

УДК 581.1+581.5

**АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ У ЛИСТКАХ *FRAXINUS EXCELSIOR* L.,
BETULA PENDULA ROTH. ТА *ULMUS LAEVIS* PALL. ЗА УМОВ М. ДНІПРОПЕТРОВСЬК**

Россихіна-Галича Г.С.

Дніпропетровський національний університет імені

Олеся Гончара

Исследовано влияние комплексного влияния аэрополлютантов на активность ключевых антиоксидантных ферментов в листьях *Fraxinus excelsior* L., *Betula pendula* Roth. та *Ulmus laevis* Pall., произрастающих в районах с различной степенью антропогенного загрязнения г. Днепропетровск. Показано, что поллютанты обуславливают повышение активности супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы в фазы активного и вторичного роста с последующим снижением в фазу физиологического покоя. Наиболее устойчивым к условиям существования является *Ulmus laevis* Pall.

Fraxinus excelsior L., *Ulmus laevis* Pall., *Betula pendula* Roth., супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза, аэрополлютанты

ВСТУП

На сьогодні одне з перших місць серед глобальних проблем сучасного м. Дніпропетровська займає питання екології міського середовища. Повітря наповнено пилом, аерозолями, димом, твердими частками і т.д. Для оптимізації міського середовища використовують деревні рослини, основна роль яких полягає в нівелюванні несприятливих для людини факторів техногенного та природного походження [6, 7, 20]. Захисні адаптаційні механізми урбанofлори за рахунок пластичності та мінливості забезпечують не просто виживання організму, а й спрямовані на реалізацію онтогенетичної програми за тривалого впливу забруднюючого фактора [4, 17].

Аналіз літературних джерел показав, що у рослин в умовах техногенного середовища відбуваються порушення феноритмів росту та розвитку, прискорення процесів старіння організмів [2, 5, 11, 12]. У період вегетації відбувається постійне накопичення важких металів у різних органах рослин [27]. Відмічені порушення клітинного поділу в археоспорії і виникнення багатоядерних ценоцитних мікроспороцитів [29], зміни структури хлоропластів [25, 26], зниження антиоксидантного захисту, що сприяє активності пероксидного окислення ліпідів і викликає деградацію пігментного комплексу [25, 30], пригнічення процесу дихання [5, 25] тощо.

Активність антиоксидантних ферментів (АОФ) є найбільш чутливим критерієм до впливу різних чинників. Вони знешкоджують активні форми кисню і забезпечують комплексний захист від них біополімерів [17]. У ряді праць показано, що зміна активності цих ензимів відбувається у відповідь на дію несприятливих факторів середовища, таких як посуха [10], засолення [1], важкі метали [3, 8, 20] і т.д. Однак робіт, що розглядають зміни АОФ в онтогенетичному розвитку рослин в умовах міського середовища, практично немає.

Тому, метою даної роботи було визначення активності ключових окисно-відновних ферментів у листках деревних рослин у ході їх онтогенезу в умовах м. Дніпропетровськ.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами досліджень були листки ясеню звичайного (*Fraxinus excelsior* L.), берези повислої (*Betula pendula* Roth.) та в'язу звичайного (*Ulmus laevis* Pall.), зібрані на моніторингових ділянках біля основних автомагістралей міста Дніпропетровськ: пр. Кірова, вул. Г. Сталінграду, пр. Гагаріна та в ботанічному саду ДНУ (умовний контроль). Для дослідження відбирали листки з середнього ярусу крони дерев в основні фази онтогенезу: активного, вторинного росту та періоду початку фізіологічного спокою. Активність супероксиддисмутази (СОД) визначали фотоелектро-колориметрично за І.А. Переслегіною [15], каталази за кількістю розкладеного перексиду водню титриметрично за Б.П. Плешковим [16], пероксидази за швидкістю реакції окислення бензидину фотоелектроколориметрично за А.Н. Бояркіним [13]. Значення активності усереднювали. Статистичну обробку результатів проводили за допомогою статистичного пакету Microsoft Excel 2000. Різницю між вибірками вважали достовірною при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відомо, що рослини, які зростають на урбанізованих територіях, відчувають на собі постійний вплив техногенного забруднення [17]. За дії поллютантів у них відбувається індукція прояву і розвиток різних компенсаторних механізмів, що сприяє відновленню порушеної рівноваги і спрямовано на підтримку гомеостазу. При цьому активуються різні метаболічні процеси, в яких саму діяльну участь беруть ферменти [18].

