

ISSN 2224-025X

НАУКОВІ ЗБІТКИ

Державного
природознавчого
музею

Випуск 41 / 2025



Національна академія наук України
Державний природознавчий музей

НАУКОВІ ЗАПИСКИ ДЕРЖАВНОГО ПРИРОДОЗНАВЧОГО МУЗЕЮ

Випуск 41

Львів 2025

УДК 57+58+591.5+502.7:069

Наукові записки Державного природознавчого музею. – Львів, 2025. – Вип. 41. – 234 с.

До 41-го випуску збірника «Наукові записки Державного природознавчого музею» увійшли статті та короткі повідомлення з природничої музеології, екології, зоології, ботаніки, а також інформація про діяльність музею у 2024 році, конференції і музейні проєкти.

Для екологів, зоологів, ботаніків, працівників музеїв природничого профілю, заповідників, національних природних парків та інших природоохоронних установ і організацій.

Proceedings of the State Natural History Museum. – Lviv, 2025. – Issue 41. – 234 p.

The 41th issue of the periodical «Scientific Notes of the State Museum of Natural History» includes articles and short reports of natural historical museology, ecology, zoology, botany, as well as information about the museum's activities in 2024, conferences, and museum projects.

For ecologists, zoologists, botanists, employees of museums of natural profile, reserves, national nature parks and other environmental institutions and organizations.

DOI: <https://doi.org/10.36885/nzdpdm.2025.41>

ISSN 2224-025X

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Заступник головного редактора

Відповідальний секретар

Технічний редактор

Капрусь І. Я. д-р біол. наук, проф.

Климишин О. С. д-р біол. наук, с.н.с.

Орлов О. Л. канд. біол. наук

Гураль Р. І. канд. біол. наук

Бокотей А. А. д-р біол. наук, с.н.с.; Войчишин В. К. канд. біол. наук, с.н.с.; Годунько Р. Й. канд. біол. наук, с.н.с.; Гураль-Сверлова Н. В. канд. біол. наук, с.н.с.; Дзюбенко Н. В. канд. біол. наук; Радченко О. Г. д-р біол. наук, проф.; Різун В. Б. канд. біол. наук, с.н.с.; Середюк Г. В. канд. біол. наук; Сусуловський А. С. канд. біол. наук, с.н.с.; Третяк П. Р. д-р біол. наук, проф.; Фальтинович В. д-р біол. наук, проф. (Польща); Царик Й. В. д-р біол. наук, проф.; Шрубович Ю. Ю. канд. біол. наук; Яницький Т. П. канд. біол. наук

EDITORIAL BOARD

Kaprus I. Y. (*Editor-in-Chief*), Klymyshyn O. S. (*Associate Editor*), Orlov O. L. (*Managing Editor*), Gural R. I. (*Technical Editor*), Bokotey A. A., Voichyshyn V. K., Godunko R. J., Gural-Sverlova N. V., Dzubenko N. V., Radchenko O. G., Rizun V. B., Serediuk H. V., Susulovsky A. S., Tretjak P. R., Faltynowicz W., Tsaryk J. V., Shrubovych J. J., Yanitsky T. P.

*Рекомендовано до друку вченою радою Державного природознавчого музею
(протокол № 10 від 23 жовтня 2025 року)*

ISSN 2224-025X

© Наукові записки ДПМ, 2025

DOI: <https://doi.org/10.36885/nzdpm.2025.41.87-96>

УДК 582.32:561.32

Кіт Н.А.

ЗМІНИ АКТИВНОСТІ ФЕРМЕНТІВ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ І ВМІСТУ ТБК-АКТИВНИХ СПОЛУК У КЛІТИНАХ МОХІВ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ МІСЦЕВИРОСТАНЬ

Досліджено активність основних ферментів антиоксидантного захисту: пероксидази, супероксиддисмутази (СОД) та каталази і вміст ТБК-активних сполук, які є показником перекисного окислення ліпідів у клітинах, у пагонах домінуючих епігейних видів мохів лісових екосистем Українського Розточчя *Atrichum undulatum* (Hedw.) P.Beauv. та *Plagiomnium elatum* (Bruch & Schimp.) T.J. Кор. залежно від екологічних умов місцевиростань. Дослідні ділянки, з яких відбирали зразки мохів, відрізнялися за водним, температурним режимами та інтенсивністю освітлення: зона повного заповідання старовікових букових лісів природного заповідника «Розточчя», територія вирубки 40-річного віку Страдчанського лісокомбінату і зона стаціонарної рекреації «Верециця» Яворівського національного природного парку. В несприятливих умовах гідротермічного режиму та високої інсоляції антропогенно порушених територій лісових екосистем, порівняно із зоною повного заповідання, в клітинах домінуючих видів мохів *Atrichum undulatum* та *Plagiomnium elatum* підвищувалась активність ферментів і вміст ТБК-активних сполук, що вказує на активацію захисних механізмів і підвищення стійкості мохів до стресових чинників середовища. Встановлено, що активність антиоксидантних ферментів залежить від видових особливостей досліджуваних мохів, притому значно вищою є для *Atrichum undulatum*, який виявився стійкішим до абіотичних стресових факторів, зокрема несприятливого температурного та водного режиму, що свідчить про високий рівень антиоксидантного захисту та здатність рослин ефективно знешкоджувати АФК. Отримані результати свідчать, що зміни активності ферментів і вмісту ТБК-активних продуктів у гаметофіті мохів значною мірою залежать від мікрокліматичних умов середовища існування і є проявом захисних реакцій бріофітів на вплив несприятливих чинників середовища. Відзначено, що процеси пероксидації та рівень антиоксидантної активності взаємопов'язані та є важливим показником впливу різних факторів, зокрема водного дефіциту і посиленої інсоляції на рослини.

