

І. А. Іванько ✉, А. Ф. Кулік

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010

ОЦІНКА АДАПТАЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АБОРИГЕННИХ ТА АДВЕНТИВНИХ ВИДІВ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ДНІПРОПЕТРОВЩИНИ

Нині в Європі, зокрема в Україні, відбувається погіршення стану та втрата екологічних функцій міських деревно-чагарникових насаджень, констатується їх нестача для забезпечення протидії наслідкам глобальних змін клімату та захисту населення від впливу промислового забруднення. Актуальним залишається питання стійкості аборигенних та адвентивних деревних видів, які використовуються у насадженнях промислових мегаполісів, що зумовлює необхідність оцінки фізіолого-біохімічних аспектів їх адаптації до екстремальних факторів середовища, якими у степовій зоні є ліміт вологи, періодичні критично низькі зимові температури та у великих містах – антропо-техногенне навантаження. З метою оптимізації асортименту деревних видів мегаполісів степової зони України та визначення їх потенційної стійкості до антропо-техногенного навантаження дослідження проведене в умовно чистих лісових біогеоценозах прируслової зони р. Самара та в штучних насадженнях на територіях, розташованих у прибережній зоні р. Дніпро в 1500 м від ДТЕК Придніпровська ТЕС (м. Дніпро). Відомо, що саме ТЕС – джерело забруднення атмосферного повітря такими важкими металами, як свинець і кадмій. Дослідження активності ферментів антиоксидантного захисту в листках аборигенних і адвентивних видів дерев показало, що в зоні впливу Придніпровської ТЕС спостерігалось збільшення активності гваякол-пероксидази у *Acer platanoides*, *Ulmus minor*, *Morus alba*; бензидін-пероксидази у *Acer negundo*, *Ulmus laevis*, *Acer platanoides*; каталази у *A. platanoides*, *A. negundo*, *U. laevis*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*. Висока активність пероксидаз, яка доповнюється більшою активністю каталази, свідчить про відносну стійкість цих видів до антропо-техногенного навантаження, яка підтримується механізмами антиоксидантного захисту. Сумарний вміст хлорофілів (Chla + Chlb) у листках аборигенних видів *Ulmus laevis*, *Acer platanoides* та адвентивного *Morus alba* зменшувався у зоні впливу ТЕС відносно умовно чистих територій. Відношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* на забруднених територіях значно збільшувалося у листках місцевих видів *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*, *Acer platanoides* порівняно з контролем. У інвазійних видів *Acer negundo*, *Morus alba*, *Ulmus pumila* цей показник суттєво не змінювався. У таких інвазійних видів, як *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, спостерігалось збільшення маси листків, що може свідчити про пристосованість даних видів до антропогенно-змінених умов зростання.

Ключові слова: аборигенні, адвентивні деревні види, вміст хлорофілу, маса листків, антиоксидантні ферменти, несприятливі чинники, стійкість рослин.

✉ Tel.: +38097-508-90-00. E-mail: ivanko_nda_biol_dnu@i.ua

DOI: 10.15421/442102

I. A. Ivanko✉, A. F. Kulik

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine***ASSESSMENT OF ADAPTIVE CAPACITY OF NATIVE AND ADVENTIVE SPECIES OF TREES AND SHRUBS IN DNIPRO REGION**

