальна генерація активних форм кисню (окислювальний вибух). Ключову роль у регуляції кількості активних форм кисню відіграє антиоксидантна система, яка запобігає окисленню внутрішньоклітинних органічних речовин. У системній фітостійкості основна функція належить компонентам антиоксидантної системи – пероксидазі, каталазі та супероксиддисмутази. Дія цих ферментів спрямована на зниження рівня окиснювального стресу, що так само запобігає або усуває негативні наслідки його дії.

4. Активність окисних ферментів за дії фітопатогенних бактерій

Варіант	7 доба			14 доба		
	каталаза	супер-оксид-дисмутаза	пероксидаза	каталаза	супер-оксид-дисмутаза	пероксидаза
Сорт Ляна						
Контроль	0,19±0,006	0,49±0,005	0,33±0,003	0,14±0,010	0,44±0,005	0,20±0,051
IZ202014	0,37±0,009*	0,75±0,006*	0,56±0,008*	0,34±0,003*	0,51±0,003*	0,44±0,004*
IZ207	0,35±0,04*	0,60±0,001*	0,49±0,007*	0,33±0,008*	0,52±0,008*	0,40±0,003*
Сорт Загадка						
Контроль	0,16±0,006	0,58±0,001	0,42±0,002	0,15±0,003	0,47±0,001	0,36±0,009
IZ202014	0,25±0,008*	0,76±0,002*	0,60±0,005*	0,17±0,003*	0,52±0,005*	0,53±0,005*
IZ207	0,23±0,002*	0,74±0,007*	0,48±0,008*	0,18±0,002*	0,55±0,003*	0,41±0,004*
Сорт Чорний принц						
Контроль	0,18±0,005	0,44±0,005	0,33±0,003	0,17±0,010	0,38±0,004	0,19±0,051
IZ202014	0,60±0,003*	0,47±0,004*	0,60±0,003*	0,40±0,003*	0,44±0,003*	0,46±0,002*
IZ207	0,68±0,004*	0,56±0,001*	0,46±0,005*	0,43±0,001*	0,50±0,001*	0,54±0,003*
Сорт Північна королева						
Контроль	0,20±0,006	0,56±0,004	0,45±0,002	0,16±0,001	0,53±0,001	0,34±0,005
IZ202014	0,65±0,008*	0,68±0,002*	0,59±0,003*	0,45±0,004*	0,51±0,004*	0,60±0,004*
IZ207	0,68±0,002*	0,72±0,004*	0,62±0,005*	0,38±0,002*	0,55±0,003*	0,56±0,002*

Примітка: * - зазначено статистично достовірні відмінності між експериментом і контролем ($p < 0,05$)

За дії суспензії клітин *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 на 7 добу каталазна активність у листках проростків досліджуваних сортів достовірно підвищується в 1,13–5,41 раза, за дії *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 – 1,07–5,66 раза (табл. 4). На 14 добу підвищення каталазної активності не перевищувало в 3,2 раза.

Установлено зростання активності супероксиддисмутази у листках проростків томатів за дії суспензії клітин *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 в 1,18–1,37 рази. Найсуттєвіше цей показник збільшується для сорту Північна королева внаслідок дії живих клітин *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207.

Пероксидазна активність за дії суспензії клітин *P. syringae* pv. *tomato*

IZ-2022014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 в листках проростків досліджуваних сортів томата підвищується на 7 добу в 1,14–1,81 рази та дещо знижується на 14 добу експерименті і контролі, що свідчить про активну утилізацію АФК в перші 3–7 діб, потім необхідність у пероксидазі відпадає і вона починає знижуватися.

Причому підвищення активності ферментів не було однаковим у рослин з різним ступенем стійкості до збудників, що вказує на більшу стійкість мембран і ефективність дії антиоксидантних систем у сорту томата Північна королева за бактеріального стресу.

Аналіз рівня антиоксидантних ферментів у відповідь на бактеріальне ураження вказує на активацію

захисного потенціалу рослин томатів. У роботах (Dumanović J. et al., 2021), індукція синтезу пероксидаз, супероксиддесмутаза та каталазу відіграє основну роль у формуванні стійкості рослин до збудників бактеріальних хвороб завдяки регуляції рівня АФК. Згідно з даними Yang W. та інших (Yang W., Francis D.M. 2006) активність антиоксидантних ферментів можна використовувати як маркер стійкості рослин до патогенів.

Останнім часом причиною втрати врожаю томатів є ураження збудниками бактеріальних хвороб, особливо на початкових етапах онтогенезу (Kolomiets J.V. et al., 2017). За бактеріального ураження рослини томатів затримуються в рості, зменшується кількість плодів, погіршується якість продукції та знижується врожайність. Активація окислювальних процесів є основною захисною реакцією на ураження патогенами. Ключову роль у запобіганні пошкодженням окисного характеру відіграють універсальні та найважливіші для рослин ферментативні та неферментативні системи деструкції АФК. Антиоксидантна система включає антиоксидантні ферменти та низькомолекулярні сполуки (Nikoo F.S. et al., 2014).

Енергія проростання і абсолютна схожість насіння є основними інтегральними показниками процесів росту та розвитку за умов перетворення зародку у проросток (Kolomiets J.V. et al., 2016). Проростання насіння впливає на отримання своєчасних і дружніх сходів рослин томата. Від неї залежить енергія проростання, тривалість фаз онтогенезу, формування пагонів та наростання вегетативної маси (Kuzmenko V.I., 2015). Проведені дослідження біометричних показників рослин томатів

за дії *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 показали, що в середньому енергія проростання і схожість досліджуваних сортів Північна королева, Ляна, Загадка, Чорний принц знижувалась на 20–25 %, маса проростків – 40 %. Результати досліджень свідчать про негативний вплив фітопатогенних бактерій на біометричні показники рослин, спостереження за розвитком рослин підтверджують необхідність пошуку нових засобів і способів захисту посівів від збудників бактеріальної крапчастості і м'якої гнилі томатів.

Потужність асиміляційного апарату і тривалість його роботи є вирішальними чинниками продуктивності фотосинтезу, який зумовлює кількісні та якісні показники врожаю. Дослідженнями Cannella D. та ін. виявлено тісний зв'язок процесів функціонування фотосинтетичного апарату і фізіологічного стану рослини як індикатора стійкості рослин до фітопатогенів (Cannella D. et al., 2016). За дії фітопатогенів спостерігаються зміни функціонування рослин томатів, які порушують продукційний процес через пригнічення активності меристематичних тканин, що призводить до формування малих за розміром рослин, та недостатньо сформований листковий апарат, що сприяє поширенню збудників (Yang W., Francis D.M. 2006).

У досліджуваних сортів томатів вміст хлорофілів а та коливався в межах 4,40 – 5,92 мг/л, хлорофіл b – 1,59 – 2,28 мг/л. Ураження рослин бактеріальними інфекціями істотно впливає на вміст хлорофілів а і b, який може знижуватися утричі порівняно зі здоровими рослинами (Cannella D. et al., 2016), що є типовою реак-

ція на дію фітопатогенів (Köhl J. et al., 2019). В наших дослідженнях за обробки *P. syringae* pv. *tomato* та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* спостерігалось зниження хлорофілу а та б на 10–40 %, що свідчило про нестабільну роботу фотосинтетичної системи та призводило до в'янення проростків рослин томатів.

Вплив фітопатогенних бактерій спричиняє у рослин розвиток окисного стресу, який так само спричиняє руйнування мембранних білків та зміну активності ферментів й їхніх ізоформ. Ключову роль в регуляції кількості АФК в клітинах відіграє антиоксидантна система захисту, основна функція якої полягає в уповільненні і запобіганні окиснення внутрішньоклітинних органічних речовин (Nowogórska A., Patykowski J., 2014).

В наших дослідженнях, обробка *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 спричиняла достовірне підвищення активності супероксиддисмутази, каталази та пероксидази в листках рослин томатів. Чисельні дослідження показали, що різні ферменти антиоксидантного захисту беруть участь у захисті рослин під час абіотичного та біотичного стресу (Kholova J. et al., 2009). Ми показали, що висока активність СОД була виявлена у всіх сортів в результаті високого накопичення АФК, оскільки СОД забезпечує першу лінію захисту від окислювального стресу (Meena M. et al., 2016) і бере участь у дисмутації O_2^{2-} в H_2O_2 і O_2 (Treutter D., 2006). Підвищена активність САТ упродовж 7 діб свідчить про видалення надлишку H_2O_2 (Mittler R., 2002). Зниження активності САТ на 14 добу пов'язане з надлишковою продукцією та нако-

пиченням H_2O_2 і це зниження може бути пов'язане з посиленням протеолізом, викликаним пероксисомальними ендопептидазами, індукованими окислювальним стресом (Palma J. M. et al., 2002). Debona D. et al. (2012) порівнювали викликані патогенами біохімічні зміни у стійких (BRS229) та сприйнятливих (BRS18) сортах пшениці та виявили, що активність САТ була більш помітною у стійких сортах, що підтверджує роль САТ у забезпеченні стійкості до хвороб.

Отже, тривала підвищена активність антиоксидантних ферментів порівняно з контролем вказує на те, що вони відіграють ключову роль у підтримці постійного рівня O_2^{2-} та H_2O_2 під час процесу інфікування патогеном, щоб забезпечити стійкість до патогенів та їхніх токсинів, тим самим обмежуючи клітинні ушкодження, спричинені молекулами АФК.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Штами *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 спричиняють зниження енергії проростання та схожості насіння рослин томатів сорту Чорний принц, Північна королева, Загадка та Ляна на 30-40 % порівняно з контролем. За аналізом фізіолого-біохімічних показників найбільш стійкий до збудників *P. syringae* pv. *tomato*, *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* виявився сорт Північна королева. Обробка рослин томатів суспензією досліджуваних штамів зумовлює зменшення вмісту хлорофілів в проростках томата на 58-93 %. За співвідношенням хлорофілу а/б встановлено, що вищою стійкістю до бактеріального ураження володі-

ють сорти Північна королева та Чорний принц. За впливу клітинних суспензій штамів *P. syringae* pv. *tomato* IZ202014 та *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 відмічено зміни активності ферментів антиоксидантної системи у проростках томатів, що свідчить про зниження окисних процесів клітин.

References

1. Kornienko S.I., Rud V.P. (2015) The main provisions of the sectoral comprehensive program "Vegetables of Ukraine - 2020" Vegetable and melon growing. 61: 17–33.
2. Akhatov, A.K., Hannibal, F.B., Meshkov, Yu.I., Dzhalilov, F.S., Chizhov, V.N., Ignatov, A.N., Polishchuk, V.P., Shevchenko, T.P., Borisov, B.A., Stroykov, Y.M. & Beloshapkina, O.O. (2013) Diseases and pests of vegetable crops and potatoes. Moscow, 446 p.
3. Bohoslavets V.A., Kolomiets Yu.V., Butsenko L.M., Bohdan Yu.M. (2020) Bacterial rot of tomatoes when grown in a protected ground. Biological systems: theory and innovation. 11(3): 52–62. <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya.2020.03.006>
4. Drenova N.V., Isin M.M., Dzhaymurzina A.A. (2013) Bacterial fire of fruit crops in the Republic of Kazakhstan. plant quarantine. 3: 39–48.
5. Butsenko, L., Pasichnyk, L., Buletsa, N., Patyka, V. (2017) Effect of insecticide Alpha Super on phytopathogenic bacteria *Pseudomonas syringae* of agrophytocenosis of wheat. Bull. Agric. Sci., 3: 18–22.
6. Kolomiets, J.V., Grygoryuk, I.P. & Butsenko, L.M. (2017) Bacterial diseases of tomatoes plant in terms of open and covered growing of Ukraine. Annals of Agrarian Science, 15(2): 213–216. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.010>
7. Naas, H., Sebaihia, M., Orfei, B., Rezzonico, F., Buonauro, R. & Moretti, C. (2018) *Pectobacterium carotovorum* subsp. *brasiliense* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* as causal agents of potato soft rot in Algeria. European Journal of Plant Pathology, 151: 1027–1034. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1438-3>
8. Garg, A., and Singh, S. (2016) *Alternaria* species in aerospora of vegetable and fruit market at Agra and their mycotoxigenic potential. Asian J. Agric. Life Sci. 1: 4–7.
9. Wang, Y., Zhang, Y., Gao, Z., Yang, W. (2018) Breeding for Resistance to Tomato Bacterial Diseases in China: Challenges and Prospects. Hortic. Plant J., 4: 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.08.004>
10. Cantu D., Vicente A., Labavitch J., Bennett A., Powell A. (2008) Strangers in the matrix: plant cell walls and pathogen susceptibility. Trends Plant Sci. Nov, 13(11): 610–7. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.09.002>
11. Meena M., Zehra A., Dubey M.K., Aamir M., Gupta V.K., Upadhyay R.S. (2016) Comparative evaluation of biochemical changes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) infected by *Alternaria alternata* and its toxic metabolites (TeA, AOH, and AME). Front. Plant Sci. 7: 1408. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01408>
12. Panstruga R., Parker J.E., Schulze-Lefert P. (2009) SnapShot: plant immune response pathways. Cell. 136: 976–978. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.02.020>
13. Patyka, V., Pasichnyk, L., Butsenko, L., Petrychenko, V., Zubachev, S., Dankevych, L., Gnatuk, T., Huliaieva, H., Tokovenko, I., Kalinichenko, A., Suszanowich, D., Kurash, P., Patyka, T., Karpenko, V., Kirilenko, L. & Demchenko, A. (2019) Express diagnostics of phytopathogenic bacteria and phytoplasmas in agrophytocenosis. Guidelines. Publisher Wydawnictwo I Drukarnia Swietego Krzyza, Opole, Poland, 86 p.
14. Pochinok, H. N. (1976). Methods of biochemical analysis of plants. Kyiv, Naukova Dumka, 334 p.
15. Methods of biochemical research of plants.

- Ed. A.I. Ermakov. 3rd ed., revised. and additional. L., Agropromizdat, 1982. 551 p.
16. Bolwell, G. P., Bindschedler, L. V. & Blee, K. A. (2002) Apoplastic oxidative burst in response to biotic stress in plants: a tree-component system. *Journal of Experimental Botany*, 53(372): 1367–1376. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1367>
 17. Asma, A., Musharaf, A., Azra, N., Sana, Z.K. & Zahoor, A. (2015) Characterization of the causal organism of soft rot of tomatoes and other vegetables and evaluation of its most aggressive isolates, 6: 511–517. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.64055>
 18. Bestwick, C. S., Brown, I. R., Bennett, M. H., Mansfield, J. W. (1997). Localization of hydrogen peroxide accumulation during the hypersensitive reaction of lettuce cells to *Pseudomonas syringae* pv *phaseolicola*. *The Plant Cell*, 9(2), 209–221.
 19. Filimon, R.V., Rotaru, L., Filimon, R.M. (2016) Quantitative investigation of leaf photosynthetic pigments during annual biological cycle of *Vitis vinifera* L. table grape cultivars. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 37: 1–14. doi:10.21548/37-1-753
 20. Song G., Wang Q. (2022) Developing hyperspectral indices for assessing seasonal variations in the ratio of chlorophyll to carotenoid in deciduous forests. *Remote Sens.* 14(6): 1324. <https://doi.org/10.3390/rs14061324>
 21. Dumanović J., Nepovimova E., Natić M., Kuča K., Jačević V. (2021) The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: A concise overview. *Frontiers in Plant Science.* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969>
 22. Yang, W., & Francis, D.M. (2006) Genetics and Breeding for Resistance to Bacterial Diseases in Tomato. V. 4. P. 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.08.004>
 23. Nikoo F.S., Sahebani N., Aminian H., Mokhtarnejad L., Ghaderi R. (2014) Induction of systemic resistance and defense-related enzymes in tomato plants using *Pseudomonas fluorescens* CHAO and salicylic acid against root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. *Journal of Plant Protection Research* 54 (4): 383–389. <https://doi.org/10.2478/jppr-2014-0057>
 24. Kolomiets, J., Grygoryuk, I., & Butsenko, L. (2016). Pre-sowing treatment of seeds with biofertilizers as a means of stimulating growth and physiological and biochemical processes in tomato varieties. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, 62(5). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2016.05.010>
 25. Kuzmenko V.I. (2015) Influence of presowing treatment of tomato seeds on their sowing qualities and disease susceptibility. *Vegetables.* 1 (26): 60–63.
 26. Cannella, D., Möllers, K. B., Frigaard, N.-U., Jensen, P. E., Bjerrum, M. J., Johansen, K. S., & Felby, C. (2016). Light-driven oxidation of polysaccharides by photosynthetic pigments and a metalloenzyme. *Nature Communications.* 7 (1). doi: 10.1038/ncomms11134
 27. Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. *Frontiers in plant science*, 10, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>
 28. Nowogórska A., Patykowski J. (2014) Selected reactive oxygen species and antioxidant enzymes in common bean after *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* and *Botrytis cinerea* infection. *Acta Physiologiae Plantarum.* 37(1). doi:10.1007/s11738-014-1725-3
 29. Kholova J., Sairam R. K., Meena R. C., Srivastava G. C. (2009). Reponse of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal-ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. *Biol. Plant.* 53: 249–256. doi:10.1007/s10535-009-0047-6
 30. Treutter D. (2006). Significance of flavonoids in plant resistance. *Environ. Chem. Lett.* 4: 147–157. doi:10.1007/s10311-006-0068-8

31. Mittler R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7 405–410. 10.1016/S1360-1385(02)02312-9
32. Palma J. M., Sandalio L. M., Corpas F. J., Romero-Puertas M. C., McCarthy I., del Río L. A. (2002). Plant proteases, protein degradation, and oxidative stress: role of peroxisomes. Plant Physiol. Biochem. 40: 521–530. doi:10.1016/S0981-9428(02)01404-3
33. Debona D., Rodrigues F. A., Rios J. A., Nascimento K. J. T. (2012). Biochemical changes in the leaves of wheat plants infected by *Piricularia oryzae*. Phytopathology. 102: 1121–1129. doi:10.1094/PHTO-06-12-0125-R
-

**V. Bogoslavets, N. Nesterova, Yu. Kolomiets, L. Butsenko (2022).
PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES OF TOMATO PLANTS UNDER
BACTERIAL INFLUENCE**

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 35-49.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16270>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.009](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.009)

Abstract. Tomato (*Lycopersicon esculentum* L) is one of the most important vegetable crops widely grown around the world. However, the global economic productivity of this crop is limited to a number of phytopathogens. Bacterial spotting and mild rot of tomatoes caused by *Pseudomonas syringae* pv. tomato and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, are one of the most common bacterial diseases that cause significant losses and reduce both the quality and quantity of fruits and impair the nutritional value of tomatoes. Tomato plants are affected by these pathogens throughout the growing season, the lesion is characterized by chlorosis, necrosis and rot.

The aim of the study was to analyze the impact on the physiological and biochemical parameters of tomato sprouts affected by pathogens of *P. syringae* pv. tomato and *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*.

It was found that strains of *P. syringae* pv. tomato IZ202014 and *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 cause a 30-40% decrease in germination energy and seed germination of Black Prince, Northern Queen, Riddle and Liana tomatoes compared to the control. According to the analysis of physiological and biochemical parameters, the most resistant to pathogens *P. syringae* pv. tomato, *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* variety Northern Queen. Treatment of tomato plants with a suspension of the studied strains causes a decrease in chlorophyll content in seedlings by 58-93%. According to the chlorophyll a/b ratio, the Northern Queen and Black Prince varieties have the highest resistance to bacterial damage. Under the influence of cell suspensions of *P. syringae* pv. tomato IZ202014 and *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* IZ207 showed changes in the activity of enzymes of the antioxidant system in tomato seedlings, which indicates a decrease in the oxidative processes of cells.

Key words: *Pseudomonas syringae* pv. tomato, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, tomatoes, chlorophyll, antioxidant enzymes.

BURKHOLDERIA CARYOPHYLLI – ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИЙ ЗБУДНИК БАКТЕРІАЛЬНОГО В'ЯНЕННЯ У КВІТНИКАРСТВІ УКРАЇНИ

Т.Т. ГНАТЮК,

науковий співробітник відділу фітопатогенних бактерій
Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України
<https://orcid.org/0000-0003-1557-3277>
E-mail: gnatuktatiana@gmail.com

Анотація. Визначити шкідливість збудника бактеріального в'янення *Burkholderia caryophylli* для квітникарства України, проаналізувати можливість та шляхи потрапляння цього збудника до нашої країни. При підготовці статті використано загальнонаукові методи: узагальнення, порівняння, системний аналіз. Матеріалом для аналітичного дослідження слугували дані Європейської та Середземноморської організацій захисту рослин (ЄОЗР), а також дані фітосанітарних служб країн ЄС та України, наукова література. *B. caryophylli* викликає на рослинах гвоздики, еustomи та керемика виїмчастого бактеріальне в'янення або бактеріальне розтріскування стебла. Це досить термо- та холодостійка бактерія (здатна активно уражувати рослини в температурному діапазоні 17-33°C) і може уражувати та перебувати, як в філосфері, так і ризосфері рослини. Клітини прямі або злегка вигнуті палички із закругленими кінцями, поодинокі або парні клітини. Аероб, спори не утворює. Клітини рухливі з одним або кількома джгутиками, грам негативні. Оксидазопозитивні, не утворюють індол, H₂S. Відновлюють нітрати. Ферментують глюкозу, інозитол, аргенін, ксилізу, рибозу, рамнозу, судан, розріджують желатину, не гідролізують крохмаль. Основні методи дослідження та ідентифікації є: візуальний, культурально-морфологічні і біохімічні методи, ІФ, ферментний імуносорбентний аналіз та BOX-PCR. На сьогоднішній день не існує ефективних пестицидів для знищення *B. caryophylli*, тому єдиним можливим методом зупинки поширення бактеріального вілту є видалення і знищення заражених рослин, а також дотримання фітосанітарних заходів.