Ключові слова: мохи, мікрокліматичні умови, пероксидаза, супероксиддисмутаза, каталаза, ТБК-активні продукти.

Внаслідок глобальних змін клімату на Земній кулі почастишали стресові явища, зокрема посухи, які характеризуються різкими перепадами температури та вологості повітря, нерівномірністю вологозабезпечення. Важливе значення в умовах глобальних змін клімату має дослідження адаптивних реакцій організмів, зокрема рослин. Однією з чутливих груп рослин до змін умов середовища існування є мохоподібні, які мають інші порівняно із судинними рослинами морфо-структурні і фізіолого-біохімічні механізми пристосування до змін сонячної радіації та гідротермічного режиму середовища. Відомо, що бріофіти завдяки багаторівневій адаптаційній стратегії стійкі до фізіологічно екстремальних умов навколишнього середовища, зокрема до водного дефіциту, низьких та високих температур повітря, підвищеного рівня ультрафіолетового випромінювання (Баїк, Кіт, 2022; Щербаченко та ін, 2015; Lobachevska et al., 2019).

Під впливом екстремальних абіотичних факторів, які спричиняють надмірне виробництво та накопичення активних форм кисню (АФК), у рослин виникає окислювальний стрес. Посилення генерації АФК призводить до порушення метаболічних процесів, інактивації антиоксидантних ферментів, а також пригнічення функціонування неферментативних антиоксидантів. Підвищення вмісту АФК в рослинах у відповідь на дію абіотичних стресорів зареєстровано багатьма дослідниками (Jiroutova et al., 2021; Zhang et al., 2017). При цьому АФК розглядаються одночасно як маркери стресового стану і як сигнальні посередники, необхідні для розвитку адаптивної відповіді. Сигналінг з участю АФК необхідний для подальшого формування адаптивних реакцій, які зумовлюють підвищення стійкості рослин (Kowalczewski et al., 2020).

Важливим механізмом стійкості рослин проти стресових чинників в екстремальних умовах є активізація багаторівневої фізіолого-біохімічної системи антиоксидантного захисту, до якої входить значна кількість компонентів. Особливе місце серед них займають ферменти каталаза, супероксиддисмутаза (СОД) і пероксидаза, активність яких і вміст ТБК-активних продуктів є найчутливішими критеріями до впливу стресових чинників середовища (Turetsky, 2003).

Тому метою досліджень було вивчення змін активності антиоксидантних ферментів та вмісту ТБК-активних продуктів, як показників оксидного стресу в клітинах, у домінантних епігейних видів мохів *Atrichum undulatum* та *Plagiomnium elatum* за умов різної вологості та під впливом високої температури й інтенсивності освітлення в заповідних і антропогенно порушених територіях лісових екосистем.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктами дослідження були домінантні епігейні види мохів лісових екосистем *Atrichum undulatum* та *Plagiomnium elatum* (рис. 1).



Рис.1. Дернини досліджуваних мохів (А – *Atrichum undulatum*; Б – *Plagiomnium elatum*)

Зразки мохів відбирали із дослідних ділянок на території природного заповідника «Розточчя» та Яворівського національного природного парку, що відрізнялися за водним, температурним режимами та інтенсивністю освітлення місцевиростань:

1) – зона повного заповідання старовікових букових лісів Верешицького природоохоронного науково-дослідного відділення (температура повітря 21-23 °С, вологість повітря 33-35%, інтенсивність світла 40–50 тис. лк); 2) – територія вирубки 40-річного віку Страдчанського навчально-виробничого лісокомбінату (температура повітря 28-30 °С, вологість повітря 20-22%, інтенсивність світла 80–90 тис. лк); 3) – зона стаціонарної рекреації «Верешиця» Яворівського національного природного парку (температура повітря 26-28 °С, вологість повітря 26-28%, інтенсивність світла 90-100 тис. лк).

Активність каталази визначали після екстракції у 0,05 М трис-НСІ буфері (рН 7,8). Екстракт центрифугували протягом 15 хв за 5000 g. Активність фермента визначали у надосадовій рідині спектрофотометрично на основі реакції з 4% розчином молібдату амонію. Активність фермента виражали в мкМ H_2O_2 на мг білка за хв (Белчгазі та ін., 2023).

