

УДК 581.1

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-3-33-43

Бородай Є. С.

аспірантка кафедри фізіології та інтродукції рослин,
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
e-boroday@ukr.net
orsid.org/0009-0007-4732-444X

Лихолат Ю. В.

доктор біологічних наук, професор кафедри фізіології та інтродукції рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
lykholat2006@ukr.net
orsid.org/0000-0003-3354-8251

**ВПЛИВ АЕРОПОЛЮТАНТІВ ПРИМАГІСТРАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ
НА АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ
ВЕГЕТАТИВНИХ ОРГАНІВ ДЕРНОУТВОРЮЮЧИХ ТРАВ**

*Дерноутворюючі види трав, що зростають у фітоценозах промислових зон та вздовж автомагістралей, зазнають хронічного впливу аерополютантів, що призводить до порушення метаболічних процесів рослинного організму і може проявлятися у зниженні адаптивного потенціалу видів. У відповідь на стресові чинники активується антиоксидантна ферментативна система, зокрема каталаза та пероксидаза, які нейтралізують активні форми кисню. Метою дослідження було визначення активності антиоксидантних ферментів, а саме каталази (КФ 1.11.1.6.) та пероксидази (КФ.1.11.1.7), на різних етапах онтогенезу рослин для оцінки стійкості видів дерноутворюючих трав в умовах урбанізованого середовища за впливу викидів автотранспорту в м.Дніпро. Об'єктами досліджень були пирій повзучий (*Elytrigia répens* (L.) Nevski.) та мишій зелений (*Setaria viridis* (L.) Beauv.). Встановлено, що в дерноутворюючих рослин *Elytrigia répens* та *Setaria viridis*, спостерігалось достовірне підвищення активності каталази та пероксидази у вегетативних органах за впливу аерополютантів. Виявлено посилення активності каталази порівняно з контролем відповідно на 16-46 % в листках і 10-49 % в коренях (пирій повзучий) та на 23-70 % в листках і на 20-68 % в коренях (мишій зелений). В ході онтогенезу зареєстровано інтенсифікацію активності пероксидази у листках і коренях досліджуваних рослин: в фазу вірґінільну пирій повзучий (35 % і 25 %), мишій зелений (65,5 % і 50 %); в генеративну фазу пирій повзучий (35,5 % і 49,5 %), мишій зелений (67,5 % і 56,5 %); в субсенільну фазу пирій повзучий (46 % і 38,5 %), мишій зелений (59,5 % і 49 %). Найвищі значення ферментативної активності спостерігаються у рослин на дослідній ділянці біля ДМЗ. Показники активності каталази та пероксидази є важливими для моніторингу стану дерноутворюючих рослин у стресових умовах й їх стійкості до впливу забруднення повітря в міському середовищі. Виявлені зміни активності каталази та пероксидази можуть бути використані як надійні біомаркери для оцінки рівня забруднення міського середовища та екологічної стійкості рослинних угруповань. Збільшення активності антиоксидантних ферментів є одним із ключових механізмів адаптації рослин до хронічного впливу антропогенних факторів. Максимальні значення активності ферментів фіксуються у субсенільних особин, що підкреслює важливість антиоксидантного захисту на пізніх етапах розвитку. Найбільші відмінності між контрольними та дослідними рослинами спостерігаються у листках, що може бути пов'язано з інтенсивнішим впливом аерополютантів на листову поверхню. Результати дослідження підтверджують доцільність використання *Elytrigia**

repens (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv як індикаторних видів для моніторингу стану урбофітоценозів.

Ключові слова: дерноутворюючі трави, *Elytrigia repens*, *Setaria viridis*, антиоксидантна система, каталаза, пероксидаза, аерополітантми.

Вступ. В сучасних умовах інтенсивного техногенного навантаження на довкілля вивчення адаптаційних механізмів рослин, що зростають в урбанізованому середовищі, привертає особливу увагу. Однією з ключових груп рослин, що відіграють важливу роль у стабілізації ґрунту, формуванні мікроклімату та підтриманні екологічної рівноваги, є дерноутворюючі види [2, 3, 15]. Вздовж автомагістралей ці рослини постійно зазнають хронічного впливу аерополітантів, і автотранспорт є одним із головних джерел забруднення повітря в міському середовищі. До складу автотранспортних викидів входять оксиди азоту (NO, NO₂), оксиди сірки (SO₂), вуглекислий газ (CO₂), чадний газ (CO) леткі органічні сполуки, сажа, пил та важкі метали (Pb, Cd, Zn, Cu) [2, 15]. Ці речовини мають високу реакційну здатність проникати в рослинні тканини, викликаючи морфологічні зміни (зменшення площі листової поверхні, деформації листків, вкорочення пагонів та кореневої системи), порушення фізіологічних-біохімічних процесів (пригнічення фотосинтезу, синтезу білків, вуглеводів та ліпідів, надмірне утворення активних форм кисню). Це, в свою чергу, знижує адаптивний потенціал видів, впливає на здатність до самовідновлення [1, 14, 17].

