

57
НЗУ

ISSN 2078-2357

Наукові Записки

Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка

Серія: біологія



81 (4)
2021

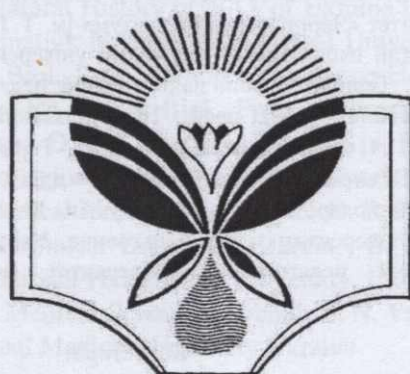
57
H34



Наукові закиски

**Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
Серія: Біологія**

**Scientific Issues
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University
Series: Biology**



**81 (4)
2021**

Бібліотека Тернопільського
національного педагогічного
університету ім. В. Гнатюка



885374

Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2021. Т. 81, № 4. 100 с.

*Друкується за рішенням вченої ради
Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
від 23.11.2021 р. (протокол № 4)*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

Н. М. Дробик – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

Заступники головного редактора:

В. В. Грубінко – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

О. Б. Столяр – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

Члени редакційної колегії:

І. В. Азізов – д.б.н., проф., Інститут молекулярної біології і біотехнології Національної академії наук Азербайджану, Баку; **М. М. Барна** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **О. І. Боднар** – д.б.н., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **В. І. Бумейстер** – д.б.н., проф., Сумський державний університет, Україна; **С. Н. Вадзюк** – д.мед.н., проф., Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, Україна; **А. І. Герц** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **Р. Й. Гончарова** – д.б.н., проф., Інститут генетики і цитології Національної академії наук Білорусі, Мінськ; **Л. Р. Грицак** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **П. Жимські** – д.мед.н. (біологія), доцент, Познанський медичний університет, Польща; **І. Я. Капрусь** – д.б.н., проф., Державний природознавчий музей НАН України, Львів; **В. З. Курант** – д.б.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **В. Г. Кур'ята** – д.б.н., проф., Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського, Україна; **О. В. Лукаш** – д.б.н., проф., Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, Україна; **Н. В. Пасечко** – д.мед.н., проф., Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, Україна; **С. В. Пида** – д. с-г.н., проф., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **О. С. Покотило** – д.б.н., проф., Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна; **Г. І. Фальфушинська** – д.б.н., Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна; **Г. Федак** – д.б.н., проф., Оттавський науково-дослідний центр розвитку сільського господарства та агропродуктів, Канада; **М. М. Федоряк** – д.б.н., проф., Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича, Україна; **В. О. Хоменчук** – к.б.н., доцент, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна
(відповідальний секретар)

Коректори: О. С. Вербовета

Т. І. Белей

Комп'ютерна верстка:

Г. М. Голіней

О. Б. Мацюк

Адреса редакції:

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. Максима Кривоноса, 2

м. Тернопіль, 46027

E-mail: journal@chem-bio.com.ua

http://journals.chem-bio.com.ua

Свідоцтво про держреєстрацію: КВ № 15884-4356Р від 27.10.2009.

Українські, російські та латинські назви рослин і тварин наведені за авторським текстом

За зміст, авторську позицію та достовірність наведених у статтях фактів, цитувань відповідальність несуть автори.

© Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ЗМІСТ

БОТАНІКА

- М. О. ПАРХОМЕНКО, В. Г. КЛЕТЬОНКІН, Ю. В. ЩЕРБА, Р. Л. ЯВОРІВСЬКИЙ,
О. О. БЕЗСМЕРТНА
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ *PONTECHNUM MACULATUM* (L.)
VÖNLE & NILGER (*BORAGINACEAE*) НА ТЕРИТОРІЇ НПП «ДВОРІЧАНСЬКИЙ»... 6
- О. С. ФІЩУК
МОРФОЛОГІЯ ТА ВАСКУЛЯРНА АНАТОМІЯ КВІТКИ *ZEPHYRANTHES*
CITRINA BAKER. (*AMARYLLIDACEAE* J. ST.-NIL.) 10

ЗООЛОГІЯ

- С. С. ПОДОБІВСЬКИЙ, Л. Я. ФЕДОНЮК, О. Ю. РУЖИЦЬКА
НІМФИ КЛІЩІВ ВИДУ *IXODES RICINUS*, ЇХ ЖИВЛЕННЯ НА ТВАРИНАХ
І ЛЮДИНІ ТА ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА РОЛЬ 17

БІОТЕХНОЛОГІЯ

- Л. Р. ГРИЦАК, М. З. ПРОКОП'ЯК, О. Ю. МАЙОРОВА, Н. М. ДРОБИК
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ *IN SITU* ТА *EX SITU*
ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВИДІВ РОДУ *GENTIANA* L. 23

БІОХІМІЯ

- О. І. БОДНАР, І. ХАТІБ, О. І. ГОРИН, О. В. СОРОКА, Х. І. НІМКО, І. В. ЧЕРНІК,
Г. Б. КОВАЛЬСЬКА, Г. І. ФАЛЬФУШИНСЬКА
ПРОЯВИ ОКИСНОГО СТРЕСУ ТА МЕТАБОЛІЧНИХ ПОРУШЕНЬ У *DANIO*
RERIO ЗА ДІЇ ФОСФООРГАНІЧНИХ ПЕСТИЦИДІВ 31

ЕКОЛОГІЯ

- Л. Я. ФЕДОНЮК, О. І. СКИБА, Я. О. БЛИК, Н. Б. ГЛИВКА
ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ ШЛЯХОМ
БАГАТОСТУПЕНЕВОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ 37
- В. О. ХОМЕНЧУК, Н. О. ВОВЧЕК, В. Я. БІЯК, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ
КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ
МЕТАЛАМИ ЕКОСИСТЕМ МАЛИХ РІЧОК ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ 42

ІХТІОЛОГІЯ

- І. Ю. БУЗЕВИЧ, Г. О. КОТОВСЬКА, Д. С. ХРИСТЕНКО, Н. Я. РУДИК-ЛЕУСЬКА
СУЧАСНИЙ СТАН ОСНОВНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИДІВ РИБ
КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА 53

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

- Г. Б. ГУЛЯЄВА, Н. В. ЖИТКЕВИЧ, Т. Т. ГНАТЮК, В. П. ПАТИКА
ФОТОХІМІЧНА АКТИВНІСТЬ ЛИСТКІВ СОЇ ЗА ДІЇ ФІТОПАТОГЕННИХ
БАКТЕРІЙ РІЗНОЇ ВІРУЛЕНТНОСТІ 63
- А. Ю. ДЗЕНДЗЕЛЬ
ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА «SMART» КОМПЗИТ
МАРЦІНІШИН® НА ПОКАЗНИКИ ВОДООБМІНУ ЛИСТКІВ ПОМІДОРА
ЇСТИВНОГО (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.) 72
- А. Г. КОЗЮЧКО, В. М. ГАВІЙ, О. Б. КУЧМЕНКО
ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ СОРТУ АННУШКА ЗАЛЕЖНО
ВІД ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ
РЕЧОВИНАМИ 81

ІСТОРІЯ НАУКИ. ПЕРСОНАЛІЇ

- А. В. СТЕПАНЮК, Н. Й. МІЩУК, Г. Я. ЖИРСЬКА, Л. С. БАРНА, Н. М. ДРОБИК,
В. В. ГРУБІНКО
ВИТОКИ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ЗАГАЛЬНОЇ БІОЛОГІЇ ТА
МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН У СИСТЕМІ «ЗВО-
ШКОЛА» (до 50-річчя кафедри) 91

БОТАНІКА

УДК 581.52 + 582.929.2

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.1

¹М. О. ПАРХОМЕНКО, ¹В. Г. КЛЕТЬОНКІН, ²Ю. В. ЩЕРБА, ³Р. Л. ЯВОРІВСЬКИЙ,
^{2,4*}О. О. БЕЗСМЕРТНА

¹Національний природний парк «Дворічанський»

вул. Привокзальна, 51, селище Дворічне, Дворічанський район, Харківська область, 62701

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 64/13, Київ, 01601

³Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

⁴Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуша»

вул. Вишневецького, 3а, м. Ківерці, Волинська обл., 45200

*e-mail: olesya.bezsmertna@gmail.com

ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ *PONTECHIUM MACULATUM* (L.) BÖHLE & HILGER (*BORAGINACEAE*) НА ТЕРИТОРІЇ НПП «ДВОРІЧАНСЬКИЙ»

Pontechium maculatum (L.) Böhle & Hilger (*Boraginaceae*) – рідкісний євразійський вид, що поширений у Центральній, Східній та Південній Європі, а також на Кавказі, у Закавказзі та Анатолії. На території України зареєстрований спорадично у низці областей у південній частині Полісся, Лісостепу, Степу та Криму [7]. Однак стан популяцій у переважній більшості відомих локалітетів недостатньо вивчений або ж існують відомості лише про виявлені поодинокі екземпляри від 1 до 3–6 особин у популяції [2, 7, 8]. Аналогічна ситуація склалася і з популяціями на території НПП Дворічанський, зокрема відсутні відомості не лише про особливості наявних тут популяцій, а й взагалі до цього часу не була опублікована інформація щодо поширення тут досліджуваного виду. Усе вище зазначене обумовило актуальність та мету нашого дослідження.

Ключові слова: *Pontechium maculatum*, Бернська конвенція, поширення, еколого-біологічні особливості, НПП «Дворічанський».

Матеріал і методи досліджень

Созологічний аналіз проводився на основі наявності виду в охоронних списках міжнародного, державного та регіонального рівнів: European red list of vascular plants, IUCN Red List of Threatened Species [10], Резолюція № 6 Бернської конвенції [1], Червона книга України [9], переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України [6]. Картосхеми створені за допомогою програми QGIS Madeida 3.4, NextGis 21.9.0 та NextGis Mobile 2.6.27.

Результати досліджень та їх обговорення

Систематичне положення. *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger відповідно до сучасних відомостей належить до родини *Boraginaceae* [11]. Синонімічними назвами *Pontechium maculatum* є *Echium russicum* J. F. Gmel та *Echium maculatum* L. Саме вони до недавнього часу

значилися у науковій літературі та водночас обумовили українські назви виду: синяк руський, синяк плямистий [1].

Морфологічні особливості виду *Pontechium maculatum* є дворічною трав'яною рослиною 30–100 см заввишки. Листки, стебла, квітколоже та чашолистки негусто вкриті тонкими або більш-менш жорсткуватими щетинками. Колосоподібне суцвіття подовжене, його довжина у 8–10 разів перевищує ширину (рис. 1А). Однак відмінною ознакою цього виду є пурпурове або темно-червоне забарвлення віночка, який чітко відрізняє його від інших видів цього роду (рис. 1А-В) [5].

Созологічний аналіз. *Pontechium maculatum* є рідкісним видом та охороняється на міжнародному рівні. Він занесений до переліку видів Резолюції № 6 Бернської конвенції, а також занесений до II та IV додатків Директиви 92/43ЕЕС (оселищної Директиви) [1]. Також має статус LC в The IUCN Red List of Threatened Species. [10]. За результатами созологічного аналізу виявлено, що досліджуваний вид занесений до списків регіонально рідкісних на території 9 областей України (Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Луганської, Львівської, Полтавської, Сумської, Тернопільської, Харківської) та міста Севастополь [6]. Однак, ні до чинного видання Червоної книги України [10], а ні до нових списків наступного видання цей вид не включений [3].

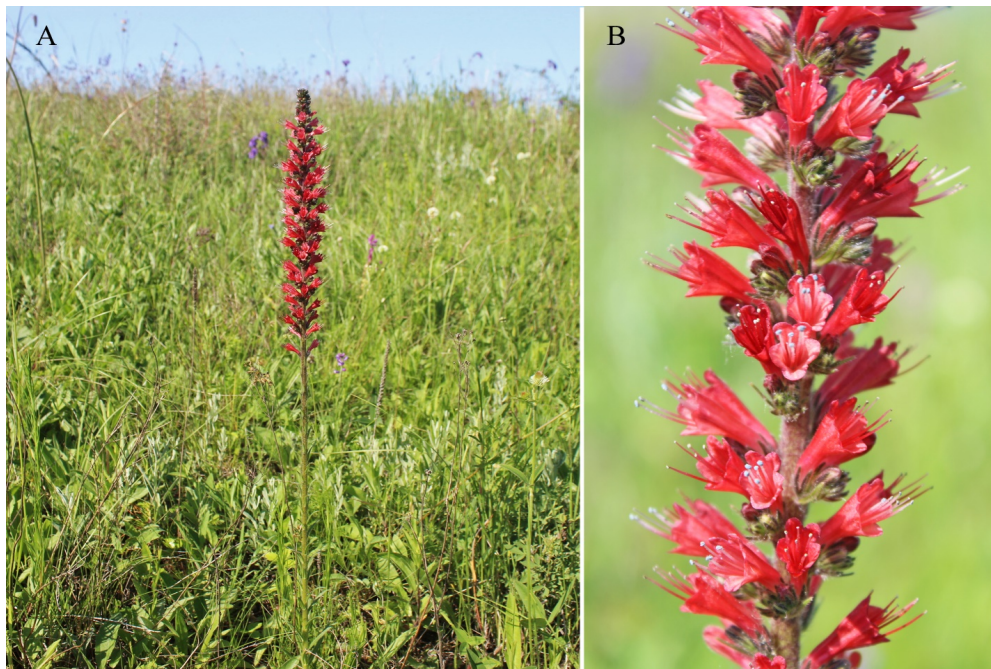


Рис. 1. *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger на території національного природного парку «Дворічанський»: А – загальний вигляд рослини; В – фрагмент суцвіття (фото: М. Пархоменко)

Поширення на території НПП «Дворічанський». Територія парку (рис. 2А-С) простягається смугою протяжністю близько 19 км вздовж річки Оскіл, охоплюючи бокові балки з байрачними лісами, крейдяні відслонення та вкриті крейдяним степом ділянки, схили правого берега долини річки й незначні за площею масиви заплавних лук і лісів на її лівому березі. На території НПП «Дворічанський» у 2020 р. виявлено 14 локалітетів *Pontechium maculatum* у заповідній та господарській зонах парку (рис. 2С, табл. 1). Відповідно у 2021 році виявлено 10 локалітетів даного виду. У переважній більшості локалітетів було зареєстровано поодинокі особини (від однієї до трьох) у генеративному стані. Найчисельнішими є популяції Е7 та Е2 в околицях с. Новомлинськ Дворічанського району Харківської області (урочище Березки), які налічують 17 та 18 особин відповідно.

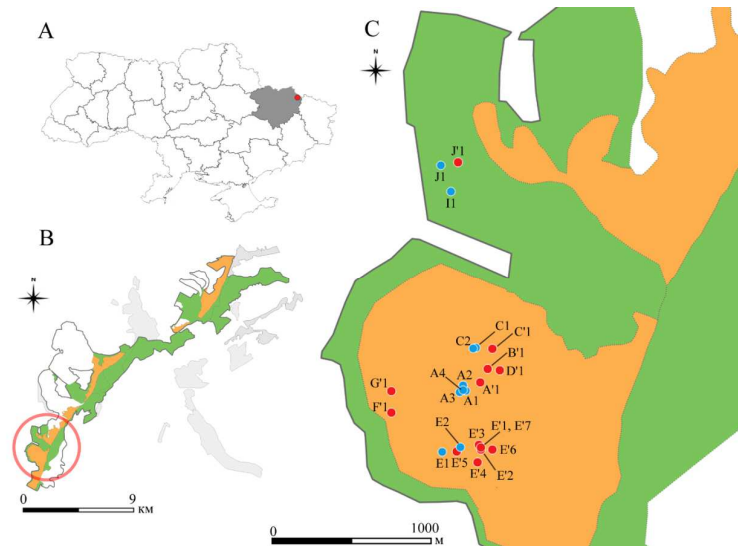


Рис. 2. Розташування знахідок рослин *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger на території національного природного парку «Дворічанський»: А – локація НПП «Дворічанський» в межах України; В – картосхема території НПП «Дворічанський»: оранжевим і зеленим кольорами позначено заповідну та господарську зони відповідно. Червоне коло позначає територію із виявленими рослинами *P. maculatum*; С – локалітети *P. maculatum* у межах нацпарку: червоні точки – локалітети 2020 р., блакитні – локалітети 2021 р.; кодування та додаткова інформація (див. табл. 1).

Таблиця 1

Поширення виду *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger на території НПП «Дворічанський» України в період 2020–2021 рр.

Id	Локалізація	Кількість особин (шт.)
A'1	ЗЗ	1
B'1	ЗЗ	1
C'1	ЗЗ	2
D'1	ЗЗ	1
E'1	ЗЗ	3
E'2	ГЗ	1
E'3	ЗЗ	2
E'4	ЗЗ	1
E'5	ЗЗ	1
E'6	ЗЗ	1
E'7	ЗЗ	17
F'1	ЗЗ	3
G'1	ЗЗ	1
J'1	ЗЗ	2
A1	ЗЗ	2
A2	ЗЗ	3
A3	ЗЗ	3
A4	ЗЗ	2
E1	ЗЗ	1
E2	ЗЗ	18
C1	ЗЗ	4
C2	ЗЗ	1
J1	ГЗ	1
II	ГЗ	1

Примітка: ЗЗ – заповідна зона, ГЗ – господарська зона

Особливості місцезростань. На основі аналізу наукових джерел та власних досліджень приходимо до висновку, що вид трапляється переважно в угрупованнях класу *Festuco-Brometea*, зростаючи на вузьколистих сухих (*Festucion valesiacaе*) та широколистяних луках (*Bromion erecti*), сонячних схилах, степових луках, безлюдних виноградниках у низинах та горбистих районах.

На території НПП «Дворічанський» вид трапляється у складі біотопів Т1.3.1 Лучних степів на редзинах (відповідно до додатку І Оселищної Директиви 6210 Напівприродні ксерофітні трав'яні угруповання й чагарникові фації на вапнякових субстратах) [4]. Відповідно до класифікації UkrBiotop поширений у біотопах Е:2.2 (Термоксеротичні трав'яні та томілярні біотопи на відкладах осадових та кристалічних порід). У межах Е:2.211 (Угруповання з домінуванням різнотрав'я на карбонатних відкладах) зростає досить часто, і зрідка в Е:2.2131 (Біотопи ксеротичних угруповань на елювіальних відкладах, глинистих відслоненнях).

Висновки

На основі проведених протягом 2020–2021 рр. маршрутно-експедиційних досліджень на території Національного природного парку «Дворічанський» нами загалом виявлено 24 локалітети *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger. Популяції досліджуваного виду зазвичай малочисельні та локальні внаслідок досить інтенсивного руйнування місць зростання та надмірного рекреаційного навантаження. У подальшому дослідження виду повинні бути спрямовані на виявлення вцілілих місцезростань та їхнього збереження.

1. Залучення громадськості та науковців до проектування мережі Емеральд (Смарагдової мережі) в Україні / Полянська К. В. та ін.; за ред. А. А. Куземко. Київ, 2017. 304 с.
2. Знахідки рослин і грибів Червоної книги та Бернської конвенції (Резолюція 6) / наук. ред. А. А. Куземко. Київ–Чернівці : Друк Арт, 2019. Т. 1. Вип. 11. 496 с.
3. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37091.html> (дата звернення: 28.10.2021).
4. Національний каталог біотопів України / за ред. А. А. Куземко, Я. П. Дідуха та ін. Київ : ФОП Клименко Ю. Я., 2018. 442 с.
5. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д. Н., Котов М. И. и др.; за ред. Ю. Н. Прокудина. Киев : Наукова думка, 1987. С. 271.
6. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) / укладачі: Т. Л. Андрієнко, М. М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.
7. Судинні рослини Смарагдової мережі України під охоронною Бернської конвенції / В. А. Соломаха та ін.; за ред. В. А. Соломахи. Київ, 2016. 152 с.
8. Тротнер В. В. Знахідки *Onosma macrochaeta* Klokov & Dobrocz. та *Echium russicum* J.F. Gmel. (*Boraginaceae*) в Миколаївській і Дніпропетровській областях. *Теоретичні та прикладні аспекти вивчення, збереження та збагачення фіторізноманіття у науково-дослідних установах та навчальних закладах України* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Хорол, 4 трав. 2018 р.). Полтава : ФОП Гаража М. Ф., 2018. С. 86–88.
9. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 912 с.
10. Bernhardt K.G., Dostalova A., Király G., Petrova A. *Echium russicum*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2011: e.T162105A5538499. Downloaded on 26 September 2021., available at: <https://www.iucnredlist.org/species/162105/5538499> (дата звернення: 28.10.2021).
11. The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. URL: <https://www.emplantbase.org/home.html> (дата звернення: 28.10.2021).

References

1. Zaluchennia hromadskosti ta naukovtsiv do proektuvannia merezhi Emerald (Smarahdovoi merezhi) v Ukraini / Polianska K. V. ta in.; za red. A. A. Kuzemko. Kyiv, 2017. 304 s. [in Ukrainian]
2. Znakhidky roslyn i hrybiv Chervonoj knyhy ta Bernskoi konventsii (Rezoliutsiia 6) / nauk. red. A. A. Kuzemko. Kyiv–Chernivtsi : Druk Art, 2019. T. 1. Vyp. 11. 496 s. [in Ukrainian]
3. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv. URL: <https://mepr.gov.ua/news/37091.html>[in Ukrainian]
4. Natsionalnyi kataloh biotopiv Ukrainy / za red. A. A. Kuzemko, Ya. P. Didukha ta in. Kyiv : FOP Klymenko Yu. Ya., 2018. 442 s. [in Ukrainian]

5. Opredelitel' vysshih rastenij Ukrainy / Dobrochaeva D. N., Kotov M. I. i dr.; za red. Ju. N. Prokudina. Kiev : Naukova dumka, 1987. S. 271. [in Russian]
6. Ofitsiini pereliki rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia) / ukladachi: T. L. Andriienko, M. M. Perehrym. Kyiv: Alterpres, 2012. 148 s. [in Ukrainian]
7. Sudynni roslyny Smaragdovoi merezhi Ukrainy pid okhoronnoiu Bernskoi konventsii / V. A. Solomakha ta in.; za red. V. A. Solomakhy. Kyiv, 2016. 152 s. [in Ukrainian]
8. Trotner V. V. Znakhidky Onosma macrochaeta Klokov & Dobrocz. ta Echium russicum J.F. Gmel. (Boraginaceae) v Mykolaivskii i Dnipropetrovskii oblastiakh. Teoretychni ta prykladni aspekty vyvchennia, zberezhenia ta zbahachennia fitoriznomanittia u naukovy-doslidnykh ustanovakh ta navchalnykh zakladakh Ukrainy : materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Khorol, 4 trav. 2018 r.). Poltava : FOP Harazha M. F., 2018. S. 86–88. [in Ukrainian]
9. Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobkonsal'tynh, 2009. 912 s. [in Ukrainian]
10. Bernhardt K.G., Dostalova A., Király G., Petrova A. Echium russicum. The IUCN Red List of Threatened Species. 2011: e.T162105A5538499. Downloaded on 26 September 2021., available at: <https://www.iucnredlist.org/species/162105/5538499>
11. The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. URL: <https://www.emplantbase.org/home.html>

M. O. Parkhomenko, V. H. Kletionkin, J. H. Shherba, R. L. Yavorivskiy, O. O. Bezsmertna
Dvorichanskyi National Nature Park, Ukraine

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

Kivertsyivskyi National Natural Park «Tsumanskaya Pushcha», Ukraine

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES OF *PONTECHIUM MACULATUM* (L.) BÖHLE & HILGER (BORAGINACEAE) ON THE TERRITORY OF NPP «DVORICHANSKY»

The research results of *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger distribution in Dvorichanskyi National Nature Park "(hereinafter NPP "Dvorichanskyi"), which have been carried out throughout 2020 – 2021 are described. *P. maculatum* is included in the international conservation lists, namely in the European Red List of Vascular Plants (IUCN), Resolution №6 of the Berne Convention, and in some regional red lists. During the period of our research, we have registered 9 plots with *P. maculatum* populations. Among them we indicated 73 plants in 24 localities where the populational conditions, the phenological phase of plants development, the number of flowering individuals and the number of flowers on the plants were observed. Also, the peculiarities of natural habitats and biotope affiliation of *P. maculatum* are analyzed.

Keywords: Pontechium maculatum, Berne Convention, distribution, ecological and biological features, NPP «Dvorichanskyi».

Надійшла 24.09.2021.

УДК 582.52.581.461

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.2

О. С. ФЩУК

Волинський національний університет імені Лесі Українки

пр. Волі, 13, Луцьк, Волинська область, 43025

e-mail: dracaenaok@ukr.net

МОРФОЛОГІЯ ТА ВАСКУЛЯРНА АНАТОМІЯ КВІТКИ *ZEPHYRANTHES CITRINA* BAKER. (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

У гінецеї *Zephyranthes citrina* Baker. виявлена синасцидіатна, симплікатна та гемісимплікатна структурні зони. У зав'язі найдовшою є фертильна гемісимплікатна зона, найкоротшою – стерильна синасцидіатна зона. Встановлено, що у *Z. citrina* квітконіжка містить 12 провідних

5. Opredelitel' vysshih rastenij Ukrainy / Dobrochaeva D. N., Kotov M. I. i dr.; za red. Ju. N. Prokudina. Kiev : Naukova dumka, 1987. S. 271. [in Russian]
6. Ofitsiini pereliki rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia) / ukladachi: T. L. Andriienko, M. M. Perehrym. Kyiv: Alterpres, 2012. 148 s. [in Ukrainian]
7. Sudynni roslyny Smaragdovoi merezhi Ukrainy pid okhoronnoiu Bernskoi konventsii / V. A. Solomakha ta in.; za red. V. A. Solomakhy. Kyiv, 2016. 152 s. [in Ukrainian]
8. Trotner V. V. Znakhidky Onosma macrochaeta Klokov & Dobrocz. ta Echium russicum J.F. Gmel. (Boraginaceae) v Mykolaivskii i Dnipropetrovskii oblastiakh. Teoretychni ta prykladni aspekty vyvchennia, zberezhenia ta zbahachennia fitoriznomanittia u naukovy-doslidnykh ustanovakh ta navchalnykh zakladakh Ukrainy : materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Khorol, 4 trav. 2018 r.). Poltava : FOP Harazha M. F., 2018. S. 86–88. [in Ukrainian]
9. Chervona knyha Ukrainy. Roslynni svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobkonsaltnh, 2009. 912 s. [in Ukrainian]
10. Bernhardt K.G., Dostalova A., Király G., Petrova A. Echium russicum. The IUCN Red List of Threatened Species. 2011: e.T162105A5538499. Downloaded on 26 September 2021., available at: <https://www.iucnredlist.org/species/162105/5538499>
11. The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. URL: <https://www.emplantbase.org/home.html>

M. O. Parkhomenko, V. H. Kletionkin, J. H. Shherba, R. L. Yavorivskiy, O. O. Bezsmertna
Dvorichanskyi National Nature Park, Ukraine

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

Kivertsyivskyi National Natural Park «Tsumanskaya Pushcha», Ukraine

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES OF *PONTECHIUM MACULATUM* (L.) BÖHLE & HILGER (BORAGINACEAE) ON THE TERRITORY OF NPP «DVORICHANSKY»

The research results of *Pontechium maculatum* (L.) Böhle & Hilger distribution in Dvorichanskyi National Nature Park "(hereinafter NPP "Dvorichanskyi"), which have been carried out throughout 2020 – 2021 are described. *P. maculatum* is included in the international conservation lists, namely in the European Red List of Vascular Plants (IUCN), Resolution №6 of the Berne Convention, and in some regional red lists. During the period of our research, we have registered 9 plots with *P. maculatum* populations. Among them we indicated 73 plants in 24 localities where the populational conditions, the phenological phase of plants development, the number of flowering individuals and the number of flowers on the plants were observed. Also, the peculiarities of natural habitats and biotope affiliation of *P. maculatum* are analyzed.

Keywords: Pontechium maculatum, Berne Convention, distribution, ecological and biological features, NPP «Dvorichanskyi».

Надійшла 24.09.2021.

УДК 582.52.581.461

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.2

О. С. ФЩУК

Волинський національний університет імені Лесі Українки

пр. Волі, 13, Луцьк, Волинська область, 43025

e-mail: dracaenaok@ukr.net

МОРФОЛОГІЯ ТА ВАСКУЛЯРНА АНАТОМІЯ КВІТКИ *ZEPHYRANTHES CITRINA* BAKER. (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

У гінецеї *Zephyranthes citrina* Baker. виявлена синасцидіатна, симплікатна та гемісимплікатна структурні зони. У зав'язі найдовшою є фертильна гемісимплікатна зона, найкоротшою – стерильна синасцидіатна зона. Встановлено, що у *Z. citrina* квітконіжка містить 12 провідних

пучків, які вище збираються ближче до центру у щільне коло, але провідний циліндр не утворюють, а на рівні квітколожа від скупчення пучків відходять септальні провідні пучки та дорзальні провідні пучки, які вище дають початок слідам листочків оцвітини. Дорзальні та септальні пучки плодолистка двопучкові. У центрі зав'язі на рівні появи гнізд з'являється залозиста щілина, яка свідчить про наявність симплікатної зони, та коло з дрібних провідних пучків – корені вентрального комплексу. Вище ці пучки реорганізуються у 6 масивних провідних пучки і живлять насінні зачатки – вентральні пучки плодолистків. Насінних зачатків 14–20 у кожному гнізді, слід насінного зачатка однопучковий. Сліди зовнішніх листочків оцвітини мають 12 провідних пучки, сліди внутрішніх листочків оцвітини мають 10 провідних пучки. Сліди тичинок однопучкові.

Ключові слова: *Zephyranthes citrina*, гінецей, морфологія квітки, васкулярна анатомія.

Молекулярно-філогенетичні реконструкції родини Amaryllidaceae J.St.-Hil. здійснювали багато вчених [8, 15, 18]. Для побудови таксономічних систем вони використовували молекулярні дані, зрідка було використано декілька морфологічних ознак. А такі важливі ознаки, як наявність і висота зон зав'язі, кількість насінних зачатків у гнізді, ознаки васкулярної анатомії квітки та будова септальних нектарників, варто було б включити до побудови філогенетичних дерев. Вивчення міроморфології, васкулярної анатомії квітки та плоду однодольних є сучасним напрямком дослідження еволюційної морфології [2, 12, 13, 14, 22]. Взаємодія даних молекулярної філогенетики та еволюційної порівняльної морфології квітки є перспективним напрямком вивчення для побудови сучасної еволюційної системи порядків, родин, підродин та родів.

Об'єктами нашого дослідження обрано *Zephyranthes citrina*, який широко вирощується як декоративно-квітуча рослина. Під *Zephyranthes* Herb. належать до субтриби Hippeastrinae Walp. триби Hippeastreae Sweet., підродини Amaryllidoideae s. s., родини Amaryllidaceae J. St.-Hil. [7, 8, 23].

Під *Zephyranthes* налічує близько 70 видів трав'янистих багаторічних рослин, які поширені у субтропічній та тропічній областях Америки, горах Мексики, піщаних плоскогір'ях Чилі та південній Африці [23]. Досить актуальним є вивчення флавоноїдів *Z. candida* з протизапальною активністю [21, 27], алкалоїдів у представників роду *Zephyranthes* [6, 16], зокрема у *Z. candida* [20, 25, 26], розвитку ендосперму та зміни структури ембріональних мішків [9], таксономії південно-бразильських Amaryllidaceae J. St.-Hil. [5]. Генетичну структуру *Zephyranthes fosteri* було описано М. І. Торрес-Моран із групою науковців [24].

Отже, питання таксономії та фармакологічних властивостей *Z. citrina* привертають чималу увагу сучасних дослідників, проте залишаються не дослідженими питання морфології та анатомії квітки, які є важливими для аналізу способів запилення та постантетичного морфогенезу (формування й розкриття плоду). Метою нашого дослідження є з'ясування особливостей морфології квітки і внутрішньої структури гінецея, будови септальних нектарників та виявленні вертикальної зональності гінецея в представників Amaryllidaceae J. St.-Hil. для подальшого використання нових ознак у систематиці родини.

Матеріал і методи досліджень

Квітки *Z. citrina* зібрані на агростанції Волинського національного університету імені Лесі Українки на стадії бутону перед розкриттям і цвітіння та зафіксовані у 70 % етанолі. Препарати серій поперечних зрізів п'яти квіток завтовшки 20 мкм виготовлено згідно зі стандартною методикою [4]. Зрізи фарбували Сафраніном (Safranin) і Астра-Блау (Astra Blau) та заливали в Еукітт (Eukitt). Цифрові мікрофотографії зроблені за допомогою мікроскопа AMSCOPE T490B-10M (США) та цифрової камери AMSCOPE 10MP MU1000 (США). Висоту вертикальних зон зав'язі обчислювали за сумою поперечних зрізів. Внутрішню структуру гінецея аналізували згідно з концепцією вертикальної зональності гінецея В. Ляйнфельнера [17].

Результати досліджень та їх обговорення

Квітки *Z. citrina* 3–4,9 см завдовжки, злегка зигоморфні, жовтого кольору. Квітконіс 10,5–11 см довжиною та 0,3–0,4 см у діаметрі, квітки поодинокі. Дві конусоподібні приквітки, шкірясті, коричневі, зрослися в одну, утворивши двокилеву структуру близько 3,8 см завдовжки, 1,1 см завширшки і 0,7 см біля основи. Квітконіжка до 1,4 см завдовжки, близько 0,2 см в діаметрі (рис. 1, А-В).

Оцвітина проста з лінійними членами. Квіткова трубка зеленого кольору, лійкоподібної форми, близько 2,2 см завдовжки, 0,3 см в діаметрі при основі і 0,6 см вище основи (рис. 1, Е). Зовнішні листочки оцвітини (пелюстки) ширші за внутрішні. Довжина зовнішніх листочків оцвітини (пелюстків) 2,2 см, 2 см, 2,2 см завдовжки та 1,5 см, 1,6 см, 1,5 см шириною, а внутрішні листочки оцвітини (пелюстки) 2,3 см, 2,1 см, 2 см завдовжки та 1,2 см, 1,3 см, 1,2 см шириною відповідно.

Андроцей характеризується наявністю 6 тичинок, які проросли основами до квіткової трубки. Довжина внутрішніх тичинок 3 см, а довжина зовнішніх тичинок 2,9 см. Тичинкові нитки прямі, до верхівки звужуються, 0,1 см у діаметрі. Тичинкові нитки зовнішнього кола 2,2 см, а довжина тичинкових ниток внутрішнього кола 2,5 см. Пиляки загнуті на верхівці, інтрорзні, дорзифіксні. Пиляки зовнішніх і внутрішніх тичинок довжиною 1,1 см. Але тичинкові нитки кріпляться на різній висоті до пиляка у зовнішніх і внутрішніх тичинках. Пиляки, у діаметрі 0,1 см, прикріплюються трохи нижче середини висоти пиляка (рис. 1, F).

Гінецей *Z. citrina* представлений трьома плодолистками, які зростаються. Довжина гінецею 5,7 см, зав'язь яйцеподібна, яскраво-зеленого кольору, 0,7 см висотою та 0,3 см у діаметрі (рис. 1, С-D), яка переходить у злегка зигоморфний, при основі зелений, а вище білого кольору, s-подібний стовпчик довжиною 4,8 см і 0,1 см у діаметрі (рис. 2, D). Приймочка трилопатева, широко загнуті лопаті довжиною 0,2 см і діаметром 0,1 см. Плід – коробочка із сплющеними чорними насінинами.

У гінецеї *Z. citrina* ми виділяємо такі структурні зони: синасцидіатну структурну зону, висотою близько 300 мкм, та фертильну симплікатну структурну зону, висота якої близько 2180 мкм (рис. 1, С), гемісимплікатну зону 1680 мкм (рис. 1, D). Септальні нектарники з'являються у гемісимплікатній зоні та відкриваються нектарними щілинами в основі стовпчика, загальна висота септального нектарника 2220 мкм (рис. 1, D; рис. 2 С). Дах зав'язі складає 540 мкм.

У верхній частині квітконіжки, квітколожі, в основі квіткової трубки, у тичинкових нитках і у стінці зав'язі, стовпчику наявні ідіобласти з клітинними включеннями – рафідами (рис. 3). У вільних верхівках листочків оцвітини та в'язальці вони відсутні. Зовнішня і внутрішня епідерма зав'язі містять продиhi (рис. 3).

Квітконіжка у *Z. citrina* при основі містить 12 провідних пучків, які вище збираються ближче до центру у щільне коло, але провідний циліндр не утворюється (рис. 1, А-В). На рівні квітколожа відходять септальні провідні пучки (рис. 2, В) та дорзальні провідні пучки (рис. 2, А), від яких вище відходять сліди листочків оцвітини. Дорзальні та септальні пучки плодолистка двопучкові. У центрі зав'язі на рівні появи гнізд з'являється залозиста щілина, яка свідчить про наявність симплікатної зони, та коло з дрібних провідних пучків – корені вентрального комплексу (рис. 1, С). Вище ці пучки реорганізуються у 6 масивних провідних пучки і живлять насінні зачатки – вентральні пучки плодолистків (рис. 1, D). Насінних зачатків у кожному гнізді 14–20. На зрізі в кожному гнізді по два насінних зачатки, слід насінного зачатка однопучковий.

Вище гнізд зав'язі вентральні пучки плодолистка, а також септальні у перегородках зливаються з дорзальними пучками та утворюють дорзальну жилку (рис. 1, Е). Сліди зовнішніх листочків оцвітини (пелюсток) мають 12 провідних пучки, сліди внутрішніх листочків оцвітини (пелюсток) мають 10 провідних пучки. Сліди тичинок однопучкові.

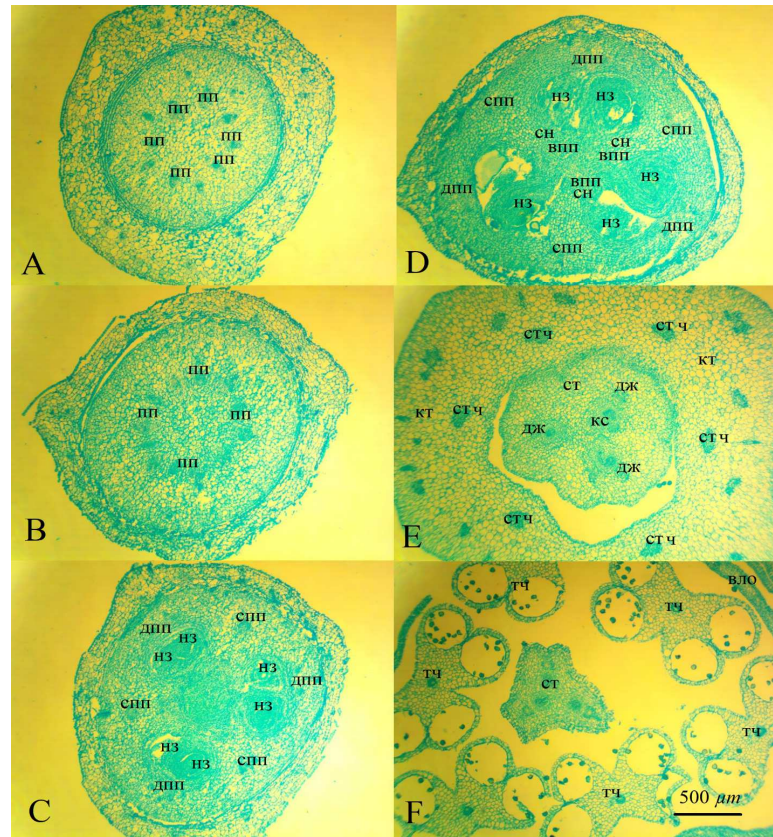


Рис. 1. Серія поперечних зрізів квітки *Zephyranthes citrina*: вло – внутрішні листочки оцвітини; впп – вентральні провідні пучки; дж – дорзальна жилка; дпп – дорзальні пучки плодолистка; кс – канали стовпчика; кт – квіткова трубка; нз – насінний зачаток; пп – провідні пучки; сн – септальний нектарник; ст – стовпчик; стч – сліди тичинок; спп – септальні пучки плодолистка; тч – тичинка.

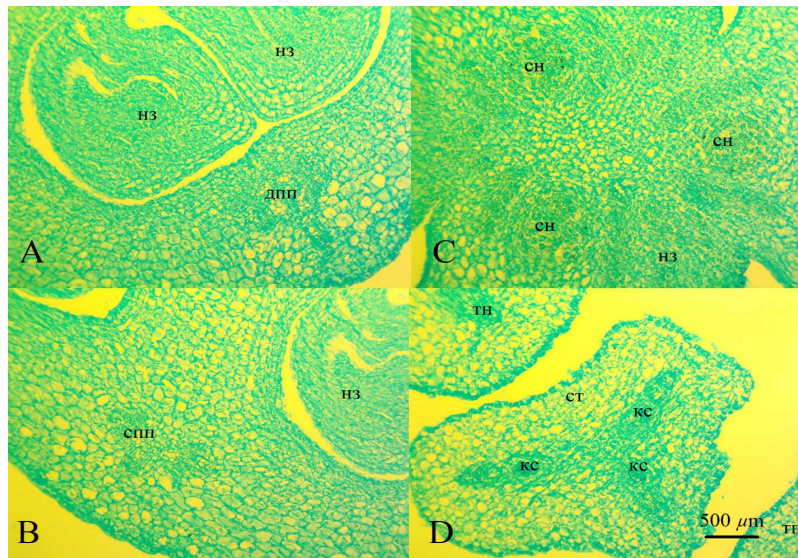


Рис. 2. Частини квітки *Zephyranthes citrina*: А – стінка зав'язі із дорзальним пучком плодолистка, який є подвійним, та насінні зачатки; В – стінка зав'язі із септальним пучком плодолистка; С – центральна частина зав'язі із септальними нектарниками та насінними зачатками; D – стовпчик та тичинкові нитки; дпп – дорзальні пучки плодолистка; кс – канал стовпчика; нз – насінний зачаток; спп – септальні пучки плодолистка; тн – тичинкова нитка.

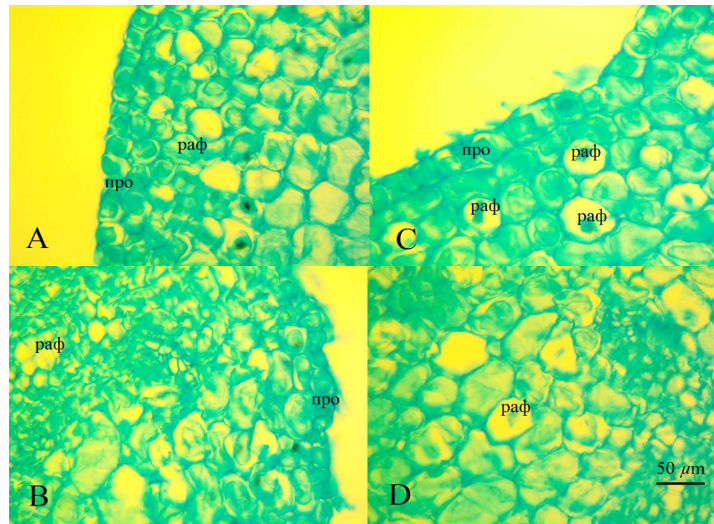


Рис. 3. Рафіди та продихи у дистальній паренхімі стінки зав'язі *Zephyranthes citrina*: раф – рафіди; про – продихи.

Квітка у роді *Zephyranthes* прямостояча, актиноморфна, квіткова трубка коротка або довга. Приймочка трикутна або невиразно трилопатева. Коробочка тоненька з численними або кількома чорними сплюснутими або стисненими D-подібними або клиновидними насінинами (Meerow & Snijman, 1998). Гінецей у представників роду *Zephyranthes* складається із трьох зрослих плодолистків, стовпчик тонкий з точкоподібною, головчатою або трилопатевою приймочкою, гінецей трьохгніздний, з кількома чи багатьма насінними зачатками у гнізді [23].

Учені із Бангладешу досліджували цитотаксономічно три види представників роду *Zephyranthes*, а саме: *Z. candida* (Lindl.) Herb., *Z. carinata* Herb. і *Z. tubispatha* Herb. для з'ясування та характеристики ймовірних еволюційних взаємозв'язків між ними. Встановлено, що ці види мають різне число хромосом і формулу каріотипу. Дослідження показало, що *Zephyranthes candida* мав яйцеподібну цибулину, білі квітки, яйцеподібну до ланцетоподібної оцвітину, довгасті пиляки, тонкий стовпчик, жовтувато-зелені плоди та кутасте насіння. *Z. carinata* характеризувався наявністю тунікатних цибулин, рожевих квіток, субеліптичною до довгасто-ланцетоподібної оцвітини, вузьколінійними пиляками, ниткоподібним стовпчиком, темно-зеленими плодами та кутастим насінням. Наявність тунікатних цибулин, лінійних листків, жовтих квіток, жолобоподібної оцвітини, лінійних пиляків, ниткоподібного стовпчика, жовтувато-зелених плодів та довгастих насінин були ключовими ознаками, як це спостерігається у *Z. tubispatha* [10].

Детальну систематику чотирьох видів *Zephyranthes*, що зустрічаються в Бангладеші, а саме: *Z. atamasco* (L.) Herb., *Z. candida* (Lindl.) Herb., *Z. carinata* Herb. і *Z. tubispatha* (L'Her.) Herb. ex Traub. – було вивчено з їх оновленою номенклатурою, важливими синонімами, фенологією, дослідженими зразками, середовищем існування, поширенням, економічною цінністю та способом розмноження. Вивчення запилення виявляє, що зазначені види *Zephyranthes* самозапилюються. Для проростання насіння у *Z. atamasco* було потрібно мінімум п'ять днів, а у *Z. candida*, *Z. carinata* та *Z. tubispatha* – три дні [1].

За Е. Дауманом [11], рід *Zephyranthes* має внутрішній нектарник. Дослідник встановив наявність епідермальних септальних нектарників у *Z. candida*. У цілому, для родини Amaryllidaceae J. St.-Hil. характерна наявність септальних нектарників [11, 19, 23]. Ми з'ясували наявність трьох вертикальних зон у зав'язі дослідженого виду. Вважаємо гінецей дослідженого виду еусинкарпним в сенсі В. Ляйнфельнера [11], із фертильними двома зонами зав'язі.

Новими особливостями анатомічної структури квітки *Z. citrina*, які ми встановили, є наявність рафід та подихів у квітконіжці, в основі квіткової трубки, у тичинкових нитках і у стінці зав'язі та подвійний слід дорзальних та септальних провідних пучків, велика кількість провідних пучків у вільних листочках простої оцвітини (пелюстках). Подвійна дорзальна

жилка також була описана у *Galanthus nivalis* та *Leucojum vernum* [13] (Fishchuk, Odintsova, 2020). Сліди дорзальних та септальних провідних пучків є двопучковими у *Hippeastrum striatum* [12] (Fishchuk, 2021).

Висновки

Отримані нами дані дозволили поглибити знання про мікроморфологічні та анатомічні особливості квітки *Zephyranthes citrina*, зокрема, уточнено анатомічну структуру листочків простої оцвітини (пелюсток), вертикальну зональність і тип гінецею. У зав'язі виявлені риси ранніх етапів морфогенезу плоду та адаптації до розкривання – диференціація мезокарпію та клітин ендокарпію, роздвоєні дорзальні пучки плодолистків. Припускаємо, що перелічені особливості будови квітки пов'язані з пропозицією пилку як винагороди запилювачу. Оскільки зав'язь є структурною основою плоду, гістологічна диференціація стінки зав'язі відображує особливості подальшого морфогенезу плоду. Ознаки морфології квітки та анатомічної структури зав'язі *Z. citrina* в подальшому будуть використані для уточнення положення родів у родині Amaryllidaceae J. St.-Hil., оскільки серед учених існує дискусія щодо їхнього розподілу.