Для визначення активності пероксидази наважку рослинного матеріалу гомогенізували в 0,1 М ацетатному буфері (рН 5,4) у співвідношенні 1:1, екстрагували протягом 30 хв при кімнатній температурі та центрифугували 15 хв, 4000 об/хв. Супернатант використовували як ферментний препарат. Для визначення активності пероксидази 2 мл ферментного препарату змішували з 0,5% розчином бензидину та 0,1 М ацетатним буфером (рН 5,4). Якісну реакцію розпочинали внесенням 3% розчину пероксиду водню. Через 5 хв проби фотометрували за довжини хвилі 412 нм. Активність фермента визначали у відносних одиницях на 1 г сухої маси (Белчгазі та ін., 2023).

Для визначення активності СОД рослинний матеріал екстрагували протягом 30 хв у 0,15 М фосфатному буфері (рН 7,8). Супернатант, отриманий після центрифугування (10 хв, 5000 g), додавали до інкубаційного середовища, що містило 0,33 мМ ЕДТА, 0,4 мМ нітросиній тетразолій, 0,01 мМ феназинметасульфат та 0,8 мМ НАДФН. Оптичну густину розчину вимірювали спектрофотометрично за довжини хвилі 540 нм. Активність СОД виражали в умовних одиницях на мг білка за хв (Белчгазі та ін., 2023).

Вміст ТБК-активних сполук визначали спектрофотометричним методом на спектрофотометрі Specord 210 Plus за довжини хвилі 532 нм (Мусієнко та ін., 2001).

Отримані дані опрацьовували методами статистичного аналізу з використанням пакету програмного забезпечення Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення

Досліджували активність ферментів антиоксидантного захисту СОД, пероксидази і каталази у клітинах гаметофітів лісових видів мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* залежно від водно-температурного режиму їх місцевиростань. Ключовим ферментом, задіяним в процесі детоксикації АФК, є СОД. Вперше ензим досліджений J.M. McCord і I. Fridovich у 1969 р. (McCord & Fridovich, 1969), він каталізує перетворення супероксиду на пероксид водню і молекулярний кисень. СОД є одним із маркерних ферментів, який практично першим активується у відповідь на стрес (Зинь, 2012; Khan et al., 2017).

Активність СОД у гаметофорах мохів із дослідних ділянок у старовіковому буковому лісі була найменшою і змінювалась в межах 1,82–1,99 відн. од./хв мг/білка. Найвищий вміст ферменту відзначено у зразках *Atrichum undulatum* з дослідних ділянок на території вирубки, що в 1,47 і 1,78 рази перевищувало активність ферменту

з дослідних ділянок зони рекреації і старовікових букових лісів відповідно (рис. 1). У пагонах *Plagiomnium elatum*, які приурочені переважно до вологих місцевиростань, активність СОД у несприятливих умовах водного режиму території вирубки і зони рекреації змінювалась незначно, хоча була більшою, порівняно з територією старовікових букових лісів в 1,09 і 1,21 рази відповідно. Найбільші значення активності ензиму встановлені у *Plagiomnium elatum* з дослідних ділянок в зоні рекреації (рис. 2).

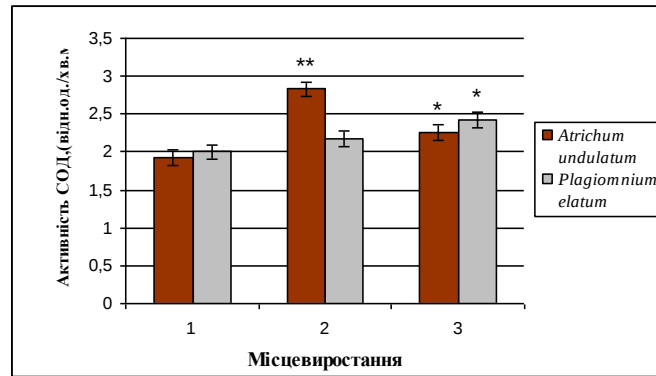


Рис. 2. Активність супероксиддисмутази (відн. од./хв мг/білка) в пагонах мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* залежно від мікрокліматичних умов їх місцевиростань (1 – старовікові букові ліси, 2 – територія вирубки, 3 – зона рекреації); * – різниця статистично достовірна порівняно до ділянки старовікових букових лісів при $p < 0,05$, **при $p < 0,01$

З літературних джерел відомо про підвищення активності СОД у рослин сафлору красивого (*Carthamus tinctorius*), що корелювало зі здатністю протистояти засоленню за умов гідропоніки (Zaoui et al., 2016).

Ключовим ферментом системи захисту клітин від окислювальної деструкції є пероксидаза, яка бере участь в окиснювально-відновних реакціях фотосинтезу, процесах дихання, метаболізмі білків і регулюванні процесів росту, катаболізмі фенольних сполук тощо (Scandalios, 2005). Слід відзначити значне підвищення активності пероксидази у досліджуваних видів мохів на антропогенно порушених територіях, порівняно із заповідними. Так, для *Atrichum undulatum* активність пероксидази у несприятливих умовах водно-температурного режиму була вищою в 1,8–2,2 рази, порівняно з заповідними територіями. Для *Plagiomnium elatum* активність пероксидази була менш мінливою, проте найбільші значення ферменту відзначено на території вирубки, що в 1,5 рази перевищувало активність ферменту на дослідних ділянках у старовікових букових лісах (рис. 3).