Nowadays, deterioration and loss of ecological functions of urban tree and shrub plantations take place in Europe and, in particular, in Ukraine; it was noted that their number is insufficient to counteract the negative impact of global climate change and protect the population against industrial pollution effects. The issue of resistance of native and adventitious tree species used in the plantations of industrial cities remains relevant; it necessitates the assessment of physiological and biochemical aspects of their adaptation to extreme environmental factors, such as moisture limit in the steppe zone, periodic dangerously low winter temperatures and anthropo-technogenic load (in large urban agglomerations). In order to optimize the assortment of tree species of large megalopolises of the steppe zone of Ukraine and determine their potential resistance to anthropogenic pressures the study was conducted in conditionally clean forest biogeocenoses of the Samara River levee zone and in artificial plantations on the territories located in the coastal zone of the Dnipro River within 1500 m from the Prydneprovskaya thermal electric station (PTES, Dnipro city). It well known that the TPP is the source of atmospheric air pollution by such heavy metals as lead and cadmium. A study of the activity of antioxidant protection enzymes in leaves of native and adventive tree species showed that in the zone of Prydneprovskaya TES impact there was an increase of guaiacol peroxidase activity in *Acer platanoides*, *Ulmus minor*, *Morus alba*; benzidine peroxidase in *Acer negundo*, *Ulmus laevis*, *Acer platanoides*; catalase in *A. platanoides*, *A. negundo*, *U. laevis*, *Ulmus pumila* and *Robinia pseudoasasia*. High peroxidase activity, which is complemented by higher catalase activity, indicates the relative resistance of these species to atropo-technogenic pressures supported by antioxidant defense mechanisms. Total chlorophyll content (Chla + Chlb) in leaves of native species *Ulmus laevis*, *Acer platanoides* and adventive *Morus alba* decreased in the zone of TPP impact in relation to conditionally clean areas. The ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* in contaminated areas significantly increased in leaves of native species *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*, *Acer platanoides* compared with control. The invasive species *Acer negundo*, *Morus alba*, *Ulmus pumila* had no significant changes in this indicator. In invasive species such as *Ulmus pumila*, *Acer negundo* there was an increase in leaf mass, which may indicate adaptation of these species to anthropogenically altered growth conditions.

Key words: native, adventive tree species, chlorophyll content, leaf weight, antioxidant enzymes, adverse factors, plant resistance.

Вступ

Нині в Європі, зокрема в Україні, відбувається погіршення стану та втрата екологічних функцій міських деревно-чагарникових насаджень, констатується їх нестача для забезпечення протидії наслідкам глобальних змін клімату та захисту населення від впливу промислового забруднення [5, 22, 23, 28, 30]. Крім того, в Україні, безпосередньо в промислових містах степової зони, екологічний потенціал зелених насаджень додатково знижений за рахунок значного спектру

причин, серед яких: вируб насаджень під забудову (нерідко з відсутністю компенсаційного відновлення); непрофесійне обрізання дерев, яке призводить до їх ослаблення, інфікування та випадання; недостатнє врахування біолого-екологічних особливостей та адаптаційних можливостей видів та їх невдалий підбір до ґрунтово-гідрологічних умов і зон з різним ступенем техногенного забруднення та антропогенного навантаження.

Окремі інтродуковані деревні види, які використовуються у різних типах насаджень, відрізняються довговічністю, ефективними способами поширення плодів, високою ценотичною активністю. Процесам їх натуралізації сприяє різноманітність специфічних екотопів міст та замських територій [12, 26]. Констатується, що чужорідні деревні види мають великі потенції в реалізації екологічних функцій у міських екосистемах і їх роль за кліматичних змін буде зростати [27, 28]. Але набуваючи статусу інвазійних, вони здатні до успішної конкуренції з місцевими видами, що є небезпечним для природного біорізноманіття і може знижувати екологічний потенціал цілих насаджень [19, 21, 22]. Незважаючи на те що адвентивні рослини флори України, зокрема південного сходу України, досить добре вивчені, про що свідчить ряд публікацій [1, 2, 13, 14, 16, 19], недостатньо розкритою є проблема фізіолого-біохімічних аспектів їх адаптації до екстремальних факторів середовища [7, 12]. Для інвазійних деревних адвентів успішні адаптаційні стратегії можуть не тільки розглядатися з погляду їх потенційної придатності для використання у зелених насадженнях промислових міст, але й свідчити про можливість збільшення їх інвазійності та впливу на екосистеми міст та замських територій.

Відомий цілий ряд спеціалізованих механізмів індукованих рослин за дії певного стресора. Однак останнім часом накопичено численні дані про те, що загальним інтегральним процесом, що характеризує негативну дію стресорів різної природи, є посилення генерації активних форм кисню (АФК) [24, 25]. У відповідь на посилення генерації АФК, як правило, спостерігається активація елементів антиоксидантної захисної системи [31, 34]. Антиоксидантна захисна система клітини рослини – безліч взаємозв'язаних окисно-відновних реакцій, в яких беруть участь антиоксидантні ферменти. За умов впливу ксенобіотиків їх пошкоджуюча дія проявляється у змінах фізіолого-біохімічних реакцій, які є первинними та найчутливішими до факторів навколишнього середовища [24].

