

3) Закономерности годичной динамики пирогенных процессов лесных биогеоценозов Луганской области выглядят следующим образом (рис. 4).

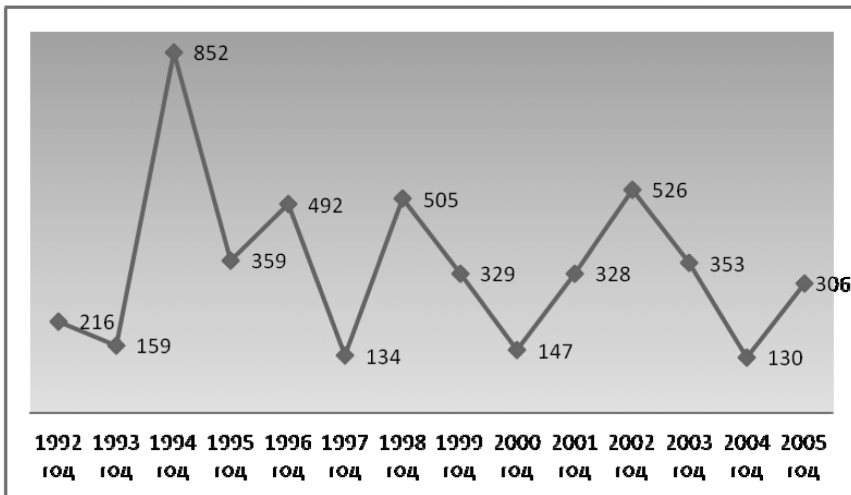


Рис. 4. Динамика пирогенных процессов лесных биогеоценозов Луганской области за 1992–2005 гг.

#### Библиографические ссылки

1. Департамент екології та природних ресурсів Луганської обласної державної адміністрації [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.eco-lugansk.gov.ua/> The Department of Ecology and Natural Resources Lugansk Regional State Administration [Electronic resource]. URL: <http://www.eco-lugansk.gov.ua/>.
2. Луганське обласне управління лісового та мисливського господарства [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.luglis.gov.ua/> Lugansk Regional Department of Forestry and Hunting [Electronic resource]. URL: <http://www.luglis.gov.ua/>.
3. Телицын Г. П. К оценке экологической опасности лесных пожаров / Г. П. Телицын, В. В. Острошенко // Лесное хозяйство, 2008. – №. 6. – С. 44–46.
4. Травлев А. П. Мониторинговые исследования лесных экосистем степной зоны, их охрана и рациональное использование / А. П. Травлев. – Днепропетровск: ДГУ, 1988. – 168 с.
5. Юрченко В. В. Дифференцированная оценка уровня пожарной опасности в сосняках засушливой зоны / В. В. Юрченко, А. С. Манаенков // Лесное хозяйство, 2009. – № 3. – С. 35–37.

Надійшла до редколегії 23.09.2015

УДК 581.1+581.5

Г. С. Россихіна-Галича, Т. В. Легостаєва, Ю. О. Самборська, В. С. Більчук  
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

#### СТАН ФЕРМЕНТИВ СИСТЕМИ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ У РЕПРОДУКТИВНИХ ОРГАНАХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН (НА ПРИКЛАДІ *FRAXINUS EXCELSIOR* L.) В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

У стиглому насінні ясеня звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) з урбофітоценозу м. Дніпропетровська визначено рівні активності супероксиддисмутази (КФ 1.15.1.1), каталази (КФ 1.11.1.6) і пероксидази (КФ 1.11.1.7). Установлено зро-

© Г. С. Россихіна-Галича, Т. В. Легостаєва, Ю. О. Самборська, В. С. Більчук, 2015

стання активності супероксиддисмутази на 52–187 % та зниження активності каталази на 15–40 %, пероксидази на 7–19 % в насінні міського фітоценозу порівняно з умовним контролем. Зроблено висновок, що виявлені зміни активності антиоксидантних ферментів у насінні ясеня в процесі досягання є пристосувальною реакцією рослиного організму до екологічних умов антропогенно забруднених урбофітоценозів.

*Ключові слова:* *Fraxinus excelsior* L., урбанізоване середовище, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза.

**A. С. Россихина-Галича, Т. В. Легостаева, Ю. О. Самборская, В. С. Бильчук**  
*Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара*

### **СОСТОЯНИЕ ФЕРМЕНТОВ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ В РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНАХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ *FRAXINUS EXCELSIOR* L.) В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ**

В зрелых семенах ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) из урбофитоценоза г. Днепропетровска определяли уровни активности супероксиддисмутазы (КФ 1.15.1.1), каталазы (КФ 1.11.1.6) и пероксидазы (КФ 1.11.1.7). Установлено увеличение активности супероксиддисмутазы на 52-187 % и снижение активности каталазы на 15–40 %, пероксидазы на 7–19 % в семенах городского фитоценоза в сравнении с условным контролем. Сделан вывод, что выявленные изменения активности антиоксидантных ферментов в семенах ясеня в процессе созревания является приспособительной реакцией растительного организма к экологическим условиям антропогенно загрязненных урбофитоценозов.

*Ключевые слова:* *Fraxinus excelsior* L., урбанизированная среда, супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидаза.