Високі показники активності пероксидази досліджуваних видів узгоджуються з даними літератури відносно її ширшого спектру дії: участь у різних реакціях метаболізму рослин – окисненні флавоноїдів, лігніфікації клітинних стінок, а також загальних процесах біологічного окиснення (Zulfiqar, 2021).

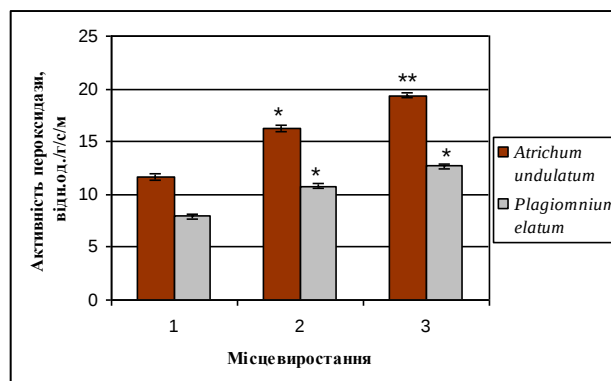


Рис. 3. Активність пероксидази (відн. од./г сухої маси) в пагонах мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* залежно від мікрокліматичних умов їх місцевиростань (1 – територія вирубки, 2 – зона рекреації, 3 – старовікові букові ліси); * – різниця статистично достовірна порівняно до ділянки старовікових букових лісів при $p < 0,05$, ** при $p < 0,01$

Отже, встановлено, що активність пероксидази залежить від видових особливостей досліджуваних мохів, притому значно вищою є для *Atrichum undulatum*, який виявився стійкішим до абіотичних стресових факторів, зокрема несприятливого температурного та водного режиму, що свідчить про високий рівень антиоксидантного захисту та здатність рослин ефективно знешкоджувати АФК.

Каталаза – один із найактивніших ензимів антиоксидантної системи, що забезпечує розщеплення пероксиду водню, який утворюється в пероксисомах при фотодиханні (Leung, 2018; Wang, 2019). Специфікою каталази є її локалізація в пероксисомах і участь в процесах катаболізму, які активуються в процесі деструкції клітини. Захисна роль каталази добре відома за надмірного освітлення та водного дефіциту. Цей фермент бере участь у підтриманні окисно-відновного балансу в клітинах за дії окисного стресу та сприяє адаптації організму до стрес-факторів (Buzduga et al., 2018; Sharma & Ahmad, 2014).

Найменші значення активності каталази, що змінювались в межах 3,5–4,2 мкМ H_2O_2 /мг білка хв, визначено у гаметофорах досліджуваних мохів в оптимальних умовах вологозабезпечення та температури на дослідних ділянках у старовіковому буковому лісі. Найвищий вміст ферменту відзначено у зразках ендегідричного моху *Atrichum undulatum* на відкритих ділянках території вирубки з нестабільним гідротермічним режимом та високою інсоляцією. Дещо нижчу активність каталази визначено у зразків з території стаціонарної рекреації, що в 1,6 рази перевищувало активність ферменту у старовікових букових лісах. У пагонах *Plagiomnium elatum* активність каталази у несприятливих екологічних умовах території вирубки і зони рекреації змінювалась незначно, порівняно з територією старовікових букових лісів, хоча була більшою в 1,2 і 1,3 рази відповідно. Найбільші значення ($4,9 \pm 0,5$ мкМ H_2O_2 /мг білка хв) активності ензиму встановлені у *Plagiomnium elatum* з дослідних ділянок в зоні стаціонарної рекреації, що очевидно пов'язано із несприятливим гідротермічним режимом на цій ділянці (рис. 4).

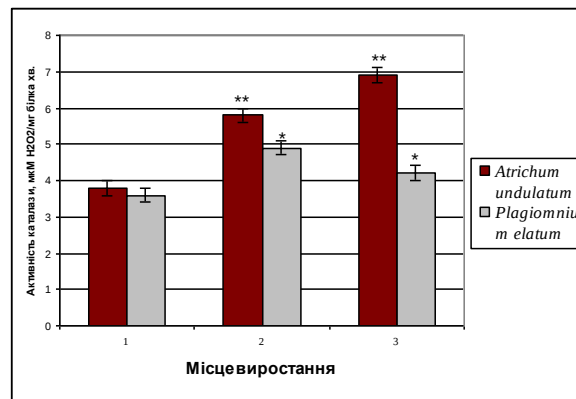


Рис. 4. Активність каталази (мкМ H_2O_2 /мг білка хв) в пагонах мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* залежно від мікрокліматичних умов їх місцевиростань (1 – старовікові букові ліси), 2 – зона рекреації, 3 – територія вирубки); * – різниця статистично достовірна порівняно до ділянки старовікових букових лісів при $p < 0,05$, ** при $p < 0,01$

Ці результати узгоджуються з даними багатьох дослідників, у працях яких вказується, що активність антиоксидантних ферментів, у тому числі каталази, збільшується за дії стресорів: посухи, гербіцидів, температури, засолення тощо (Буздуга та ін., 2020; Кияк та ін., 2017; Tyagi et al., 2020). Показано, що при вивченні холодостійкості у різних сортів люцерни була виявлена позитивна лінійна кореляція між активністю антиоксидантних ферментів і толерантністю до холоду (Wang et al., 2009).