1. Afroz S., Rahman M., Hassan, M. Taxonomy and reproductive biology of the genus *Zephyranthes* (Liliaceae) in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy*. 2018. 25(1). S. 57–69. <https://doi.org/10.3329/bjpt.v25i1.37181>
2. Andreychuk R., Odintsova A. Actual state of carpological studies in the family Campanulaceae Juss. with regard to its systematics. *Studia Biologica*. 2020. 14 (2). S. 95–116. doi: 10.30970/sbi.1402.616
3. Ao C., Wang L.-Y., Sun H., Lin J.-T., Chen Y.C.C.-C. Megasporogenesis and megagametogenesis in *Zephyranthes Candida* (Amaryllidaceae), with special notes on the behavior of the synergids, the central cell and the antipodal cells. *Phyton (Horn)*. 2016. 56 (1). S. 91–101. DOI:10.12905/0380.phyton56(1)2016-0091
4. Barykina R. P., Veselova T. D., Deviatov A. G., Djalilova H. H., Ijina G. M., Chubatova, N. V. Spravochnik po botanicheskoy mikrotehnike. Osnovy i metody [Handbook of the botanical microtechniques]. Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moskva, 2004. 312 s. [in Russian]
5. Büneker H. M., Bastian R. E. Taxonomic novelties in Southern Brazilian Amaryllidaceae – II: *Zephyranthes comunelloi* a new species from Santa Catarina; and lectotypification of *Zephyranthes mesochloa* Herb. Ex Lindl. *Balduinia*. 2018. 62. S. 1–8. DOI: 10.5902/2358198033221
6. Centeno-Betanzos L.Y., Reyes-Chilpa R., Pigni N.B., Jankowski C.K., Torras-Claveria L. Bastida J. Plants of the 'Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis' from Mexico, 1552. *Zephyranthes fosteri* (Amaryllidaceae) Alkaloids. *Chem. Biodiversity*. 2021. 18. e2000834. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000834>
7. Chase M. W., Christenhusz M. J. M., Fay M. F., Byng J. W., Judd W. S., Soltis D. E., Mabberley D. J., Sennikov A. N., Soltis P. S., Stevens P. F. The angiosperm phylogeny group. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. 181. S. 1–20. doi:10.1111/boj.12385
8. Chase M. W., Reveal J. L., Fay M. F. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009. 161 (2). S. 132–136. doi:10.1111/j.1095-8339.2009.00999.x
9. Chengqi A. The endosperm development and the variations of structures of embryo sacs: unravelling the low fecundity of *Zephyranthes candida* (Amaryllidaceae). *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*. 2019. 153(5). S. 673–678. DOI: 10.1080/11263504.2018.1539044
10. Dash C. K., Rahman M. O., Sultana, S. S. Karyological Investigation on Three *Zephyranthes* Species and Its Taxonomic Significance. *Cytologia*. 2020. 85 (2). S. 163–168. DOI: 10.1508/cytologia.85.163
11. Daumann E. Das Blütennektarium der Monocotyledonen unter besonderer Berücksichtigung seiner systematischen und phylogenetischen. Bedeutung Feddes Repertorium. 1970. 80 (7–8), 463–590.
12. Fishchuk O. Comparative flower morphology in *Hippeastrum striatum* (Lam.) H.E. Moore. (Amaryllidaceae). *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. 11 (1). S. 273–278 doi: 10.15421/2021_240
13. Fishchuk O. S., Odintsova A. V. Micromorphology and anatomy of the flowers of *Galanthus nivalis* and *Leucojum vernum* (Amaryllidaceae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. 11 (3). S. 463–468. doi:10.15421/022071
14. Fishchuk O., Odintsova A., Sulborska A. Gynoecium structure in *Dracaena fragrans* (L.) Ker Gawl., *Sansevieria parva* N.E. Brown and *Sansevieria trifasciata* Prain (Asparagaceae) with septal emphasis on the structure of the septal nectary. *Acta Agrobotanica*. 2014. 66 (4), S. 55–64. <https://doi.org/10.5586/aa.2013.051>

15. García N., Meerow A. W., Arroyo-Leuenberger S., Oliveira R. S., Dutilh J. H., Soltis P. S., Judd W. S. Generic classification of Amaryllidaceae tribe Hippeastreae. *Taxon*. 2019. 68 (3). S. 425–612. <https://doi.org/10.1002/tax.12062>
16. Kohelová E., Maříková J., Korábečný J., Hulcová D., Kučera T., Jun D., Chlebek J., Jenčo J., Šafratová M., Hrabínová M., Ritomská A., Malaník M., Peřinová R., Breiterová K., Kuneš J., Nováková L., Opletal L., Cahlíková L. Alkaloids of *Zephyranthes citrina* (Amaryllidaceae) and their implication to Alzheimer's disease: Isolation, structural elucidation and biological activity. *Bioorganic Chemistry*. 2021. 107. 104567. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104567>.
17. Leinfellner W. Der Bauplan des syncarpen Gynoeceums. *Oesterreichische Botanische Zeitschrift*. 1950. 97(3–5). S. 403–436.
18. Meerow A. W., Francisco-Ortega J., Schnell R. J. Phylogenetic relationships and biogeography within the Eurasian clade of Amaryllidaceae based on plastid ndhF and nrDNA ITS sequences: lineage sorting in a reticulate area? *Systematic Botany*. 2006. 31 (1). S. 42–60. doi:10.1600/036364406775971787
19. Meerow A. W., Snijman D. A. Amaryllidaceae. In: Kubitzki, K., Huber, H., Rudall, P. J. Stevens, P. S., Studzel, T. (ed.). *The families and genera of vascular plants. III. Flowering plants: Monocotyledons: Lillanae (except Orchidaceae)* Springer, Berlin. (1998). S. 83–110.
20. Murphy P. J., Tibble-Howlings J., Kowalczyk R. M., Stevens K. Synthesis of zephycandidine A from haemanthamine. *Tetrahedron Letters*. 2020. 61 (16). 151785. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2020.151785>.
21. Nguyen K.V., Ho D.V., Le N.T., Phan K. V., Heinämäki J., Raal A., Nguyen H. T. Flavonoids and alkaloids from the rhizomes of *Zephyranthes ajax* Hort. and their cytotoxicity. *Sci Rep*. 2020. 10. 22193. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78785-2>
22. Odintsova A., Fishchuk O. The flower morphology in three Convallariaceae species with various attractive traits. *Acta Agrobotanica*. 2017. 70 (1). S. 1705–1719. doi.org/10.5586/aa.1705
23. Takhtajan A. *Flowering Plants*. 2nd ed. Springer, 2009. 871 s.
24. Torres-Morán M. I., Velasco, P., Almaraz-Abarca N., Anaya-Covarrubias J. Y., Velasco-Ramírez A. Genetic structure of *Zephyranthes fosteri*, specie with ornamental and medicinal potential in Mexico. *BIOtecnica*. 2019. 21 (2). S. 5–10. DOI: 10.18633/biotecnica.v21i2.900
25. Zhan G., Liu J., Zhou J., Sun B., Aisa H.A., Yao G. Amaryllidaceae alkaloids with new framework types from *Zephyranthes candida* as potent acetylcholinesterase inhibitors. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2017. 127. S. 771–780. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.10.057>.
26. Zhan G., Zhou J., Liu R., Liu T., Guo G., Wang J., Xiang M., Xue Y., Luo Z., Zhang Y., Yao G. Galanthamine, Plicamine, and Secoplicamine Alkaloids from *Zephyranthes candida* and Their Anti-acetylcholinesterase and Anti-inflammatory Activities. *Journal of Natural Products*. 2016. 79 (4). S. 760–766. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.5b00681
27. Zhan G., Zhou J., Liu T., Zheng G., Aisa H. A., Yao G. Flavans with potential anti-inflammatory activities from *Zephyranthes candida*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 2016. 26 (24). S. 5967–5970. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2016.10.081>.

O. S. Fishchuk

Lesya Ukrainka Volyn National University, Ukraine

MORPHOLOGY AND VASCULAR ANATOMY OF THE FLOWER OF *ZEPHYRANTHES CITRINA* BAKER. (AMARYLLIDACEAE J. ST.-HIL.)

In the gynoecium of *Zephyranthes citrina* Baker. there are synascidiate, symplicate, and hemisymplicate vertical zones. The longest zone is the fertile hemisymplicate zone and the shortest one is the sterile synascidiate zone in the ovary. It was determined that in *Z. citrina* the peduncle consists of 12 vascular bundles, which gather above the center in a dense circle, but do not form a vascular cylinder, and at the level of receptacle septal vascular bundles and dorsal vascular bundles depart, from which above traces of tepal depart. Dorsal and septal vascular bundles of the carpel are two-bundle. In the center of the ovary at the level of the locules there is a glandular slit which points to the presence of a symplicate zone and a circle of small vascular bundles – the roots of the ventral complex. Higher these bundles are reorganized into 6 massive vascular bundles and supplied the ovules – the ventral bundles of carpels. There are 14–20 ovules in each locul, the trace of the ovule is one-bundle. Traces of outer tepals have 12 vascular bundles, traces of inner tepals have 10 vascular bundles. Traces of stamens are single-bundle.

Keywords: *Zephyranthes citrina*, gynoecium, flower morphology, vascular anatomy.

Надійшла 28.09.2021.

ЗООЛОГІЯ

УДК:616-022.9-036.22:595.42:591.557.8

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.3

С. С. ПОДОБІВСЬКИЙ, Л. Я. ФЕДОНЮК, О. Ю. РУЖИЦЬКА

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України
Майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001
e-mail: podobivskiy@tdmu.edu.ua

НІМФИ КЛІЩІВ ВИДУ *IXODES RICINUS*, ЇХ ЖИВЛЕННЯ НА ТВАРИНАХ І ЛЮДИНІ ТА ЕПІДЕМІОЛОГІЧНА РОЛЬ

Дослідження кліщів виду *Ixodes ricinus* розпочалися у 2017 році і тривають до цих пір. Протягом 2017–2021 року ідентифіковано та вивчено біологію понад 1600 екземплярів кліщів. Досліджували усі життєві стадії: личинки, німфи та імаго. У цій статті особлива увага звертається на німфи цього виду. Це зумовлено тим, що німфи живляться не лише на тваринах, як у більшості інших іксодових кліщів, але й активно нападають на людину. Здійснено аналіз співвідношення німф та імаго, які нападали на людей у весняно-літній та осінній періоди 2017–2019 років, та особливості їх епідеміологічного стану в час найвищої активності кліщів.

Аналіз наукових джерел показує, що більшість дослідників вивчають живлення німф на диких і домашніх тваринах, а їх живленню на людині увага майже не приділяється. У зв'язку з цим ми приділили увагу німфам, їх живленню як на тваринах, так і на людині, та зосередилися на їх епідеміологічному значенні і здатності передавати збудників інфекційних захворювань своїм живителям.

Ключові слова: іксодові кліщі, *Ixodes ricinus*, німфи, епідеміологія, інфекційні захворювання.

Різні стадії іксодових кліщів, зокрема і кліща лісового або собачого, як правило, розвиваються на кількох (два – три) або на одному хазяїні. Багато дослідників указують, що наймасовішими хазяїнами для личинкової і німфальної стадій цього кліща є гризуни. Завдяки своїй значній чисельності у більшості біоценозів, у тому числі в агроценозах та урбоценозах, гризуни є винятковими живителями німф і личинок. Дорослі стадії кліщів живляться вже на більших ссавцях із ряду парнокопитних і непарнокопитних, хижих (котах, собаках, вовках, лисицях тощо). Одночасно гризуни є резервуарними хазяїнами для збудників бореліозу Лайма, гранулоцитарного анаплазмозу людини, кримсько-конголезької гемораргічної лихоманки, кліщового поворотного тифу, кліщового рикетсіозу, бабезіозу [5]. Важливим є те, що більшість гризунів є синантропними і таким чином полегшується процес залучення людини до поширення збудників цих захворювань.

Матеріал і методи досліджень

Німфи і дорослі кліщі виду *Ixodes ricinus* були зібрані з людей і тварин та досліджені в спеціалізованій лабораторії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського. Ідентифікація об'єктів проводилася з використанням оптико-електронної системи «SEO-IMAGLAB».

Дослідження епідеміологічного стану кліщів проводилося в режимі реального часу за допомогою ПЛР досліджень з використанням ампліфікатора «ROTOR Gene – 6000».

Обробка статистичних даних здійснювалася за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження показують, що гризуни є лише однією з ланок у ланцюзі живлення лісового кліща. J. Anderson [3] вказує що цей вид в Європі залучає до свого живлення понад 300 видів теплокровних тварин і людину. Популяційна екологія і поширення певних видів гризунів, очевидно, пов'язані з епідеміологічною ситуацією серед людей, в основному у випадку передачі окремих кліщових патогенів, таких як *Borrelia burgdorferi sensu lato* або вірус кліщового енцефаліту (КЕ). S. Randolph [14] і С. Krebs [9] вказують на певні закономірності в біології іксодових кліщів і гризунів. Зокрема відмічено, що у весняний період у життєвому циклі кліщів переважають імаго, які живляться на макроссавцях. У цей час густина чисельності гризунів найнижча. В осінній період, навпаки, у кліщів спостерігається розвиток личинок і німф, які живляться переважно на гризунах, і одночасно спостерігається найвища чисельність і густина цих ссавців. Таким чином забезпечується масове живлення і подальший розвиток цих двох життєвих форм кліщів.

Дослідження європейських науковців [2, 5, 10, 12] показали, що собачий кліщ найчастіше живиться на таких гризунах: *Apodemus agrarius*, *A. flavicollis*, *A. sylvaticus*, *A. uralensis*, *Arvicola amphibius*, *Chionomys nivalis*, *Cricetus cricetus*, *Dryomys nitedula*, *Eliomys quercinus*, *Glis glis*, *Micromys minutus*, *Microtus agrestis*, *M. subterraneus*, *M. tatricus*, *Mus musculus*, *Muscardinus avellanarius*, *Myodes glareolus*, *Rattus norvegicus*, *Sciurus vulgaris*.

Будучи природно-вогнищевими хазяїнами для багатьох збудників інфекційних захворювань, різні гризуни по-різному здатні заражати кліщів цими збудниками. Більше того, декілька експериментальних досліджень показали, що одні види гризунів більш заразні для кліщів, ніж інші. D. Pérez із своїми колегами [13] виявили, що, у випадку *B. burgdorferi sl*, *M. glareolus* мав вищий рівень інфекційності, для кліщів, ніж *A. sylvaticus*. Коли інфекційність *I. ricinus* була оцінена для *B. afzelii*, *M. glareolus* був все ще більш заразним, ніж *A. sylvaticus* і *A. flavicollis* [7]. Коли два види роду *Apodemus* (*A. flavicollis* і *A. sylvaticus*) порівнювали щодо ступеня їх інфекційності з *B. burgdorferi sl* і *I. ricinus*, то не було виявлено значних розбіжностей [6].

Дослідження щодо оцінки поширення та інтенсивності зараження кліщами у різних видів гризунів в Литві та Норвегії провели ряд учених із цих країн [11]. Вони також підтверджують факт важливої ролі гризунів у розвитку преімагінальних стадій кліщів.

Згідно їх досліджень, у Литві 90 із 248 (36,3 %) гризунів є носіями *I. ricinus*. Проте зараженість значно залежала від видів гризунів. Загальне поширення зараженості незрілими стадіями *I. ricinus* – 52 % для *A. flavicollis*, 40 % для *A. agrarius*, 31 % для *Microtus arvalis* і 28 % для *Myodes glareolus*. Для Норвегії ці показники виглядали так: 109 із 150 (72,7 %) гризунів були носіями личинок і німф *I. ricinus*. Загальне поширення зараженості незрілими стадіями *I. ricinus* – 79,2 % для *Apodemus flavicollis* і 58,5 % для *A. sylvaticus*.

Як правило, гризуни частіше були заражені личинками, ніж німфами. Проте, із спійманих в Литві *M. Arvalis*, більший відсоток становлять зараження німфами (20 %), ніж личинками (18,2 %).

Найвища інтенсивність зараження гризунів кліщами спостерігалася в травні-червні і значно нижча – восени.

Подібні дослідження були проведені і в Румунії. Їх результати показують, що на стадії личинки і німфи на дрібних гризунах розвивалися, окрім *I. ricinus*, ще 7 видів кліщів: *I. redikorzevi*, *I. apronophorus*, *I. trianguliceps*, *I. laguri*, *Dermacentor marginatus*, *Rhipicephalus sanguineus* і *Haemaphysalis sulcata*. Усі ці види кліщів зустрічаються і в Україні. Щодо гризунів, то основними живителями для цих кліщів були миша жовтогорла та полівка сіра, менше – полівка руда і мишак уральський. Миша домовна і щур сирій не були носіями кліщів [4].

Серед усіх кліщів найбільш чисельними були личинки *I. ricinus* (76,97 %), а у *I. redikorzevi* – німфи (82,46 %). Результати досліджень також показують, якому живителю

надають перевагу окремі види кліщів, зокрема *I. ricinus*. Він був знайдений на 8 хазяїнах, *I. redikorzevi* – на 3, а *Rhipicephalus sanguineus* – на 2. На дрібних гризунах було також знайдено і дорослі стадії вказаних вище кліщів.

Окрім поширення кліщів на гризунах, розглядалося питання про те, які гризуни найчастіше є резервуарними хазяїнами для різних збудників. Зокрема, було встановлено, що для *B. burgdorferi sl.* в Європі є *A. agrarius*, *A. flavicollis*, *A. sylvaticus* та *Myodes glareolus*. Більше того, окремі генотипи цього патогену (напр. *Borrelia afzelii*) передаються гризунами [7].

Попри те, що на гризунах виявляються декілька видів іксодових кліщів, найбільш універсальним є кліщ собачий. Інші види також можуть переносити збудників інфекційних захворювань, але переважно кліщ собачий здатний передавати цих збудників від гризунів до людини.

Протягом 2017–2019 років личинки, німфи і дорослі кліщі виду *Ixodes ricinus* були зібрані з людей і тварин та досліджені в спеціалізованій лабораторії Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського. Результати досліджень приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати аналізу нападів кліщів на людей та їх епідеміологічного стану у 2017–2019 рр.

Параметри Роки, місяці	Співвідношення німф та імаго	Зараженість німф	Зараженість імаго
2017 р. квітень*	-	-	-
травень	2,2:1	48 %	64 %
червень	2,56:1	11 %	15 %
вересень	0,74:1	35 %	38 %
жовтень	0,21:1	20 %	21 %
Середнє за рік	1,43:1	28,5 %	34,5 %
2018 р. квітень	1,44:1	30 %	62 %
травень	1,76:1	39 %	65 %
червень	1,29:1	47 %	40 %
вересень	0,89:1	0 %	22 %
жовтень	0,43:1	33 %	50 %
Середнє за рік	1,16:1	29,8 %	47,8 %
2019 р. квітень	6,25:1	16 %	100 %
травень	2,97:1	33 %	50 %
червень	3,08:1	24 %	25 %
вересень	4,5:1	56 %	25 %
жовтень	0,94:1	33 %	12 %
Середнє за рік	3,55:1	32,4 %	42,4 %

Примітка. * Ідентифікація не проводилася

Виявлено певні тенденції в частоті нападів та епідеміологічного стану. Зокрема, частота нападів імаго на людей у весняний період була значно нижчою, ніж в осінній. За даними досліджень видно, що частота нападів різних стадій кліщів обумовлена життєвим циклом цього виду кліща та здатністю забезпечити себе їжею. Очевидно, що високий показник чисельності німф у квітні-травні обумовлений неможливістю завершити свій життєвий цикл восени, через відсутність хазяїна – живителя і необхідністю зимувати на стадії личинки або німфи. Ті особини, яким вдалося завершити свій життєвий цикл восени, зимують на стадії імаго і навесні вони вже активні в цій життєвій формі. Відсутність живителя можна пояснити фактором незначної чисельності мишовидних гризунів, завдяки чому велика кількість личинок і німф не можуть продовжити свій розвиток.

Аналіз епідеміологічного стану показав, що носіями збудників інфекційних захворювань можуть бути не лише дорослі форми, але і німфи й личинки. У розрізі років і окремих місяців помітно, що у травні зараженість збудниками в німф і дорослих кліщів, особливо у самок, найвища, у червні цей показник значно знижується, а у вересні знову зростає. За липень і серпень робити узагальнення важко, так як поступлення кліщів у лабораторію в цей час були мінімальними.

Попередні результати щодо частоти нападів кліщів і їх епідеміологічного стану висвітлені у публікаціях 2018–2019 рр. [1, 13, 15].

Висновки

Німфи кліщів виду *Ixodes ricinus* здатні жити не лише на мишовидних гризунах, але й на людині. Частота їх нападів на людей у порівнянні з імаго корелює від 1,16 до 3,55 і є найвищою у квітні-травні та згодом у вересні. Аналіз епідеміологічного стану показав, що у травні зараженість збудниками у німф коливається від 33 % до 48 %, а у самок – від 50 % до 65 %. У червні цей показник значно знижується, а вересні знову зростає до 35–56 % у німф і 25–38 % у самок.

1. Федонюк Л. Я. та ін. Морфо-фізіологічні особливості та медичне значення іксодових кліщів родів *Ixodes* Latr. та *Dermacentor* Fabr.– ектопаразитів людини і тварин у Західній Україні. *Світ медицини та біології*. 2018. № 1 (63). С. 173–177.
2. Algimantas Paulauskas, Jana Radzijeuskaja, Olav Rosef, Jurga Turcinaviciene and Daiva Ambrasiene. Infestation of mice and voles with *Ixodes ricinus* ticks in Lithuania and Norway. *Estonian Journal of Ecology*. 2009. Vol. 58. №2. P. 112–125.
3. Anderson, J. Epizootiology of lyme borreliosis. *Scand. J. Infect. Dis. Suppl.* 1991. № 77. P. 23–34.
4. Andrei D. Mihalca et al. Tick parasites of rodents in Romania: host preferences, community structure and geographical distribution. *Parasites & Vectors*. 2012. № 5. P. 266.
5. Andrei D. Mihalca and Attila D. Sándor. The role of rodents in the ecology of *Ixodes ricinus* and associated pathogens in Central and Eastern Europe. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2013. № 3. P. 56.
6. Gern, L. et al. *Borrelia burgdorferi* in rodents (*Apodemus flavicollis* and *A. sylvaticus*): duration and enhancement of infectivity for *Ixodes ricinus* ticks. *Eur. J. Epidemiol.* 1994. № 10. P. 75–80.
7. Gern L. Ecology of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Europe. *Lyme Borreliosis: Biology, Epidemiology and Control* / Gray JS, Kahl O, Lane RS, Stanek G, editors. 2002. P. 149–174
8. Humair, P. F. Rais, O., and Gern, L. Transmission of *Borrelia afzelii* from *Apodemus* mice and *Clethrionomys voles* to *Ixodes ricinus* ticks: differential transmission pattern and overwintering maintenance. *Parasitology*. 1999. № 118. P. 33–42.
9. Krebs, C. J. Population Fluctuations in Rodents. *Chicago; London: University of Chicago Press*. 2013. 320 p.
10. Matuschka F. R. Fischer P., Musgrave K., Richter D., and Spielman A. Hosts on which nymphal *Ixodes ricinus* most abundantly feed. *J. Trop. Med. Hyg.* 1991. № 44. P. 100–107.
11. Nosek, J. Central-European ticks (Ixodoidea). /Nosek, J., and Sixl, W. Mitt. //Abt. Zool. Landesmus. Joanneum. 1972. №1. P. 61–92.
12. Pérez, D., Kneubühler Y., Rais O., and Gern L. Seasonality of *Ixodes ricinus* ticks on vegetation and on rodents and *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies diversity in two Lyme borreliosis-endemic areas in Switzerland. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2012. № 12. P. 633–644.
13. Podobivskyi S. S. et al. Comparative characteristic of the morpho-physiological parameters, biology and epidemiology of *Ixodidae* (*Ixodes* and *Dermacentor*). *Deutscher Wissenschaftsherold. German Science Herald*. 2018. № 2. P. 10–12.
14. Randolph, S. E.. Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. *Parasitology*. 2004. № 129. P. 37–65.
15. Fedonuk L. Ya. et al. Morphological and physiological, biological and features of Acarina of the genus *Ixodes* (Latreille, 1795) – human ectoparasites in biogenocenoses of Ternopil region. *Wiadomosci Lecarskie*. 2019. T. LXXII. №. 2. P. 224–229.

References

1. Fedoniuk L. Ia. et al. Morfo-fiziologichni osoblyvosti ta medychne znachennia iksodovykh klishchiv rodiv *Ixodes* Latr. ta *Dermacentor* Fabr.– ektoparazytiv liudyny i tvaryn u Zakhidnii Ukraini. *Svit medytsyny ta biolohii*. 2018. № 1 (63). С. 173–177. [in Ukrainian]
- 20 ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2021, Т. 81, № 4

2. Algimantas Paulauskas, Jana Radzijeuskaja, Olav Rosef, Jurga Turcinaviciene and Daiva Ambrasiene. Infestation of mice and voles with *Ixodes ricinus* ticks in Lithuania and Norway. *Estonian Journal of Ecology*. 2009. Vol. 58. № 2. P. 112–125.
3. Anderson, J. Epizootiology of lyme borreliosis. *Scand. J. Infect. Dis. Suppl.* 1991. № 77. P. 23–34.
4. Andrei D. Mihalca at all. Tick parasites of rodents in Romania: host preferences, community structure and geographical distribution. *Parasites & Vectors*. 2012. № 5. P. 266.
5. Andrei D. Mihalca and Attila D. Sándor. The role of rodents in the ecology of *Ixodes ricinus* and associated pathogens in Central and Eastern Europe. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2013. № 3. P. 56.
6. Gern, L. at all. *Borrelia burgdorferi* in rodents (*Apodemus flavicollis* and *A. sylvaticus*): duration and enhancement of infectivity for *Ixodes ricinus* ticks. *Eur. J. Epidemiol.* 1994. № 10. P. 75–80.
7. Gern L. Ecology of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Europe. *Lyme Borreliosis: Biology, Epidemiology and Control* /Gray JS, Kahl O, Lane RS, Stanek G, editors. 2002. P. 149–174
8. Humair, P. F. Rais, O., and Gern, L. Transmission of *Borrelia afzelii* from *Apodemus* mice and *Clethrionomys* voles to *Ixodes ricinus* ticks: differential transmission pattern and overwintering maintenance. *Parasitology*. 1999. № 118. P. 33–42.
9. Krebs, C. J. Population Fluctuations in Rodents. *Chicago; London: University of Chicago Press*. 2013. 320 p.
10. Matuschka F. R. Fischer P., Musgrave K., Richter D., and Spielman A. Hosts on which nymphal *Ixodes ricinus* most abundantly feed. *J. Trop. Med. Hyg.* 1991. № 44. P. 100–107.
11. Nosek, J. Central-European ticks (Ixodoidea). /Nosek, J., and Sixl, W. Mitt. //Abt. Zool. Landesmus. Joanneum. 1972. №1. P. 61–92.
12. Pérez, D., Kneubühler Y., Rais O., and Gern L. Seasonality of *Ixodes ricinus* ticks on vegetation and on rodents and *Borrelia burgdorferi sensu lato* genospecies diversity in two Lyme borreliosis-endemic areas in Switzerland. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 2012. № 12. P. 633–644.
13. Podobivskiy S. S. at all. Comparative characteristic of the morpho-physiological parameters, biology and epidemiology of *Ixodidae* (*Ixodes* and *Dermacentor*). *Deutscher Wissenschaftsherold. German Science Herald*. 2018. № 2. P. 10–12.
14. Randolph, S. E.. Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. *Parasitology*. 2004. № 129. P. 37–65.
15. L. Ya. Fedonuk at all. Morphological and physiological, biological and features of Acariana of the genus *Ixodes* (Latreille, 1795) – human ectoparasites in biogenocenoses of Ternopil region. *Wiadomosci Lecarskie*. 2019. T. LXXII. №. 2. P. 224–229.

S. S. Podobivskiy, L. Ya. Fedoniuk, O. Yu. Rujytska

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University, Ukraine

NYPHHS OF THE *IXODES RICINUS* TICKS, THEIR FEEDING ON ANIMALS AND HUMANS, THE EPIDEMIOLOGICAL ROLE

Studies show that rodents are only one link in the food chain of the forest mite. J. Anderson [2] points out that in Europe this species attracts more than 300 species of warm-blooded animals and humans. The populational ecology and distribution of certain rodent species are related to the epidemiological situation among humans, mainly in the case of transmission of certain tick-borne pathogens, such as *Borrelia burgdorferi sensu lato* or tick-borne encephalitis virus (CE). Randolph S. E. [15] and Krebs C. J. [6] point to certain patterns in the biology of *Ixodes* mites and rodents. In particular, it has been noticed that in the spring the life cycle of mites is dominated by adults that feed on macro-mammals.

During 2017–2019, larvae, nymphs and adult mites of the *Ixodes ricinus* were collected from humans and animals and studied in a specialized laboratory of I. Horbachevsky Ternopil National Medical University. During 2017–2021, more than 1,900 specimens of mites were identified and studied. In this article, special attention is paid to the nymphs of this species. This is due to the fact that nymphs feed not only on animals, as in most other *Ixodes* mites, but also actively attack humans. The analysis of the ratio of nymphs and adults attacking people in the spring-summer and autumn periods of 2017–2019 has been carried out and the peculiarities of their epidemiological condition during the highest activity of ticks have been studied.

Certain patterns have been established, in particular, the frequency of their attacks on humans compared to adults correlates from 1.16 to 3.55 and is highest in April-May and then in September. The frequency of attacks of different stages of mites is obviously due to the life cycle of this type of mite and the ability to provide itself with food. It is possible that the high number of nymphs in April-

May due to the inability to complete its life cycle in autumn, due to the lack of a host-host and the need to overwinter at the larval or nymph stage. Those individuals that manage to complete their life cycle in the fall, overwinter in the adult stage and in the spring they are already active in this life form. The lack of a host can be explained by the factor of a small number of murine rodents, due to which a large number of larvae and nymphs cannot continue their development.

Analysis of the epidemiological situation showed that in May, the infection with pathogens in nymphs ranges from 33 % to 48 % and in females - from 50 % to 65 %. In June, this indicator decreases significantly, and in September it rises again to 35–56 % in nymphs and 25–38 % in females.

Keywords: Ixodes mites, Ixodes ricinus, nymphs, epidemiology, infectious diseases.

Надійшла 05.10.2021.

БІОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 502.753

doi: 10.25128/2078-2357.21. 4.4

Л. Р. ГРИЦАК, М. З. ПРОКОП'ЯК, О. Ю. МАЙОРОВА, Н. М. ДРОБИК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: hrytsak1972@gmail.com

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ *IN SITU* ТА *EX SITU* ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВИДІВ РОДУ *GENTIANA L.*

Проаналізовано ефективність застосування технологій *in situ* та *ex situ* для збереження генофонду рідкісних високогірних видів роду *Gentiana L.* (*Gentiana lutea L.*, *Gentiana punctata L.*, *Gentiana acaulis L.*). Упровадження заповідного режиму не забезпечує в повній мірі стабілізацію чисельності особин у популяціях досліджуваних видів та відновлення їхнього природного ареалу. Це зумовлено низкою чинників: тривалим інтенсивним пасторальним навантаженням, рекреацією, збиранням (зривання і викопування) рослин; посиленням в останні десятиліття резерватогенних сукцесій через занепад гірського тваринництва; трансформацією різнотравно-злакових угруповань у щільнодернинні вторинні ценози; збільшенням проективного покриття чагарників *Duschekia viridis* (Chaix) DC, *Juniperus sibirica* Bugsd та *Pinus mugo* Turra у високогірних угрупованнях; кліматогенними змінами, які зумовлюють зміну терморезиму, омброрезиму та зміщення поясів рослинності на вищі гіпсометричні рівні. Життєздатність і репродукція рослин видів роду *Gentiana* у колекціях *ex situ* залежить від того, наскільки термо- та омброрезими, хімічний склад ґрунту, інтенсивність сонячної інсоляції та спектральний склад світла відповідають природним потребам видів. За невідповідності цих чинників екологічним і фізіологічним потребам видів отримати життєздатні колекції рослин *ex situ* доволі складно. Використання в репатріаційних проєктах посадкового матеріалу, отриманого в умовах *ex situ*, відмінних від природних місць росту виду, зумовлює загибель понад 50 % особин вже в перші роки їх вегетації.

Ключові слова: *Gentiana lutea L.*, *Gentiana punctata L.*, *Gentiana acaulis L.*, збереження *in situ*, технології *ex situ*.

Збереження фіторізноманіття є ключовою проблемою сучасної цивілізації. Не зважаючи на те, що підходи до її вирішення в останні роки почали змінюватися, основними напрямками збереження біологічного різноманіття залишаються: охорона видів в умовах *in situ* (у природних угрупованнях) на основі створення заповідних об'єктів, екомереж і невиснажливого використання природних ресурсів; збереження видового різноманіття в умовах *ex situ*, тобто збереження видів у ботанічних садах, зоо- та дендропарках, а також завдяки створенню насінневого та генетичного банків.

Щодо результативності активних або пасивних форм заповідання, у науковій літературі ведеться дискусія [2, 26, 28]. В останні десятиліття вчені все більше схилиються до погляду, що технології *in situ* є ефективними лише у випадку видів, які представлені декількома багаточисельними популяціями. Зберегти генофонд видів за значної фрагментації їх ареалу та низької чисельності особин у популяціях складно, оскільки це спричинює генетичну ерозію

[26, 27]. Технології *ex situ* також не позбавлені недоліків. Стратегія *ex situ* дозволяє зберігати відібрані зразки впродовж тривалого часу, краще вивчити біологію видів, їхні адаптивні реакції на зміну чинників довкілля. Проте дослідники часто працюють з обмеженою кількістю вихідних генотипів рідкісних видів, що може спричинювати в ізольованих польових колекціях інбридингову депресію та, відповідно, гальмувати еволюційні процеси [1]. Крім того, існує ризик спонтанної гібридизації з іншими видами або втрати матеріалу через інфікування патогенами. Тому стратегія *ex situ* потребує розробки складних технологій, які б необмежено тривалий час забезпечували підтримання життєздатних батьківських ліній.

У контексті цієї проблематики доцільно досліджувати ефективність застосування технологій *in situ* та *ex situ* для збереження генофонду конкретних рідкісних ендемічних, реліктових, диз'юнктивно ареальних і зникаючих видів організмів. Це дозволить зібрати більше фактичних даних і послужить основою для розроблення нових практичних рекомендацій та методичних підходів щодо збереження і відновлення популяцій рідкісних видів із застосуванням технологій *in situ* та *ex situ*.

Відповідно до вище зазначеного, мета наукової роботи полягає в оцінці ефективності застосування технологій *in situ* та *ex situ* для збереження генофонду рідкісних високогірних видів роду *Gentiana* L., а саме: *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.

Матеріал і методи досліджень

Вивчення стану популяцій і виявлення загроз, що знижують їхню життєздатність здійснено під час власних експедицій в Українські Карпати (масиви Чорногора, Свидовець, Мармароські Альпи), у 2001–2019 рр. Для оцінки змін ареалів використовували дані низки наукових праць [11–13, 17, 20, 21].

Ефективність збереження видів в умовах *ex situ* оцінювали за результатами опрацювання матеріалів наукових джерел [3, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 18, 21, 23, 25].

Результати досліджень та їх обговорення

Усі досліджені види роду *Gentiana* занесені до Червоної книги України (2009) [22]. При цьому *G. lutea* та *G. punctata* належать до категорії вразливих видів, а *G. acaulis* – до рідкісних. Значна частка їх популяцій збережена на територіях *in situ*, зокрема Карпатського національного природного парку і Карпатського біосферного заповідника. Крім того, *G. lutea* охороняється в заказнику загальнодержавного значення «Апшинецький» (Закарпатська область); *G. punctata* – у заказниках загальнодержавного значення «Свидовецькому» (Закарпатська обл.), «Товпишівському» (Івано-Франківська обл.) і на території пам'ятки природи «Урочище Верхне Озерище» (Івано-Франківська обл.) [22]. Щодо *G. acaulis* – пропонують поширити режим заповідності на його популяції у Горганах (НПП «Синевир») та здійснювати моніторинг за найбільш вразливими популяціями, зокрема на Свидовці та Синевирі [22]. Проте, упровадження заповідного режиму не забезпечує в повній мірі стабілізацію чисельності особин у популяціях досліджуваних видів і відновлення їх природних ареалів. Так, у другій половині ХХ століття в Українських Карпатах за різними даними існувало від 16 [12] до 27 [21] природних популяцій *G. lutea*, 31 місцевиростання *G. punctata*, 22 популяції *G. acaulis* [6]. За результатами наших досліджень, станом на 2019 р. підтверджено існування лише 10 природних і 3 інтродукованих популяцій *G. lutea*, 6 часткових популяцій *G. punctata* на Чорногірському, Свидовецькому і Мармароському масивах, а також 7 часткових популяцій *G. acaulis*. Останні належать до чорногірської (г. Говерла, Туркул, Ребра, Гутин Томнатик, Шпиці) та мармароської (г. Петрос Мармароський) метапопуляції. Як показують наші дослідження, існує низка причин зникнення популяцій цих видів на заповідних територіях: довготривале інтенсивне пасторальне навантаження, рекреація, збирання (зривання і викопування) рослин; посилення в останні десятиліття резерватогенних сукцесій через занепад гірського тваринництва; трансформація різнотравно-злакових угруповань у щільнодернинні вторинні ценози; збільшення проективного покриття чагарників *Duschekia viridis* (Chaix) DC, *Juniperus sibirica* Bugsd та *Pinus mugo* Turra у високогірних угрупованнях; кліматогенні зміни, які спричинюють зміну терморезиму, омброрезиму та зміщення поясів рослинності на вищі

гіпсометричні рівні [4, 6]. На відхилення фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища від оптимальних значень реагують рецептори, розташовані на поверхні цитоплазматичних мембран клітин рослин. У відповідь сигнальні системи запускають каскад ланцюгових реакцій. Характер цих реакцій залежить від діапазону толерантності рослини до дії певного чинника та наближення його значень до критичної межі. Відповідно, це супроводжується змінами гормонального балансу, інтенсивністю метаболічних реакцій, які, у кінцевому результаті, на рівні окремого організму, зумовлюють відхилення у кінетиці ключових параметрів флуоресценції хлорофілу, вмісті фотосинтетичних пігментів і параметрах водного режиму [5]. Відхилення у перебігу метаболічних і фізіологічних процесів призводять вже до структурних змін, які відображаються на особливостях морфометричних параметрів анатомічних структур листка, на віталітеті рослин, особливостях проходження ними етапів онтогенезу, репродуктивній біології, здатності до генеративного та вегетативного розмноження тощо. Зниження віталітету рослин, їх відхилення від магістрального шляху проходження етапів онтогенезу призводять до змін структури популяції. На цьому рівні порушення фіксуються за особливостями вікової, просторової, віталітетної структур популяцій та їх стратегіях. Це супроводжується зниженням життєстійкості популяцій, їх фрагментацією, поступовим згасанням та, у кінцевому результаті, інсуляризацією ареалів видів роду *Gentiana*.

Аналіз літературних джерел показав, що низка досліджень присвячена створенню живих колекцій *ex situ* видів роду *Gentiana*. Зазначають про введення в культуру *ex situ* виду *G. lutea* як за кордоном: у Росії [10], Білорусі [14], Литві [7], Франції, Італії [23], Південній Фінляндії [25], так і в Україні [3, 8, 15, 16, 18, 21].

Дослідники роблять висновок про те, що життєздатність і репродукцію особин *ex situ* *G. lutea* визначають еколого-географічні умови їх росту. Спроби виростити рослини на низовинних територіях були невдалі [18]. На висоті 211 м н. р. м. (Центральний ботанічний сад АН Білорусі) у особин *G. lutea* (перенесених із високогір'я Українських Карпат) рідко спостерігається цвітіння та плодоношення, утворене насіння недорозвинуте; не відбувається й вегетативного розмноження [14]. На дещо вищих гіпсометричних рівнях (250 м н. р. м.) (дендропарк «Дружба» імені З. Павлика Прикарпатського університету імені В. Стефаніка) виростити рослини з насіння виявилось неможливим, приживалися лише пересажені з високогір'я рослини, які за 10–11 років досягнули генеративного періоду та приступили до плодоношення. Що стосується вирощування рослин з насіння, то його схожість була низькою, а проростки – нежиттєздатними. Самопідтримання рослин у цих умовах відбувається лише за інтенсифікації вегетативного розмноження [3]. На висоті 340 м н. р. м. (Ботанічний сад Національного лісотехнічного університету України, м. Львів) рослини *G. lutea* не лише регулярно генерують та плодоносять, але й утворюють життєздатне насіння. Фактична насіннева продуктивність особин становить 60–80 %, однак показники кількості плодів на генеративному пагоні є на 30,8 % меншими, порівняно із рослинами з природи [8]. Найбільш життєздатними є колекції рослин *ex situ*, вирощені у високогір'ї Українських Карпат: на біостанціях Інституту екології Карпат НАНУ (г. Пожижевська, 1440 м н.р.м), Львівського (г. Менчул Квасівський, 1210 м н.р.м.) та Ужгородського університетів (полонина Рівна, 1482 м н.р.м.) [21]. Б. М. Москалюк (2013) повідомляє про успішний 6-річний досвід вирощування особин *G. lutea* і на дослідній ділянці, розташованій на висоті 550 м н. р. м. [16]. Повідомляють й про введення в колекцію *ex situ* Сибірського ботанічного саду Томського державного університету рослин *G. acaulis*, привезених із Швейцарії (г. Грюнінген) [10]. Не зважаючи на здатність до проходження повного циклу сезонного розвитку у цих умовах, коефіцієнт насінневої продуктивності рослин був низьким (14,5 %); насіння потребувало тривалої (понад 6 місяців) холодової стратифікації, після якої відсоток його схожості не перевищував 64,0 %. У ботанічному саду Львівського національного університету імені Івана Франка рослини *G. acaulis* регулярно зацвітали, однак вегетативно не розмножувалися. Більш успішним культивування рослин цього виду на високогірній ділянці, розташованій в межах території Національного природного парку «Синевир» [9].

У науковій літературі є повідомлення про створення штучних плантацій *G. lutea* й у високогірних районах Сардинії [23]. Як посадковий матеріал використовували 1–3 річні саджанці рослин, вирощені у ботанічному саду в умовах, відмінних від природних місць росту виду. Не зважаючи на той факт, що при виборі ділянок було враховано топографію місцевості, резерватогенні сукцесії (детерміновані припиненням пасторального навантаження), сумарну кількість сонячної енергії на одиницю площі території, забезпеченість ґрунтовими водами [24], успішність репатріації становила лише 47 %; більшість із рослин загинули протягом першого року росту в нових умовах [23]. Ці дані підтверджують висновки С. Воліса та М. Блечтера (2010) про необхідність використання для репатріації лише адаптованого до природних умов існування видів посадкового матеріалу колекцій *ex situ*, оскільки окремі таксони можуть зберігатися лише в історично складеному комплексі абіотичних умов існування [29]. Інші же умови росту призводять до гено- та фенотипових змін рослин, що й позначається на їх адаптаційному потенціалі при реінтродукції. Тому, на наш погляд, причинами низької життєвості рослин видів *Gentiana* в умовах *ex situ* є недостатня відповідність термо- та омброрежимів, хімічного складу ґрунтів, інтенсивності сонячної інсоляції та спектрального складу світла в місцях розташування таких плантацій природним потребам видів у цих чинниках.

Створення живих колекцій *ex situ* високогірних видів роду *Gentiana* у природних місцях їх росту належить до категорії надзвичайно технічно складних і матеріально затратних завдань [23]. Крім того, розроблена агротехніка вирощування *G. lutea* на штучних плантаціях передбачає висів насіння на ділянку, на якій попередньо було видалено кореневища інших видів і розрихлено ґрунт [15, 18, 21]. Таку техніку вирощування, з одного боку, складно реалізувати на територіях *in situ*; з іншого – вона може призвести до порушення консортативних зв'язків та ще більшої трансформації рослинних угруповань. У випадку же видів *G. punctata* та *G. acaulis*, що мають низьку схожість насіння [19], використання такої агротехніки, ймовірно, не призведе до позитивних результатів.

Висновки

Отже, збереження та відновлення популяції рідкісних високогірних видів роду *Gentiana*, навіть у випадку запровадження заповідного режиму, є складним завданням. Це пов'язано із процесами інтенсивної трансформації середовища під впливом природних та антропогенних чинників. Без врахування цих змін, а також особливостей біології та екології видів розробити комплекс робіт для активізації механізмів самовідновлення популяцій в умовах *in situ* доволі складно. Реалізувати завдання щодо отримання повноцінних життєздатних колекцій рослин *ex situ* видів *G. lutea*, *G. punctata*, *G. acaulis* теж не завжди вдається, оскільки еколого-географічні умови ботанічних садів не завжди відповідають природним потребам видів у термо- та омброрежимах, хімічному складі ґрунту, інтенсивності сонячної інсоляції тощо. Це потребує переосмислення традиційних підходів до збереження генофонду цих рідкісних високогірних видів роду *Gentiana* та розроблення нових стратегій їх відновлення.

1. Белокурова В. Б. Методи біотехнології в системі заходів зі збереження біорізноманіття рослин. *Цитология и генетика*. 2010. № 3. С. 58–72.
2. Борейко В. Е., Галущенко С. В., Парникоза И. Ю. Территории строгого природоохранного режима (категории I-a, I-b МСОП/УСН). Международный и европейский опыт. Київ : Логос, 2018. 112 с.
3. Буняк В., Маховська Л., Неспляк О. Інтродукція карпатських ендеміків та реліктів в дендропарку «Дружба». *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Інтродукція та збереження рослинного різноманіття»*. 2009. С. 22–24.
4. Грицак Л. Р., Дробик Н. М. Розробка технології збереження високогірних видів роду *Gentiana* L. із використанням стратегії «Quasi» *in situ* та методів біотехнології. *Екологічні науки*. 2019. № 25. С. 169–176.

5. Грицак Л. Р., Нужи́на Н. В., Дробик Н. М. Особливості пігментного комплексу високогірних видів роду *Gentiana* L. флори Українських Карпат. *Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. Вип. 75, № 1. С. 129–140.
6. Грицак Л. Р., Майорова О. Ю., Прокоп'як М. З., Дробик Н. М. Сучасні причини фрагментації ареалів високогірних видів роду *Gentiana* L. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2021. Т. 81, № 3. С. 25–33.
7. Гуданавичус С. И. Интродукция и акклиматизация растений в Каунасском ботаническом саду АН Литовской ССР. *Изучение и использование лекарственных растительных ресурсов СССР*. Ленинград : Медицина, 1964. С. 47–55.
8. Єфремова О. О., Павлюк Г. М., Мелешко І. Г. Інтродукція деяких видів з родини *Gentiana* в Умовах Львова. *Науковий вісник «Символ дерева у світовій культурі художній творчості»*. Львів : НЛТУ, 2006. Вип. 16.4. С. 213–217.
9. Зиман С. М., Дербак М. Ю. Поширення й еколого-фітоценотичні особливості рідкісних рослин гірської флори Українських Карпат як моделей для їх порівняльного вивчення *in situ* й *ex situ*. *Біологічні системи*. Т. 5. Вип. 2. 2013. С. 228–230. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchu_biol_2013_5_2_17 (дата звернення: 5.02.2017).
10. Катаева Т. Н., Прокопьев А. С. Биологические особенности представителей рода *Gentiana* (Gentianaceae) в условиях интродукции на юге Томской области. *Вестник Томского государственного университета. Серия «Биология»*. 2017. № 38. С. 45–67.
11. Кобів Ю. Й. Збереження оселищ рідкісних видів рослин. *Збереження біотичного різноманіття у високогір'ї Українських Карпат* / за ред. Й. В. Царика. Львів : Меркатор, 2009. С. 19–22.
12. Крысь З.-О. П. Эколого-биологические предпосылки охраны и обогащения запасов горечавки желтой (*Gentiana lutea* L.) в Украинских Карпатах : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. Київ, 1972. 28 с.
13. Кушинська М. Консортивна структура представників роду *Gentiana* L. у високогір'ї Українських Карпат. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2010. Вип. 52. С. 117–125.
14. Луніна Н. М. Досвід збереження рідкісних видів карпатської флори в умовах культури в Білорусі. *Міжнародні аспекти вивчення та охорони біорізноманіття Карпат* : тези міжнар. наук.-практ. конф., присвячена 550-річчю м. Рахова, 25–27 вересня 1997 р. Рахів, 1997. С. 119–120.
15. Москалюк Б. І. Введення в культуру *Gentiana lutea* L. в Українських Карпатах. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Біологія»*. 2009. Вип. 2. С. 113–116.
16. Москалюк Б. І. Інтродукція *Gentiana lutea* L. в Українських Карпатах. *Інтродукція рослин*. 2013. № 1. С. 22–26.
17. Москалюк Б. І. Сучасний стан популяцій високогірних видів роду *Gentiana* L. та наукові основи їх охорони в Українських Карпатах : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05. Київ, 2010. 20 с.
18. Москалюк Б.І. Збереження *Gentiana lutea* L. в природі з використанням культури *ex situ*. *Промышленная ботаника*. Донецк. 2013а. Вип. 13. С. 80–84.
19. Страшнюк Н. М., Грицак Л. Р., Леськова О. М., Мельник В. М. Введення в культуру *in vitro* деяких видів роду *Gentiana* L. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2004. Т. 36, № 4. С. 327–334.
20. Структура популяцій рідкісних видів флори Карпат / К. А Малиновський та ін. Київ : Наукова думка, 1998. 176 с.
21. Тирлич жовтий (*Gentiana lutea* L.) в Українських Карпатах / Бедей М. І., Крись О. П., Волощук М. І., Маханець І. А. Ужгород : ПП «Повч Р.М», 2010. 132 с.
22. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.