Специфічним ферментом, який перешкоджає ушкодуючому впливу супероксиданіон-радикалу кисню на біологічні структури, є супероксиддисмутаза, що перетворює цей радикал на пероксид водню [19]. Установлено, що в умовах м. Дніпропетровська в фазу активного росту активність супероксиддисмутази у листках *Fraxinus excelsior* вища за контроль на 20 %, *Ulmus laevis* – на 86 %, *Betula pendula* – на 75 % (табл. 1).

Динаміка активності СОД при переході від фази активного росту до фази вторинного росту, як у дослідних рослин, так і контрольних, була спрямована в бік підвищення активності. Але в асиміляційних органах *Fraxinus excelsior* з моніторингових точок відмічено інтенсифікацію функціонування даного ферменту на 40 % порівняно з відносним контролем. У фотосинтезуючій тканині *Ulmus laevis* та *Betula pendula* цей показник перевищував контрольний на 70 і 75 % відповідно.

Перехід рослин до фази фізіологічного спокою супроводжувався зниженням активності ферменту у дослідних рослин та збільшенням – у контрольних. Рослини *Fraxinus excelsior* та *Betula pendula* мали достатньо низькі значення СОД порівняно з контролем на 29 і 17 %. У *Ulmus laevis* за хронічної дії аерополутантів у цей період виявлено збільшення активності ферменту на 40 %.

Зниження активності СОД у кінці періоду вегетації у *Fraxinus excelsior* та *Betula pendula*, згідно Е.Л. Кордюм із співавт. [9], пов'язано із втратою рослинних клітин із віком здатності знешкоджувати активні форми кисню. В молодих листках ячменю активність СОД при фотоокисному стресі збільшується, а в старіючих – знижується [28]. Зафіксоване нами зменшення активності СОД у період старіння у *Fraxinus excelsior* та *Betula pendula* може бути обумовлене виснаженням пулу антиоксидантів внаслідок посиленого використання його на гасіння радикалів супероксиду, в той час як адаптивний потенціал *Ulmus laevis* забезпечував ефективний захист клітин від супероксидного аніон радикалу.

У реалізації адаптаційного потенціалу рослин особлива роль відводиться пероксидазі – поліфункціональній ферментативній системі, яка здатна реагувати на широкий спектр факторів, що приводять до порушення гомеостазу в обміні речовин у рослин. За дії несприятливих чинників середовища цей фермент змінює свою активність, причому характер цієї зміни узгоджується зі збільшенням ступеню техногенного навантаження на рослини, що дозволяє припускати їх взаємну обумовленість [14, 18, 22].

Таблиця 1 – Вплив антропогенного забруднення на активність супероксиддисмутази у листках деревних порід, відн.од./г сирої речовини хв.

Вид	Фази онтогенезу		
	активний ріст	вторинний ріст	початок фізіологічного спокою
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	13,21±0,30	18,10±1,02	28,02±1,03
	15,85±0,70*	25,34±1,00*	20,01±1,22*
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	14,02±0,33	18,12±1,22	29,33±1,01
	26,01±0,90*	30,80±1,10*	41,06±1,52*
<i>Betula pendula</i> Roth.	12,57±0,43	16,21±1,02	27,45±1,02
	21,99±0,32*	28,37±0,13*	22,88±0,31*

Примітка: * – $p < 0,05$. У чисельнику – контроль, у знаменнику – дослід

У фазу активного росту активність пероксидази листків *Fraxinus excelsior* перевищувала контроль на 55 %, *Ulmus laevis* – на 66 %, а у *Betula pendula* – на 31 % (табл. 2).