Зростання активності каталази у клітинах гаметофітів лісових мохів на антропогенно порушених ділянках у несприятливих екологічних умовах свідчить про важливу фізіологічну адаптивну реакцію мохів до стресових чинників середовища.

Вміст ТБК-активних сполук, які є одними з кінцевих продуктів ПОЛ, – важливий показник інтенсивності процесів ліпопероксидації. Кількість цих сполук свідчить про ступінь впливу різних факторів на рослини та їх неспецифічну адаптаційну здатність (Panda et al., 2003, Россихіна, 2010). За впливу несприятливих факторів, зокрема гідротермічного режиму антропогенно порушених територій лісових екосистем, у клітинах гаметофітів досліджуваних мохів підвищувався вміст ТБК-активних продуктів. Встановлено, що в оптимальних умовах вологозабезпечення у старовікових букових лісах вміст ТБК-активних сполук у досліджуваних мохів був найнижчим. Вміст цих сполук у гаметофіті мохів підвищувався на ділянках з різним ступенем антропогенного навантаження: в умовах зони стаціонарної рекреації та на відкритих ділянках вирубки. У дернинах *Atrichum undulatum* із досліджуваної ділянки на території вирубки вміст ТБК-активних продуктів був найбільшим і змінювався в межах 50,3–52,3 нмоль/г с.м., що в 1,2 і 1,5 рази перевищувало вміст цих сполук в зоні рекреації і старовікових букових лісів відповідно (таблиця). Значне нагромадження ТБК-активних сполук відзначено у пагонах *Plagiomnium elatum* на дослідних ділянках території вирубки і зони рекреації. Найбільший вміст цих сполук (64,4 нмоль/г с.м.)

відзначено в зоні стаціонарної рекреації, що очевидно пов'язано із екстремальними температурним та інсоляційним режимами (температура повітря 26-28 °С, інтенсивність світла 90–100 тис. лк). Дещо менший вміст ТБК-активних сполук (56,2 нмоль/г с.м.) відзначено в зоні вирубки.

Таблиця

Вміст ТБК-активних продуктів в пагонах мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* залежно від мікрокліматичних умов їх місцевиростань

Місцевиростання	Вміст ТБК-активних продуктів, нмоль/г с.м	
	<i>Atrichum undulatum</i>	<i>Plagiomnium elatum</i>
Старовікові букові ліси	33,5±3,8	36,7±3,9
Територія вирубки	50,3±5,4*	56,2±6,1*
Зона рекреації	41,9±4,8*	64,4±6,9**

*– різниця статистично достовірна порівняно до ділянки старовікових букових лісів при $p < 0,05$, **при $p < 0,01$

Отримані результати свідчать, що зміни активності антиоксидантних ферментів СОД, пероксидази і каталази і вмісту ТБК-активних продуктів у гаметофіті мохів лісових екосистем *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* значною мірою залежать від мікрокліматичних умов середовища існування і є проявом захисних реакцій бріофітів на вплив несприятливих чинників середовища. Виявлені особливості активації антиоксидантних ферментів в пагонах за дії несприятливих мікрокліматичних умов свідчать про високий рівень антиоксидантного захисту та здатність рослин ефективно знешкоджувати АФК.

Відзначено, що процеси пероксидації та рівень антиоксидантної активності взаємозв'язані та є важливим показником впливу різних факторів, зокрема водного дефіциту і посиленої інсоляції на рослини.

Висновки

Таким чином, встановлено, що в несприятливих умовах гідротермічного режиму та високої інсоляції антропогенно порушених територій лісових екосистем, порівняно із зоною повного заповідання, в клітинах домінантних видів мохів *Atrichum undulatum* і *Plagiomnium elatum* підвищувалась активність ферментів і вміст ТБК-активних сполук, що вказує на активацію захисних механізмів і підвищення стійкості мохів до стресових чинників середовища.

Показано, що активність антиоксидантних ферментів залежить від видових особливостей досліджуваних мохів, притому значно вищою є для *Atrichum undulatum*, який є стійкішим до абіотичних стресових факторів, зокрема несприятливого температурного та водного режиму. Рослини *Atrichum undulatum*, які толерантніші до змін гідротермічного режиму антропогенно порушених лісових екосистем, мають більшу пластичність антиоксидантної активності у відповідь на дію стресового чинника, що сприяє підтриманню гомеостазу організму за несприятливих умов.