23. Cogoni D., Fenu G., Cuena-Lombrana A., Fois M., Porceddu M., Bacchetta G. The reintroduction of Yellow gentian on Mount Genziana, CE Sardinia // *Global Reintroduction Perspectives: 2018. Case studies from around the globe* / eds. Pritpal S. S. Publisher : IUCN/SSC Reintroduction Specialist Group & Environment Agency-Abu Dhabi, 2018. P. 282–285.
24. Cuena-Lombrana A., Mauro F., Fenu G., Cogoni D., Bacchetta G. The impact of climatic variations on the reproductive success of *Gentiana lutea* L. in a Mediterranean mountain area. *International Journal of Biometeorology*. 2018. Vol. 62, № 7. P. 1283–1295. doi: 10.1007/s00484-018-1533-3.
25. Galambosi B., Galambosi Z. S. Seedling Quality and Seed Yield of *Gentiana lutea* L. *Acta Horticulturae* 860. 2010. Article ID: 860_38. P. 255–258. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.860.38.
26. Heywood V.H. Conserving plants within and beyond protected areas – still problematic and future uncertain. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 36–49.
27. Monks L., Barrett S., Beecham B., Byrne M., Chant A., Coates D., Cochrane J. A., Crawford A., Dillon R., Yates C. Recovery of threatened plant species and their habitats in the biodiversity hotspot of the Southwest Australian Floristic Region. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 59–74.
28. Volis S. Conservation-oriented restoration – a two for one method to restore both threatened species and their habitats. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 50–58.
29. Volis S., Blecher M. Quasi *in situ*: A bridge between *ex situ* and *in situ* conservation of plants. *Biodiversity and Conservation*. 2010. Vol. 19, Issue 9. P. 2441–2454.

References

1. Belokurova V. B. Metody biotekhnologii v systemi zakhodiv zi zberezhennia bioriznomanittia roslin. *Tsytolohyia y henetyka*. 2010. No 3. S. 58–72 [in Ukrainian].
2. Boreyko V. E., Galushchenko S. V., Parnikoza I. Iu. Territorii strogogo prirodookhrannogo rezhima (kategorii I-a, I-b MSOP/IUCN). *Mezhdunarodnyy i evropeyskiy opyt*. Kyiv: Logos, 2018. 112 s. [in Ukrainian].
3. Buniak V., Makhovska L., Nespliak O. Introduktsiia karpatskykh endemikiv ta relikтив v dendroparku «Druzhba». *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriiia «Introduktsiia ta zberezhennia roslynnoho riznomanittia»*. 2009. S. 22–24. [in Ukrainian].
4. Hrytsak L. R., Drobyk N. M. Rozrobka tekhnologii zberezhennia vysokohirnykh vydiv rodu *Gentiana* L. iz vykorystanniam stratehii «Quasi» in situ ta metodiv biotekhnologii. *Ekolohichni nauky*. 2019. No 25. S. 169–176. [in Ukrainian].
5. Hrytsak L. R., Nuzhyna N. V., Drobyk N. M. Osoblyvosti pihmentnoho kompleksu vysokohirnykh vydiv rodu *Gentiana* L. flory Ukrainskykh Karpat. *Naukovi zapysky Ternopilskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: Biolohiia*. 2019. Vyp. 75, No 1. S. 129–140. [in Ukrainian].
6. Hrytsak L. R., Mayorova O. Yu., Prokopiak M. Z., Drobyk N. M. Suchasni prychny frahmentatsii arealiv vysokohirnykh vydiv rodu *Gentiana* L. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: Biolohiia*. 2021. T. 81, No 3. S. 25–33. [in Ukrainian].
7. Hudanavychus S. Y. Yntroduktsiia y akklymatyzatsiia rastenyu v Kaunasskom botanycheskom sadu AN Lytovskoy SSR : sb. Yzuchenye y yspolzovanye lekarstvennykh rastytelnykh resursov SSSR. Leningrad : Medytsyna, 1964. S. 47–55. [in Russian]
8. Iefremova O. O., Pavliuk H. M., Meleshko I. H. Introduktsiia deiakykh vydiv z rodyny *Gentiana* v Umovakh Lvova. *Naukovyy visnyk «Symvol dereva u svitoviy kulturi khudozhniy tvorchosti»*. Lviv : NLTU, 2006. Vyp. 16.4. S. 213–217. [in Ukrainian].
9. Zyman S. M., Derbak M. Yu. Poshyrennia y ekoloho-fitotsenotychni osoblyvosti ridkisnykh roslin hirskei flory Ukrainskykh Karpat iak modeley dlia ikh porivnialnoho vyvchennia in situ y ex situ. *Biolohichni systemy*. T. 5. Vyp 2. 2013. S. 228–230. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchu_biol_2013_5_2_17 (data zvernennia: 5.02.2017). [in Ukrainian].
10. Kataeva T. N., Prokopev A. S. Biologicheskie osobennosti predstaviteley roda *Gentiana* (Gentianaceae) v usloviiakh introduktsii na iuge Tomskoy oblasti. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriiia «Biologiia»*. 2017. No 38. S. 45–67. [in Russian]
11. Kobiv Yu. Y. Zberezhennia oselyshch ridkisnykh vydiv roslin. Zberezhennia biotychnoho riznomanittia u vysokohiri Ukrainskykh Karpat / za red. Y. V. Tsaryka. Lviv : Merkator, 2009. S. 19–22. [in Ukrainian]

12. Kryś Z.-O. P. Ekologo-biologicheskie predposylki okhrany i obogashcheniia zapasov gorechavki zheltoy (*Gentiana lutea* L.) v Ukrainiskikh Karpatakh : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.05. Kyiv, 1972. 28 s. [in Russian]
13. Kushynska M. Konsortyvna struktura predstavnykiv rodu *Gentiana* L. u vysokohiri Ukrainykh Karpat. *Visnyk Lvivskoho univnrsytetu. Serii biologichna*. 2010. Vyp. 52. S. 117–125. [in Ukrainian]
14. Lunina N. M. Dosvid zberezhennia ridkisnykh vydiv karpatskoi flory v umovakh kultury v Bilorusi. Mizhnarodni aspekty vyvchennia ta okhorony bioriznomanittia Karpat : tezy mizhnar. nauk.-prakt. konf., prysviachena 550-richchiu m. Rakhova, m. Rakhiv, 25–27 veresnia 1997 r. Rakhiv, 1997. S. 119–120. [in Ukrainian]
15. Moskaliuk B. I. Vvedennia v kul'turu *Gentiana lutea* L. v Ukrainykh Karpatakh. *Naukovyy visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii «Biologhiia»*. 2009. Vyp. 2. S. 113–116. [in Ukrainian]
16. Moskaliuk B. I. Introduktsiia *Gentiana lutea* L. v Ukrainykh Karpatakh. *Introduktsiia roslyn*. 2013b. No 1. S. 22–26. [in Ukrainian]
17. Moskaliuk B. I. Suchasnyy stan populatsiy vysokohirnykh vydiv rodu *Gentiana* L. ta naukovi osnovy ikh okhorony v Ukrainykh Karpatakh : avtoref. dys. ... kand. biol. nauk : 03.00.05. Kyiv, 2010. 20 s. [in Ukrainian].
18. Moskaliuk B. I. Zberezhennia *Gentiana lutea* L. v pryrodzi z vykorystanniam kultury ex situ / Promyshlennaia botanyka. Sbornyk nauchnykh trudov. Donetsk: Donetskyi botanycheskyi sad NAN Ukrainy. 2013a. Vyp. 13. S. 80–84. [in Ukrainian]
19. Strashniuk N. M., Hrytsak L. R., Les'kova O. M., Melnyk V. M. Vvedennia v kulturu in vitro deiakykh vydiv rodu *Gentiana* L. *Fiziologhiia i biokhimiia kulturnykh roslyn*. 2004. T. 36, No 4. C. 327–334. [in Ukrainian]
20. Struktura populatsiy ridkisnykh vydiv flory Karpat / K. A. Malynovskyy ta in. Kyiv : Naukova dumka, 1998. 176 s. [in Ukrainian]
21. Tyrlych zhovtyy (*Gentiana lutea* L.) v Ukrainykh Karpatakh / Bedey M. I., Kryś O. P., Voloshchuk M. I., Makhanets I. A. Uzhhorod : PP «Povch R.M», 2010. 132 s. [in Ukrainian]
22. Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyy svit / za red. Ya. P. Didukha. Kyiv : Hlobalkonsal'tynh, 2009. 900 s. [in Ukrainian]
23. Cogoni D., Fenu G., Cuenalombraña A., Fois M., Porceddu M., Bacchetta G. The reintroduction of Yellow gentian on Mount Genziana, CE Sardinia // Global Reintroduction Perspectives: 2018. Case studies from around the globe / eds. Pritpal S. S. Publisher : IUCN/SSC Reintroduction Specialist Group & Environment Agency-Abu Dhabi, 2018. P. 282–285.
24. Cuenalombraña A., Mauro F., Fenu G., Cogoni D., Bacchetta G. The impact of climatic variations on the reproductive success of *Gentiana lutea* L. in a Mediterranean mountain area. *International Journal of Biometeorology*. 2018. Vol. 62, № 7. P. 1283–1295. doi: 10.1007/s00484-018-1533-3.
25. Galambosi B., Galambosi Z. S. Seedling Quality and Seed Yield of *Gentiana lutea* L. *Acta Horticulturae* 860. 2010. Article ID: 860_38. P. 255–258. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.860.38.
26. Heywood V.H. Conserving plants within and beyond protected areas – still problematic and future uncertain. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 36–49.
27. Monks L., Barrett S., Beecham B., Byrne M., Chant A., Coates D., Cochrane J. A., Crawford A., Dillon R., Yates C. Recovery of threatened plant species and their habitats in the biodiversity hotspot of the Southwest Australian Floristic Region. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 59–74.
28. Volis S. Conservation-oriented restoration – a two for one method to restore both threatened species and their habitats. *Plant Diversity*. 2019. Vol. 41. P. 50–58.
29. Volis S., Blecher M. Quasi *in situ*: A bridge between *ex situ* and *in situ* conservation of plants. *Biodiversity and Conservation*. 2010. Vol. 19, Issue 9. P. 2441–2454.

L. R. Hrytsak, M. Z. Prokopiak, O. Yu. Mayorova, N. M. Drobyk

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

EVALUATION OF EFFICIENCY OF IN SITU AND EX SITU TECHNOLOGIES FOR CONSERVATION OF GENTIANA L. SPECIES

The efficiency of using *in situ* and *ex situ* technologies for conserving the gene pool of rare highland *Gentiana* L species (*Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L.) has been studied.

The introduction of the conservation regime does not fully provide the stabilization of specimens in the populations of the given species as well as the restoration of their natural habitat.

This is caused by a number of factors: long pastoral load, recreation, plant gathering (picking and digging up); the recent strengthening of the reserve-generating successions because of highland livestock farming husbandry decay; transformation of miscellaneous-cereal groups into firm bunchgrass secondary cenoses; increased projective shrubs coverage of *Duschekia viridis* (Chaix) DC, *Juniperus sibirica* Bugsd and *Pinus mugo* Turra in highland groups; climatogenic changes causing thermal regime change and shifting of plant zones to higher hypsometric levels.

Viability and reproduction of *Gentiana* species in *ex situ* collections depend on thermal and ombro-regimes, chemical composition of soil, intensity of solar insolation and light spectral composition to meet the natural needs of the species. If the mentioned factors are inappropriate for the ecological and physiological needs of the species, it is difficult to get viable collections of plants *ex situ*.

Using in repatriate projects the planting material obtained in *ex situ* conditions different from natural habitats of the species causes 50 % loss of the specimens in the first years of their vegetation.

Keywords: *Gentiana lutea* L., *Gentiana punctata* L., *Gentiana acaulis* L., *preservation in situ*, *technologies ex situ*.

Надійшла 22.09.2021.

БІОХІМІЯ

УДК 597.551.2:632.95

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.5

О. І. БОДНАР, І. ХАТІБ, О. І. ГОРИН, О. В. СОРОКА, Х. І. НІМКО, І. В. ЧЕРНІК,
Г. Б. КОВАЛЬСЬКА, Г. І. ФАЛЬФУШИНСЬКА

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: bodnar@tnpu.edu.ua

ПРОЯВИ ОКИСНОГО СТРЕСУ ТА МЕТАБОЛІЧНИХ ПОРУШЕНЬ У *DANIO RERIO* ЗА ДІЇ ФОСФООРГАНІЧНИХ ПЕСТИЦИДІВ

Метою даної роботи було вивчення впливу раундапу та малатіону в екологічно релевантних та субтоксичних концентраціях на метаболічні процеси в коропової риби *Danio rerio*. Доведено, що раундап викликав активацію каталази, протеїнфосфатази та каспази 3, тоді як малатіон – лише каспази 3. Водночас, досліджувані органофосфатні пестициди викликали порівняно з контролем помітне зниження глутатіонтрансферази та сукцинатдегідрогенази, особливо за дії малатіону. Також, за впливу малатіону було відзначено зниження активності протеїнфосфатази і каталази. Субтоксична концентрація раундапу зумовлювала активацію глутатіонредуктази, а екологічно реальна концентрація малатіону – її пригнічення. За сумою показників, малатіон викликав більш помітні токсичні прояви у данію, ніж раундап. Відтак, органофосфатні пестициди несуть суттєві ризики токсичного впливу на риб як нецільових організмів, що важливо враховувати при виборі агротехнічного догляду за врожаєм та потенційною небезпекою щодо навколишнього середовища.

Ключові слова: органофосфатні пестициди, ензими, токсичність, *Danio rerio*.

Сукупність сучасних антропогенних чинників навколишнього середовища обумовлює суттєве зменшення біорізноманіття водних організмів та деградації водних екосистем. Серед цих чинників чільне місце займає інтенсифікація сільського господарства, включаючи застосування добрив та пестицидів. Власне, пестициди та продукти їх біодеградації є тією рушійною силою, яка здатна змінювати не лише цільові об'єкти, а й супутньо впливати на нецільові компоненти біоценозів, гідроекосистем та біосфери загалом [6, 9]. Зазначимо, що важливою умовою застосування пестицидів є їхня безпека, ефективність та селективна дія проти певних організмів-шкідників, без токсичного впливу щодо інших видів. Водночас, при порушенні регламенту зберігання, використання та дозування більшість пестицидів втрачають свою вибірковість, стають токсичними і завдають істотної шкоди навколишньому середовищу, забруднюючи ґрунт та поверхневі води, руйнуючи трофічні ланцюги екосистем, що в результаті несе загрозу і небезпеку для багатьох інших нецільових організмів та людини, яка є кінцевим споживачем [11, 12, 15].

Відтак, вплив пестицидів на гідробіонтів розглядається з особливою увагою як нецільових організмів, позаяк вони є одними з найважливіших ланок світової трофічної піраміди та визначають первинну продукційність біосфери. Окрім цього, водні організми забезпечують підтримку гомеостазу та енантіостазу гідроекосистем та становлять значний комерційний інтерес у господарській діяльності людини [2, 9].

Варто зауважити, що Україна входить до двадцятки країн світу з найбільшим використанням пестицидів [4, 15]. Тому виникає потреба в систематичних дослідженнях та аналізі впливу цих хімічних сполук та продуктів їх біотрансформації на процеси життєдіяльності гідробіонтів, що дозволить розширити та оптимізувати методи збереження біорізноманіття й підтримання продуктивності водних систем на належному рівні [3, 4, 26].

Зазначимо, що аналіз наукових досліджень пестицидів різних класів і токсичності з використанням коропової рибки *D. rerio* як лабораторного об'єкту показав, що ці сполуки викликають широкий спектр біологічних ефектів у смугастого данію. За дії пестицидів у водному середовищі відбувається зміна енергетичного метаболізму, генерація окисного стресу, нейромоторні та ендокринні розлади, порушення ембріогенезу та ранніх стадій онтогенезу, активно розвиваються апоптичні процеси у тканинах тощо [12, 16, 22].

З огляду на зазначене, метою роботи було вивчення впливу раундапу та малатіону як широкоживаних органофосфатних пестицидів, в екологічно релевантних та субтоксичних концентраціях на метаболічні процеси коропової рибки *Danio rerio*.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводились на дорослих особинах данію (*Danio rerio*), родина Коропових, які були отримані від комерційного об'єднання «Зоосвіт». Тварин аклімували до лабораторних умов протягом 7 діб. Експериментальні умови створювали у басейнах об'ємом 10 л з кількістю риб з розрахунку 1 особина на 2 л води згідно загальноприйнятої схеми токсикологічного експерименту. Вміст кисню у воді підтримували на рівні 7,0–8,0 мг/л, вуглекислого газу – 2,2–2,8 мг/л, рН – 7,6–8,0. Воду відстоювали і змінювали через кожні дві доби, поновлюючи в експериментальних групах вміст досліджуваної сполуки у воді. Температура води становила $18 \pm 0,5$ °C. Тварин годували подрібненим комерційним кормом Акваріус (Україна).

Для виконання поставлених завдань було сформовано п'ять груп тварин. Перша група – тварини контрольної групи, які утримувалися за вище зазначених умов. Трьом іншим групам у воду додавали раундап у концентраціях 10 мкг/дм³ (RL) і 400 мкг/дм³ (RH) та малатіон – у концентраціях 6 мкг/дм³ (ML) і 60 мкг/дм³ (MH). Концентрації чинників відповідали діапазону їх концентрацій у поверхневих водах або місцях скиду побутових стоків із полів [2, 9, 11, 15, 27]. Інкубація тварин тривала 14 діб. Експерименти на тваринах проводились у відповідності до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та наукових цілей (Страсбург, 1986), ухвали Першого національного конгресу з біоетики (Київ, 2000) та рішення етичної комісії Тернопільського національного педагогічного університету (Протокол № 2, 2020). Тварин умертвляли під етерним наркозом. Процедури з відбору і обробки тканини проводили на холоді. Усі реактиви були від фірми ТОВ «НВФ «Сінбіас»»(Китай) і мали кваліфікацію «хч».

Методи визначення біомаркерів у тканинах данію детально описані у Polymethoxy-1-alkenes screening of *Chlorella* and *Spirulina* food supplements coupled with in vivo toxicity studies [14]. Активність глутатіонтрансферази (GST) [КФ 2.5.1.18] визначали спектрофотометрично за утворенням адуктів 1-хлоро-2,4-динітробензену з глутатіоном із використанням мілімолярного коефіцієнту екстинкції забарвленого комплексу $\epsilon_{340} = 9.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ [13]. Активність протеїн тирозинової фосфатази (PP) [КФ 3.1.3.48] визначали спектрофотометрично з використанням п-нітрофенолфосфату [18]. Визначення активності сукцинатдегідрогенази (SDH) [КФ 1.3.5.1] проводили фероціанідним методом, який базується на швидкості окислення сукцинату до фумарату фероціанідом калію після добавляння сукцинату [8]. Активність каталази (CAT) [КФ 1.11.1.6] визначали в супернатанті гомогенату тканин печінки (1:10 вага: об'єм) за зменшенням у суспензії вмісту перекису водню за довжини хвилі 240 нм [1]. Активність глутатіонредуктази (GR) [КФ 1.8.1.7] виміряли за швидкістю окислення НАДФН за 340 нм [14]. Активність каспази-3 (Casp3) [КФ 3.4.22.56], яка активує апоптичні процеси в клітині, аналізували за кількістю вивільненого p-нітроаніліну (pNA) в реакційній суміші при 405 нм [5, 10].

Аналіз отриманих біологічних показників здійснювали з допомогою комп'ютерних програм Statistica v 12.0 та Excel для Windows-2016.

Результати досліджень та їх обговорення

Експозиція *Danio rerio* в присутності малатіону та раундапу обумовила суттєвий вплив на метаболічний статус риб. Аналіз отриманих результатів засвідчив, що в даніо за присутності екологічно реальних концентрацій раундапу і малатіону відбувалося загальне пригнічення антиоксидантного статусу організму на тлі інгібування енергетичних процесів (рис. 1–4). При цьому малатіон викликав помітніші зміни, ніж раундап, і ці зміни стосувалися переважно зниження активності досліджуваних езимів. Зокрема, за дії малатіону щодо контролю було відмічене зменшення активності сукцинатдегідрогенази майже на 80 %, глутатіонтрансферази – на 70 %, глутатіонредуктази – на 35 % відповідно.

Окрім цього, за дії раундапу в обох концентраціях виявлено, що глутатіонтрансферазна активність у печінці риб знизилася майже на 40 %, тоді як лише за дії вищої концентрації цього пестициду мало місце інгібування сукцинатдегідрогенази (на 21 % порівняно з контрольним показником). Нижча концентрація раундапу (10 мкг/дм³) практично не викликала істотних змін активності SDH і GR, що, очевидно, свідчить про вищу стресостійкість окремих ланок метаболізму в *Danio rerio* за певних умов навколишнього середовища [23, 25, 28].

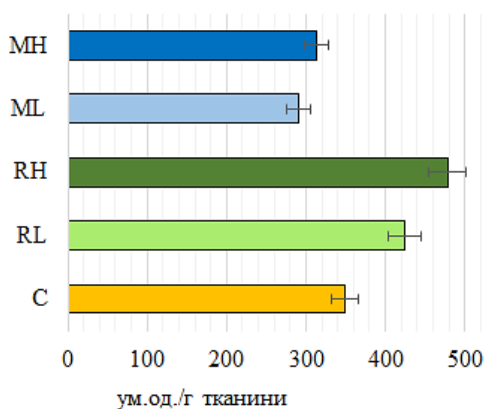


Рис. 1. Активність каталази в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

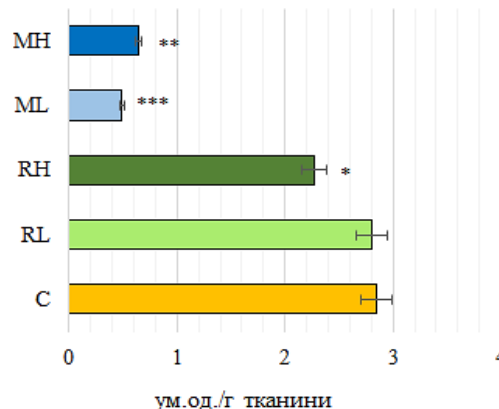


Рис. 2. Активність сукцинатдегідрогенази в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

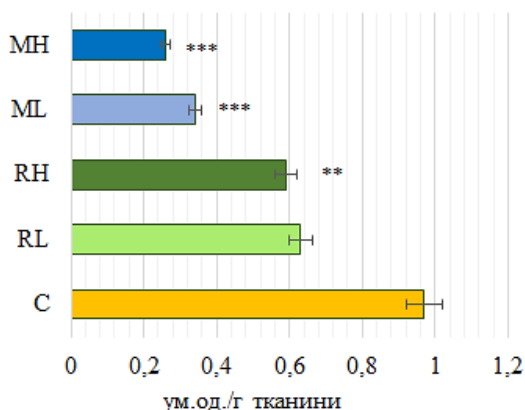


Рис. 3. Активність глутатіонтрансферази в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

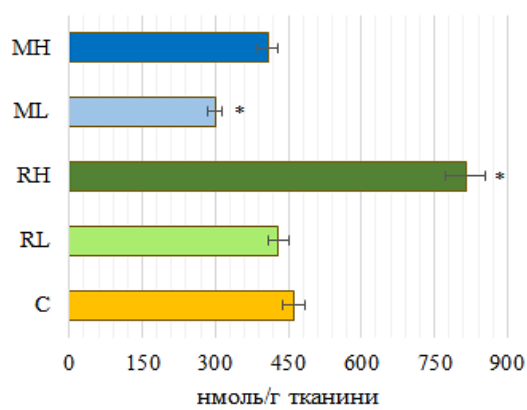


Рис. 4. Активність глутатіонредуктази в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

Водночас, раундап, особливо за дії вищої концентрації, викликав у данію збільшення активності каталази (на 37 %) та глутатіонредуктази (на 77 %), порівняно з контрольною групою, що, можливо, є захисним механізмом *D. rerio* для запобігання розвитку апоптичних процесів, про які свідчить активація каспази та протеїнфосфатази (рис. 5 та 6). Очевидно, збільшення активності каталази можна прийняти як захисну реакцію на вплив субхронічних концентрацій пестицидів, яка зникає при зростанні забруднення. Однак, незважаючи на паралельне зниження активності ферментів енергетичного забезпечення та антиоксидантного статусу за дії малатіону, зниження протеїнфосфатази за цих умов не спостерігалось, що є одним із показників стабільності протеїнового пулу в організмі риби (рис. 5).

Активність каспази-3 як ключового ферменту апоптозу зростала у більшості досліджуваних груп тварин, за виключенням ML-групи (рис. 6).

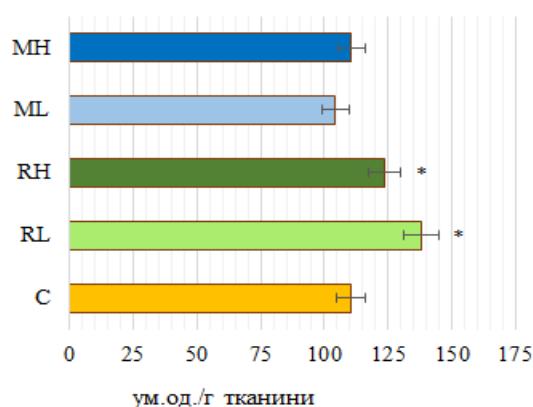


Рис. 5. Активність протеїнфосфатази в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

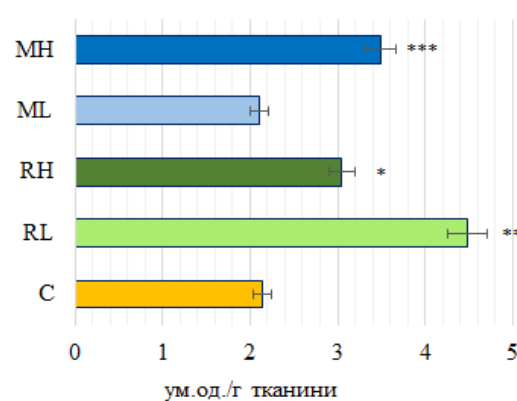


Рис. 6. Активність каспази-3 в *D. rerio* за дії низьких і високих концентрацій раундапу і малатіону.

Варто зазначити, що автори більшості наукових робіт підкреслюють роль пестицидів в активації окисного стресу для організмів різної екологічної ролі і систематичного положення [7, 17, 20, 21, 24, 26], що узгоджується із отриманими нами даними. Зокрема, гліфосат викликав зниження експресії генів супероксиддисмутази 2 (*sod2*), глутатіон S-трансферази (*gstπ*) та глутатіонпероксидази (*grx*) узгоджено із пригніченням їх активності в смугастого данію [29]. Також, гліфосат викликав збільшення активності каталази та зменшення глутатіонтрансферази в риби *Anabas testudineus* та *Heteropneustes fossilis*, що одночасно супроводжувалося зниженням кількості загального протеїну [14, 17]. Подібні зміни були відзначені і в коропа за дії малатіону (Yonag та ін.). Більше того, окисний стрес супроводжувався змінами протеїнового складу крові та активності ферментів протеїнового метаболізму [19]. Не менш небезпечним за даними авторів [27] є продукт розпаду гліфосату – амінометилфосфонову кислоту (АМФК), яка на рівні з основною речовиною провокує у водних організмів порушення росту і раннього розвитку, окисний стрес, інгібування антиоксидантних ферментів, гематологічні та гістопатологічні зміни. Тому недотримання регламенту використання пестицидів на основі гліфосату може мати синергичний ефект дії [3, 27].

Варто зазначити, що при дослідженні пестициду токсафену на *Danio rerio* було відмічене суттєве зниження процесів окисного фосфорилування, підвищення експресії генів протеїнів теплового шоку та часткові зміни в рівнях експресії каспази 3 і 9, які характеризувалися концентраційно-часовою залежністю [23], що теж відповідає отриманому нами результату – зниження активності сукцинатдегідрогенази, яка об'єднує у клітині ключовий енергетичний цикл Кребса та електронно-транспортний ланцюг і забезпечує належне енергоутворення у клітині. Бо ефективне функціонування енергетичних систем є важливим критерієм успішного формування адаптаційних стратегій організмів за дії токсичних чинників навколишнього середовища.

Таким чином, наші дослідження підкреслюють важливість систематичного вивчення впливу пестицидів різних класів на водні організми для отримання ефективних та неспецифічних біомаркерів токсичної дії щодо проявів окисних процесів, зміни активності ензимів антиоксидантного захисту, енергетичного метаболізму та апоптозу, що дозволить більш точно прогнозувати оцінки стану стабільності і виживаності популяцій риб та екосистеми загалом.

Висновки

Отже, дія екологічно реальних концентрацій раундапу та малатіону викликала в смугастого данію пригнічення системи антиоксидантного захисту, узгоджено з підвищенням активності протейнфосфатази та каспази-3. Вплив пестицидів, особливо малатіону, обумовив інгібування сукцинатдегідрогенази – спільного ензиму циклу Кребса та електронно-транспортного ланцюга, що в результаті негативно впливатиме на енергетичний баланс клітин. За сумою показників малатіон є більш токсичним для *D. rerio*, ніж раундап. Отримані показники важливо враховувати при доборі агротехнічного догляду за врожаєм та можливим ризиком на довкілля.

Подяка

Робота виконана за підтримки Національного фонду досліджень України (№ 2020.02/0270) та Міністерства освіти і науки (№ МВ-2).

1. Aebi H. Catalase. In: *Methods of Enzymatic Analysis*. 1974. P. 673–680.
2. Albuquerque A. F., Ribeiro J. S., Kummrow F., Nogueira A. J., Montagner C. C., Umbuzeiro G. A. Pesticides in Brazilian freshwaters: a critical review. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2016. Vol. 18, Is. 7. P. 779–787.
3. Bilal M., Iqbal H., Barcelo D. Persistence of pesticides-based contaminants in the environment and their effective degradation using laccase-assisted biocatalytic systems. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 695, Is. 10: 133896.
4. Bodnar O., Horyn O., Khatib I., Falfushynska H. Multibiomarker assessment in zebrafish *Danio rerio* after the effects of malathion and chlorpyrifos. *Toxicology and Environmental Health Sciences*. 2021. Vol. 13. P. 165–174.
5. Bonomini M., Dottori S., Amoroso L., Arduini A., Sirolli V. Increased platelet phosphatidylserine exposure and caspase activation in chronic uremia. *J. Thromb. Haemost.* 2004. Vol. 2. P. 1275–1281.
6. Casida J. E., Durkin K. A. Chemical research in toxicology: lessons from nature. *Chem. Res. Toxicol.* 2017. Vol. 30, Is. 1. P. 94–104.
7. Cortys-Iza C. S., Rodriguez A. I.1 Oxidative stress and pesticide disease: a challenge for toxicology. *Revista de la Facultad de Medicina*. 2018. Vol. 66, Is. 2. P. 261–267.
8. Dua R., Gill K. D. Effect of aluminium phosphide exposure on kinetic properties of cytochrome oxidase and mitochondrial energy metabolism in rat brain. *Biochim Biophys Acta*. 2004. Vol. 1647, Is. 1. P. 4–11.
9. Fadaei A., Dehghani M. H., Nasserli S., Mahvi A. H., Rastkari N., Shayeghi M. Organophosphorous pesticides in surface water of Iran. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2012. Vol. 88, Is. 6. P. 867–869.
10. Falfushynska H. I., Gnatyshyna L. L., Stoliar O. B. Population-related molecular responses on the effect of pesticides in *Carassius auratus gibelio*. *Comparat. Biochem. Physiol. C. Toxicol Pharmacol.* 2012. Vol. 155, Is. 2. P. 396–406.
11. Glyphosate herbicide found in many midwestern streams, antibiotics not common [Electronic resource] URL: <https://toxics.usgs.gov/highlights/glyphosate02.html> (дата звернення: жовтень 2021).
12. Goncalves I. F., Souza T. M., Vieira L. R., et al. Toxicity testing of pesticides in zebrafish-a systematic review on chemicals and associated toxicological endpoints. *Environ Sci Pollut.* 2020. Vol. 27, Is. 10. P. 10185–10204.
13. Habig W. H., Pabst M. J., Jakoby W. B. Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 1974. Vol. 249, Is. 22. P. 7130–7139.
14. Henaio E., Murphy P. J., Falfushynska H., Horyn O., Evans D. M., Klimaszuk P., Rzymiski P. Polymethoxy-1-alkenes screening of *Chlorella* and *Spirulina* food supplements coupled with in vivo toxicity studies. *Toxins*. 2020. Vol. 12, Is. 2. P. 111–123.
15. Kumar S. P., Joshiba J. Pesticides pollution and analysis in water. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2020. Vol. 48. P. 337–349.
16. Lanzarin G., Venancio C., Felix M. L., Monteiro S. Inflammatory, oxidative stress, and apoptosis effects in zebrafish larvae after rapid exposure to a commercial glyphosate formulation. *Biomedicines*. 2021. Vol. 9, Is. 12: 1784.

17. Ma J., Zhu J., Wang W., Ruan P., Rajeshkumar S., Li X. Biochemical and molecular impacts of glyphosate-based herbicide on the gills of common carp. *Environ Pollut.* 2019. Vol. 252 (Pt B). P. 1288–1300.
18. McAvoy T., Nairn A. C. Serine/threonine protein phosphatase assays. *Protoc. Mol. Biol.* 2010. Vol. 18. P. 8–17.
19. Mise S., Sener M., Silici S., Enis M. Malathion-induced changes in the haematological profile, the immune response, and the oxidative/antioxidant status of *Cyprinus carpio*: protective role of propolis. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2014. Vol. 102. P. 202–209.
20. Ndonwi E., Atogho-Tiedeu B., Lontchi-Yimagou E. et al. Gestational exposure to pesticides induces oxidative stress and lipid peroxidation in offspring that persist at adult age in an animal model. *Toxicological Research.* 2019. Vol. 35. P. 241–248.
21. Palma-Onetto V., Oliva D., González-Teuber M. Lethal and oxidative stress side effects of organic and synthetic pesticides on the insect scale predator *Rhyzobius lophanthae*. *Entomologia Generalis.* 2021. Vol. 41, Is. 4. P. 345–355.
22. Panetto O. S., Gomes H. F., Fraga Gomes D. S., et al. The effects of Roundup® in embryo development and energy metabolism of the zebrafish (*Danio rerio*). *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2019. Vol. 222. P. 74–81.
23. Perez-Rodriguez V., Wu N., Cova A., Schmidt J., Denslow D., Martyniuk C. The organochlorine pesticide toxaphene reduces non-mitochondrial respiration and induces heat shock protein 70 expression in early-staged zebrafish (*Danio rerio*). *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.* 2020. Vol. 228: 108669.
24. Reddy P. B. Evaluation of malathion induced oxidative stress in *Tilapia mossambica*. *Trends in Fisheries Research.* 2017. Vol. 6, Is. 3. P. 19–25.
25. Samanta P., Pal S., Mukherjee A. K., Ghosh A. R. Biochemical effects of glyphosate based herbicide, Excel Mera 71 on enzyme activities of acetylcholinesterase (AChE), lipid peroxidation (LPO), catalase (CAT), glutathione-S-transferase (GST) and protein content on teleostean fishes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2014. Vol. 107. P. 120–125.
26. Slaninova A., Smutna M., Modra H., Svobodova Z. Oxidative stress in fish induced by pesticides. *Neuroendocrinology Letters.* 2009. Vol. 30, Is. 1. P. 2–12.
27. Tresnakova N., Stara A., Velisek J. Effects of glyphosate and its metabolite AMPA on aquatic organisms. *Applied Sciences.* 2021. Vol. 11, Is. 19. 9004.
28. Uren Webster T. M., Laing L. V., Florance H., Santos E. M. Effects of glyphosate and its formulation, roundup, on reproduction in zebrafish (*Danio rerio*). *Environ Sci Technol.* 2014. Vol. 48, Is. 2. P. 1271–1279.
29. Velasques R. R., Sandrini J. Z., da Rosa C.E. Roundup(®) in Zebrafish: effects on oxidative status and gene expression. *Zebrafish.* 2016. Vol. 13, Is. 5. P. 432–441.

O. I. Bodnar, I. Khatib, O. I. Goryn, O. V. Soroka, Kh. I. Nimko, I. V. Chernik, G. B Kovalska, H. I. Falfushynska

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

OXIDATIVE STRESS AND METABOLIC DISORDERS IN *DANIO RERIO* FOR THE ACTION OF PHOSPHOORGANIC PESTICIDES

The aim of this study was to analyze the effects of roundup and malathion in environmentally relevant and subtoxic concentrations on the metabolic processes of zebrafish *Danio rerio*. Pesticide toxicity was assessed by changes in the activity of enzymes catalase, succinate dehydrogenase, glutathione transferase, glutathione reductase, protein phosphatase and caspase 3.

Roundup has been shown to activate catalase, protein phosphatase, and caspase-3, whereas malathion induces caspase 3 only. At the same time, the studied organophosphate pesticides caused a significant decrease in glutathione transferase and succinate dehydrogenase compared to the control, especially under the action of malathion. Moreover, under the influence of malathion there was a decrease in the activity of protein phosphatase and catalase. As for glutathione reductase, the subtoxic concentration of roundup caused its activation, and the ecologically real concentration of malathion caused its inhibition. In sum, malathion caused more noticeable toxic effects in zebrafish than roundup.

Therefore, organophosphate pesticides carry significant risks of toxic effects on fish as non-target organisms, which is important to consider when choosing agronomic maintenance options for the harvest and the potential danger to the environment.

Keywords: phosphoorganic pesticides, toxicity, enzymes, zebrafish.

Надійшла 12.10.2021.

ЕКОЛОГІЯ

УДК 37.033:378:614.23/25

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.6

Л. Я. ФЕДОНЮК, О. І. СКИБА, Я. О. БЛИК, Н. Б. ГЛИВКА

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського МОЗ України
майдан Волі, 1, Тернопіль, 46001
e-mail: university@tdmu.edu.ua

ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СВІДОМОСТІ ШЛЯХОМ БАГАТОСТУПЕНЕВОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ

Висвітлено шляхи виховання екологічного мислення у студентів-медиків та молоді за допомогою реалізації проєкту «Чотири стихії природи – життя в гармонії буття», розробленого працівниками кафедри медичної біології Тернопільського національного медичного університету ім. І. Я. Горбачевського МОЗ України спільно з Жешувським Університетом (Польща). Вивчено та проаналізовано ефективність формування особистісних та професійних якостей студента, необхідних знань, умінь та навичок раціонально думати та протистояти екологічним викликам сьогодення, спроможність активно відстоювати свої екологічні погляди та доносити екологічні знання молодшим поколінням (дітям, школярам, студентам).

У статті представлено різноманітні інтерактивні методи та форми навчання студентів, які доцільно використовувати в процесі формування та виховання екологічного мислення. Показано отриманий досвід з реалізації певних етапів проєкту, а саме: застосування методу «навчаючи-вчуся», метод анкетування, здобутки наукової роботи та волонтерської роботи студентів.

Встановлено, що практична реалізація завдань і мети екологічної освіти в навчальних закладах ґрунтується на: засадах взаємозв'язку теоретичних знань із практичною діяльністю молоді у цій сфері; включенні екологічних аспектів у структуру предметних, спеціальних узагальнюючих тем; використанні інтерактивних та проблемних методів навчання; поєднанні аудиторної і позааудиторної природоохоронної роботи.

Ключові слова: екологічне мислення, екологічне виховання, діти, молодь, студенти, стихії природи, земля, вода, повітря, вогонь.

Важливим аспектом у вирішенні проблеми збереження природних ресурсів є освіта людей в галузі навколишнього середовища, формування екологічної свідомості та культури усього населення, а особливо молоді. Проблема екології виростає в проблему стихійного впливу людей на природу, у свідому, цілеспрямовану, планомірну взаємодію з нею. Така взаємодія може бути здійснена при наявності активної позиції людини в природоохоронній діяльності, формування якої починається з раннього дитинства і продовжується все життя [2].

На сьогодні екологічне виховання молоді є великою проблемою, оскільки здебільшого молоді не хоче замислюватися над проблемами екології, природи та біосфери в цілому. Сучасна екологічна ситуація зараз знаходиться в стані катастрофи, і тому в першу чергу молоді потрібно направляти на збереження природи, природних ресурсів, екологічного стану Землі, виховати їх екологічно свідомими людьми. Високий рівень екологічної культури не

можливий без екологічної освіти, що має здійснюватись на основі інтеграції знань, на основі компетентності та безперервності освіти.

Люди пішли від розуміння Природи, від зв'язку з Землею, від гнучкості Води, від сили Вогню і від піднесеності Повітря. Землетруси, повені, зсуви, селеві потоки, бурі, урагани, снігові заноси, лісові пожежі лише протягом останніх 20 років забрали життя більше трьох мільйонів людей. За даними ООН, за цей період майже один мільярд жителів нашої планети зазнав збитків від стихійних лих. Серед надзвичайних ситуацій природного походження на Україні найчастіше трапляються: 1 – геологічні небезпечні явища (зсуви, обвали та осипи, просадки земної поверхні); 2 – метеорологічні небезпечні явища (зливи, урагани, сильні снігопади, сильний град, ожеледь); 3 – гідрологічні небезпечні явища (повені, паводки, підвищення рівня ґрунтових вод та ін.); 4 – природні пожежі лісових та хлібних масивів. Стихійні явища часто виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. В окремих випадках вони мають катастрофічний характер. Ми можемо продовжити наше життя в гармонії з Природою, з вдячністю і повагою до Землі, Води, Вогню і Повітря, зважаючи на те, що ми є її частиною.

На сьогодні необхідно, щоб екологічні ідеї, поняття, принципи проникали у всі сфери життя і навчання сучасного покоління дітей дошкільного, шкільного віку та студентської молоді.

Медики першими стикаються з негативним впливом екологічних проблем на здоров'я людини. Саме тому формування в дошкільнят, школярів і студентів високого рівня екологічної свідомості та культури є актуальним на сьогодні. Уміння студентів-медиків застосовувати знання з медичної екології при виконанні своїх професійних обов'язків є важливою умовою їх якісної професійної підготовки [4, 5]. Передача набутих знань та навичок від дорослих осіб до дітей сприятиме укоріненню екологічного мислення та закріплення його на різних рівнях свідомості людини.

Мета роботи. Вивчення та аналіз ефективності формування особистісних та професійних якостей студента, необхідних знань, умінь та навичок раціонально думати та протистояти екологічним викликам сьогодення, спроможності активно відстоювати свої екологічні погляди та доносити екологічні знання молодшим поколінням (дітям, школярам, студентам).

Матеріал і методи досліджень

Впровадження в навчально-освітній процес університету методів інтерактивного навчання студентів, екологічного спрямування для поглиблення їх знань, умінь, практичних навичок і професійних орієнтацій щодо екологічних проблем сьогодення та можливими шляхами їх попередження. Екологізація навчального та виховного процесу в загальноосвітніх навчальних закладах, закладах вищої освіти, формування багатоступеневої екологічної освіти шляхом застосування методу «навчаючи-вчуся», метод анкетування, здобутки наукової роботи та волонтерської роботи студентів.

Результати досліджень та їх обговорення

Природа формує людину, ставить її на вищий щабель розвитку, вчить людину бути Людиною. Від людини залежить стан екології, природного багатства, збереження природи від стихійного і безконтрольного її використання.

Працівниками кафедри медичної біології ТНМУ ім. І. Я. Горбачевського розроблено екологічний проект «Чотири стихії природи – життя в гармонії буття», який реалізується спільно із Жешувським Університетом (Польща). Мета проекту полягає у формуванні в дітей та підлітків системи наукових знань, заснованих на засадах відповідального ставлення до навколишнього середовища та ризиків, що представляють компоненти біосфери, тобто чотири елементи природи: Земля, Вода, Повітря та Вогонь. У рамках проекту екологічні знання, набуті студентами медичної та соціологічної галузі, передаватимуться школярам та підліткам, а також дітям дошкільного віку з використанням різних методів навчання, зокрема шляхом застосування основного методу «навчаючи-вчуся», який надасть можливість взяти участь у навчанні та передачі своїх знань іншим.

Реалізація проекту також здійснюється за допомогою використання й інших традиційних словесних, наочних, практичних методів навчання, зокрема, інтерактивних технологій колективно-групового навчання: «мікрофон», «мозковий штурм», «ажурна пилка», «займи позицію», «ток-шоу», «коло ідей», «акваріум», «прес» [1].

Інтерактивні методи передачі знань широко застосовувалися студентами першого курсу ТДМУ для школярів старшої та середньої школи на уроках, присвячених збереженню навколишнього середовища та питанням профілактики інвазійних захворювань, що, згідно проекту, передбачено при висвітленні стихії Землі. Зокрема, протягом 2020–2021 н. р. студенти-медики активно проводили науково-дослідницьку роботу у Тернопільській спеціалізованій школі I–III ступенів № 5 з поглибленим вивченням іноземних мов, Тернопільській спеціалізованій школі I–III ступенів № 3 з поглибленим вивченням іноземних мов, Тернопільській загальноосвітній школі-медичному ліцеї № 15, Тернопільській загальноосвітній школі I–III ступенів № 23. Зустрічі з учнями відбувались в рамках тижня знань з основ безпеки життєдіяльності.

Інтерактивний метод навчання «мікрофон», який надає можливість кожному і кожній сказати щось швидко, по черзі, відповідаючи на запитання або висловлюючи свою думку чи позицію, був застосований для учнів старшої школи при аналізі питання небезпеки паразитів, а саме при розгляді відповідей на питання: «Чи є, на вашу думку, наявність великої кількості кліщів у парку – створення небезпечної ситуації щодо перебування там?», «Чи вважаєте Ви, що застосування репелентів запобігає виникненню кліщових інфекцій?».

Інтерактивний метод навчання «мозковий штурм», що є методом колективного обговорення, пошуку рішень, студенти застосовували при обговоренні питань щодо небезпеки такої стихії як Вогонь. Обговорення теми «Оцінка впливу лісових пожеж на навколишнє середовище» спонукало учасників проявити свою уяву та творчість шляхом вільного вираження думок як студентів, так і учнів, і допомагало знаходити спільні рішення щодо правил поводження з вогнем, а також його позитивні сторони як стихії, зокрема застосування у медичній галузі (масаж вогнем).

Ефективність методу «Коло ідей» знайшла себе при аналізі стихії Повітря, зокрема при розгляді теми «Оцінка властивостей автомобільного палива, що визначають його екологічну безпеку», «Забруднення об'єктів довкілля в межах транспортних шляхів». Учасники та учасниці вирішували суперечливі питання щодо користі та шкоди автомобільного палива, створюючи можливості один одному висловити власну позицію. На етапі підбиття підсумків їм було запропоновано таку тезу: «Персональний електротранспорт – іграшка для заможних». Учні висловлювали свої думки по черзі, доки не вичерпались думки та ідеї; усі запропоновані варіанти відповідей записувались на дошці.

Застосування інтерактивного методу навчання «Займи позицію» був використаний при ознайомленні школярів зі стихією Води. Цей метод дав можливість виявити різні позиції учнів щодо проблеми та суперечливого питання «Вплив урбанізації на гідрологічний режим водних об'єктів». Метод виявився ефективним з точки зору демократичності старшокласників щодо розмаїття їх поглядів на проблему. Школярі-старшокласники та студенти, обговорюючи вплив процесів урбанізації на екологічний стан довкілля, надавали можливості учням усвідомити наявність протилежних позицій щодо вирішення питань природного співвідношення елементів водного балансу, вплив антропогенних і природних факторів на гідрологічний режим водних об'єктів України. Внаслідок застосування цього методу учні вчили слухати свого співрозмовника та наводити переконливі аргументи щодо власного твердження, використовуючи твердження: «Так, згоден/згодна», «Ні, не згоден/не згодна», «Це складне для мене питання». Учасникам і учасницям дозволялось змінити свою позицію й перейти до іншої групи, обґрунтувавши причину зміни свого рішення.

