

10. **Зайцева И. А.** Скорость водоотдачи как критерий засухоустойчивости растений-интродуцентов. Материали міжнар. наук. конф. «Алелопатія та сучасна біологія». Київ. 2006. С. 223–227.

11. **Зайцева І. О.** Динаміка водообмінних процесів роду *Acer* L. у зв'язку з їх посухостійкістю. *Вісник ДНУ. Серія "Біологія. Екологія"*. 2004. Вип. 12. № 1. С. 54–62.

12. **Косаківська І. В.** Роль білків та фітогормонів у загальній стратегії адаптації рослин до стресів. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2003. Т.35. № 6. С. 517–521.

Надійшла до редколегії 11.10.2017 р.

УДК 581.1

Т. В. Легостаєва, К. О. Воляник

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ДИНАМІКА АКТИВНОСТІ ПЕРОКСИДАЗИ У ЛИСТКАХ *AILANTHUS ALTISSIMA* ЗА АЕРОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

З'ясовано зміну активності антиоксидантного ферменту пероксидази у листках рослин *Ailanthus altissima* Swingle, які зростають в умовах урбоценозу м. Дніпро. Встановлено, що адаптація деревної породи *Ailanthus altissima* Swingle до дії забруднювачів урбоценозів відбувається за рахунок активації антиоксидантного ферменту пероксидази. Зазначено, що показник активності пероксидази можна з великим ступенем достовірності використовувати для оцінки стану деревних рослин у стресових умовах і їх стійкості до аеротехногенного забруднення.

Ключові слова: *Ailanthus altissima* Swingle, вегетативні органи, аеротехногенне забруднення, антиоксидантні ферменти, пероксидаза.

Т. В. Легостаєва, К. А. Воляник

Днепроvский национальный университет имени Олеся Гончара

ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗЫ В ЛИСТЬЯХ *AILANTHUS ALTISSIMA* ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Выяснено изменение активности антиоксидантного фермента пероксидазы в листьях растений *Ailanthus altissima* Swingle, которые растут в условиях урбоценоза г. Днепр. Установлено, что адаптация древесной породы *Ailanthus altissima* Swingle к действию загрязнителей урбоценозов происходит за счет активации антиоксидантного фермента пероксидазы. Отмечено, что показатель активности пероксидазы можно с большой степенью достоверности использовать для оценки состояния древесных растений в стрессовых условиях и их стойкости к аеротехногенному загрязнению.

Ключевые слова: *Ailanthus altissima* Swingle, вегетативные органы, аеротехногенное загрязнение, антиоксидантные ферменты, пероксидаза.

T. V. Legostayeva, K. O. Volyanyk

Oles' Honchar Dnipro National University

DYNAMICS OF ACTIVITY PEROXIDASE IN LEAVES OF *AILANTHUS ALTISSIMA* AT AEROTECHNOGENIC CONTAMINATION

The change in the activity of the antioxidant enzyme peroxidase in the leaves of the plants *Ailanthus altissima* Swingle, growing in the conditions of the Dnipro urbocenosis, is revealed. It is established that the adaptation of the tree species *Ailanthus altissima* Swingle to the action of pollutants urbocenoses is due to the activation of the antioxidant enzyme

peroxidase. In leaves of the studied species *Ailanthus altissima* Swingle with chronic action aerotechnogenic pollution that triggers oxidative stress revealed the activation of protective oxidoreductases (peroxidase) and changes in the seasonal dynamics of its activity in the phenological stages that had an adaptive orientation. Thus, one of the mechanisms of plants *Ailanthus altissima* adaptation to changing tension factors of the urban environment is a change in the activity of some enzymatic components of antioxidant defense at all stages of development. With increasing anthropogenic loading of the environment there was an increase in the activity of the enzyme peroxidase. The nature of the changes in the activity of the studied enzyme detoxifier of reactive oxygen species in chronic action air pollutants allowed us to determine the degree of adaptive properties of the aylant higher, as high, and allowed to identify areas with high pollution (B. Khmelnytsky Street). It makes a certain contribution to the deciphering of the mechanisms of plant environmental sustainability in urbofitocenoses and enables the assessment of complex influence of various factors and to predict the consequences of such influence. In the vegetative organs of *Ailanthus altissima*, which grows in conditions of chronic air pollutants revealed high levels (20-30% higher than in control) activity of peroxidase in May. In the transition from the phase of active growth (May) to the phase of secondary growth (July) dynamics of activity of peroxidase in leaves of *Ailanthus altissima* from different studied areas was directed towards the intensification. September (stunting) characterized by a lack of significant changes of enzyme activity in the vegetative organs of the aylant higher with control and experimental area.