Отже, збудник бактеріального в'янення гвоздики *B. caryophylli* є карантинним об'єктом списку А-1 в Україні та А-2 в Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин. При завезені в нашу країну має високу вірогідність до акліматизації і розповсюдженню у квітникарстві України

Ключові слова: *Burkholderia caryophylli*, бактеріальне в'янення гвоздики, фітопатогенні бактерії, квітникарство, еustoma, гвоздика

Вступ.

Флористичний ринок в Україні є молодим, перспективним та швидко зростаючим, але водночас найскладнішим та трудомістким, який потрібно вчасно досліджувати та сприяти його розвитку. Квіти не є предметом першої необхідності, але вони користувалися та будуть користуватися попитом. За останній період, в світовому масштабі, обсяги ринку зросли в межах 40 %, подібна тенденція характерна і для українського ринку (Bolila S.Yu., Kirichenko N.V., 2021). На сьогодні вітчизняні виробники не можуть забезпечити потреби споживачів, і тому частка імпорту в деякі роки може становити 70-80% всього українського квітничого ринку (Dontsova I.V., Gavrilishin V.V., 2018). В структурі імпорту домінують троянди (36 %), хризантеми (33 %) і гвоздики (29 %), також асортимент поповнюється тюльпанами, ліліями, орхідеями, еustoma та іншими менш традиційними квітами (Dontsova I.V., Gavrilishin V.V., 2018). На сьогодні Нідерланди, Туреччина, Еквадор, Колумбія та Кенія є найбільшими імпортерами квітів в Україну (Dontsova I.V., Gavrilishin V.V., 2018), також і з інших країн Європи ввозять квітничову продукцію, але в меншій мірі.

Гвоздика (*Dianthus* L.) – одно- або багаторічні трави і напівкущі з лінійним або лінійно-ланцетоподібним листям. Квітки поодинокі або по 2–3 на кінцях гілочок. Чашечка циліндрична або циліндрично-конічна, з численними поздовжніми жилками і (1) 2–4 (5) парами лускоподібних чашолистків, що каскадом налягають один на одного. Пелюсток п'ять, з довгими нігтиками і зубчастим,

торочкувато розсіченим відгином, зрідка цілісним. Тичинок десять. Стовпчиків два. Розмноження відбувається насінням, розсадою, живцями. Квіти цієї родини одні з найбільш популярних в квітничарстві, а також вирощуються як декоративні рослини на присадибних ділянках (Dobrochaeva D.N., 1987, Kuzmina M.L., 2004). Гвоздики знаходяться на третьому місці серед імпортованих квітів в Україні. Найбільші імпортери цих квітів в нашу країну є Туреччина, Нідерланди, Еквадор, Колумбія (Dontsova I.V., Gavrilishin V.V., 2018).

Еustoma, Лізіантус (*Eustoma*) – рід рослин, що належать до родини тирличевих (*Gentianaceae*). Однорічні рослини або короткоживучі багаторічні рослини висотою до 0,7–0,8 м. Стебла прямі й розгалужені, голі і сіруваті (Botanical Garden, 2002). Листя – супротивні, часто поширюються на стебло, поодинокі, нерозділені, від яйцеподібних до ланцетних. Квіти – великі, одиночні або зібрані в кінчишкове суцвіття. Чаша з 5 або 6 чашолистків, зрощених біля основи, глибоко розсічені, вузькі і звужені. Пелюстки скручені в бутони, зрощені на дні, іноді нерегулярно зубчасті на кінцях. Синій, червоний, фіолетовий, рожевий, жовтий або білий (Botanical Garden, 2002).

Еustoma також називають «прерійний тирлич», «техаський синій дзвіночок» або «Ірландською трояндою», ця квітуча декоративна рослина родом із Центральної та Південної США. Починаючи з 1970-х років японські селекціонери розробляли сорти лізіантуса, з поліпшеними квітковими характеристиками, і рослина була знову введена в торгівлю зрізаними і горщишковими квітами в США в 1980-х роках. Лізіантус посідає

п'яте місце в Японії, десяте у світі та одинадцяте в США за цінністю зрізаних квітів (McGovern R.J., 2016). В нашій країні еustoma почала набирати популярність у квітникарстві відносно не давно. Крім імпорту в невеликій кількості, але з тенденцією до зростання, вирощують цю рослину і в Україні, переважно у Запорізькій (найбільша кількість теплиць), Київській, Миколаївській та Одеській областях. Вирощують еustomu в теплицях (Market of flowers, 2019).

Зважаючи на значний обсяг введення в Україну та розширення площ вирощування гвоздики, еustomи та кермека виїмчастого у квітникарській галузі нашої країни, вирощування в якості кімнатних рослин та насаджень у приватному секторі, вивчення бактеріальних хвороб цих рослин потребує особливої уваги. Зокрема, це стосується збудника бактеріального в'янення (вілту) *Burkholderia caryophylli*, який є небезпечними для інших видів сільськогосподарських рослин.

Метою роботи було визначення шкідливості збудника бактеріального в'янення *Burkholderia caryophylli* для

квітникарства України, аналіз можливості його інтродукції в Україні та можливих шляхів потрапляння цього збудника до нашої країни.

Burkholderia caryophylli (Burkholder) Yabuuchi et al. (застаріла назва – *Pseudomonas caryophylli* (Burkholder) Starr & Burkholder та *Phytomonas caryophylli* Burkholder (Quarantine pests for Europe, 1997) є збудником вілту гвоздики (*Dianthus*), еustomи (*Eustoma*) (Kishi K., 1998), цибулі (*Allium cepa*) (Bilay V.I., 1988) та кермека виїмчастого (*Limonium sinuatum*) (McGovern R.J., 2016). Цей збудник належить до фітопатогенів, які відсутні на території України, і занесений у карантинний список A1 в Україні з 2019 року (Vergeles P.M. et al., 2021, EPPO, 2021). Він обмежено поширений на території Європейського союзу та включений у перелік A2 (обмежено поширені збудники) Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин (EPPO) (McGovern R.J., 2016, EPPO A2, 2021).

Захворювання зареєстровано в Регіоні ЄОКЗР: Угорщина (не під-



Рис. 1. Симптоми в'янення рослини Еustomи уражених *B. caryophylli*.

тверджено), Ізраїль, Італія, Норвегія (не підтверджено), Польща, Словаччина, Швеція (непідтверджено), Югославія; Азія: Китай, Індія, Ізраїль, Японія, Тайвань; Північна Америка: США (Флорида, Іллінойс, Індіана, Айова, Массачусетс, Міннесота, Нью-Йорк, Пенсільванія, Вашингтон); Південна Америка: Аргентина, Бразилія, Уругвай (Botanical Garden, 2002, Takashi O. et al., 1999). Раніше він був знайдений у Данії, Франції, Німеччині, Ірландії, Нідерландах та Великобританії (Takashi O. et al., 1999), але хвороба там не закріпилася (Quarantine pests for Europe, 1997).

Хвороби рослин, що спричинюють ці бактерії, мають назву бактеріальний вілт, бактеріальне в'янення або бактеріальне розтріскування стебла, англomовні назви: Bacterial wilt, bacterial stem crack, systemic vascular disease (системне захворювання судин).

Основною рослиною-хазяїном збудника бактеріозу вважається гвоздика садова (*Dianthus caryophyllum*). Патоген також уражує еустому й кермек виїмчастий (Kawanishi T. et al., 2009). Збудник спричинює скручування молодих листочків, пізніше рослини набувають сіро-зеленого забарвлення з подальшим жовтінням, що зазвичай супроводжується в'яненням рослин та іноді гниттям коріння (McGovern R.J., 2016). Можливе в'янення бічних пагонів, розтріскування стебел і утворення глибоких виразок, особливо на нижніх міжвузлях. Часто у разі високої вологості тріщини бувають заповнені буро-жовтим бактеріальним ексудатом. Розтріскування стебла і пошкодження провідної системи рослини призводить до швидкого в'янення рослин (Vergeles P.M. et al., 2021).

Коріння інфікованої рослини часто загниває, рослина легко видаляється з ґрунту. На повздовжньому розрізі кореня спостерігається чітко окреслені бурі плями, за якими можна відрізнити це захворювання від фітофторозу коренів (Vergeles P.M. et al., 2021). На поперечному зрізі інфікованих стебел виявляється типове забарвлення кіркової тканини від темно-жовтого до жовто-коричневого (McGovern R.J., 2016, Bertoldo C. et al., 2015).

B. caryophylli може перебувати в латентному стані у рослині, і тільки через 2–3 років симптоми бактеріального вілту можуть почати проявлятися. Візуальні симптоми найбільш легко помічаються у дорослих рослин під час огляду надземних частин (Wolcan S.M. et al., 2016). Хоча може бути тривалий латентний період, як тільки рослини починають проявляти симптоми, загибель рослини настає впродовж 1–2 місяців. Бактеріальне в'янення гвоздики часто супроводжується вторинними мікроміцетними ураженнями.

B. caryophylli є прямими або злегка вигнутими паличками із закругленими кінцями, поодинокі або парні клітини, розміри – 0,35-0,95 x 1,05-3,18 мкм. Аероб, не утворює спор. Клітини рухливі з одним або кількома полярними джгутиками, грам негативні. Колонії округлі, гладкі та блискучі з рівними краями: спочатку світло кремового кольору, з часом колонії темнішають. На поживному середовищі ріст повільний. Оптимальна температура росту 28-33°C, максимальна – 41°C, мінімальна – 4°C. Оксидазопозитивні. Не утворюють індол, H₂S, слизу на мінеральному середовищі із 2-4% сахарози. Відновлюють нітрати. Ферментують

глюкозу, інозитол, аргенін, ксилозу, рибозу, рамнозу, судан. Утворюють внутріклітинно полі- β -гідроксидбутират (як запасне джерело вуглецю), розріджують желатину, не гідролізують крохмаль (Quarantine pests for Europe, 1997, Bilay V.I., 1988, EPPO/CABI, 2015, EPPO, 2016).

Мікроскопічне спостереження зрізів стебла виявляє закупорку судин, гіперлігніфікацію їхніх стінок і некроз. Оскільки приховані інфекції на живцях неможливо легко виявити, живці слід зберігати за відносно високої температури для забезпечення максимального вираження симптомів. Збудника можна надійно виявити за допомогою імунофлуоресцентного фарбування (ІФ) і за мікробіологічного аналізу (пряма ізоляція) навіть у матеріалі з латентною інфекцією (Quarantine pests for Europe, 1997).

Основні методи дослідження та ідентифікації *B. caryophylli* є: візуальний, культурально-морфологічні і біохімічні методи (використовуючи, як арі-систами (чи ним подібні), так і при визначенні єдиного джерела живлення вуглецю на рідких поживних середовищах із кольоровим ідентифікатором), ІФ, ферментний імуносорбентний аналіз (ELISA), BOX-PCR (під час порівняння із типовим штамом), аналіз жирних кислот (Vergeles P.M. et al., 2021).

B. caryophylli можна ідентифікувати за багатьма різними генетичними методами фінгерпінтенгу. Штами *B. caryophylli* мають відмінний профіль порівняно з усіма іншими видами Burkholderia. BOX-PCR є одним з найпростіших і надійних.

Для ампліфікації використовують стандартний праймер BOX-AIR – це 5'-CTA CGG CAA GGC CGA CGC TGA CG-3'. Бактеріальну культуру

культивують 24 години за 28°C на поживному середовищі, відібрані колонії ресуспендують у 100 мкл 0,05 м NaOH і кип'ятять упродовж 5 хв, далі розводять 1:10 у воді з мікропорами без нуклеаз. До складу реакційної суміші ПЛР входить: 17,35 мкл, 2,5 мкл 10X буфера, 2,5 мкл праймера, 0,25 мкл dNTPs (20 мм), 0,4 мкл Taq полімерази (Perkin Elmer Amplimtaq) та екстракт Елмера D.02. Після початкового періоду 7 хв при 95°C, 30 циклів 94°C упродовж 1 хв, 53°C упродовж 1 хв, 65°C упродовж 8 хв супроводжуються остаточним періодом 65°C упродовж 16 хв. Після чого продукти ПЛР розділяють за допомогою гель-електрофорезу (2% агарозні гелі в 1 $\times$ TAE проточному маслі, що містить 0,0005% розчин броміду етидію). Електрофорез проводять за кімнатної температури при 10 В/см упродовж 2 год. Перед електрофорезом зразки змішують з буфером для завантаження у п'ятиразовому співвідношенні. Для визначення молекулярної маси та кількості фрагментів ДНК використовують маркер молекулярної маси (наприклад: ДНК-маркер VI Boehringer Mannheim або O'GeneRuler 100 bp Plus) (Wolcan S.M. et al., 2016).

B. caryophylli може зимувати в ризосфері за тісної взаємодії з рослиною-господарем. Крім того, патоген виживає в рослинних рештках у ґрунті. Саме такі популяції патогенів є основним джерелом інфікування у наступний вегетаційний період.

B. caryophylli може потрапляти до рослини через пошкодження на листі, стеблах та корінні. Успішне поширення бактеріальної інфекції може відбуватися до і після посадки рослин. Поширення перед посадкою відбувається, коли стебла квітів гвоз-

дики від зараженого господаря зрізають і поміщають у водяну грядку зі здоровими рослинами, перед тим, як їх висадити окремо (бактерії повільно поширюються з одного живця до іншого водою) (Zheldakova R.A., Myamin V.E., 2006). Розповсюдження після посадки може відбуватися від однієї кореневої системи до іншої через поранення на зараженій рослині. Жовтувато-коричневий бактеріальний слиз, виділяється через отвори, і бактерії потрапляють в навколишній ґрунт. Потрапляючи всередину хазяїна, бактерії агрегуються до судинної системи, знаходячи шлях до флоєми. Вони також блокують ксилему, припиняючи циркуляцію води в рослині (Quarantine pests for Europe, 1997, Zheldakova R.A., Myamin V.E., 2006).

Збудник здатний інфікувати рослини в широкому діапазоні температур, однак певні симптоми є специфічними для різних температур. Симптоми в'янення виявляються частіше в рослин, вирощуваних за високих температур ($>30^{\circ}\text{C}$), тоді як відсутність симптомів або лише симптоми розтріскування стебла частіше трапляються за нижчих температур ($<20^{\circ}\text{C}$). Коли температура ґрунту нижче 17°C , швидке розмноження клітин закорковування навколо ксилеми та флоєми. Також з'являються міжвузлові тріщини стебла в основі рослини, які згодом переростають у глибокі виразки (Quarantine pests for Europe, 1997). Захищені середовища (теплиці, невеликі сади тощо), в яких існують контрольовані умови вирощування, є більш відповідним середовищем для розмноження збудника, на відміну від незахищених середовищ, якими є відкриті поля. Дерновий та сфагновий торф є сприятливим середовищем для

B.caryophylli, а використання цих природних субстратів може сприяти поширенню та виживанню збудника (Ballard R. W., 1970).

На сьогоднішній день не існує ефективних пестицидів для знищення *B. caryophylli* (Quarantine pests for Europe, 1997), тому єдиним можливим методом зупинки поширення бактеріального вілту є видалення і знищення заражених рослин. Фітосанітарні заходи у насадженнях рослин включають в себе: перевірка на наявність ознак зараження рослини перед зрізанням рослин і перевірка ґрунту на наявність бактерій; бактеріологічний аналіз насіння; знезараження інструментів. Також одним із методів захисту, можна вважати виведення стійких сортів, хоча на цей час таких сортів серед гвоздики (EFSA, 2013) та еустоми, не так багато.

Оскільки вітчизняне квітникарство (особливо тепличне) збільшує свої площі, а також імпортує квітів в Україні в останні роки зростає (в деякі роки аж на 70% (EPPO/CABI, 2015), як зрізів квітів, так і розсадного та насіннєвого матеріалу, то є потенційна небезпека потрапляння та поширення карантинних та нових для нашої країни бактеріальних фітопатогенів. В останні роки розведення Еустоми та кермека виїмчастого в тепличних і присадибних ділянках набирає більшого попиту, тому ймовірність проникнення *B. caryophylli*, не тільки із гвоздикою, є досить високою. Тим паче, що наявність цього патогену зафіксована в сусідніх країнах (Польща, Угорщина).

Карантинний ризик складається з двох компонентів: можливість проникнення шкідливого організму з імпортом товаром та можливість розповсюдження його в середні краї-

ни (Sadlyak A., Bokashan O.Ya., 2012). *B. caryophylli* досить термо- та холодолюбива бактерія (може активно уражувати рослини в температурному діапазоні 17-33°C) і може уражувати та перебувати, як в філосфері, так і ризосфері рослини. Ще однією важливою особливістю цієї бактерії, яка може сприяти потраплянню з імпортованими рослинами, є можливість перебування у латентному стані в рослині 2-3 роки. І ці 2-3 роки рослина буде виглядати здоровою, без симптомів хвороби. Також при розведенні квітів жовенцями через воду, від зрізу з ураженої рослини, може бути уражено зріз із здорової рослини.

Висновки і перспективи.

У літературі описані достатньо добре патогенні, фенотипові та генотипові характеристики, що дає можливість вибору методів діагностування, *B. caryophylli*. Збудник бактеріально-го в'янення гвоздики, *B. caryophylli*, є карантинним об'єктом списку А-1 в Україні та А-2 в Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин. Є відомості про знаходження цього фітопатогена в таких країнах: Угорщина, Ізраїль, Італія, Норвегія, Польща, Словаччина, Швеція, Югославія, Нідерландах, Великобританії, Китай, Індія, Ізраїль, Японія, Тайвань, США (Флорида, Іллінойс, Індіана, Айова, Массачусетс, Міннесота, Нью-Йорк, Пенсільванія, Вашингтон), Аргентина, Бразилія, Уругвай. *B. caryophylli* є термолабільною, може зимувати в ґрунті та ризосфері рослини та перебувати в латентному стані до трьох років у рослині, не є монофагом, у разі завезення в Україну має високу ймовірність до акліматизації і розповсюдженню у квітникарстві.

References

1. Bolila S. Yu., Kirichenko N.V. (2021) Marketing research of the regional floristic market as a guide for decision-making on the development of the flower business. E-journal "Effective Economy". 202(4). <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.95>
2. Dontsova IV, Gavrilishin VV (2018) Status and problems of floriculture in Ukraine. Bulletin of Lviv University of Trade and Economics. 8: 94-95.
3. Dobrochaeva D.N., Kotov M.I., Prokudin Yu.N. (1987) Key to higher plants of Ukraine. K., Nauk. thought, 600 p.
4. Kuzmina M. L. (2004) Gvozdika – Dianthus L. M.: Commodity scientific. ed. KMK, Flora of Eastern Europe. 273 p.
5. The Botanical Garden. Perennials and annuals. London: Macmillan. 2002. 2: 210.
6. McGovern R.J. (2016) Diseases of Lisianthus. In: McGovern R., Elmer W. (eds) Handbook of Florists' Crops Diseases. Handbook of Plant Disease Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32374-9_20-1
7. Market of flowers and ornamental plants in Ukraine. Abridged report. 2019: 26.
8. Quarantine pests for Europe. Data sheets on quarantine pests for the European Union and for the European and Mediterranean Plant Protection Organization. (Ed. 2), 1997. Wallingford, UK. 1425 pp.
9. Kishi K. (1998) Plant diseases in Japan. Tokyo, Japan: Zenkoku nouson kyoiku kyokai (Japanese). 112.
10. Bilay V.I. Microorganisms are the causative agents of plant diseases. Kiev: Nauk. Dumka; 1988. 550 p.
11. Vergeles P.M., Pinchuk N.V., Kovalenko T.M. (2021) Roslyn Quarantine. Vinnitsa: VNAU. 377 p.
12. EPPO Global Database. 2021. <https://gd.eppo.int/taxon/PSDMCA/categorization>
13. EPPO A2 List of pests recommended for regulation as quarantine pests - version 2021-09. <https://www.eppo.int/ACTIVI>

- TIES/plant_quarantine/A2_list# bacteria
14. Takashi O., Takashi Y., Masami H., Hiroshi I. (1999) Evaluation of wild dianthus accessions for resistance to bacterial wilt (*Pseudomonas caryophylli*). J. Japan Soc. Hort. Sci. 1999. 68(5): 974–978. doi:10.2503/jjshs.68.974.
15. Takashi O., Takashi Y., Masami H., Hiroshi I. (1999) Evaluation of resistance of carnation 277 varieties to carnation wilt bacterial disease (*Pseudomonas caryophylli*). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68(3): 546-550 <https://doi.org/10.2503/jjshs.68.546>
16. Kawanishi T., Uematsu S., Nishimura K., Otani T., Tanaka-Miwa C., Hamamoto H., Namba S. (2009) A new selective medium for *Burkholderia caryophylli*, the causal agent of carnation bacterial wilt. J. Plant Pathology. 2009. 58(2): 237-242. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01980.x>
17. Bertoldo C, Gilardi G, Spadaro D, Gullino ML, Garibaldi A (2015) Genetic diversity and virulence of Italian strains of *Fusarium oxysporum* isolated from *Eustoma grandiflorum*. Eur J Plant Pathol. 141(1):83–97
18. Wolcan S.M. et al. (2016) Diseases of Carnation. In: McGovern R., Elmer W. (eds) Handbook of Florists' Crops Diseases. Handbook of Plant Disease Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32374-9_14-1
19. EPPO/CABI (2015) Data sheets on quarantine pests: *Burkholderia caryophylli*. Retrieved from: http://www.eppo.int/QUARANTINE/data_sheets/bacteria/PSD-MCA_ds.pdf
20. "Burkholderia caryophylli". (2006) EPPO Bulletin. 36 (1): 95–98. doi: 10.1111/j.1365-2338.2006.00918.x
21. Zheldakova R.A., Myamin V.E. Phytopathogenic microorganisms. Minsk State University, 2006. 116 p.
22. Ballard R. W., Palleroni N. J., Doudoroff M., Stanier R. Y, Mandel M. (1970) Taxonomy of the Aerobic *Pseudomonads*: *Pseudomonas cepacia*, *P. marginata*, *P. alliicola* and *P. caryophylli*. J. gen. Microbiol. Printed in Great Britain. 60: 199-214. <https://doi.org/10.1099/00221287-60-2-199>
23. Scientific Opinion on the risk to plant health posed by *Burkholderia caryophylli* for the EU territory with the identification and evaluation of risk reduction options". 2013. EFSA Journal. 11 (1): 3071. doi:10.2903/j.efsa.2013.
24. <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/specialni-zahodi-shodo-importu-v-ukrayinu-zr-zanih/>
25. Sadlyak A., Bokashan O.Ya. (2012) Bacterial spotting of pumpkins is a new dangerous disease. Quarantine and plant protection. 10: 10-13.