- Баїк О.Л., Кіт Н.А. 2022. Морфологічна мінливість мохів на заповідних та антропогенно порушених територіях видобутку сірки. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. Вип. 87. С. 76–89. doi: <https://doi.org/10.30970/vlubs.2022.87.07>
- Белчгазі В.Й., Вайда. П.В., Вакерич М.М., Гасинець Я.С., Горват Я.В. 2023. Спецпрактикум з фізіології рослин: навч.-метод. посіб. Ужгород: ФОП Роман О.І. 107 с.
- Буздуга І.М., Волков Р.А., Панчук І.І. 2020. Втрата активності каталази 2 впливає на обмін аскорбату в арабідопсису за дії важких металів. *Фізіологія рослин і генетика*. Т. 52 № 4. С. 306–319. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2020.04.306>
- Зинь А. 2012. Прооксидантно-антиоксидантний гомеостаз і мембранний транспорт у живих організмах. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. Вип. 60. С. 21–39.
- Кияк Н.Я., Баїк О.Л., Кіт Н.А. 2017. Морфо-фізіологічна адаптація бріофітів до екологічних факторів на дегазованих територіях видобутку сірки. *Science Rise: Biological Science*. Вип. 5 № 8. С. 33–38. doi: <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2017.113540>
- Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. 2001. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ : «Фітосоціоцентр». 153 с.
- Россихіна Г.С., Вінниченко О.М., Лихолат Ю.В. 2010. Інтенсивність утворення прооксидантних компонентів в рослинах кукурудзи різної стійкості до дефіциту вологи та гербіцидів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. Вип. 27. С. 96–103.
- Щербаченко О.І., Рабик І.В., Лобачевська О.В. 2015. Участь мохоподібних у ренатуралізації дегазованих територій Немирівського родовища сірки (Львівська область). *Укр. ботан. журн.* Т. 72 № 6. С. 596–602.
- Buzduga I.M., Volkov R.A. & Panchuk I.I. 2018. Metabolic compensation in *Arabidopsis thaliana* catalase-deficient mutants. *Cytology and Genetics*. Vol. 52 № 1. P. 31–39. doi: <https://doi.org/10.3103/S0095452718010036>
- Jiroutova P., Kovalikova Z., Toman J., Dobrovolna D. et al. 2021. Complex Analysis of antioxidant Activity, Absciscic Acid Level, and Accumulation of Osmotica in Apple and Cherry In Vitro Cultures under Osmotic Stress. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 22 № 15. P. 7922–7937. doi: [10.3390/ijms22157922](https://doi.org/10.3390/ijms22157922)
- Khan M.I.R. & Khan N.A. 2017. Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress. Singapore: Springer. 329 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5254-5>
- Kowalczewski P. Ł., Radzikowska D, Ivanišová E. 2020. Influence of Abiotic Stress Factors on the Antioxidant Properties and Polyphenols Profile Composition of Green Barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 21 № 2. P. 397. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21020397>
- Leung D. 2018. Studies of Catalase in Plants Under Abiotic Stress. In book: Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plant. P. 7–39. doi: [10.1007/978-3-319-75088-0_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_2)
- Lobachevska O.V., Kyryak N.Y., Rabyk I.V. 2019. Ecological and physiological peculiarities of bryophytes on a post-technogenic salinized territory. *Biosystems Diversity*. Vol. 27 № 4. P. 342–348.

- McCord, J.M. & Fridovich, I. 1969. Superoxide Dismutase: An Enzymic Function for Erythrocuprein (Hemocuprein). *Journal of Biological Chemistry*. Vol. 244. P. 6049–6055. <http://www.jbc.org/content/244/22/6049.abstract>
- Panda S. et al. 2003. Melanopsin is required for non-image-forming photic responses in blind mice. *Science*. Vol. 301. P. 525–527.
- Scandalios J.G. 2005. Oxidative Stress: Molecular Perception and Transduction of Signals Triggering Antioxidant Gene Defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. Vol. 38(7). P. 995–1014.
- Sharma, I. & Ahmad P. 2014. Catalase: a versatile antioxidant in plants. In Ahmad, P. (Ed.) *Oxidative Damage to Plants*. P. 131–148. Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799963-0.00004-6>
- Turetsky M. R. 2003. New Frontiers in Bryology and Lichenology. The Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling. *Bryologists*. Vol. 106 №3. P. 395–409.
- Tyagi S., Shumayla, Madhu, Singh K. 2020. Molecular characterization revealed the role of catalases under abiotic and arsenic stress in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 403. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123585
- Wang W.B., Kim Y.H., Lee H.S., Deng X.P., Kwak S.S. 2009. Differential antioxidation activities in two alfalfa cultivars under chilling stress. *Plant Biotechnology Reports*. Vol. 3. P.301–307.
- Wang W., Cheng D., Liu D. 2019. The Catalase Gene Family in Cotton: Genome-Wide Characterization and Bioinformatics Analysis. *Cells*. Vol. 8 № 2. P. 86–114. doi:10.3390/cells8020086
- Zaoui S., Gautier H., Bancel D., Chaabani G., Wasli H., Lachabl M., Karray-Bouraoui N. 2016. Antioxidant pool optimization in *Carthamus tinctorius* L. leaves under different NaCl levels and treatment durations. *Acta Physiologiae Plantarum*. Vol. 38. Article 187.
- Zhang X., Zhao Y. & Wang S. 2017. Responses of antioxidant defense system of epilithic mosses to drought stress in karst rock desertified areas. *The Acta Geochimica*. Vol. 36 № 2. P. 205–212. doi 10.1007/s11631-017-0140-z
- Zulfiqar F., Ashraf M. 2021. Antioxidants as modulators of arsenic-induced oxidative stress tolerance in plants: An overview. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 427. P. 1–14. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127891

Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів
e-mail: kit_n@i.ua

Kit N.A.