Зміни у морфо-фізіологічному стані та метаболізмі дерноутворюючих рослин може призводити до трансформації структури фітоценозу, зниження біорізноманіття та порушення функціонування екосистеми загалом. Наслідки впливу викидів автотранспорту на морфоструктуру та метаболізм рослин залежать від концентрації токсичних речовин і тривалості дії. Дерноутворюючі трави, завдяки властивості до швидкого відновлення механічно пошкоджених ділянок та стійкості до інтенсивного використання, є важливим елементом міського озеленення, що виконує низку екологічних, естетичних та соціальних функцій, та застосовуються для озеленення не тільки парків, скверів, а й техногенно порушених територій, зокрема узбіч доріг, промислових зон [3, 6]. Використання в ландшафтному дизайні та благоустрої міських територій дерноутворюючих рослин відіграє значну роль в покращенні якості повітря, зниженні температури повітря, що позитивно впливає на формування міського мікроклімату, в регуляції водного балансу та збереженні біорізноманіття.

Для збереження функціональності рослинного організму і підтримання гомеостазу за негативного впливу умов міського середовища як захисна реакція активуються додаткові механізми регуляції, зокрема антиоксидантна ферментативна система (каталаза, пероксидаза та супероксиддисмутаза) [2, 13, 14]. Підвищення активності СОД за дії аеротехногенного забруднення призводить до накопичення в рослинному організмі пероксиду водню, який є токсичною сполукою і негативно впливає на метаболічні процеси. Основними ферментами, які знешкоджують H₂O₂ в клітинах, є каталаза і пероксидаза. Ці ензими працюють у другій лінії захисту від окиснювального стресу. Каталаза є одним з найактивніших ферментів у рослинах. Відомо, що висока активність каталази свідчить про підвищену стійкість рослин до стресових умов [13, 14]. На відміну від пероксидаз, цей фермент не потребує відновленого субстрату для активності. Зниження активності каталази призводить до утворення реакційно агресивного ініціатора ПОЛ – гідроксильного радикалу – і може бути діагностичною ознакою чутливості рослин до антропогенних навантажень [12, 17]. Висока активність пероксидази, як і каталази, є адаптивною відповіддю на дію стресових факторів в умовах урбанізованого середовища, спрямованою на збереження клітинної цілісності та забезпечення життєздатності рослин. Тому, актуальним є дослідження антиоксидантних ферментів у дерноутворюючих трав під

впливом аерополютантів, що дозволить глибше зрозуміти механіми їхньої адаптації та розробити підходи до збереження екологічної стабільності урбанізованих територій.

Отже, **метою дослідження було** вивчити динаміку активності ферментів антиоксидантної системи каталази та пероксидази за впливу аерополютантів міста у вегетативних органах дерноутворюючих рослин на різних етапах онтогенезу.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктами дослідження були дерноутворюючі трави пирій повзучий (*Elytrigia répens* (L.) Nevski) та мишій зелений (*Setaria viridis* (L.) Beauv.) на різних етапах онтогенезу: у віргінільному, генеративному та субсенільному вікових станах. Дослідні зразки були відібрані в місті Дніпро біля Дніпровського металургійного заводу та на проспекті Б. Хмельницького. Контрольні зразки рослин відбирали на території ботанічного саду ДНУ. Активність антиоксидантних ферментів каталази та пероксидази відзначали за загальноприйнятими методиками в триразовій повторності [8].

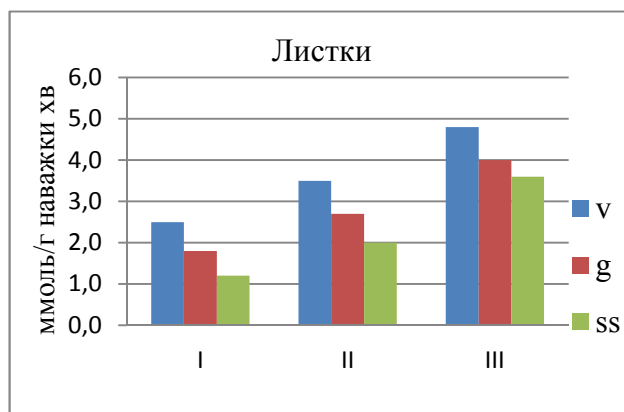
Для одержання ферментного препарату наважку рослинної тканини 0,1 г розтирали у порцеляновій ступці з 0,2 М ацетатного буферу рН 5,4. Одержаний гомогенат після 30 хв настоювання центрифугували протягом 20 хв при 15000 г при 4 С. Супернатант перемістили в чисті сухі пробірки, поміщені в стакани із льодом, й далі використовували при проведенні реакції.

Для визначення активності пероксидази (КФ.1.11.1.7) фіксували зміну оптичної густини реакційної суміші за довжини хвилі 490 нм. До складу реакційної суміші 0,2 мл рослинного екстракту, 0,8 мл 0,2 М ацетатного буферу рН 5,4 та 1 мл бензидину. Для запуску ферментативної реакції в дослідну кювету додавали 1 мл 1 % розчину пероксиду водню і одразу починали вимірювання оптичної густини при довжині хвилі 490 нм протягом хвилини з інтервалом в 5 с напроти контрольної проби, яка містила 1 мл ацетатного буферу замість пероксиду водню.