Стрес, або загальний адаптаційний синдром, можна розглядати як необхідну ланку неспецифічних реакцій рослинного організму. До неспецифічних належать реакції, які виникають у відповідь на різноманітні подразнення та мають спільні ознаки. Компонентами неспецифічної відповіді на стрес є, зокрема, зміни у білоксинтезуючій системі, фітогормональному балансі, активності ферментів тощо [9, 29, 32].

Механізм виникнення стресу в рослинних організмах полягає в порушенні осмотичного та іонного гомеостазу у клітинах, до якого, як і за дії інших негативних факторів, додається вплив вторинного оксидативного стресу. У клітинах посилюється утворення активних форм кисню – пероксиду водню H_2O_2 та кисню O_2 . Велика кількість АФК, у першу чергу найстійкішого з них – H_2O_2 , що утворюється за дії стресорів, веде до порушення біомакромолекул, мембранних структур тощо [24].

Синхронна дія пероксидази, каталази та деяких інших ферментів, спрямованих на ферментативне розщеплення H_2O_2 , захищає клітинні компартменти від деструктивних змін [8, 15, 18].

Дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів у рослинах, що ростуть поблизу промислових підприємств, торкаються в основному деревних видів. Наприклад, виявлено, що при наближенні до джерела забруднення збільшувався вміст пігментів у листі *Tilia cordata* Mill. [20]. В умовах забруднення в хвої рослин *Larix sukaczewii* Dyl. більш високі концентрації хлорофілів виявилися поблизу промислового центра [11].

Середні значення вмісту фотосинтетичних пігментів у листі *Acer platanoides* L. на техногенно забруднених ділянках виявилися достовірно вищі за аналогічні показники рослин з фонових умов. Відмічене збільшення кількості пігментів в умовах підвищеного вмісту важких металів у ґрунті, очевидно, спрямоване на підтримку необхідного рівня фотосинтезу у рослин при зменшенні площі листа. Проте є дані і про зниження вмісту пігментів у рослин на антропогенно забруднених територіях. Так, у рослин *Tanacetum vulgare* L. поряд із промисловим підприємством вміст зелених пігментів виявився в 2 рази нижчий, ніж у зоні з відсутністю забруднення [24]. Сумарний вміст хлорофілів у хвої *Pinus sylvestris* L., у листі *Solidago lapponica* With. зменшувався при наближенні до забруднювача [25].

Вважається, що зменшення кількості фотосинтезуючих пігментів і уповільнення швидкості фотосинтезу призводять до зниження продуктивності рослин в умовах техногенного забруднення, що характерно для менш стійких видів рослин, а також для сильнозабруднених важкими металами територій [10, 17].

Об'єкти та методи досліджень

З метою підбору деревних рослин, визначення їх потенційної стійкості до антропо-техногенного навантаження проведено дослідження в умовно чистих лісових біогеоценозах прируслової зони р. Самара (Дніпропетровська область, Новомосковський район, околиці с. Андріївка) та штучних насадженнях прибережної зони р. Дніпро в 1500 м від ДТЕК Придніпровська ТЕС (м. Дніпро). Відомо, що саме ТЕС – джерело забруднення атмосферного повітря такими важкими металами, як свинець і кадмій [6].

Дослідження проводили на початку червня. Відбирали листя аборигенних та адвентивних деревних рослин, які зустрічалися на обох пробних площах. Листки відбирали з 5–7 дерев одного вікового стану та формували усереднені зразки, в яких із використанням Specord UV VIS визначали вміст хлорофілу (Chl a та Chl b) [33], а також активність каталази [15] та пероксидаз [3].