It is noted that the indicator of the activity of peroxidase can be used with a high degree of reliability to assess the condition of tree plants under stress conditions and their resistance to aerotechnogenous contamination.

Keywords: *Ailanthus altissima* Swingle, vegetative organs, aerotechnogenic contamination, antioxidant enzymes, peroxidase.

Важливу роль в екологічній оптимізації міського середовища і утворенні сприятливого мікроклімату виконують зелені насадження. Вони очищують повітряний басейн міста від пилу, шкідливих газів, диму, кіптяви; як діючі компоненти середовища вони можуть виступати в ролі індикаторів, що характеризують стан оточуючого середовища. В оцінці ступеня забруднення урбосередовища не можна розраховувати лише на фізико-хімічні показники атмосферного повітря й ґрунту, оскільки ці дані не дають повного уявлення про стан оточуючого середовища. Необхідно використовувати принципи біомоніторингу, які припускають проведення комплексних досліджень з застосуванням, у якості тест-об'єктів, живих організмів (у наших дослідженнях рослин), в яких простежується чітка закономірність змін певних показників залежно від інтенсивності техногенного навантаження.

В умовах урбанізованого середовища трансформації зазнають у першу чергу біохімічні властивості, фізіологічні і, як наслідок, морфоструктура рослин. Ступінь ураженості рослини залежить від двох факторів – концентрації токсичної речовини і тривалості її дії [5].

Дані літератури свідчать, що за дії стресових чинників активація процесів пероксидного окиснення ліпідів є одним з фундаментальних механізмів порушення цілісності мембран і багатьох ключових систем клітини, одним із провідних механізмів клітинної патології [3; 4]. Тому підтримка процесів пероксидного окиснення ліпідів на необхідному і одночасно безпечному для клітин рівні – життєво необхідна умова їх нормального росту і функціонування.

У рослин існує добре розвинена багаторівнева система захисту від окисної деструкції – антиоксидантна система, до складу якої входять низькомолекулярні і ферментативні компоненти. Слід зазначити, що усі компоненти антиоксидантної системи працюють здебільшого комплексно, і, як правило, зміна концентрації або активностей одних антиоксидантів призводить до певних змін інших.

Антиоксиданти протистоять пошкодуючому ефекту вільних радикалів й активних форм кисню, зменшуючи інтенсивність вільнорадикального окиснення і тим самим нейтралізуючи вільні радикали шляхом обміну свого атому водню (в більшості випадків) на кисень вільних радикалів. У виведенні вільних радикалів і радикальних форм антиоксидантів головну роль відіграють системи природної детоксикації. Захист від ушкодуючої дії активних форм кисню, вільних радикалів відбувається на всіх рівнях організації: від клітинних мембран до організму в цілому [1; 13].

Серед ферментів антиоксидантної системи особлива роль належить пероксидазі, яка здатна реагувати на широкий спектр факторів, що призводять до порушень гомеостазу активних форм кисню у рослин. За впливу несприятливих чинників середовища у цього ферменту змінюється активність. Причому підвищення активності відбувається паралельно зі збільшенням ступеня техногенного навантаження на рослину [8].

Окремі аспекти процесів росту та розвитку деревних та трав'янистих рослин в умовах урбанізованих міст досліджено багатьма вченими [2; 9; 11; 12], але особливості участі антиоксидантних ферментів у процесах формування захисних реакцій деревних порід в умовах дії багатокомпонентної системи забруднень атмосфери вивчено недостатньо. Зокрема, Г. С. Россихіною-Галичою [10] досліджено активність пероксидази насіння *A. platanoides L.* та *A. pseudoplatanus L.* за умов промислового міста Дніпро. Зафіксовано зростання активності пероксидази відповідно в 1,4–1,6 раза та 2,2–2,8 раза відносно контролю. Більш високі значення пероксидазної активності насіння клену несправжньою платанового свідчать про активне включення механізмів адаптогенезу клітин цього виду за впливу інгредієнтів викидів автотранспорту. В. М. Ловинська із співавторами [6] відмічає, що за впливу техногенного забруднення середовища на антиоксидантну систему насіння *A. platanoides* та *R. pseudoacacia* відбувається зростання пероксидазної активності на 48–87 %.