T.T. Hnatyuk (2022).

BURKHOLDERIA CARYOPHYLLI - POTENTIALLY DANGEROUS PATIENT OF BACTERIAL WITNESS IN FLORISTRY OF UKRAINE

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 50-58.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16266>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.005](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.005)

Abstract. To determine the harmfulness of the causative agent of bacterial wilt *Burkholderia caryophylli* for floriculture in Ukraine, to analyze the possibility and ways of getting this pathogen into our country. In preparing the article, general scientific methods were used: generalization, comparison, system analysis. The material for the analytical study was the data of the European and Mediterranean Plant Protection Organizations (EOPR), as well as data from the phytosanitary services of the EU and Ukraine, scientific literature. *B. caryophylli* causes bacterial

wilt or bacterial cracking of stems on carnations, eustoma and pottery. This is a fairly heat- and cold-resistant bacterium (capable of actively infecting plants in the temperature range 17-33°C) and can infect and stay in both the phyllosphere and rhizosphere of the plant. Cells are straight or slightly curved rods with rounded ends, single or paired cells. Aerobic, does not form spores. Cells are motile with one or more flagella, gram negative. Oxidase-positive, do not form indole, H₂S. Restores nitrates. Ferment glucose, inositol, arginine, xylose, ribose, rhamnose, sucrose, dilute gelatin, do not hydrolyze starch. The main methods of research and identification are: visual, cultural-morphological and biochemical methods, IF, enzyme-linked immunosorbent assay and BOX-PCR. To date, there are no effective pesticides to kill *B. caryophylli*, so the only possible way to stop the spread of bacterial wilt is to remove and destroy infected plants, as well as to comply with phytosanitary measures.

Thus, the causative agent of bacterial wilt of the carnation *B. caryophylli* is a quarantine object of the A-1 list in Ukraine and A-2 in the European and Mediterranean Plant Quarantine and Protection Organization. When imported into our country has a high probability of acclimatization and spread in floriculture in Ukraine

Key words: *Burkholderia caryophylli*, bacterial wilting of carnations, phytopathogenic bacteria, floriculture, eustoma, carnation.

ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВОДОЙМИ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА (ПОВІДОМЛЕННЯ 1: ГІДРОЛОГІЧНИЙ, ГЕОЛОГІЧНИЙ ТА БІОЛОГІЧНИЙ РЕЖИМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ)

В.П. СТРОКАЛЬ,

кандидат педагогічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: vita.strokal@gmail.com;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6876-1111>

А.В. КОВПАК,

здобувач наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 101

«Екологія»

E-mail: an.vs.kovpak@gmail.com;

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0588-1041>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Україна, м. Київ

Анотація. Актуальність роботи зумовлена низкою екологічних проблем, які пов'язані з якістю води, що використовується для господарсько-питного, рибогосподарського та рекреаційного призначення. Київське водосховище має низку функцій, які є важливим у сучасному суспільстві. Саме тому виконання наукових досліджень з якості води Київського водосховища є стратегічно важливими, як для забезпечення народного господарства, так і для розвитку водної економіки загалом. Мета наукової роботи полягала у систематизації вагомих доробок вчених щодо гідрологічного, геологічного та біологічного режимів функціонування. Концепція роботи передбачала виконання завдань: виокремити основну направленість та функції водосховища; проаналізувати його гідрологічні умови, ландшафт та зміни рельєфу. Методика досліджень враховувала системний підхід, що дало змогу виокремити основні положення роботи: водойма Київського водосховища використовується в водогосподарських

(енергетика, рибне господарство, водопостачання, зрошення) транспортних, рекреаційних напрямках, та має транскордонне значення у транспортно-логічній схемі; гідрологічні, ландшафтні та рельєфні дослідження водойми водосховища дали можливість обґрунтувати абразійні процеси та визначити, що правий берег водосховища має абразійно-зсувні та абразійно-обвальні береги.

Ключові слова: Київське водосховище, гідрогеологічні умови, джерела забруднення, антропогенне навантаження на річки.

Вступ.

Дослідження водосховищ є досить вагомим науковим доробком у різних напрямках науки (гідробіологічному, екологічному, управлінському тощо). Водосховища є важливим регуляторами річкових басейнів та стоку для гідроенергетики. Також, їхня роль окреслюється народним господарством, зокрема водосховище покращує умови судноплавства, рибного господарства та рекреації. Створення каскаду Дніпровських водосховищ почалося в 1932 році, коли саме було створене Дніпровське водосховище, а згодом були зведені Каховська (1955), Кременчуцька (1961), Дніпродзержинська (1963), Київська (1966) та Канівська (1973) гідроелектростанції та створені відповідні водосховища [12]. Водосховищами зарегульовано 32 % загального річного стоку країни [6]. Також водосховища можуть бути трансфером забруднювачів до морів, зокрема біогенних речовин [1] та мікропластику [20]. Тому вивчення впливу антропогенного навантаження на водойми Київського водосховища є актуальним і потребує системного підходу до оцінювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Багато вчених-гідрологів, екологів

та біологів займаються питаннями, що стосуються екологічного стану водосховищ, їхнє значення, ролі для природи та суспільства. Зокрема екологічні та соціальні наслідки впливу водосховищ на довкілля та суспільство представлені в працях Manatunge J., Nakayama M., Priyadarshana T. (2008) [13], важливість та необхідність створення Дніпровського каскаду водосховищ розкрито в працях В.Д. Романенко (2018) [14], надходження біогенних речовин у води водосховищ Дніпровського каскаду розкрито науковцями Zhezherya V.A., Zhezherya T.P., & Linnik P.M. (2022) [15], багаторічні зміни концентрацій органічної речовини у водоймах водосховища, гідрохімічний режим Дніпровського каскаду обґрунтовано в працях Linnik P.M. (2022) [16], абіотичний складовий екосистемі Дніпровського водосховища присвячені дослідження S. Dubnyak, V.I. Timchenko (2000) [17]. Київське водосховище належить до актуальних питань, які постійно потребують досліджень та актуальної інформації, оскільки водосховища відіграють значну роль для розвитку суспільства та функціонування природи в цілому.

Мета дослідження. Мета – систематизувати наукові доробки вчених щодо екологічного стану водойми Київського водосховища, його гідрологічного, геологічного та біологічного режимів функціонування.

Матеріали та методи досліджень.

Концепція роботи передбачала основні два напрями дослідження: вивчення гідрологічного, геологічного та біологічного режимів Київського водосховища (повідомлення 1) та дослідження якості води й джерел забруднення водойм водосховища (повідомлення 2). Перший напрям дослідження включав такі завдання: виокремити основну направленість та функції водосховища (перше досліджуване питання); проаналізувати його гідрологічні умови, ландшафт та зміни рельєфу (друге досліджуване питання). Методика дослідження охоплювала синтез та аналіз теоретичних даних напрацювань міжнародних та вітчизняних вчених щодо режимів функціонування водойми водосховища.

Результати дослідження та їх обговорення.

Предмет та об'єкт дослідження стосуються найвищого дніпровського каскаду із 7 водосховищ України – Київського водосховища. Варто зазначити, що водосховище – це водойма в руслі річки чи в пониженні земної поверхні, яка штучно створена за допомогою будівництва греблі [6]. Київське водосховище одне із головних (верхнє) водо-регулюючих стоків дніпровського каскаду ГЕС [1]. За характером використання дніпровський каскад, у складі із Київським водосховищем має комплексне призначення, використовується для різних потреб народного господарства: гідроенергетики, водопостачання, зрошення, рибного господарства, водного транспорту, рекреації та захисту від повеней [5-6].

Екологічний стан Київського водосховища та його раціональна експлуатація мають важливе значення як для України так і сусідніх країн загалом [5]. Воно має багатогранне цільове призначення, що переплітається з функціями, які забезпечують функціонування абіотичної та біотичної складових водойми та водоспоживання (рис. 1):

- сприяє виробництву електроенергії Київськими ГЕС та ГАЕС [2] (загалом в Києві побудовано 5 гідроелектроцентралей: ТЕЦ-2 (біля гавані міста), ТЕЦ-3 (біля залізничного вокзалу), ТЕЦ-4 (Дарницький район міста), ТЕЦ-5 (в південній частині міста, біля р. Дніпро), ТЕЦ-6 (Троєщинський район міста) [5]) – водно-енергетична функція;

- формує водно-транспортну артерію у транскордонному водному просторі, забезпечує водно-транспортні вантажні перевезення (Михайлик О.О., 2021 [15]) – транспортно-логічна функція;

- забезпечує регулювання притоків, використовується для сезонного регулювання стоку Дніпра та Прип'яті, є джерелом санітарно-гігієнічних попусків на київську ділянку Канівського водосховища (Тімченко В.М., Линник П.М., Холодько О.П., Беляєв В.В., Вандюк Н.С., Гуляєва О.О., Жежеря В.А., 2013 [2]); рівень води у водосховищі не є стабільним і залежить від кліматичних умов та сезонності, що зумовлює пониження рівня води (червень-вересень) та підняття цього рівня (квітень-травень) (Литвиненко В.О., Христенко Д.С., Котовська Г.О., Колесник Н.Л., Симон М.Ю., 2021 [4]) – водно-регуляційна функція;

- формує рибне господарство, інтенсивно використовується

в риборозведенні (Литвиненко В.О., Христенко Д.С., Котовська Г.О., Колесник Н.Л., Симон М.Ю., 2021 [4]) – рибогосподарська функція;

- формує зрошувальне землеробство, використовується поверхнева вода для підтримання сприятливого еколого-меліоративного режиму та безпечності с. г. продукції (Нестерова К.А., Копілевич В.А., Лаврик Р.В., 2021 [7]), відповідно якість води має відповідати нормам для зрошення (Строкаль В.П, Ковпак А.В., 2021 [1]; Войтенко Л.В. та ін., 2017 [8, 9]); – водогосподарська функція;

- забезпечує рекреаційне водокористування, де задіяні різні види відпочинку, спорту та дозвілля; рекреації; територія дамби Київського водосховища має рекреаційні та релаксаційні властивості, оскільки територія відноситься до природних зон з лісопарковими масивами (Шевченко Р.Ю., 2021 [10]) – оздоровчо-рекреаційна функція;

- забезпечує захист від повеней (Литвиненко В.О., Христенко Д.С., Котовська Г.О., Колесник Н.Л., Симон М.Ю., 2021 [4]) – захисна функція.

Не менш важлива роль водосховища є екологічна, роль якої активізувалася з часів виникнення катастрофи на ЧАЕС. Дослідниками Інституту гідробіології НАН України [2] вказано, що до водосховища з вод р. Прип'ять та Верхнього Дніпра потрапило велика кількість радіонуклідів (цезію-137, стронцію-90 та плутонію-239), основна частина яких накопичилася в донних відкладах водосховища, перетворивши його в головне депо шкідливих речовин радіації. Київське водосховище належить до транскордонних річкових басейнів (Щербак В.І., 2015) [3]; на значній відстані межує з Росією та Білорус-

сю, тобто відповідно до Конвенції з охорони та використання транскордонних водотоків і міжнародних озер [11] – відноситься до транскордонних вод. Відповідно, до вище перерахованих функцій водосховища також варто додати функцію транскордонну (рис. 1).

Гідрогеологічні та гідробіологічні умови Київського водосховища. Дослідження показують [2, 4, 12], що кліматичні зміни суттєво впливають на водозабезпечення Київського водосховища. Київське водосховище є найвищим серед семи водосховищ р. Дніпра, належить до категорії «великих» у складі Дніпровського каскаду, до яких також належать – Канівське, Кам'янське, Дніпровське (на р. Дніпр), Дністровське водосховища (на р. Дністер); а Кременчуцьке та Каховське – належать до «дуже великих» [6].

Гідрологічний режим водосховища зумовлений впливом кліматичних умов, які впливають на рівень води та коливання сезонності. Понад 90 % живлення водосховища відбувається через річки Дніпро та Прип'ять (належить до типу рівних річок [2]), що так само на 65 % живляться від танення снігів, і лише на 33 % – підземними водами [4]. У водосховище надходить також стік річок Ірпінь, Уж, Тетерів [2]. Кліматичні зміни, які відбуваються впродовж останніх десятиліть суттєво вплинули за сезонні зміни й гідрологічного режиму [2, 18]. За даними [1] умови 2016-2020 р.р. мали значні коливання в кількості опадів, спостерігалися прояви інтенсифікації опадів або тривалі посухи. Загалом, починаючи з 2016 року в країні притаманні стихійні не рівномірні опади впродовж сезону [1]. У середньому до Київського водосховища надходить



Рис. 1. Цільова направленість та основні функції Київського водосховища (джерело: карта еколого-гідродинамічного районування Київського водосховища (а – транзитна зона; б – не транзитна зона) [2]; цільове використання та функції Київського водосховища [2-5, 7-10])

620 мм опадів, це найбільша кількість, порівнюючи із рештою водосховищ (в Каховське – 323 мм). Нормальний надпірний рівень води у водосховища становить 103,0 над рівнем моря [4]. Відповідно зміни сезону мають суттєве значення на водний режим водосховища [2]. Рівень води Київського водосховища не є стабільним, знижується із січня до середини березня, внаслідок паводків підвищується до середини квітня, та поступово починається знижуватися до кінця червня і тоді стабілізується до настання осінніх дощів [4].

Основна роль у формуванні якості води і гідрогеологічного режиму належить процесам переносу (види течій та циркуляцій) та перемішуванню, яке відбувається за рахунок турбулентної

дифузії [2]. Київське водосховище має транзитну та не транзитну зону течій (рис. 2). Транзитна зона включає має стокові види течій, режим яких визначається гідрометеорологічними умовами та роботою Київської ГЕС. Не транзитна зона зайнята водними масами, динаміка яких визначається водними течіями (рис. 2 (А)). Основною відмінністю транзитної і не транзитної зон водосховища – є принципово різні біотопічні умови [2].

З огляду на рисунок 2 (В-Г), середній за інтенсивністю вітер східного та західного напрямів практично не впливає на загальну схему стокових течій. У разі північного вітру відбувається помітна трансформація транзитного потоку, а за південного вітру – лівобережна частина водосховища

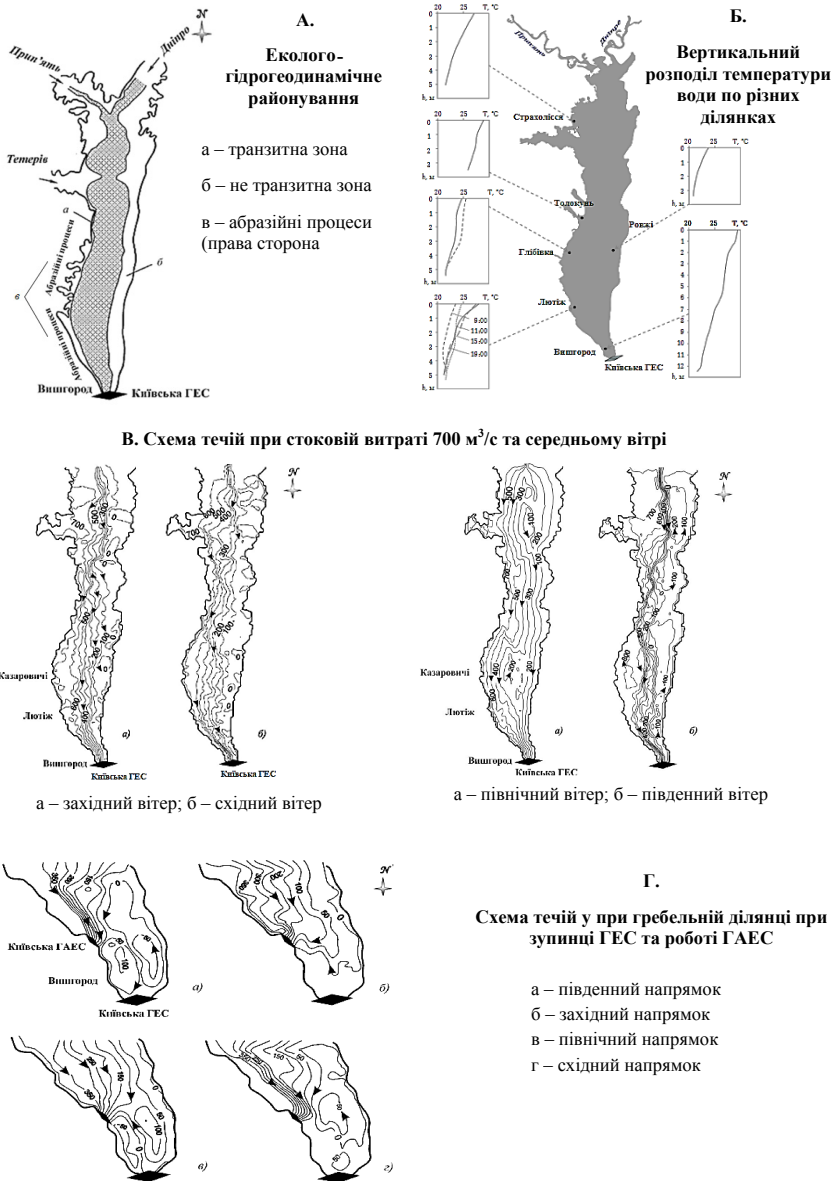


Рис. 2. Гідрогеологічні умови Київського водосховища ([2])

заповнюється системою циклонних вихорів. Отже, найсприятливіші умови для екосистеми водосховища виникають при західних та північних вітрах, оскільки затягування водних мас

в агрегати ГАЕС відбувається майже з усієї акваторії. Також осереднені дані температури води за останні десятиліття свідчать про її зростання в усі сезони року (рис.2 (Б)).

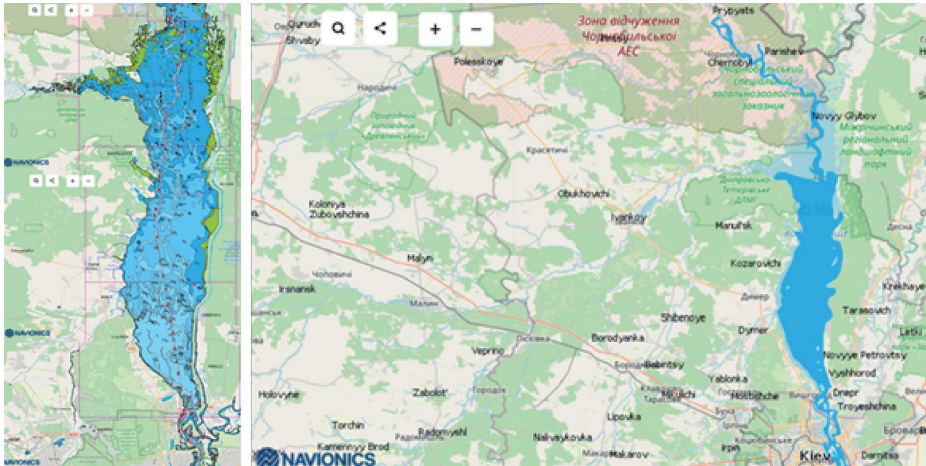


Рис. 3. Карта глибин Київського водосховища

(джерело: <https://ua.fishermat.org/depth-map/kievskoe-vodohranilische/> [19])

Характерною особливістю Київського водосховища є те, що навесні виникає велика різниця між його верхнім і основним плесом. Верхній плес представлений злиттям річок Прип'ять та Дніпра – має підвищений рівень води та характеризується озерними екосистемами; основний плес знаходиться нижче від верхнього і має три частини: верхню з 3/4 площею до 3 м (до с. Страхолисса), середню з 1/3 площею понад 3 м (до с. Рудня-Толукунська), нижню – найбільш глибоководна і простягається до греблі [4].