На наступному етапі онтогенезу (вторинний ріст) зафіксовано підвищення даного параметру відносно фази активного росту в усіх рослин. Однак, слід зазначити, що в асиміляційних органах *Fraxinus excelsior* та *Betula pendula* активність пероксидази знижена на 68 та 49 % відносно контрольних рослин. Протилежна тенденція виявлена в листках *Ulmus laevis*, для якого відмічено зростання ферментативної активності на 46 %, що згідно Н.И. Шевякової [24] свідчить про ефективне руйнування H_2O_2 , утворення якої каталізує СОД, клітинами цієї породи [24].

У фазу фізіологічного спокою для рослин *Fraxinus excelsior* відмічено зниження активності пероксидази, а *Ulmus laevis* та *Betula pendula* – збільшення. Досліджуваний показник достовірно зростав на 46 % у листках *Fraxinus excelsior*, на 48 % – у *Ulmus laevis* та на 20 % – у *Betula pendula*. Отримані нами результати свідчать про наявність у рослинних клітинах листків вивчаємих видів достатньої кількості субстрату ферменту – пероксиду водню.

Таблиця 2 – Вплив антропогенного забруднення на активність пероксидази в листках деревних порід, відн.од./г сирої речовини хв.

Вид	Фази онтогенезу		
	активний ріст	вторинний ріст	початок фізіологічного спокою
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	$\frac{0,65 \pm 0,02}{1,01 \pm 0,01^*}$	$\frac{10,34 \pm 0,02}{3,26 \pm 0,03^*}$	$\frac{2,05 \pm 0,03}{3,00 \pm 0,012^*}$
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	$\frac{3,16 \pm 0,03}{5,25 \pm 0,04^*}$	$\frac{8,26 \pm 0,02}{12,09 \pm 0,01^*}$	$\frac{11,72 \pm 0,01}{17,38 \pm 0,52^*}$
<i>Betula pendula</i> Roth.	$\frac{3,54 \pm 0,01}{4,65 \pm 0,02^*}$	$\frac{5,44 \pm 0,02}{2,76 \pm 0,01^*}$	$\frac{7,79 \pm 0,22}{9,24 \pm 0,31^*}$

Примітка: * – $p < 0,05$. У чисельнику – контроль, у знаменнику – дослід

Важлива роль в обміні речовин у процесі адаптації організму до стрес-факторів належить каталазі, яка є одним із самих активних ферментів у рослинах [17, 23]. Було встановлено, що каталаза проявляє неоднакову активність у процесі онтогенезу (табл. 3). Аналіз отриманих даних показав, що активність ферменту у листках усіх досліджуваних порід у фазу активного росту достовірно пригнічена на 72–82 % відносно контролю. Зниження активності каталази згідно О.В. Ситар [21] може бути спричинене як інактивацією ферменту певними токсикантами аеровикидів, пригніченням експресії її гену, так і пригніченням білкового синтезу внаслідок підвищеного генерування активних форм кисню. Це узгоджується з літературними даними, згідно яких більшість рослин має понижену активністю каталази на забруднених ділянках зростання [17].

У фазу вторинного росту у рослин за хронічної дії аерозабруднювачів відбувалось збільшення каталазної активності в листках порівняно з фазою активного росту в 4–5 раз, що вказує на участь даного ферменту в розвитку стійкості рослин до антропогенних навантажень. Підтвердженням цього є дані отримані у фазу фізіологічного спокою: активність ферментів дослідних рослин знаходилась на рівні контрольних.

Слід зазначити, що рослин *Ulmus laevis*, які зростають за антропогенного стресу впродовж онтогенезу мали більші значення активності СОД і пероксидази, порівняно з *Fraxinus excelsior* і *Betula pendula*, оскільки відомо, що стійкі рослинні організми мають більш високі рівні й активності ферментів-антиоксидантів, тобто ефективнішу систему захисту [23]. Це свідчить про те, що рослини *Ulmus laevis* є більш стійкими.

Таблиця 3 – Вплив антропогенного забруднення на активність каталази у листках деревних порід, відн.од./г сирої речовини хв.