Окремим блоком візиту студентів до школярів були дидактичні ігри для школярів молодших класів: «Вогонь добрий – Вогонь злий», «Хто-хто живе у землі та під нею?», «Користь і шкода повітря», «Цінність води джерельної, водопровідної, мінеральної...». Студенти вчили дітей правильно називати та розрізняти стихії, встановлювати позитивні та

негативні сторони впливу стихій природи на людей. Безумовно, це дало змогу розширити уявлення дітей про навколишній світ, живу та неживу природу, а також долучити їх до екологізації, правильного відношення до природи, навчити берегти навколишнє середовище.

Важливим моментом зустрічі були поради майбутніх медиків щодо незворотних небезпек і захворювань, які можуть виникати при неправильному поводженні зі стихіями Землі, Повітря, Вогню та Води.

Щодо теоретичних і практичних очікуваних результатів виконання проєкту «Чотири стихії природи – життя в гармонії буття» слід виділити наступні:

1. Інформування не лише учнів, але й населення міста Тернопіль про небезпеку, яку може нести неправильне відношення до природи, висвітлення проблеми за допомогою екологічних заходів, зокрема проведення природничих читань «Здорова молодь – здорова нація».

2. Запровадження мультидисциплінарного підходу (студент медик-школяр-дошкільня) у навчанні та вихованні дітей шляхом проведення наукового пікніка «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології та екології».

3. Сформувати екологічне мислення у дітей дошкільного та раннього шкільного віку за допомогою новостворених екологічних осередків у закладах освіти з метою екологічної пропаганди.

Для підвищення рівня екологічної обізнаності студентів та викладачів університету викладачі кафедри медичної біології щороку організують екскурсії в Ботанічний сад НОК «Червона Калина», заповідник «Медобори» (с. Гримайлів, Гусятинський р-н, Тернопільська область), Кременецький ботанічний сад, НПП «Дністровський каньйон».

Студенти та викладачі ТНМУ ім. І. Я. Горбачевського активно долучаються до волонтерської роботи та приймають участь у міських заходах, зокрема у проведенні молодіжних наукових пікніків, популяризації здорового способу життя шляхом прийняття участі у спортивних змаганнях, у очищенні Кутківцево-Пронятинського лісу від сміття та інших.

У жовтні 2021 року було проведено анкетування студентів 1–6 курсів ТНМУ ім. І. Я. Горбачевського «Сталість в університетах та суспільстві» щодо їх рівня екологічної освіти та розуміння концепції сталого розвитку. Анкетування проводилось спільно з Університетом Упсали (Швеція) в рамках Балтійської Університетської Програми, учасником якої ТНМУ є з 2016 року [3]. У своїх відповідях майже 90 % студентів зазначають, що центральне місце в концепції сталого розвитку повинна займати людина сучасного світу та людина майбутнього, обґрунтовуючи це тим, що в наш час економічне та демографічне зростання відбувається з шаленою швидкістю; відповідно зростає й вплив людства на навколишнє середовище, а соціальна рівновага сильно дисбалансована; зіткнувшись із надмірною експлуатацією природних ресурсів, екологічними та соціальними кризами, людство повинно дотримуватись концепції сталого розвитку, а тому й жити в гармонії з природою та її стихіями: Вода, Земля, Повітря та Вогонь.

У рамках Балтійської Університетської Програми щодо реалізації цілей сталого розвитку в регіоні країн Балтійського моря, студенти та викладачі активно приймають участь у міжнародних наукових форумах, вебінарах, симпозіумах, що спрямовані на підвищення якості екологічної обізнаності [3]. Викладачі кафедри медичної біології рекомендовані Балтійським університетом в Упсалі (Швеція) як наукові керівники студентських наукових та магістерських робіт, а також є співвиконавцями міжнародних наукових проєктів щодо впровадження цілей сталого розвитку в країні.

Отже, для досягнення оптимальних результатів у розвитку пізнавальних навичок, зокрема екологічного спрямування, умінь самостійно конструювати свої природничі знання, орієнтуватися в інформаційному просторі, ефективною є інтеграція класичних й інноваційних інтерактивних методів навчання і форм роботи школярів. Реалізація та впровадження екологічного проєкту «Чотири стихії природи – життя в гармонії буття» в межах Тернопільської області продовжить систему екологічного виховання молодого покоління в навчальних закладах України та Польщі та покладе початок новому дієвому методу передачі

набутих знань від старших до молодших. Це сприятиме стійкому укоріненню екологічної свідомості в суспільства, що допоможе зберегти природні багатства країни, уникнути катастроф та екологічних криз, покращити загальний екологічний стан країни та усього світу загалом.

Висновки

Практична реалізація мети і завдань екологічної освіти в навчальних закладах ґрунтується на засадах взаємозв'язку теоретичних знань із практичною діяльністю молоді в цій сфері; включенні екологічних аспектів у структуру предметних, спеціальних узагальнюючих тем; використанні інтерактивних та проблемних методів навчання; поєднанні аудиторної й позааудиторної природоохоронної роботи.

1. Загричук О. М., Привроцька І. Б., Федонюк Л. Я. Використання засобів інтерактивних технологій у пізнавальній діяльності студентів при вивченні дисципліни «Медична біологія». *Буковинський медичний вісник*. 2020. Т. 24, № 1 (93) С. 207–212. DOI: <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.28>
2. Ломакіна Ю. В., Тимофієва М. П., Зорій Н. І., Федонюк Л. Я. Павлюк О. І., Яковець К. І., Щудрова Т. С. Про-екологічне виховання студентів-медиків в освітньому просторі. *Буковинський медичний вісник*. 2020. Т. 24, № 1 (93) С. 213–221. DOI: <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.29>
3. Федонюк Л. Я., Корда М. М., Бабак Л. Д., Наконечна С. С. Стратегія розвитку Балтійської Університетської Програми в рамках концепції сталого розвитку в співпраці з ТДМУ. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія*. 2018. № 2 (73). С. 233–238.
4. Шульгай А. Г., Федонюк Л. Я., Мудра А. Є., Олещук О. М. Міждисциплінарна інтеграція як складова проблемно-орієнтованого навчання у медичному університеті. *Медична освіта*. 2018. № 4 (80). С. 113–116. DOI 10.11603/me.2414-5998.2018.4.9342
5. Burgess-Pinto E., Yastremska S. O., Fedoniuk L. Ya., Shelast Yv., Martynyuk L. P. Sustainable development principles in health promotion and nursing education. *Медична освіта*. 2019. № 4. С. 67–73. DOI 10.11603/me.2414-5998.2019.4.10863

References

1. Zahrychuk O. M., Pryvrots'ka I. B., Fedoniuk L. Ya. Vykorystannia zasobiv interaktyvnykh tekhnolohiy u piznaval'nyy diial'nosti studentiv pry vyvchenni dystsypliny «Medychna biolohiia». *Bukovyns'kyy medychnyy visnyk*. 2020. T. 24, No1 (93) S. 207–212. DOI: <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.28> [in Ukrainian]
2. Lomakina Yu. V., Tymofiiieva M. P., Zoriy N. I., Fedoniuk L. Ya. Pavliuk O. I., Yakovets' K. I., Shchudrova T. S. Pro-ekolohichne vykhovannia studentiv-medykiv v osvith'omu prostori. *Bukovyns'kyy medychnyy visnyk*. 2020. T. 24, No 1 (93) S. 213–221. DOI: <https://doi.org/10.24061/2413-0737.XXIV.1.93.2020.29> [in Ukrainian]
3. Fedoniuk L. Ya., Korda M. M., Babak L. D., Nakonechna S. S. Stratehiia rozvytku Baltiys'koi Universtyets'koi Prohramy v ramkakh kontseptsii staloho rozvytku v spivpratsi z TDMU. *Naukovi zapysky Ternopil's'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia*. 2018. No 2 (73). С. 233–238. [in Ukrainian]
4. Shul'hay A. H., Fedoniuk L. Ya., Mudra A. Ie., Oleshchuk O. M. Mizhdystsyplinarna intehratsiia iak skladova problemno-oriietovanoho navchannia u medychnomu universyteti. *Medychna osvita*. 2018. No 4 (80). С. 113–116. DOI 10.11603/me.2414-5998.2018.4.9342 [in Ukrainian]
5. Burgess-Pinto E., Yastremska S. O., Fedoniuk L. Ya., Shelast Yv., Martynyuk L. P. Sustainable development principles in health promotion and nursing education. *Медична освіта*. 2019. № 4. С. 67–73. DOI 10.11603/me.2414-5998.2019.4.10863

L. Ya. Fedoniuk, O. I. Skyba, Ya. O. Bilyk, N. B. Hlyvka

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine, Ukraine

FORMATION OF ENVIRONMENTAL MINDSET THROUGH MULTIPLE-LEVEL OF ECOLOGICAL EDUCATION

Students who study medicine and the younger generation can become environment conscious through the project "Four elements of nature - harmony in everyday life", developed by the staff of the Department of Medical Biology of I.Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine together with the University of Rzeszow (Poland). The efficiency of formation of personal and professional qualities of a student, the required knowledge, skills and abilities to think rationally and meet modern ecological challenges, ability to actively promote ecological mindset and convey ecological knowledge to younger generations (kids, schoolchildren, students) are studied and analyzed.

The article presents a variety of interactive methods and forms of teaching students, which should be used in the formation and education of environmental mindset. The experience gained in the implementation of certain stages of the project is shown, namely: the use of the method of "teaching-learning", the method of questionnaires, the achievements of scientific work and volunteer work of students.

It was determined that the practical implementation of the tasks and goals of environmental education in educational institutions is based on the principles of the relationship of theoretical knowledge with the practical activities of young people in this field; inclusion of ecological aspects in the structure of subject, special generalizing topics; use of interactive and problem-based teaching methods; a combination of classroom and extracurricular environmental work.

Keywords: ecological thinking, ecological education, children, youth, students, elements of nature, earth, water, air, fire.

Надійшла 01.11.2021.

УДК 282.247.31 : 546.30 : 597.5

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.7

В. О. ХОМЕНЧУК, Н. О. ВОВЧЕК, В. Я. БИЯК, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЕКОСИСТЕМ МАЛИХ РІЧОК ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

У роботі досліджено вміст металів (Ферум, Кобальт, Манган, Цинк, Купрум) у воді, донних відкладах та тканинах прісноводних риб (короп, карась, щука, окунь) з малих річок Західного Поділля (Серет, Стрипа, Золота Липа). Встановлено високі концентрації у воді та донних відкладах річок Феруму та Мангану, що, ймовірно, зумовлено надходженням цих металів із донних відкладів в умовах дефіциту кисню. Показано, що високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану у донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів. Для різних металів було встановлено індивідуальні механізми акумулювання та розподілу в організмі риб. Було відмічено вищі концентрації у печінці та зябрах досліджуваних видів риб Феруму, Мангану та Цинку та значно нижчий вміст Кобальту та Купруму. Вміст металів у тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має виражену тканинну та видову специфіку. Проаналізовано кореляційні зв'язки між вмістом металів у воді, донних відкладах

L. Ya. Fedoniuk, O. I. Skyba, Ya. O. Bilyk, N. B. Hlyvka

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine, Ukraine

FORMATION OF ENVIRONMENTAL MINDSET THROUGH MULTIPLE-LEVEL OF ECOLOGICAL EDUCATION

Students who study medicine and the younger generation can become environment conscious through the project "Four elements of nature - harmony in everyday life", developed by the staff of the Department of Medical Biology of I.Horbachevsky Ternopil National Medical University Ministry of Health of Ukraine together with the University of Rzeszow (Poland). The efficiency of formation of personal and professional qualities of a student, the required knowledge, skills and abilities to think rationally and meet modern ecological challenges, ability to actively promote ecological mindset and convey ecological knowledge to younger generations (kids, schoolchildren, students) are studied and analyzed.

The article presents a variety of interactive methods and forms of teaching students, which should be used in the formation and education of environmental mindset. The experience gained in the implementation of certain stages of the project is shown, namely: the use of the method of "teaching-learning", the method of questionnaires, the achievements of scientific work and volunteer work of students.

It was determined that the practical implementation of the tasks and goals of environmental education in educational institutions is based on the principles of the relationship of theoretical knowledge with the practical activities of young people in this field; inclusion of ecological aspects in the structure of subject, special generalizing topics; use of interactive and problem-based teaching methods; a combination of classroom and extracurricular environmental work.

Keywords: ecological thinking, ecological education, children, youth, students, elements of nature, earth, water, air, fire.

Надійшла 01.11.2021.

УДК 282.247.31 : 546.30 : 597.5

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.7

В. О. ХОМЕНЧУК, Н. О. ВОВЧЕК, В. Я. БИЯК, О. О. РАБЧЕНЮК, В. З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЕКОСИСТЕМ МАЛИХ РІЧОК ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

У роботі досліджено вміст металів (Ферум, Кобальт, Манган, Цинк, Купрум) у воді, донних відкладах та тканинах прісноводних риб (короп, карась, щука, окунь) з малих річок Західного Поділля (Серет, Стрипа, Золота Липа). Встановлено високі концентрації у воді та донних відкладах річок Феруму та Мангану, що, ймовірно, зумовлено надходженням цих металів із донних відкладів в умовах дефіциту кисню. Показано, що високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану у донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів. Для різних металів було встановлено індивідуальні механізми акумулювання та розподілу в організмі риб. Було відмічено вищі концентрації у печінці та зябрах досліджуваних видів риб Феруму, Мангану та Цинку та значно нижчий вміст Кобальту та Купруму. Вміст металів у тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має виражену тканинну та видову специфіку. Проаналізовано кореляційні зв'язки між вмістом металів у воді, донних відкладах

та тканинах риби із малих річок Західного Поділля. Встановлено позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму у донних відкладах, в зябрах карася, окуня, щуки та печінці окуня і щуки. Кількість Мангану у воді корелювала з вмістом металу у зябрах коропа та щуки. Зростання кількості цинку у донних відкладах (валова форма) призводило до акумулювання його у зябрах усіх видів риби, а також у печінці окуня та щуки, про що свідчать високі позитивні значення коефіцієнтів Пірсона (0,71–0,91). Вміст Купруму у воді та донних відкладах (валова форма) корелював з їх кількістю у печінці окуня та щуки, що може слугувати для біоіндикації забруднення водних екосистем цим металом.

Ключові слова: малі річки, донні відклади, важкі метали, риби, кореляційний аналіз.

Малі річки України останні десятиліття зазнають прогресуючого антропогенного впливу, який посилюється глобальними кліматичними змінами [14]. Особливо гострою є проблема забруднення малих річок біогенними елементами, пестицидами, детергентами та важкими металами. Небезпека останніх обумовлена їх високою токсичністю, здатністю до акумуляції в компонентах гідроекосистем, біомагніфікацією тощо [17, 18]. Визначення концентрації важких металів у воді, донних відкладах, прибережному ґрунті, водних організмах часто не є високоінформативним, оскільки шкодочинність металів визначається цілою низкою чинників таких як температура, гідрохімічні параметри водного середовища, природа металу, а також видовими та віковими характеристиками гідробіонтів [12, 17].

Тому особливої уваги заслуговує комплексний підхід до оцінки забруднення малих річок важкими металами та визначення їх токсичності (шкодочинності) для водної біоти, і, насамперед, риби. У ході дослідження нами було вивчено рівень накопичення таких металів як Ферум, Кобальт, Манган, Цинк та Купрум у воді, донних відкладах та тканинах прісноводних риби з трьох малих річок Західного Поділля – Серет, Стрипа та Золота Липа. Також для узагальнення результатів та інтегральної оцінки рівня забрудненості даних малих річок було використано кореляційні зв'язки між вмістом зазначених металів у воді, донних відкладах та тканинах риби.

Матеріал і методи досліджень

Для оцінки забруднення малих річок Західного Поділля (Серет, Стрипа, Золота Липа) важкими металами, дослідження міграції, розподілу та біомагніфікації їх у компонентах цих гідроекосистем відбирали проби води, донних відкладів та тканин риби (короп, карась, щука, окунь). Зазначені водотоки розташовані в трьох зонах відмінних за характером антропогенного впливу. Так, річка Золота Липа – урбанавантажена, Серет – сільськогосподарсько навантажена зона, Стрипа – умовно чиста зона.

Воду відбирали з поверхневого горизонту, прибережний мул – на глибині приблизно 50 см. за загальноприйнятими методиками, після чого проводили їх фіксацію та транспортували у лабораторію для визначення вмісту металів [18]. Для визначення вмісту Феруму, Кобальту, Мангану, Цинку та Купруму у воді проби випарювали та спалювали в нітратній кислоті. Для визначення концентрації елементів у донних відкладах зразки висушували в термостаті при температурі 105⁰С, розтирали в ступі до порошкоподібного стану. Згодом 0,25 г абсолютно сухого мулу поміщали в платиновий тигель, додавали суміш із 2,5 мл HF і 2,5 мл HClO₄ та випарювали насухо. Потім додавали 2,5 мл HF і 0,25 мл HClO₄ і нагрівали до виділення білих парів. Після чого знову додавали 0,25 мл HClO₄. Залишок розчиняли в 2,5 мл HNO₃. Отримані нітратні розчини використовували для визначення вмісту іонів металів, яке здійснювали методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на спектрофотометрі С-115 при відповідних довжинах хвиль, які відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів. Величини виражали в міліграмах на кілограм сухої маси.

Із риби для дослідження із зазначених вище річок відбирали такі види: коропа лускатий – *Cyprinus carpio* L., щука звичайна – *Esox lucius* L., карась сріблястий – *Carassius gibelio* Bloch. та окунь звичайний – *Perca fluviatilis* L. Маса риби становила 290–330 г, 300–350 г, 150–230 г та 170–230 г відповідно. Після вилову риби транспортували в лабораторію, де відбирали зразки тканин для досліджень.

Риб забивали шляхом декапітації і проводили екстерпацію передньої долі печінки та зябрових дуг. Усі процедури відбору тканин виконували при 4⁰С. Досліди виконувались відповідно до правил європейської конвенції про гуманне ставлення до лабораторних тварин та «Загальних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики [5].

Дослідження вмісту важких металів у тканинах риб здійснювали за методикою Мур Дж. та Раммамурті С. [11]. Після препаратії органів наважки тканин риб (1,00 г) спалювали в нітратній кислоті (х.ч.) у співвідношенні 1:5 (маса: об'єм) за температури 110–120⁰С. Вміст металів визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115М і виражали в міліграмах на кілограм вологої маси тканин.

Статистичну обробку результатів здійснювали за допомогою пакету STATISTICA 12 [13]. Дані кореляційних зв'язків між вмістом металів у воді, донних відкладах та тканинах риб було представлено у вигляді кореляційних матриць.

Результати досліджень та їх обговорення

Концентрації металів у воді є одними з головних гідрохімічних показників, що відображають рівень екологічного благополуччя водних об'єктів, у тому числі й малих річок. Аналіз показників валових концентрацій Феруму, Кобальту, Мангану, Цинку та Купруму у воді річок Західного Поділля показав, що ряд вмісту металів у воді річок Стрипа та Золота Липа виглядає наступним чином: Fe→Mn→Zn→Cu→Co (рис. 1); у воді р. Серет – Fe→Cu→Zn→Mn→Co. Разом з тим, уміст Феруму у всіх трьох річках знаходиться практично на одному рівні. У цілому, виявлено найвищі концентрації у воді річок Феруму та Мангану, що, ймовірно, зумовлено надходженням цих металів із донних відкладів внаслідок відновлення (в умовах дефіциту кисню) [6].

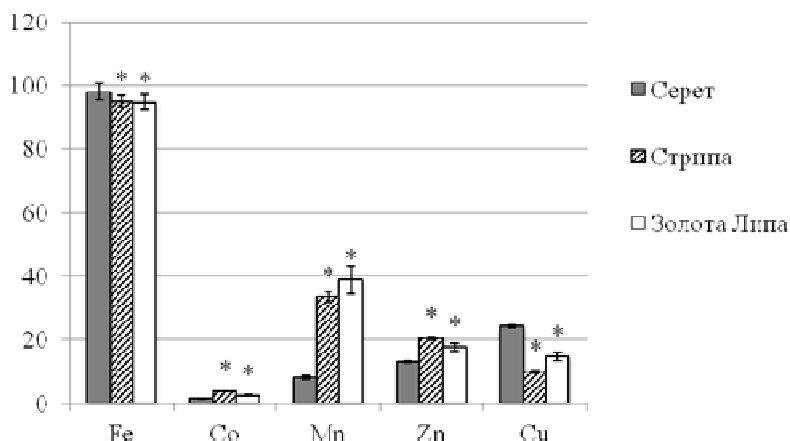


Рис. 1. Концентрація важких металів у поверхневих водах річок Західного Поділля (мкг/л, $M \pm m$, $n=5$)

Важливим чинником, що визначає екологічний статус гідроекосистеми, є донні відклади [2]. Вони беруть участь у колообігу речовин, відображають тенденції щодо накопичення екополутантів, дають змогу оцінити в просторі та часі зміни розподілу та міграції компонентів у системі «вода – донні відклади» [1, 19].

Аналіз отриманих результатів показав, що найвищий вміст Феруму зафіксований у валовій формі донних відкладів р. Стрипа (рис. 2). Валова форма Мангану знаходиться майже на однаковому рівні в донних відкладах річок Серет і Золота Липа, і в 1,8 рази цей показник нижчий у р. Стрипа. Слід відзначити найвищу концентрацію цинку в донних відкладах р. Серет, порівняно з р. Золота Липа та р. Стрипа.

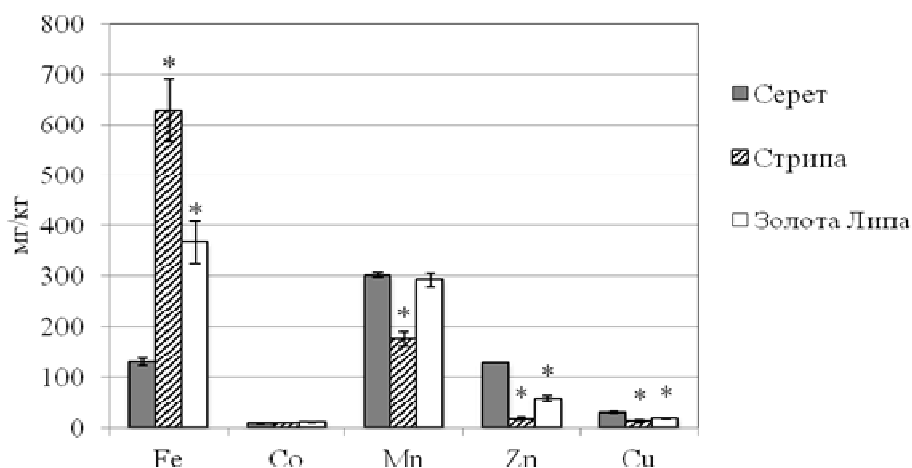


Рис. 2. Вміст валової форми металів у донних відкладах річок Західного Поділля (мг/кг, $M \pm m$, $n=5$).

Ряд концентрацій валової форми металів у р. Стрипа та р. Золота Липа був подібним до показників у воді $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$, а у р. Серет він мав вигляд $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$. Слід відзначити, що, як і у воді, у донних відкладах у цілому було зафіксовано найвищі концентрації валової форми Феруму та Мангану.

Якщо валовий вміст хімічних елементів у донних відкладах є кількісною характеристикою, яка визначає участь металів у рівновазі з розчиненою формою, то рухома форма в завислих речовинах донної складової визначає їх участь в динамічній рівновазі між водою і твердою фазою [3, 9]. Виявлено, що вміст рухомих форм металів у донних відкладах зменшувався у ряді $Fe \rightarrow Mn \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Co$ для р. Стрипа і р. Золота Липа та $Fe \rightarrow Zn \rightarrow Mn \rightarrow Cu \rightarrow Co$ для р. Серет (рис. 3).

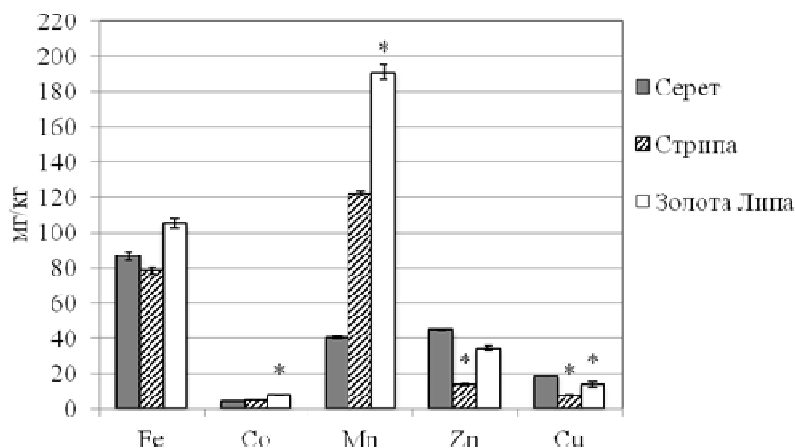


Рис. 3. Вміст рухомої форми металів у донних відкладах малих річок Західного Поділля (мг/кг, $M \pm m$, $n=5$).

Високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану в донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів.

Важливою характеристикою металів є їх біомагніфікація. Вони з часом не руйнуються, а тільки накопичуються в міру проходження в біологічних циклах і харчових ланцюгах. Для різних металів існують індивідуальні механізми акумуляції та розподілу в організмі

гідробіонтів [4, 15]. Часто рівень накопичення металів у тканинах риб може відображати стан забруднення водних екосистем металами [4, 10, 18].

Аналіз отриманих результатів показав, що найвищий вміст Феруму виявлено в печінці коропа з р. Стрипа (табл. 1). Досить високий вміст Феруму зафіксовано в печінці у коропа та карася з р. Серет. Концентрація цього металу в печінці окуня з р. Стрипа вдвічі більша, ніж в особин цього виду з р. Серет та в 3,6 раза більша, ніж в окуня з р. Золота Липа.

Таблиця 1

Вміст Феруму в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля
(мг/кг сирової маси, $M \pm m$, $n=5$)

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	116,40±6,35	74,39±1,49	77,48±1,79	48,20±2,04
Стрипа	111,04±2,10	133,44±1,31*	75,12±2,39	124,39±1,93*
Золота Липа	86,19±0,38*	77,87±1,92	146,39±1,78*	57,48±0,84*
Печінка				
Серет	155,00±10,97	155,87±10,97	72,03±4,46	51,75±4,34
Стрипа	201,48±2,86*	61,44±1,36*	144,09±2,37*	184,45±2,61*
Золота Липа	125,78±1,07*	148,42±1,79	39,45±1,17*	168,50±1,94*

Примітка. * – тут і в табл. 2–5 зміни показників щодо р. Серет статистично достовірні ($P < 0,05$)

Вміст Феруму в зябрах досліджуваних видів риб дещо нижчий, ніж у печінці. Найбільше цього металу виявлено в зябрах окуня з р. Золота Липа, на 8,8 % менше його в зябрах карася з р. Стрипа та на 20,5 % менше у коропа з р. Серет. Отже, вміст Феруму в тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має тканинну специфіку і залежить від виду риб.

Із отриманих результатів слідує, що в тканинах досліджуваних видів риб вміст Кобальту незначний (табл. 2). Найбільше його було акумульовано зябрами усіх видів риб з р. Серет. Найменша концентрація вказаного металу виявлена в зябрах риб з р. Золота Липа.

Таблиця 2

Вміст Кобальту в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля
(мг/кг сирової маси, $M \pm m$, $n=5$)

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	3,76±0,12	2,54±0,18	5,09±0,34	3,48±0,07
Стрипа	0,97±0,01*	1,12±0,01*	1,54±0,02*	0,73±0,03*
Золота Липа	0,86±0,01*	0,29±0,01*	0,76±0,04*	0,83±0,01*
Печінка				
Серет	2,28±0,04	2,30±0,05	3,28±0,21	1,89±0,02
Стрипа	0,84±0,02*	0,94±0,04*	1,22±0,03*	0,59±0,01*
Золота Липа	0,71±0,02*	0,36±0,01*	0,85±0,01*	0,73±0,03*

Вміст Кобальту в печінці дещо нижчий, ніж в зябрах. Найбільша кількість його знайдена в печінці окуня з р. Серет, а найменша концентрація цього металу виявлена в печінці карася з р. Золота Липа. Максимальний рівень акумульованого Кобальту в тканинах досліджуваних риб було виявлено в р. Серет. За вмістом металу в організмі гідробіонтів досліджувані водотоки можна розмістити у вигляді ряду: Серет > Стрипа > Золота Липа.

Найвищі концентрації Мангану було виявлено в тканинах усіх досліджуваних видів риб з р. Стрипа (табл. 3). Особливо високим вміст металу (14,73 мг/кг) був у зябрах карася. Найменше Мангану було виявлено в зябрах окуня з р. Золота Липа.

Таблиця 3

Вміст Мангану в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля
(мг/кг сирової маси, $M \pm m$, $n=5$)

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	2,52±0,01	4,73±0,16	4,38±0,18	3,54±0,07
Стрипа	8,93±0,07*	14,08±0,17*	5,32±0,08*	6,08±0,09*
Золота Липа	2,14±0,05*	4,14±0,11*	1,45±0,07*	2,60±0,11*
Печінка				
Серет	2,58±0,11	2,57±0,04	4,48±0,26	1,76±0,13
Стрипа	8,99±0,03*	7,33±0,07*	3,54±0,20*	4,69±0,04*
Золота Липа	1,88±0,04*	1,59±0,04*	1,32±0,13*	1,78±0,07

Найнижчий вміст цього металу був виявлений в печінці усіх видів риб, виловлених в р. Золота Липа. У цілому, накопичення Мангану в тканинах риб має подібний характер з Ферумом.

Найбільше акумулювання Цинку було виявлено в тканинах зябер риб, виловлених із р. Серет (табл. 4). Найнижчі концентрації цього металу були зафіксовані в зябрах риб (за винятком окуня) з р. Стрипа.

Вміст Цинку в печінці, як і у зябрах риб, був найвищим у представників, виловлених у р. Серет, а найнижчим – у особин із р. Стрипа.

Таблиця 4

Вміст Цинку у тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля
(мг/кг сирової маси, $M \pm m$, $n=5$)

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	158,65±8,65	133,92±10,53	159,68±4,95	237,10±8,40
Стрипа	63,42±0,34*	88,02±0,92*	25,36±0,36*	118,46±0,65*
Золота Липа	75,46±1,70*	140,81±6,50	18,62±0,30*	73,90±2,91*
Печінка				
Серет	100,22±7,88	50,38±4,03	159,56±9,78	153,89± 5,80
Стрипа	42,98±0,06*	50,66±0,76	33,54±0,39*	52,22±0,24*
Золота Липа	66,76±1,89*	66,53±1,19*	15,59±0,26*	28,07±0,48*

Таким чином, вміст Цинку в досліджуваних тканинах риб не тільки найвищий, але він і змінюється в найбільш широких межах, що може свідчити про його активне використання в обмінних процесах. У загальному характер розподілу Цинку в тканинах риб подібний із розподілом Кобальту.

Вміст Купруму в тканинах досліджених видів риб із малих річок Західного Поділля, як і вміст Кобальту, є невисоким. Найменша концентрація цього металу була зафіксована в зябрах щуки з р. Серет, а найбільша в цьому органі – у щуки з р. Стрипа (табл. 5).

Таблиця 5

Вміст Купруму в тканинах досліджуваних видів риб малих річок Західного Поділля
(мг/кг сирової маси, $M \pm m$, $n=5$)

Річка	Короп	Карась	Окунь	Щука
Зябра				
Серет	1,32±0,09	1,65±0,06	1,27±0,03	0,22±0,02
Стрипа	3,39±0,02*	3,23±0,04*	2,57±0,09*	3,53±0,03
Золота Липа	1,29±0,03	1,19±0,05*	1,24±0,04	1,23±0,08
Печінка				
Серет	2,72±0,10	0,82±0,04	2,82±0,16	2,31±0,11
Стрипа	5,38±0,04*	2,87±0,11*	2,43±0,09*	6,14±0,17*
Золота Липа	3,39±0,49	0,86±0,03	2,09±0,19*	5,69±0,16*

Найбільше Купруму накопичується в печінці риб, виловлених у р. Стрипа. Найнижчі концентрації Купруму, у цілому, було зафіксовано в печінці риб з р. Серет.

Загалом, зафіксовано високі рівні накопичення Феруму, Мангану та Купруму в тканинах риб із р. Стрипа, Кобальту та Цинку – у організмі риб із р. Серет. Разом з тим, показники накопичення важких металів у воді, донних відкладах та тканинах риб характеризуються значною варіабельністю, різною направленістю, залежать від низки чинників (гідрохімічні параметри води і донних відкладів, фізико-хімічна природа металів, видові та тканинні особливості їх накопичення тощо) та важко піддаються інтерпритації. Часто високий вміст металу в середовищі не завжди призводить до його акумуляування, тоді як за сприятливих умов допорогові концентрації металів у воді можуть призводити до накопичення і токсичної дії. Тому більш інформативними є показники кореляційного аналізу (коефіцієнти кореляції Пірсона), що дозволяють оцінити взаємозв'язки між концентраціями досліджуваних металів у воді, донних відкладах та тканинах риб із малих річок Західного Поділля. Такий підхід дозволяє оцінити, у яких видів риб, у яких тканинах і яких металів біонакопичення є прямим відображенням забрудненості середовища важкими металами. Силу кореляційних зв'язків між визначуваними показниками оцінювали за шкалою Чеддока [7]. При цьому при значеннях коефіцієнта Пірсона більше 0,7 кореляційні зв'язки вважали сильними.

Так, аналіз отриманих результатів дозволив встановити позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму в донних відкладах, у зябрах карася, окуня та щуки та печінці окуня й щуки (табл. 6).

Таблиця 6

Кореляційна матриця показників вмісту Феруму в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Fe(в)	Fe(ДВз)	Fe(ДВр)	Fe(кор.п)	Fe(кар.п)	Fe(ок.п)	Fe(щук.п)	Fe(кор.з)	Fe(кар.з)	Fe(ок.з)	Fe(щук.з)
Fe(в)	1,00	-0,85	-0,20	-0,12	0,56	-0,22	-0,99	0,63	-0,55	-0,47	-0,60
Fe(ДВз)	-0,85	1,00	-0,34	0,62	-0,91	0,70	0,91	-0,13	0,91	0,76	0,93
Fe(ДВр)	-0,20	-0,34	1,00	-0,95	0,70	-0,91	0,09	-0,89	-0,71	0,96	-0,67
Fe(кор.п)	-0,12	0,62	-0,95	1,00	-0,89	1,00	0,23	0,70	0,89	-0,82	0,87
Fe(кар.п)	0,56	-0,91	0,70	-0,89	1,00	-0,93	-0,65	-0,29	-1,00	0,46	-1,00
Fe(ок.п)	-0,22	0,70	-0,91	1,00	-0,93	1,00	0,32	0,62	0,93	-0,76	0,91
Fe(щук.п)	-0,99	0,91	0,09	0,23	-0,65	0,32	1,00	-0,54	0,64	0,37	0,68
Fe(кор.з)	0,63	-0,13	-0,89	0,70	-0,29	0,62	-0,54	1,00	0,30	-0,98	0,25
Fe(кар.з)	-0,55	0,91	-0,71	0,89	-1,00	0,93	0,64	0,30	1,00	-0,47	1,00
Fe(ок.з)	-0,47	-0,06	0,96	-0,82	0,46	-0,76	0,37	-0,98	-0,47	1,00	-0,43
Fe(щук.з)	-0,60	0,93	-0,67	0,87	-1,00	0,91	0,68	0,25	1,00	-0,43	1,00

Примітка. Тут і в таблицях 6–10: (в) вода, (ДВз) – донні відклади загальна форма, (ДВр) – донні відклади рухома форма, (кор.п) – короп печінка, (кар.п) – карась печінка, (ок.п) – окунь печінка, (щук.п) – щука печінка, (кор.з) – короп зябра, (кар.з) – карась зябра, (ок.з) – окунь зябра, (щук.з) – щука зябра.

Також було зафіксовано пряму залежність між концентрацією даного металу в зябрах окуня, печінці карася та в рухомій формі донних відкладів малих річок Західного Поділля.

Для Кобальту позитивних кореляцій між вмістом металу у воді, донних відкладах та тканинами прісноводних риб встановлено не було (табл. 7). Очевидно, це можна пояснити невисоким вмістом цього металу в компонентах гідроекосистем річок Серет, Стрипа та Золота Липа, а відтак і незначним біоаккумуляванням Кобальту.

Таблиця 7

Кореляційна матриця показників вмісту Кобальту в компонентах гідроекосистем малих річок
Західного Поділля

	Co(в)	Co(ДВз)	Co(ДВр)	Co(кор.п)	Co(кар.п)	Co(ок.п)	Co(шук.п)	Co(кор.з)	Co(кар.з)	Co(ок.з)	Co(шук.з)
Co(в)	1,00	0,15	0,13	-0,78	-0,63	-0,74	-0,86	-0,81	-0,56	-0,73	-0,84
Co(ДВз)	0,15	1,00	1,00	-0,73	-0,87	-0,77	-0,63	-0,70	-0,90	-0,79	-0,66
Co(ДВр)	0,13	1,00	1,00	-0,72	-0,85	-0,76	-0,61	-0,69	-0,89	-0,77	-0,64
Co(кор.п)	-0,78	-0,73	-0,72	1,00	0,98	1,00	0,99	1,00	0,95	1,00	0,99
Co(кар.п)	-0,63	-0,87	-0,85	0,98	1,00	0,99	0,93	0,97	1,00	0,99	0,95
Co(ок.п)	-0,74	-0,77	-0,76	1,00	0,99	1,00	0,98	0,99	0,97	1,00	0,99
Co(шук.п)	-0,86	-0,63	-0,61	0,99	0,93	0,98	1,00	1,00	0,90	0,97	1,00
Co(кор.з)	-0,81	-0,70	-0,69	1,00	0,97	0,99	1,00	1,00	0,94	0,99	1,00
Co(кар.з)	-0,56	-0,90	-0,89	0,95	1,00	0,97	0,90	0,94	1,00	0,98	0,92
Co(ок.з)	-0,73	-0,79	-0,77	1,00	0,99	1,00	0,97	0,99	0,98	1,00	0,98
Co(шук.з)	-0,84	-0,66	-0,64	0,99	0,95	0,99	1,00	1,00	0,92	0,98	1,00

Для Мангану встановлено, що кількість його у воді корелювала з вмістом металу в зябрах коропа та щуки (табл. 8). Відомо, що Манган може біоконцентруватися в органах риб, що межують із водним середовищем (зябра, шкіра) [15]. При цьому вміст металу в тканинах зябер може відображати ступінь забруднення водного середовища.

Таблиця 8

Кореляційна матриця показників вмісту Мангану в компонентах гідроекосистем малих річок
Західного Поділля

	Mn(в)	Mn(ДВз)	Mn(ДВр)	Mn(кор.п)	Mn(кар.п)	Mn(ок.п)	Mn(шук.п)	Mn(кор.з)	Mn(кар.з)	Mn(ок.з)	Mn(шук.з)
Mn(в)	1,00	-0,39	0,96	0,25	0,17	-0,85	0,34	0,78	0,28	-0,46	0,79
Mn(ДВз)	-0,39	1,00	-0,11	-0,99	-0,98	-0,15	-1,00	-0,99	-0,99	-0,64	-0,95
Mn(ДВр)	0,96	-0,11	1,00	-0,04	-0,12	-0,97	0,06	-0,00	-0,00	-0,70	-0,20
Mn(кор.п)	0,25	-0,99	-0,04	1,00	1,00	0,30	0,99	1,00	1,00	0,75	0,99
Mn(кар.п)	0,17	-0,98	-0,12	1,00	1,00	0,37	0,98	0,99	0,99	0,79	1,00
Mn(ок.п)	-0,85	-0,15	-0,97	0,30	0,37	1,00	0,20	0,26	0,26	0,86	0,45
Mn(шук.п)	0,34	-1,00	0,06	0,99	0,98	0,20	1,00	1,00	1,00	0,67	0,97
Mn(кор.з)	0,78	-0,99	-0,00	1,00	0,99	0,26	1,00	1,00	1,00	0,72	0,98
Mn(кар.з)	0,28	-0,99	-0,00	1,00	0,99	0,26	1,00	1,00	1,00	0,72	0,98
Mn(ок.з)	-0,46	-0,64	-0,70	0,75	0,79	0,86	0,67	0,72	0,72	1,00	0,84
Mn(шук.з)	0,79	-0,95	-0,20	0,99	1,00	0,45	0,97	0,98	0,98	0,84	1,00

Слід зазначити, що зростання кількості цинку в донних відкладах (валова форма) призводило до акумулювання його в зябрах усіх видів риб, а також у печінці окуня та щуки, про що свідчать високі значення коефіцієнтів Пірсона (табл. 9). Також сильні позитивні кореляції зафіксовано між показниками вмісту рухомої форми цинку в донних відкладах та кількістю металу в тканинах зябер коропа, карася та окуня.

Отже, накопичення Цинку в тканинах зябер прісноводних риб може реально відображати ступінь забруднення донних відкладів досліджуваних малих річок.

Кореляційна матриця показників вмісту Цинку в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Zn(в)	Zn(ДВз)	Zn(ДВр)	Zn(кор.п)	Zn(кар.п)	Zn(ок.п)	Zn(шук.п)	Zn(кор.з)	Zn(кар.з)	Zn(ок.з)	Zn(шук.з)
Zn(в)	1,00	-1,00	-0,95	-1,00	0,16	-0,88	-0,85	-0,97	-0,72	-0,91	-0,80
Zn(ДВз)	-1,00	1,00	0,94	1,00	-0,16	0,88	0,85	0,97	0,71	0,91	0,80
Zn(ДВр)	-0,95	0,94	1,00	0,96	0,17	0,68	0,63	0,83	0,90	0,73	0,56
Zn(кор.п)	-1,00	1,00	0,96	1,00	-0,11	0,85	0,82	0,95	0,75	0,89	0,77
Zn(кар.п)	0,16	-0,16	0,17	-0,11	1,00	-0,61	-0,66	-0,41	0,58	-0,55	-0,72
Zn(ок.п)	-0,88	0,88	0,68	0,85	-0,61	1,00	1,00	0,97	0,30	1,00	0,99
Zn(шук.п)	-0,85	0,85	0,63	0,82	-0,66	1,00	1,00	0,95	0,23	0,99	1,00
Zn(кор.з)	-0,97	0,97	0,83	0,95	-0,41	0,97	0,95	1,00	0,51	0,99	0,93
Zn(кар.з)	-0,72	0,71	0,90	0,75	0,58	0,30	0,23	0,51	1,00	0,37	0,15
Zn(ок.з)	-0,91	0,91	0,73	0,89	-0,55	1,00	0,99	0,99	0,37	1,00	0,97
Zn(шук.з)	-0,80	0,80	0,56	0,77	-0,72	0,99	1,00	0,93	0,15	0,97	1,00

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст Купруму у воді та донних відкладах (валова форма) корелював із їх кількістю в печінці окуня та щуки (табл. 10). Із наукових джерел відомо, що печінка риб є органом, який депонує високі концентрації Купруму й може слугувати для біоіндикації забруднення водних екосистем цим металом [4, 18].

Таблиця 10

Кореляційна матриця показників вмісту Купруму в компонентах гідроекосистем малих річок Західного Поділля

	Cu(в)	Cu(ДВз)	Cu(ДВр)	Cu(кор.п)	Cu(кар.п)	Cu(ок.п)	Cu(шук.п)	Cu(кор.з)	Cu(кар.з)	Cu(ок.з)	Cu(шук.з)
Cu(в)	1,00	1,00	0,71	-0,90	-0,78	0,67	0,87	-0,77	-0,60	-0,76	-0,93
Cu(ДВз)	1,00	1,00	0,69	-0,89	-0,77	0,69	0,97	-0,76	-0,58	-0,74	-0,92
Cu(ДВр)	0,71	0,69	1,00	-0,94	-0,99	-0,05	-0,51	-1,00	-0,99	-1,00	-0,92
Cu(кор.п)	-0,90	-0,89	-0,94	1,00	0,97	-0,29	0,77	0,97	0,88	0,97	1,00
Cu(кар.п)	-0,78	-0,77	-0,99	0,97	1,00	-0,07	0,60	1,00	0,97	1,00	0,96
Cu(ок.п)	0,67	0,69	-0,05	-0,29	-0,07	1,00	-0,84	-0,05	0,19	-0,03	-0,35
Cu(шук.п)	0,87	-0,97	-0,51	0,77	0,60	-0,84	1,00	0,59	0,38	0,57	0,80
Cu(кор.з)	-0,77	-0,76	-1,00	0,97	1,00	-0,05	0,59	1,00	0,97	1,00	0,95
Cu(кар.з)	-0,60	-0,58	-0,99	0,88	0,97	0,19	0,38	0,97	1,00	0,98	0,85
Cu(ок.з)	-0,76	-0,74	-1,00	0,97	1,00	-0,03	0,57	1,00	0,98	1,00	0,95
Cu(шук.з)	-0,93	-0,92	-0,92	1,00	0,96	-0,35	0,80	0,95	0,85	0,95	1,00

Таким чином, на основі кореляційного аналізу можна оцінити, накопичення яких металів, у яких тканинах та в яких видів прісноводних риб може реально відображати концентрацію металів у воді та донних відкладах малих річок, а також їх доступність для водної біоти.

Висновки

Встановлено високі концентрації Феруму та Мангану у воді та донних відкладах досліджуваних малих річок Західного Поділля. Високий вміст рухомої форми Феруму, Кобальту, Мангану у донних відкладах р. Золота Липа може призводити до вторинного забруднення товщі води та становити потенційну небезпеку для гідробіонтів. Для різних металів було встановлено індивідуальні механізми акумуляції та розподілу в організмі риб. Виявлено вищі концентрації Феруму, Мангану та Цинку в печінці та зябрах досліджуваних

видів риб та значно нижчий вміст Кобальту та Купруму. Вміст металів у тканинах риб характеризується високою варіабельністю, має виражену тканинну та видову специфіку. Встановлено позитивні кореляційні зв'язки між вмістом валової форми Феруму в донних відкладах, у з'ябрах карася, окуня та щуки та печінці окуня й щуки. Кількість Мангану у воді корелювала з вмістом металу у з'ябрах коропа та щуки. Зростання кількості Цинку в донних відкладах (валова форма) призводило до акумулювання його в з'ябрах усіх видів риб. Вміст Купруму у воді та донних відкладах корелював із їх кількістю в печінці окуня та щуки, що може бути застосовано в якості біоіндикативного показника забруднення водних екосистем цим металом.

1. Алехина Т. Н., Бобко А. А., Малахов И. Н. Тяжелые металлы в донных осадках рек промышленных регионов. *Довкілля і здоров'я*. 2007. № 3. С. 9–13.
2. Бреховских В. Ф. Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища. Москва : Наука, 2006. 175 с.
3. Денисова А. И, Нахшина Е. П., Новиков Б. И., Рябов В. К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. Киев : Наук. думка, 1987. 164 с.
4. Евтушенко Н. Ю., Дудник С. В. Механизмы поступления, распределения и выведения металлов из организма рыб. *Гидробиол. журн.* 2014. Т. 50, № 4. С. 63-77.
5. Загальні етичні принципи експериментів на тваринах. *Ендокринологія*. 2003. Т. 8. № 1. С. 142–145.
6. Линник П. Н. Тяжелые металлы в поверхностных водах Украины: содержание и формы миграции. *Гидробиол. журн.* 1999. Т. 35, № 1. С. 22–42.
7. Математическая статистика для психологов. URL: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (дата звернення: 22.10.2021)
8. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін.; [за ред. В.Д. Романенка]; НАН України. Ін-т гідробіології. К. : ЛОГОС, 2006. 408 с.
9. Мизандронцев И. Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск : Наука, 1990. 176 с.
10. Моисеенко Т. И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения. *Геохимия*. 2019. Т. 64, № 7. С. 675–688.
11. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М. : Мир, 1987. 265 с.
12. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. Новосибирск : СО РАН, 2001. 58 с.
13. Халафян А. А. Промышленная статистика: Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA : Учебное пособие. М. : Книжный дом «Либроком», 2013. 384 с.
14. Хімко Р. В., Мережко О. І., Бабко Р. В. Малі річки – дослідження, охорона, відновлення. К. : Інститут екології, 2003. 378 с.
15. Хоменчук В. О. Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Львів, 2003. 18 с.
16. Stumm W., Morgan J. J. *Aquatic Chemistry* (3rd edn.). New York : John Wiley & Sons. 1996. 515 p.
17. Valko M., Morris H., Cronin M.T. Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medical Chemistry*. 2005. Vol. 12. P. 1161–1208.
18. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. *Fish Physiology*. London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. 497 p.
19. Xiangdong Li, Zhenguo Shen, Onyx W.H Wai, Yok-Sheung Li. Chemical Forms of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 2001. Vol. 42 (3). P. 215-223.