На рисунку 3 наведена карта глибин Київського водосховища, відповідно до якої можна сказати, що площа водосховища становить 922 км², максимальна глибина сягає 15 метрів (в греблі), середня глибина – 4,1 м, та мілководдя становить – до 2 метрів [19].

На основі синтезу наукових досліджень провідних вчених, гідрологічний режим є досить сприятливим для функціонування екосистеми водосховища. Загалом стан біоти в Київському водосховищі визначається антропогенними та природними процесами

[3]. До водних біотопів належать усі знижені ділянки рельєфу водосховища (протоки, заплавні водойми тощо). Зараз Київське водосховище характеризується широким спектром різноманітних біотопів (рослини, тварини, мікроорганізми), більшість з яких класифікують як заплавні комплекси дельтового типу. У ландшафтних комплексах водосховища притаманні процеси заболочування акваторій [4]. Вченими встановлено, що впродовж усіх етапів багаторічної сукцесії фітопланктону, планктонні водоростеві угруповання мають високе таксономічне різноманіття, які характеризуються як зелено-діатомово-синьо-зелені [3]. У сукцесії фітопланктону спостерігається перехід Київського водосховища із слабкоєвтрофного до мезотрофного і показує його сучасний стан як євтрофної водойми [3].

Висновки.

Обґрунтовано основну направленість Київського водосховища, яка включає потреби народного

господарства та функції. Розкрито сутність водно-енергетичної, транспортно-логічної, водно-регуляційної, водогосподарської (водопостачання, риборозведення, зрошення), оздоровчо-рекреаційної, захисної та транскордонної функцій водосховища. Цільове призначення водосховища є цінним для соціально-економічного розвитку країни та визначає низку пріоритетних напрямів водної політики держави.

Проаналізовано гідрологічні умови, ландшафтні та рельєфні умови Київського водосховища. Гідрологічний режим визначається інтенсивністю течій, циркуляція яких залежить від кліматичних умов (сезонність, температура, швидкість вітру), рівня води та шляхів живлення (за рахунок річок, опадів та підземних вод). Встановлено, що серед процесів абразії у берегах водосховища – наявні абразійно-зсувні та абразійно-обвальні на правому березі від меж с. Мижгір'я до с. Старі Петрівці, а також вздовж правого берега присутні обвали та осипи від с. Сухолуччя до с. Нові Петрівці. В геологічному відношенні водосховищу притаманні процеси заболочування акваторій, оскільки територія представлена заплавами комплексами дельтового типу. До біологічних ресурсів відносять планктонні водорості – зелено-діатомово-синьозелені, які визначають евтрофний стан водойми.

Напрямки подальших досліджень.

Упродовж цієї теми дослідження (зокрема у повідомленні 2) будуть висвітлені питання екологічного стану води Київського водосховища, його основні джерела забруднення. На-

ступними дослідженнями вбачаємо продовження даної тематики, зокрема опираючись на вимоги до використання водойми у цілях зрошення та гідроенергетики.

References

1. Strokaly, V., & Kovpak, A. (2021). Ecological assessment of water quality for different water uses: the upstream sub-basin of the Dnieper and Desna rivers. Scientific journal "Biological systems: theory and innovations", 12(2), 24-40. Available at: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003> (in Ukrainian)
2. Abiotychni komponenty ekosystemy Kyivskoho vodoshkovyshcha [Abiotic components of the Kyiv Reservoir ecosystem] / Kolektyv avtoriv, za redaktsiieiu V.M. Timchenka – Kyiv: In-t hidrobiologii NAN Ukrainy, 2013. 60. Available at: https://www.researchgate.net/publication/312529517_ABIOTICNI_KOMPONENTI_EKOSISTEMI_KIIVSKOGO_VODOSHOVISHCHA (in Ukrainian)
3. Shcherbak, V. I. (2015). Suktsesiia fitoplanktonu Kyivskoho vodoshkovyshcha ta otsinka yoho transkordonnoi dilianky [Phytoplankton succession of the Kyiv Reservoir and assessment of its transboundary section]. Available at: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5946/1/Scherbak.pdf> (in Ukrainian)
4. Lytvynenko, V. O., & Khrystenko, D. S. (2021). Osoblyvosti vykorystannia Kyivskoho vodoshkovyshcha yak rybohospodarskoho vodnoho ob'ekta (ohliad) [Particularities of using the Kyiv Reservoir as a fishery water object (overview)]. Rybohospodarska nauka Ukrainy: Bioresursy ta ekolohiia vodoim. 4(58): 5-28. Available at: <https://doi.org/10.15407/fsu2021.04.005> (in Ukrainian)
5. Mykhaylyk, O.O. (2021). Dniprovi berehy Kyieva: rozvytok i transformatsiya v chasi [The

- banks of the Dnieper in Kyiv: development and transformation in time.]. *Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. (16), 103-108. Available at: <https://eforum.Intu.edu.ua/index.php/construction/article/view/715/697> (in Ukrainian)
6. Khilchevskiy, V. K., & Hrebin, V. V. (2021). Velyki i mali vodoshkovyshcha Ukrainy: rehionalni ta baseinovi osoblyvosti poshyrennia [Large and small reservoirs of Ukraine: regional and basin features of distribution]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. Bioresursy ta ekolohiia vodoim*. №2(60). 6-17. Available at: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1> (in Ukrainian)
 7. Nesterova, K. A., Kopilevych, V. A., & Lavryk, R. V. (2021). Otsinka yakosti vody dlia zroshennia [Assessment of the quality of water for irrigation]. Publishing House "Baltija Publishing". Available at: <file:///C:/Users/home/Downloads/145-Chapter%20Manuscript-9083-1-10-20210806.pdf> (in Ukrainian)
 8. Voitenko L.V., Stokral V.P., Myroniuk O.O., Kochyn K.O., Voitenko A.H. (2017). *Metodyka kompleksnoho otsiniuvannia yakosti vody dlia zroshennia* [Methodology of comprehensive assessment of water quality for irrigation]. *Materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh uchenykh*. Kyiv: Instytut vodnykh problem i melioratsii NAAN. 62–78. (in Ukrainian)
 9. Voitenko, L. V., Stokral, V. P., & Myroniuk, O. O. *Ekolohichna otsinka lokalnykh vodnykh resursiv na prykladi mista Kam'iantsia-Podilskoho* [Environmental assessment of local water resources on the example of the city of Kamianets-Podilskiy]. *Tavriyski naukovyi visnyk*, 1(100), 287-292. Available at http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/100_2018/part_1/43.pdf (in Ukrainian)
 10. Shevchenko R.Yu. (2021). *Heohrafiia dovkillia ta pryrodokorystuvannia v toponimitsi m. Kyieva* [Geography of the environment and nature use in toponymy of the city of Kyiv]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky»*.— Kyiv: Vydavnychiy dim «Helvetyka», Vypusk, 3, 36. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco-3-36.17> (in Ukrainian)
 11. Konventsiiia z okhorony ta vykorystannia transkordonnykh vodotokiv i mizhnarodnykh ozer [Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes]. Available at: <https://ips.ligazakon.net/document/MU92K05U> (in Ukrainian)
 12. Davydov O.V., Mokra P.O. *Zahalni osoblyvosti rozvytku berehovoï zony kaskadu Dniprovskykh vodoshkovyshch na suchasnomu etapi* [General features of the development of the coastal zone of the cascade of the Dnieper reservoirs at the current stage]. Available at: <http://ekhsuir.kspu.edu/xmlui/bitstream/handle/123456789/2486/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D0%B2%20%D0%9E.%D0%92.%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F%20%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B8%20%D0%A5%D0%A3%D0%93%D0%A2%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0%202008.pdf?sequence=1> (in Ukrainian)
 13. Manatunge, J., Nakayama, M., & Priyadarshana, T. (2008). Environmental and social impacts of reservoirs: issues and mitigation. *Oceans and aquatic ecosystems*, 1, 212-255. Available at: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c12/E1-06-02-06.pdf> (in English)
 14. Romanenko, V. D. (2018). The Dnieper reservoirs, their significance and problems. *Hydrobiological Journal*, 54(3). Available at: <https://www.dl.begell-house.com/journals/38cb2223012b-73f2,21e3612a66713642,7d4bec-7234dab470.html> (in English)

15. Zhezherya, V. A., Zhezherya, T. P., & Linnik, P. M. (2022). Nutrients in the Water of the Reservoirs of the Dnieper Cascade after the Dnieper River Regulation. *Hydrobiological Journal*, 58(2). Available at: <https://www.dl.begellhouse.com/journals/38cb2223012b73f2,790257213a0b-715f,6fba1b3f6d3d87d3.html> (in English)
16. Linnik, P. M. (2022). Organic Matter in the Water of the Reservoirs of the Dnieper Cascade after the Dnieper River Regulation. *Hydrobiological Journal*, 58(3). Available at: https://www.dl.begellhouse.com/journals/38cb2223012b73f2,4bb-2fc9e3c454000,348de2b978162f20.html?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=Hydrobiological_Journal_TrendMD_0 (in English)
17. Dubnyak, S., & Timchenko, V. (2000). Ecological role of hydrodynamic processes in the Dnieper reservoirs. *Ecological Engineering*, 16(1), 181-188. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857400001038> (in English)
18. Strokal, V. (2021). Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 18(1), 67-87. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1943815X.2021.1930058> (in English)
19. Karta hlybyn Kyivskoho vodoshkovyshcha [Depth map of the Kyiv Reservoir]. Available at: <https://ua.fishermat.org/depth-map/ki-evskoe-vodohranilische/> (in Ukrainian)
20. Strokal, V., Kuiper, E. J., Bak, M. P., Vriend, P., Wang, M., van Wijnen, J., & Strokal, M. (2022). Future microplastics in the Black Sea: River exports and reduction options for zero pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 178, 113633. (in English)

V.P. Strokal, A.V. Kovpak (2022).

**ANTHROPOGENIC IMPACTS ON WATER QUALITY OF KYIV RESERVOIR
(PART 1: HYDROLOGICAL, GEOLOGICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS)**

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 59-68.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16267>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.006](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.006)

Abstract. *This research is justified by environmental problems that are related to the quality of water for drinking, fishing and recreational purposes. The Kyiv Reservoir has a number of functions that are important for societal developments. Thus, our research focusing on the water quality of the Kyiv Reservoir is essential to better understand the provision of the national economy and for the development of the water economy as a whole. The purpose of our research was to synthesise the current knowledge regarding hydrological, geological and biological characteristics of the Kyiv Reservoir. This is Part 1 of our research. Our research had the following tasks: to identify the main functions of the reservoir, to analyze its hydrological conditions, landscape and relief changes. The research methodology took into account the systematic approach, which made it possible to analyse the main provisions of the reservoir. This includes that water of Kyiv Reservoir is used for purposes such as water management (energy, fisheries, water supply, irrigation), transport, recreation. The reservoir plays an important role in regulating the water network in the whole drainage basin of the Dnipro River. The reservoir has an important support for hydrological, and landscape functions by allowing to avoid erosion.*

Keywords: *Kyiv Reservoir, hydrogeological conditions, pollution sources, anthropogenic loads into rivers*

ПАСТКА ДЛЯ ВИЛОВЛЮВАННЯ ЖУКІВ- ЧОРНОТІЛОК (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE) ТА ІНШИХ КОМАХ, ЩО ЗАВДАЮТЬ ЗБИТКІВ ПТАХІВНИЦТВУ

Л.С. ЧЕРНЕЙ,

старший науковий співробітник лабораторії наукових фондів
колекцій відділу ентомології та наукових фондів колекцій,

<https://orcid.org/0000-0002-4333-7557>

Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України,

А.І. БАБИЦЬКИЙ,

доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики,

<https://orcid.org/0000-0003-2758-0319>

Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

С.П. ЛІКАР,

старший науковий співробітник сектору методичного забезпечення
відділу експертизи на відмінність, однорідність та стабільність

сортів рослин

Український інститут експертизи сортів рослин

Анотація. Небезпечними шкідниками, що завдають збитків птахівництву України, є дорослі жуки і личинки видів *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1796) та *A. laevigatus* (Fabricius, 1781) (Coleoptera, Tenebrionidae). Під час масового розмноження в межах птахофабрик вони нападають на пташенят, спричиняючи їхню загибель. Птахівництво АР Крим потерпає від *A. diaperinus* уже десятки років. Передбачається розмноження у птахофабриках спорідненого з названими шкідниками виду *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) (Coleoptera, Tenebrionidae), нещодавно завезеного в Україну. Вперше досліджені властивості біології та поведінки вказаних видів, що забезпечують неможливість їх повного знищення у птахофабриках. Головні з них: масове розмноження видів роду *Alphitobius* завдяки поїдання пташенят; здатність

самок *U. dermestoides* відкладати яйця впродовж 1,5 міс. після лише однієї копуляції; продовження періоду розвитку личинки *U. dermestoides* до 96–110 діб (за норми – 30 діб) у разі живлення лише завдяки канібалізму. Вперше розроблена ефективна пастка і методика для виловлювання у птахофабриках вищезазначених та інших шкідливих комах за присутності птахів.

Ключові слова: шкідники, птахівництво, пастка, виловлювання.

Вступ.

З початку 90-х років ХХ століття і дотепер час від часу до Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України надходять звернення від спеціалістів птахофабрик та фермерських перепелиних господарств щодо розробки методів боротьби з шкідливими видами жуків, які нападають на пташенят, іноді спричиняючи їхню масову загибель.

Так, у 2009 році за наданням рекомендацій щодо знищення хижих жуків на птахофабриці «Агрокапітал» АР Крим та в фермерських господарствах з вирощування перепілки японської до нас звернулися співробітники українсько-німецької науково-виробничої фірми кандидати ветеринарних наук А.Н. Шевченко та А.І. Поживіл. За їхньою інформацією спалах шкідників у названих підприємствах був настільки великим, що їхні імаго і личинки, нападаючи на молодняк, впродовж лише однієї ночі з'їдали окремих пташенят до скелету, спричиняючи масову загибель. Таксономічне вивчення наданого ентомологічного матеріалу з цих підприємств показало, що збитків птахівництву завдавали жуки і личинки виду *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1796) з родини жуків-чорнотілок (Tenebrionidae). За браком у працівників птахофабрики знань щодо його біологічних особливостей та необ-

ґрунтоване використання хімічних методів боротьби стали причиною знищення багатьох десятків тисяч птахів одночасно [1].

Попередньо, в 1982 році, масове розмноження *A. diaperinus* нами було зареєстроване у пташниках Держплемптахозаводу «Кримський» Сакського р-ну Кримської області. Цитата зі звернення головного ветеринарного лікаря цього птахозаводу І.В. Шадури: «Просим определить видовую принадлежность и дать рекомендации относительно мер истребления данного вида насекомых в присутствии цыплят».

У 2017 р. до інституту було передано понад сотню проб підстилки і комбікормів з птахофабрик бройлерного виробництва та приватних перепелиних господарств Центральної України для вивчення видового складу членистоногих, що негативно впливають на фізіологію пташенят (збори Л.І. Свалаявчук, Інститут агроєкології і природокористування НААН). У результаті наукового дослідження нами були виявлені шкідливі види жуків-чорнотілок, зокрема *A. diaperinus*, личинки жуків-шкіроїдів, значна кількість личинок і пупаріїв двокрилих (Diptera), кліщі тощо [2; 3; 4].

Окрім того, у 2014 році у закупленій вівсяній крупі нами було зареєстроване масове розмноження жуків виду *A. laevigatus* (Fabricius, 1781)

з цієї ж родини, який до останнього часу вважався рідкісним. Дослідження особливостей його розвитку впродовж 2014–2017 рр. [5] показує, що хижацтво і канібалізм у цього виду ще більше виражені, ніж у близького до нього виду *A. diaperinus*.

Не менш згубні наслідки для розвитку птахівництва ми прогнозуємо також у разі потрапляння в пташники завезеного у 2012 році в Україну пантропічного шкідника зернових запасів – жука-чорнотілоки *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878), який належить до роду *Ulomoides* Blackburn, 1888. За нашими дослідженнями [6], умови, що створюються для вирощування домашньої птиці на птахофабриках, є оптимальними для життєдіяльності *U. dermestoides*. Цей вид споріднений з вищеназваними видами роду *Alphitobius* Stephens, 1829. Його повноцінний розвиток також не можливий без живлення личинок й жуків завдяки канібалізму й хижацтву. Катастрофічне поширення *U. dermestoides* у світовому масштабі зумовлене використанням його дорослих жуків у народній медицині («жук-знахар»). У зв'язку з цим вид розмножують в домашніх умовах, приватних фірмах, а також в зоопарках на корм тваринам. Отримання багаточисельної культури вимагає періодичного перенесення комах в нове середовище (переважно крупі). Разом зі «старим» середовищем яйця, личинки і навіть жуки викидаються в природу, де у весняно-літній період і далі успішно розвиваються. З полів імовірно їхнє занесення в зерносковища та олійниці, а з кормами – на птахофабрики. У наших дослідках жуки і личинки згаданих видів активно поїдали м'ясо курей, живились трупами курчат.

Використання новітніх технологій у птахівництві дало можливість змінити перелітний спосіб життя перепілки японської (*Coturnix japonica* Temminck et Schlegel, 1849) на осілий та викликати безперервне відкладання яєць самками. В Україні створено низку ферм з розведення *C. japonica*, що забезпечило отримання корисних і екзотичних харчів (яйця, м'ясо). Втручання в екологію перепілки японської стало причиною для формування комплексу шкідливих жуків-чорнотілок та інших комах в перепелятниках.

З огляду на той факт, що імаго та личинки названих шкідників надають перевагу живленню м'ясом птахів, нами розроблена та рекомендована до використання пастка для їхнього відловлювання.

Мета роботи. Науково обґрунтувати проблему неможливості повного знищення в межах птахофабрик шкідливих жуків-чорнотілок (Coleoptera, Tenebrionidae), що завдають значних збитків народному господарству через виловлювання за допомогою пастки, розробленої авторами.

Завдання роботи.

Встановити комплекс чинників, що не дають можливості повного знищення шкідливих комах у птахофабриках.

Дослідити чинники негативного впливу шкідливих жуків-чорнотілок та інших комах на життєдіяльність птахів в межах птахофабрик.

Розробити рекомендації щодо зниження чисельності шкідливих жуків-чорнотілок та інших комах в межах птахофабрик та приватних підприємств по вирощуванню перепілки японської, які завдають збитків народному господарству.

Матеріал і методи дослідження.

Дослідження продовжувалось упродовж 1982–2022 рр. в Інституті зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, частково в Київському зоопарку загальнодержавного значення. Опрацьовано 132 екз. комах та 68 проб підстилки з Держплемптахозаводу «Кримський» Сакського р-ну Кримської обл. (збори І.В. Шадури, 1982 р.); 112 екз. комах з птахофабрики «Агрокапітал» АР Крим та господарств з вирощування перепілки японської (збори А.Н. Шевченко, А.І. Поживіл, 2009 р.); 126 проб підстилки і комбікормів з птахофабрик та підприємств з розведення перепілки японської Центральної України (збори Л.І. Свалявчук, Л.С. Черней, 2017–2021 рр.). Проведено вивчення таксономічної приналежності комах, зібраних у вищеназваних птахофабриках.

Експериментально досліджували особливості екології, живлення та поведінки імаго і личинок трьох видів твердокрилих з родів *Alphitobius* і *Ulomoides*. Культури комах утримували в скляних садках (0,5 л банках), закритих зверху капроною сіткою для запобігання заселення їх міллю, двокрилими, павуками тощо. Товщина шару зерна у садку складала 4,0–5,0 см. Оптимальна температура для розведення жуків – 25–27 °С. Для годівлі і розмноження жуків використовували зерно, крупи, м'ясо курей. Усі експерименти проводили в 10-разовій повторюваності.

В основу дослідження покладені також матеріали з вивчення колекції родини жуків-чорнотілок (Coleoptera, Tenebrionidae), сформованої Л.С. Черней, як складової наукових зоологічних фондових колекцій Інституту

зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України, що мають статус Національного надбання України [7]. Значна частина опрацьованих зборів комах поповнила ці колекції.

Автори статті висловлюють подяку своїм колегам з Інституту зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України кандидатам біологічних наук О.В. Прохорову, В.М. Фурсову, К.В. Євтушенку за сприяння в підготовці фото жуків-чорнотілок.

Результати роботи та їх обговорення.

У результаті багаторічних досліджень встановлено, що найбільших збитків птахофабрикам з розведення домашніх птахів та приватним господарствам з вирощування перепілки японської в Україні завдає масове розмноження у них, головним чином, жука-чорнотілки *A. diaperinus*. Очікується також нанесення значної шкоди жуками виду *U. dermestoides* з родини жуків-чорнотілок (Tenebrionidae Latreille, 1802). Останнє підтверджено дослідями, проведеними нами у 2018 році в Київському зоопарку, під час яких жуки цього виду масово нападали на пташенят перепілки японської. Там же відзначене активне розмноження їх на трупах курчат *Gallus gallus*.