Бракує наукових даних для того щоб скласти повне уявлення про функціональний стан деревних рослин, які зростають в умовах хронічного забруднення середовища аерополітантами.

У зв'язку з цим метою роботи було дослідження сезонної динаміки активності пероксидази в листках рослин айланту найвищого в умовах аеротехногенного забруднення.

Об'єкти та методи їх дослідження. Об'єктами досліджень були листки *Ailanthus altissima* Swingle (айланту найвищого), особини якого входять до видового складу дерев міста Дніпра.

Відбір рослинного матеріалу здійснювали у травні (активний ріст), липні (вторинний ріст), вересні (зупинка росту) з території Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та узбіч автомагістралей пр. Гагаріна, пр. Поля, вул. Б. Хмельницького.

Активність пероксидази оцінювали за загальноприйнятою методикою [7]. Дослідження проведено у триразовій повторності, результати опрацьовано за допомогою пакета Microsoft Statistica 6.0. Розбіжності між вибірками вважали значущими при $p \leq 0,05$.

Результати дослідження. Враховуючи важливість пероксидази в механізмі адаптації рослин до різних видів стресів, ми вивчали сезонну динаміку активності її у представника роду *Ailanthus* айланту найвищого (*Ailanthus altissima* Swingle) за комплексної дії аерополітантів.

Як видно з табл. 1, активність пероксидази листків контрольних дерев айланту найвищого у травні складала 21,20 ум.од./г наважки хв. На території пр. Гагаріна цей показник становив 25,2 ум.од./г наважки хв. (в 1,2 раза вище за контроль), пр. Поля – 27,2 ум.од./г наважки хв. (в 1,3 раза) та вул. Б. Хмельницького – 28,2 ум.од./г наважки хв. (в 1,3 раза вище за контроль).

Сезонна динаміка активності пероксидази у вегетативних органах рослин
Ailanthus altissima

Варіант	Фенофази					
	активний ріст (травень)		вторинний ріст (липень)		зупинка росту (вересень)	
	$X \pm m_x$	$p < 0,05$	$X \pm m_x$	$p < 0,05$	$X \pm m_x$	$p < 0,05$
Ботанічний сад ДНУ (контроль)	21,2±0,03	–	32,7±0,02	–	34,8±0,07	–
пр. Гагаріна	25,2±0,02	0,035	35,6±0,09	0,032	37,1±0,03	0,103
пр. Поля	27,2±0,01	0,019	36,7±0,09	0,024	37,9±0,03	0,07
вул. Б. Хмельницького	28,2±0,03	0,013	37,6±0,09	0,011	39,3±0,08	0,15

При переході від фази активного росту (травень) до фази вторинного росту (липень) динаміка активності пероксидази у листках *Ailanthus altissima* з різних досліджуваних районів була спрямована в бік інтенсифікації. Так, у листках дерев з Ботанічного саду стимуляція цього показника становила 54 %, а з проспектів з інтенсивним техногенним навантаженням від 35 до 41 %. При порівнянні контролю і досліду зафіксовано незначну стимуляцію пероксидазної активності на 8–15 % у листках дерев айланту, які зростають вздовж автомагістралей міста (рис. 1).

Вступ рослин *Ailanthus altissima* у фазу зупинки росту (вересень) відзначено деяким збільшенням активності ензиму відносно попередньої фази розвитку в середньому в 1,1 раза. У вегетативних органах айланту найвищого з моніторингових ділянок достовірних змін активності пероксидази відносно контролю зареєстровано не було (табл. 1, рис. 1).

Отже, у досліджуваних рослин айланту найвищого незалежно від району зростання протягом фенофаз розвитку відбувається збільшення пероксидазної активності. Хронічний антропогенний вплив поллютантів не призводить до пригнічення ферментативної активності порівняно з контрольними зразками. Найвищий рівень активності пероксидази зареєстровано у вересні. Встановлені факти дозволяють припустити, що пероксидаза в листках *Ailanthus altissima* бере активну участь у дезактивації H_2O_2 і відповіді на оксидативний стрес.