Активність каталази (КФ 1.11.1.6) визначали фотометрично за довжини хвилі 410 нм в реакційній суміші з 0,2 мл супернатанту, 0,1 % H_2O_2 і 4 % молібдату амонію. Цей метод ґрунтується на утворенні стійкого забарвленого комплексу пероксиду водню з солями молібдену, інтенсивність забарвлення залежить від кількості H_2O_2 у досліджуваному розчині.

Отримані результати дослідження обробляли за допомогою статистичного програмного забезпечення Statistica 7.1 StatSoft.

Результати та їх обговорення. Проведені дослідження по ферменту каталаза в листках і коренях *Elytrigia repens* дали змогу встановити високий рівень його активності у всіх досліджуваних варіантах. Як видно із даних рис. 1, активність каталази у вегетативних органах пирію повзучого з відібраних проб біля ДМЗ на початку онтогенезу підвищені на 25 і 20 % відносно контрольних рослин. У рослин, зібраних з узбіччя проспекту Б. Хмельницького активність каталази збільшена лише на 16 % (листки) і 10 % (корені).



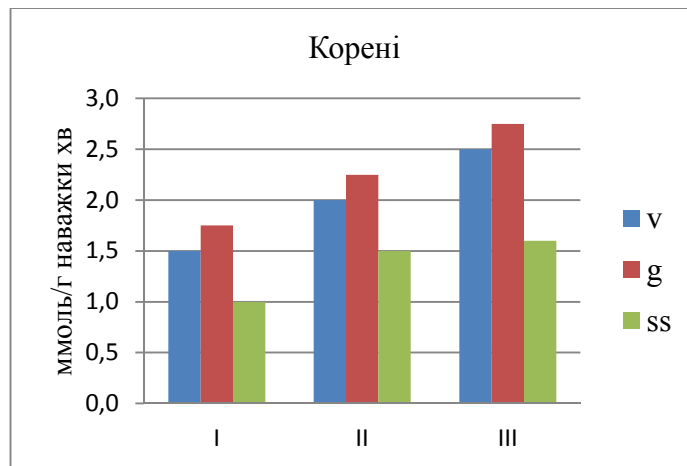


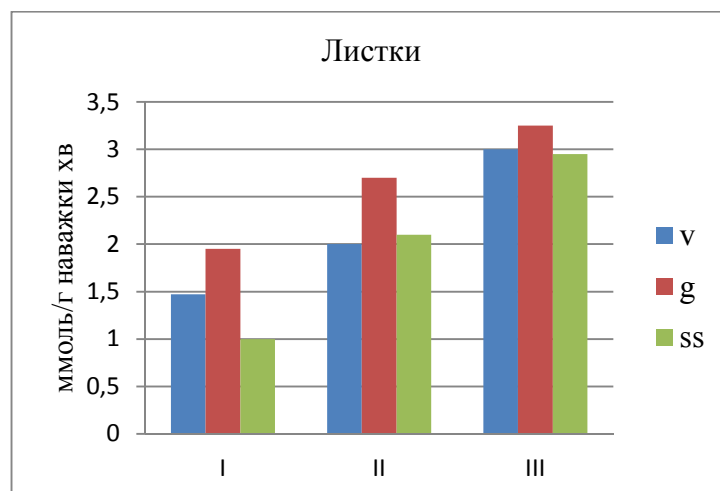
Рис. 1. Вплив аерополітантів на активність каталази у вегетативних органах *Elytrigia repens* (L.) Nevski: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Для рослин *Elytrigia repens* в період переходу до генеративної фази розвитку активність ферменту зростала порівняно з попереднім етапом в листках-коренях з контрольної ділянки на 36-31 %, у вегетативних органах рослин з ділянки II і III – на 46-44 і 49-48 %.

При порівнянні контролю і досліджу зафіксовано інтенсифікація каталазної активності на 25 і 20 % у листках і коренях особин, які зростають на проспекті Б. Хмельницького й 37 і 33 % – у вегетативних органах рослин з ДМЗ.

Вступ рослин піррю повзучого у субсенільну фазу відзначено незначним зниженням активності ензиму відносно попередньої фази розвитку в середньому на 5–12 %. Але активність каталази у вегетативних органах *Elytrigia repens* з моніторингових ділянок достовірно збільшена порівняно з контрольними рослинами на 35-25 % (проспект Б. Хмельницького) та 49-39 % (ДМЗ).

У листках і коренях *Setaria viridis* віргінільного періоду в забрудненому промисловими викидами та вихлопами автотранспорту фітоценозі активність каталази збільшена відносно рослин контрольного фітоценозу на 23-42 % і 20-33 % (рис. 2).