До комплексу чинників, що не дають можливості повного знищення шкідливих комах у птахофабриках можна віднести такі:

- резерватом видів *A. diaperinus* та *A. laevigatus* для їхньої інвазії в житло людини і місця розведення тварин є природне середовище, де їхній розвиток проходить під корою дерев і в трухлявій деревині [8; 9], але в природі вони трапляються дуже рідко;

- пристосування в процесі еволюції видів *A. diaperinus*, *A. laevigatus* та *U. dermestoides* до життя в синантропних умовах, створених завдяки господарській діяльності людини, де їхній розвиток проходить у зерні, зернових продуктах, насінні олійних культур тощо, з якими вони заносяться в птахофабрики у складі кормів для птахів;

- за нашими дослідженнями, внесення продуктів життєдіяльності птахів, заражених яйцями, личинками та лялечками *A. diaperinus*, у ґрунт для підживлення рослин у весняний період, дає можливість їм завершити свій розвиток у цьому новому середовищі; здатні до польоту імаго згодом перелітають до пташників;

- небезпечними особливостями біології вказаних шкідників для пташництва є, вперше для фундаментальної науки досліджені нами, здатність самок виду *A. laevigatus*, лише після одного спарювання відкладати яйця упродовж 1,5 місяця та здатність личинок виду *U. dermestoides*, у разі живленні лише завдяки вимушеному канібалізму, продовжувати свій розвиток до 110 діб замість 1 місяця, що розглядаємо як чинник самозбереження виду в екстремальних умовах; завдяки якому названі шкідники, скупчені у щілинах чи під підлогою пташників у період їхньої профілактичної чистки, успішно виживають за відсутності в них і курчат, і кормів; у разі заселення нової партії курчат в пташник, шкідники залишають свої схованки і продовжують повноцінний розвиток;

- неймовірному нарощуванню чисельності видів роду *Alphitobius* в пташниках сприяє здатність жуків і личинок до хижацтва на пташенятах.

Дослідження певних особливостей життєвого циклу жуків-шкідників курчат.

Достатнє і недостатнє живлення чинить суттєвий вплив на життєвий цикл вказаних шкідників. За нашими дослідженнями [1; 5] повноцінний розвиток кожної стадії *A. diaperinus* (рис. 1а; 2а-б), *A. laevigatus* (рис. 3) та *U. dermestoides* (рис. 1б; 4а-б) відбувається у разі живлення жуків й личинок не тільки зерном, крупою чи комбікормом, але, одночасно, і за

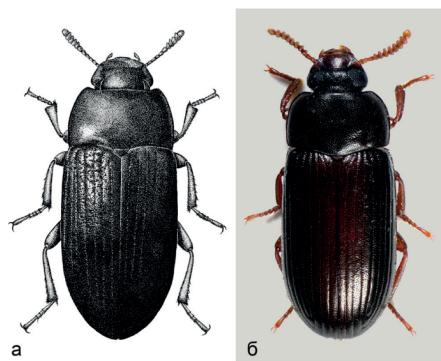
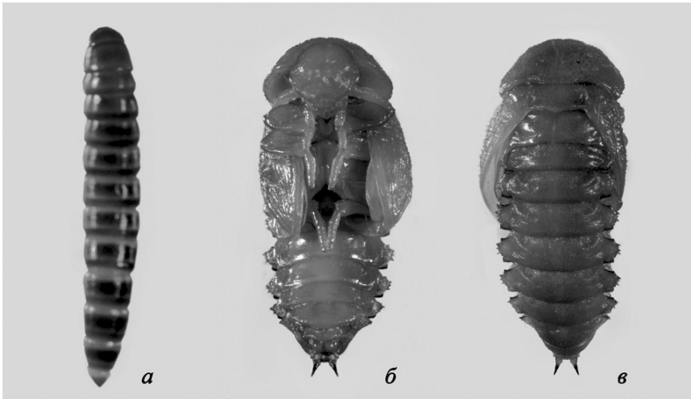


Рис. 1. Імаго шкочочинних жуків-чорнотілок: а – *Alphitobius diaperinus*, б – *Ulomoides dermestoides*



Рис. 2. *Alphitobius diaperinus*: а – личинка, б – лялечка

Рис. 3. *Alphonseus laevigatus*:

а – личинка, б – лялечка знизу, в – лялечка зверху.

рахунок хижацтва, канібалізму, та некрофагії. Таке збалансоване живлення цих шкідників, орієнтуючись на класичну термінологію [8], ми характеризуємо як достатнє.

Саме в пташниках створюються оптимальні умови для своєчасного проходження життєвого циклу шкід-

ників вказаних видів (табл. 1).

За відсутності якогось із трофічних компонентів, живлення досліджуваних шкідників є недостатнім і по-різному впливає на їхній розвиток. Так, період розвитку личинок *U. dermestoides* за оптимальних умов триває один місяць (табл. 1). За недостатнього живлення, наприклад за вирощування личинок у чистій крупі поодинокі, вони гинули після 18–21 доби. У разі вимушеного живлення личинок тільки завдяки канібалізму (тобто поїдання личинок свого виду) личинковий період розвитку збільшувався до 96–110 діб (у 3,0–3,5 рази), а з кожної групи виживала лише одна найсильніша личинка, проте і вона гинула, не заляльковуючись.

У досліді, проведеному авторами в липні – серпні 2016 року в 0,5 л банку, наповненому на $\frac{1}{2}$ об'єму пшеничною крупкою, були поміщені 100 жуків *U. dermestoides*. За цей жаркий період від них отримали личинки, кількість яких не підлягала обліку. Але кількість лялечок і молодих жуків водночас була незначною [10]. Отже, як і в попередньому дослідженні, неможливість залялькову-

Рис. 4. *Ulomoides dermestoides*:

а – личинка, б – лялечка

1. Тривалість стадій розвитку *A. laevigatus* та *U. dermestoides* в ячмінній крупі за оптимальних умов

Назва виду	Періоди розвитку стадій				
	Яйце		Личинка	Лялечка	Імаго
	в яєчнику ♀	в середовищі			
<i>Alphitobius laevigatus</i>	7–8 діб	5–6 діб	37–41 доба	5–6 діб	11–12 міс.
<i>Ulomoides dermestoides</i>	6–7 діб	5–7 діб	30–31 доба	5–6 діб	4,0–4,5 міс.

вання личинок пояснюємо штучно створеними умовами, за яких їхній розвиток (після повного з'їдання крупи) проходив лише завдяки вимушеному канібалізму. Шванвич Б.М., вивчаючи кількість линьок у комах, інформує про продовження стадії личинки платтяної молі у разі недостатнього живлення до 90 діб, за норми – 26 [11].

Отже, нарощування чисельності шкідливих жуків-чорнотілок (*A. diaperinus*, *A. Laevigatus*) (також очікуваного *U. dermestoides*) у птахофабриках, зумовлене відповідністю мікроклімату (температура, вологість середовища) та кормової бази, необхідних як для їхнього розвитку та розмноження, так і для вирощування птахів.

Головні чинники негативного впливу шкідливих жуків-чорнотілок та інших комах на життєдіяльність птахів в межах птахофабрик такі:

1. Хижацтво імаго й личинок.

Завдяки цій властивості найбільших збитків птахівництву нині завдають жуки й личинки *A. diaperinus*. Пристосування їх до живлення курчатами спричинило масове розмноження цього виду в птахофабриках. Найбільш активні жуки і личинки цього виду у сутінках і вночі. Нападаючи на сонних пташенят, вони неодноразово спричиняли їхню масову заги-

бель. Літературні дані свідчать про напад *A. diaperinus* на молодих голубів [12]. В експерименті нами вперше зареєстровано напади імаго *U. dermestoides* на пташенят перепілки японської.

2. Канібалізм імаго й личинок.

Розмножуючи влітку 2015 року *A. laevigatus* без присутності інших синантропних видів комах, ми змушували його жуків і личинок розвиватися тільки завдяки поїданню крупи і канібалізму (без можливості хижацтва). В одному з дослідів з 200 дуже рухливих личинок цього виду відродилось лише 22 жуки. Решта особин упродовж їхнього розвитку були з'їдені активними личинками і жуками цього ж виду. В результаті канібалізму зерно забруднюється не з'їденими частинами личинок, лялечок та молодих жуків, що знижує його якість, як корму для птахів.

3. Випорожнення. У кормах, заражених жуками-чорнотілками, присутні екскременти імаго і личинок, збагачені сечовою кислотою. Окрім того, захисні залози імаго жуків-чорнотілок виділяють у середовище їдку руду речовину, що має специфічний запах, бактерицидні та фунгіцидні властивості. За нашими спостереженнями, олія і каша, приготовлені з продуктів, в яких розмножувалися жуки-чорнотілки *U. dermestoides*, у

людини спричиняли нудоту та тривалі отруєння. Використання таких кормів для годівлі птахів матиме негативні наслідки.

4. Линька. Зерно або крупи (що за нашими даними в деяких сховищах зберігаються по три і більше років), в яких проходить розвиток шкідників, забруднюються вмираючими за віком жуками, шкурками личинок, від яких вони звільняються під час линьки, їхніми шипами і щетинками, екзuviaми передлялечок і лялечок. Разом з кормом вони потрапляють у кишечники птахів, і не виключено, що саме це є однією з причин їхнього захворювання та загибелі.

Пастка для відловлювання шкочодчинних жуків, їхніх личинок та інших комах у птахофабриках за присутності птахів.

У наших дослідях і жуки, і личинки *U. dermestoides* активно жилися свіжим м'ясом курей, причому личинки сповзались на нього в такій кількості, що повністю відтісняли жуків. Личинки *A. diaperinus*, за неможливості дістатись до м'яса через скупчення імаго, різко підстрибуючи вгору, опускалися чітко на поживу. На основі такої атракції, тобто надання переваги імаго та личинками цих шкідників живленню м'ясом птахів, нами розроблено пастку для їх відловлювання у пташниках.

Будова пастки. Пастка має вигляд дерев'яного ящика без дна, але на ніжках і з кришкою (рис. 5). Її розміри довільні, наприклад, 60×35×30 см. Висота ніжки 5,0 см. Бокові стінки і кришку виготовляють із планок, розміщених на відстані 1,0–1,5 см, оскільки жуки і личинки для нормальної життєдіяльності потребують освітлення. У разі великих щілин

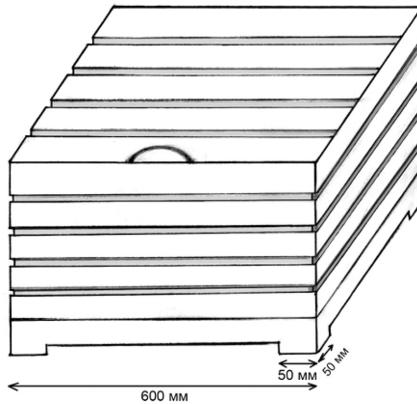


Рис. 5. Пастка для виловлювання жуків і личинок

між планками птахи намагатимуться дістати м'ясну приманку. Наявність ніжок не перешкоджає рухові жуків і личинок до розміщених під пасткою м'ясних приманок (шматочків м'яса на папері). Пастка повинна бути важкою, запобігаючи можливості перевертання її птахами. Кріплення для кришки і ручки можна виготовити з пасків, корсажної стрічки тощо.

Пастка спрощеного виготовлення. У якості пасток можуть слугувати дерев'яні ящики для зберігання овочів і фруктів, перевернуті догори дном. Водночас верхню планку з кожного боку знімають, щоб утворилися ніжки. Якщо такі пастки легкі, їхній верх доповнюють міцно прибитим брусом. Цей різновид пастки не має кришки. Отже, розміщення під нею приманок для комах та забір спійманих на приманках жуків і личинок здійснюється через її переставляння з місця на місце.

Принцип роботи пастки. Використовуються приманки зі свіжого м'яса курей чи інших птахів, які викладають зверху на підстилку під пасткою на відстані 10–12 см одна

від іншої. Шматочки м'яса об'ємом 1–2 см³ (можна з кусочками кісток) покласти на аркуші нещільного паперу розміром 6×6 см. Краще використовувати паперові гігієнічні рушники, серветки тощо. Щільний папір ковзкий для руху і жуків, і личинок. Через 3–5 год. (у разі скупчення жуків і личинок на м'ясі) аркуші з комахами забирають та опускають у відро з солоною водою, де утримують їх упродовж 4 годин до загибелі. Приманки не повинні бути доступні для поїдання птахами чи пташенятами. Пастки ставлять в кількості 1 шт./15 м² (у разі значного розмноження комах – 1 шт./10 м²) до повного виловлювання шкідників. М'ясо на приманках пильно обстежують, оскільки личинки 1–2 віків, що досягають довжини 1–2 мм, можуть бути не поміченими. У такому випадку приманки сприятимуть не знищенню, а розмноженню шкідників. Працювати з пастками потрібно в латексних рукавицях.

Рекомендації щодо обмеження чисельності шкідників у птахофабриках

1. Пастки для виловлювання імаго і личинок жуків-чорнотілок ставити у пташниках від початку заселення нової партії курчат, оскільки не виключено, що у щілинах підлоги і вздовж стін продовжує розвиток частина личинок, що скупчилась у них в період вирощування попередньої партії птахів та не була доступна для знищення після їхнього забою.

2. Перед закупівлею кормів, необхідно проводити аналіз на предмет зараження найбільш небезпечними для птахівництва видами жуків-чорнотілок (*A. diaperinus*, *A. laevigatus*) (очікується, що також *U. dermestoides*) та

жуків-шкіроїдів, зокрема *Dermestes bicolor* Fabricius, 1781 та *D. lardarius* Linnaeus, 1758.

3. Не допускати скупчення у пташниках продуктів життєдіяльності птахів (послід, пір'я, рештки кормів) та наявності загиблих птахів, що є розплідниками шкідників. Після видалення із пташників підстилки, збагаченої послідом і рештками кормів, заражених яйцями, личинками, лялечками і жуками-чорнотілками, не зберігати їх поблизу пташників, пам'ятаючи про здатність шкідників до польоту.

4. Перекривати вікна пташника дрібновічковими сітками, вигідно виловлювати залітаючих комах липучими стрічками.

5. Не допускати наявності в пташниках трупів курчат, оскільки вони є середовищем для розмноження жуків-чорнотілок [8; 9; 12], шкіроїдів, а також двокрилих [13; 14].

6. Перед використанням хімічних препаратів для боротьби з шкідниками необхідно перемістити птахів у іншу споруду.

Висновки.

- Найбільш небезпечними для птахівництва видами жуків-чорнотілок є *A. diaperinus*, *A. laevigatus* (очікується, що також *U. dermestoides*), жуки-шкіроїди та двокрилі.

- Основною причиною неможливості повного знищення названих шкідників у птахофермах, є їхня здатність збільшувати період життя личинок у 3,0–3,5 рази у разі їхнього недостатнього живлення (тобто за відсутності зерна чи крупи), коли розвиток відбувається лише за рахунок вимушеного канібалізму, що показано нами на прикладі вивчення життєвого циклу виду *U. dermestoides*.

Саме такі умови створюються в щілинах підлоги пташника у час його чистки після забою птахів. При заселенні нової партії пташенят, личинки активно переселяються в новостворені умови і спричиняють нові спалахи чисельності шкідників.

- Уперше досліджена нами здатність самок виду *A. laevigatus* лише після одного спарювання відкладати яйця упродовж 1,5 місяця є також одним з основних чинників не можливості повного знищення цього шкідника у птахофабриках. Під час профілактичної чистки пташника після забою птахів, саме такі, попередньо запліднені самки, що безпечно перебувають у щілинах підлоги, продовжать відкладати яйця після наступного заселення курчат.

- Зниження чисельності названих шкідників у пташниках до економічно не значущої можливе за використання розробленої нами пастки для їхнього відловлювання.

References

1. Cherney, L. S., Prokhorov, A. V. (2016). *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) – nebezpechnyi shkidnyk kormovykh zapasiv, zavezenyi v Ukrainu [*Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) – dangerous pest of fodder stock imported into Ukraine]. *Modern Poultry*, 1–2. 21–26. (in Ukrainian).
2. Babytskiy, A. I., Zuieva, O. A., Bezsmertna, O. O., Dudiak, I. D. (2019). The first records of *Corynoptera* species (Diptera, Sciaridae) from Ukraine. *Vestnik Zoologii*, 53(3), 227–236. doi: 10.2478/vzoo-2019-0022
3. Babytskiy, A. I., Bezsmertna, O. O. (2021). New Records of Sciarid Species (Diptera, Sciaridae) from Ukraine. III. *Zoodiversity*, 55(6). 493–504. doi: 10.15407/zoo2021.06.493
4. Babytskiy, A. I., Moroz, M. S., Kalashnyk, S. O., Bezsmertna, O. O., Dudiak, I. D., Voit-sekhivska, O. V. (2019). New findings of pest sciarid species (Diptera, Sciaridae) in Ukraine, with the first record of *Bradysia difformis*. *Biosystems Diversity*, 27(2). 131–141. doi: 10.15421/011918
5. Chernei, L. S., Zelinskaya, T. S. (2017). *Morfologicheskie osobennosti preimaginal'nykh stadij i biologiya vidov roda Alphetobius Stephens 1829, podtverzhdayushchie novyy taksonomicheskij sostav tribu Alphetobiini Reitter, 1917 (Coleoptera, Tenebrionidae)* [Morphological features of the preimaginal stages and biology of species of the genus *Alphetobius* Stephens 1829, confirming the new taxonomic composition of the tribe *Alphetobiini* Reitter, 1917 (Coleoptera, Tenebrionidae)]. *Ukrainian Entomological Journal*, 1(12). 20–34. (in Russian).
6. Chernei, L. S. (2015). *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) (Coleoptera, Tenebrionidae) v usloviyah Ukrainy i ego taksonomicheskoe polozhenie [*Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) (Coleoptera, Tenebrionidae) in the conditions of Ukraine and its taxonomic position]. *Ukrainian Entomological Journal*, 1–2. 92–104 (in Russian).
7. Akimov, I. A., Kharchenko, V. O., Levchuk, O. M. (2016). *Naukovi fondovi kolektsii Instytutu zoolohii im. I.I. Shmalhauzena NAN Ukrainy* [Scientific fund collections of the I.I. Schmalhausen Institute of Zoology of NAS of Ukraine]. *Proceedings of the National Museum of Natural History*. 14, 95–108. (in Ukrainian).
8. Chernei, L.S. (2005). *Fauna Ukrainy. T.19. Zhestkokrylye. Vyp. 10. Zhuki-chernotelki (Coleoptera, Tenebrionidae)* [Fauna of Ukraine. Vol. 19. Coleoptera Is. 10. Tenebrionidae]. Kiev: Naukova dumka. 431(in Russian).
9. Chernei, L.S., Fedorenko, V. P. (2006). *Opredelitel' zhukov-chernotelok (Coleoptera, Tenebrionidae) fauny Ukrainy (imago, lichinki, kukolki)* [Key of darkling beetles (Coleoptera, Tenebrionidae) of fauna of Ukraine (imago, larvae, pupae)]. Kiev: Kolobig. 248. (in Russian).

10. Chernei, L. S., Svaliavchuk, L. I. (2018). Oso-bennosti razvitiia Ulomoides dermestoides (Chevrolat, 1878) (Coleoptera, Tenebrionidae) na kombikormakh, ispolzuemykh v broilernom ptitsevodstve I krupakh bustro-ho prihotovleniia [Features of Ulomoides dermestoides (Chevrolat, 1878) development (Coleoptera, Tenebrionidae) on mixed fodder used in broiler poultry and fast food cereals]. Scientific Reports Of NULES Of Ukraine, 1(71), 1–16.
11. Shvanvich, B. N. (1949). Kurs obshchei entomologii [Course of General Entomology]. Moskva-Leningrad: «Sovetskaya nauka». 899. (in Russian).
12. Crook, Ph.G., Novak, I.A., Spilman, T.J. (1980). The lesser mealworm, Alphitobius diaperinus, in the scrotum of Rattus norvegicus, with notes on other vertebrate associations (Coleoptera, Tenebrionidae; Rodentia, Muridae). Coleopterists Bull., 34(4), 393–396.
13. Babytskiy, A. I., Bezsmertna, O. O., Moroz, M. S., Pavliuk, S. D., Honcharenko, B. V. (2020). New Records of Bradysia Species (Diptera, Sciaridae) from Ukraine. Zoodiversity, 54(4). 329–340. doi: 10.15407/zoo2020.04.329
14. Babytskiy, A. I., Zuieva, O. A., Bezsmertna, O. O. (2018). Peyerimhoffia vagabunda – new sciarid species (Sciaridae, Diptera) for the entomofauna of Ukraine. Biosystems Diversity, 26(3). 245–249. doi: 10.15421/011837

L.S. Cherney, A.I. Babytskiy, S.P. Likar (2022).