Для визначення активності ферментів рослинний матеріал (0,1 г) гомогенізували в 2,5 мл трис-буфера (рН 7,0) з додаванням 0,1%-ного полівінілпіролідону, екстракт центрифугували 15 хв за 10 000 об./хв. Активність каталази визначали за вмістом у реакційній суміші перекису водню, який утворює з молібдатом амонію комплекс, що має поглинання за 410 нм. Активність пероксидаз визначали за здатністю окислювати бензидин (бензидин-пероксидаза, ВРОД) або гваякол (гваякол-пероксидаза, ГРОД) для відновлення пероксиду водню. Активність ВРОД визначали за зміною оптичної густини реакційної суміші за 490 нм, активність ГРОД – за 470 нм і розраховували на 1 г сирого рослинного матеріалу. Всі виміри проведено у триразовому повторенні,

результати досліджень опрацьовано статистичними методами з використанням кореляційного аналізу за допомогою пакету програм Statistica 6.0.

Результати та їх обговорення

Залежно від умов зростання рослин функціонування антиоксидантних ферментів у листках деревних порід зазнало різноспрямованих змін (табл. 1). Активність бензидин-пероксидази у листках *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Morus alba* в районі дії ТЕС істотно не відрізнялась від контрольного; у листках *Ulmus laevis*, *Acer platanoides*, *Acer negundo* була на 22,0, 58,6 та 41,8 % відповідно більшою.

Таблиця 1

Мінливість антиоксидантних ферментів у листках аборигенних та адвентивних дерев у районі дії Придніпровської ТЕС ($\bar{x} \pm SD$)

Деревні види	Активність GPOD, мМ гваяколу/хв.·г	Активність ВРОD, опт. од./с·г	Активність САТ, мкМ H ₂ O ₂ / хв.·г
Умовно чиста територія			
<i>Robinia pseudoacacia</i> L., Робінія псевдоакація	95,31 ± 2,65	6,95 ± 1,31	39,21 ± 4,87
<i>Ulmus pumila</i> L. В'яз низький	82,85 ± 1,52	6,00 ± 0,85	23,49 ± 1,06
<i>Ulmus laevis</i> L. В'яз гладенький	91,94 ± 2,70	7,02 ± 0,61	33,75 ± 0,85
<i>Acer negundo</i> L. Клен ясенелистий	89,52 ± 1,62	6,98 ± 0,27	33,84 ± 1,65
<i>Acer platanoides</i> L. Клен гостролистий	96,61 ± 7,20	9,99 ± 0,92	234,43 ± 2,54
<i>Ulmus minor</i> L. В'яз малий	111,65 ± 5,72	3,61 ± 0,37	223,48 ± 9,43
<i>Morus alba</i> L. Шовковиця біла	95,73 ± 1,55	7,02 ± 0,38	142,25 ± 1,07
Територія під впливом Придніпровської ТЕС			
<i>Robinia pseudoacacia</i> L. Робінія псевдоакація)	96,73 ± 4,35	6,55 ± 0,19*	130,26 ± 7,45
<i>Ulmus pumila</i> L. В'яз низький	89,45 ± 5,52	6,06 ± 0,77*	127,54 ± 9,74*
<i>Ulmus laevis</i> L. В'яз гладенький	91,94 ± 2,85	15,95 ± 0,64	211,87 ± 0,96
<i>Acer negundo</i> L. Клен ясенелистий	86,35 ± 1,79	16,68 ± 0,75	221,78 ± 1,54
<i>Acer platanoides</i> L. Клен гостролистий	154,4 ± 2,70	15,05 ± 0,26	339,87 ± 7,85
<i>Ulmus minor</i> L. В'яз малий	122,85 ± 15,5	4,62 ± 0,25	126,21 ± 5,86
<i>Morus alba</i> L. Шовковиця біла	115,8 ± 6,73	8,22 ± 0,71	139,85 ± 1,03*

* $t_{\text{досл.}}/t_{\text{табл.}} \leq 1$ різниця статистичних параметрів контролю та дослідження не достовірна.

Активність гваякол-пероксидази була на 13–14 % більшою тільки у листках *M. alba* і *A. platanoides*. Стосовно каталази, то збільшення її активності у 1,5–6,3 разу спостерігали в листках *R. pseudoacacia*, *A. platanoides*, *U. pumila*, *A. negundo*; зменшення активності – в 1,8 разу – у листках *U. minor* (табл. 1).