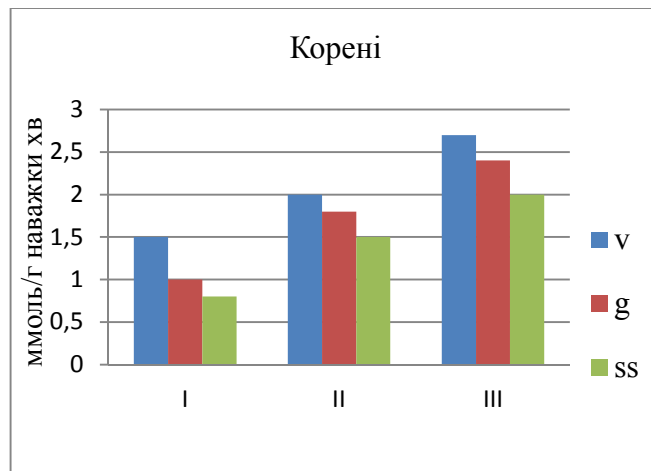


Рис. 2. Вплив аерополютантів на активність каталази у вегетативних органах *Setaria viridis* (L.) Beauv.: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Надалі (генеративний стан) активність ферменту зростала відносно попередньої фази у контролі на 33 %, а у досліді – 51-55 %. Для рослин мишію зеленого, які зростають на ділянці II (проспект Б. Хмельницького) активація ферменту становила 40 і 31 % вище контролю. Особини, зібрані на ділянці III (ДМЗ) відзначились вищими значеннями активності: 60-55 %.

У субсенільний період онтогенезу тенденція до перебільшення контрольного рівня зберігалась на 50-70 % в надземній масі *Setaria viridis* і 42-68 % в підземних органах у усіх дослідних фітоценозах.

Відзначене в нашому дослідженні збільшення активності каталази в листках і коренях дерноутворюючих трав на всіх етапах онтогенезу, пов'язано із стійкістю даних видів до хронічного впливу автотранспортних викидів на окисно-відновні процеси. Оскільки відомо, що стійкі рослинні організми мають більш високі рівні й активності ферментів-антиоксидантів, тобто ефективнішу систему захисту, то рослини *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv., проявляють стійкість до умов свого існування [2, 13].

Таким чином, одним з механізмів адаптації досліджуваних рослин до хронічної дії антропогенних факторів міського середовища м. Дніпро є інтенсифікація функціонування каталазної активності, спрямованої на ефективне знешкодження пероксиду водню, що утворюється в реакції, яку каталізує СОД.

Враховуючи важливість пероксидази в механізмі адаптації рослин до різних видів стресу, ми вивчали активність пероксидази в онтогенезі дерноутворюючих трав *Elytrigia repens* та *Setaria viridis*, що зростають в фітоценозах міста Дніпро.

Як видно з рис.3, активність пероксидази листків і коренів контрольних рослин пірію повзучого у віргінільну фазу онтогенезу складала 24,42 і 20,24 ум.од./г наважки хв. У рослин, зібраних на території проспекту Б. Хмельницького цей показник становив 31,75 і 24,2 ум.од./г наважки хв. (на 30 і 20 % вище за контроль). Для особин *Elytrigia repens* з ділянки ДМЗ відзначено найвищі значення активності ферменту 35,4 і 27,32 ум.од./г наважки хв. (на 45 і 35 % вище контрольних значень).

При переході від віргінільного стану до генеративного динаміка активності пероксидази у вегетативних органах пірію повзучого з різних досліджуваних районах була спрямована в бік інтенсифікації. Так, в листках і коренях з контрольної ділянки стимуляція активності ензиму становила 7-15 %, а з дослідних ділянок фітоценозів на 16-25 і 15-22 %.

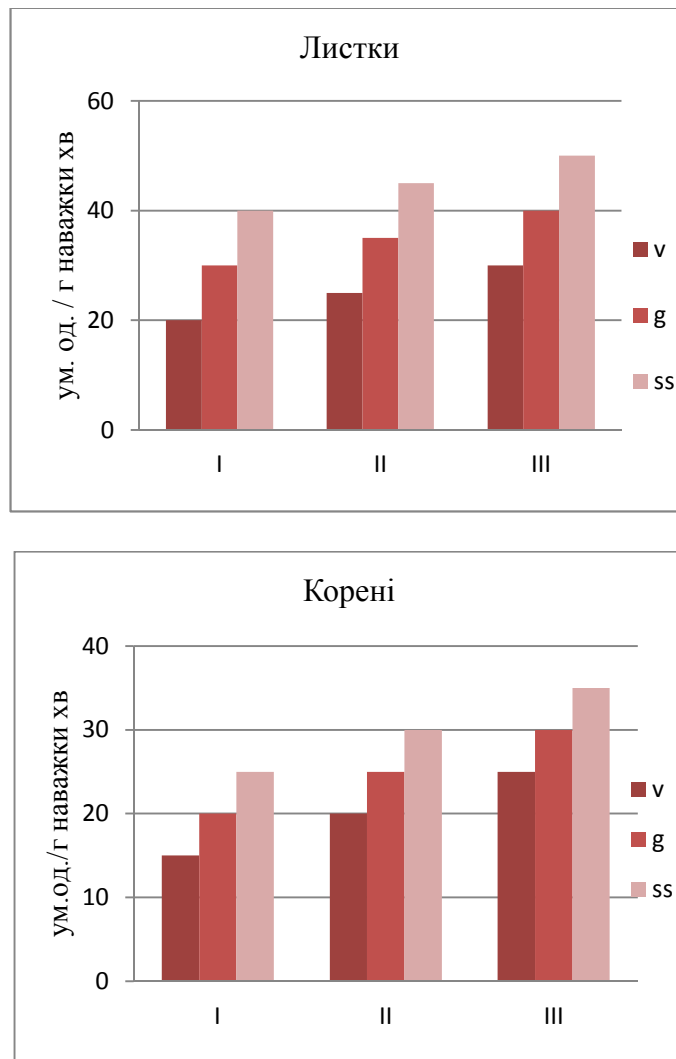


Рис. 3. Активність пероксидази вегетативних органів *Elytrigia repens* (L.) Nevski: з антропогенних фітоценозів: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

При порівнянні контролю і досліду зафіксовано стимуляцію пероксидазної активності на 40 і 55 % у листках пірію повзучого, який зростає на ділянках II (проспект Б. Хмельницького) і III (ДМЗ), у коренях – на 31 і 44 % відповідно.