EFFECTIVE TRAP FOR BLACK BEETLE (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE) AND OTHER INSECTS THAT CAUSE DAMAGE TO POULTRY.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 69-79.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16260>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.001](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.001)

Abstract. Darkling beetles *Alphitobius diaperinus* (Panzer, 1796) and *A. laevigatus* (Fabricius, 1781) (Coleoptera, Tenebrionidae) are the main pests of young chicks in poultry industry. *A. diaperinus* had already been recorded causing damage to the poultry industry in Crimea. Its larvae and adults attack chicks in the mass. Significant cannibalism is recorded for *A. laevigatus* in laboratory conditions. We suppose that complex of harmful insects in poultries will include species *Ulomoides dermestoides* (Chevrolat, 1878) which was introduced recently to Ukraine. Properties of these introduced harmful beetles, providing their survival and invulnerability to full liquidation in poultry houses, are firstly shown, namely: mass rearing of *A. diaperinus* due to their predaceous feeding on living birds, ability of females of *U. dermestoides* to oviposit eggs during 1,5 months after the single copulation, and prolongation of duration of the larval stages up to 96–110 days (usually 30 days long) due to a cannibalism only. The features of development and behavior of *U. dermestoides* are shown resembling these of *A. diaperinus*. New data on behavior, duration and peculiarities of life cycle were carried out during 2012–2019 under the laboratory conditions and received for the first time. The practical role of *A. diaperinus*, *A. laevigatus* and *U. dermestoides* is discussed. The forecast regarding the negative impact of *U. dermestoides* on the aviculture and poultry industry development in the Southern Ukraine is presented. Present contribution is beneficial not only for specialists in fundamental research, but also for practitioners, in particular, for the personnel of State Veterinary and Plant Health as well as the State Sanitary and Epidemiological Service. The structure and model of effective trap for collecting of larvae and adults of harmful darkling beetles at the presence of living birds in poultry houses is presented and recommended here for production and application in poultry industry.

Keywords: wreckers, poultry industry, trap, hunting.

ПОШКОДЖЕННЯ СОРТІВ ГРУШІ ТА КОНТРОЛЬ ЧИСЕЛЬНОСТІ *ERIOPHYES PYRI* PGST. (ACARI: ERIOPHYOIDEA) В УМОВАХ БОТАНІЧНОГО САДУ ІМ. АКАДЕМІКА О.В. ФОМІНА

Л.М. БОНДАРЕВА,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15, Україна
E-mail: lnubip69@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-8171-2338>

П.Я. ЧУМАК,

кандидат сільськогосподарських наук
Поліський національний університет,
10008, м. Житомир, Старий бульвар, 7
E-mail: Chumakp@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2053-2341>

О.В. ЗАВАДСЬКА,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15, Україна
E-mail: zavadska3@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5409-0115>

Анотація. В 2018-2020 рр. на території Ботанічного саду ім. академіка О.В. Фоміна було проведено дослідження щодо пошкодження листків груші грушевим галовим кліщем (*Eriophyes pyri* Pgst.) і визначена ефективність дії акарицидів біологічного походження. Листки досліджуваних сортів відбирали чотири рази впродовж вегетаційного сезону, починаючи з середини травня до початку серпня. Пошкодження оцінювали за шкалою: 1 бал <5% поверхні листка вкрито галами; 2-3 бали 5- 25% поверхні листка вкрито галами; 4-5 балів 26-50% поверхні листка вкрито галами; 6-7 балів 51-85% поверхні листка вкрито галами; 8-9 балів > 85% поверхні листка вкрито галами. Встановлено, що серед двадцяти чотирьох сортів найбільш пошкодженими (8–9 балів) *E. pyri* були три зимових сорти: «Бере Київська», «Деканка зимова», «Кримська зимова», а також груша верболиста (*Pyrus salicifolia* Pall). Три сорти «Жовта Мліївська», «Рояль зимовий» і «Тающая» були оцінені в 6-7 балів заселення листків груші, а найменш пошкоджені (1 бал) були чотири літні сорти – «Вільямс Руж Дельбара», «Вільям літній», «Ільїнка» і «Фаворит Клаппа». Всі інші сорти груші звичайної характеризувались слабким або середнім ступенем заселення фітофагом. Максимальне пошкодження листків у всіх сортів було зафіксовано в кінці

липня. Результати випробувань препаратів показали високу ефективність дії акарицидів біологічного походження: Фітоверм (д.р. аверсектін С), 5% к.е. і Вертимек (д.р. абамектін), 018 к.е. Використання цих пестицидів дозволить не тільки стримати розвиток фітофага, але й зберегти хижих кліщів. Важливою проблемою є розробка параметрів, необхідних для точного розрахунку суми ефективних температур, за яких відбувається весняна міграція кліщів із бруньок. Це потрібно для точного визначення часу проведення захисних обробок від грушевого галового кліща.

Ключові слова: груша, *Eriophyes pyri* Pgst., сорт, заселення, пошкодження, акарициди біологічного походження

Вступ.

Груша – досить цінна плодова культура. Після яблуні вона займає друге місце в структурі плодово-ягідних насаджень України. Наявність великої кількості сортів різних строків досягання дозволяє мати свіжі плоди протягом 8–10 місяців, а при зберіганні у холодильнику – протягом року (Matvienko et al., 2006). Грушеві сади є місцем існування багатьох фітофагів. Однією з груп членистоногих-фітофагів, які пошкоджують плодове дерево є кліщі з надродини еріофіїдів (Acari: Eriophyoidea). Еріофіїдні кліщі – облигатні паразити рослин, вони живляться різними органами рослин, викликаючи симптоми, які іноді можна сплутати з вірусами, дефіцитом поживних речовин і фізіологічними порушеннями. Деякі з цих кліщів можуть передавати патогени рослин, зокрема віруси, з серйозними наслідками для врожайності сільськогосподарських культур і вважаються карантинними організмами в багатьох країнах (Oldfield et al., 1996), що з економічного погляду робить еріофіїдних кліщів другим за значенням комплексом видів кліщів-фітофагів після тетраніхїдних (Leeuwen et al., 2010).

Оцінка щільності популяції чо-

тириногих кліщів і пов'язані з цим втрати врожаю у деяких випадках є складним завданням. Їх дрібний розмір, який неможливо спостерігати неозброєним оком, без використання будь-якого мікроскопічного пристрою і прихований спосіб життя є перешкодою для докладних досліджень з метою визначення їх впливу на сільськогосподарські культури. Незважаючи на свій малий розмір і низьку рухливість, еріофіїдні кліщі можуть пасивно поширюватися на великі відстані через повітряні потоки, дощ і, особливо, через комерційну торгівлю посадковим матеріалом і з продукцією (Kołataj, 2017).

В умовах Ботанічного саду ім. академіка О.В. Фоміна грушеві насадження заселяють три види кліщів з надродини еріофіїдів: *Eriophyes pyri* Pgst., *Epitrimerus pyri* Nal. і *Epitrimerus marginemtorquens* Nal. Серед них домінуючим і найбільш небезпечним є грушевий галовий кліщ (*Eriophyes pyri* Pgst.) (Bondareva and Chumak, 2021; Bondareva, 2021). Втрати врожаю груші від цього виду можуть досягати 60–70 %, в окремі роки – навіть 95 % (Cherkezova and Vinogradova, 2012).

При наявності у великій кількості та після тривалого живлення на листках еріофіїдні кліщі зменшу-

ють інтенсивність фотосинтезу, вміст хлорофілу та енергію росту, що безпосередньо впливає на врожайність плодів. (Leeuwen et al., 2010). Може спостерігатися передчасне обпадання листків. За невеликої чисельності кліщів особливого впливу на врожай не спостерігається (Murray and Alston, 2011). Більшість свого життя грушевий галовий кліщ проводить в галах, які ефективно захищають його від впливу багатьох засобів захисту рослин. Лише короткочасно він перебуває на поверхні рослин, а це означає, що при захисних заходах особливо важливо дотримуватися оптимальних строків обробок (Daniel et al., 2006; Sekrecka and Hołdaj, 2013; Bondareva, 2021; Bondareva and Chumak, 2021).

В сучасних умовах вимоги ринку до якості плодів стали значно вищими, тому важливо оцінити стан кліщів-фітофагів і шкоду, завдану насадженням. А знання про стійкість сортів сільськогосподарських культур до кліщів дозволяють зменшити пестицидне навантаження в плодкових насадженнях і витрати на проведення захисних заходів. У доступній літературі дуже мало інформації щодо пошкоджуваності сортів грушевих насаджень еріофіоїдними кліщами. Метою даного дослідження було завдання оцінити ступінь колонізації та пошкодження сортів груші різних строків досягання грушевим галовим кліщем і провести оцінку ефективності дії акарицидів біологічного походження.

Матеріали і методи дослідження.

Дослідження проводили на території Ботанічного саду імені академі-

ка О.В. Фоміна (50 ° 26'35 "пн.ш. 30 ° 30'14" сх.д.) у 2018–2020 рр.

Моніторинг груші на заселеність бруньок кліщем проводили з використанням прозорої липкої стрічки «скотч». Для визначення заселення різних сортів кормової рослини кліщами, листки груші відбирали чотири рази впродовж вегетаційного сезону, починаючи з середини травня до початку серпня. Брили по 40 довільно взятих листків з 4 дерев кожного сорту (10 листків x 4 повторення). Візуальні обстеження проводили рівномірно по ярусах, сторонах світу, глибині та висоті крони. За значної кількості проб листки поміщали в поліетиленові пакети із зазначенням місця збору, дати, сорту і зберігали в холодильнику не більше 4–5 діб при температурі +4...+6 ° С. Аналіз проб проводили в лабораторії акарології кафедри інтегрованого захисту та карантину рослин НУБіП України. Під час досліджень оцінений ступінь пошкодження двадцяти трьох сортів груші різних строків досягання і грушу верболисту (*Pyrus salicifolia* Pall). Всі сорти були поділені на п'ять груп залежно від ступеня пошкодження листя кліщами: I – дуже низька (1 бал; <5 % поверхні листка покрито галами), II – низька (2-3 бали; 5-25 % поверхні листка покрито галами); III – середня (4-5 балів; 26-50 % поверхні листка покрито галами), IV – висока (6-7 балів; 51-85 % поверхні листка покрито галами), V – дуже висока (8-9 балів; > 85 % поверхні листка покрито галами).

Динаміку чисельності популяції *E. pyri* визначали з моменту виходу самиць з місць зимівлі, що відповідає початку розвитку популяції виду.

Проблема, яка перешкоджає ефективній боротьбі з грушевим галовим

кліщем – це невеликий асортимент дозволених до застосування акарицидів. В даний час для контролю чисельності чотириногих кліщів рекомендовано використовувати препарати, що містять фенпіроксимат. Для оцінки придатності інших активних речовин на ділянці насаджень груші зимового сорту «Бере Київська», з високим ступенем пошкодження кліщем, був закладений дрібноділянковий дослід щодо визначення ефективності дії акарицидів біологічного походження: Фітоверм (д.р. аверсек-тін С), 5% к.е. (0,8 л/га) і Вертимек (д.р. абамектін), 018 к.е. (1 л/га). Як етанол використовували Ортус (д.р. фенпіроксимат), 5% к.с. (0,5 л/га). Виділяли також контрольні дерева (без обробок). Обприскування проводили ранцевим обприскувачем у два терміни. Перший раз у період утворення 7–9 порядкового листка, коли перше покоління кліщів залишає старі гали і заселяє нові листки. У цей період фітофаг переходить від прихованого до відкритого способу життя і тому кліщі є найбільш вразливими. Другий раз – у період міграції другого покоління з старих галів для утворення нових. Дослід був проведений у 4-кратному повторенні (дерево – повторення). Для оцінки ефективності обробок довільно двічі збирали листки з усього обсягу крони дерева. Вибірка з кожного дерева складалася із 100 листків.

Ефективність випробуваних пестицидів визначали за формулою Аббота:

$$C = 100 - (Ab / Ba) \times 100,$$

де А – кількість пошкоджених листків на контрольній ділянці до обробки дослідної; а – кількість по-

шкоджених листків на контролі після обробки дослідної ділянки; В – кількість пошкоджених листків на дослідній ділянці до обробки; b – кількість пошкоджених листків на дослідній ділянці після обробки.

Результати дослідження та їх обговорення.

Грушевий галовий кліщ (*Eriophyes pyri* Pgst.) поширений на території України повсюди. Пошкоджує грушу, яблуню, айву (Vasiliev and Livschitz, 1984; Bondareva and Timoshchuk, 2020). Зимують запліднені самиці під лусочками бруньок, збираючись по кілька сотень, не живляться і не відкладають яєць. Навесні у разі досягнення середньодобової температури повітря +10°C кліщі, не виходячи з бруньок, починають живитися і відкладати яйця, тому на час відокремлення бутонів, на повністю нерозкритих листках вже є гали. В умовах Криму фітофаг має п'ять-шість поколінь на рік, водночас щільність заселення перевищує ЕПШ у 5–6 разів (Tsyurka et al., 2018). В умовах Києва розвивається три покоління Е. ругі. Розвиток першого покоління триває понад місяць і закінчується на початку червня. Перше покоління розвивається спочатку всередині бруньок, а потім мігрує на листки. Молоді самиці, влаштувавши нові гали поряд з материнськими, приступають до відкладання яєць. Друге покоління з'являється в червні, його розвиток триває понад три тижні. Розвиток третього покоління відбувається наприкінці липня – на початку серпня і триває 15-18 днів. Процес міграції дейтогинних самиць в бруньки на зимівлю відбувається в серпні (Cherkezova and Vinogradova,

2012; Bondareva, 2021). Описаний хід міграції шкідника на сортах груші різного терміну стиглості плодів і за різних ценотичних обставин може змінюватися, але в часовому аспекті несуттєво.

Пошкодження, заподіяні грушевим галовим кліщем, спричиняють утворення на листках світло-зелених, бурих і червоних здуттів (гладких бляшкоподібних галів) завдовжки 3 мм у діаметрі, які поступово чорніють і засихають. Перші гали з'являються в центрі листка вздовж головної жилки, але із збільшенням їхньої кількості вони часто покривають всю листову пластинку. Пошкоджені листки спотворюються. У місцях, де розташовані гали, тканина листка відмирає, засихає та обпадає. Харчові укули можуть також викликати дуже дрібні здуття на зелених пагонах і на плодах біля плодоніжки. Пошкоджені бруньки помітні навесні, вони збільшені і на 10-14 днів відстають у розвитку. Зазвичай сильніше пошкоджуються листки і бруньки, розташовані в нижній та середній частині крони, ближче до штамбу.

Для ранньовесняного періоду встановлюється поріг у 20 % заселених бруньок зимуючими самицями кліща. У роки наших досліджень популяція *E. rugi* на певних сортах перевищувала порогові значення. Під час ранніх весняних оглядів спостерігалися великі відмінності в кількості кліщів, що зимують у бруньках. Їхня чисельність коливалася від кількох особин до кількох сотень на одну бруньку.

Значний вплив на рівень пошкодження плодового дерева грушевим галовим кліщем має сорт. Відомості про чисельність фітофага на різних сортах грушевих насаджень у нау-

ковій літературі мізерні. Badowska-Czubik та ін. (2014) провела експеримент у Польщі, під час якого було досліджено шість сортів груші на заселеність грушевим галовим кліщем. Цей експеримент показав, що сорти «Еріка», «Амфора» та «Фаворитка» помітно більш сприйнятливі до пошкодження цим кліщем, ніж сорти «Конкорд», «Конференція» і «Рада-на». В червні 2011 року автором відмічено, що у сортів «Еріка», «Амфора» та «Фаворитка» пошкоджено понад 70 % листків, тоді як решта сортів характеризувалася значно нижчими показниками пошкодження листків.

В умовах Ботанічного саду ім. академіка А.В. Фоміна нами проведено порівняльну оцінку колекційних насаджень груші, яка дала можливість виділити менш заселені та більш пошкоджені сорти грушевим галовим кліщем (табл. 1.). Слід зазначити, що шкідник був присутній на всіх досліджених сортах. Чотири літні сорти – «Вільямс Руж Дельбара», «Вільям літній», «Ільїнка» і «Фаворит Клаппа» були заселені *E. rugi* найменше і віднесені нами до I групи, яка характеризується найменшим (<5 %) рівнем пошкодження поверхні листка. До II групи увійшло шість літніх і осінніх сортів: «Бере Жиффар», «Бере Клержо», «Бере Лігеля», «Лимонка» і «Поліська». У цих сортів листки були вкриті галами в межах 5-25%. У семи сортів груші листки були охоплені галами на 26-50 % (належали до III групи). Це сорти: «Бере Гарді», «Бере Діль», «Гранд Чемпіон», «Зимова Мліївська», «Конференція», «Лісова красуня», «Парижанка». Переважна більшість з них – це осінні сорти. Сильне пошкодження листків (IV група, охоплено поверхні листка галами 51-85%) зафіксовано на трьох

1. Пошкодження сортів груші *Eriophyes pyri* в умовах Ботанічного саду ім. академіка А.В. Фоміна (середнє за 2018-2020 рр.)

Група	Бал і ступінь пошкодження рослини	Сорт груші	Термін дозрівання
I	Бал 1; охоплено поверхні листка галами < 5%	«Вільямс Руж Дельбара» «Вільямс» «Ільїнка» «Улюблена Клаппа»	літній літній літній літній
II	Бал 2-3; охоплено поверхні листка галами 5-25 %	«Бере Жиффар» «Бере Клержо» «Бере Лігеля» «Лимонка» «Поліська» «Тріумф Жодуаня»	літній пізноосінній осінній літній пізноосінній осінній
III	Бал 4-5; охоплено поверхні листка галами 26-50 %	«Бере Гарді» «Бере Діль» «Гранд Чемпіон» «Зимова Мліївська» «Конференція» «Лісова красуня» «Парижанка»	осінній осінній осінній пізньозимовий осінній осінній зимовий
IV	Бал 6-7; охоплено поверхні листка галами 51-85%	«Жовта Мліївська» «Рояль зимовий» «Тающая»	осінній зимовий ранньозимовий
V	Бал 8-9; охоплено поверхні листка галами > 85%	«Бере Київська» «Деканка зимова» «Кримська зимова» Груша верболиста <i>Pyrus salicifolia</i> Pall	зимовий пізньозимовий пізньозимовий

сортах осіннього і зимового строку досягання плодів: «Жовта Мліївська», «Рояль зимовий», «Тающая».

Найбільш пошкодженими виявилися три зимові сорти груші звичайної (*P. communis* L.) (V група, вкрито поверхні листка галами >85 %): «Бере Київська», «Деканка зимова», «Кримська зимова», а також груша верболиста (*Pyrus salicifolia* Pall). Максимальне пошкодження листків на всіх досліджуваних сортах спостерігали в кінці липня.

Проводити моніторинг грушевого галового кліща і ефективні захисні заходи є досить складним завданням. В Україні, як і в країнах ЄС, рекомен-

довано застосовувати інтегрований захист рослин і відповідно до цього необхідно проводити контроль чотириногих кліщів з пріоритетом використання методів альтернативних хімічному. Важливим чинником, який визначає ефективність зниження кількості фітофага є визначення точних стороків обробок.

Проти грушевого галового кліща у період міграції 1-го і 2-го покоління були досліджені акарициди біологічного походження: Фітоверм 5% к.е. з нормою витрати 0,8 л/га і Вертимек, 018 к.е. з нормою витрати 1 л/га. Як етанол використовували Ортус, 5% к.с. (0,5 л/га) (табл. 2).

2. Ефективність дії акарицидів проти грушевого галового кліща, (%), сорт «Бере Київська», Ботанічний сад ім. академіка А.В. Фоміна, середнє за 2019-2020 рр.)

Варіант	Доба обліку			
	на 3 добу	на 7 добу	на 14 добу	Хижі кліщі з родини фітосеїди екз/листок
Еталон – Ортус 5% к.с., норма витрати 0,5 л/га	93,1	99,2	100,0	0,2
Фітоверм 5% к.е., норма витрати 0,8 л/га	88,5	95,6	96,0	4,1
Вертимек, 018 к.е., норма витрати 1 л/га	92,1	98,3	98,9	3,6
Контроль (без обприскування)	–	–	–	6,1

Аналізуючи отримані дані слід відзначити, що найнижча ефективність на третю добу відзначена у мікробіологічного препарату Фітоверм 5% к.е. – 88,5%. На сьому добу ефективність дії фітоверму склала 95,6 %, а на 14 добу ефективність акарициду практично не змінилася і становила 96,0 %. У варіанті з використанням Вертимеку, 018 к.е. на третю добу після обробки ефективність дії склала 92,1 %, далі зростала і до кінця вегетації залишалася високою з показниками 98,3–98,9 %. Ефективність еталонного акарициду Ортус 5 % к. с. була на рівні ефективності Вертимек і становила 93,1–100 %. Водночас на листках відмічені хижі кліщі з родини фітосеїдів. Найнижча щільність фітосеїдів відмічена (12.07 – 0,2 особин/листок) на варіанті з використанням ортусу. У разі застосування акарицидів біологічного походження кількість хижих кліщів до кінця липня досягла 3,6-4,1 особин/листок, а на контрольній ділянці відповідно 6,1 особин. Praslička et al. (2011) повідомляють, що хижий кліщ *Typhlodromus pyri*, з родини фітосеїдів може бути використаний як біологічний метод при захисті грушевих насаджень від *E. pyri*. Він здатний ви-

живати і розмножуватися на альтернативних джерелах їжі, таких як гриби, пилок або сік рослин, тому розселення хижого кліща в насадженнях груші не потрібно часто повторювати.

Отже, дослідження свідчать, що доцільно застосовувати препарати Фітоверм 5% к.е. і Вертимек 018 к.е. двічі під час виходу кліщів із галів, водночас чисельність хижих кліщів є достатньою для подальшого стримування розвитку фітофага.

Важливим заходом захиту рослин груші від галових кліщів є дотримання основних профілактичних прийомів. Сади, які закладаються, повинні бути достатньо ізольовані від тих місць, де спостерігалися насадження заселені кліщами-фітофагами. Садівний матеріал має бути обов'язково перевірений на відсутність заселення кліщем бруньок. Крім того, повинні бути дотримані всі агротехнічні прийоми догляду за рослинами.