Такі види, як *A. platanoides*, *R. pseudoacacia*, *U. pumila*, *A. Negundo*, мають високі показники активності каталази в районі дії ПТЕС, що, як показують дослідження, є характерною особливістю реакції цих видів на несприятливі умови.

Аналізуючи активність ферментів каталази та пероксидази як основних ланок антиоксидантної системи, можна визначити загальні закономірності реакції рослин на оксидативний стрес факторів природного середовища та техногенного характеру, враховуючи особливості екологічної стійкості видів. Висока активність пероксидази, яка доповнюється більшою активністю каталази, свідчить також про відносну стійкість цих видів, яка підтримується механізмами антиоксидантного захисту. До цих видів можуть бути віднесені *A. platanoides*, *U. laevis*, *A. negundo*, *U. pumila*. Низькі значення ферментативної активності свідчать про відсутність або незначний стресовий стан рослин за несприятливих техногенних факторів та, відповідно, стійкість рослин.

Відомо, що одним із найчутливіших до зміни екологічних умов у рослин є фотосинтез, зокрема, всі шляхи біосинтезу фотосинтезуючих пігментів (як хлорофілу *a*, так і хлорофілу *b*, функція якого є допоміжною та захисною). Одна з характеристик нормального протікання фотосинтетичних процесів у вищих рослин і їх стійкості до несприятливих факторів – відношення кількості хлорофілу *a* до хлорофілу *b*.

Цей показник на території впливу ТЕС значно збільшувався у *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*; *Acer platanoides*; зменшувався у адвентивних видів *Morus alba*, *Ulmus pumila*, *Acer negundo* порівняно з контролем (умовно чиста територія) (рис. 1, 2).

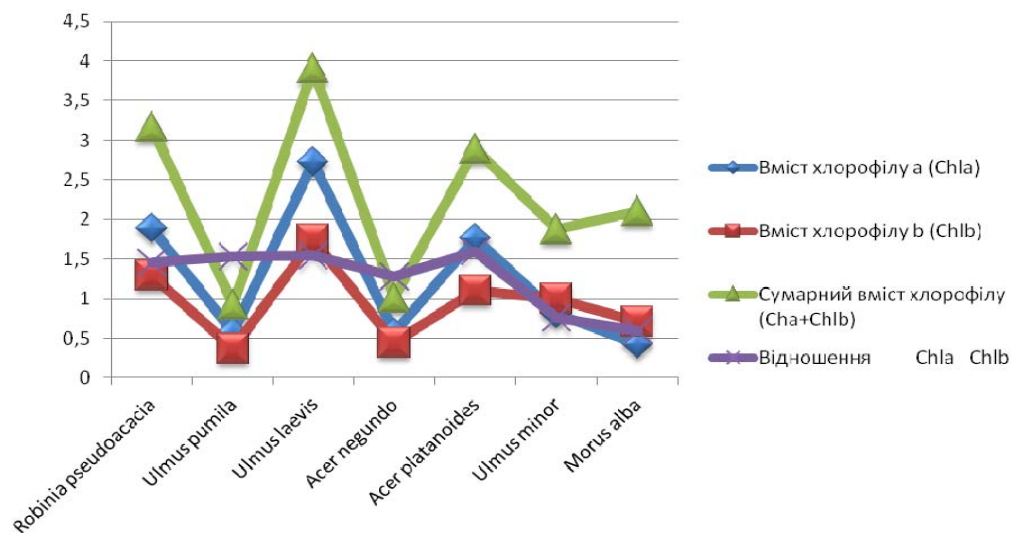


Рис. 1. Вплив різних екологічних умов на вміст хлорофілу (мг/г сирої маси) у листках деревних порід (умовно чиста територія)

Отримані результати узгоджуються з даними про різноспрямовані зміни співвідношення $Chla/Chlb$ у рослин за впливу несприятливих факторів: толерантні види посилювали фотосинтетичну продуктивність і захист фотосистеми II, тоді як пристосовані до умов більшого зволоження рослини мали менший вміст хлорофілу і менше співвідношення $Chla/Chlb$.