Субсенільний етап онтогенезу відзначається подальшим збільшення активності ензиму відносно попередньої фази розвитку. При цьому активність пероксидази у вегетативних органах *Elytrigia repens* з моніторингових ділянок достовірно збільшена порівняно з контрольними рослинами на 42 і 35 % (проспект Б. Хмельницького) та 50 і 42 % (ДМЗ).

У листках віргінільних рослин *Setaria viridis* фітоценозів, забруднених вихлопами автотранспорту і промисловими аерополітантами активність пероксидази перевищувала контрольний рівень на 50 і 71 % відповідно. У коренях на цьому етапі онтогенезу активність ферменту був достовірно збільшеним на 40 і 60 %.

Подальше підвищення активності пероксидази зафіксовано у генеративну стадію онтогенезу мишію зеленого у листках на 60-75 %, коренях – 51-62 %.

Максимальні значення притаманні рослинам у субсенільному стані. При цьому рівень активності пероксидази збільшений на 54-65 у надземних і 43-55 % підземних органах (рис. 4).

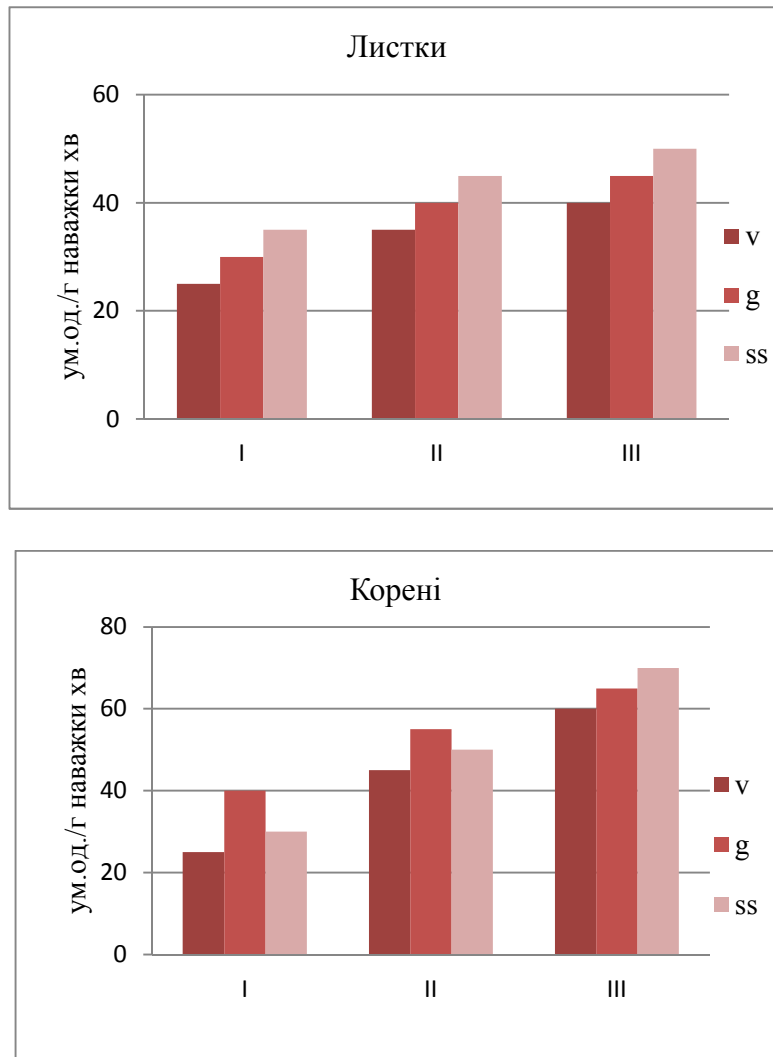


Рис. 4. Активність пероксидази вегетативних органів *Setaria viridis* (L.) Beauv. з антропогенних фітоценозів: I – ботсад ДНУ (контроль), II – проспект Б. Хмельницького, III – ДМЗ, v – віргінільний, g – генеративний та ss – субсенільний вікові стани

Отже, підвищення активності ферменту пероксидази спостерігається протягом усіх етапів онтогенезу дерноутворюючих рослин, незалежно від місця зростання, проте найбільш високий рівень активності ферменту зафіксовано у субсенільному віковому стані. Порівняно з контрольними зразками відзначено інтенсифікацію ферментативної активності за хронічної дії аерополютантів.