Висновки і пропозиції.

Дослідження показало варіабельність заселення та пошкодження *E. pyri*. листків різних сортів груші. Максимальна заселеність листків клі-

щами відмічена в наприкінці липня. Сильно пошкодженими були переважно сорти зимового терміну стиглості: «Жовта Мліївська», «Рояль зимовий», «Тающая», «Бере Київська», «Деканка зимова» і «Кримська зимова». Слабким ступенем пошкодження характеризувались літні сорти – «Вільямс Руж Дельбара», «Вільям літній», «Ільїнка» і «Фаворит Клаппа». Всі інші сорти груші характеризувались слабким або середнім ступенем заселення *E. pyri*. Обробки доцільно проводити двічі акарицидами біологічного походження із рекомендованими нормами витрат – Фітоверм 5% к.е. або Вертимек 018 к.е., що дасть можливість не тільки стримати розвиток фітофага, але й зберегти хижих кліщів і знизити пестицидне навантаження у плодових насадженнях та витрати на проведення захисних заходів.

References

1. Badowska-Czubik, T., Danelski, W., Rozpara, E. (2014). Density and degree of damage to leaves and shoots of some plum and pear cultivars by eriophyoid mites (Eriophyoidea). *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 59(3): 5–7.
2. Bondareva, L., Timoshchuk, T. (2020). *Acari. Part I: Textbook*. Kyiv: NULES of Ukraine, 383 p. (In Ukrainian).
3. Bondareva, L., Chumak, P. (2021). Eriophyoid mites (Acari: Prostigmata) on common pear (*Pyrus communis* L.): species diversity and varietal attractiveness in the Fomin Botanical Garden (Kyiv, Ukraine). *Persian Journal of Acarology*, 10(3), Serial No. 38:351–357. <https://doi.org/10.22073/pja.v10i3.68875>
4. Bondareva, L. (2021). Eriophyoid mites fauna (Acari: Prostigmata) on *Pyrus communis* L. in the Fomin botanical garden. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 12(2): 47–53. (In Ukrainian). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.02.007>
5. Cherkezova, S.R., Vinogradova L.V. (2012). Four-legged mites of fruit plantations and the methods of their control. *Fruit growing and viticulture of South Russia*, 14: 81–105. (In Russian).
6. Daniel, C., Linde, C., Wyss, E. (2006). Autumn acaricide applications as a new strategy to control the pear leafblister mite *Eriophyes pyri*. *Crop Protection*, 26 1532–1537.
7. Kołataj, K.T. (2017). Leaf Blister Mites (*Eriophyes* sp.) as Significant Pests in Orchards. *Modern Environmental Science and Engineering*, 3(3): 180–183.
8. Leeuwen, T. Van., Witters, J., Ralf, N., Duso, C., Tirry, L. (2010). The control of eriophyoid mites: state of the art and future challenges. *Exp Appl Acarol*, 51: 205–224. DOI 10.1007/s10493-009-9312-9
9. Matvienko, M.V., Babina, R.D., Kondratenko, P.V. (2006). *Hrusha v Ukraini [Pear in Ukraine]*. Kyiv: Ahrarna dumka, 320 pp. (In Ukrainian).
10. Murray, M., Alston, D. (2011). *Fruit Pests: Pear, The Backyard Orchardists*, Utah Pests Fact Sheet. Utah State University, pp. 1–3.
11. Oldfield, GN., Proeseler, G. (1996). Eriophyoid mites as vectors of plant pathogens. In: Lindquist EE, Sabelis MW, Bruin J (eds.) *Eriophyoid mites—their biology, natural enemies and control*. Elsevier, Amsterdam, pp 259–275.
12. Praslička, J., Schlarmanova, J., Matejovičová, B., Tancik, J. (2011). The predatory mite *Typhlodromus pyri* (Acari:Phytoseiidae) as a biocontrol agent of *Eriophyes pyri* (Acari: Eriophyidae) on pear. *Biologia in Section Zoology*, 66 (1):146–148.
13. Tsyupka S.Yu., Balikina Y.B., Yagodinska L.P., Korzh D.A., Ribareva T.S. (2018). Pests of Crimean pear gardens. XXX International Congress of Horticulture: II International Symposium on Innovative Plant Protection in Horticulture.
14. Sekrecka, M., Hołdaj, M. (2013). Methodics of leading observations of pear leaf blister mite occurrence, *Inhort Skierniewice*, 1–4.

15. Vasiliev, V.P., Livschitz, I.Z. (1984). Vrediteli plodovykh kultur [Pests of fruit crops]. Moscow: Kolos, 399 pp. (In Russian).
16. Wawrzynski, R.P., Hahn J.D., Ascerno M.E. (2005). Insect and Mite Galls, University of Minnesota Extension Service, pp. 1–6.
-

L. Bondareva, P. Chumak, O. Zavadska (2022).

DEGREE OF DAMAGE OF PEAR VARIETIES (*PYRUS COMMUNIS* L.) AND CONTROL *ERIOPHYES PYRI* PGST. (ACARI: *ERIOPHYOIDEA*) IN THE FOMIN BOTANICAL GARDEN.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 80-88.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16264>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.003](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.003)

Abstract. In 2018-2020, a study was conducted on the territory of the Academician A.V. Fomin Botanical Garden on the settlement and damage of *Eriophyes pyri* (Pgst.) pear leaves. The leaves of the studied varieties were selected four times during the growing season, starting from mid-May to early August. All varieties were divided into five groups, depending on the degree of colonization (score) of leaves with mites: I - very low (1 point; <5% are covered with galls), II - low (2-3 points; 5-25% are covered with galls); III - medium (4-5 points; 26-50% are covered with galls), IV - high (6-7 points; 51-85% are covered with galls), V - very high (8-9 points; > 85% are covered with galls). It was found that among the twenty-four varieties of the most damaged (8-9 points) *E. pyri* were three winter varieties: «Beurré Kyivskaya», «Dekanka winter», «Crymskaya winter» and Willow pear *Pyrus salicifolia* Pall. Three varieties «Yellow Mlievskaya», «Royal Winte», «Tayushchaya» were evaluated in 6-7 points of infestation of pear leaves of *E. pyri*, and the least damaged (1 point) were four summer varieties – «Williams Rouge Delbara», «Williams summe», «Ilyinka», «Clapp's Favorite». All other varieties of *Pyrus communis* were characterized by a weak or medium degree of *E. pyri* population. The most significant damage to the leaves of all studied varieties was recorded in late July. The test results of the drugs showed high efficiency of acaricides of biological origin: Fitoverm (DR aversectin C), 5% k.e. and Vertimek (d.r. abamectin), 018 k.e. This will not only inhibit the development of phytophagous, but also save predatory mites. An important problem is the development of parameters necessary for accurate calculation of the sum of effective temperatures at which the spring migration of mites from the buds. This is necessary to accurately determine the time of protective treatments against *Eriophyes pyri*.

Keywords: *Pyrus communis* L., variety, *Eriophyes pyri* Pgst., population, damage, acaricides of biological origin.

ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕРБІЦИДУ ДИРЕКТОР, В.Р. (Д.Р. ІЗОПРОПІЛАМІННА СІЛЬ ГЛІФОСАТУ, 410 Г/ДМ³) НА ГІЛЛЯСТОВУСИХ РАКОПОДІБНИХ *CERIODAPHNIA AFFINIS* LILLJEBORG

Е.П. ЩЕРБАНЬ,

біологічних наук, старший науковий співробітник,
Українська лабораторія якості та безпеки продукції АПК

<https://orcid.org/0000-0003-0685-9476>

shcherban1943@ukr.net

О.О. СИКАЛО,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри інтегрованого
захисту та карантину рослин НУБіП України

<https://orcid.org/0000-0002-0403-2101>

movchanoksana22@gmail.com

Анотація. Аналіз результатів хронічних дослідів показав, що гербіцид Директор (діюча речовина – ізопропіламіна сіль гліфосату, 41%) належить до речовин токсичних для *Ceriodaphnia affinis*. Препарату властива ембріотоксичність.

Гербіцид Директор проявляє найбільшу токсичну дію для *C. affinis* в концентрації 50 мг/дм³. Пригнічуються всі основні біопараметри життєдіяльності рачків. Спостерігається висока смертність рачків першого покоління (78%), посаджених у розчини з препаратом, низька тривалість життя самок. Народжуване потомство від самок в ряду поколінь нежиттєздатне, відтворення потомства призупиняється в основному на рівні II покоління. Із потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу. За 50 мг/дм³ відтворення потомства призупиняється на рівні другого покоління. У порівнянні з контролем продуктивність самок за концентрації 25 мг/дм³ знижується на 66,5%. Зниження продуктивності у разі нижчих концентрацій була в межах 30,4÷17,6%. Найменше зниження продуктивності самок (на 9,2%) спостерігалось за концентрації 0,001 мг/дм³.

За концентрації 25 мг/дм³ статевозрілість молоді *C. affinis* затримувалася і була довшою, ніж в контролі та за нижчих концентрацій на 1,42 доби. Самки дали лише 5 поколінь, тоді, як в контролі та в діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ за цей же період було 6 поколінь. Сумарна кількість потомків в середньому для 5 поколінь становила 33,58% від контролю, при достовірності > 99,9%. Меншою мірою пригнічення життєдіяльності рачків спостерігалось за нижчих концентрацій. За 10 мг/дм³ статевозрілість рачків затримувалася

лише в I поколінні, а сумарна кількість потомків в середньому для 6 поколінь складала 72,1%, від контролю. На такому ж рівні спостерігалось зниження сумарної продуктивності і при концентраціях 1,0 та 0,1 мг/дм³.

Ключові слова: гіллястовусі ракоподібні, еколого-токсикологічна оцінка, *Ceriodaphnia affinis*, ізопропіламінна сіль, гліфосат, гербіцид, гідрофауна, вимет, самка.

Вступ.

Прогресивне зростання антропогенного впливу на біосферу зумовлене інтенсивним розвитком сучасних технологій у секторі сільського господарства і є головною причиною забруднення довкілля. Одним із найбільш розповсюджених видів техногенного впливу є забруднення водойм хімічними засобами захисту рослин, що несприятливо впливає на структуру біотопів та стан певних організмів. Можливість потрапляння їх у водойми разом зі стоковими водами з полів створює постійні ризики для гідрофауни загалом. Пестицидне забруднення негативно впливає на біологічні показники живих організмів, зокрема, на їхній репродуктивний потенціал. Оцінка впливу забруднювачів та оцінка змін у біосистемах є критичним питанням щодо їхнього впливу.

Стан водних біосистем адекватно відображують біомаркери (тест-об'єкти, «організмів-мішеней»), які з практичної точки зору дають змогу отримати суттєву інформацію, ніж простий аналіз рівня забруднення абіотичних компонентів середовища чи морфометричних даних біот. Біомаркери є інтегральною оцінкою впливу всього комплексу екотоксикантів з усіма існуючими, але часто невідомими, синергетичними та антагоністичними ефектами. Крім того, вони дають

можливість оцінювати будь-які екотоксикологічні ефекти та виявляють найбільш ранню реакцію екосистеми на вплив забруднення.

Порушення на молекулярному рівні лежать в основі патологічних процесів і відбиваються на подальших, вищих рівнях біологічної організації, у тому числі і структурно-функціональної організації екосистем.

Наші дослідження стосувалися впливу гербіциду Директор, діючою речовиною (д.р.) якого є ізопропіламінна сіль гліфосату, 410 г/дм³ на одному із представників планктонних гіллястовусих рачків-фільтраторів, зокрема на *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Препаративна форма гербіциду – водний розчин (в.р.) з різким неприємним запахом.

Препарат Директор (виробництво Китаю) – системний гербіцид широкого спектру дії. Уже починаючи з 70-х рр. XX ст. гербіцидні властивості гліфосату досить інтенсивно вивчалися. Щоправда найбільша кількість публікацій були присвячені раундапу, ГДК якого у воді рибогосподарських водойм становила 0,001 мг/дм³, а у водоймах побутового використання – 0,1 мг/дм³ (Мельников Н.Н., 1995). Маючи високу гербіцидну активність виробництво гліфосату відразу виросло до промислових об'ємів. У світі було зареєстровано більш ніж 90 торгових назв гербіцидів на основі гліфосату, які викорис-

товувалися у 119 країнах світу понад 100 сільськогосподарських культурах (Pechlaner R., 2003). Варто зазначити, що в Україні станом на 2021 рік зареєстровано 71 препарат на основі гліфосату, д.р. ізопропіламінна сіль [1]. Усі ці препарати зареєстровані в основному до 2027-2030 рр., тоді як країни ЄС призупиняють застосовувати гліфосатні препарати в сільському господарстві. Застосування гербіцидів на основі гліфосату в Україні складає приблизно 2 тисячі т.

Відомо, що гліфосат застосовували як засіб хімічної боротьби з водними рослинами (водний гіацинт, сальвінія, ряска, рдести, очерет звичайний) під час створення ними перешкод у водокористуванні, про що зазначено у статтях Haag Kim H., Ulenn Margaret S., Yordan Yacqueline C. (1988), Hartman William A., Martin dan B. (1985), Astiz S., Alvarez H. (1994), Kay Stratford H. (1995), Мартінова А.Н., Красновидова А.Н. (1996), Tresnakova, N., Stara, A., & Velisek, J. (2021). Зазначено, що токсичність гліфосату для водних рослин залежить від величини концентрації й експозиції. Варто пам'ятати і про середовище (Eloranta V., Kuivasniemi K., 1982), відмічено, що токсичність для *Selenastrum capricornutum* у воді оліготрофних озер вище, ніж у воді дистрофних озер. Автори (Chan Kwong-yu, Leund S. C., 1986) зазначають, що водна мікрофлора проявляє більш високу чутливість до гліфосату, аніж мікрофлора ґрунту. У перші 10-15 діб після внесення гліфосату у водойму спостерігалася різке зниження чисельності сапрофітних бактерій, але через деякий час вони відновлювалися до попереднього рівня. Скоріш за все це відбувалося через розвиток резистентної популяції. Глі-

фосат слабо впливав на дихання, дегідрогеназну і протеїназну активність *Aeromonas hydrophila* але пригнічував їх у *Pseudomonas chlororaphis*.

Чиста культура *Euglena gracilis* пригнічувалася гліфосатом і гинула за концентрації 1 ммоль, а ріст *Chlorella sorokiniana* пригнічувався на 50% за 17,7 ммоль (Carlisle S.M. Trevors J.T., 1988). Власні досліді з гербіцидом санглі (д.р. ІПА гліфосату, 41%) показали, що за концентрації 1-20 мг/дм³ спостерігалася стимуляція росту зеленої водорості *Selenastrum gracile*, максимальна стимуляція відмічена при 1 мг/дм³. Ефект пригнічення цього виду водорості спостерігався при концентрації 30 мг/дм³ і вище. Отже, препарат на основі гліфосату (д.р. ізопропіламінна сіль, 41%) може одні види водоростей пригнічувати та призводити до загибелі, а для інших проявляти стимулювальну дію.

Edwards W.M., Triplett G.B. (1980) вивчали перенесення гліфосату зливними стоками в межах водозбірної басейну. За умови випадання дощів відразу після їхньої обробки, з полів виносилося до 99% препарату від загального виносу за відповідний період. Найвищі концентрації гліфосату (5,2 мг/дм³) були виявлені у зливних стоках, коли дощ пройшов через добу після обробки полів гліфосатом. Через 4 місяці після обробки полів гліфосат був виявлений у зливних стоках в концентрації 2 мкг/дм³. У випадку обробки полів гліфосатом у мінімальних дозах, концентрація препарату у зливних стоках через 9-10 діб не перевищувала 100 мкг/дм³, а через 2 місяці падала до 2 мкг/дм³.

Є низка літературних джерел із досліджень токсичності гліфосату для планктонних та бентосних організмів. За даними довідника (А

World Compendium, 1997) EC_{50} (48 год) ізопропіламіної солі гліфосату для *D.magna* становила 930 мг/дм³. За іншими даними, (Manual on Development, 1999) показники EC_{50} (48 год) гліфосату для *D.magna* в аерованій воді становила 37 мг/дм³, в неаерованій – 24 мг/дм³. Дані бази PPDB за 2021 рік поновлені і EC_{50} (48 год) ППА гліфосату для дафній становить > 471мг/дм³, NOEC (21 доба) 42,9мг/дм³; EC_{50} (48 год) гліфосату для дафній > 100мг/дм³, NOEC (21 доба) 12,5 мг/дм³. Поновлені показники даних бази PPDB для деяких тестів досить змінилися. Якщо для донних осаджень DT_{50} рівнялося 87 діб, то в поновленому варіанті DT_{50} становить вже 20,8 діб, це стосується і гліфосата і ізопропіламіної солі.

EC_{50} (48 год) препарату раундап (д.р. ППА гліфосату, 41%) для *D. magna* за температури 22°C, pH -7,4 і твердості води 272 мг/дм³ становила 2,95 (2,60÷3,40) мг/дм³; LC_{50} (96 год) для *Orconectes nais* за вищезазначених умов становила 7,0 (5,6÷8,7) мг/дм³; LC_{50} (48) для *Gammarus pseudolimnaeus* при цих же умовах і t -12°C – 43,0 (28,0÷66,0) мг/дм³. При за же умов середовища LC_{50} (48) раундапу для *Chironomus plumosus* становила > 10 мг/дм³; > 55(31,0÷97,0) мг/дм³; > 56 мг/дм³ (за pH 6,6). Варто зазначити, що токсичність для тест-об'єктів залежала від температурних умов, pH середовища та твердості води (Mayer, Foster L., Jr., and Mark R. Ellersieck, 1986).

Загалом літературних джерел із впливу гербіцидних препаратів на основі гліфосату, особливо, з д.р. ППА гліфосату, 41% та 48% є достатньо в ЄС, США і, в більшості випадків для планктонних гідробіонтів вони проявляють токсичність.

Розчинність гліфосату у воді при 25°C становить 12 г/дм³; за pH 1,9 і 20°C 10,5 г/дм³; ізопропіламіної солі – 1050 г/дм за pH 4,3 і 25°C (26 The e-Pesticide Manual, 2009). За даними ВООЗ щодо якості питної води (2005), гліфосат зберігає стабільність у воді за pH 3, 5, 6 і 9 за 35°C. Деградація гліфосату у воді та водних осадах розкладається, головним чином, мікроорганізмами і швидше в аеробних умовах.

У даній роботі приведені результати дослідження токсичного впливу гербіциду директор (д.р.іпа гліфосату, 41%) на життєздатність планктонного рачка в хронічних дослідях.

Метою роботи було дослідження впливу гербіциду Директор, в.р. на показники життєдіяльності *C. affinis* в шести поколіннях та оцінка токсичності гербіциду. Головним критерієм токсичності є смертність тест-об'єктів в токсичному середовищі, стан і ступінь розвитку гонад і яєць у самок та їхня продуктивність.

Матеріали і методи дослідження.

В якості тест-об'єкту для вивчення дії гербіциду в хронічних дослідях був взятий планктонний гіллястий рачок-фільтратор *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Цей вид поряд із тест-об'єктом *Daphnia magna* застосовують як стандартний тест-об'єкт у водній токсикології.

Під час проведення досліджень були використані методики авторів, зокрема, Пидгайка М.Л. (1971), Строганова Н.С. (1971), Крайнюкова О.М. (1997), а також ДСТУ 4174:2004 (2004) та інших нормативних документів. Вплив препарату на *C. affinis*, досліджували за концентрацій 50;

25; 10; 1; 0,1; 0,01; 0,001 мг/дм³ та контроль. Розрахунки концентрацій проводили за діючими речовинами. Досліди проводили на водопровідній воді двотижневого відстою. У кожній склянці знаходилося по 1 екз. *C. affinis*, повторність десятиразова. За кожним поколінням рачків велися спостереження впродовж 10 діб. Розчини концентрацій гербіциду в склянках змінювали через 2 доби на третю. Кількість кисню в розчинах впродовж дослідів коливалася від 8,5 до 8,9 мг/дм³, рН від 7,5 до 7,8. Твердість води становила 5,67 мг екв./дм³. Досліди проводили за постійної температури 22,5±0,5°C.

Токсичність гербіциду в дослідях оцінювали за його впливом на основні біологічні параметри життєдіяльності рачків: смертність, тривалість життя рачків, тривалість ембріонального і постембріонального розвитку, кількість виметів від однієї самки за період дослідження, кількість молоді в одному виметі самки за період дослідження. Інтегральним показником була продуктивність тест-об'єкта при заданих концентраціях, тобто загальна кількість потомства дана самками за період дослідів кожним поколінням окремо і в середньому для популяції.

Отриманий матеріал систематизується і статистично обробляється для отримання достовірних середніх показників (Рокицкий П.Ф., 1961).

Результати дослідження та їх обговорення.

Під час проведення гострих дослідів з препаратом Директор, в.р. за концентрації 50 мг/дм³ спостерігали 95% загибель молоді *C. affinis*. У гострих дослідях за концентрації 50 мг/дм³ лише 5% рачків вижили і

навіть на 6 добу заклали яйця у виводкові камери. Тому під час проведення хронічних дослідів було прийняте рішення, що потрібно ще раз повторити дослідження з концентрацією 50 мг/дм³ гербіциду.