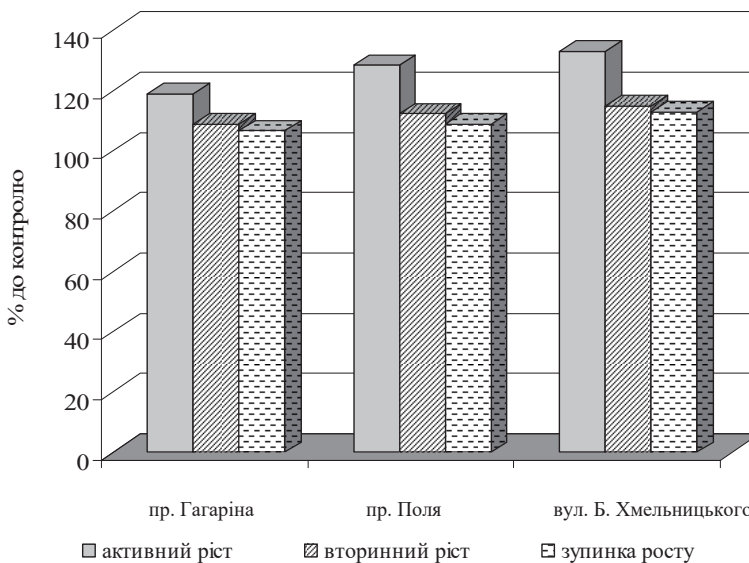


Рис. 1. Вплив хронічної дії аерополлютантів на активність пероксидази у листках *Ailanthus altissima*

Таким чином, одним з механізмів адаптації рослин *Ailanthus altissima* до мінливої напруженості факторів міського середовища є зміна активності ряду ферментативних компонентів антиоксидантного захисту на всіх етапах розвитку. При посиленні антропогенного навантаження оточуючого середовища відбувалось посилення активності ферменту пероксидази. Отже, пероксидазна система дерев *Ailanthus altissima* бере участь у регуляції метаболізму у фенофазах розвитку і відіграє важливу роль в їх швидкому пристосуванні до мінливих умов середовища.

Характер змін активності досліджуваного ферменту-детоксикатора активних форм кисню за хронічної дії аерополутантів дозволив визначити ступінь адаптаційних властивостей айланту найвищого як високий і дозволив виділити райони з найвищим рівнем забруднення (вул. Б. Хмельницького). Це, у свою чергу, робить певний внесок у розшифровку механізмів екологічної стійкості рослин в урбофітоценозах і дає можливість оцінки комплексного впливу різних факторів, а також прогнозу наслідків такого впливу.

Висновки.

1. У листках досліджуваного виду *Ailanthus altissima* Swingle за хронічної дії аеротехногенного забруднення, який ініціює окиснювальний стрес, виявлено активацію захисних оксидоредуктаз (пероксидази) та зміни сезонної динаміки її активності у фенофазах, що мали адаптивну спрямованість.

2. У вегетативних органах *Ailanthus altissima*, що зростає в умовах хронічної дії аерополутантів, виявлено високий рівень (на 20–30 % вище, ніж у контролі) активності пероксидази у травні. Вересень (зупинка росту) характеризувався відсутністю достовірних змін активності ферменту у вегетативних органах айланту найвищого з контрольних і дослідних ділянок.

3. Показники активності пероксидази можна з великим ступенем достовірності використовувати для оцінки стану деревних рослин у стресових умовах і їх стійкості до аеротехногенного забруднення.