Вид	Фази онтогенезу		
	активний ріст	вторинний ріст	початок фізіологічного спокою
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	$\frac{0,69 \pm 0,001}{0,19 \pm 0,002^*}$	$\frac{0,70 \pm 0,002}{0,75 \pm 0,001}$	$\frac{0,68 \pm 0,003}{0,70 \pm 0,022}$
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	$\frac{0,69 \pm 0,003}{0,15 \pm 0,001^*}$	$\frac{0,72 \pm 0,022}{0,74 \pm 0,0001}$	$\frac{0,73 \pm 0,001}{0,73 \pm 0,052}$
<i>Betula pendula</i> Roth.	$\frac{0,68 \pm 0,001}{0,12 \pm 0,003^*}$	$\frac{0,72 \pm 0,002}{0,76 \pm 0,001}$	$\frac{0,71 \pm 0,002}{0,70 \pm 0,031}$

Примітка: * – $p < 0,05$. У чисельнику – контроль, у знаменнику – дослід

Таким чином, виявлено, що одним з механізмів адаптації рослин до факторів міського середовища є зміна активності ферментативних компонентів антиоксидантного захисту на усіх етапах онтогенезу. Показники активності антиоксидантних ферментів можуть бути діагностичними ознаками стійкості рослин до антропогенного стресу урбофітоценозів.

Для отримання більш повної інформації з фізіолого-біохімічної реакції деревних організмів на дію аерополутантів подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення активності неферментативних (глутатіон, аскорбінова кислота) компонентів антиоксидантної системи захисту та змін компонентів електрофоретичних спектрів антиоксидантних ензимів.

ВИСНОВКИ

1. Зростання рослин *Fraxinus excelsior* L., *Betula pendula* Roth. та *Ulmus laevis* Pall. в антропогенному середовищі супроводжувалось змінами активності антиоксидантних ферментів у листках, порівняно з контрольними організмами.

2. Вивчаємі види деревних рослин відрізняються за динамікою змін активності ферментів у листках впродовж вегетації. У цих органах *Ulmus laevis* Pall. за хронічного впливу аерополлютантів зафіксовано інтенсифікацію функціонування активності СОД і каталази. Для *Fraxinus excelsior* L. та *Betula pendula* Roth. властиві коливання активності (пригнічення та стимуляція) цих ензимів.

3. Найбільш стійким за показниками активності оксидоредуктаз є *Ulmus laevis* Pall., що проявляється у високій активності супероксидидсмутази і каталази у листках порівняно з *Fraxinus excelsior* L. та *Betula pendula* Roth. Це, ймовірно, обумовлено особливостями формування адаптивних реакцій досліджуваних рослин.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ахмад П. Влияние солевого стресса на систему антиоксидантной защиты, перекисное окисление липидов, ферменты метаболизма пролина и биохимическую активность у двух генотипов шелковицы / П. Ахмад, К.А. Джалил, С. Шарма // Физиология растений. – 2010. – Т. 57, № 4. – С. 547–555.

2. Беляева Л.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха и состояние древесных растений / Л.В. Беляева // Научные труды Московского лесотехнического института. – 1989. – Вып.222. – С. 36–47.

3. Бессонова В.П. Цитофизиологические эффекты воздействия тяжелых металлов на рост и развитие растений / В.П. Бессонова. – Запорожье: ЗГУ, 1999. – 208 с.

4. Бухарина И.Л. Городские насаждения: экологический аспект / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Большова. – Ижевск: изд-во Удмурдского ун-та, 2012. – 206 с.

5. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.

6. Воскресенская О.Л. Организм и среда: факториальная экология / О.Л. Воскресенская, Е.А. Скочилова. – Йошкар-Ола, 2005. – 175 с.

7. Воскресенский В.С. Экологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. – Автореферат дис...канд. биологических наук. – Казань. – 2011. – 23 с.

8. Гарифзянов А.Р. Исследование антиоксидантной системы древесных растений в условиях промышленного загрязнения. – Автореферат дис...канд. биологических наук. – Пуццино. – 2011. – 23 с.

9. Клеточные механизмы адаптации растений к неблагоприятным воздействиям экологических факторов в естественных условиях / Е.Л. Кордюм, К.М. Сытник, В.В. Бараненко, Н.А. Белявская, Д.А. Климчук, Е.М. Недуха. – К.: Наукова думка, 2003. – 270 с.