Changes of the activity of antioxidant protection enzymes and the content of TBC-active compounds in mosses cells of forest ecosystems depending on the ecological conditions of the growing site

The activity of the main enzymes of antioxidant defense: peroxidase, superoxide dismutase (SOD) and catalase and the content of TBA-active compounds as indicators of lipid peroxidation in cells of oxidative stress in shoots of dominant epigeal moss species of forest ecosystems of the Ukrainian Roztochia Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv. and Plagiomnium elatum (Bruch & Schimp.) T.J. Kop. depending on the environmental conditions of the growing sites were investigated. The experimental areas from which moss samples were taken differed in water, temperature regimes, and light intensity: the zone of complete preservation of old-growth beech forests of the Roztochia Nature Reserve, the 40-year-old logging area of the Stradchiv Forestry Combine, and the Vereshchytsia stationary recreation area of the Yavoriv National Nature Park. Under unfavorable conditions of

hydrothermal regime and high insolation of anthropogenically disturbed areas of forest ecosystems, compared to the zone of complete conservation, the activity of enzymes and the content of TBA-active compounds increased in the cells of dominant moss species *Atrichum undulatum* and *Plagiomnium elatum*, which indicates the activation of protective mechanisms and increased resistance of mosses to environmental stress factors. It was found that the activity of antioxidant enzymes depends on the species characteristics of the studied mosses, and it is significantly higher for *Atrichum undulatum*, which turned out to be more resistant to abiotic stress factors, in particular, unfavorable temperature and water conditions, which indicates a high level of antioxidant protection and the ability of plants to effectively neutralize reactive oxygen species. The results obtained indicate that changes in enzyme activity and the content of TBA-active products in the gametophyte of mosses largely depend on microclimatic conditions of the habitat and are a manifestation of protective reactions of bryophytes to the influence of unfavorable environmental factors. It was noted that peroxidation processes and the level of antioxidant activity are interconnected and are an important indicator of the impact of various factors, in particular water deficit and increased insolation, on plants.

Keywords: mosses, microclimatic conditions, peroxidase, superoxide dismutase, catalase, TBA-active products.

ЗМІСТ	CONTENTS
Музеологія * Museology	Стор.
Климишин О. С. Науковий потенціал колекції зозулинцевих у гербарії Державного природознавчого музею НАН України	3
• Scientific potential of the <i>Orchidaceae</i> Juss. collection in the herbarium of the State Natural History Museum of the NAS of Ukraine	
Гураль Р. І., Гураль-Сверлова Н. В. <i>Helix pomatia</i> і <i>H. thessalica</i> (Gastropoda, Helicidae) в малакологічному фонді Державного природознавчого музею НАН України та діагностична цінність окремих конхологічних ознак	15
• <i>Helix pomatia</i> and <i>H. thessalica</i> (Gastropoda, Helicidae) in the malacological collection of the State Natural History Museum of the NAS of Ukraine and the diagnostic value of some conchological traits	
Екологія * Ecology	
Химин О. І., Капрусь І. Я. Вплив віку монокультури дуба червоного на екологічну структуру таксоцену колембол	29
• Impact of red oak monoculture age on the ecological structure of the collembola taxocene	
Сідак С. Ю., Капрусь І. Я. Населення колембол деревних мікрооселищ старовікових лісів Східних Карпат	39
• Collembola population of woody microhabitats of old-growth forests of the Eastern Carpathians	
Білонога В. М., Кияк В. Г. Особливості моніторингу популяції <i>Pinus cembra</i> L. (Pinaceae) у Чорногорі (Українські Карпати)	51
• Approaches to monitoring the population of <i>Pinus cembra</i> L. (Pinaceae) in Chornohora massifs (Ukrainian Carpathians)	
Бриндзя І. В., Гойванович Н. К. Оцінка обізнаності мешканців Львівщини про стан криничної води та її вплив на здоров'я	61
• Assessment of the awareness of the residents of the Lviv region about the state of spring water and its impact on health	
Гойванович Н. К. Нанотехнології в сільському господарстві: вплив «Аватар-2 органік» на підвищення продуктивності мікрозелені	67
• Nanotechnology in agriculture: influence of «Avatar-2 organic» to enhance microgreen productivity	

- Карпінець Л. І., Лобачевська О. В.** Сезонна динаміка вмісту мінеральних форм нітрогену у пагонах моху *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. залежно від умов лісових екосистем Українського Розточчя 75
- Seasonal dynamics of the nitrogen mineral forms content in the shoots of the moss *Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv. depending on conditions of the Ukrainian Roztochia forest ecosystems

- Кім Н. А.** Зміни активності ферментів антиоксидантного захисту і вмісту ТБК-активних сполук у клітинах мохів лісових екосистем залежно від екологічних умов місцевиростань 87
- Changes of the activity of antioxidant protection enzymes and the content of TBC-active compounds in mosses cells of forest ecosystems depending on the ecological conditions of the growing site

Зоологія * Zoology

- Гриценко В. М.** Осіння міграція білого лелеки (*Ciconia ciconia*) в Україні у 2018-2024 рр. 97
- Autumn migration of the White Stork (*Ciconia ciconia*) in Ukraine in 2018-2024