References

1. Alehina T. N., Bobko A. A., Malahov I. N. Tjzhelye metally v donnyh osadkah rek industrialnyh regionov. *Dovkillja i zdorovja*. 2007. 3. S. 9–13.
2. Brehovskih V. F. Kazmiruk T. N., Kazmiruk V. D. Donnye otlozhenija Ivankovskogo vodohranilishha. Moskva : Nauka, 2006. 175 s
3. Denisova A. I, Nahshina E. P., Novikov B. I., Rjabov V. K. Donnye otlozhenija vodohranilishh i ih vlijanie na kachestvo vody. Kiev : Nauka dumka, 1987. 164 s.
4. Evtushenko N. Ju., Dudnik S. V. Mehanizmy postuplenija, raspredelenija i vyvedenija metallov iz organizma ryb. *Gidrobiol. zhurn.* 2014. Т. 50, № 4. S. 63–77.

5. Zahalni etychni pryntsypy ekperymentiv na tvarynakh. *Endokrynolohiia*. 2003. T. 8. № 1. S.142–145.
6. Linnik P. N. Tjzhelye metally v poverhnostnyh vodah Ukrainy: sodержanie i formy migracii. *Gidrobiol. zhurn.* 1999. T. 35, № 1. S. 22–42.
7. Matematicheskaja statistika dlja psihologov. URL: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/>
8. Metody hidroekolohichnykh doslidzen poverkhnevyykh vod / O. M. Arsan, O. A. Davydov, T. M. Diachenko ta in.; [za red. V. D. Romanenka] ; NAN Ukrainy. In-t hidrobiolohii. K. : LOHOS, 2006. 408 s.
9. Mizandroncev I. B. Himicheskie processy v donnyh otlozhenijah vodoemov. Novosibirsk : Nauka, 1990. 176 s.
10. Moiseenko T. I. Biodostupnost' i jekotoksichnost' metallov v vodnyh sistemah: kriticheskie urovni zagrjaznenija. *Geohimija*. 2019. T. 64, № 7. S. 675–688.
11. Mur Dzh., Ramamurti S. Tjzhelye metally v prirodnyh vodah. M. : Mir, 1987. 265 s.
12. Papina T. S. Transport i osobnosti raspredelenija tjzhelykh metallov v rechnykh ekosistemah. Novosibirsk : SO RAN, 2001. 58 s.
13. Halafjan A. A. Promyshlennaja statistika: Kontrol' kachestva, analiz processov, planirovanie jeksperimentov v pakete STATISTICA : Uchebnoe posobie. M. : Knizhnyj dom «Librokom», 2013. 384 s.
14. Khimko R. V., Merezhko O. I., Babko R. V. Mali richky – doslidzhennia, okhorona, vidnovlennia. K. : Instytut ekolohii, 2003. 378 s.
15. Khomenchuk V. O. Biokhimichni osoblyvosti pronyknennia i rozpodilu deiakykh vazhkykh metaliv v orhanizmi koropa luskatoho : avtoref. dys. ... kand. biol. nauk. Lviv, 2003. 18 s.
16. Stumm W., Morgan J.J. Aquatic Chemistry (3rd edn.). New York : John Wiley & Sons. 1996. 515 p.
17. Valko M., Morris H., Cronin M.T. Metals, toxicity and oxidative stress. *Current Medical Chemistry*. 2005. Vol. 12. P. 1161–1208.
18. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. *Fish Physiology*. London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. 497 p.
19. Xiangdong Li, Zhenguo Shen, Onyx W.H Wai, Yok-Sheung Li. Chemical Forms of Pb, Zn and Cu in the Sediment Profiles of the Pearl River Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 2001. Vol. 42(3). P. 215-223.

V. O. Khomenchuk, N. O. Vovchek, V. Ya. Byyak, O. O. Rabchenyuk, V. Z. Kurant
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

A COMPREHENSIVE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF HEAVY METALS POLLUTION IN ECOSYSTEMS OF SMALL RIVERS IN THE WESTERN PODILLIYA

The metal content (Ferrum, Cobalt, Manganese, Zinc, Copper) in water, bottom sediments and tissues of freshwater fish (carp, crucian carp, pike, perch) from small rivers of Western Podillya (Seret, Strypa, Zolota Lypa) was studied. High concentrations have been found in the water and bottom sediments of the Ferrum and Manganese, which is probably due to the inflow of these metals from the bottom sediments in conditions of oxygen deficiency. The high content of mobile form of Ferrum, Cobalt, Manganese in the bottom sediments of the Zolota Lypa can lead to secondary pollution of the water column and pose a potential danger to aquatic organisms. Individual mechanisms of accumulation and distribution in the body of fish were established for different metals. Higher concentrations in the liver and gills of the studied fish species of Ferrum, Manganese and Zinc and significantly lower contents of Cobalt and Copper were observed. The metal content in fish tissues was characterized by high variability, had a pronounced tissue and species specificity. Correlation relations between metal content in water, bottom sediments and fish tissues from small rivers of Western Podillia are analyzed. Positive correlations have been established between the content of the gross form of Ferrum in the bottom sediments, in the gills of crucian carp, perch and pike and the liver of perch and pike. The amount of Manganese in the water correlated with the metal content in the gills of carp and pike. The increase in the amount of Zinc in the bottom sediments (gross form) led to its accumulation in the gills of all fish species, as well as in the liver of perch and pike, as evidenced by the high positive values of Pearson's coefficients (0.71-0.91). The Copper content in water and bottom sediments (gross form) correlated with their amount in the liver of perch and pike, which may serve as a bioindication of pollution of aquatic ecosystems by this metal.

Keywords: small rivers, bottom sediments, heavy metals, fish, correlation analysis.

Надійшла 21.10.2021.

ІХТІОЛОГІЯ

УДК 597-152.6(282.247.325.8)

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.8

¹І. Ю. БУЗЕВИЧ, ¹Г. О. КОТОВСЬКА, ¹Д. С. ХРИСТЕНКО, ²Н. Я. РУДИК-ЛЕУСЬКА

¹Інститут рибного господарства НААН України

вул. Обухівська, 135, Київ, 03164

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041

e-mail: dskhrist@gmail.com

СУЧАСНИЙ СТАН ОСНОВНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВИДІВ РИБ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

У роботі проаналізовано кількісні та якісні показники основних промислових видів риб Кременчуцького водосховища і визначено параметри оптимального улову ставними сітками.

У якості первинних матеріалів використано дані контрольних промислових уловів у Кременчуцькому водосховищі впродовж 2021 року. При відборі та аналізі проб застосовували загальноприйнятні в іхтіологічних дослідженнях методики. У ході досліджень було зібрано матеріали стосовно основних промислових видів риб Кременчуцького водосховища. Відібрані матеріали дозволили визначити рибопродуктивність водойми.

Робота надає актуальну інформацію щодо основних біологічних показників промислових видів риб Кременчуцького водосховища в умовах сучасного антропогенного пресу та розраховує науково обґрунтовані параметри оптимального промислового вилову.

Стаття може бути використана науковцями, практиками в рибництві, органами рибоохорони та державної екологічної інспекції для прогнозування майбутніх уловів, а також надає інформацію стосовно сучасної ситуації з основними промисловими видами риб Кременчуцького водосховища. Отриманий матеріал щодо основних промислових видів риб допоможе приймати відповідні рішення щодо рибоохоронних заходів на досліджуваному водному об'єкті.

Ключові слова: основні промислові види риб, Кременчуцьке водосховище, лящ (*Abramis brama*), плітка (*Rutilus rutilus*), плоскирка (*Blicca bjoerkna*), судак (*Sander lucioperca*), промислові улови.

Промислове рибальство у внутрішніх водоймах займає вагоме місце в економіці країн, що розвиваються, і має не тільки економічну, але й культурну складову [10]. Останнім часом достатньо гостро постало питання раціональної сталої експлуатації природних популяцій великих внутрішніх водойм, особливо у станах з економікою, що розвивається [11]. Дніпровський каскад водосховищ є одним із найбільших каскадів руслових водосховищ в Європі [8]. Кременчуцьке водосховище є одним з найбільших і найпродуктивніших штучних водойм Дніпровського каскаду. Основу промислових уловів складають чотири основні види риб: лящ, плітка, судак, плоскирка [9].

Формування промислових стад риб у Кременчуцькому водосховищі відбувалось за рахунок іхтіофауни власне р. Дніпра, його заток, заплавлених озер й інших водойм, розташованих у зоні затоплення. Порівняно з ділянками Дніпра до його зарегулювання, умови природного відтворення риб помітно погіршали в результаті зменшення нерестових площ та

зникнення лучної рослинності, а умови нагулу риб, навпаки, значно покращились завдяки збільшенню кормових ресурсів і площ нагулу. У період сталого функціонування водосховища забезпеченість нерестовищами була достатньою, проте подальша дія негативних чинників, зокрема відчуження частини мілководь, заростання, замулення, несприятливий гідрологічний режим призвели до погіршення кількісних та якісних характеристик нерестового фонду. Унаслідок цього, за показником кількості плідників на одиницю площі нерестового фонду Кременчуцьке водосховище посідає друге місце на каскаді (після Каховського); щільність плідників ляща Кременчуцького водосховища перевищує цей показник для Канівського водосховища у 6,7 раза, плітки – у 2,1 раза, судака – у 1,9 раза [1, 2, 4].

Нині ця водойма знаходиться під інтенсивним антропогенним тиском, тому вивчення основних промислових видів риб необхідне для розробки прогнозу науково обґрунтованого, невиснажливого використання водних біоресурсів.

Метою пропонованого дослідження є аналіз іхтіологічних та рибогосподарських показників основних промислових видів риб для проведення моніторингу на рибогосподарській водоймі та отримання первинних матеріалів для визначення лімітів промислового вилову. Робота надає актуальну сучасну інформацію щодо стану основних популяцій промислових видів риб Кременчуцького водосховища, що є відправною точкою для проведення подальших розрахунків лімітів їх промислового використання.

Матеріал і методи досліджень

Для цієї роботи були використані результати польових досліджень, які здійснювалися на Кременчуцькому водосховищі впродовж 2021 р. у районі Леськи-Худяки. Іхтіологічний матеріал відбирався з уловів контрольного порядку сіток із кроком вічка 30–120 мм. Усього за період дослідження було перевірено улови – 1082 сіткодів контрольних сіток, із яких проаналізовано 14219 екз. ляща, 1951 екз. плоскирки, 6646 екз. плітки, 3004 екз. судака.

Індивідуальні біологічні характеристики (вік, довжину, масу) визначали за загальноприйнятими методиками [3, 5, 7] з усередненням за віковими класами.

Віковий склад основних промислових видів риб визначали на основі їх розмірної структури, із перерахунком за допомогою кореляційних таблиць, створених на підставі емпіричних залежностей <довжина-вік> [3].

Обсяги промислових уловів визначали згідно з даними офіційної промислової статистики органу виконавчої влади, який реалізує державну політику у сфері рибного господарства.

Обчислення проводили на комп'ютері в електронних таблицях MS Excel 2016.

Результати досліджень та їх обговорення

У складі іхтіофауни Кременчуцького водосховища (без урахування придаткової системи) виявлено 43 види риб, які відносяться до 10 родин. Основу промислового запасу складають бентофаги, частка хижаків не перевищує 10 %.

В уловах порядку дрібновічкових сіток ($a=38-40$ мм) у 2021 р. зафіксовано 14 видів риб. Основу уловів як за чисельністю (39,5 %), так і масою (37,4 %) формувала плітка, на другому місці знаходився судак (відповідно 17,7 % та 31,0 %), тобто склад видів-домінантів у цілому відповідав минулорічному (за виключенням суттєвого зниження питомого вилову ляща – із 21,3 % до 8,2 %). Показники питомого вилову плоскирки, окуня та чехоні залишилися на минулорічному рівні; вилов синця зберігає тенденцію до зростання (у 2021 р. – до 13,4 % за масою проти 8,1 % у 2020 р. та 1,3 % у 2019 р.) (табл. 1).

У крупновічкових сітках, традиційно для Кременчуцького водосховища, основний улов припадає на ляща – у 2021 р. 94,9 % за чисельністю та 67,6 % за масою. Частка вселених рослиноїдних риб у поточному році збільшилась до 30,0 % (в основному за рахунок сіток з кроком вічка $a=100-120$ мм; у сітках з $a=75-80$ мм 82,8 % улову припадає на частку ляща). Третім за значимістю видом у крупновічкових сітках є сом, частка якого у 2021 р. зменшилась до 1 %, проте абсолютні показники вилову цього виду на зусилля крупновічкових сіток залишилися на середньо багаторічному рівні.

Структурні показники промислової іхтіофауни в уловах порядку промислових сіток (а=38, 40, 75, 80, 90, 100, 110, 120 мм) у Кременчуцькому водосховищі у 2021 р. (у перерахунку на зусилля), %

Види риб	Крок вічка, мм			
	38–40		75–120	
	чисельність	маса	чисельність	маса
Лящ	8,2	6,9	94,9	67,6
Судак	17,7	31,0	0,2	0,3
Чехоня	2,0	1,9	0,0	0,0
Плітка	39,5	37,4	0,1	0,1
Плоскирка	11,6	6,9	0,0	0,0
Синець	19,1	13,4	0,0	0,0
Карась сріблястий	0,0	0,0	0,1	0,0
Сом	0,0	0,0	0,2	1,0
Окунь	1,8	2,4	0,1	0,1
Товстолоби	0,0	0,0	4,0	30,0
Інші*	0,0	0,1	0,5	0,9

Примітка. * – Сазан, краснопірка, рибець звичайний.

Динаміка промислових уловів у Кременчуцькому водосховищі, як і у більшості водосховищ каскаду, в останні 10 років характеризується помітною нестабільністю і характеризується як зростанням (зокрема до 4,3–4,4 тис. т у 2009–2010 рр. та 4,7–4,9 тис. т у 2016–17 рр.), так і зниженням (до 3,2 тис. т у 2011–2013 рр.) вилову досліджених видів риб. Головними чинниками, які визначали динаміку промислових уловів, були коливання вилову ляща, карася сріблястого, верховодки та тюльки. Так, найбільше за останні роки зростання уловів було забезпечено такими видами, як лящ (22,4 %), карась сріблястий (18,7 %), плоскирка (15,5 %) та судак (13,5 %); основне зниження уловів було зафіксовано для верховодки та тюльки. У 2019 р. вилов зріс до 5,1 тис. т (в основному за рахунок сріблястого карася), у 2020 р. – зменшився до 4,5 тис. т, що, насамперед, зумовлено падінням вилову ляща (47,5 % загального зменшення улову), рослиноїдних риб (116,3 %) та верховодки і тюльки (15,7 %).

Рибопродуктивність водосховища у 2021 р. склала 22,0 кг/га, що відповідає середній по каскаду (20,2 кг/га).

Лящ. Промисловий вилов ляща в останні 10 років характеризувався флуктуаціями у межах 1,4 тис.т – 1,9 тис.т, проте чітко виражена тенденція до збільшення промислового вилову, яка почалася у 2005 р., простежується і надалі. Так, у 2008–2009 рр. промислові улови досягли рівня 1,8 тис. т, потім у 2010–2013 рр. улови ляща зменшились до 1,4 тис. т, із деяким підвищенням у 2012 р. Надалі у 2014–2015 рр. вилов стабілізувався на рівні 1,6 тис. т із підвищенням у 2016 р. – до 1,9 тис. т, що є найбільшим показником за останні 35 років. У 2017–2021 рр. вилов знову повернувся до рівня 1,5–1,6 тис. т, що на даному етапі розвитку промислової популяції є збалансованим показником.

У промислових уловах 2021 р. виявлено 16 вікових груп ляща і граничний вік цього виду був 16 років (максимальна довжина – 53 см). Перші статевозрілі самці трапляються у віці чотирьох, а самки – п'яти років, але масове статеве дозрівання самців встановлене під час досягнення ними довжини 30–32 см у п'ятирічному віці, а самок – 32–34 см у шість років. Ядро нерестового стада становили особини від п'яти до восьми років. Основу популяції в уловах (82 %) формували особини від шестирічного до десятирічного віку довжиною 32–45 см, тобто структура варіаційного ряду протягом трьох суміжних років характеризується певною стабільністю з деяким розширенням модального ряду у 2020 р. Частка поповнення різко зменшилася (до 12,2 % проти 34,9 % у 2020 р., але знаходиться на рівні 2017–2019 рр.), проте зниження частки десяти – одинадцятирічників (сумарна частка старших вікових груп зменшилася до 12,7 %) зумовило стабілізацію середньовиваженого віку на рівні 7,3 року. Інтенсивність промислового навантаження на середні вікові групи може бути оцінена як помірна (рис. 1).

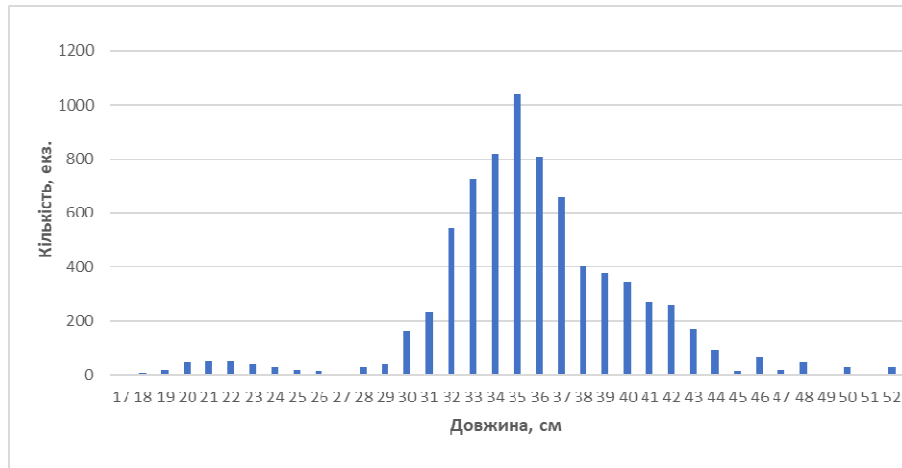


Рис. 1. Розмірний склад ляща з контрольних умовів 2021 р.

Якщо характеризувати зміни вікової структури популяції ляща у 2019–2021 рр., то підтверджується висновок про оптимальний (з точки зору формування репродуктивного та промислового ядра) розподіл частот варіаційного ряду та зменшення абсолютних показників поповнення. Так, чисельна генерація 2010 р. простежується протягом 10 суміжних років і затухає на 11 рік: частка дев'ятирічників у 2019 р. склала 12,2 %, частка десятирічників у 2020 р. – 9,2 %, а одинадцятирічників у 2021 – 3%). Враховуючи динаміку улову на зусилля контрольних сіток, можна зробити висновок про помірну інтенсивність елімінації середніх та старших вікових груп ляща. У результаті крива улову ляща Кременчуцького водосховища характеризується достатньо широкою вершиною та наближеним до гострого кутом нахилу її правого крила до осі абсцис.

Середньовиважена довжина ляща в уловах крупновічкових сіток у 2021 р. склала 37,9 см, маса – 1170 г, тобто основний промисловий запас сформований за рахунок високопродуктивних розмірно-вікових груп.

У цілому структура уловів свідчить про раціональний розподіл промислового навантаження за віковими групами у 2021 р., за умови ощадливого використання запасу середніх вікових груп риб. Досягається це за рахунок подальшого збільшення частки старших вікових груп в уловах (нормальним середньовиваженим віком популяції ляща Кременчуцького водосховища можна вважати 8,5–9,5 років), при цьому навантаження на праве крило варіаційного ряду слід підтримувати на невисокому рівні. Із цією метою заборону на використання сіток із кроком вічка менше 72 мм доцільно подовжити і на 2021 р.

За даними досліджень 2021 р., інтегральні показники, які характеризують динаміку кількісних показників іхтіопопуляцій, у цілому, знаходяться в межах, які можна вважати нормальними для середньоциклових видів із помірним рівнем зовнішнього навантаження (табл. 2).

Таблиця 2

Середньопопуляційна річна смертність основних промислових видів риб Кременчуцького водосховища (за даними 2021 р.)

Види риб	Смертність		
	загальна (φ_z)	природна (φ_M)	промислова (φ_F)
Лящ	0,38	0,17	0,21
Плоскирка	0,53	0,30	0,23
Плітка	0,46	0,23	0,23
Судак	0,54	0,31	0,23
Карась срібл.	0,34	0,19	0,15

Судак. Улови судака Кременчуцького водосховища за останні 20 років відрізнялись значною нестабільністю – з 38 т у 2006 р. до 220 т у 2016 р. У цілому, динаміка вилову виглядає наступним чином: у 2001 р. вилов становив 141 т. У подальшому до 2006 р. вилов зменшився до 38 т у 2006 р. Далі улови судака пішли вгору і в 2009–2015 рр. стабілізувалися і досягли 79–95 т. У 2016 р. вилов різко збільшився і склав 220 т, що є найбільшим показником за останні 20 років. У подальшому вилов зменшився до 178 т у 2019 р.

Популяція судака в уловах 2021 р. була представлена 9 віковими групами, граничний вік яких складав 11 років (максимальна довжина в уловах – 68 см). Її основу (9,1 %) склали тричотирирічки довжиною 30–38 см. Таким чином, структурні показники популяції судака в період 2016–21 рр. характеризуються незначними міжрічними коливаннями, зокрема довжина модального ряду змінювалась від 2 до 3 років. Частка поповнення залишається стабільно високою – питома чисельність річників-трирічок у 2021 р. склала 20,3. Чисельна генерація 2016 р., яка в минулому значно впливала на середній вік популяції, в уловах 2021 р. також простежується – частка трирічників збільшилась до 27,8 %; проте зменшення наповнення правого крила варіаційного ряду зумовило стабілізацію середньовиваженого віку на рівні 3,0 років (рис. 2).

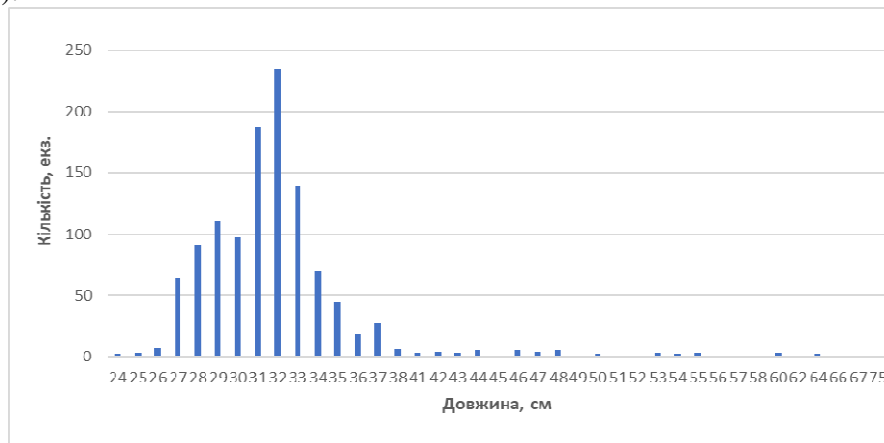


Рис. 2. Розмірний склад судака з контрольних уловів 2021 р.

Разом з тим слід зазначити, що абсолютні показники вилову середніх вікових груп на зусилля порядку сіток залишилися на минулорічному рівні. Стабільно невисока частка середніх вікових груп свідчить, що зазначене збільшення уловів базується насамперед на посиленій експлуатації чотири-п'ятирічників, що з точки зору накопичення іхтіомаси за розмірновіковими класами не є оптимальним. Невисока чисельність п'яти-семирічників та відсутність старших вікових груп в уловах свідчить, що тенденція редукції правого крила варіаційного ряду в останні роки посилилась. У результаті кут нахилу кривої улову судака до осі абсцис різко збільшився (критична точка стабільно припадає на п'ятирічок). Середньовиважена довжина судака в уловах 2021 р. склала 34,3 см, маса – 524 г; при цьому на частку непромислових контингентів припадало 93,2 % кількості особин у вирівняному варіаційному ряді (у перерахунку на зусилля).

Плітка. Вилов плітки в останні 10 років характеризувався наявністю періодів стабілізації на рівні 1,2–1,4 тис. т з помітним зниженням в окремі роки. У 2018–21 рр. вилов склав 1,2 тис. т, що відповідає середньобогаторічним показникам.

У промислових уловах плітки Кременчуцького водосховища у 2021 р. зафіксовано 8 вікових класів, граничний вік становив 10 років (максимальна довжина в уловах – 28 см). Основу уловів у 2021 р. (84,6 %) склали шести-дев'ятирічники, довжиною 21–28 см, тобто мода варіаційного ряду змістилася у бік правого його крила. Частка молодших вікових груп при цьому зменшилась з 49,1 % у 2019 р до 9,4 %, проте певною мірою це може бути пов'язане з відсутністю на промислі сіток з $a=30$ мм. Так, вилов чотирирічників на зусилля дрібновічкових сіток у 2019 р. склав 1085 екз., тоді як вилов п'ятирічників у 2020 р. – 558 екз.,

тобто загальна смертність дорівнювала $\varphi Z=0,49$, що для даного виду в Кременчуцькому водосховищі є цілком прийнятним показником. Частка старших вікових груп, навпаки, різко збільшилась до 20,3 %, що й зумовило зростання середньовиваженого віку з 4,7 р. до 7,1 р. Таким чином, у поточному році варіаційний ряд плітки зберігає вигляд кривої з гострою вершиною та різким спадом (рис. 3).

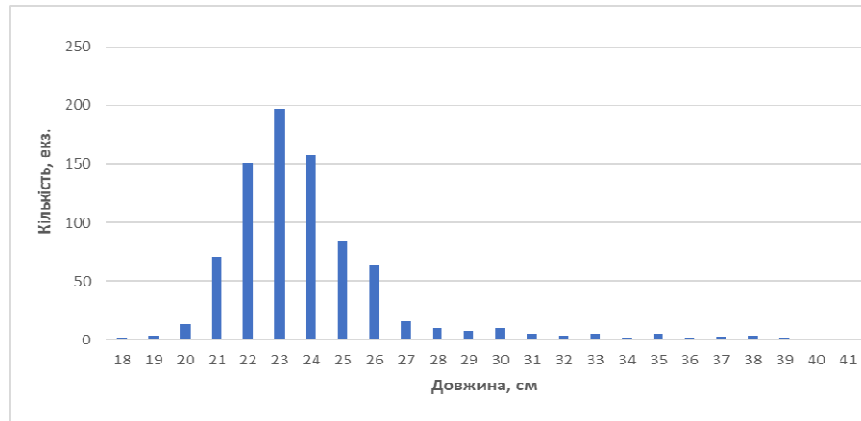


Рис. 3. Розмірний склад плітки з контрольних уловів 2021 р.

Враховуючи показники абсолютного вилову на зусилля контрольних сіток у 2020–21 рр., основною причиною змін у віковій структурі популяції плітки слід вважати стабільне поповнення її чисельності на тлі переходу чисельного залишку до старших вікових груп: вилов восьмирічників на зусилля порядку дрібновічкових сіток у 2020 р. склав 343 екз., а 2021 р. – 452 екз. При цьому процеси формування промислового та репродуктивного ядра популяції цього виду в Кременчуцькому водосховищі останніми роками не можуть бути оцінені як сприятливі, що викликає необхідність у подальшому обмеженні промислового навантаження на ліве крило варіаційного ряду за рахунок виключення сіток кроком вічка менше $a=36$ мм.

Плоскирка. Динаміка улову плоскирки за останні 10 років характеризується певною нестабільністю з коливаннями від 302 т до 616 т. Разом із тим, за суттєвими міжрічними коливаннями, вилов плоскирки виявляє загальну тенденцію до збільшення і у 2020 р. становив 573 т, що перевищує середньобагаторічний (2007–2015 рр.) показник.

Плоскирка в уловах 2021 р. була представлена 9 віковими класами, граничний вік склав 10 років (максимальна довжина в уловах – 27 см), тобто структурні показники популяції цього виду в порівнянні з минулим 2020 роком значно покращились. Основу уловів (89,7 %) склали особини чотири-семирічного віку довжиною 16–20 см. Частка поповнення зменшилася, але залишається на достатньо високому рівні – 4,5 %. Частка старших вікових груп збільшилася у 2021 р. з 0,6 % до 2,1 %, що зумовило зростання середньовиваженого віку до 5,2 років, тобто, враховуючи зменшення вилову плоскирки на зусилля проаналізованого порядку сіток, відбулись певні зміни тенденції в динаміці структурних показників плоскирки – інтенсивна елімінація середніх вікових груп супроводжується зменшенням поповнення. Так, якщо у 2019 р. вилов чотирирічників на зусилля дозволених на промислі дрібновічкових сіток склав 223 екз., у 2020 р. – 80,0 екз., у 2021 р. – 204,0 екз. При цьому чисельність п'ятирічників у 2020 р. склала 47 екз., тоді як чисельність шестирічників у 2021 р. – 26 екз., що відповідає річній смертності ($\varphi Z=0,45$), тобто, у порівнянні з минулим роком навантаження на середні вікові групи плоскирки знизилось. Проте висновок про достатньо вузькі рамки промислового навантаження (зумовлені, з одного боку, дозволеним кроком вічка в промисловий сітках, з іншого – низькою товарною цінністю молодших вікових груп) підтверджується і за даними досліджень 2021 р. Варіаційний ряд плоскирки в уловах зберігає вигляд кривої з достатньо гострою вершиною і плавним підйомом та різким спадом (рис. 4).

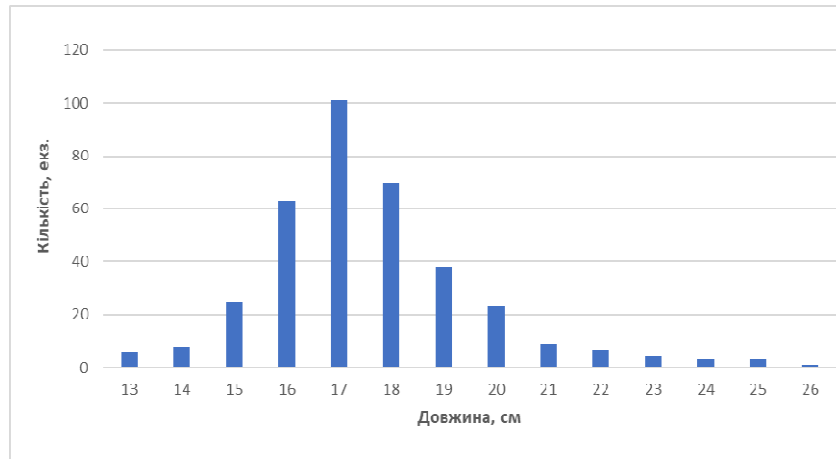


Рис. 4. Розмірний склад плоскирки з контрольних умовів 2021 р.

Чинними на сьогодні правилами рибальства безумовно дозволеними є сітки з кроком вічка 30–49 мм та 70 мм і більше [6]. Разом з тим в останні роки спостерігається значне збільшення запасу сріблястого карася – адвентивного виду, який у всіх водосховищах утворив чисельні популяції [4]. Так, середньорічні його улови в Кременчуцькому водосховищі в період 2000–2005 рр. склали 44,6 т, у 2010–15 р.р. – 172,3 т, у 2016–20 рр. – 462,4 т. При цьому, як свідчать дані табл. 1, у традиційних промислових сітках сріблястий карась займає незначний сегмент вилову – не більше 0,1 % за масою. Разом із тим, у сітках із кроком вічка 50–60 мм даний вид є домінуючим з часткою в уловах до 60 % за масою (табл. 3), слід зазначити, що у 2013 р. цей показник складав 8,1 %.

Таблиця 3

Структура уловів із сіток з кроком вічка a=50–60 мм у літній період

Види	Лящ	Плітка	Судак	Карась ср.	Плоскирка	Окунь	Щука	Інші види
Чисельність	12,9	1,0	0,7	72,4	4,9	5,5	1,1	1,5
Маса	20,6	1,1	0,7	60,1	3,0	5,7	3,6	5,2

Питомий вилов масових дрібночастикових видів у середньому склав 9,9 %, що свідчить про достатньо високу селективність цих сіток по відношенню до основного об’єкта промислу – сріблястого карася. Сумарна частка крупночастикових видів в уловах із сіток з a=50–60 мм склали 15,9 % за чисельністю, що відповідає чинним нормам вилову [6].

Для оцінки розмірно-вагових показників сріблястого карася та основного дрібночастикового виду – плітки, були проаналізовані улови з промислових сіток із кроком вічка 50, 60 мм із Кременчуцького водосховища. Результати представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Розмірна структура промислових уловів сріблястого карася та плітки Кременчуцького водосховища в сітках з a=50–60 мм, %

Вид	Розмірні групи, см							Середня довжина, см
	19–20	21–22	23–24	25–26	27–28	29–30	31–32	
Плітка	14,8	44,4	16,7	7,4	11,1	5,6	0,0	22,9±10,0
Карась ср.	20,2	39,8	15,4	13,3	8,0	2,8	0,5	22,7±1,8

Дані табл. 3 свідчать, що за фактичними розмірними показниками уловів із сітки з $a=50-60$ мм на Кременчуцькому водосховищі можуть бути оцінені як достатньо селективні по відношенню до найбільш продуктивних розмірно-вікових груп сріблястого карася та плітки.

Відповідно, структурні показники популяції сріблястого карася Кременчуцького водосховища свідчать про доцільність запровадження спеціалізованого лову сітками з кроком вічка 50–60 мм, які ефективно обловлюють найбільш продуктивні розмірно-вагові групи цього виду. Так, середня маса сріблястого карася в зазначених сітках становить 400–500 г, при цьому зазначеними сітками стабільно забезпечується не менше 60 % загальної маси улову цього виду всім порядком промислових сіток (табл. 5).

Таблиця 5

Показники розподілу улову сріблястого карася за кроком вічка промислових сіток у Кременчуцькому водосховищі

Показники		Крок вічка, мм		
		36–40	50–60	75–120
Частка від загального улову виду, %	чисельність	14,9	83,1	2,0
	іхтіомаса	7,0	88,5	4,4
Середня маса, г		178	401	854

Фактичний рівень промислового навантаження на середні вікові групи карася (особини довжиною 18–22 см), які обловлюються сітками з кроком вічка менше 50 мм, може бути оцінений як низький. Це може бути обумовлене невисоким попитом на ці групи карася (середня їх маса становить 0,15–0,25 кг, тобто вони характеризуються невисокими товарними якостями). Враховуючи динаміку основних біологічних показників карася з Кременчуцького водосховища (зокрема міцне поповнення, розширення вікового ряду, лінійний та ваговий ріст), можна зробити висновок, що популяції цього виду знаходиться в стані екологічного прогресу, а раціональний облов формованої іхтіомаси може бути забезпечений за рахунок використання сіток з кроком вічка 50–60 мм.

Таким чином, основні показники, які характеризують рибогосподарську та природоохоронну складові здійснення промислу сітками з кроком вічка 50–60 мм (частка основних об'єктів промислу, розмірно-вагові показники, вилов маломірних особин промислово-цінних видів) у цілому відповідають вимогам чинного законодавства. Враховуючи необхідність інтенсифікації промислу сріблястого карася та його високу фактичну питому масу в уловах із сіток із кроком вічка 50–60 мм, здійснення спеціалізованого промислу цього виду на дніпровських водосховищах може розглядатися як засіб оптимізації використання сформованої сировинної бази промислу. Для мінімізації негативного впливу такого лову на структурно-функціональні показники популяції ляща, спеціалізований лов слід орієнтувати на ділянки скупчення сріблястого карася, тобто мова йде про спеціалізований промисел із часткою сріблястого карася та плітки не менше 50 %. Враховуючи, що сріблястий карась та плітка в уловах цих сіток представлені виключно статевозрілими особинами (табл. 1), норми допустимого прилову нестатевозрілих особин в сітках з кроком вічка 50–60 мм необхідно встановити на рівні 10 %.

Висновки

1. У складі іхтіофауни Кременчуцького водосховища (без урахування придаткової системи) виявлено 43 види риб, які відносяться до 10 родин. Основу промислового запасу складають бентофаги, частка хижаків не перевищує 10 %.
2. Основу уловів дрібновічкових сіток у 2021 р. як за чисельністю, так і масою формувала плітка, а крупновічкових – лящ.
3. У промислових уловах 2021 р. зафіксовано 16 вікових груп ляща, максимальна довжина – 53 см, граничний вік – 16 років. Перші статевозрілі самці трапляються у віці чотирьох, а самки – п'яти років, але масове статеве дозрівання самців встановлено під час досягнення ними довжини 30–32 см у п'ятирічному віці. Інтенсивність елімінації середніх та старших вікових груп ляща можна оцінити як помірну.

4. Структурні показники популяції судака в період 2016–2021 рр. характеризуються незначними міжрічними коливаннями, зокрема довжина модального ряду змінювалася від 2 до 3 років. Частка поповнення залишається стабільно високою – питома чисельність річників-трирічок у 2021 р. склала 20,3 %.
5. Варіаційний ряд плітки зберігає вигляд кривої з гострою вершиною та різким спадом. Процеси формування промислового та репродуктивного ядра популяції в останні роки не можуть бути оцінені як сприятливі, що викликає необхідність у подальшому обмеженні промислового навантаження на ліве крило варіаційного ряду за рахунок виключення сіток кроком вічка менше за $a=36$ мм.
6. Варіаційний ряд плоскирки в уловах зберігає вигляд кривої з достатньо гострою вершиною і плавним підйомом та різким спадом. Але ця картина спричинена достатньо вузькими рамками промислового навантаження. Із одного боку воно зумовлене дозволеним кроком вічка в промислових сітках, який не є ефективним, а з іншого – низькою товарною цінністю молодших вікових груп, що підтверджується і даними досліджень.
7. Беручи до уваги несприятливу картину промислового стада плітки та плоскирки, запропоновано вносити відповідні зміни і підтримувати обмежувальні заходи щодо величини кроку вічок ставних сіток.

1. Діденко О. В. Сучасний стан запасів плоскирки (*Blicca bjoerkna* L.) Кременчуцького водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2008. № 3. С. 19–22.
2. Кружиліна С. В. Трофічні взаємовідносини білого товстолобика і молоді ляща і плоскирки Кременчуцького водосховища. *Рибне господарство*. 2005. Вип. 64. С. 116–121.
3. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риб з великих водосховищ і лиманів України: Затв. наказом Держкомрибгоспу України № 166 від 15.12.98. Київ, 1998. 47 с.
4. Новицький Р. О. Масштаби, спрямованість та наслідки інвазій чужорідних видів риб у Дніпровські водосховища : автореф. дис... на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук. Київ, 2019. 41 с.
5. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Пищевая промышленность, 1966. 243 с.
6. Правила промислового рибальства у внутрішніх рибогосподарських водних об'єктах України, затверджені наказом Державного комітету рибного господарства України від 18.03.99 N 33.
7. Чугунова И. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. Москва : АН СССР, 1959. 164 с.
8. Agarwal S. C. Inland Fisheries: Conservation and Processing. CRC Press, 2021. 428 p.
9. Ainsworth R., Cowx I. G., Funge-Smith S. J. A review of major river basins and large lakes relevant to inland fisheries. 2021. 314 p.
10. Cooke, S. J., Nyboer, E., Bennett, A., Lynch, A. J., Infante, D. M., Cowx, I. G., Taylor, W. W. The ten steps to responsible Inland fisheries in practice: reflections from diverse regional case studies around the globe. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2021. С. 1–35.
11. Sanon, V. P., Ouedraogo, R., Toé, P., El Bilali, H., Lautsch, E., Vogel, S., & Melcher, A. H. Socio-Economic Perspectives of Transition in Inland Fisheries and Fish Farming in a Least Developed Country. *Sustainability*. 2021. Т. 13. №. 5. С. 2985.

References

1. Didenko O. V. Suchasnyi stan zapasiv ploskyrky (*Blicca bjoerkna* L.) Kremenchutskoho vodoshkovyshcha. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*. 2008. № 3. S. 19–22. [in Ukrainian]
2. Kruzhylyna S. V. Trofichni vzaiemovidnosyny biloho tovtolobyka i molodi liashcha i ploskyrky Kremenchutskoho vodoshkovyshcha. *Rybne hospodarstvo*. 2005. Vyp. 64. S. 116–121. [in Ukrainian]
3. Metodyka zboru i obrobky ikhtiologichnykh i hidrobiologichnykh materialiv z metoiu vyznachennia limitiv promysloвого vyluchennia ryb z velykykh vodoshkovyshch i lymaniv Ukrainy: Zatv. nakazom Derzhkomrybhospu Ukrainy № 166 vid 15.12.98. Kyiv, 1998. 47 s. [in Ukrainian]
4. Novytskyi R. O. Masshtaby, spriamovanist ta naslidky invazii chuzhoridnykh vydiv ryb u Dniprovski vodoshkovyshcha : avtoref. dys. ... d-ra biol. nauk. K., 2019. 41 s. [in Ukrainian]
5. Pravdin I. F. Rukovodstvo po izucheniju ryb. Moskva: Pishhevaja promyshlennost', 1966. 243 s. [in Russian]
6. Pravyla promysloвого rybalstva u vnutrishnikh rybohospodarskykh vodnykh ob'ektakh Ukrainy, zatverdzeni nakazom Derzhavnoho komitetu rybnoho hospodarstva Ukrainy vid 18.03.99 N 33. [in Ukrainian]

7. Chugunova I. I. Rukovodstvo po izucheniju vozrasta i rosta ryb. Moskva: AN SSSR, 1959.164 s. [in Russian]
8. Agarwal S. C. Inland Fisheries: Conservation and Processing. CRC Press, 2021. 428 p.
9. Ainsworth R., Cowx I. G., Funge-Smith S. J. A review of major river basins and large lakes relevant to inland fisheries. 2021. 314 p.
10. Cooke, S. J., Nyboer, E., Bennett, A., Lynch, A. J., Infante, D. M., Cowx, I. G., Taylor, W. W. The ten steps to responsible Inland fisheries in practice: reflections from diverse regional case studies around the globe. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2021. C. 1–35.
11. Sanon, V. P., Ouedraogo, R., Toé, P., El Bilali, H., Lautsch, E., Vogel, S., & Melcher, A. H. Socio-Economic Perspectives of Transition in Inland Fisheries and Fish Farming in a Least Developed Country. *Sustainability*. 2021. T. 13. №. 5. C. 2985.

¹I. Yu. Buzevich, ¹G. O. Kotovska, ¹D. S. Khrystenko, ²N. Ya. Rudik-Leuska

¹Institute of Fisheries of NAAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CURRENT STATE OF THE MAIN COMMERCIAL FISH SPECIES OF KREMENCHUK RESERVOIR

The major quantitative and qualitative indicators of the main commercial fish species of the Kremenchug reservoir were analyzed in the study and the main parameters of the optimal commercial fisheries catch by gill nets were determined. Original materials for investigations were data of control commercial catches in the Kremenchug reservoir during 2021. Conservative techniques were used in sampling and analysis during ichthyological studies.

Materials on the main commercial fish species in the Kremenchug reservoir were collected. Biological materials from commercial gill nets were selected and the fish productivity of the reservoir was determined.

The work provides up-to-date information on the main biological indicators of commercial fish species of Kremenchug reservoir in modern conditions of anthropogenic press and calculates scientifically proven parameters of optimal commercial fish harvest.

The article can be used by scientists, practitioners, fisheries patrol and the State Ecological Inspectorate to predict future catches and knowledge of the current situation with the main industrial fish species in the Kremenchug Reservoir. Modern material on the main commercial fish species will help to see the real picture in the reservoir and take necessary fish protection measures.

Keywords: main commercial fish species, Kremenchuk reservoir, bream (Abramis brama), roach (Rutilus rutilus), white bream (Blicca bjoerkna), zander (Sander lucioperca), commercial catch.

Надійшла 15.10.2021.

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

УДК 581.1+582.23+582.73

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.9

Г. Б. ГУЛЯЄВА, Н. В. ЖИТКЕВИЧ, Т. Т. ГНАТЮК, В. П. ПАТИКА

Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАНУ
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ, 03143
e-mail: ab_k@ukr.net

ФОТОХІМІЧНА АКТИВНІСТЬ ЛИСТКІВ СОЇ ЗА ДІЇ ФІТОПАТОГЕННИХ БАКТЕРІЙ РІЗНОЇ ВІРУЛЕНТНОСТІ

Методом індукції флюоресценції хлорофілу виявлено, що ступінь деградації хлорофілу та пригнічення фотосинтетичної активності в листках сої за штучного інфікування бактеріальними штамми, виділеними з різних видів рослин родини *Fabaceae* залежала від вірулентності штамів: більш негативно діючим виявився виділений із рослин сої високо вірулентний штам *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* 9284, порівняно з виділеним із квасолі низько вірулентним до сої штамом – *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* 8843. За пролонгованої дії патогенних бактеріальних штамів *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 843 (два тижні) показано суттєве пригнічення каталазної і пероксидазної активності, що є свідченням посилення утворення АФК в тканинах листків. Виявлено, що високо вірулентний штам найістотніше пригнічував каталазну активність тканин листків.

Ключові слова: соя, *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, каталаза, пероксидаза, індукція флюоресценції хлорофілу, фотосистема II.

Соя – одна з основних білково-олійних культур із широким спектром застосування у харчовій, кормовій, технічній і медичній галузях. Завдяки значному попиту на сою, за останні п'ятдесят років світове її виробництво значно зросло за рахунок застосуванню основних стратегій – підвищення продуктивності та розширення посівних площ. Як азотфіксатор вона збагачує ґрунт азотом, покращує його структуру, є цінним попередником. Феномен культури полягає в тому, що за вегетаційний період нею синтезуються два врожаї – білка й рослинної олії. Білок сої за хімічним складом і вмістом амінокислот близький до тваринних білків, а за перетравленням – до казеїну молока [7, 8, 23]. Варто відзначити, що суттєвим фактором обмеження продуктивності сої є її ураження фітопатогенними збудниками різної природи, зокрема бактеріальної [14]. Одним із найбільш шкодочинних збудників посівів сої, що викликає пустульний бактеріоз, є – *X. axonopodis* pv. *Glycines*. Він переважно уражує листовий апарат і призводить до значних втрат урожаю – до 40 % у деяких регіонах. Разом із тим, ізоляти зазначеного вище збудника різного походження можуть відрізнятися за агресивністю та здатністю викликати реакцію надчутливості при зараженні несумісних рослин-хазяїв [14, 26]. Основними симптомами цього захворювання є численні дрібні пустули, утворені гіпертрофією і гіперплазією клітин паренхіми [11]. Останнім часом у посівах сої визначають ураження високо вірулентними до споріднених видів зернобобових збудниками, зокрема *X. axonopodis* pv. *phaseoli*, що викликає буру плямистість квасолі (до 2 % від загального ураження посівів сої) [1]. *X. axonopodis* pv. *phaseoli* є збудником однієї з найбільш розповсюджених і шкодочинних

хвороб в усьому світі, що значно обмежує урожайність квасолі [22]. Хазяями для цього збудника є багато видів *Phaseolius*: *Helianthus annuus*, *Lupinus polyphyllus*, *Phaseolus acutifolius* і *P. Coccineus* та безсимптомні хазяї: *Senna (Cassia) hirsuta* і *Digitaria scalarum* [24].

Збудники бактеріальних хвороб викликають зміни у вуглецевому метаболізмі рослини-живителя, зокрема змінюють спрямованість донорно-акцепторних зв'язків завдяки використанню вуглецю у якості джерела живлення й екскреції специфічних метаболітів. У роботі Gottig, et al. (2008) продемонстровано, що бактеріальний білок *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* впливає на фізіологічні реакції, включаючи відкриття продихів у рослин [12]. Варто відзначити, що за допомогою генетичних аналізів виявлено гени збудників бактеріальних хвороб, що модулюють реакції не тільки специфічних рослин-хазяїв, а й неспецифічних рослин, викликаючи реакцію надчутливості. Так, у роботі Kim et al. підтверджено існування специфічних взаємодій між *X. axonopodis* pv. *glycines* й рослинами, що не є хазяями, й виділено білок-елісітор HraG, що відповідає за індукцію реакції надчутливості в рослинах, що не є хазяями [16].