10. Климчук Д.А. Состояние воды и интенсивность перекисного окисления липидов в листьях частухи в различных условиях водообеспечения / Д.А. Климчук, Г.М. Мартын, В.В. Бараненко // Доповіді НАН України. – 1998. – № 11. – С. 162–166.

11. Лянгузова И.В. Качество и жизнеспособность семян некоторых травянистых растений в условиях промышленного загрязнения / И.В. Лянгузова // 3 Междунар. конф. «Проблемы промышленных регионов: менеджмент и экология». Тезисы докладов. – Запорожье: изд-во ЗапГУ, 1998. – С. 92–93.

12. Лянгузова И.В. Оценка качества семян некоторых ягодных кустарничков сосновых лесов северной и южной тайги / И.В. Лянгузова, Е.А. Мазня, Е.М. Комалетдинова // Междунар. конф. «Биологическое разнообразие. Интродукция растений». Материалы конференции. – СПб.: Наука, 1999. – С. 358–360.

13. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова, 3-е изд. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

14. Минибаева Ф.В. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе / Ф.В. Минибаева, Л.Х. Гордон // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 459–464.

15. Переслгина И.А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей / И.А. Переслгина // Лабораторное дело. – 1989. – № 11. – С. 20–23.

16. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений / Б.П. Плешков. – М.: Колос, 1968. – 183 с.

17. Половникова М.Г. Активность компонентов антиоксидантной защиты и полифенолоксидазы у газонных растений в онтогенезе в условиях городской среды / М.Г. Половникова, О.Л. Воскресенская // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 777–785.
18. Половникова М.Г. Экофизиология стресса / М.Г. Половникова. – СПб.: Изд-во Марийского ун-та, 2010. – 256 с.
19. Романова Е.В. Ферменты в антиокислительной системе растений: супероксидисмутаза / Е.В. Романова // Агро XXI. – 2008. – № 7–9. – С. 27–30.
20. Сергейчик С.А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды / С.А. Сергейчик. – Минск: Наука и техника, 1984. – 168 с.
21. Ситар О.В. Регулювання адаптивних реакцій проростків сої сіркою за умов свинцевого забруднення / О.В. Ситар // Физиология и биохимия культурных растений. – 2010. – Т. 42, № 5. – С. 443–449.
22. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток растений / И.А. Тарчевский. – М.: Наука, 2002. – 294 с.
23. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений / Т.В. Чиркова. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. – 244 с.
24. Шевякова Н.И. Изменение активности пероксидазной системы в процессе стресс-индуцированного формирования САМ / Н.И. Шевякова, Л.А. Стеценко, А.Б. Мецержков // Физиология растений. – 2002. – Т. 49, № 5. – С. 670–677.
25. Adam G. Influence of diesel fuel on seed germination / G. Adam, H. Duncan // Environ. Pollution. – 2002. – V. 120. – P. 363–370.
26. Batygina T.B. Adaptive abilitive systems of flowening plants / T.B. Batygina // Plants and Enviromental Polation Absir intera. – 2002. – P. 68.
27. Cai G. Retining cytoskeleton in plant reproduction. Toward a biotechnological futurel / G. Cai, M. Cresti // Sex. Plant Reprod. – 1999. – № 1. – P. 67–70.
28. Casano L.M. Sensitivity to superoxide dismutase transcript levels and activities to oxidative stress is lower in mature-senescent than in young barley leaves / L.M. Casano, M. Martin, B. Sabater // Plant Physiol. – 1994. – V. 106. – P. 1033–1039.
29. Glazunova C.P. The variation in pollen of *Tussilago farfara* L. sterility in population effected by negativ factor / C.P. Glazunova // Междунар. конф. «Вид и его продуктивность». Материалы IV совещания. – СПб., 1993. – С. 352–353.
30. Konskinska-Pajak M. Mikrospores and pollen grains in triploid *Chondrilla juncea* L. From unpolluted and polluted areas / M. Konskinska-Pajak // Acta Biol. Cracov. Ser. Bot. – 2002. – V. 42, № 2. – P. 135–140.