Зміна активності ферментів антиоксидантного захисту, а саме підвищення активності каталази та пероксидази, на всіх етапах розвитку дерноутворюючих трав *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv є одним із механізмів стійкості рослин до несприятливих факторів міського середовища, особливо до забруднення повітря викидами автотранспорту. Результати дослідження активності антиоксидантних ферментів в умовах посиленого антропогенного навантаження свідчать про високий ступінь адаптаційних можливостей пирію повзучого та мишію зеленого, та можуть бути використані для оцінки комплексного впливу стресових факторів на рослини в урбофітоценозах.

Висновки. У досліджуваних дерноутворюючих злаків *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv зафіксовано достовірне підвищення активності каталази та

пероксидази у вегетативних органах під впливом аерополютантів міського середовища. Найбільше зростання активності ферментів спостерігається у рослин, що зростають на територіях із підвищеним рівнем забруднення (ДМЗ), що свідчить про їхню здатність до ефективної антиоксидантної відповіді. На всіх етапах онтогенезу (віргінільний, генеративний, субсенільний) активність каталази та пероксидази у дослідних рослин перевищує контрольні значення, що вказує на збереження високого рівня захисних механізмів протягом усього онтогенезу. Максимальні значення активності ферментів фіксуються у субсенільних особин, що підкреслює важливість антиоксидантного захисту на пізніх етапах розвитку. Найбільші відмінності між контрольними та дослідними рослинами спостерігаються у листках, що може бути пов'язано з інтенсивнішим впливом аерополютантів на листову поверхню.

Встановлено, що у вегетативних органах *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv, які зазнають впливу аерополютантів, фіксували достовірне посилення активності каталази відповідно на 16-46 і 10-49 % (листки і корені) та 23-70 і 20-68 %. Це свідчить про активацію внутрішньоклітинних процесів знешкодження молекул пероксиду водню за участю даного ферменту. В ході онтогенезу зареєстровано інтенсифікацію активності пероксидази у листках і коренях досліджуваних рослин: в фазу віргінільну пирій повзучий (35 і 25 %), мишій зелений (65,5 і 50 %); в генеративну фазу пирій повзучий (35,5 і 49,5 %), мишій зелений (67,5 і 56,5 %); в субсенільну фазу пирій повзучий (46 і 38,5 %), мишій зелений (59,5 і 49 %).

Виявлені зміни активності каталази та пероксидази можуть бути використані як надійні біомаркери для оцінки рівня забруднення міського середовища та екологічної стійкості рослинних угруповань. Збільшення активності антиоксидантних ферментів є одним із ключових механізмів адаптації рослин до хронічного впливу антропогенних факторів.

Результати дослідження підтверджують доцільність використання *Elytrigia repens* (L.) Nevski та *Setaria viridis* (L.) Beauv як індикаторних видів для моніторингу стану урбофітоценозів.

Література

1. Bielyk Y.V., Savosko V.M., Lykholat Y.V. Assessment of the woody plant species vital condition distributed on the devastated lands of the iron ore dump. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2021, (1), 22–27, <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247351>
2. Boroday Ye.S., Lykholat T.Yu., Lykholat Yu.V. Dynamics of SOD activity and accumulation of TBA-active products in the process of ontogeny of some sod-forming plants in a megalopolis. *Ecology and Noospherology* 2023, 34(2), 112–116 <https://doi.org/15421/032317>
3. Григорюк І.П., Яворовський П.П., Лихолат Ю.В. Технології вирощування і біорегуляція стійкості газонних рослин у міському урбанізованому середовищі: монографія Київ: НУБІП України. 2014, 223 с.
4. Kom Yangchen Dolma, Karthiyayini Ramaswamy, Suresh Surya Phytochemical Profiling and Antioxidant Evaluation of *Rhododendron arboreum* Sm leaf and flower: Integrative Analysis using Advanced Analytical Techniques. *Drug development and industrial pharmacy*. 2024, 50. 1 – 56 <https://doi.org/10.1080/03639045.2024.2390029>
5. Lykholat Y. L., Didur O. O., Khromykh N. O., Davydov, V. R., Borodai Y. S., Kravchuk K. V., Lykholat T. Y. Comparative analysis of the antioxidant capacity and secondary metabolites accumulation in the fruits of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and some closely related species. *Ecology and Noospherology*. 2021, 32(1), 3 – 8 <https://doi.org/10.15421/032101>
6. Лихолат Ю. В., Хроміх Н. О., Дідур О. О., Оковитий С. І., Матюха В. Л., Савосько В. М., Лихолат Т. Ю. Сучасний стан антропогенної трансформації екосистем степового Придніпров'я. *Кривий Пір: ФОР Чернявський Д.О.*, 2019, 146 с.
7. Savosko V., Komarova, I., Lykholat, Y., Yevtushenko, E., Lykholat T. Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012011>