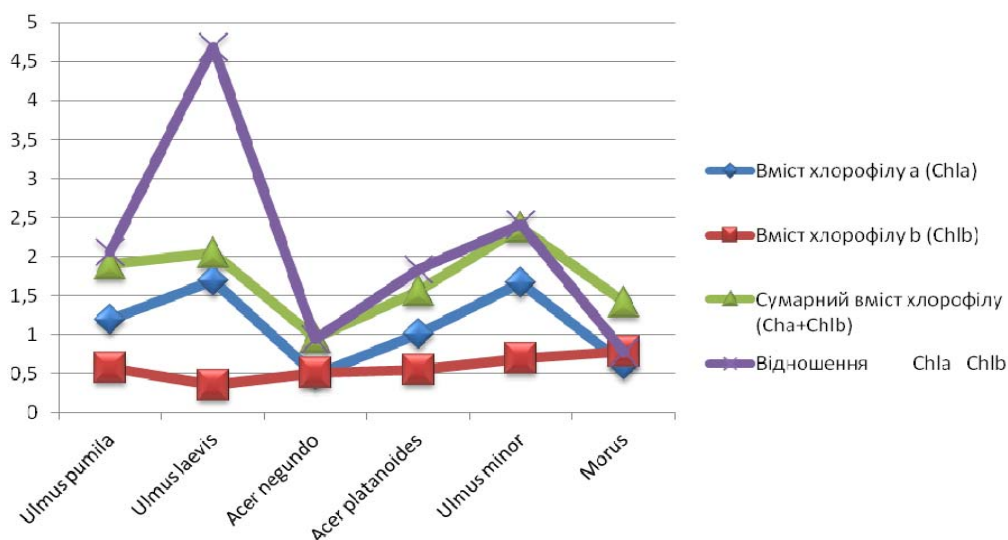


Рис. 2. Вплив різних екологічних умов на вміст хлорофілу (мг/г сирої маси) у листках деревних порід (територія поблизу Придніпровської ТЕС)

Існує гіпотеза, що високі значення індексу відносної площі транспірації указує на адаптивність чужорідних видів і може (разом з іншими ознаками) бути використане для прогнозування подальшого поширення їх вторинного ареалу і підвищення шансів бути інвазійним видом [4].

Визначення маси листків деревних рослин, відібраних в умовно чистій території і за впливу викидів Придніпровської ТЕС, показало, що у адвентивних видів *Acer negundo*, *Ulmus pumila* маса листків була в 1,6–4 рази більшою у другому варіанті. У *Ulmus minor*, *Ulmus laevis*, навпаки, маса листя більша у рослин з умовно чистої території. В інших рослин цей показник відрізнявся несуттєво (табл. 2).

Таблиця 2

Маса листків деревних рослин у різних за антропогенним навантаженням місцях

Деревні породи	Маса 1 листа дерев умовно чистої зони, г	Маса 1 листа дерев під впливом викидів Придніпровської ТЕС, г
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,03*
<i>Ulmus pumila</i> L.	0,25 ± 0,02	0,44 ± 0,09
<i>Ulmus laevis</i> L.	0,52 ± 0,02	0,43 ± 0,02
<i>Acer negundo</i> L.	0,21 ± 0,32	0,89 ± 0,01
<i>Acer platanoides</i> L.	1,10 ± 0,04	1,59 ± 0,61
<i>Ulmus minor</i> L.	0,52 ± 0,02	0,23 ± 0,02

* $t_{\text{досл.}}/t_{\text{табл.}} \leq 1$ різниця статистичних параметрів контролю та дослідження несуттєва.

Отже, можна вважати, що збільшення маси листків співвідноситься із збільшенням площі транспірації і може свідчити про адаптивність чужорідних видів дерев.

Висновки

Вивчення адаптивних змін у листках аборигенних та адвентивних деревних видів дозволило визначити загальні закономірності їх реакції на стресори антропо-техногенного та природного походження.