Проте, особливості фізіолого-біохімічних реакцій рослин за інфікування як високо вірулентними, так і низько вірулентними штамми збудників з'ясовані недостатньо. У той же час, для експрес-аналізу особливостей фізіологічної реакції рослин на стрес, обумовлений взаємодією рослина-патоген, доцільним є застосування методу індукції флуоресценції хлорофілу [9, 15, 20].

Тому метою нашої роботи було з'ясування особливостей фізіолого-біохімічних реакцій рослин сої за інокуляції штамми бактеріозів різного походження – з листків квасолі і сої за дії на фотохімічну активність листків.

Матеріал і методи досліджень

Дослідні рослини сої вирощували в умовах теплиці (вегетаційний досвід). Дослід проводили за наступною схемою: варіанти: 1 – контроль (вода); 2 – зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *glycines* (ІМВ В – 9284; 3 – зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *phaseoli* ІМВ В – 8843. Повторність в досліді 4-ри кратна. У фазі 4–6-ти листків по 4 відібрані дослідні рослини кожного варіанту штучно інфікували штамми збудників, що одержані з Української колекції мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України (ІМВ). Фотохімічну активність листків сої визначали біофізичним методом індукції флуоресценції хлорофілу через 13 діб після ураження *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843. Дослідження фотохімічної активності листків виконували за допомогою портативного приладу «Флоратест», сконструйованого в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України [2]. За отриманими масивами даних розраховували відповідні критичні параметри ІФХ, що є відображенням змін у функціональних ланках фотосинтетичної системи. Критичні параметри, що аналізувалися: фонові флуорисценція (F_0); K_{pl} – відповідає відносній кількості Q_v – невідновлювальних комплексів, що не приймають участь у лінійному транспорті електронів ($K_{pl} = \frac{(F_{pl} - F_0)}{(F_m - F_0)}$); квантовий вихід фотосистеми II (ФСII): F_v/F_m , де $F_v = F_m - F_0$ (варіабельна

флуоресценція); параметр «зменшення флуоресценції» – $R_{fd} = \frac{F_m - F_t}{F_t}$ [2, 21].

Вірулентність бактеріальних патогенів визначали на 14 добу від штучної інокуляції бактеріальними патогенами, дані по вірулентності представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Вірулентність дослідних бактеріальних патогенів

Штами фітопатогенів	Джерело ізолювання	Штучна інокуляція	
		соя	квасоля
<i>X. axonopodis</i> pv. <i>glycines</i> ІМВ В- 9284	лист сої	4	2
<i>X. axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> ІМВ В-8843	лист квасолі	+	4

Примітка. Оцінка агресивності збудника дана з використанням 5-ти бальної шкали, де 0 – відсутність ураження, а 4 бали – максимальний ступінь вірулентності.

Штучну інокуляцію дослідними штамми проводили на сої.

Активність каталази (КФ 1.11.1.6) виражали в кількості O_2 , що утворився в результаті дії ферменту за 1 хв на 1 г сирової маси ($мл O_2 \cdot г^{-1} \cdot хв^{-1}$). Активність неспецифічних пероксидаз (КФ 1.11.1.7) досліджували за методом Бояркіна. Активність пероксидази виражали в умовних одиницях на $1 г^{-1} \cdot с^{-1}$ сирової речовини тканини [13]. Визначення оксидоредуктаз (каталази, пероксидази) проводили на 14 день від початку ураження.

Статистичну обробку одержаних результатів виконували за методикою Доспехова [3] та з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel.

Результати досліджень та їх обговорення

У результаті дослідження виявлено істотний вплив штучного інфікування рослин сої різними за вірулентністю штамми фітопатогенних бактерій роду *Xanthomonas*, виділених із рослин родини *Fabaceae* (сої і квасолі), який позначався у зниженні рівня флюоресценції хлорофілу, що візуалізовано на кривих Каутського (рис. 1).

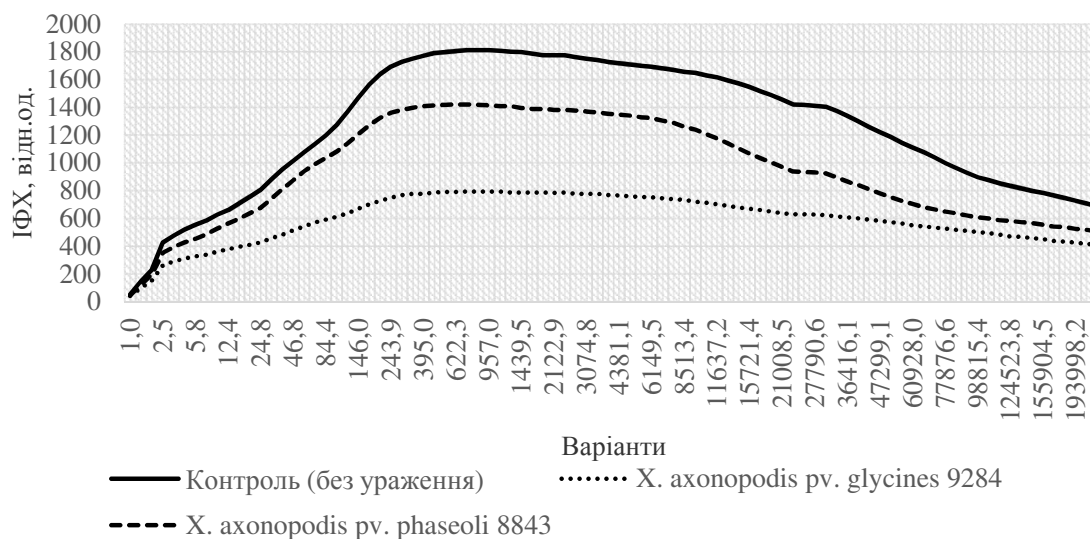


Рис. 1. Візуалізація змін флюоресценції хлорофілу за штучного зараження рослин сої різними за вірулентністю бактеріальними штамми: *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 (з сої) і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (з квасолі).

Показано зниження величини мінімальної флюоресценції F_0 на 37,0 % і 15,4 % за інфікування різними за вірулентністю штамми: *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 (з сої) і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (з квасолі) відповідно (рис. 2 а). Спостерігалось також суттєве зниження величини F_m на цих варіантах – на 54,9 % (*X. axonopodis* pv. *glycines* 9284) і 19,3 % (*X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843) (рис. 2 б). Відомо, що параметр F_0 представляє кількість відкритих реакційних центрів, коли первинний акцептор електронів Q_A знаходиться в окисленому стані, й відповідає величині флюоресценції хлорофілу при міграції енергії збудження по пігментній матриці. Тоді, як параметр F_m відповідає максимальній флюоресценції, коли первинні акцептори електронів повністю відновлені [2, 19, 21]. За цими двома параметрами можна робити висновок про вміст хлорофілу в листках [25].

Зокрема, зниження величини F_m може свідчити про блокування ресинтезу хлорофілу, його деградацію і відповідне зниження вмісту [6]. Варто зазначити, що за візуальним обліком, листки рослин сої, що були уражені фітопатогенними штамми, відрізнялися суттєвим пожовтінням, що, відповідно, свідчить про руйнування хлорофілу, спричинене більш швидким їх старінням порівняно із листками інтактних рослин сої. Отже, інфікування рослин сої штамми: високо вірулентним до сої – *X. axonopodis* pv. *glycines* і низько вірулентним до сої й високо вірулентним до квасолі – *X. axonopodis* pv. *phaseoli* – спричинювало зниження вмісту

хлорофілу *a* в листках залежно від ступеня вірулентності. Разом із тим значне – на 11,8 % – зниження максимальної квантової ефективності ФСII (F_v/F_m) на варіанті з зараженням рослин сої високо вірулентним штамом *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 (рис. 2 в) свідчить про фотоінгібування чи пошкодження антенних комплексів ФСII фотосинтетичного апарату рослин сої за дії цих штамів. У той же час, за дії *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 спостерігалась лише тенденція до зниження максимальної квантової ефективності фотохімії ФСII (див. рис. 2 в), що показує менш агресивну дію цього штаму на рослини сої.

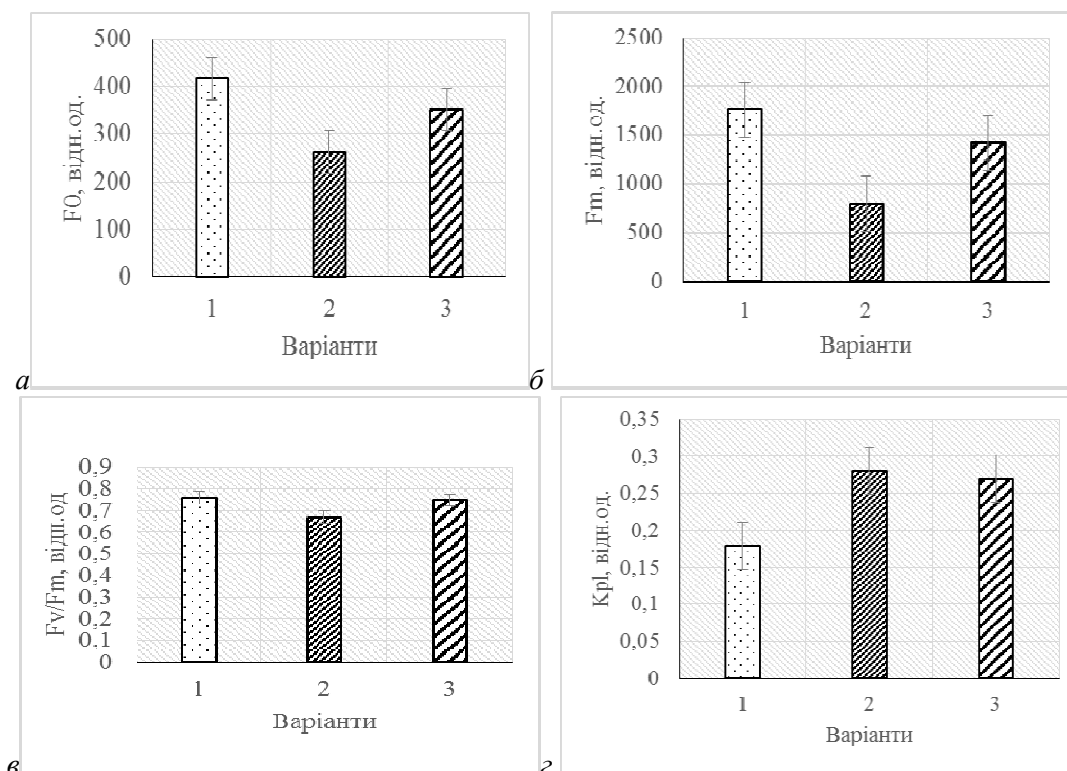


Рис. 2. Вплив штучного зараження різними штамми фітопатогенних бактерій *Xanthomonas* на швидку фазу флюоресценції листків сої (а- F_0 , б- F_m , в- F_v/F_m , г- K_{pl}), (варіанти: 1–контроль (вода); 2 – зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284; 3– зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843).

У роботі Bonfig et al., де наведені результати досліджень впливу інфікування вірулентним і авірулентним штамми *P. syringae* на зміни фотосинтезу і флюоресценції хлорофілу, показане зниження максимальної квантової ефективності ФСII за інфікування будь-яким штамом [10].

За інфікування обома штамми виявлено збільшення показника K_{pl} на 55,5 % і 50,0 % за впливу високо та низько вірулентного штамів відповідно (рис. 2 г). Відомо, що цей показник відповідає кількості Q_B -невідновлювальних комплексів ФСII, які не беруть участь у лінійній передачі електронів у електрон-транспортному ланцюгу (ЕТЛ) ФСII [6]. Отже, за впливу інфікування означеними штамми на фотосинтетичний апарат рослин відбувалося зниження ефективності залучення квантів світла у ЕТЛ ФСII, тобто зниження ефективності «світлової» фази фотосинтезу.

За дією на параметр «зменшення флюоресценції» R_{fd} , що показує активність асиміляції вуглецю в циклі Кальвіна спостерігалось найбільше пригнічення цієї величини за дії штучного інфікування високо вірулентним штамом – *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 – на 54,5 %, й менш істотне – за інфікування низько вірулентним штамом – *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 – на 10,8 % (рис. 3).

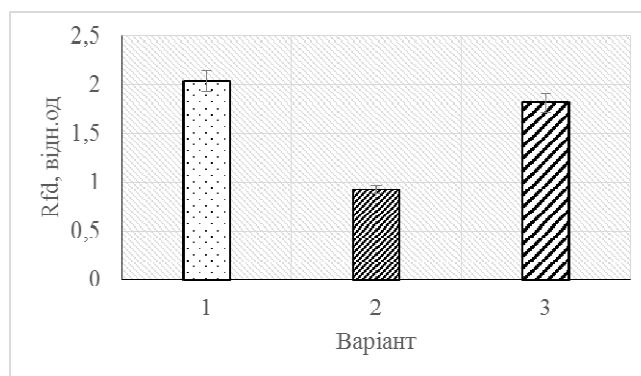


Рис. 3. Вплив штучного зараження різними штамами фітопатогенних бактерій *Xanthomonas* на параметр «зменшення флюоресценції» R_{fd} листків сої (варіанти: 1– контроль (вода); 2–зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284; 3 – зараження рослин сої *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843.

Таким чином, високо вірулентний до сої штам *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 найбільше пригнічував фотохімічну активність фотосинтетичного апарату сої, тоді як низько вірулентний штам *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (високо вірулентний до квасолі) впливав на фотосинтетичний апарат сої в меншій мірі.

Відомо, що під час ураження патогеном у рослині виробляються активні форми кисню (АФК). Різні АФК можуть діяти як індуктори окиснюваного стресу або сигнальні молекули, які формують відповідь рослин на патогени й модулюють підвищення стійкості рослинного організму. Накопичення АФК за дії стресорів може бути зумовлене не лише підвищенням активності АФК-генеруючих ферментів, а й зниженням активності антиоксидантних ферментів, зокрема каталази, яка чутлива до дії багатьох несприятливих чинників. Найбільш стабільною молекулою АФК є пероксид водню [4]. Основну регуляторну роль у підтриманні нормального рівня пероксиду водню, розкладаючи його до кисню і води, відіграють субстрат-регуляторні ферменти каталаза і пероксидаза [18], тому їх активність часто цікавить дослідників.

Дослідження активності антиоксидантних ферментів пероксидази і каталази показало суттєве пригнічення активності цих ферментів за дії *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 у період інтенсивного прояву зараження. Пероксидазна активність тканин листків сої знизилася за дії *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 на 35,8 %, а *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 – на 46,8 %. Каталазна активність знижувалася за штучного ураження *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 на 78,1 %, а *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 – на 63,8 % (табл. 2). Таким чином, через два тижні після штучного інфікування сої збудниками знижувалась активність антиоксидантних ферментів за дії обох штамів. Проте, за ураження високо вірулентним збудником найбільше пригнічувалась каталазна активність тканин листків, а за інфікування менш вірулентним збудником – пероксидазна. Відомо, що окиснюваний стрес може бути спричинений за рахунок інгібування каталази саліциловою кислотою [4, 5, 17]. Таке явище може свідчити про значно більший пул АФК за інфікування високо вірулентним збудником за умов найбільшого пригнічення каталазної активності, що саме і призводило до найбільш шкодочинних проявів інфікування.

Таблиця 2

Ферментативна активність листків сої за штучного ураження фітопатогенними бактеріями

Варіанти	Каталазна активність, мл $O_2 \cdot g^{-1} \cdot хв^{-1}$	Пероксидазна активність, $D_{670} \cdot g^{-1} \cdot c^{-1}$
Контроль	29,75±1,4	2,54±0,06
<i>X. axonopodis</i> pv. <i>glycines</i> 9284	6,52±0,32	1,63±0,05
<i>X. axonopodis</i> pv. <i>phaseoli</i> 8843	10,77±0,54	1,35±0,07

Посилення утворення АФК за дії патогенів полягає в їх безпосередньому знищенні у місцях проникнення інфекції: так званий «окиснювальний вибух» – складова реакції надчутливості. У ході такої реакції відбувається загибель патогенів разом із частиною рослинних тканин, що некротизуються [6]. Тобто, виявлене нами суттєве пригнічення активності антиоксидантних ферментів каталази і пероксидази за інфікування дослідними збудниками є свідченням посилення утворення АФК у тканинах листків за інтенсивного розвитку інфекційного процесу.

Отже, нами виявлений більш негативний вплив на фотосинтетичний апарат сої за штучного інфікування штамом *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284, що є високо вірулентним до рослин сої, тоді як слабко вірулентний до сої штам *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 менш негативно впливав на фотосинтетичний апарат сої за пролонгованої дії інфекції.

Висновки

Методом індукції флюоресценції хлорофілу виявлено, що ступінь деградації хлорофілу та пригнічення фотосинтетичної активності в листках сої за штучного інфікування бактеріями роду *Xanthomonas*, виділених з різних видів родини *Fabaceae*, залежала від вірулентності штамів: більш негативно діючим виявився виділений із рослин сої високо вірулентний штам *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284, порівняно з виділеним із квасолі низько вірулентним до сої штамом – *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843.

Зараження рослин сої високо вірулентним штамом *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 спричинювало істотне пригнічення максимальної квантової ефективності ФСП, що свідчить про руйнування пігмент-білкових комплексів.

Високо вірулентний до сої штам *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 найбільше пригнічував фотосинтетичну активність листків сої, тоді як низько вірулентний штам *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (високо вірулентний до квасолі) впливав на фотосинтез у меншій мірі.

За пролонгованої дії патогенних бактеріальних штамів *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 і *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 показано суттєве пригнічення каталазної і пероксидазної активності, що є свідченням посилення утворення АФК у тканинах листків. Виявлено, що високо вірулентний штам найістотніше пригнічував каталазну активність тканин листків.

1. Гнатюк Т. Т., Патица В. П. Поширення та біологія збудників бактеріозів сої роду *Xanthomonas*. *Матеріали конференції V Всеукраїнського з'їзду екологів*, 23–26 вересня 2015 р., Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 129.
2. Гуляєва Г. Б. Токовенко І. П., Богдан М. М., Патица М. В., Пасічник Л. А., Буценко Л. М. Метод індукції флюоресценції хлорофілу у фітопатологічних дослідженнях: методичні рекомендації / за ред. Г. Б. Гуляєвої. Київ : ФОРМ Ямчинський О. В., 2020. 33 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Колупаєв Ю. Є., Обозний О. І. Активні форми кисню і антиоксидантна система при перехресній адаптації рослин до дії абіотичних стресорів. *Вісник ХНАУ. Сер. Біологія*. 2013. Вип. 3 (30). С. 18–31.
5. Колупаєв Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин: курс лекцій. Харків, 2010. 121 с.
6. Манько М. В., Олексійченко Н. О., Китаєв О. І. Особливості індукції флюоресценції хлорофілу в листках рослин культиварів *Acer platanoides* l. в умовах міста Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. Вип. 26.5. С. 102–109.
7. Соя: монографія / В.Ф. Петриченко, В.В. Лихочвор, С.В.Іванюк, О.В. Корнійчук, С.І. Колісник, С.Я. Кобак, В.С. Задорожний, Л.П. Чернолата, М.Ф. Кулик, Ю.В. Обертюх, І.С. Воронецька, В.П. Патица, Т.Т. Гнатюк, О.О. Алексеев, А.В. Калініченко, С.Я. Коць, С.К. Береговенко, О.М. Захарова. Вінниця : «Діло», 2016. 400 с.
8. Хвороби сої: моніторинг, діагностика, захист: монографія / Петриченко В.Ф., Патица В.П., Пасічник Л.А., Житкевіч Н.В., Гуляєва Г.Б., Токовенко І.П. та ін.; за ред. В.Ф. Петриченко, В.П. Патики. Вінниця : «Віндрук», 2016. 106 с.
9. Baker N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol*. 2008. Vol. 59. P. 89–113. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759.

10. Bonfig K. B. Infection with virulent and avirulent *P. syringae* strains differentially affects photosynthesis and sink metabolism in *Arabidopsis* leaves / [K.B. Bonfig, U. Schreiber, A. Gabler et al]. *Planta*. 2006. Vol. 225 (1). P. 1–12. DOI: 10.1007/s00425-006-0303-3.
11. Chatnarat T., Prathuangwong S., Lindow S. E. Global Pattern of Gene Expression of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* Within Soybean Leaves. *MPMI*. 2016. Vol. 29 (6). P. 508–522 Doi:10.1094/MPMI-01-16-0007-R
12. Gottig N. *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* uses a plant natriuretic peptide-like protein to modify host homeostasis / [N.Gottig, B.S.Garavaglia, L.D. Daurelio et al]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008. Vol. 105 (47). P. 18631–18636. DOI:10.1073/pnas.0810107105
13. Hulciaeva H. Effect of nanoaquacitrates on physiological parameters of Fodder Galega infected with phytoplasma / [H. Hulciaeva, I. Tokovenko, V. Maksin et al] // *Ecol Chem Eng S.*, 2018.– Vol.25(1).– P. 153-168 DOI:10.1515/eces-2018-0011
14. Kaewnum S., Prathuangwong S., Burr T. J. Aggressiveness of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* isolates to soybean and hypersensitivity responses by other plants. *Plant pathology*. 2005. Vol. 54 (3). P. 409–415. DOI:10.1111/j.1365-3059.2005.01176.x
15. Kalaji H.M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues / [H.M. Kalaji, G. Schansker, R.J. Ladle et al]. *Photosynth Res*. 2014. Vol.122 (2). 121–58. DOI: 10.1007/s11120-014-0024-6.
16. Kim J. G. Characterization of the *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* Hrp pathogenicity island / [J. G. Kim, B. K. Park, C. H Yoo et al]. *Journal of bacteriology*. 2003. Vol. 185 (10). P. 3155–3166. DOI:10.1128/JB.185.10.3155-3166.2003
17. Kolupaiev Yu.Ye., Karpets Yu. V. Reactive oxygen species during plant adaptation to stress temperatures. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2009. T. 41, No. 2. P. 95–108.
18. Lutskiy M. A. The activity of the endogenous antioxidant defense system in the process of vital activity of the organism / M.A. Lutskiy, T.V. Kuksova, M.A. Smelyanets [ta in] // *Successes of modern natural science*. 2014. No. 12 (part 1) S. 20–23.
19. Martinazzo E. G., Ramm A., Bacarin M. A. The chlorophyll a fluorescence as an indicator of the temperature stress in the leaves of *Prunus persica*. *Braz. J. Plant Physiol*. 2012. Vol. 24 (4). P. 237–246.
20. Méline V. Computation Method Based on the Combination of Chlorophyll Fluorescence Parameters to Improve the Discrimination of Visually Similar Phenotypes Induced by Bacterial Virulence Factors / [V.Méline, C. Brin, G. Lebreton et al]. *Front. plant sci*. 2020. Vol. 11. P. 213. DOI:10.3389/fpls.2020.00213
21. Misra A. N. Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology / A.N. Misra, M.Misra, R.Singh; Misra A.N. (ed.). In book: *Biophysics*. Ch. 7, Publisher: Intech, 2012. P. 171–192. DOI: 10.5772/35111
22. Nunes W. M. C. Characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* isolates / [W. M.C. Nunes, M. J. Corazza, S. Aparecida et al. *Summa phytopathol*. 2008. Vol. 34 (3). P. 228–231. Doi:10.1590/S0100-54052008000300004
23. Ritchie H., Roser M. Soy [Online Resource]/ H. Ritchie, M.Roser // Published online at OurWorldInData.org. 2021. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/soy>.
24. *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (bean blight). CABI. [Online Resource]. 2019. Retrieved from: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/56962>
25. Zhorii A. In situ chlorophyll fluorescence kinetics as a tool to quantify effects on photosynthesis in *Euphorbia cyparissias* by a parasitic infection of the rust fungus *Uromyces pisi* / [A.Zhorii, M.Meco, H.Brandl et al.]. *BMC Res Notes*. 2015. Vol. 8. 698 Doi:10.1186/s13104-015-1681-z
26. Zinsou V. A. Occurrence and characterisation of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, causing bacterial pustules on soybean in Guinea Savanna of benin / [V.A.Zinsou, L.A.C.Afouda, N.Zoumarou-Wallis та ін]. *African Crop Science Journal*. 2015. Vol. 23 (3). P. 203–210.

References

1. Hnatiuk T. T., Patyka V. P. Poshyrennia ta biolohiia zbudnykiv bakterioziv soi rodu *Xanthomonas* : Materialy konferentsii V Vseukrainskoho zizdu ekolohiv, 23–26 veresnia 2015 r.: tezy dopovidei. Vynnytsia : VNTU, 2015. S.129. [in Ukrainian]
2. Hulciaeva H. B., Tokovenko I. P., Bohdan M. M. Metod induktsii fluorestsentsii khlorofilu u fitopatolohichnykh doslidzhenniakh. Metodychni rekomendatsii; za red. H. B. Hulciaevoi. Kyiv : FOP Yamchynskiy O.V., 2020. 33 s. [in Ukrainian]
3. Dospekhov B. A. Metodyka polevoho opyta. M. : Ahropromyzdat, 1985. 351 s. [in Russian]

4. Kolupaiev Yu. Ye., Oboznyi O. I. Aktyvni formy kysniu i antyoksydantna systema pry perekhresnii adaptatsii roslyn do dii abiotychnykh stresoriv. *Visnyk KhNAU. Ser. Biologhiia*, 2013. Vyp. 3 (30). S. 18–31. [in Ukrainian]
5. Kolupaiev Yu. Ye. Osnovy fiziologii stiikosti roslyn: Kurs lektzii. Kharkiv, 2010. 121 s. [in Ukrainian]
6. Manko M. V., Oleksiichenko N. O., Kytaiev O. I. Osoblyvosti induktsii fluorestsentsii khlorofilu v lystkakh roslyn kultyvariv *Acer platanoides* l. v umovakh mista Kyieva. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2016. Vyp. 26.5. S.102–109. [in Ukrainian]
7. Soia: monohrafiia / [Petrychenko V.F., Lykhochvor V.V., Ivaniuk S.V. ta in.]. Vinnytsia: «Dilo». 2016. 400 s. [in Ukrainian]
8. Khvoroby soi: monitorynh, diahnostyka, zakhyst: [monohrafiia]/ [Petrychenko V.F., Patyky V.P., Pasichnyk L.A. ta in.]; za red. V.F. Petrychenko, V.P. Patyky. Vinnytsia : «Vindruk». 2016. 106 s. [in Ukrainian]
9. Baker N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu Rev Plant Biol.* 2008. Vol. 59. P. 89–113. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759.
10. Bonfig K. B. Infection with virulent and avirulent *P. syringae* strains differentially affects photosynthesis and sink metabolism in *Arabidopsis* leaves / [K.B. Bonfig, U. Schreiber, A. Gabler et al]. *Planta*. 2006. Vol. 225 (1). P. 1–12. DOI: 10.1007/s00425-006-0303-3.
11. Chatnarat T., Prathuangwong S., Lindow S. E. Global Pattern of Gene Expression of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* Within Soybean Leaves. *MPMI*. 2016. Vol. 29 (6). P. 508–522 Doi:10.1094/MPMI-01-16-0007-R
12. Gottig N. *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* uses a plant natriuretic peptide-like protein to modify host homeostasis / [N.Gottig, B.S.Garavaglia, L.D. Daurelio et al]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008. Vol. 105 (47). P. 18631–18636. DOI:10.1073/pnas.0810107105
13. Hulciaieva H. Effect of nanoaquacitrates on physiological parameters of Fodder Galega infected with phytoplasma / [H. Hulciaieva, I. Tokovenko, V. Maksin et al] // *Ecol Chem Eng S.*, 2018.– Vol.25(1).– P. 153-168 DOI:10.1515/eces-2018-0011
14. Kaewnum S., Prathuangwong S., Burr T. J. Aggressiveness of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* isolates to soybean and hypersensitivity responses by other plants. *Plant pathology*. 2005. Vol. 54 (3). P. 409–415. DOI:10.1111/j.1365-3059.2005.01176.x
15. Kalaji H.M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues / [H.M. Kalaji, G. Schansker, R.J. Ladle et al]. *Photosynth Res*. 2014. Vol.122 (2). 121–58. DOI: 10.1007/s11120-014-0024-6.
16. Kim J. G. Characterization of the *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* Hrp pathogenicity island / [J. G. Kim, B. K. Park, C. H Yoo et al]. *Journal of bacteriology*. 2003. Vol. 185 (10). P. 3155–3166. DOI:10.1128/JB.185.10.3155-3166.2003
17. Kolupaiev Yu.Ye., Karpets Yu. V. Reactive oxygen species during plant adaptation to stress temperatures. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2009. T. 41, No. 2. P. 95–108.
18. Lutskiy M. A. The activity of the endogenous antioxidant defense system in the process of vital activity of the organism / M.A. Lutskiy, T.V. Kuksova, M.A. Smelyanets [ta in] // *Successes of modern natural science*. 2014. No. 12 (part 1) S. 20–23.
19. Martinazzo E. G., Ramm A., Bacarin M. A. The chlorophyll a fluorescence as an indicator of the temperature stress in the leaves of *Prunus persica*. *Braz. J. Plant Physiol.* 2012. Vol. 24 (4). P. 237–246.
20. Méline V. Computation Method Based on the Combination of Chlorophyll Fluorescence Parameters to Improve the Discrimination of Visually Similar Phenotypes Induced by Bacterial Virulence Factors / [V.Méline, C. Brin, G. Lebreton et al]. *Front. plant sci.* 2020. Vol. 11. P. 213. DOI:10.3389/fpls.2020.00213
21. Misra A. N. Chlorophyll Fluorescence in Plant Biology / A.N. Misra, M.Misra, R.Singh; Misra A.N. (ed.). In book: *Biophysics*. Ch. 7, Pabliisher: Intech, 2012. P. 171–192. DOI: 10.5772/35111
22. Nunes W. M. C. Characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* isolates / [W. M.C. Nunes, M. J. Corazza, S. Aparecida et al. *Summa phytopathol.* 2008. Vol. 34 (3). P. 228–231. Doi:10.1590/S0100-54052008000300004
23. Ritchie H., Roser M. Soy [Online Resource]/ H. Ritchie, M.Roser // Published online at OurWorldInData.org. 2021. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/soy>.
24. *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (bean blight). CABI. [Online Resource]. 2019. Retrieved from: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/56962>

25. Zhorі A. In situ chlorophyll fluorescence kinetics as a tool to quantify effects on photosynthesis in *Euphorbia cyparissias* by a parasitic infection of the rust fungus *Uromyces pisi* [A.Zhorі, M.Meco, H.Brandl et al.]. *BMC Res Notes*. 2015. Vol. 8. 698 Doi:10.1186/s13104-015-1681-z
26. Zinsou V. A. Occurrence and characterisation of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, causing bacterial pustules on soybean in Guinea Savanna of benin [V.A.Zinsou, L.A.C.Afouda, N.Zoumarou-Wallis та ін]. *African Crop Science Journal*. 2015. Vol. 23 (3). P. 203–210.

H. B. Hulіaіeva, N. V. Zhytkevych, T. T. Gnatiuk, V. P. Patyka

Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

PHOTOCHEMICAL ACTIVITY OF SOYBEAN LEAVES UNDER THE ACTION OF PHYTOPATHOGENIC BACTERIA OF DIFFERENT VIRULENCE

Soybean plants were grown in a greenhouse. In the phase of 4-6 leaves soybeans were artificially infected with strains of pathogens: *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* 9284 and *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* 8843. These strains were obtained from the Ukrainian collection of microorganisms of the Zabolotny institute of Microbiology and Virology of National Academy of Sciences of Ukraine. The photochemical activity of soybean leaves was determined by the biophysical method of chlorophyll fluorescence induction in 13 days after plant inoculation with bacterial strains. A portable Florotest fluorometer was use for measurements. A degree of chlorophyll degradation and suppression of photosynthetic activity in soybean leaves at artificial infection with bacterial strains isolated from different plant species of the *Fabaceae* family dependent from its virulence have been shown. The strain *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284, isolated from soybean plants, have been highly virulent and acted more negatively than the low virulent to soybean strain *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843. In particular, the value of the minimum fluorescence F_0 decreased by 37.0 and 15.4 % for inoculation by strains with different virulence degree: *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 (from soybeans) and *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (from beans) respectively. There was also a significant decrease in the value of F_m in these variants – by 54.9 % (*X. axonopodis* pv. *glycines* 9284) and 19.3 % (*X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843). At the same time, the value of maximum quantum yield of PSII (F_v / F_m) was decreased by 11.8 % in the variant with inoculation of soybean plants with the highly virulent strain *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284, that indicates photoinhibition or damage of antenna complexes of the PSII photosynthetic apparatus of soybean plants. At the same time, only the tendency to reduce the maximum quantum yield of PSII was determined under action infection plants with *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843. A parameter chlorophyll fluorescence decrease ratio R_{fd} , which shows the activity of CO_2 assimilation in the Calvin cycle, was inhibition more at the action of artificial infection with a highly virulent strain – *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 – 54.5 and less – at infection with a low virulence strain – *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 – by 10.8 %. With prolonged action of the pathogenic bacterial strains *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 and the *X. axonopodis* pv. *phaseoli* 8843 (fortnight) showed significant inhibition of the catalase and peroxidase activity of leaf tissues, which is evidence of an increase in the formation of ROS. It was demonstrated that the highly virulent strain *X. axonopodis* pv. *glycines* 9284 most of all suppressed the catalase activity of soybean leaf tissues.

Keywords: soybeans, Xanthomonas axonopodis pv. *glycines*, *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*, catalase, peroxidase, chlorophyll a fluorescence induction, photosystem II.

Надійшла 07.10.2021.

А. Ю. ДЗЕНДЗЕЛЬ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 47027
e-mail: andrijdzenzel@gmail.com

ВПЛИВ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА «SMART» КОМПОЗИТ МАРЦІНИШИН® НА ПОКАЗНИКИ ВОДООБМІНУ ЛИСТКІВ ПОМІДОРА ЇСТІВНОГО (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)

У статті наведено результати впливу органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® на показники водообміну листків помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Показано, що застосування органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® шляхом обробки кореневої системи розсади та позакореневого підживлення рослин у фазах 3–4 справжніх листків, 5–7 справжніх листків, формування кущів – початок бутонізації, початку цвітіння, формування ягід та змикання ягід суттєво впливає на інтенсивність транспірації, водоутримуючу здатність, водний дефіцит листків помідора їстівного гібриду F1 Талант у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (Тернопільська область).

Ключові слова: помідор їстівний (*Lycopersicon esculentum* Mill.), органо-мінеральне добриво, інтенсивність транспірації, водоутримуюча здатність, водний дефіцит.

Зміна клімату, яка спостерігається протягом останніх десятиліть на планеті, відбувається в Україні, у тому числі й Тернопільській області. У регіоні суттєво змінився термічний режим, режим зволоження, вітру тощо. До середини ХХІ ст. при збалансованому розвитку суспільства в області можна очікувати подальше підвищення мінімальної, середньої та максимальної температур протягом усього року, збільшення числа спекотних днів із температурою більше 20 та 25 °С та тривалості спекотного періоду [3].

Обов'язковою умовою росту та розвитку рослин, стійкості до впливу несприятливих чинників навколишнього середовища є їх здатність підтримувати певний рівень водного балансу [17]. Рослини реагують на дефіцит вологи комплексною відповіддю, яка включає сприйняття дії стресора, ініціацію сигнальних трансдукційних шляхів і фізіолого-біохімічні зміни у клітині [37]. За впливу посухи в хлоропластах і мітохондріях посилюється утворення активних форм кисню. Тому екзогенні впливи, що індукують анти-оксидантну систему, розглядаються як прийоми підвищення посухостійкості рослин [14]. Навіть за незначного напруження водного балансу рослин, спричиненого посухою, порушується нормальний перебіг метаболічних процесів, у результаті чого знижується продуктивність рослин [17, 18]. Наслідками порушення водного режиму є зниження вмісту води в тканинах рослин, втрата ними мінеральних речовин, гальмування ростових процесів, побуріння, засихання й опадання листків тощо [11]. Отже, будь-які зміни середовища відображають показники водного статусу рослинних клітин.

Проблема отримання екологічно безпечної продукції овочівництва є особливо актуальною, оскільки цінність овочів полягає у вживанні їх у свіжому та переробленому вигляді. Овочі забезпечують 1/3 добової енергетичної потреби людського організму, є джерелом вуглеводів, білків, ефірних олій, біологічно активних речовин, мінеральних елементів тощо [4, 32].

Нині у світі зростає зацікавлення органічним землеробством [1, 35, 36]. Показано, що застосування органо-мінеральних добрив та гумінових препаратів є складовою частиною органічного землеробства [9, 20]. На світовому ринку існує ціла низка нових зареєстрованих

органомінеральних добрив, щороку кількість удосконалених форм нових добрив зростає, також доведено їх позитивний вплив на рослини [10, 26, 27].

Вплив органомінеральних добрив на основі гумінових речовин на фізіологічну активність рослин різноманітний. Встановлено, що гумусові сполуки позитивно впливають на всі фази мітотичного циклу клітин і сприяють збільшенню значення мітотичного індексу в 1,5 раза, у результаті чого активізується коренеутворення, за рахунок зміни селективності клітинних мембран посилюється надходження води і елементів живлення [34]. Добрива на основі гумінових речовин сприяють активізації ростових процесів рослин, підвищують їх стійкість до несприятливих біотичних та абіотичних факторів [12, 24].

Встановлено, що овочеві рослини досить добре реагують на удобрення [6] та підживлення добривами на основі гуматів [2, 29]. Особливістю застосування гумусових речовин для позакореневого підживлення є зниження зольного індексу сольових розчинів у результаті зростання в них частки вуглецю, що запобігає пошкодженню рослин високими концентраціями солей. Добрива на основі гумінових речовин застосовують у фізіологічно активній формі легкорозчинних солей гумінових кислот із лужними металами. Вони діють на клітинному рівні, підвищують активність ферментів, змінюють проникність мембран, стимулюючи процеси дихання, синтезу білків і вуглеводів у рослин. Таким чином, застосування зазначених вище добрив підвищує стійкість рослин до заморозків, посухи, різних захворювань [8].

Метою дослідження було встановити вплив органомінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® на показники водообміну листків помідора їстівного італійського гібриду F1 Талент у ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (Тернопільська область).

Матеріал і методи досліджень

Польові дослід з помідором їстівним закладали на ділянках фермерського господарства (с Курники Тернопільського району Тернопільської області) на лучно-чорноземних середньосуглинкових на лесоподібних суглинках ґрунтах впродовж 2019–2021 рр. Кліматичні умови вегетаційних періодів загалом сприяли оптимальному росту і розвитку помідора їстівного. Середньомісячна температура повітря у квітні-травні відповідала нормі +12–22°C; у червні – +19–26°C; у липні-серпні – +25–30°C.

Матеріалом дослідження слугував італійський (виведений спеціалістами фірми Esasem) гібрид першого покоління Талент помідора їстівного (*Lycopersicon esculentum* Mill.) та органомінеральне добриво «SMART» композит Марцінішин® (ОМД). Гібрид помідора їстівного F1 Талент є кущовий, детермінантний, середньостиглий. Стійкий до несприятливих умов навколишнього середовища, характеризується високою стресостійкістю. Форма плода – видовжено-овальна з невеликим носиком (сливка), забарвлення – яскраво-червоне, маса плоду 50–100 г. Плоди дозрівають одночасно, мають хороший товарний вигляд. Термін дозрівання 100–115 днів після появи сходів [21].

Органомінеральне добриво «Smart» композит Марцінішин® (ОМД) марок: Гармонія наногідрат, Аграрний ЕЛ-композит, Тріплет ремедіант деструктор, Фазовий прискорювач, Поліремедіант Н-10, Адаптор С-11–11, Агрохелп-24, р. ($N_{\text{зар.}} - 0,6 \pm 0,5\%$, $P_2O_5 - 0,7 \pm 0,5\%$, $K_2O - 0,6 \pm 0,5\%$, $C_{\text{зар.}} - 8,0 \pm 0,5\%$) включене до «Переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні» зі статусом «постійна реєстрація» для застосування в сільському господарстві, Плану державних випробувань шляхом позакореневого, листового підживлення, обробки насіння безпосередньо перед посівом зернових колосових культур, кукурудзи, соняшнику, сої, ґрунту навесні перед сівбою, пожнивних решток із нормами витрат згідно з агрономічними рекомендаціями для кожної марки добрива [13].

ОМД, відповідно до «Гігієнічної класифікації пестицидів за ступенем небезпечності» (ДСанПіН 8.8.1.002-98) [7], відповідає вимогам безпеки для здоров'я і життя людини, не забруднює навколишнього природного середовища, оскільки це препарати 4 класу токсичності.

Добриво виготовляють за технічними умовами ТУ У 20.1-2292002437003:2016 «Концентрована органічна добавка в надмалих масштабах з функцією тунелювання і

самоорганізації «Smart» композит Марцінішин®» [30], шляхом оброблення води з свердловини світлом кварцової лампи, пропусканням її через фільтр із кварцового піску, структурується способом пропускання через спеціальний пристрій (трубку Марцінішина згідно ТУ У 28.7-2292002437-001) із подальшим доданням до неї цеоліту різних фракцій, комплексної органо-мінеральної добавки «Нано гідрат гумату», водно-грязьового екстракту «Пеловіт-Р», концентрованого «SMART» композиту Марцінішин® із функцією тунелювання і самоорганізації. Розробником нормативно-технічної документації та виробником добрива є ФОП Марцінішин Юрій Данилович, Україна; ТОВ «Науково-дослідний інститут ноосферної валеології Марцінішин здоров'я збереження і планетарної екологічної безпеки людини», Україна.

Польові досліді з помідором їстівним закладали в двох варіантах (контроль і дослід). Помідори вирощували розсадним способом. Розсаду вирощували в теплиці, висаджували у відкритий ґрунт у третій декаді травня за схемою 60х40 см. Площа облікової ділянки 25 м², повторність чотириразова.

У дослідному варіанті для підживлення кореневої системи та покращення приживаності розсади її перед висаджуванням у ґрунт замочували на 5–10 хв ОМД (вода зі скважини – 100 л+Адаптор С-11–11 – 20 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*+ Аграрний ЕЛ-композит – 1 л). У фазі 3–4 справжніх листків для поліпшення формування вегетативних органів проводили позакореневе підживлення рослин ОМД шляхом обприскування надземної маси за допомогою ранцевого мотооприскувача (200 л води +Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*+ Фазовий прискорювач – 0,2 л). Друге позакореневе підживлення рослин спрямоване також на інтенсифікацію ростових процесів вегетативних органів. Його проводили у фазі 5–7 справжніх листків ОМД (200 л води + Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*). У фазі формування кущів – початок бутонізації – проводили третє позакореневе підживлення рослин ОМД (200 л води + Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*+ Агрохелп 24–25 мл). Наступне обприскування рослин ОМД проводили у фазі початку цвітіння (200 л води + Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*). Обприскування рослин ОМД здійснювали також у фазі формування ягід для поліпшення розвитку генеративних органів (200 л води + Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*+ Гармонія наногідрат – 0,2 л). Останнє обприскування рослин ОМД проводили у фазі змикання ягід (200 л води + Адаптор С-11–11 – 12 мл + Нано Гідрат Гумату (марки А) – 1 л + 3.3.Р.*). Рослини контрольного варіанту в аналогічних фазах росту і розвитку зволожували водою також за допомогою ранцевого мотооприскувача.

Інтенсивність транспірації листків помідора їстівного встановлювали за Л. А. Івановим [5]. Для визначення показника водоутримуючої здатності листків методом А. Арланда на електронній вазі спочатку зважували сирі листки, а потім визначали їх масу через 2, 4, 6, 24 год. від початку закладання досліду, а також масу сухих листків. Водний дефіцит визначали у відсотках від вмісту водонасичених нею листках [16]. Повторність чотириразова.

Статистичну обробку результатів дослідження здійснювали за допомогою комп'ютерної програми *Microsoft Excel*.

Результати досліджень та їх обговорення

Транспірація – складний фізіологічний процес, який виконує в життєдіяльності рослин дуже важливу функцію. Завдяки транспірації вода надходить у рослину і рухається висхідним шляхом по судинах ксилеми до наземних органів рослини, оскільки виконує функцію верхнього рушія води і, в основному, мінеральних речовин по рослин. Зміни інтенсивності випаровування води надземними органами рослини, що зумовлені внутрішніми й зовнішніми чинниками, позначаються на низці фізіологічних процесів. Транспірація в основному здійснюється листками (продихова і кутикулярна). Продихи є тим утвором, через який виділяється водяна пара, вуглекислий газ під час дихання, кисень – під час фотосинтезу та поглинається кисень для окиснення органічних речовин, вуглекислий газ – для синтезу вуглеводів у процесі фотосинтезу. Тому стан продихового апарату впливає на інтенсивність

процесу фотосинтезу й відповідно продуктивність рослин. Транспірація також забезпечує надходження від кореневої системи до зелених органів рослини води, макро- і мікроелементів, необхідних для утворення кисню, формування фотосинтетичного апарату, що в кінцевому підсумку впливає на продуктивність. Тому процес формування урожаю, стійкість до абіотичних та біотичних факторів докількі істотно пов'язані з транспірацією [11, 17, 31]. Показано, що інтенсивність транспірації залежить від умов середовища, коефіцієнту використання води і площі листків рослин [38].

Експериментальні дослідження показали, що застосування органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® протягом онтогенезу рослин істотно впливало на інтенсивність випаровування води з поверхні листків помідора їстівного. У фазі бутонізації приріст показника інтенсивності транспірації в порівнянні з контролем за використання ОМД становив 31,2 % (табл. 1). Дослідження проводили в 11.00 год., згідно даних про добову періодичність руху продихів, вони відкриті з 6.00 до 12.00 і з 16.00 для більшості видів рослин. З 12.00 до 16.00 – продихи привідкриті або закриті [31].

У фазі цвітіння виявлено аналогічну закономірність порівняно із фазою бутонізації, але інтенсивність транспірації листків помідора їстівного за використання ОМД істотно зростала на 29,4 %. У фазі цвітіння листки помідора випаровували на 86,6 % (контроль) та 83,6 % (дослід) більше води, порівняно з фазою бутонізації. За використання ОМД у фазі бурої стиглості плодів також виявлено істотне зростання показника інтенсивності транспірації на 40,1 %. Під час фази бурої стиглості плодів, порівняно з фазою бутонізації та цвітіння, інтенсивність транспірації зросла на 78,3% та знизилася на 4,3 % у контрольному варіанті й підвищилася на 90,3 % та 3,6 % за використання ОМД. Зростання інтенсивності транспірації свідчить про захист рослин від підвищеної температури повітря та інтенсивніше надходження в надземні органи з ґрунту води й поживних речовин.

Показано, що інтенсивність транспірації залежить від вологості ґрунту, із підвищенням вологості зазначений вище показник збільшується [22], динаміка інтенсивності транспірації та водоутримувальної здатності листків деяких представників роду кленових у багатьох випадках пов'язана також із динамікою вологості ґрунту [25].

Отже, за використання органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® інтенсивність транспірації листків помідора їстівного гібриду F1 Талант істотно зростала протягом досліджуваного періоду порівняно з контролем.

Таблиця 1

Вплив органо-мінерального добрива на інтенсивність транспірації листків помідора їстівного

Варіант	Фаза бутонізації, t пов.=25°C	Фаза цвітіння, t пов.=28°C	Фаза бурої стиглості плодів, t пов.=27°C
	г·м ² /год	г·м ² /год	г·м ² /год
Контроль	101,9±6,2	189,9±7,3	181,7 ±5,8
Дослід	133,8±9,1*	245,7±4,4*	254,6±7,2*

Примітка. * – тут і в наступних таблицях, достовірна різниця з контролем

У регулюванні процесу водообміну рослин значну роль виконує водоутримувальна здатність (втрата води листками за певний проміжок часу) зумовлена, в основному, вмістом у клітинах осмотично активних речовин і здатністю колоїдів до набухання [17]. За зазначеним вище показником оцінюють втрату води через 2, 4, 6, 24 години від початкової сирової маси листків у процесі в'янення. Встановлено (табл. 2), що у фазі цвітіння помідора їстівного втрата води листками за впливу органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® була на 2,7 % нижчою порівняно з контролем на 2, 3,6 % – 4 год., 2,8 % – 6 год., 3,9 % – 24 год.