У розчини з концентрацією гербіциду 50мг/дм³ за тиждень було посаджено 85 екземплярів молоді. На 6- добу смертність рачків складала 66 особин або 77,65%. Решта самок (19 екз. або 22,35%) дали перший вимет молоді на шосту добу. Кількість молоді під час першого вимету самок не перевищувала 3 екземплярів. У деяких самок спостерігалось розсмоктування яєць та ембріонів у вивідкових камерах, що свідчить про те, що гербіциду властива ембріотоксична дія. Після народження молоді яйця у вивідкову камеру самок поступали через 2–3 доби, а не відразу після линьки самки. Спостерігалось також, що у самок із вивідкової камери випадали яйця. 13 самок із 19 екз. загинуло на 13 добу, за рештою – спостереження не проводили.

За 13 діб, самки (19 екз.) дали по 2 3 вимети ювенальної молоді, що становило всього 86 екз. молоді другого покоління. Народжуване потомство від самок I покоління було нежиттєздатним, тривалість життя його складала 2–3–5 діб. З потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу.

Отже, відтворення потомства за концентрації 50 мг/дм³ гербіциду призупиняється на рівні II–III поколінь.

Вплив гербіциду за концентрації 25 мг/дм³ і нижче показав значно кращі результати. Аналіз результатів дослідів показав, що постембріональний розвиток рачків *C.*

affinis у контролі і при концентрації 0,001 мг/дм³ протікав на одному рівні впродовж всього дослідження, жодних відхилень не спостерігалось. У середньому для шести поколінь період постембріонального розвитку молоді *C. affinis* протікав за 5,3 доби.

В діапазоні концентрацій 0,01–10 мг/дм³ період постембріонального розвитку молоді затримувався на 3–20% порівняно з контролем лише в окремих поколіннях. В середньому для поколінь відхилення від контролю були в межах 1–4%. Статистична обробка показала недостовірність результатів.

При концентрації гербіциду 25 мг/дм³ період постембріонального розвитку рачків протікав на рівні контролю лише в першому поколінні. В наступних чотирьох поколіннях постембріональний розвиток рачків був довшим, ніж в контролі на 20–40%, ($P > 95$). В середньому для п'яти поколінь постембріональний розвиток церіодафній протікав за 6,72 доби. Різниця між дослідом і контролем статично достовірна, $P > 99\%$. Отже, гербіцид в концентрації 25 мг/дм³ проявляв негативний вплив на постембріональний розвиток *C. affinis*, затримуючи його порівняно з контролем і нижчими концентраціями гербіциду. Така затримка статевої зрілості рачків не дала змоги прослідкувати за життєдіяльністю молоді *C. affinis* VI покоління за цієї концентрації та призвела до значного зниження продуктивності самок.

В діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ середня кількість послідів у ряду шести поколінь і в середньому для популяції, була на рівні контролю. Відхилення від контролю спостерігалось як в сторону підвищення показника на 6%, так і в сторону зни-

ження показника на 7,5%. Статистична обробка результатів різниці між дослідом і контролем показала, що вони несуттєві, $P < 95\%$.

При концентрації гербіциду 25 мг/дм³ середня кількість виметів була меншою, ніж в контролі в I та IV–V поколіннях, зниження показника було в межах 40–55%, при $P > 95\%$. В II та III поколіннях зниження показника було всього на 11–12%, $P < 95\%$. В середньому для популяції кількість виметів самою складала 69% від контролю, $P > 90\%$.

Отже, досліджуваний гербіцид проявляв негативну дію на показник кількості виметів від однієї самки лише за концентрації 25 мг/дм³.

Важливим біопараметром, який найбільше позначається на продуктивності тест-об'єкту є кількість молоді в одному виметі самки. У таблиці 1, наведені мінімальні і максимальні показники середньої кількості молоді в одному виметі самки в ряду поколінь.

Як видно з таблиці 1, в контролі мінімальні і максимальні значення біопараметра впродовж всього дослідів були вищими, ніж у дослідів з гербіцидом в усьому діапазоні концентрацій. Це належить і до середніх показників для поколінь.

Під дією гербіциду найбільше зниження показника кількості молоді в одному виметі самки в ряду поколінь спостерігалось в концентрації 25 мг/дм³. У середньому показник складав 5,03 екз. рачків на один вимет, що майже вдвічі менше, ніж у контролі. В середньому для поколінь кількість молоді в одному виметі самки складала 50,86% від контролю, зниження – на 49%, при достовірності $> 99,9\%$.

У діапазоні концентрацій 0,1–10 мг/дм³ кількість молоді в одному

1. Мінімальні і максимальні показники середньої кількості молоді у виметі однієї самки в контролі і дослідах з гербіцидом

Концентрації, мг/дм ³	Діапазон коливань min max	Середнє для 6-и поколінь	Δ	% від контролю	P, %
Контроль	8,94 11,15	9,98±0,471	–	100	–
0,001	7,45 9,05	8,46±0,418	1,52	84,769	<95
0,01	6,76 10,64	8,51±0,461	1,47	85,270	<95
0,1	6,53 – 9,06	7,85±0,425	2,13	78,657	>90<95
1,0	6,33 9,63	7,84±0,393	2,14	78,557	>90<95
10,0	7,40 8,64	8,06±0,423	1,92	80,761	>90<95
25,0*	3,60 6,81	5,03±0,360	4,86	50,860	>99,9

*–при концентрації 25 мг/дм³ приведені середні показники по 5-и поколінням

виметі самки в середньому знижувалася щодо контролю на 19,24–21,44%. Достовірність результатів – > 90 < 95 %.

За найменших концентрацій гербіциду (0,001 і 0,01мг/дм³) в середньому зниження кількості молоді в одному виметі самки щодо контролю було на 15%, за P < 95%.

Найменші відхилення від контролю тих чи інших біопараметрів, за якими велись спостереження, як в сторону зниження, так і в сторону підвищення, помітно позначалися на продуктивності самок *C. affinis*.

Сумарна кількість потомства тест-культури є основним критерієм оцінки токсичності гербіциду.

В таблиці 2, наведені середні значення сумарної кількості потомства на одну самку в ряду поколінь за період дослідження та їхній процент від контролю. Як видно з таблиці 2, сумарна кількість потомства майже в усіх поколіннях під впливом гербіциду так чи інакше знаходилася нижче контролю. Виключенням були лише концентрації 0,001–0,01 мг/дм³ у II та VI поколіннях самок, де показник перевищував контроль. У середньо-

му для 6 поколінь % зниження щодо контролю за цих концентрацій становив всього 9,2 17,6%.

За концентрацій 0,1–10 мг/дм³ в середньому для усіх поколінь сумарна кількість потомків складала 69,6–72,1% від контролю. Як видно, зниження показника знаходилося на рівні 28–30%, за P > 95%.

Найбільше зниження сумарної кількості потомства спостерігали за концентрації 25 мг/дм³ впродовж всього досліду. В середньому для популяції кількість потомків складала 33,5% від контролю, за P > 99,9%.

Зниження продуктивності (сумарної кількості потомків) можуть зумовлювати різні чинники та їхні комбінації. Так, за концентрації 25 мг/дм³ гербіциду це зв'язано з пригніченням всіх біопараметрів життєдіяльності рачків, а саме: скорочення тривалості життя самок до 8 діб (80% смертності) та 10 діб (100% смертності) у I поколінні самок, скорочення тривалості життя самок у IV поколінні (100% смертність на 7 добу); значна затримка статевої зрілості рачків в I поколінні самок і меншою мірою в наступних; зниження кількості ви-

2. Середні значення сумарної кількості потомства на одну самку в ряду поколінь у дослідях із гербіцидом

Кон- цен- трація, мг/дм ³	Покоління							
	I	II	III	IV	V	VI	Середнє	P, %
Кон- троль	$33,6 \pm 4,932$ 100,0	$32,4 \pm 4,132$ 100,0	$32,2 \pm 1,557$ 100,00	$43,8 \pm 3,342$ 100,00	$44,6 \pm 5,932$ 100,00	$29,0 \pm 3,74$ 100,00	$35,9 \pm 1,808$ 100,00	–
0,001	$30,8 \pm 4,601$ 91,7	$35,2 \pm 3,15$ 108,6	$29,8 \pm 1,083$ 92,5	$29,6 \pm 2,863$ 67,6	$33,6 \pm 3,962$ 75,3	$36,6 \pm 3,817$ 126,2	$32,6 \pm 1,267$ 90,8	>90<95
0,01	$24,8 \pm 1,387$ 73,8	$35,25 \pm 4,028$ 108,8	$22,0 \pm 2,272$ 68,3	$36,2 \pm 2,701$ 82,6	$27,6 \pm 4,117$ 61,9	$31,6 \pm 2,138$ 108,9	$29,6 \pm 1,446$ 82,4	>95
0,1	$29,2 \pm 3,542$ 86,9	$28,2 \pm 4,954$ 87,0	$19,6 \pm 2,885$ 60,9	$22,4 \pm 2,307$ 51,1	$29,0 \pm 2,716$ 65,0	$21,6 \pm 1,717$ 74,5	$25,0 \pm 1,306$ 69,6	>95
1,0	$31,8 \pm 3,895$ 94,6	$19,0 \pm 4,65$ 58,6	$22,4 \pm 2,413$ 69,6	$23,4 \pm 2,109$ 53,4	$31,6 \pm 1,89$ 70,8	$25,4 \pm 1,255$ 87,6	$25,6 \pm 1,34$ 71,3	>95
10	$24,2 \pm 2,382$ 72,0	$25,8 \pm 5,888$ 79,6	$22,2 \pm 3,008$ 68,9	$30,5 \pm 1,5$ 69,6	$27,2 \pm 2,631$ 61,0	$26,6 \pm 3,85$ 91,7	$25,9 \pm 1,31$ 72,1	>95
25	$7,2 \pm 1,917$ 21,4	$16,4 \pm 0,836$ 50,6	$21,8 \pm 1,85$ 67,7	$7,2 \pm 0,651$ 16,4	$9,8 \pm 0,651$ 22,0	–	$12,5 \pm 1,293$ 33,5	>99,9

* – чисельник – кількісні показники; знаменник – % від контролю

метів та кількість молоді в одному виметі самки; низька життєздатність молоді другого покоління, яку самки родили у першому виметі.

Аналогічна картина, лише в меншій мірі, спостерігалася у II та III поколіннях самок за концентрації 10 мг/дм³. Найменші відхилення від контролю, навіть статистично недостовірні, відбиваються на показниках продуктивності рачків.

Варто зазначити, що гербіцид у концентраціях 50, 25 і 10 мг/дм³ має властивості ембріотоксичної дії. Процес дроблення яєць уповільнювався і тоді яйця починали розсмоктуватися. Блокувався синтез речовин, які йшли на побудову покривних тканин ембріону. Такі порушення найбільше характерні для першої кладки яєць, особливо, в перших поколіннях самок. Дуже часто в окремих самок спостерігали розчинення кладки яєць на III–VI стадії розвитку. Стадії розвитку приводимо за J. Green (1956).

Усі ці порушення призводять до

зниження відтворювальної (репродуктивної) функції самок і зниження їхньої продуктивності.

Аналізуючи результати хронічних дослідів видно, що до недіючих концентрацій препарату можна віднести концентрації 0,001–0,1 мг/дм³.

Зниження небезпеки використання пестицидів значною мірою може бути досягнуто розробкою нових препаратів з високою вибірковістю щодо «організмів-мішеней» та екологічної безпеки, зокрема, створенням біологічних засобів на основі бактеріальних токсинів, продуктів життєдіяльності мікроорганізмів тощо.

Висновки та перспективи

Гербіцид Директор проявляє найбільшу токсичну дію для *C. affinis* в концентрації 50 мг/дм³. Пригнічуються всі основні біопараметри життєдіяльності рачків. Спостерігається висока смертність рачків першого покоління (78%), посаджених у розчини

з препаратом, низька тривалість життя самок. Народжуване потомство від самок в ряду поколінь нежиттєздатне, відтворення потомства призупиняється в основному на рівні II покоління. Із потомства II покоління лише одна самка на 8 добу дала 4 ювеніси III покоління 1 вимету, яке померло через добу.

За концентрації 25 мг/дм³ статевозрілість молоді *C. affinis* затримувалася і була довшою, ніж в контролі та за нижчих концентрацій на 1,42 доби. Це і спричинило, що самки дали лише 5 поколінь, тоді, як у контролі та в діапазоні концентрацій 0,001–10 мг/дм³ за цей же період було 6 поколінь. Сумарна кількість потомків в середньому для 5 поколінь становила 33,58% від контролю, за достовірності > 99,9%.

Меншою мірою пригнічення життєдіяльності рачків спостерігалось при нижчих концентраціях. За 10 мг/дм³ статевозрілість рачків затримувалася лише в I поколінні, а сумарна кількість потомків в середньому для 6 поколінь складала 72,1%, від контролю. На такому ж рівні спостерігалось зниження сумарної продуктивності і за концентрацій 1,0 та 0,1 мг/дм³.

Найменше зниження сумарної кількості потомства спостерігалось при дії гербіциду в концентраціях 0,001–0,01 мг/дм³. Народжуване потомство самками було життєздатним, не відмічено ембріотоксичної дії, смертності рачків та інших відхилень від контролю. Ці концентрації гербіциду можна віднести до недіючих.

При концентраціях препарату 50, 25 та 10 мг/дм³ ізопропіламінна сіль гліфосату проявляла ембріотоксичну дію.

Слід зазначити, що країни ЄС останні роки призупиняють застосовувати гліфосатні препарати в сіль-

ському господарстві. На нашу думку, повністю відмовитися від застосування засобів захисту рослин на даний час в Україні практично неможливо. Застосування пестицидів потребує насамперед підвищення культури, дотримання законів по охороні води і водних об'єктів загалом, які призвані знизити загрозу їхнього забруднення. Також препарати на основі гліфосату повинні мати обмеження в санітарній зоні (2 км) рибогосподарських водойм та водойм загалом, у яких би дозах вони не застосовувалися на ґрунтах.

References

1. State register of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, 2022. Access mode: <https://bit.ly/38jAEuc>
2. DSTU 4174:2003 Water quality. Determination of chronic toxicity of chemicals and water to *Daphnia magna* Straus and *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Access mode: <https://bit.ly/3Ma50hA>
3. Melnikov N.N. etc. Pesticides and plant growth regulators: Handbook. - M.: Khimiya, 1995. - 575 p. Access mode: <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0034/default.shtm>
4. Methodical guidelines for biotesting of water RD 118-02-90 - M.: 1991. - 47 p.
5. Method for the determination of chronic water toxicity on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. KDN 211.1.4.056-97. - Kiev, 1997. - 13 p.
6. Pidgaiko M.L. Application of production-biological "cage" method in the study of pesticide toxicity to zooplankton. Sat. "Methods of biol. research on water toxicol." M.: Nauka, 1971. - S.169-172
7. Rokitsky P.F. Fundamentals of variation statistics for biologists. Minsk: Belarus Publishing House. Univ., 1961. -223 p.

- Access mode: <https://www.twirpx.com/file/2667809/>
8. Guidelines for determining the toxicity of water, bottom sediments, pollutants and drilling fluids by biotesting. - M: REFIA, NIA-Priroda, 2002. - 118 p. Access mode: <https://bit.ly/3stSfX3>
 9. Stroganov N.S. Method for determining the toxicity of the aquatic environment. Sat. "Methods of biological research on aquatic toxicology". - M.: Science. 1971.- P.14 60. Access mode: <https://www.chem21.info/article/205926/>
 10. Astiz S., Alvarez H. Indireet effects of glyphosate application in the control of *Salvinia auriculata* in experimental systems: Pap, Congr. Int. Assoc. Theor. And Appl. Limnol., Barselona, 1992. Pt 4 / Verh. // Int. Ver theor. Und angew. Limnol. - 1994. - 25, Pt 4. - c. 2064-2067. <https://doi.org/10.1080/03680770.1992.11900562>
 11. Biological test method: Test of reproduction and survival using the Cladoceran *Ceriodaphnia dubia* // Environmental Protection Conservation and Protection Environment Canada. Report EPS 1/RM/21. Second Edition - 2007. Режим доступу: <https://bit.ly/39ladP6>
 12. Brovini, E.M., Cardoso, S.J., Quadra, G.R. et al. Glyphosate concentrations in global freshwaters: are aquatic organisms at risk?. *Environ Sci Pollut Res* 28, 60635–60648 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14609-8>
 13. Carlisle, S.M., Trevors, J.T. Glyphosate in the environment. *Water Air Soil Pollut* 39, 409–420 (1988). <https://doi.org/10.1007/BF00279485>
 14. Chan, Ky., Leung, S.C. Effects of paraquat and glyphosate on growth, respiration, and enzyme activity of aquatic bacteria. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 52–59 (1986). <https://doi.org/10.1007/BF01623474>
 15. Edwards W. M., Triplett G. B. A Watershed Study of Glyphosate Transport in Runoff, Environmental Quality. - 1980. - Vol. 9, part 4. - P. 661-665. <https://doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900040024x>
 16. Glyphosate and AMPA in Drinking-water. – Baskground document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO. 2005. – 10 p. Режим доступу: <https://bit.ly/3w3Q5zF>
 17. Green J. Growth, size and reproduction in *Daphnia* (Chrustacea: Cladocera). *Proceedings of the Zoological Society of London*. Vol. 126, Part 2, March 1956, p.p. 173-203. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1956.tb00432.x>
 18. Hartman W.A., Martin D.B. Effects of four agricultural pesticides on *Daphnia pulex*, *Lemna minor* and *Potamogeton pectinatus*, *Bull Environ Contam Toxicol.* 1985 Nov;35(5):646-51. doi: 10.1007/BF01636568.
 19. Manual on Development and Use of FAO Specifications for Plant Protection Products, January 1999, Rome. Режим доступу: <https://www.fao.org/3/i5713e/i5713e.pdf>
 20. Mayer, Foster L., Jr., and Mark R. Ellersieck. Manual of Acute Toxicity: Interpretation and Data Base for 410 Chemicals and 66 Species of Freshwater Animals // U.S. Fish Wildl. Serv., Resour. Publ. – 1986. - 579 p. Режим доступу: <https://bit.ly/3LisXC8>
 21. Pechlaner R. Glyphosate in herbicides: An overlooked threat to microbial bottom-up processes in freshwater system // *Vern. (Int.Ver. theor. und angew Limnol)*. 2003. 28, r. 4. -P. 1831 1835. <https://doi.org/10.1080/03680770.2001.11901944>
 22. Solomon, K., & Thompson, D. (2003). Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 6(3), 289-324. <https://doi.org/10.1080/10937400306468>
 23. The pesticide manual: a world compendium. Режим доступу: <https://bit.ly/3yA51HC>
 24. Tresnakova, N., Stara, A., & Velisek, J. (2021). Effects of Glyphosate and Its Metabolite AMPA on Aquatic Organisms. *Applied Sciences*, 11(19), 9004. <https://doi.org/10.3390/app11199004>

E.P. Shcherban, O.O. Sykalo (2022).

ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF THE HERBICIDE EXPOSURE DIRECTOR, W.S. (A.I. ISOPROPYLAMINE SALT GLYPHOSATE, 410 G/DM³) ON BRANCHED CRUSTACEANS CERIODAPHNIA AFFINIS LILLJEBORG

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 13(1-2): 89-99

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/16265>

[https://doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.004](https://doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.004)

Abstract. Analysis of the chronic experiments results showed that the herbicide Director (active ingredient - isopropylamine salt of glyphosate, 41%) is a substance toxic to *Ceriodaphnia affinis*. This herbicide is characterized by embryotoxicity.

Herbicide Director has the greatest toxic effect on *C. affinis* at a concentration of 50 mg/dm³. All major bioparameters of crustacean activity are suppressed. There is a high mortality of first-generation crustaceans (78%) planted in solutions with the herbicide, low life expectancy of females. The offspring born to females in a number of generations are unviable; reproduction of offspring is suspended mainly at the level of the second generation. Only one female from the second generation offspring on the 8th day gave 4 juveniles of the third generation of the 1st brood, which died a day later.

At 50 mg/dm³ offspring reproduction is suspended at the level of the second generation. The productivity of females at the herbicide concentration of 25 mg/dm³ is reduced by 66.5% compared with the control. The productivity decrease at lower concentrations was in the range of 30.4 ÷ 17.6%. The smallest decrease in female productivity (by 9.2%) was observed at a concentration of 0.001 mg/dm³.

At the herbicide concentration of 25 mg/dm³, the puberty of young *C. affinis* was delayed and was longer than in the control and at lower concentrations by 1.42 days. Females gave only 5 generations, while in the control and in the concentration range of 0.001–10 mg/dm³ for the same period there were 6 generations. The total number of offspring on average for 5 generations was 33.58% of control, with a reliability of > 99.9%.

To a lesser extent, inhibition of crustacean activity was observed at lower herbicide concentrations. At 10 mg/dm³, the sexual maturity of crustaceans was delayed only in the first generation, and the total number of offspring on average for 6 generations was 72.1% of control. At the same level, a decrease in total productivity was observed at concentrations of 1.0 and 0.1 mg/dm³.

Key words: branched crustaceans, ecological and toxicological assessment, *Ceriodaphnia affinis*, isopropylamine salt, glyphosate, herbicide, hydrofauna, offspring, female.