8. Спецпрактикум з фізіології та біохімії рослин. Вінниченко О.М., В. Більчук В.С., Лихолат Ю.В., Россихіна-Галича Г.С., Шупранова Л.В. Дніпропетровськ: ФОП Середняк Т. К., 2014, 224 с.
9. Sanna D., Fadda A. Role of the Hydroxyl Radical-Generating System in the Estimation of the Antioxidant Activity of Plant Extracts by Electron Paramagnetic Resonance (EPR). *Molecules*. 2022, 27, 4560 <https://doi.org/10.3390/molecules27144560>
10. Savosko V., Bielyk Y., Lykholat Y., Heilmeier H., Grygoryuk I., Khromykh N., Lykholat T. (2021). The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021, 30, <https://doi.org/153-164>. 10.15421/112114
11. Xie X., He Z., Chen N., Tang Z., Wang Q., Cai Y. The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *Biomed Res International*. 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
12. Li H., Wang H., Wen W., Yang G. The antioxidant system in *Suaeda salsa* under salt stress. *Plant Signal Behaving*. 2020, 2, 15(7), 1771939 <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1771939>
13. Приседський Ю.Г., Лихолат Ю.В. Адаптація рослин до антропогенних чинників: монографія ДонНУ імені Василя Стуса. Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2017, 98 с.
14. Лихолат Ю. В., Лихолат Т. Ю., Квітко М. О., Бородай Є. С., Гальченко В. М. Стан та перспективи відновлення рослинного покриву на техногенних територіях. *Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference*. Rotterdam, Netherlands. 2024, 21 – 25.
15. Kulbachko Y., Boroday Ye., Lykholat T., Lykholat Yu., Lykholat O., Kvitko M., Marenkov O., Yevtushenko E., Lykholat Y. Accumulation of heavy metals by different representatives of biota in the operation zone of the Prydniprovsk thermal power plant. 2024, 1415, 012005, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012005>
16. Kvitko M., Lykholat T., Lykholat Yu., Lykholat O, Marenkov O. Assessment of changes in the structure of the forest ecosystems for example sanitary woody plantations in the Steppe Dnipro. *Earth and Environmental Science*. 2024, 1415, 012048, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012048>
17. Wang P., Liu W.C., Han C., Wang S., Bai M.Y., Song C.P. Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. *Journal Integr Plant Biology*. 2024, 66(3), 30-367 <https://doi.org/10.1111/jipb.13601>

References

1. Bielyk, Y.V., Savosko, V.M., & Lykholat, Y.V. (2021) Assessment of the woody plant species vital condition distributed on the devastated lands of the iron ore dump. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. (1), 22 – 27. <https://doi.org/10.37555/2707-3114.1.2021.247351>
2. Boroday, Ye.S., Lykholat, T.Yu., Lykholat, Yu.V. (2023) Dynamics of SOD activity and accumulation of TBA-active products in the process of ontogeny of some sod-forming plants in a megalopolis. *Ecology and Noospherology*. 34(2), 112 – 116 <https://doi.org/10.15421/032317>
3. Hryhoriuk, I.P., Yavorovskiy, P.P., Lykholat, Yu.V. (2014) *Tekhnolohii vyroshchuvannya i biorehuliatytsii stiihosti hazonnykh roslyn u miskomu urbanizovanomu seredovyshchi: monohrafiia Kyiv: NUBIP Ukrainy [in Ukrainian]*
4. Kom, Y.D., Karthiyayini, R., Suresh, S. (2024) Phytochemical Profiling and Antioxidant Evaluation of *Rhododendron arboreum* Sm leaf and flower: Integrative Analysis using Advanced Analytical Techniques. *Drug development and industrial pharmacy*. 50, 1-56 <https://doi.org/10.1080/03639045.2024.2390029>
5. Lykholat, Y. L., Didur, O. O., Khromykh, N. O., Davydov, V. R., Borodai, Y. S., Kravchuk, K. V., Lykholat, T. Y. (2021). Comparative analysis of the antioxidant capacity and secondary metabolites accumulation in the fruits of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and some closely related species. *Ecology and Noospherology*, 32(1), 3-8 <https://doi.org/10.15421/032101> [in English]
6. Lykholat, Yu. V., Khromykh, N. O., Didur, O. O., Okovytyi, S. I., Matiukha, V. L., Savosko, V. M., Lykholat, T Yu. (2019) Suchasnyi stan antropohennoi transformatsii ekosystem stepovoho Prydniprovia. Kryvyi Rih: FOP Cherniavskiy D.O. [The current state of antropogenic transformation of the steppe Pridnestrovie] [in Ukrainian]