Вплив органо-мінерального добрива на водоутримуючу здатність листків (кількість втраченої води у %) помідора їстівного гібриду Талент

Час через:	Фаза цвітіння	
	Контроль	Дослід
2 год.	23,07±1,09	22,44±1,83
% до контролю	100	97,3
4 год.	40,58±1,32	39,11±3,17
% до контролю	100	96,4
6 год.	55,69±1,21	54,11±3,23
% до контролю	100	97,2
24 год.	96,03±0,48	92,31±1,33*
% до контролю	100	96,1

Зазначені вище результати дослідження водоутримуючої здатності листків помідора, за використання ОМД, порівняно з контролем є статистично достовірними лише через 24 год. Через 2, 4, та 6 год. після зривання листків виявлено тенденцію більшої водоутримуючої здатності колоїдів їх тканин. Варто зазначити, що через 24 год. листки помідора їстівного втратили понад 90 % води.

Помідор їстівний є вимогливим до вологості. Особливо на рослини негативно впливає як ґрунтова, так і атмосферна посуха. Вона призводить до порушення низки фізіологічних процесів у тканинах рослин. Для характеристики водообміну помідора їстівного за впливу органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® визначено ще один показник – водний дефіцит листків. Зазначений кількісний показник характеризує стійкість рослин до посухи. Дефіцит води у листках виникає за недостатньої кількості її у ґрунті. Недостатня кількість води у ґрунті та повітрі призводить до порушення водного метаболізму рослин. За стресових умов рослина як саморегулююча система перерозподіляє фонди води, яка поступає через кореневу систему. У першу чергу забезпечується оводнення тканини, а решта використовується на процеси транспірації [17].

Дослідження (табл. 3) показали, що у фазі бутонізації за впливу ОМД (дослід), порівняно з контролем, кількісний показник дефіциту води листків помідора знизився на 16,7 %. Зазначений показник водного дефіциту листків помідора їстівного дослідного варіанту статистично достовірно відрізняється від контролю.

У фазі цвітіння була вища температура повітря на 2 градуси, але випав напередодні невеликий дощ (за 4 дні до проведення експерименту), що відповідно вплинуло на показники водного дефіциту листків помідора їстівного. У дослідному варіанті за впливу ОМД показник водного дефіциту листків помідора їстівного порівняно з контролем зменшився на 8,3 %, але вищезазначений показник статистично не відрізняється від контролю.

Таблиця 3

Вплив органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® на показник водного дефіциту листків помідора їстівного

Варіант	Фаза бутонізації, t= 23 ⁰ С	Фаза цвітіння, t= 25 ⁰ С	Фаза бурі стиглості плодів, t= 26 ⁰ С
Контроль	25,35±1,14	22,58±1,36	26,25±1,12
Дослід	21,12±1,06*	20,72±0,57	21,23±0,78*

У фазі бурі стиглості плодів за впливу ОМД показник водного дефіциту помідора їстівного знизився на 19,1 %, що свідчить про те, що органо-мінеральне добриво «SMART» композит Марцінішин® знижує водний дефіцит листків. Варто зазначити, що температура повітря під час дослідження була вищою, порівняно з фазами бутонізації та цвітіння, відповідно, на 3 і 1 градуси. Результати наших досліджень підтверджують думку вчених про вплив забезпечення рослин водою на величину показника дефіциту води в рослині. Показник

водного дефіциту залежить також від транспірації: вищий рівень водного дефіциту характерний для листків з інтенсивнішою транспірацією [22, 23, 25].

Показано, що обробка озимої пшениці саліциловою кислотою у фази колосіння–цвітіння сприяла підвищенню вмісту води і водного потенціалу у листках рослин, а також зниженню їх водного дефіциту за дії посухи, що зумовило зменшення втрати зернової продуктивності озимої пшениці [19]. Під впливом екзогенних поліамінів (путресцин і спермін) також встановлений ефект підвищення посухостійкості рослин пшениці за умов, наближених до природних. Поліаміни впливали на водний обмін, зокрема зменшували водний дефіцит, очевидно, за рахунок зниження продигової провідності, та стан антиоксидантної і до певної міри осмопротекторної систем [15]. В умовах стресу, зумовленого кадмієвим забрудненням, розвивається водний дефіцит і на 14 добу експозиції показники водного дефіциту дослідних рослин зеленого салату зростали до 33 % [33].

Висновки

Отже, використання органо-мінерального добрива «SMART» композит Марцінішин® протягом онтогенезу рослин шляхом позакореневого підживлення істотно впливає на показники водообміну листків гібриду першого покоління Талент помідора їстівного в ґрунтово-кліматичних умовах Західного Лісостепу України (Тернопільська область). За впливу ОМД в порівнянні з контролем зросли показники інтенсивності транспірації у фазах бутонізації на 31,2 %, цвітіння – 29,4 % та бурої стиглості плодів – 40,1 %, виявлено тенденцію більшої водоутримуючої здатності тканин у фазі цвітіння та зниження водного дефіциту листків помідора їстівного на 16,7 % і 19,1 % у фазах бутонізації і бурої стиглості плодів помідора їстівного.

1. Абрамова Н. М. Вплив біогумусу на репродуктивні властивості томатів сорту Новачок. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2003. Вип. 3 (23). Т. 2. С. 97–102.
2. Антонова О. И., Крапивина М. В., Третьякова М. Н. Применение гуминовых удобрений в сельском хозяйстве. Бийск, 2000. 112 с.
3. Балабух В. О. Регіональні прояви глобальної зміни клімату в Тернопільській області та можливі їх зміни до середини ХХІ ст. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. 2014. № 1. С. 12–14.
4. Біотехнологія ризосфери овочевих рослин: монографія / Патики В. П. та ін. ; за ред. Патики В. П. Вінниця : ПП «ДТ Едельвейс і К». 2015. 266 с.
5. Векірчик К. М. Фізіологія рослин. Практикум. К. : Вища школа. Головне видавництво, 1984. 240 с.
6. Виродов О. С., Яременко С. С. Якість переробленої овочевої продукції залежно від різних систем удобрення. *Рослинництво*. 2013. № 17. С. 50–54.
7. Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи Технічні умови ТУ У 20Л-2292002437-003:2016 «Концентрована органічна добавка в над малих масштабах з функцією тунелювання і самоорганізації «SMART» композит Марцінішин®» від 22.02.2016 р. № 05.03.02-07/4931.
8. Влияния препарата Амерол-2000 на морфологические параметры и холодоустойчивость растений томата / Астахова Н. В., Суворова Т. А., Дерябина А. Н., Трунова Т. И. *Агрехимия*. 2010. № 2. С. 21–25.
9. Воропаев С. Н. Биологическая система земледелия / под ред. В. Д. Ермохина. М. : Колос, 2009. 192 с.
10. Гаврилюк В. А., Демчук С. М. Органо-мінеральні добрива – комплексне вирішення використання сировинних ресурсів. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 4. С. 78–81.
11. Григорюк І. П., Мусієнко М. М. Водний і високотемпературний стреси. Молекулярні та фізіологічні механізми стійкості рослин. Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. Київ. 2001. Т. 2. С. 118–129.
12. Гуминовые вещества в биосфере / под ред. Д. С. Орлова. М. : Наука, 1993. 238 с.
13. Заявка на випробування та державну реєстрацію добрива (Додаток 3 до наказу Мінприроди 25.03.2008 № 149 до Порядку Державної реєстрації пестицидів і агрохімікатів).
14. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивость растений к действию стрессоров. Киев. 2019. 277 с.
15. Кокорев О. І., Шкляревський М. А., Швиденко М. В., Колупаев Ю. Є. Стрес-протекторний вплив путресцину і сперміну на рослини пшениці за ґрунтової посухи. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія Біологія*. 2020. № 3 (51). С. 58–70.
16. Кушниренко М. Д., Курчатова Г. П., Крюков Е. В. Методы оценки засухоустойчивости растений. Кишинев : Штиинца, 1975. 22 с.

17. Кушниренко М. Д. Водный обмен растений при различной водообеспеченности в связи с засухоустойчивостью и продуктивностью: Водный обмен сельскохозяйственных растений. Кишинев : Штиинца, 1989. 229 с.
18. Лебедев Г. В. Дефицит воды и сельскохозяйственное производство. Л. : Химия, 1990. 320 с.
19. Маменко Т. П., Ярошенко О. А., Якимчук Р. А. Водний статус і продуктивність озимої пшениці за дії посухи та саліцилової кислоти. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2009. Т. 41. № 5. С. 447–453.
20. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: кол. монографія / за ред. Я. М. Гадзала, В. Ф. Камінського. Київ : Аграрна наука, 2016. 596 с.
21. Насіння томатів (помідор) Талант F1 (Talent F1) [Електронний ресурс]. URL: <https://vesnodar.com.ua/ua/semena-tomatov-talant-f1> (дата звернення: 12.10.2021).
22. Насрудинова Р. И., Щербатюк А. С. Водный режим сосны обыкновенной в лесостепи Прибайкалья. *Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и водного режима растений в полевых условиях* / под ред. Р. К. Салаева. Иркутск, 1983. С. 102–110.
23. Энергетические аспекты устойчивости растений / под ред. И. А. Тарчевского. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1986. С. 96–98.
24. Пономаренко С. П. Українські регулятори росту рослин. *Елементи регуляції в рослинництві*: зб. наук. пр. 1998. С. 10–16.
25. Сенчишина І. Характеристика водного обміну у представників роду *Asarum* L. *Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна*. 2005. Вип. 40. С. 166–173.
26. Скрильник С. В., Бацула О. О., Розумна Р. А. Перспективи і напрямки виробництва та застосування органо-мінеральних добрив і біостимуляторів в землеробстві України. *Вісник аграрної науки Південного регіону*. 2000. Вип. 1. С. 223–228.
27. Смирнов Ю. В., Виноградова В. С. Механизм действия и функции гуминовых препаратов. *Агротехнический вестник*. 2004. № 1. С. 22–23.
28. Стимулююча дія низьких концентрацій алюмінію на фізіологічний стан рослин гречки татарської (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) / Смірнов О. Є., Таран Н. Ю., Косян А. М. та ін. *Вісн. Харків. нац. ун-ту імені В. Н. Каразіна, Серія Біологія*. 2014. № 23. С. 107–116.
29. Тернавський А. Г., Накльока О. П. Ефективність застосування біостимуляторів росту на рослинах огірка в умовах Лісостепу України. *Агробіологія*. 2013. № 11 (104). С. 101–104.
30. Технічні умови ТУ У 20.1-2292002437-003:2016 «Концентрована органічна добавка в над малих масштабах з функцією тунелювання і самоорганізації «SMART» композит Марцінішин®».
31. Фізіологія рослин / Макрушин М. М., Макрушина С. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.
32. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, органических кислот и углеводов / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. Москва : Агропромиздат, 1987. 360 с.
33. Хоменко І., Косик О., Таран Н. Параметри водного обміну рослин салату посівного за дії іонів кадмію. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Біологія*. 2 (76). 2018. С. 20–25.
34. Чуков С. Н., Голубков М. С. Сравнительное изучение физиологической активности гумусовых кислот почв на культуре водорослей *Chlorella vulgaris*. *Вестник С. Петербург. ун-та*. 2005. № 1. Сер. 3. С. 103–113.
35. Шувар І. А. Основні аспекти комплексної біологізації землеробства західного регіону України. *Вісник ДААУ. Житомир*. 2000. С. 63–64.
36. Bengtsstn J., Ahnstrom J., Weibull A. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Applied Ecology*. 2005, 42. P. 261–269.
37. Bray A. E. Molecular responses to water deficit. *Ibid*. 1993. 103, N 5. P. 1035–1040.
38. De Vries P. F. W. T., Van Zaar H. H. Stimulation of plant growth and crop production. Wageningen ; Netherlands. 19082. P. 366.

References

1. Abramova N. M. Vplyv biohumusu na reproduktyvni vlastyvoli tomativ sortu Novachok. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia*. 2003. Vyp. 3 (23). Т. 2. S. 97–102. [in Ukrainian]
2. Antonova O. Y., Krapyvyna M. V., Tretiakova M. N. Prymenenye humynovykh udobreniy v selskom khoziaistve. *Byisk*, 2000. 112 s. [in Russian]

3. Balabukh V. O. Rehionalni proiavy hlobalnoi zminy klimatu v Ternopilskii oblasti ta mozhlyvi yikh zminy do seredyny KhKhI st. *Naukovi zapysky TNPU im. Volodymyra Hnatiuka. Serii: Heohrafiia*. 2014. № 1. S. 12–14. [in Ukrainian]
4. Biotekhnolohiia ryzosfery ovochevykh roslyn [monohrafiia] / Patyka V. P., ta in. ; za red. Patyky V. P. Vinnytsia : PP «DT Edelveis i K». 2015. 266 s. [in Ukrainian]
5. Vekirchuk K. M. Fiziolohiia roslyn. Praktykum. K. : Vyshcha shkola. Holovne vydavnytstvo, 1984. 240 s. [in Ukrainian]
6. Vyrodov O. S., Yaremenko S. S. Yakist pereroblenoi ovochevoi produktsii zalezno vid riznykh system udobrennia. *Roslynyystvo*. 2013. № 17. S. 50–54. [in Ukrainian]
7. Vysnovok derzhavnoi sanitarno-epidemiolohichnoi ekspertyzy Tekhnichni umovy TU U 20L-2292002437-003:2016 «Kontsentrovana orhanichna dobavka v nad malykh masshtabakh z funktsiieiu tuneliuvannia i samoorhanizatsii «SMART» kompozyt MARTsINyShYN®» vid 22.02.2016 r. № 05.03.02-07/4931. [in Ukrainian]
8. Vlyianyia preparata Amerol-2000 na morfolohycheskye parametry y kholodoustoichyvost rastenyi tomata / Astakhova N. V., Suvorova T. A., Deriabyina A. N., Trunova T. Y. *Ahrokhymia*. 2010. № 2. S. 21–25. [in Russian]
9. Voropaev S. N. Byolohycheskaia systema zemledelyia pod red. V. D. Ermokhyna. M. : Kolos, 2009. 192 s. [in Russian]
10. Havryliuk V. A., Demchuk S. M. Orhano-mineralni dobrovya – kompleksne vyrishennia vykorystannia syrovynnykh resursiv. *Ahroekolohichni zhurnal*. 2013. № 4. S. 78–81. [in Ukrainian]
11. Hryhoriuk I. P. Musiienko M. M. Vodnyi i vysokotemperaturnyi stresy. Molekuliarni ta fiziolohichni mekhanizmy stiikosti roslyn. *Fiziolohiia roslyn v Ukraini na mezhi tysiacholit*. Kyiv. 2001. T. 2. S. 118–129. [in Ukrainian]
12. Humynovye veshchestva v byosfere / pod red. D. S. Orlova. M. : Nauka, 1993. 238 s. [in Russian]
13. Zaiavka na vyprobuvannia ta derzhavnu reiestratsiiu dobrovya (Dodatok 3 do nakazu Minpryrody 25.03.2008 № 149 do Poriadku Derzhavnoi reiestratsii pestytsydiv i ahrokhimikativ). [in Ukrainian]
14. Kolupaev Yu. E., Karpets Yu. V. Aktyvnye formy kysloroda, antyoksydanty y ustoichyvost rastenyi k deistviyu stressorov. Kyev. 2019. 277 s. [in Russian]
15. Kokorev O. I., Shkliarevskiy M. A., Shvydenko M. V., Kolupaev Yu. Ye. Stres-protektornyi vplyv putrestsynu i sperminu na roslyny pshenytsi za gruntovoi posukhy. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii Biolohiia*. 2020. № 3 (51). S. 58–70. [in Ukrainian]
16. Kushnyrenko M. D., Kurchatova H. P., Kriukov E. V. Методы отsenky zasukhoustoichyvosty rastenyi. Kyshynev : Shtyntsya, 1975. 22 s. [in Russian]
17. Kushnyrenko M. D. Vodnyi obmen rastenyi pry razlychnoi vodoobespechennosti v sviazy s zasukhoustoichyvosti y produktyvnosti: Vodnyi obmen selskokhoziaistvennykh rastenyi. Kyshynev : Shtyntsya, 1989. 229 s. [in Russian]
18. Lebedev H. V. Defytsyt vody y selskokhoziaistvennoe proyzvodstvo. L. : Khymia, 1990. 320 s. [in Russian]
19. Mamenko T. P., Yaroshenko O. A., Yakymchuk R. A. Vodnyi status i produktyvnist ozymoi pshenytsi za dii posukhy ta salitsylovoi kysloty. *Fyzyolohiia y byokhymia kult. rastenyi*. 2009. T. 41. № 5. S. 447–453. [in Ukrainian]
20. Naukovi osnovy vyrobnytstva orhanichnoi produktsii v Ukraini: kol. monohrafiia / za red. Ya. M. Hadzala, V. F. Kaminskoho. Kyiv : Ahrarna nauka, 2016. 596 s. [in Ukrainian]
21. Nasinnia tomativ (pomidor) Talent F1 (Talent F1) [Elektronnyi resurs]. URL: <https://vesnodar.com.ua/ua/semena-tomatov-talent-f1> (дата звернення: 12.10.2021). [in Ukrainian]
22. Nasrudynova R. Y., Shcherbatiuk A. S. Vodnyi rezhym sosny obyknovennoi v lesostepy Prybaikalia / Эколого-физиологические исследования фотосинтеза у водного режима растений в полевых условиях. Pod red. R. K. Saliaeva. Yrkutsk, 1983. S. 102–110. [in Russian]
23. Энергетические аспекты устоичyvosty rastenyi / pod red. Y. A. Tarchevskoho. Kazan: Yzd-vo Kazanskoho un-ta, 1986. S.96–98. [in Russian]
24. Ponomarenko S. P. Ukrainski rehuliatory rostu roslyn. Elementy rehuliatytsii v roslynyystvi: zb. nauk. pr. 1998. S. 10–16. [in Ukrainian]
25. Senchyshyna I. Kharakterystyka vodnoho obminu u predstavnykiv rodu Aser L. *Visnyk Lviv. un-tu. Serii biolohichna*. 2005. Vyp. 40. S. 166–173. [in Ukrainian]
26. Skrylnyk Ye. V., Batsula O. O., Rozumna R. A. Perspektyvy i napriamky vyrobnytstva ta zastosuvannia orhano-mineralnykh dobrovy i biostymuliatoriv v zemlerobstvi Ukrainy. *Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu*. 2000. Vyp. 1. S. 223–228. [in Ukrainian]

27. Smyrnov Yu. V., Vynohradova V. S. Mekhanyzm deistvyia y funktsyy humynovykh preparatov. *Ahrokhymycheskyi vestnyk*. 2004. № 1. S. 22–23. [in Russian]
28. Stymuliuiucha diia nyzkykh kontsentratsii aliuminiuu na fiziolohichni stan roslyn hrechky tatarskoi (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) / Smirnov O. Ye., Taran N. Yu., Kosian A. M. ta in. *Visn. Kharkiv. nats. un-tu imeni V. N. Karazina, Serii Biolohiia*. 2014. № 23. S. 107–116. [in Ukrainian]
29. Ternavskiy A. H., Nakloka O. P. Efektyvnist zastosuvannya biostymulatoriv rostu na roslynakh ohirka v umovakh Lisostepu Ukrainy. *Ahrobiolohiia*. 2013. № 11 (104). S.101–104. [in Ukrainian]
30. Tekhnichni umovy TU U 20.1-2292002437-003:2016 «Kontsentrovana orhanichna dobavka v nad malykh masshtabakh z funktsiieiu tuneliuvannya i samoorhanizatsii «SMART» kompozyt MARTsINyShYN®». [in Ukrainian]
31. Fiziolohiia roslyn / Makrushyn M. M., Makrushyna Ye. M., Peterson N. V., Melnykov M. M. Vinnytsia: Nova Knyha, 2006. 416 s. [in Ukrainian]
32. Khymycheskyi sostav pyshchevykh produktov. Spravochnye tablytsy sodержanyia amynokyslot, zhyrnykh kyslot, vytamynov, makro- y mykroelementov, orhanycheskykh kyslot y uhlevodov / pod red. Y. M. Skurykhyna, M. N. Volhareva. Moskva : Ahropromyzzdat, 1987. 360 s. [in Russian]
33. Khomenko I., Kosyk O., Taran N. Parametry vodnoho obminu roslyn salatu posivnoho za dii ioniv kadmiu. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Biolohiia*. 2 (76). 2018. S. 20–25. [in Ukrainian]
34. Chukov S. N., Holubkov M. S. Sravnytelnoe yzuchenye fyziolohycheskoi aktyvnosti humusovykh kyslot pochv na kulture vodoroslei *Chlorella vulgaris*. *Vestnyk S. Peterburh. un-ta*. 2005. № 1. Ser. 3. S. 103–113. [in Russian]
35. Shuvar I. A. Osnovni aspekty kompleksnoi biolohizatsii zemlerobstva zakhidnoho rehionu Ukrainy. *Visnyk DAAU. Zhytomyr*. 2000. S. 63–64. [in Ukrainian]
36. Bengtsston J., Ahnstrom J., Weibull A. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Applied Ecology*. 2005. 42. P. 261–269.
37. Bray A. E. Molecular responses to water deficit. *Ibid*. 1993. 103, N 5. P. 1035–1040.
38. De Vries P. F. W. T., Van Zaar H. H. Stimulation of plant growth and crop production. Wageningen ; Netherlands. 19082. P. 366.

A. Yu. Dzendzel

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

INFLUENCE OF ORGANIC-MINERAL FERTILIZER "SMART" COMPOSITE "MARCINYSHYN" ® ON THE WATER EXCHANGE RATES OF EDIBLE TOMATO LEAVES (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* MILL.)

The article presents the results of the impact of organic-mineral fertilizer "SMART" composite "Marcinyshyn" ® on the water exchange rates of edible tomato leaves (*Lycopersicon esculentum* Mill.) when grown on meadow-black medium loam soils on loess-like loam soils of the Western Forest-Steppe of Ukraine (Ternopil region). Organic-mineral fertilizer "SMART" composite "Marcinyshyn" ® is included in the "List of pesticides and agrochemicals approved for use in Ukraine" with the status of "permanent registration" for use in agriculture. The developer of regulatory and technical documentation and manufacturer of the fertilizer is Individual Entrepreneur Martsinyshyn Yuriy Danylovych, Ukraine; LLC "Research Institute of Noosphere Valeology Martsinyshyn Health Conservation and Planetary Human Environmental Safety", Ukraine.

It is shown that the use of organic-mineral fertilizer "SMART" composite Marcinyshyn ® by treating the root system of seedlings and foliar fertilizing of plants in phases of 3–4 true leaves, 5–7 true leaves, bush formation – the beginning of budding, flowering, fruit formation and closing of fruit significantly affects the intensity of transpiration, water holding capacity, water deficiency in the leaves of edible tomatoes hybrid F1 Talent in soil and climatic conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine (Ternopil region).

It has been observed that when using organic-mineral fertilizer "SMART" composite Marcinyshyn®, the increase in transpiration intensity in comparison with the control in the phases of budding was 31.2 %, in flowering it was 29.4 %, pink ripeness – 40.1 %.

In the flowering phase of the edible tomato under the influence of organic-mineral fertilizer "SMART" composite Marcinyshyn®, there was a tendency of greater water-holding capacity of

tissues in 2, 4 and 6 hours after leaf plucking compared to the control. Indicators of water-holding capacity of leaves with foliar feeding of plants only after 24 hours were statistically significant.

The analysis showed that the use of organic-mineral fertilizer "SMART" Marcinyshyn® composite statistically significantly reduced the water deficit of fruits of edible tomato leaves in the phases of budding and pink ripeness by 16.7 and 19.1 %.

Key words: edible tomato (Lycopersicon esculentum Mill.), organic-mineral fertilizers, transpiration intensity, water holding capacity, water deficiency.

Надійшла 26.10.2021.

УДК 581.143:577.175.1.05

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.11

А. Г. КОЗЮЧКО, В. М. ГАВІЙ, О. Б. КУЧМЕНКО

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 2, Ніжин, Чернігівська область, 16600
e-mail: gaviyv@gmail.com

ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ СОРТУ АННУШКА ЗАЛЕЖНО ВІД ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

У статті наведено порівняльну характеристику впливу комбінацій метаболічно активних речовин на основі вітаміну Е, параоксibenзойної кислоти (ПОБК) і метіоніну; вітаміну Е, ПОБК, метіоніну і магній сульфату ($MgSO_4$); вітаміну Е і убихінону-10 на формування фотосинтетичного апарату, вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках рослин та чисту продуктивність фотосинтезу сої. Встановлено, що зазначені метаболічно активні речовини ефективно впливають на формування фотосинтетичного апарату, а комбінації вітамін Е + убихінон-10, вітамін Е + ПОБК + метіонін збільшують вміст хлорофілів у листках рослин та чисту продуктивність посівів сої сорту Аннушка.

Ключові слова: соя, вітамін Е, параоксibenзойна кислота (ПОБК), метіонін, магній сульфат ($MgSO_4$), кількість листків, хлорофіл а і b, чиста продуктивність фотосинтезу.

Одним з пріоритетних напрямів розвитку сільського господарства України є стабільне виробництво насіння олійних культур [6, 7]. Соя – одна з найважливіших і найпоширеніших зернобобових та олійних культур у світі. Вона відзначається високим вмістом білка й олії та високими поживними якість. У насінні сої міститься 30–45 % білків, 13–26 % олії, 20–32 % вуглеводів, а також мінеральні речовини, вітаміни, ензими тощо [3, 12].

Без застосування добрив неможливо одержати великий урожай сої. Серед основних факторів, які визначають урожайність цієї культури, на добрива припадає 30 %, на сорти – 20 %, на погодні умови та захист рослин – по 15 %, на ефективну родючість та обробіток ґрунту – по 10 % [3].

У сучасних умовах, коли більшість виробників не мають можливості забезпечити достатній рівень використання добрив, особливо гостро постає питання впровадження у виробництво нових елементів, що підвищать врожайність та покращать якість продукції. У цьому відношенні надзвичайно актуальним для виробників є застосування нових засобів підвищення врожайності: регуляторів росту рослин, комплексних бактеріальних добрив та біопрепаратів. Це дає можливість спрямованої регуляції процесів росту та розвитку рослин зернобобових культур завдяки можливості використання (на відміну від традиційних добрив)

tissues in 2, 4 and 6 hours after leaf plucking compared to the control. Indicators of water-holding capacity of leaves with foliar feeding of plants only after 24 hours were statistically significant.

The analysis showed that the use of organic-mineral fertilizer "SMART" Marcinyshyn® composite statistically significantly reduced the water deficit of fruits of edible tomato leaves in the phases of budding and pink ripeness by 16.7 and 19.1 %.

Key words: edible tomato (Lycopersicon esculentum Mill.), organic-mineral fertilizers, transpiration intensity, water holding capacity, water deficiency.

Надійшла 26.10.2021.

УДК 581.143:577.175.1.05

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.11

А. Г. КОЗЮЧКО, В. М. ГАВІЙ, О. Б. КУЧМЕНКО

Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 2, Ніжин, Чернігівська область, 16600
e-mail: gaviyv@gmail.com

ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ СОРТУ АННУШКА ЗАЛЕЖНО ВІД ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

У статті наведено порівняльну характеристику впливу комбінацій метаболічно активних речовин на основі вітаміну Е, параоксibenзойної кислоти (ПОБК) і метіоніну; вітаміну Е, ПОБК, метіоніну і магній сульфату ($MgSO_4$); вітаміну Е і убихінону-10 на формування фотосинтетичного апарату, вміст зелених фотосинтетичних пігментів у листках рослин та чисту продуктивність фотосинтезу сої. Встановлено, що зазначені метаболічно активні речовини ефективно впливають на формування фотосинтетичного апарату, а комбінації вітамін Е + убихінон-10, вітамін Е + ПОБК + метіонін збільшують вміст хлорофілів у листках рослин та чисту продуктивність посівів сої сорту Аннушка.

Ключові слова: соя, вітамін Е, параоксibenзойна кислота (ПОБК), метіонін, магній сульфат ($MgSO_4$), кількість листків, хлорофіл а і b, чиста продуктивність фотосинтезу.

Одним з пріоритетних напрямів розвитку сільського господарства України є стабільне виробництво насіння олійних культур [6, 7]. Соя – одна з найважливіших і найпоширеніших зернобобових та олійних культур у світі. Вона відзначається високим вмістом білка й олії та високими поживними якість. У насінні сої міститься 30–45 % білків, 13–26 % олії, 20–32 % вуглеводів, а також мінеральні речовини, вітаміни, ензими тощо [3, 12].

Без застосування добрив неможливо одержати великий урожай сої. Серед основних факторів, які визначають урожайність цієї культури, на добрива припадає 30 %, на сорти – 20 %, на погодні умови та захист рослин – по 15 %, на ефективну родючість та обробіток ґрунту – по 10 % [3].

У сучасних умовах, коли більшість виробників не мають можливості забезпечити достатній рівень використання добрив, особливо гостро постає питання впровадження у виробництво нових елементів, що підвищують врожайність та покращують якість продукції. У цьому відношенні надзвичайно актуальним для виробників є застосування нових засобів підвищення врожайності: регуляторів росту рослин, комплексних бактеріальних добрив та біопрепаратів. Це дає можливість спрямованої регуляції процесів росту та розвитку рослин зернобобових культур завдяки можливості використання (на відміну від традиційних добрив)

як у період передпосівної підготовки матеріалу, так і для позакореневої обробки рослин в оптимальні фази їхнього розвитку [16].

Метаболічно-активні речовини часто використовують у галузі рослинництва. Вони входять до складу багатьох стимуляторів росту та інших препаратів для рослин. Щороку вивчають нові властивості цих речовин та їхні перспективи щодо подальшого застосування. На сьогодні їх використовують для стимуляції росту рослин, захисту їх від шкідників, хвороб та стресів, що сприяє підвищенню показників урожайності та ефективності культурних рослин [2].

Використання метаболічно-активних речовин дає змогу краще розкрити потенціал рослини, підвищити стресостійкість проти факторів живої та неживої природи і в результаті збільшити продуктивність сільськогосподарських культур. Учені всього світу проводять дослідження в цій галузі для виявлення нових корисних властивостей, які в подальшому можна було б використовувати в рослинництві для збільшення їхньої ефективності. Метаболічно-активні речовини мають здатність прискорювати та уповільнювати ростові процеси в насінні рослин, захищати його від різних факторів, що безпосередньо впливають на подальше зростання рослини, перебіг її фізіологічних процесів та, що найголовніше, можуть підвищувати показники врожайності [28].

Тому, **метою роботи** було вивчити вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на фотосинтетичну продуктивність сої на різних фазах онтогенезу.

Матеріал і методи досліджень

Польові досліді закладалися на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Відповідно ділянки готували до посіву: проводили культивуацію, обміряли, розбивали на варіанти та повторності, а також обробляли насіння досліджуваними речовинами. Досліді закладали за схемою:

1. Контроль (насіння сої, замочене у дистильованій воді).
2. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + убіхінон-10 (0,001 %).
3. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (ПОБК) (0,001 %) + метіонін (0,001 %) + $MgSO_4$ (0,001 %).
4. Насіння сої, оброблене розчином комбінації речовин: вітамін Е (10^{-8} М) + параоксибензойна кислота (0,001 %) + метіонін (0,001 %).

Ефективність дії цих комбінацій порівнювали з дією відомого стимулятора росту рослин Вимпел.

Після обробки розчином комбінацій метаболічно активних речовин насіння сої висівали широкорядним способом (ширина міжрядь – 45 см) у ґрунт поля. Ґрунтовий покрив дослідного поля – чорнозем опідзолений, малогумусний; за профілем характеризується відносною однорідністю гранулометричного і валового хімічного складу зі значним вмістом елементів живлення в гумусовому горизонті. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту 3,5 %, ступінь насиченості основами – 90,8–91,1 %, реакція ґрунтового розчину слабо кисла (рН 6,0–6,3), гідролітична кислотність 2,42 мг -екв./100 г ґрунту, вміст рухомих сполук фосфору – 118 мг/кг та обмінного калію – 99 мг/кг (за Чириковим – забезпеченість підвищена), нітрогену – 64 мг/кг (за Корнфілдом – забезпеченість середня). Потреби у внесенні мінеральних добрив не було. Загальна площа посівної ділянки – 108 м². Повторність досліді – трьохразова. Дослідження проводилися протягом 2019–2021 років.

Для дослідження використовували насіння сої сорту Аннушка. Даний сорт є ультрастиглим і характеризується стійкістю проти вилягання, високою польовою стійкістю проти хвороб [20].

Визначення фізіологічних та біохімічних показників проводилося в таких фазах розвитку сої: 1–3 трійчастих листків, цвітіння, формування бобів.

Чисту продуктивність фотосинтезу сої визначали за методикою А. О. Ничипоровича [24]. Вміст пігментів – хлорофілів *a*, *b* і загальний вміст хлорофілів у листках рослин сої визначали

спектрофотометричним методом [18]. Спектрофотометричне вимірювання оптичної густини розчинів проводили за довжин хвиль 665, 654, 649 нм. Розчином порівняння був етиловий спирт.

Статистичну та математичну обробку результатів здійснювали за допомогою програми Excel 16.0 для Windows. Статистичну оцінку проводили за t-критерієм Стьюдента при рівні значимості $p \leq 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення

Основним джерелом синтезу й нагромадження рослинами сухої речовини у результаті складних біохімічних процесів, які відбуваються з використанням сонячного світла і вуглекислого газу, є процес фотосинтезу. За твердженнями А. О. Ничипоровича [15], урожай сільськогосподарських культур, у тому числі й сої, формується завдяки засвоєнню ними органічних речовин і їх синтезу в процесі внутрішнього обміну, а також і процесах росту і розвитку. Майже 90–95 % урожаю формується в листках за рахунок фотосинтетичних процесів, що змінюються в часі та залежать від біологічних особливостей культури, сорту, віку рослин та умов зовнішнього середовища.

З'ясовано, що передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук ефективно вплинула на облиствіння рослин протягом усіх фаз росту та розвитку сої. Так, протягом трьох років досліджень рослини контрольного варіанту сформували найменшу кількість листків в усіх досліджуваних фазах (табл. 1).

Максимальну кількість листків на рослинах виявлено за використання вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10. Так, за результатами трирічних досліджень, зазначена вище комбінація найефективніше стимулювала наростання листків, перевищуючи показники контролю у всіх досліджуваних фазах та показники у варіанті з Вимпелом у фазах цвітіння та формування бобів (табл. 1). Таку дію речовин можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 виконують важливу роль у функціонуванні рослинного організму. Зокрема, вони залучені до біоенергетичних процесів, захисту від шкодочинної дії активних форм кисню та продуктів окиснення, виступають у якості ефективних імуностимуляторів, впливають на формування вегетативних та генеративних органів тощо [27].

Крім вищезазначених речовин, позитивний вплив на формування листків сої мала передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних сполук: вітамін Е + метіонін + ПОВК + $MgSO_4$ та вітамін Е + метіонін + ПОВК. Зокрема, у фазі цвітіння у варіанті з використанням комбінації речовин вітамін Е + метіонін + ПОВК + $MgSO_4$ кількість листків на рослинах сої перевищила показники контролю на 53,44 %. Поряд із цим, передпосівна обробка вітаміном Е + метіонін + ПОВК на різних фазах онтогенезу сої сприяла збільшенню кількості листків на рослинах сої на 23,52–49,42 % порівняно з показниками контролю (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на кількість листків на рослинах сої сорту Аннушка (середні показники за 2019–2021 рр.)

Варіант досліджу	Фаза розвитку сої					
	Утворення 1-3 трійчастих листків		Цвітіння рослин		Формування бобів	
	шт.	% до контролю	шт.	% до контролю	шт.	% до контролю
Контроль	1,72±0,08	100,00	9,45± 0,67	100,00	14,33± 0,24	100,00
Вітамін Е + убіхінон-10	3,02± 0,07*	175,58	19,5± 0,71*	206,35	22,97± 0,48*	160,29
Вітамін Е + метіонін + ПОВК + $MgSO_4$	2,03± 0,08*	118,02	14,5± 0,64*	153,44	18,73± 0,30*	130,70
Вітамін Е + метіонін + ПОВК	2,57± 0,05*	149,42	13,06± 0,45*	138,20	17,7± 0,48*	123,52
Вимпел	3,00± 0,08*	174,42	14,37± 0,30*	152,06	19,89± 0,39*	138,79

* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем ($p < 0,05$)

Вміст хлорофілу у фотосинтезуючих тканинах рослин є важливою характеристикою адаптації фотосинтетичного апарату до умов навколишнього середовища та одним із основних факторів біологічної продуктивності рослин, у тому числі й сої. Особливе значення в процесі фотосинтезу належить зеленим пігментам – хлорофілам *a* і *b*. Вони є чутливими індикаторами фізіологічного стану рослин [8, 11, 19].

Хлорофіли *a* і *b* необхідні для формування структури фотосинтетичного апарату, виконують важливу роль у фотохімічних реакціях, поглинають енергію сонячного світла й трансформують її в хімічну енергію органічних сполук [9, 23]. Інтенсивність фотосинтезу та вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах значною мірою залежить від мінерального живлення. Дефіцит основних поживних елементів призводить до зниження кількості фотосинтетичних пігментів у листових пластинках рослин [9, 13].

Застосування комбінацій метаболічно активних сполук для передпосівної обробки насіння викликає певні зміни в пігментному складі листків рослин сої на різних фазах онтогенезу.

З'ясовано, що у фазу 1–3 трійчастих листків у контролі вміст суми хлорофілів *a* і *b* в середньому становив 18,86 мг/г сирової маси, хлорофілу *a* – 13,55 мг/г сирової маси, хлорофілу *b* – 6,37 мг/г сирової маси. За передпосівної обробки насіння сої комбінацією речовин вітамін Е + убіхінон-10 виявлено максимальну кількість пігментів, а саме: вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої становив 25,54 мг/г сирової маси, що на 35,42 % більше від контролю та на 16,55 % вище від показників у варіанті з Вимпелом. Зазначена композиція метаболічно активних сполук сприяла зростанню вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках сої порівняно з показниками контролю на 36,08 % і 37,52 % та на 18,66 % і 23,39 % – порівняно з показниками Вимпелу відповідно (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі 1–3 трійчастих листків (середні показники за 2019–2021 рр.), мг/г сирової маси

Показник		Варіант дослідю				
		Контроль	Вітамін Е + Убіхінон- 10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	мг/г	18,86± 0,38	25,54±0,43*	18,18± 0,40	16,98±0,4 0	22,42±0,34*
	% до контролю	100,00	135,42	96,39	90,03	118,87
Вміст хлорофілу <i>a</i>	мг/г	13,55± 0,32	18,44±0,44*	10,44± 0,42	12,12±0,4 0	16,91±0,21*
	% до контролю	100,00	136,08	77,05	89,45	117,13
Вміст хлорофілу <i>b</i>	мг/г	6,37± 0,27	8,76± 0,25*	4,64± 0,30	5,16± 0,17	7,27± 0,24*
	% до контролю	100,00	137,52	72,84	81,01	114,13

*Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітаміну Е + ПОБК + метіонін дала можливість збільшити вміст суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої на 9,97 мг/г та 8,35 мг/г сирової маси і у фазі цвітіння (табл. 3). Варто зазначити, що всі

досліджувані речовини сприяли зростанню вмісту хлорофілу *a* порівняно з контролем в середньому на 7,77–16,59 %. Найбільший вміст хлорофілу *b* виявлено за використання комбінації вітаміну Е + убіхінон-10 (табл. 3).

Ефективність досліджуваних комбінацій метаболічно-активних сполук можна пояснити тим, що убіхінон бере участь у перенесенні електронів у транспортному ланцюзі, у процесах обміну енергії, разом із пластохіноном він бере участь у процесах фотофосфорилуванні в тилакоїдах хлоропластів та окиснювальному фосфорилуванні. Параоксибензойна кислота має виражену антимікробну активність і пригнічує ріст бактерій, цвілевих та інших грибів. Вона поєднує у собі властивості сигнального посередника і стресового фітогормону. Метіонін є попередником синтезу гормонів росту, регулює відкриття продохів [17].

Джерелом додаткового живлення сільськогосподарських культур є мінеральне добриво – сульфат магнію. Відомо, що магній виконує важливу роль у фотосинтезі, оскільки входить до складу молекули хлорофілу, пектинових речовин, бере участь у синтезі білків, переміщенні фосфору, активізує ферменти, регулює поглинання води кореневою системою. Сульфур контролює ріст і розвиток рослини, також, як і магній, бере участь у синтезі білків, ферментів, метаболізм, в окисно-відновних процесах клітини, підвищує стійкість до стресових умов, активізує відновні процеси [21].

Таблиця 3

Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі цвітіння (середні показники за 2019–2021 рр.), мг/г сирової маси

Показник		Варіант досліду				
		Контроль	Вітамін Е + Убіхінон- 10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	мг/г	132,69 ± 0,72	142,66 ± 0,72 *	128,87 ± 0,62	141,04 ± 0,51 *	145,09 ± 0,64 *
	% до контролю	100	107,51	97,12	106,29	109,35
Вміст хлорофілу <i>a</i>	мг/г	91,68 ± 0,52	106,89 ± 0,51 *	98,81 ± 0,72	103,52 ± 0,41 *	105,29 ± 0,41*
	% до контролю	100	116,59	107,77	112,91	114,85
Вміст хлорофілу <i>b</i>	мг/г	40,19 ± 0,22	43,33 ± 0,26 *	40,17 ± 0,35	40,85 ± 0,20	44,00 ± 0,23 *
	% до контролю	100	107,81	99,95	101,64	109,48

*Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Максимальні показники вмісту хлорофілів *a* і *b* виявлено у фазі формування бобів. Так, у фазі формування бобів у контролі вміст суми хлорофілів *a* і *b* становив 180,97 мг/г сирової маси, хлорофілу *a* – 120,82 мг/г сирової маси та хлорофілу *b* – 56,76 мг/г сирової маси. Обробка насіння сої комбінацією речовин вітаміну Е + убіхінону-10 дала можливість збільшити на 8,24 % показник суми хлорофілів *a* і *b* у листках сої порівняно з контролем (табл. 4).

У процесі фотосинтезу утворюється близько 95 % загальної біомаси рослин. Тому зміна цієї величини може досить об'єктивно відображати їх асиміляційну діяльність. Саме цей показник лежить в основі визначення чистої продуктивності фотосинтезу [22].

Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на вміст хлорофілів *a* і *b* у листках сої сорту Аннушка у фазі формування бобів (середні показники за 2019–2021 рр.), мг/г сирової маси

Показник		Варіант досліджу				
		Контроль	Вітамін Е + Убіхінон-10	Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	Вітамін Е + метіонін + ПОБК	Вимпел
Вміст суми хлорофілів <i>a</i> і <i>b</i>	мг/г	180,97 ± 0,86	195,89 ± 0,86 *	182,71 ± 0,97	188,98 ± 0,81*	194,88 ± 0,84 *
	% до контролю	100	108,24	101,06	104,43	107,68
Вміст хлорофілу <i>a</i>	мг/г	120,82 ± 0,11	143,24 ± 0,09 *	131,97 ± 0,10 *	139,73 ± 0,44*	137,79 ± 0,60 *
	% до контролю	100	118,565	109,23	115,65	114,05
Вміст хлорофілу <i>b</i>	мг/г	57,76 ± 0,30	61,21 ± 0,85*	59,07 ± 0,79*	57,09 ± 0,73*	61,62 ± 0,75*
	% до контролю	100	109,60	104,07	100,58	108,83

*Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (p < 0,05)

Чиста продуктивність фотосинтезу залежить як від біологічних особливостей культури, так і від комплексу зовнішніх факторів: сонячної радіації, температури повітря, вологості ґрунту, рівня мінерального живлення, а також від застосування регуляторів росту рослин [1, 4, 5, 26]. Чиста продуктивність фотосинтезу повніше, порівняно з площею листків, відображає реальні можливості агробіоценозу щодо синтезу органічної речовини. Вона є одним із найважливіших параметрів, із яким корелює рівень урожайності [10, 14, 25].

У результаті досліджень виявлено, що найбільші показники чистої продуктивності фотосинтезу посівів сої у фазі цвітіння визначено у варіантах із застосуванням комбінацій вітаміну Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + метіонін + ПОБК, де чиста продуктивність фотосинтезу сої перевищувала показники контролю на 27,61 % і 24,66 % та на 10,45 % і 7,5 % – показники Вимпелу (табл. 5).

Застосування досліджуваних речовин сприяло збільшенню чистої продуктивності фотосинтезу сої в усіх варіантах комбінацій й у фазі формування бобів. Максимальний результат виявлено за використання вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10. Застосування зазначеної комбінації метаболічно активних речовин зумовило збільшення показника чистої продуктивності фотосинтезу на 1,00 г/м², або 25,25 % порівняно з показниками контролю та на 4,29 % – у порівнянні з показниками Вимпелу (табл. 5).

Ефективність метаболічно активних сполук також залежить від особливостей погодних умов. Тому при проведенні досліджень нами враховувалися метеорологічні показники, зокрема середньодобові мінімальні та максимальні температури повітря, кількість опадів, запаси вологи в ґрунті. Так, за температурними показниками та водозабезпеченням 2019 і 2021 роки були більш сприятливими для росту та розвитку сої порівняно з 2020 роком. Недостатня кількість опадів та нерівномірний їхній розподіл у 2020 році стали причиною зменшення показників асиміляційних процесів у рослинах сої. Крім того, у 2020 році спостерігалось зниження температури навколишнього середовища після висіву насіння в ґрунт, що також вплинуло на перебіг фізіологічних процесів у рослинах сої.

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів сої сорту Аннушка залежно від передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами у фазі цвітіння (середні показники за 2019–2021 рр.), г/м² за добу

Варіант досліджу	Рік проведення дослідів			Середнє	
	2019 р.	2020 р.	2021 р.	г/м ²	% до контролю
Фаза цвітіння					
Контроль	3,6± 0,10	3,69± 0,12	3,9± 0,12	3,73± 0,15	100
Вітамін Е + убіхінон-10	4,96± 0,15*	4,41± 0,17*	4,91± 0,12*	4,76± 0,14*	127,61
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	3,98± 0,12	3,52± 0,17	4,02± 0,15	3,84± 0,13	102,95
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	4,82± 0,13*	4,31± 0,12*	4,83± 0,16*	4,65± 0,12*	124,66
Вимпел	4,48± 0,14*	3,82± 0,10*	4,38± 0,12*	4,37± 0,15*	117,16
Фаза формування бобів					
Контроль	4,05± 0,14	3,73± 0,15	4,10± 0,13	3,96± 0,17	100
Вітамін Е + убіхінон-10	5,09± 0,14*	4,70± 0,11*	5,11± 0,10*	4,96± 0,13*	125,25
Вітамін Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	4,43± 0,19*	4,00± 0,16*	4,50± 0,15*	4,31± 0,10*	108,84
Вітамін Е + метіонін + ПОБК	5,01± 0,14*	4,63± 0,17*	5,05± 0,15*	4,89± 0,10*	123,48
Вимпел	4,96± 0,15*	4,43± 0,12*	5,00± 0,11*	4,79± 0,11*	120,96

* Примітка. Різниця достовірна порівняно з контролем (р < 0,05)

Висновки

1. Вміст хлорофілу в листках рослин сої поступово зростає за фазами росту та розвитку і максимальне значення виявлено у фазі формування бобів. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями речовин вітамін Е + убіхінон-10 та вітаміну Е + ПОБК + метіонін зумовила збільшення вмісту суми хлорофілів *a* і *b*, хлорофілу *a* та хлорофілу *b* у листках сої.
2. Застосування комбінацій вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК сприяло зростанню чистої продуктивності фотосинтезу у всіх досліджуваних фазах онтогенезу сої. Максимальний результат виявлено за використання вітаміну Е в поєднанні з убіхінон-10.
3. Передпосівна обробка насіння сої комбінаціями метаболічно активних речовин вітамін Е + убіхінон-10, вітамін Е + метіонін + ПОБК сприяють максимальній реалізації фотосинтетичної продуктивності, тому подальше вивчення впливу зазначених вище речовин на зернобобові культури є перспективним.
4. Передпосівна обробка насіння сої метаболічно активними сполуками може бути використана як елементи технології при вирощуванні зернобобових культур.