- Бокотей А. А., Дзюбенко Н. В.** Дослідження та охорона чорного лелеки *Ciconia nigra* L. в Україні: 2017-2024 роки 103
- Study and conservation of Black Stork *Ciconia nigra* L. in Ukraine: 2017-2024

- Андрющенко Ю. О., Федун О. М., Семіроз А. В., Осъмачко О. М.** Деякі особливості перельотів птахів на півночі Українських Карпат у серпні–жовтні 2023 року 115
- Some peculiarities of bird flights in the northern of Ukrainian Carpathians in August – October 2023

- Франчук М. В., Бачук Л. В.** Результати синхронних обліків тетерука євразійського (*Tetrao tetrix*) в Рівненському природному заповіднику в 2013-2023 рр. 137
- Results of synchronous recordings of Black Grouse (*Tetrao tetrix*) in Nature Reserve Rivnenskyi in 2013-2023

- Москаленко Ю. О., Плющ С. О.** Опорна мережа орнітологічного моніторингу Чорноморського біосферного заповідника: нарис історії формування 147
- The core network for ornithological monitoring of the Black Sea Biosphere Reserve: a historical overview of its formation

- Гуштан Г. Г., Любинець І. П.** Загальна чисельність та спектр родин таксоценів панцирних кліщів (Acari, Oribatida) Яворівського НПП 157
- Total density and spectrum of taxocene families of oribatid mites (Acari, Oribatida) on the Yavoriv NNP

- Різун В. Б., Яницький Т. П., Заморока А. М.** *Dixus clypeatus* (P. Rossi, 1790) (Coleoptera, Carabidae) – новий вид і рід для фауни західного регіону України 163
- *Dixus clypeatus* (P. Rossi, 1790) (Coleoptera, Carabidae) – a new species and genus for the fauna of the western region of Ukraine

Ботаніка * Botany

- Кузярін О. Т.** Доповнення до флори Білогорського торфовища (м. Львів) ... 173
- Additions to the flora of the Bilohorshcha peatery (Lviv)

- Дідух Я. П., Розенбліт Ю. В., Кучер О. О., Чусова О. О., Пашкевич Н. А.** Топологічна диференціація рослинності Малого Полісся 179
- Topological differentiation of vegetation of the Male Polissia region

- Борсукевич Л. М.** Флористична структура рослинності класу *Salicetea purpureae* Moor 1958 в Україні 191
- Floristic structure of vegetation of the class *Salicetea purpureae* Moor 1958 in Ukraine

- Горбняк-Юліна Л. Т.** *Crocus heuffelianus* Herb. на території національного природного парку «Подільські Товтри» 201
- *Crocus heuffelianus* Herb. on the territories of the National nature park «Podilski Tovtry»

Короткі повідомлення * The brief messages

- Глеба В. М., Гураль Р. І.** Китайська беззубка *Sinanodonta woodiana* (Bivalvia: Unionidae) у рибогосподарських ставках Закарпатської області 211
- Chinese toothless bivalve *Sinanodonta woodiana* (Bivalvia: Unionidae) in fish ponds of the Transcarpathian region

- Глеба В. М., Гураль-Сверлова Н. В.** *Monacha claustralis* (Gastropoda: Hygromiidae) у Закарпатській області 213
- *Monacha claustralis* (Gastropoda: Hygromiidae) in the Transcarpathian region

Ювілейні дати * Anniversaries

<i>Бокотей А. А., Савицька А. Г.</i> Заходи з вшанування пам'яті Володимира Дідушицького (до 200-річчя від дня народження)	215
--	-----

Хроніка * Current issues

<i>Архіпова Х. І., Вовк О. Б.</i> Про діяльність Державного природознавчого музею НАН України у 2024 році	219
<i>Дзюбенко Н. В., Савицька А. Г.</i> Виставково-освітній проєкт «Експедиція до Антарктиди»	221
<i>Різун В. Б., Погрібний О. О.</i> ХІХ львівська ентомологічна школа «Актуальні проблеми вивчення ентомофауни західного регіону України» ..	224

Правила для авторів * Rules for authors

Національна академія наук України
Державний природознавчий музей

Наукове видання

НАУКОВІ ЗАПИСКИ ДЕРЖАВНОГО ПРИРОДОЗНАВЧОГО МУЗЕЮ

Випуск 41

PROCEEDINGS OF THE STATE NATURAL HISTORY MUSEUM

Issue 41

Українською та англійською мовами



Головний редактор Ігор Ярославович Капрусь

Комп'ютерний дизайн і верстка: Олександр Семенович Климишин,
Тарас Михайлович Щербаченко

Адреса редакції:

79008 Львів, вул. Театральна, 18

Державний природознавчий музей НАН України

тел.: +38(032)2357002; e-mail: editorship@smnh.org, trilobit6@gmail.com

<https://science.smnh.org>

Формат 70×100/16. Обл.-вид. арк. 18,4. Наклад 100 прим.

Виготовлення оригінал-макета здійснено в Лабораторії природничої музеології
Державного природознавчого музею НАН України
Друк ТзОВ «Простір М» 79000 Львів, вул. Чайковського, 8