ANTIOXIDANT ENZYMES ACTIVITY IN THE *FRAXINUS EXCELSIOR* L. AND *ULMUS LAEVIS* PALL LEAVES IN THE DNEPROPETROVSK CITY CONDITIONS

A.S. Rossykhina-Halycha

The complex anthropogenic influence of aero pollutants on the key antioxidant enzymes activity in *Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus laevis* Pall. leaves growing in regions of Dnipropetrovsk with different anthropogenic pollution levels was studied.

It is shown that the pollutants caused the 20 % increase (in comparison to the control) of superoxide dismutase activity in *Fraxinus excelsior* leaves, 86 % – in *Ulmus laevis*, 75 % – in *Betula pendula* during the vegetative phase. SOD activity dynamics was directed to the activity rising during the transition from vegetative phase to the secondary growth phase in the regions with intensive anthropogenic load both for test plants and control ones. However, 40 % functioning intensification of this enzyme was specified from the monitoring points in *Fraxinus excelsior* assimilation organs, 70 and 75 % intensification – in the *Ulmus laevis* and *Betula pendula* respectively. The physiological rest phase was accompanied by the enzyme activity decrease in test plants and its increase in the control.

The peroxidase plays an important role in the plants adaptation potential. Its activity exceeds the control indices on 31–66 % in the leaves of the studied sorts during the active growth phase. The increase of this parameter in regards to the active growth phase was registered in all plants at the next phase of ontogenesis. However, it should be noted that peroxidase activity is decreased on 68 and 49 % in *Fraxinus excelsior* and *Betula pendula* assimilation organs in comparison to the control plants. The opposite tendency was discovered in *Ulmus laevis* leaves where the 46 % enzyme activity increase was found. This, probably, indicates the effective destruction of H₂O₂ by the cells of this sort. The formation of H₂O₂ catalyzes SOD. The peroxidase activity decrease was noted in *Fraxinus excelsior* plants and its

increase in *Ulmus laevis* and *Betula pendula* plants during the physiological rest phase. The studied factor reasonably increased on 46 % in the ash-tree leaves, 48 % – in the elm-tree leaves and 20 % – in the birch leaves.

It was established that catalase, the important enzyme of plant metabolism, showed different activity during the ontogenesis.

The obtained data analysis showed that the leaves enzyme activity of all studied sorts was reasonably suppressed on 72–82 % compared to the control during active growth phase. The catalase activity decrease could be caused by both enzyme inactivation by aero-emission toxicants, its gene expression depression and protein synthesis depression due to the increased generation of the oxygen active forms. The catalase activity increased in 4–5 times in comparison to the active growth phase occurred in the plants during the secondary growth phase under aero pollutants chronic influence. This indicates the involvement of this enzyme in the development of anthropogenic loads resistance. The data obtained during physiological rest phase proves the following statement: the studied plants activity was at the level of the control.

It should be noted that *Ulmus laevis* plants growing in the anthropogenic stress conditions had the high indices of SOD and peroxidase activity during ontogenesis in comparison to *Fraxinus excelsior* and *Betula pendula* as it is known that resistant plants have higher levels and activities of enzymes-antioxidants, i.e. effective protection system, thus *Ulmus laevis* leaves are more stable.

УДК 581.1+581.5

Росихіна-Галича Г.С. Активність антиоксидантних ферментів у листках *Fraxinus excelsior* L., *Betula pendula* Roth. та *Ulmus laevis* Pall. за умов м. Дніпропетровськ / Г.С. Росихіна-Галича // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2013. – Вип. 18, № 2. – С. 158–170.

Досліджено вплив комплексного антропогенного впливу аерополітантів на активність ключових антиоксидантних ферментів у листках *Fraxinus excelsior* L., *Betula pendula* Roth. та *Ulmus laevis* Pall., що зростають в районах з різним ступенем забруднення м. Дніпропетровськ. Показано, що політанти обумовлюють підвищення активності супероксиддисмутази, каталази та пероксидази в фази активного та вторинного росту з наступним зниженням в фазу фізіологічного спокою. Найбільш стійкими до умов існування є *Ulmus laevis* Pall.

Бібл. 30. Табл. 3.