1. Адамень Ф. Ф., Вергунов А. В., Лазер Н. П., Вергунова Н. И. Агробиологические особенности возделывания сои в Украине. К.: Аграр. наука, 2006. 456 с.
2. Біостимулятори рослин природного походження. Сайт МНТЦ Агробіотех. URL: <http://www.agrobiotech.com.ua> (дата звернення: 10.10.2021).
3. Бабич А. О. Сучасне виробництво і використання сої. К.: Урожай, 1993. 429 с.
4. Бабич А. О., Венедіктов О. М. Фотосинтетична діяльність та урожайність насіння сої залежно від строків сівби та системи захисту від хвороб в умовах Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2004. № 53. С. 83–88.
5. Бабич А. О., Петриченко Ф. В., Адамень Ф. Ф. Проблема фотосинтезу і біологічної фіксації азоту бобовими культурами. *Вісник аграр. науки*. 1996. № 2. С. 34–39.

6. Бабич А., Колісник С., Побережна А., Немцов А. Розміщення посівів і технологія вирощування сої в Україні. *Пропозиція*, 2000. № 5. С. 38–40.
7. Гадзало Я. М., Гладій В. М., Саблук Т. П. Аграрний потенціал України. К. : Аграрна наука, 2016. 332 с.
8. Годнев Т. Н. Хлорофилл, его строение и образование в растений. Минск : Изд-во АН БССР, 1963. 123 с.
9. Гуляев Б. І. Екофізіологія фотосинтезу: досягнення, стан та перспективи досліджень. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліття: збірник наукових праць*. Київ, 2001. Т. 1. С. 60–74.
10. Кашманов А. А. Свет и развитие растений. М. : Сельхозгиз, 1963. 354 с.
11. Лебедева Т. С., Сьтнік К. М. Пигменты растительного мира. К. : Наук. думка, 1986. 87 с.
12. Лещенко А. К. Культура сої на Україні. К. : В-во Укр. с.-г. академії, 1962. 324 с.
13. Мальцева Н. М., Гаєвський А. П., Дерев'яно К. Ю. Вплив біологічно активних речовин та їх композицій на вміст фотосинтетичних пігментів у листках озимої пшениці в умовах дефіциту фосфору. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43. № 5. С. 403–411.
14. Ничипорович А. А., Строганова Е. Л., Чмора Н. С., Власова П. М. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М : АН СССР, 1961. 133 с
15. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. *Тимирязевское чтение*. М., 1956. 94 с.
16. Обробка насіння сої. *Агро Еліта*. URL: <https://agroelita.info/2019/04/obrobka-nasinnya-soji/> (дата звернення: 05.11.2021).
17. Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Роль амінокислот у захисті культур від стресів. *НПК «Квадрат»*. URL: https://agromage.com/stat_id.php?id=1086 (дата звернення: 10.10.2021).
18. Починок Х. Н. Методи біохімічного аналізу рослин. К. : Наукова думка, 1976. 336 с.
19. Рубин А. Б., Венедиктов П. С., Кренделева Т. Е., Пашенко В. З. Регуляція первичних стадій фотосинтезу при изменении физиологического состояния растений. *Фотосинтез и продукционный процесс*. М. : Наука, 1989. С. 29–39.
20. Сорт сої Аннушка. *IAC Аграрії разом*. URL: <https://agrarii-razom.com.ua/culturevariety/annushka> (дата звернення: 10.10.2021).
21. Сульфат магнію, як додаткове джерело сірки та магнію для рослини. *Агро One*. URL: www.agroone.info/publication/sulfat-magniju-jak-dodatkove-dzherelo-sirki-ta-magniju-dlja-roslini/ (дата звернення: 5.11.2021).
22. Турін Є. М. Специфічність взаємодії сортів сої з різними штамми бульбочкових бактерій. *Вісник аграрної науки*. 2005. № 11. С. 82–84.
23. Шадчина Т. М., Гуляев Б. І., Кірізій Д. А. та ін. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин: фізіологічні та екологічні аспекти. К.: Фітосоціоцентр, 2006. 384 с.
24. Єщенко, В. О., Копитко Г. П., Опришко П. В., Костогриз В. П. Основи наукових досліджень в агрономії /за ред. В. О. Єщенка. К. : Дія, 2005. 288 с.
25. Bone S. Reduces tillage systems for soybean production. *Soybean news*. 1978. V. 28. № 2. P. 1–2.
26. Caulfield F. Comparative responses of photosynthesis to growth temperature in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars / F. Caulfield, J. Bunce // *Canad. J. Plant Sc.* 1988. Т. 68, № 2. P. 419–425.
27. Farouk S. Ascorbic Acid and a Tocopherol Minimize Salt-Induced Wheat Leaf Senescence. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2011. Vol. 7 (3). P. 58–79.
28. Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2016;73 (1):18–23. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0006

References

1. Adamen' F. F., Verhunov A. V., Lazer N. P., Verhunova N. Y. Ahrobyolohycheskye osobennosti vozdelывanyia soy v Ukraine. К. : Ahrar. nauka, 2006. 456 s. [in Russian]
 2. Biostymulatoryi roslin pryrodnoho pokhodzhennia. *Sayt MNTTs Ahrobiotekh*. URL: <http://www.agrobiotech.com.ua> (data zvernennia: 10.10.2021). [in Ukrainian]
 3. Babych A. O. Suchasne vyrobnytstvo i vykorystannia soi. К. : Urozhay, 1993. 429 s. [in Ukrainian]
 4. Babych A. O., Venediktov O. M. Fotosyntetychna diial'nist' ta urozhaynist' nasinnia soi zalezno vid strokiv sivby ta systemy zakhystu vid khvorob v umovakh Lisostepu Ukrainy. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. Vinnytsia, 2004. No 53. S. 83–88. [in Ukrainian]
 5. Babych A. O., Petrychenko F. V., Adamen' F. F. Problema fotosyntezy i biolohichnoi fiksatsii azotu bobovymy kul'turamy. *Visnyk ahrar. Nauky*. 1996. No 2. S. 34–39. [in Ukrainian]
- 88 ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2021, Т. 81, № 4

6. Obrobka nasinnia soi. *Ahro Elita*. URL.:https://agroelita.info/2019/04/obrobka_nasinnya-soji/ (data zvernennia: 05.11.2021). [in Ukrainian]
7. Biostymuliatory roslyn pryrodnoho pokhodzhennia. *Sayt MNTTs Ahrobiotekh*. URL.: <http://www.agrobiotech.com.ua> (data zvernennia: 10.10.2021). [in Ukrainian]
8. Hodnev T. N. Khlorofyll, eho stroenye y obrazovanye v rastenyy. Mynsk: Yzd-vo AN BSSR, 1963. 123 s. [in Russian]
9. Hulciaiev B. I. Ekofiziolohiia fotosyntezy: dosiahnennia, stan ta perspektyvy doslidzhen'. *Fiziolohiia roslyn v Ukraini na mezhi tysiacholittia: zbirnyk naukovykh prats'*. Kyiv, 2001. T.1. S. 60–74. [in Ukrainian]
10. Kashmanov A. A. Svet y razvytye rastenyy. M.: Sel'khozhyz, 1963. 354 s. [in Russian]
11. Lebedeva T. S., Sytynk K. M. Pyhmenty rastytel'noho myra. K.: Nauk. dumka, 1986. 87 s. [in Russian]
12. Leshchenko A. K. Kul'tura soi na Ukrainy. K.: V-vo Ukr. s.-h. akademii, 1962. 324 s. [in Ukrainian]
13. Mal'tseva N.M., Haievs'kyi A. P., Derev'ianko K. Yu. Vplyv biolohichno aktyvnykh rehovyn ta ikh kompozytsiy na vmist fotosyntetychnykh pihmentiv u lystkakh ozymoi pshenytsi v umovakh defitsytu fosforu. *Fyziolohiia y byokhymia kul'turnykh rastenyy*. 2011. T. 43. No 5. S. 403–411. [in Ukrainian]
14. Nychyporovych A. A., Strohanova E. L., Chmora N. S., Vlasova P. M. Fotosyntetycheskaia deiatel'nost' rastenyy v posivakh. M: AN SSSR, 1961. 133 s. [in Russian]
15. Nychyporovych, A.A. Fotosyntezy y teoriya poluchenyia vysokyykh urozhaiiv. *Tymyriazevskoe chtenye*. M., 1956. 94 s. [in Russian]
16. Obrobka nasinnia soi. *Ahro Elita*. URL.:https://agroelita.info/2019/04/obrobka_nasinnya-soji/ (data zvernennia: 05.11.2021). [in Ukrainian]
17. Polianchykov S. P., Kovbel' A. Y. Rol' aminokyslot u zakhysti kul'tur vid stresiv. *NPK "Kvadrat"*. URL.: https://agromage.com/stat_id.php?id=1086 (data zvernennia: 10.10.2021). [in Ukrainian]
18. Pochynok Kh. N. Metody biokhimichnoho analizu roslyn. K.: Naukova dumka, 1976. 336 s. [in Ukrainian]
19. Rubyn A. B., Venedyktov P. S., Krendeleva T. E., Pashchenko V. Z. Rehuliatsiya pervychnykh stadyu fotosyntezy pry yzmenenyy fyziolohycheskoho sostoiannya rastenyy. *Fotosyntezy y produktsyonny protsess*. M. : Nauka, 1989. S. 29–39. [in Russian]
20. Sort soi Annushka. *IAS Ahrarii razom*. URL.: <https://agrarii-razom.com.ua/culturevariety/annushka> (data zvernennia: 10.10.2021). [in Ukrainian]
21. Sul'fat mahniuu, yak dodatkove dzherelo sirky ta mahniuu dlia roslyny. *Agro One*. URL.: www.agroone.info/publication/sulfat-magniju-jak-dodatkove-dzherelo-sirki-ta-magniju-dlja-roslini/ (data zvernennia: 5.11.2021). [in Ukrainian]
22. Turin Ie. M. Spetsyfichnist' vzaiemodii sortiv soi z riznymy shtamamy bul'bochkovykh bakteriy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. Kyiv: Ahrarna nauka, 2005. No 11. S. 82–84. [in Ukrainian]
23. Shadchyna T. M., Hulciaiev B. I., Kiriziy D. A. ta in. Rehuliatsiia fotosyntezy i produktyvnist' roslyn: fiziolohichni ta ekolohichni aspekty. K.: Fitosotsiotsentr, 2006. 384 s. [in Ukrainian]
24. Ieshchenko, V. O., Kopytko H. P., Opryshko P. V., Kostohryz V. P. Osnovy naukovykh doslidzhen' v ahronomii /za red. V.O. Ieshchenka. K.: Diia, 2005. 288 s. [in Russian]
25. Bone S. Reduces tillage systems for soybean production. *Soybean news*. 1978. V. 28. № 2. P. 1–2.
26. Caulfield F. Comparative responses of photosynthesis to growth temperature in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars / F. Caulfield, J. Bunce // *Canad. J. Plant Sc.* 1988. T. 68, № 2. P. 419–425.
27. Farouk S. Ascorbic Acid and a Tocopherol Minimize Salt-Induced Wheat Leaf Senescence. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2011. Vol. 7(3). P. 58–79.
28. Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2016;73(1):18–23. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0006.

A. G. Koziuchko, V. M. Havii, O. B. Kuchmenko
Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY OF ANNUSHKA SOYBEANS DEPENDING ON PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES

One of the priority areas for the development of Agriculture in Ukraine is the stable production of oilseeds. Soy is one of the most important and widespread legumes and oilseeds in the world. It is characterized by a high protein and oil content and high nutritional qualities. Soy seeds contain 30–45 % protein, 13–26% fat, 20–32% carbohydrates, as well as minerals, vitamins, enzymes, etc.

Without the use of fertilizers, it is impossible to obtain a big soybean harvest. Among the main factors that determine the yield of this crop, fertilizers account for 30 %, varieties – 20 %, weather conditions and plant protection – 15 % each, effective fertility and tillage – 10 % each.

Therefore, the study of the effect of a combination of metabolically active substances (complexes of vitamin E and ubiquinone-10; vitamin E, 4-hydroxybenzoic acid (PHBA) and methionine; vitamin E, 4-hydroxybenzoic acid (PHBA), methionine and magnesium sulfate growth regulator Vympel on assimilation processes in soybean leaves in the main phases of ontogenesis and its performance is worthy of scientific attention.

It was observed that pre-sowing treatment of seeds with combinations of metabolically active compounds effectively affected the formation of the number of leaves during all phases of plant growth and development. Thus, when using vitamin E in combination with ubiquinone-10, the maximum number of leaves on soybean plants was formed, exceeding the control indicators at all the studied phases and indicators in the variant with a pennant in the flowering and bean formation phase.

The use of combinations of metabolically active compounds for pre-sowing seed treatment causes certain changes in the pigment composition of soybean leaves at different phases of ontogenesis. It was found that pre-sowing treatment of soybean seeds with a combination of vitamin E + ubiquinone-10 substances allowed to achieve the maximum result, namely, to increase the content of the sum of chlorophylls A and b in soybean leaves to 25.54 mg/g of raw mass, which is 35.42 % more than the control and 16.55 % more than in the variant with Vympel. Pre-sowing treatment of soybean seeds with combinations of substances vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + PHBA + methionine allowed to increase the content of the sum of chlorophylls a and b in soybean leaves by 9.97 mg/g and 8.35 mg/g of raw mass and in the flowering phase. The maximum content of chlorophylls a and b was achieved during the bean formation phase.

Pre-sowing treatment of soybean seeds with combinations of metabolically active substances vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + methionine + PHBA contribute to the maximum realization of photosynthetic productivity, so further study of the effect of the above substances on leguminous crops is promising.

Pre-sowing treatment of soybean seeds with metabolically active compounds can be used as elements of technology in the cultivation of legumes.

Keywords: soy, vitamin E, methionine, 4-hydroxybenzoic acid (PHBA), magnesium sulfate (MgSO₄), growth regulator, Vympel, leaf count, chlorophyll A and b, net photosynthetic performance.

Надійшла 19.10.2021.

ІСТОРІЯ НАУКИ. ПЕРСОНАЛІЇ

УДК 378.4.096:57](477.84)ТНПУ

doi: 10.25128/2078-2357.21.4.12

А. В. СТЕПАНЮК, Н. Й. МІЩУК, Г. Я. ЖИРСЬКА, Л. С. БАРНА, Н. М. ДРОБИК,
В. В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027
e-mail: mishchuk@chem-bio.com.ua

ВИТОКИ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ЗАГАЛЬНОЇ БІОЛОГІЇ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН У СИСТЕМІ «ЗВО-ШКОЛА» (до 50-річчя кафедри)

У статті виявлено та охарактеризовано два стратегічні чинники, які впливали на становлення кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін як цілісної відкритої саморегулюючої системи. Зокрема, важливим чинником була організаційно-методична та науково-дослідна діяльність завідувачів кафедри І. В. Шуста, А. В. Царенка, В. В. Грубінка, яка сприяла формуванню нової генерації науковців та викладачів, появи наукових шкіл та розвитку нових напрямків біологічних та методичних досліджень. Поштовхом до активізації діяльності колективу за всіма напрямками стало об'єднання кафедри загальної біології з кафедрою методики навчання природничих дисциплін, що позитивно вплинуло на налагодження співпраці працівників закладу вищої педагогічної освіти з педагогічними працівниками закладів загальної середньої освіти та школярами. Встановлено, що розробка колективних наукових тем педагогічного спрямування послугувала основою розробки та впровадження моделі організації партнерської взаємодії в системі «ЗВО – Школа», системотвірним чинником якої є реалізація принципів дитино- та студентоцентризму в паритетній колаборації учасників освітнього процесу. Основу моделі складають різноманітні види інноваційної діяльності щодо співпраці школи і вузу за трьома перспективними напрямками: відпрацювання механізмів взаємодії ЗЗСО і ЗВО з метою модернізації форм і методів організації освітнього процесу; формування умов для професійного самовизначення учнів й підвищення рівня компетентності майбутніх абітурієнтів університету; створення закладами вищої освіти освітнього середовища для вчителів щодо здійснення освіти впродовж життя.

Ключові слова: кафедра, заклад вищої освіти, заклад загальної середньої освіти, партнерська взаємодія, чинники становлення кафедри, напрямки та форми співпраці закладів освіти.

У Законі України «Про вищу освіту» зазначено, що кафедра – базовий структурний підрозділ закладу вищої освіти, що провадить освітню, методичну та/або наукову діяльність за певною спеціальністю (спеціалізацією) чи міжгалузєвою групою спеціальностей [3].

Методичну роботу кафедри в умовах кредитно-модульної системи висвітлено в працях Н. Ю. Кислої, А. Ю. Рижкової, І. М. Трубавіної [4]. Дослідники тлумачать її як можливу форму масового одночасного підвищення кваліфікації викладачів до роботи в нових умовах тощо.

Разом з тим, впровадження Концепції Нової української школи актуалізує проблему співпраці між закладами вищої освіти та закладами загальної середньої освіти. У межах такої співпраці йдеться про партнерську взаємодію суб'єктів освітнього процесу усіх рівнів системи

освіти (учні, студенти, учителі, викладачі). Її впровадження дає можливість поєднувати знання, вміння, навички та досвід для ефективного вирішення нагальних проблем освіти, підвищення рівня якості освіти, професіоналізму педагогічних та науково-педагогічних працівників.

Проведений аналіз наукових джерел [5; 8; 9; 10; 11] та освітньої практики засвідчив, що в сучасних умовах дослідження партнерства закладів освіти проводяться за такими напрямками: удосконалення освітньої діяльності та поліпшення успішності здобувачів; професійний розвиток педагогів у системі неперервної освіти; координація, розвиток та оцінювання навчальних програм і процесу навчання; мобілізація, розподіл та ефективне використання освітніх ресурсів. Однак, цілісний підхід до висвітлення проблеми в сучасному трансформованому освітньому середовищі не отримав ще належного опрацювання. У цьому контексті значний інтерес викликає дослідження чинників становлення ефективної співпраці кафедр із закладами загальної середньої освіти. Тому *метою* нашого дослідження є виявлення витоків ефективного функціонування кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (ТНПУ) в системі «ЗВО – Школа».

Проведений аналіз наукових джерел, узагальнення як його результатів, так і особистого практичного досвіду дозволило нам виокремити два стратегічні чинники, які впливали на становлення кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін як цілісної відкритої саморегулюючої системи. Зокрема:

1. Організаційно-методична та науково-дослідна діяльність непересічних науковців-біологів, завідувачів кафедри І. В. Шуста, А. В. Царенка, В. В. Грубінка. Так, багатовекторну діяльність кафедри цілісно дослідив перший її завідувач, доктор біологічних наук, професор Іван Васильович Шуст і висвітлив у праці «Вузівська кафедра» (1995). На його думку, кафедра «покликана забезпечувати не лише спеціальну, але й суспільно-етичну підготовку фахівця. Вона координує і об'єднує зусилля викладачів у вдосконаленні методичної роботи, опираючись на ідеї народної педагогіки, вітчизняної та зарубіжної педагогічної науки і практики» [12, с. 3]. І. В. Шуст вважав, що основною діяльністю кафедри є її організаційно-педагогічна робота. Тому саме цьому аспекту знаний науковець, з притаманним йому цілісним прогностичним мисленням, приділяв особливу увагу. Ідеї І. В. Шуста є актуальними сьогодні і потребують наукового опрацювання.

Кандидат медичних наук, доцент А. В. Царенко як завідувач кафедри особисто долучився до розробки навчально-методичного забезпечення впровадження експериментального дослідження валеологічної освіти.

Нинішній завідувач кафедри, доктор біологічних наук, професор В. В. Грубінко максимально спрямовує діяльність кафедри як системи на її відкритість, становлення колаборативних зв'язків у системах «кафедра – факультет», «кафедра – університет», «кафедра – ЗЗСО».

2. Об'єднання кафедри загальної біології і методики навчання природничих дисциплін, яке дало новий поштовх до активізації діяльності кафедри за всіма напрямками роботи. Нами досліджено, зокрема, генезу наукових досліджень кафедри педагогічного спрямування. Так, у зв'язку з переорієнтацією науково-методичної діяльності кафедри на дослідження шляхів удосконалення змісту та методичного забезпечення шкільних курсів біології, природознавства, основ здоров'я, наукова робота викладачів, починаючи з 2013 р., здійснювалась за такими колективними темами:

2011–2015 рр. – «Теоретичні та методичні засади професійної підготовки вчителів природничого профілю» (№ держреєстрації 0111U001327). Керівник – проф. Степанюк А. В.; виконавці з членів кафедри: доценти Н. Й. Міщук, Г. Я. Жирська, Л. С. Барна. Основні напрями НДР такі:

- дослідження проблеми впровадження нових технологій навчання в систему природничо-наукової освіти;
- історія та шляхи удосконалення методичної підготовки майбутнього вчителя біології в контексті кредитно-трансферної системи навчання;
- науково-дослідна робота студентів хіміко-біологічного факультету;

- формування ціннісного ставлення майбутніх учителів природничих дисциплін до об'єктів живої природи.

Їхній реалізації сприяли дослідження за кафедральною тематикою з актуальних проблем професійно-методичної підготовки майбутніх учителів природничих дисциплін у контексті євроінтеграційних процесів у системі освіти України шляхом виконання колективних наукових проєктів; дослідження за індивідуальною тематикою здобувачів наукових ступенів, аспірантів та докторантів кафедри відповідно до плану наукових досліджень; участь кафедри на громадських засадах у загальноукраїнських проєктах із проблем професійно-методичної підготовки майбутніх учителів та навчання біології в закладах загальної середньої освіти; періодичне проведення на базі кафедри всеукраїнських науково-практичних конференцій з актуальних проблем методичної підготовки майбутніх учителів природничих дисциплін з участю провідних науковців України, проведення щорічних звітно-наукових конференцій, наукових і науково-методичних семінарів, а також участь студентів і викладачів у наукових форумах, що проводяться в інших наукових установах та ЗВО; публікації результатів досліджень у фахових наукових виданнях, міжнародних журналах, міжвузівських виданнях, підручниках та посібниках для вищої та середньої загальноосвітньої школи; упровадження в освітній процес результатів наукових досліджень викладачів кафедри, аспірантів та докторантів.

Особливо цінним у науково-дослідній роботі кафедри у цей період є виявлення програмних компетенцій та реалізація принципу наступності у формуванні компетентностей майбутніх учителів біології в умовах ступеневої освіти [10], сутності професійно-методичної компетентності вчителя біології [7], дослідження процесу формування дослідницької компетентності в студентів та школярів під час вивчення природничих дисциплін [13], особливості формування екологічної культури сучасної молоді [2], історичні аспекти підготовки вчителів біології у вищих навчальних закладах України [1] тощо.

Забезпечення реалізації принципу «навчання через дослідництво» здійснювалось шляхом підвищення дослідницької компоненти навчальних занять (лекції, лабораторні заняття, навчальна та педагогічна практики) та позааудиторної роботи студентів (проблемні групи, наукові гуртки, ІНДЗ тощо); посилення експериментально-дослідницької складової курсових та магістерських робіт; апробації та публікації результатів кращих магістерських робіт у збірниках наукових праць «Магістр», «Наука в умовах глобалізації», «Студентський науковий вісник», у збірниках тез тощо.

Прикладні результати досліджень методичного характеру впроваджувалися під час конструювання навчально-методичного забезпечення навчальних дисциплін із підготовки студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Методика навчання біології», «Методика навчання екології», «Методика навчання природознавства», «Методика навчання основ здоров'я», «Історія біології», «Біоетика», «СІТ у професійній діяльності вчителя біології», «Загальна та педагогічна валеологія», «Еколого-натуралістична діяльність школярів», «Квітникарство». На другому (магістерському) рівні вищої освіти основні ідеї дослідницької роботи викладачів впроваджувалися у навчальні дисципліни «Методика викладання біологічних дисциплін», «Дидактика природничих наук», «Теорія та методика навчання (природничі науки, фізика, хімія, біологія)», «Здоров'язбережувальні технології у закладах освіти».

Упродовж 2013–2015 рр. проф. Степанюк А. В. та доц. Жирська Г. Я. брали участь у проєкті «Освіта для сталого розвитку в дії» в партнерстві з організацією Global Action Plan Int. за підтримки уряду Королівства Швеції; здійснювали експериментальну перевірку навчальних матеріалів, розроблених в рамках проєкту (навчальна програма, навчально-методичне забезпечення курсу); апробацію результатів виконання науково-дослідної роботи з теми «Методична система навчання біології в старшій школі на академічному рівні» співробітниками лабораторії хімічної і біологічної освіти Інституту педагогіки НАПН України (довідка № 682–33/03 від 25.05.2015 р.).

2016–2020 рр. – «Навчально-методичне забезпечення вивчення біології в умовах неперервної освіти» (№ держреєстрації 0116U002133). Керівник – проф. Степанюк А. В.;

виконавці з членів кафедри – доценти Н. Й. Міщук, Г. Я. Жирська, Л. С. Барна. Мета – обґрунтування комплексу навчально-методичного забезпечення вивчення біології в полісуб'єктному навчальному середовищі закладів освіти та експериментальна перевірка його дієвості. За результатами діяльності опубліковано низку вагомих наукових та навчально-методичних праць. Зокрема, для *закладів загальної середньої освіти* – підручник з біології для учнів 8 класу, рекомендованого МОН України [6], 2 посібники для учнів 8–9 класів, рекомендованих МОН України; 7 посібників із біології для вчителів, для *закладів вищої педагогічної освіти* – 3 монографії, 5 освітньо-професійних програм підготовки здобувачів першого та другого рівнів вищої освіти, 14 посібників для студентів, 7 навчально-методичних комплексів вивчення біологічних та методичних дисциплін у системі управління навчальними ресурсами Moodle, 8 силабусів і 8 робочих програм навчальних дисциплін, 2 практикоорієнтовані тренінгові програми «Освітні системи. Теорія та практика їх моделювання», «Універсалії світобудови» тощо.

У цей період науковцями-методистами кафедри розроблено та успішно впроваджено технологію змішаного навчання, що полягає в поєднанні традиційного, аудиторного, позааудиторного, електронного, дистанційного навчання у професійній підготовці майбутніх педагогів [13], методика імплементації ідей сталого розвитку у зміст професійної підготовки учителів природничих наук [14] та інше.

2021–2025 рр. – «Теоретико-методичні засади підготовки вчителів природничих наук» (ДР № 0121U108166). Керівник – проф. Степанюк А. В.; виконавці з членів кафедри – доценти Н. Й. Міщук, Г. Я. Жирська, Л. С. Барна. Мета: розробка та обґрунтування структурно-функціональної моделі підготовки вчителів природничих наук у системі неперервної освіти, експериментальна перевірка її ефективності. Ця тематика науково-дослідної роботи зумовлена запровадженням вивчення у ЗЗСО інтегрованого навчального предмета «Природничі науки». Окрім того, згідно наказу МОН України від 03.08.2018 № 863 «Про проведення експерименту всеукраїнського рівня «Розроблення і впровадження навчально-методичного забезпечення інтегрованого курсу «Природничі науки» для 10–11 класів закладів освіти загальної середньої освіти» викладачі кафедри відповідають за участь нашого університету у цьому дослідженні (проф. Степанюк А. В. – співкерівник експерименту, проф. Грубінко В. В. – науковий консультант, доц. Міщук Н. Й. – член науково-методичної комісії).

Згідно з наказом Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини від 28.12.2020 р. № 1699 о/д, проф. Степанюк А. В. та доц. Міщук Н. Й. включено до складу галузевої конкурсної комісії II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей «Методика навчання природничо-математичних дисциплін» (Методика навчання біології, методика навчання природничих наук), у якому в 2021 р. взяло участь четверо здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів спеціальностей 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини) та 014.15 Середня освіта (Природничі науки). Здобувачка магістерського рівня вищої освіти Л. П. Козловська стала переможцем конкурсу з методики навчання природничих наук.

Чимало зусиль викладачі, які забезпечують професійно-методичну підготовку студентів, докладають для поповнення інтелектуальної еліти нашого університету та України, забезпечення інтеграції наукової та навчальної діяльності викладачів кафедри, учителів області та студентів, здійснення наступності у їхній науковій підготовці. Так, із 2013 р. під керівництвом проф. Степанюк А. В. захищено 4 кандидатські та 1 докторську дисертації.

Проведений аналіз сутності науково-педагогічних досліджень із тематики, яка виконувалась на кафедрі загальної біології та методики навчання природничих дисциплін з 2013 по 2021 рік, засвідчує, що саме вони є витокami ефективного функціонування кафедри в системі «ЗВО – Школа». Результатом їхнього впровадження є розроблена у 2019 р. працівниками кафедри (проф. Дробик Н. М., проф. Степанюк А. В., доц. Жирська Г. Я., доц. Міщук Н. Й.) інноваційна модель організації партнерської взаємодії в системі «ЗВО – Школа», системотвірним чинником якої стала ідея реалізації принципів дитино- та студентоцентризму в паритетній взаємодії учасників освітнього процесу [9]. Її основу складають перспективні напрямки інноваційної діяльності щодо співпраці школи і ЗВО

(відпрацювання механізмів взаємодії школи і ЗВО з метою модернізації форм і методів організації освітнього процесу; формування умов для професійного самовизначення учнів й підвищення рівня компетентності майбутніх абітурієнтів університету; створення закладом вищої освіти умов для вчителів щодо здійснення освіти впродовж життя).

Основні форми взаємодії закладів освіти на сучасному етапі за першим напрямком наступні: навчально-методична взаємодія, яка включає в себе підготовку та апробацію підручників, навчальних і методичних посібників для учнів і вчителів, контакти вчителів шкіл із викладачами ЗВО з метою консультацій та обміну досвідом; науково-методична робота, яка передбачає проведення спільних круглих столів із найбільш важливих питань спільної діяльності, організацію методичних семінарів при кафедрах ЗВО з участю вчителів школи, рецензування викладачами ЗВО дослідницьких і проєктних робіт учнів шкіл, залучення до участі в науково-практичних конференціях на базі ЗВО вчителів шкіл, організація на базі ЗВО роботи факультативів та наукових гуртків, орієнтованих на учнів шкіл тощо.

Головною передумовою подальшого успішного навчання учня як студента ЗВО є те, що школа і ЗВО повинні подбати про наступність в освітніх програмах, удосконалення сучасної освіти згідно вимог Нової української школи [11]. Обговорення цих вимог здійснюється на спільних семінарах, круглих столах, на науково-практичних конференціях, панельних дискусіях, які організуються для учителів шкіл та викладачів ЗВО. Такі форми співпраці дають можливість обмінятися досвідом, виробити єдині вимоги до навчальних досягнень учнів, обговорити методику викладання навчальних предметів, як у школі, так і в ЗВО, працювати над створенням навчально-методичного комплексу з предмету для середніх шкіл із залученням викладачів ЗВО і навпаки. Наприклад, надзвичайно корисною для вчителів природничих дисциплін були міжнародні наукові конференції «Нова українська школа: теорія і практика реалізації інтегрованого підходу» (2018 р.) та «Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи» (2019–2021 р.), проведені на базі Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Форми співпраці закладів освіти щодо профорієнтаційної діяльності, спрямованої на усвідомлений вибір випускником професії та підвищення мотивації до навчання (реалізація другого напрямку), також різноманітні: виїзні зустрічі з учителями, учнями та їхніми батьками з метою проведення бесід про правила прийому до ЗВО і умови навчання в ньому; проведення на базі ЗВО наукових шкіл, лабораторій, предметних олімпіад і конкурсів серед учнів шкіл; організація Днів відкритих дверей, екскурсій та інших заходів. Масові заходи, що проводять заклади вищої освіти з профорієнтації майбутніх абітурієнтів, мають важливу просвітницьку функцію. Зазвичай, профорієнтаційна робота відбувається шляхом проведення днів відкритих дверей, ярмарок та виставок професій, екскурсій для учнів тощо. Такі заходи спрямовуються на створення позитивного іміджу ТНПУ. Їх цінність полягає в активізації процесу професійного самовизначення школярів, сприянні вихованню в учнів відповідального й активного ставлення до свідомого та самостійного вибору майбутньої професії. Кафедра щорічно бере участь у таких заходах. Практикується також проведення Крайового форуму освітян «Освіта – енергія майбутнього» під гаслом «#Будуємо_Майбутнє_Разом», де обговорюються дискусійні освітні проблеми на семінарах, тренінгах, панельних дискусіях тощо, до яких долучаються студенти і школярі. Актуальним є проведення фестивалю професій «Гостини в ТНПУ», під час якого учні відвідують Центр довузівської підготовки та оглядають презентації усіх факультетів.

З метою підвищення рівня компетентності майбутніх абітурієнтів функціонує Літня хіміко-біологічна школа ТНПУ «Мій майбутній професійний вибір» (керівник – доц. Міщук Н. Й.), яка організовується на базі Голицького біостаціонару. Вона передбачає реалізацію таких основних напрямків діяльності: профорієнтаційного, навчально-професійного, спортивно-оздоровчого, культурно-масового, комунікативного розвитку та учнівсько-студентського самоврядування. Зокрема, профорієнтаційний напрям передбачає ознайомлення з професіями природничого профілю, діагностику професійної спрямованості учнів. Навчально-професійний напрям містить систему практико-орієнтованих занять із ботаніки, зоології, хімії, спрямованих на розвиток особистісних і професійно значущих якостей

особистості школярів. Напрямок комунікативного розвитку спрямований на формування та розвиток культури ділового спілкування. Учнівсько-студентське самоврядування передбачає спільну діяльність учнівської та студентської молоді з формування й розвитку уявлень про демократичні процеси управління, формування активної життєвої позиції та розвиток лідерських якостей.

Організація і проведення конкурсів, турнірів, інтелектуальних ігор, що сприяють розвитку творчості, таланту дітей, є домінуючим вектором взаємодії школи і ЗВО. Зокрема, доцент кафедри Г. Я. Жирська вже четвертий рік очолює роботу щодо посилення майбутніми абітурієнтами своєї позиції на вступному конкурсі шляхом участі у Всеукраїнській профорієнтаційній олімпіаді ТНПУ з природничих і технічних спеціальностей.

Для реалізації третього напряму інноваційної діяльності щодо співпраці кафедри і школи в ТНПУ ліцензовані освітні програми підвищення кваліфікації педагогічних та науково-педагогічних працівників. Мета підвищення кваліфікації учителів біології і природничих наук: формування нових та вдосконалення набутих професійно-методичних компетентностей, сприяння реалізації принципу «освіта впродовж життя» в освітній галузі.

Загалом, діяльність кафедри базується на положенні, що актуальність удосконалення професійно-методичної підготовки вчителів природничих дисциплін до роботи в сучасних закладах загальної середньої освіти пов'язана з тим, що, будучи найбільш чутливим індикатором змін, які відбуваються в суспільстві й освіті, ця складова фахової підготовки в найбільшій мірі реагує на них усіма своїми компонентами (цільовим, змістовим, технологічним). Його реалізація забезпечується:

- орієнтацією освітнього процесу з навчальних дисциплін, викладання яких забезпечує кафедра, на формування моральних якостей майбутнього учителя природничих дисциплін, його синергетичного світогляду та біо(еко)етичних переконань;

- реалізацією дослідницького типу навчання в процесі професійно-методичної підготовки майбутніх учителів шляхом поєднання навчально-дослідного та науково-дослідного навчання;

- систематичним оновленням та удосконаленням програм навчальних дисциплін кафедри з урахуванням зазначених вимог, інноваційних процесів та нормативних змін у вищій школі.

- розробкою та застосуванням електронних навчально-методичних комплексів з усіх дисциплін кафедри на основі інформаційно-комунікаційних та Інтернет-технологій;

- підготовкою до друку і виданням підручників та навчально-методичних посібників з дисциплін кафедри, у тому числі з грифом МОН України, відповідно до галузевих стандартів та інноваційних процесів у системі вищої освіти;

- залученням студентів до суб'єкт-суб'єктної взаємодії учасників освітнього процесу в процесі організації навчально-дослідної та науково-дослідної діяльності та презентацій результатів досліджень на телебаченні, у пресі, наукових виданнях тощо;

- оновленням навчально-методичних розробок, рекомендацій щодо організації самостійної роботи студентів, виконання курсових та магістерських робіт, проходження різних видів фахових та педагогічних практик (пропедевтичної, навчальної та виробничої) відповідно до нормативних вимог організації освітнього процесу, концептуальних засад діяльності кафедри та вимог середньої загальноосвітньої школи;

- систематичним оновлення засобів контролю успішності студентів (тестових завдань для модульного та підсумкового оцінювання) в напрямі перевірки якості професійно-методичної компетентності майбутніх учителів, її мотиваційного, когнітивного, діяльнісного, рефлексивного та комунікативного компонентів;

- ґрунтовної практичної підготовки майбутніх учителів на основі тісної співпраці з освітніми закладами м. Тернополя та області, вчителями-переможцями Всеукраїнського конкурсу «Вчитель року» (номінація Біологія), щорічного проведення серед студентів творчих конкурсів методичного спрямування та конкурсу «Студент-практикант року»;

- відкритості діяльності кафедри шляхом постійного оновлення її сайту, навчально-методичного кутка, презентації результатів методичних досліджень на курсах підвищення кваліфікації вчителів, періодичній пресі та телебаченні.

Висновки

Організація діяльності кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін за розробленою моделлю партнерської взаємодії «ЗВО – Школа» уже принесла позитивні результати. Найважливіший з них – значна кількість абітурієнтів, які обрали у 2021 р. хіміко-біологічний факультет (127 здобувачів вищої освіти у 2021 р. у порівнянні з 98 та 51 здобувачем відповідно у 2020 та 2019 рр.). Це дозволяє рекомендувати кафедрам ЗВО використовувати запроваджену модель організації колаборативних зв'язків у системах «кафедра – факультет», «кафедра – університет», «кафедра – ЗЗСО».

1. Барна Л. Особливості підготовки вчителів біології в Україні в 20–30-х роках ХХ століття. *Гуманітарний вісник ДНУЗ «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди»*. Педагогіка. 2015. Вип. 37. С. 53–61.
2. Жирська Г. Я. Формування в учнів ціннісного ставлення до природи як компонента екологічної культури. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Педагогіка*. 2014. Вип. 2. С. 74–81.
3. Закон України «Про вищу освіту». URL: <https://bit.ly/32p757M> (дата звернення: 10.10.2021)
4. Кисла Н. Ю., Рижкова А. Ю., Трубавіна І. М. Методична робота кафедри в умовах кредитно-модульної системи: навчально-методичний посібник /за ред. І. М. Трубавіної. Х. : Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014. 92 с.
5. Коханова О. П. Партнерська взаємодія як умова розвитку суб'єктності майбутнього фахівця. *Педагогіка вищої та середньої школи* : зб. наук. пр. 2010. Вип. 29. С. 311–316.
6. Міщук Н. Й., Жирська Г. Я., Степанюк А. В., Барна Л. С. Біологія: підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. Тернопіль : Підручники і посібники, 2016. 280 с.
7. Міщук Н. Й. Професійно-методична компетентність у контексті педагогічної діяльності вчителя біології. *Вища освіта України. Дод. 2 до № 3, том II (27)*. 2011. Темат. вип. «Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору». С. 540–545.
8. Степанюк А. В. Особливості педагогічної взаємодії в умовах кредитно-модульної системи навчання. *Збірник наукових праць Херсонського університету. Педагогічні науки*. 2008. Вип. 49. С.41–46.
9. Степанюк А. В., Жирская Г. Я., Мищук Н. И., Дробык Н. М. Организация партнерского сотрудничества в системе “Педвуз – Школа” в условиях реформирования образования в Украине. *Матер. междунар. науч.-практ. конф. Алтынсаринские чтения*. Костанай, 2020. С. 510–514. URL: <https://bit.ly/2Mli6ib> (дата звернення: 12.10.2021)
10. Степанюк А. В., Жирська Г. Я., Міщук Н. Й. Наступність у формуванні компетенцій майбутніх учителів біології в умовах ступеневої освіти. *Педагогічні науки*. 2014. Вип. LXVI. С. 229–235.
11. Степанюк А. В., Жирська Г. Я. Організація партнерської взаємодії в системі «ВУЗ – школа» у процесі підготовки майбутніх учителів хімії та біології. *Біологія і хімія в рідній школі*. 2020. № 2. С. 40–43.
12. Шуст І. В. Вузівська кафедра. Нариси організаційно-педагогічної діяльності. Тернопіль, 1995. 116 с.
13. Stepanyuk A. V., Mishchuk N. Y., Zhyrska N. Ya., Olendr T. M. Implementation of the «Learning Through Research» principle at Ukrainian secondary schools: Experience and prospects. *Revista Espacios*. ISSN 0798 1015. Vol.40, 2019, No. 19, pp. 20. URL: <https://bit.ly/3xbRh3a>
14. Stepanyuk A., Zhyrska N., Mishchuk N., Barna L. Implementation of sustainable development ideas into the content of natural science teachers professional training. *Education for achieving sustainable development /Ed. by I. Ostopolets and M. Ekkert. Monograph 35. Publishing House of Katowice School of Technology*, 2020. S. 107–121. URL: <https://bit.ly/3CDcUKO>.
15. Stepanyuk A., Zhyrska N., Mishchuk N. The use blended learning in the formation of professional-methodological competence of future natural sciences teachers. *Modern Technologies in the Education/ ed. by M. Ekkert & I. Ostopolets. Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts. Katowice School of Technology. Monograph 26. Wydaw. Wyższej Szoly Technicznej w Katowicach*, 2019. S. 313–322. URL: <https://bit.ly/3DIIdEPS>.

References

1. Barna L. Osoblyvosti pidhotovky vchyteliv biolohii v Ukrayini v 20–30-kh rokakh XX stolittia. *Humanitarnyi visnyk DNVZ “Pereiaslav-Khmelnytskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni Hryhoriia Skovorody”*. Pedahohika. 2015. Vyp. 37. S. 53–61. [in Ukrainian]

2. Zhyrska H. Ya. Formuvannia v ychniv tsinnisnogo stavlennia do pryrody yak komponenta ekolohichnoii kultury. *Naykovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Pedahohika*. 2014. Vyp. 2. S. 74–81. [in Ukrainian]
3. Zakon Ukrainy “Pro vyshchu osvitu”. Rezhym dostupu: <https://bit.ly/32n757M>. [in Ukrainian]
4. Kysla N. Iu., Ryzhkova A. Iu., Trubavina I. M. Metodychna robota kafedry v umovakh kredytno-modulnoi systemy: navchalno-metodychnyi posibnyk /za red. I. M. Trubavinoii. Kh.: Vyd-vo TOV “Shchedra sadyba plius”, 2014. 92 s. [in Ukrainian]
5. Kokhanova O. P. Partnerska vzaiemodiia yak umova rozvytku subiektnosti maibutnoho fakhivtsia. *Pedahohika vyshchoi ta serednoi shkoly: zb. nauk. pr.* 2010. Vyp. 29. S. 311–316. [in Ukrainian]
6. Mishchuk N. Y., Zhyrska H. Ya., Stepanyuk A. V., Barna L. S. Biolohiia: pidruch. dlia 8 kl. zahalnoosvit. navch. zakl. Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky, 2016. 280 s. [in Ukrainian]
7. Mishchuk N. Y. Profesiyno-metodychna kompetentnist u konteksti pedahohichnoi diialnosti vchytelia biolohii. *Vyshcha osvita Ukrainy. Dod. 2 do № 3, tom II (27)*. 2011. Temat. vyp. “Vyshcha osvita Ukrainy u konteksti intehratsii do yevropeiskoho osvitnoho prostoru”. S. 540–545. [in Ukrainian]
8. Stepanyuk A. V. Osoblyvosti pedahohichnoi vzaiemodii v umovakh kredytno-modulnoi systemy navchannia. *Zbirnyk naukovykh prats Khersonskoho universytetu. Pedahohichni nauky*. Vyp. 49. Kherson. 2008. S. 41–46. [in Ukrainian]
9. Stepanyuk A. V., Zhyrska H. Ya., Mishchuk N. Y., Drobyk N. M. Organizatsiia partnerskogo sotrudnichestva v sisteme “Pedvuz – Shkola” v usloviiakh reformirovaniia obrazovaniia v Ukraine. *Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Altynsarinskie chteniia*. Kostanai, 2020. S. 510–514. URL: <https://bit.ly/2Mli6ib> [in Russian]
10. Stepanyuk A. V., Zhyrska H. Ya., Mishchuk N. Y. Nastupnist u formuvanni kompetentsii maibutnikh uchyteliv biolohii v umovakh stupenevoi osvity. *Pedahohichni nauky*. Vyp. LXVI. Kherson: Vyd-vo KhDY. 2014. S. 229–235. [in Ukrainian]
11. Stepanyuk A. V., Zhyrska H. Ya. Orhanizatsiia partnerskoi vzaiemodii v systemi “VUZ – shkola” u protsesi pidhotovky maybutnikh uchyteliv khimii ta biolohii. *Biolohiia i khimiia v ridnyi shkoli*. 2020. № 2. S. 40–43. [in Ukrainian]
12. Shust I. V. Vuzivska kafedra. *Narysy orhanizatsiyno-pedahohichnoi diialnosti*. Ternopil, 1995. 116 s. [in Ukrainian]
13. Stepanyuk A. V., Mishchuk N. Y., Zhyrska H. Ya., Olendr T. M. Implementation of the «Learning Through Research» principle at Ukrainian secondary schools: Experience and prospects. *Revista Espacios*. ISSN 0798 1015. Vol.40, 2019, No. 19, pp. 20. URL: <https://bit.ly/3xbRh3a>
14. Stepanyuk A., Zhyrska H., Mishchuk N., Barna L. Implementation of sustainable development ideas into the content of natural science teachers professional training. *Education for achieving sustainable development /Ed. by I. Ostopolets and M. Ekkert. Monograph 35. Publishing House of Katowice School of Technology*, 2020. S.107–121. URL: <https://bit.ly/3CDcUKO>.
15. Stepanyuk A., Zhyrska H., Mishchuk N. The use blended learning in the formation of professional-methodological competence of future natural sciences teachers. *Modern Technologies in the Education/ ed. by M. Ekkert & I. Ostopolets. Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts. Katowice School of Technology. Monograph 26. Wydaw. Wyższej Szoly Technicznej w Katowicach*, 2019. S. 313–322. URL: <https://bit.ly/3DIIdEPS>.

A. V. Stepaniuk, H. Ya. Zhyrska, N. Y. Mishchuk, L. S. Barna, N. M. Drobyk, V. V. Hrubinko

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

ORIGINS OF EFFECTIVE ACTIVITY OF THE DEPARTMENT OF GENERAL BIOLOGY AND METHODOLOGY OF TEACHING NATURAL SCIENCES IN THE "HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENT - SCHOOL" SYSTEM (to the 50th anniversary of the department)

The article identifies and characterizes two strategic factors that influenced the formation of the Department of General Biology and Methodology of Teaching Natural Sciences as a holistic open self-regulatory system. In particular, an important factor was the organizational and methodological as well as research activities of the heads of the department, I. V. Shust, A. V. Tsarenko, V. V. Hrubinko, who contributed to the formation of a new generation of scientists and lecturers, the emergence of scientific schools and the development of new areas of biological and methodological investigations. A new impetus to intensify the activities of the teaching staff in all areas was the association of the Department of General Biology with the Department of Methodology of Teaching Natural Sciences, which had a positive effect on cooperation between employees of higher pedagogical education with teachers of secondary schools and pupils. It has been defined that the

development of collective scientific topics of pedagogical direction served as the basis for the development and implementation of a model of partnering relationships organization in the "Higher educational establishment – school" system, a systemically important factor of which is the implementation of the principles of child centeredness and student centeredness in parity collaboration of participants in the educational process. The model is based on various types of innovative activities regarding cooperation between schools and higher educational establishments in three promising areas: working out the mechanisms of interaction between secondary schools and higher educational establishments in order to modernize the forms and methods of organizing the educational process; creating conditions for professional self-determination of pupils and increasing the level of competence of future university entrants; creation by higher education establishments of an educational environment for teachers to implement lifelong learning.

In the process of implementing the model, a number of modern forms of interaction between educational institutions have been tested. In particular, preparation and approbation of textbooks, teaching and methodical manuals for pupils and teachers, carrying out of joint master classes, trainings, workshops, scientific and methodical seminars, conferences, forums, etc.; organization of career guidance events – Doors Open Days, festival of professions "Hospitality in TNPU", All-Ukrainian career guidance Olympiad in Biology, functioning of the Summer Chemical and Biological School of TNPU "My future professional choice"; development and implementation of educational programs of postgraduate education for advanced training and professional development of teachers of biology and natural sciences .

Keywords: department, higher educational establishment, secondary school, partnering relationships, factors of the department formation, directions and forms of cooperation of educational institutions.

Надійшла 15.10.2021.