Бібліографічні посилання

1. *Андреева В. А.* Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. Москва: Наука, 1988. 128 с.
2. *Більчук В. С., Россихіна-Галича Г. С.* Зміни активності ферментів антиоксидантного захисту в вегетативних органах *Populus nigra* L. в умовах аеротехногенного забруднення середовища. *Вісник Львів. ун-ту. Серія Біологічна*. 2014. Вип. 64. С. 293–299.
3. *Кордюм Е. Л. и др.* Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях. Киев. 2003. 270 с.
4. *Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В.* Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352с.
5. *Курбатова А. С., Баюкина В. Н., Касимов Н. С.* Экология города. Москва: Научный мир, 2004. 624 с.
6. *Ловинська В. М., Россихіна Г. С.* Вплив *Rhytisma acerinum* на прооксидантно-антиоксидантну систему насіння кленів в умовах промислового міста. *Вісник Львівського ун-ту. Серія Біологічна*. 2012. Вип. 58. С. 280–285.
7. *Методы биохимического исследования растений* / Под ред. А. И. Ермакова. 3-е изд. Ленинград: Агропромиздат, 1987. 430 с.
8. *Половникова М. Г., Воскресенская О. Л.* Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды. *Физиология растений*. 2008. Т. 55. № 5. С. 777–785.
9. *Більчук В. С. та ін.* Роль антиоксидантних ферментів у реакції *Fraxinu excelsior* L. на дію несприятливих факторів середовища. *Вісник Львів. ун-ту. Серія Біологічна*. 2015. Вип. 70. С. 230–236.
10. *Россихіна-Галича Г. С.* Пероксидазна активність насіння представників роду *Acer* L., що зростають в умовах хронічної дії антропогенних агентів. Найновітє постиження на європейска та наука 2012. Матер. з VIII Междунар. науч.-практ. конф. Софія, 2012. С. 6–8.

11. *Россихіна-Галича Г. С.* Прооксидантно-антиоксидантна рівновага насіння *Fraxinus excelsior L.* в умовах міського середовища. *Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна.* 2013. Вип. 61. С. 195–200.

12. *Хромих Н. О. та ін.* Сезонна динаміка антиоксидантних процесів у листках *Acer negundo* за дії поллютантів. *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія. Біологія, екологія.* 2014. № 22 (1). С. 71–76.

13. *Таран Н. Ю., Оканенко О.А., Бацманова Л.М.* Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля. *Физиология и биохимия культурных растений.* 2004. Т. 36. № 1. С. 3–14.

Надійшла до редколегії 30.11.2017

УДК 581.44](477.63)

З. В. Грицай, А. В. Наливайченко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ВПЛИВ ВИКИДІВ ПРИДНІПРОВСЬКОЇ ТЕС м. ДНІПРО НА АНАТОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ СТЕБЛА ОДНОРІЧНОГО ПАГОНА ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ACER

Наведено результати дослідження впливу хронічного забруднення довкілля викидами Придніпровської ТЕС м. Дніпро на анатомічні показники стебла однорічного пагона представників роду *Acer*. У вивчених об'єктів на техногенно забрудненій ділянці встановлено зміни розмірів гістологічних елементів стебла, характер яких має видові відмінності. У *A. pseudoplatanus* за дії токсичних викидів ТЕС виявлено збільшення ширини первинної кори стебла й окремих її складових (корку, коленхіми, корової паренхіми) та підтримання стабільних розмірів вторинної кори, її гістологічних елементів (твердого й м'якого лубу), також деревини, що ми розглядаємо як показники відносної стійкості даного виду в техногенному середовищі. У *A. platanoides* за дії токсикантів встановлено збільшення ширини корку, корової паренхіми й загальної товщини первинної кори, що може забезпечувати певну толерантність рослин за несприятливих умов. Разом з тим у *A. platanoides* у забрудненій зоні виявлено зменшення розмірів коленхіми, твердого лубу, м'якого лубу, що в сукупності може зменшувати механічну міцність стебла, порушувати пересування розчинів органічних речовин по системі спеціалізованих провідних тканин, і, таким чином, підвищувати вразливість рослин даного виду на техногенних територіях. Надано рекомендації щодо залучення досліджених видів р. *Acer* до озеленення промислових зон в умовах Степового Придніпров'я.

Ключові слова: техногенне забруднення; види роду *Acer*; первинна кора; луб; деревина; серцевина.

З. В. Грицай, А. В. Наливайченко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ВЛИЯНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИДНЕПРОВСКОЙ ТЭС г. ДНЕПР НА АНАТОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТЕБЛА ГОДИЧНОГО ПОБЕГА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ACER

Приведены результаты исследования влияния хронического загрязнения окружающей среды выбросами Приднепровской ТЭС г. Днепр на анатомические показатели стебля годичного побега представителей рода *Acer*. У изученных объектов на техногенно загрязненном участке установлены изменения размеров гистологических элементов стебля, характер которых имеет видовые различия. У *A. pseudoplatanus*