7. Savosko, V., Komarova, I., Lykholat, Yu., Yevtushenko, E., Lykholat, T. (2021) Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology. *Journal of Physics: Conference Series*. 1840, 012011, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012011>
8. Spetspraktikum z fiziologii ta biokhimii roslyn. (2014). Vinnychenko O.M., Bilchuk, B.V., Lykholat, Yu.V., Rossykhina-Halycha, H.S., Shupranova, L.V. Dnipropetrovsk: FOP Seredniak T. K., 224 s. [Special workshop on plant physiology and biochemistry][in Ukrainian]
9. Sanna, D., Fadda, A. (2022) Role of the Hydroxyl Radical-Generating System in the Estimation of the Antioxidant Activity of Plant Extracts by Electron Paramagnetic Resonance (EPR). *Molecules*. 27, 4560 <https://doi.org/10.3390/molecules27144560>
10. Savosko, V., Bielyk, Yu., Lykholat, Yu., Heilmeier, H., Grygoryuk, I., Khromykh, N., Lykholat, T. (2021) The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 30. 153-164 <https://doi.org/10.15421/112114>
11. Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q., Cai, Y. (2019) The Roles of Environmental Factors in Regulation of Oxidative Stress in Plant. *Biomed Res Int*. 9732325 <https://doi.org/10.1155/2019/9732325>
12. Li, H., Wang, H., Wen, W., Yang, G. (2020) The antioxidant system in *Suaeda salsa* under salt stress. *Plant Signal Behaving*. 15(7), 1771939 <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1771939>
13. Prysedskyi, Yu.H., Lykholat, Yu.,V. (2017) Adaptatsiia roslyn do antropohennykh chynnykiv: monohrafiia DonNU imeni Vasylia Stusa. Vinnytsia: TOV "Nilan-LTD", 2017, 98 s [Adaption of plants to Antropogenic factors: Monograf by Vasyl Stus, Donetsk National University. Vinnitsia] [in Ukrainian]
14. Lykholat, Yu.V., Lykholat, T.Yu., Kvitko, M.O., Borodai, Ye.S., Halchenko, V.M. (2024) Stan ta perspektyvy vidnovlennia roslynnoho pokryvu na tekhnohennykh terytoriakh. *Proceedings of the XXXI International Scientific and Practical Conference*. Netherlands. 21-25 [The state and prospect of vegetation restoration in man-made area] [in Ukrainian]
15. Kulbachko, Y., Boroday, Ye., Lykholat, T., Lykholat, Yu., Lykholat, O. Kvitko, M., Marenkov, O., Yevtushenko, E. (2024) Accumulation of heavy metals by different representatives of biota in the operation zone of the Prydniprovsk thermal power plant. *Earth and Environmental Science*. 141, 012005, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012005>
16. Kvitko, M., Lykholat, T., Lykholat, Yu., Lykholat, O., Marenkov, O. (2024) Assessment of changes in the structure of the forest ecosystems for example sanitary woody plantations in the Steppe Dnipro. *Earth and Environmental Science*. 1415, 012048, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012048>
17. Wang, P., Liu, W.C., Han, C., Wang, S., Bai, M.Y., Song, C.P. (2024) Reactive oxygen species: Multidimensional regulators of plant adaptation to abiotic stress and development. *Journal Integr Plant Biology*. 66(3), 330-367 <https://doi.org/10.1111/jipb.13601>

Boroday Y.

Postgraduate student at the Department of
Plant Physiology and Introduction,
Oles Honchar Dnipro National University
e-boroday@ukr.net
orsid.org/0009-0007-4732-444X

Lykholat Y.

Doctor of Biological Sciences, Professor of
the Department of Plant Physiology and Introduction
Oles Honchar Dnipro National University
lykholat2006@ukr.net
orsid.org/0000-0003-3354-8251

**INFLUENCE OF AEROPOLLUTANS OF ATTRACTANT TERRITOTIES
ON THE ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES
OF VEGETATIVE ORGANS OF DEGRADING GRASSES**

*Phytocenoses of urban areas and industrial zones are chronically affected by air pollutants, a significant part of which is emissions from motor vehicles. Sod-forming plant species are an integral and important component of urbophytocenoses, therefore it is important to study the stability and adaptive potential of these species in the conditions of the urban environment. Under conditions of air pollution, the metabolic reactions of the plant organism are disrupted, plants are exposed to oxidative stress, therefore, in response, the antioxidant enzyme system is activated, in particular catalase and peroxidase, which neutralize reactive oxygen species. The aim of the study was to determine the activity of catalase and peroxidase in the vegetative organs of sod-forming grasses at different stages of ontogenesis under the influence of air pollution in the urban environment in the city of Dnipro. The objects of research were couch grass (*Elytrigia répens* (L.) Nevski.) and green foxtail (*Setaria viridis* (L.) Beauv.). It was established that in the sod-forming plants *Elytrigia répens* and *Setaria viridis*, a significant increase in the activity of catalase and peroxidase was observed in vegetative organs under the influence of air pollutants compared to the control in both leaves and roots. *Elytrigia répens* catalase activity increased by 16-46 % in leaves and by 10-49 % in roots. An increase in peroxidase activity was observed at all stages of ontogenesis, but the highest values were recorded at the subsenile stage, 46% in leaves and 38.5% in roots. For the *Setaria viridis*, there was also an increase in the activity of enzymes in the experimental areas, catalase by 23-70% in leaves and 20-68% in roots, and a significant increase in peroxidase activity in all phases of development, especially in the generative phase by 67.5% and 56.5%, respectively, in leaves and roots. Indicators of catalase and peroxidase activity are important for monitoring the state of sod-forming plants under stressful conditions and their resistance to the effects of air pollution in the urban environment.*

*The maximum enzyme activity values are recorded in subsenile individuals, which emphasises the importance of antioxidant protection in the later stages of development. The greatest differences between control and experimental plants are observed in the leaves, which may be due to the more intense impact of air pollutants on the leaf surface. The results of the study confirm the feasibility of using *Elytrigia repens* (L.) Nevski and *Setaria viridis* (L.) Beauv as indicator species for monitoring the state of urban phytocenoses. Key words: sod-forming grasses, *Elytrigia répens*, *Setaria viridis*, antioxidant system, catalase, peroxidase, air pollutants.*

**Стаття до редакції надійшла 03.09.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.09.2025 року**