Дослідження активності ферментів антиоксидантного захисту в листках аборигенних і адвентивних видів дерев показало, що в зоні впливу Придніпровської ТЕС спостерігалось збільшення активності гваякол-пероксидази у *Acer platanoides*, *Ulmus minor*, *Morus alba*; бензидин-пероксидази у *Acer negundo*, *Ulmus laevis*, *Acer platanoides*; каталази у *Acer platanoides*, *Acer negundo*, *Ulmus laevis*, *Ulmus pumila* та *Robinia pseudoacacia*. Висока активність пероксидаз, яка доповнюється більшою активністю каталази, свідчить про відносну стійкість цих видів до антропо-техногенного навантаження, яка підтримується механізмами антиоксидантного захисту.

Сумарний вміст хлорофілів (Chla + Chlb) у листках аборигенних видів *Ulmus laevis*, *Acer platanoides* та адвентивного *Morus alba* зменшувався у зоні впливу ТЕС відносно умовно чистих територій. Відношення хлорофілу *a* до хлорофілу *b* на забруднених територіях значно збільшувалося у листках місцевих видів *Ulmus laevis*, *Ulmus minor*, *Acer platanoides* порівняно з контролем. У інвазійних видів *Acer negundo*, *Ulmus pumila* цей показник суттєво не змінювався.

У цих адвентивних рослин спостерігалось збільшення маси листків, що може свідчити про пристосованість даних видів до антропогенно-змінених умов зростання.

Бібліографічні посилання

1. **Барановский Б.А.** Растительность руслового равнинного водохранилища. Д.: Изд-во ДНУ, 2000. 172 с.
2. **Бурда Р.И.** Антропогенная трансформация флоры. К.: Наук. думка, 1991. 168 с.
3. **Вінниченко О.М., Лихолат Ю.В., Більчук В.С., Россихіна-Галича Г.С., Шупранова Л.В.** Спецпрактикум з фізіології та біохімії рослин. Дніпропетровськ: ФОП Середняк Т.К., 2014. 224 с.
4. **Виноградова Ю.К., Григорьева О.В., Вергун Е.Н.** Строение устьичного аппарата видов рода *Symphotrichum* Nees как дополнительный показатель их инвазивности // Российский журнал биологических инвазий. 2020. № 4. С. 34–43.
5. **Геник Я.В., Дудин Р.Б., Дида А.П., Марутяк С.Б.** Трансформаційні процеси в лісопаркових і паркових насадженнях урбанізованих екосистем Заходу України // Науковий вісник ЛГУ України. Львів, 2017. Вип. 27 (10). С. 9–15.
6. **Жданов В.В., Єрмаченко О.Б., Котов В.С.** Забруднення об'єктів середовища викидами підприємства теплоенергетики як фактор впливу на еколого-гігієнічну ситуацію // Питання експер. та клініч. медицини. Донецьк: ДонНМУ, 2008. Вип. 12. Т. 1. С. 68–71.
7. **Зайцева І.О., Долгова Л.Г.** Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин у Степовому Придніпров'ї. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2010. 388 с.

8. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. Под ред. Е.Л. Кордюм, К.М. Сытник, В.В. Бараненко и др. К.: Наук. думка, 2003. 273 с.
9. *Колупаев Ю.Е.* Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции // Вісник Харків. націон. аграрн. ун-ту. Серія Біологія. 2007. Вип. 3 (12). С. 6–26.
10. *Костюк В.И., Мельник Н.А., Шмакова Н.Ю.* Состояние ассимилирующих органов растений в условиях техногенного загрязнения. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2009. 82 с.
11. *Кулагин А.А., Юсупов А.А.* О содержании фотосинтетических пигментов в хвое лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) при развитии в условиях аэротехногенного полиметаллического загрязнения окружающей среды // Изв. Самарского НЦ РАН, 2008. Т. 10, № 2. С. 617–620.
12. *Лихолат Ю.В., Хромых Н.О., Шупранова Л.В.* Закономірності адаптації аборигенних та інтродукованих видів деревних рослин до мінливих умов степового Придніпров'я. Суми: ФОП Цьома С.П., 2018. 186 с.
13. *Мосякін С.Л.* Доповнення та уточнення до адвентивної флори м. Києва // Укр. ботан. журн., 1991. Т. 48, № 2. С. 54–57.
14. *Останко В.М., Ерёмченко Ю.А.* Конспект адвентивной фракции дендрофлоры юго-востока Украины // Промышленная ботаника, 2010. Вып. 10. С. 43–48.
15. *Пацула О., Демків О.* Каталаза та адаптація рослин до токсичної дії кадмію та свинцю // Вісник Львівського університету. Серія біологічна, 2003. Вип. 34. С. 225–230.
16. *Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В.* Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, 2002. 28 с.
17. *Щербаченко О.І.* Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища. Стійкість і адаптація рослин до їх впливу // Наукові записки Державного природознавчого музею, 2014. Вип. 30. С. 157–182.
18. *Allen R.D.* Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants // Plant Physiol., 1995. № 107. P. 1049–1054.
19. [*Baranovski B., Khromykh N., Karmyzova L., Ivanko I., Lykholat Y.* Analysis of the alien flora of Dnipropetrovsk Province // Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University. 2016. 6 \(3\). С. 419–429.](#)
20. *Bukharina I. L., Kuzmin P.A., Sharifullina A.M.* Analysis of physiological and biochemical characteristics of *Tilia cordata* Mill. in conditions of technogenic pollution (on example of the city Naberezhnye Chelny // Modern scientific research and their practical application, 2013. V.21. С. 31–37.
21. [*Burda R., Koniakin S.* The non-native woody species of the flora of Ukraine: Introduction, naturalization and invasion // Biosystems Diversity. 2019. Vol. 27. С. 276–290.](#)
22. [*Colding J., Gren Å., Barthel S.* The Incremental Demise of Urban Green Spaces. Land, 2020. 9\(5\):162.](#)
23. [*Ennos R., Cottrell J, Hall J, O'Brien D.* Is the introduction of novel exotic forest tree species a rational response to rapid environmental change. A British perspective // Forest Ecology and Management. 2019. Jan 15. С. 718–728.](#)

24. [Finkel T., Foyer C., Harbinson J. Oxidants, oxidative stress and the biology of aging // Nature, 2000. V. 408. P. 239–247.](#)
25. [Gechev T.S., Van Breusegem F., Stone J.M., Denev I., Laloi C. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death // Bioessays, 2006. № 28\(11\). P. 91–101.](#)
26. [Hill M.O., Roy D.B., Thompson K. Hemeroby, urbanity and ruderality: Bioindicators of disturbance and human // Journal of Applied Ecology, 2002. № 39. P. 708–720.](#)
27. [Klisz M., Puchalka R., Netsvetov M. Variability in climate-growth reaction of Robinia pseudoacacia in Eastern Europe indicates potential for acclimatisation to future climate // Forest Ecology and Management. 2021. Vol. 492. P. 119–134.](#)
28. [Martin A. Schlaepfer, Benjamin P. Guinaudeau, Pascal Martin, Nicolas Wyler. Quantifying the contributions of native and non-native trees to a city's biodiversity and ecosystem services // Urban Forestry & Urban Greening, 2020. Vol. 56. P. 126132.](#)
29. [Miura K., Tada Y. Regulation of water, salinity and cold stress responses by salicylic acid // Frontiers in Plant Science, 2014. P. 5–12.](#)
30. [Pleshkanovska A. The problems of forming a system of green areas as an ecological framework of a large city \(on the example of Kyiv\). E3S Web Conf., 280 \(2021\) 04012.](#)
31. [Shu S., Yuan L.Y., Guo S.R., Sun J., Yuan Y.H. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in Cucumis sativus L. under salt stress // Plant Physiol. Biochem., 2013. V. 63. P. 209–216.](#)
32. [Taran N., Okanenko A., Musienko N. Sulpholipid reflects plant resistance to stress-factor action // Biochem. Soc. Trans., 2000. Vol. 28, № 6. P. 924–926.](#)
33. [Wintermans J.F., De G.M., Motts A. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll a and b and their phaeophytins in ethanol // Biochimica et Biophysica Acta \(BBA\), 1965. 109\(2\). P. 448–453.](#)
34. [Zhu J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants // Annual review of plant biology, 2002. 53. P. 247–273.](#)

Надійшла до редколегії 04.11.2021 р.