**A. S. Rossichina-Galiha, T. V. Legostaeva, U. O. Samborska, V. C. Bilchuk**  
*O. Honchar Dnipropetrovsk National University*

### **THE FERMENTS CONDITION IN THE SISTEMS OF AGAINST OXIDATION PROTECTION IN THE REPRODUCTIVE ORGANS OF TREES PLANTS IN THE URBAN CONDITIONS**

In mature seeds of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) from urbofitotsenoza is Dnepropetrovsk defined levels of superoxide dismutase (EC 1.15.1.1), catalase (EC 1.11.1.6) and peroxidase (EC 1.11.1.7). It was found that under conditions of Dnepropetrovsk in the reproductive organs *Fraxinus excelsior* L. august selection, which are collected on experimental plots, there is increased activity of SOD in the 24–84 %. To study seed september and october selections characterized by an increase of this parameter in the 13–41 and 52–187 % relative to the control samples. It was established experimentally that the seeds collected in august and September at the monitoring stations of the city phytocenosis, the activity of catalase and peroxidase increased by 20–48 and 20–40 %. Reduced enzyme activity by 15–40 and 7–19 % fixed in the mature seed (month of october), which is probably due to a decrease in respiration rate of seeds and the transition to a standstill.

Thus, in the metabolic processes and reactions related to the protection and sustainability of seed cells to the action of pollutants participate antioxidant enzymes: SOD, catalase and peroxidase. The seeds of plants *Fraxinus excelsior*, who experience chronic combined effect of exhaust and industrial emissions during ontogenesis, there is an increase in superoxide dismutase activity in august and october, due to activation of the latent form of the enzyme and synthesis *de novo*. European ash tree adaptation to anthropogenic components of urban phytocenosis is due to increasing the activity of catalase in august and september, and decline – in october. It was found that the changes we set in peroxidase activity during the ripening stages, shows the reaction of these plants, aimed at protecting against

**oxidation of components of plant cells and the active participation of the enzyme in the recovery of  $H_2O_2$  to  $H_2O$ .**

*Key words:* *Fraxinus excelsior* L., urban environment, superoxide dismutase, catalase, peroxidase.

На сьогоднішній день прикладом комплексного впливу негативних антропогенних і природних стресорів на розвиток й ріст рослин, їхню здатність до репродукції є міські урбоценози. Відомо, що репродуктивна стратегія виступає головним чинником реалізації адаптивних можливостей виду, його розповсюдження та ефективного відтворення. Важливе завдання сучасності [6] – виявлення видів рослин, які мають високий рівень екологічної адаптації та пластичності до умов урбосередовища. Питання реконструкції та відновлення міських насаджень стають доволі актуальними. У зв'язку з цим важливим є вивчення впливу компонентів міського середовища на насіннєве розмноження та продуктивність рослин, що дає змогу оцінити толерантність біологічних видів до дії негативних факторів і запропонувати асортимент стійких рослин для озеленення промислового міста [15, 17].

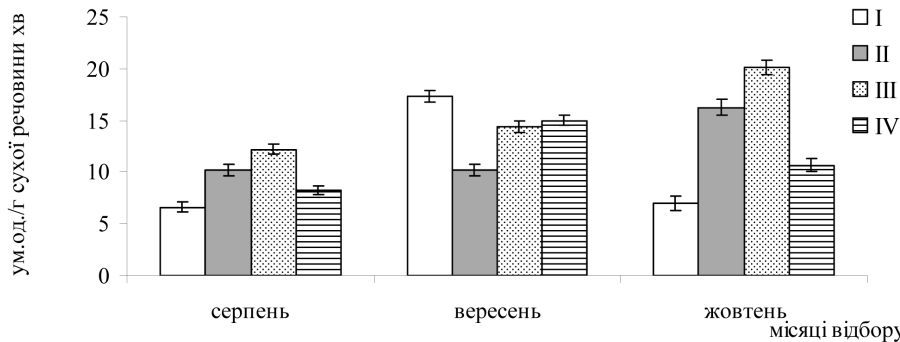
Певні аспекти стану насіння міської деревної рослинності досліджені: зменшення морфометричних характеристик насіння [3; 5; 22], зниження вмісту жирів, крохмалю й сахарози [3], активності амінотрансфераз [4], редукція легкорозчинних білків [19], зростання пулу відновленого глутатіону й активності глутатіон-S-трансферази і глутатіон-редуктази [20]. Але, адаптивні особливості стану ферментів антиоксидантної системи насіння деревних рослин в умовах урбосередовища вивчені недостатньо. Саме вони відіграють значну роль у реакціях-відповідях рослин на тривалі несприятливі умови існування. У клітинах існує динамічна рівновага між утворенням активних форм кисню та їх ліквідацією, яка здійснюється за допомогою супероксиддисмутази, каталази і пероксидази. Оскільки роботи, що розглядають зміни про-/антиоксидантної рівноваги в насінні деревних рослин в умовах міського середовища, практично відсутні, то нашою метою було дослідити активність ключових антиокисно-відновних ферментів у репродуктивних органах ясеня звичайного.

**Об'єкти та методи дослідження.** Об'єктом наших досліджень обрано один із найпоширених на території м. Дніпропетровськ, видів ясеня (*Fraxinus* L.) – ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.). Для визначення фізіолого-біохімічних показників з дорослих рослин ясеня збирали стигле насіння на ділянках: I – ботанічний сад ДНУ; II – пр. Кірова; III – вул. Героїв Сталінграду; IV – пр. Гагаріна. Усереднена проба для кожної ділянки формувалась із насіння від 5-10 дерев одного вікового стану, яке висушували за кімнатної температури до постійної ваги. Ферментативну активність СОД оцінювали за рівнем гальмування ферментом процесу відновлення нітросинього тетразолію у присутності нікотинамідаденіндинуклеотиду та феназинметасульфату [11]. Активність каталази визначали за кількістю розкладеного пероксиду водню під дією ферменту титриметрично за Б. П. Плешковим [12]. Активність бензидин-пероксидази оцінювали за швидкістю реакції окиснення бензидину до утворення продукту синього кольору згідно з методом, описаним А. Н. Бояркіним [7]. Дослідження проведені в триразовій повторності, результати опрацьовані за допомогою пакета Microsoft Statistica 6.0. Розбіжності між вибірками вважали значущими при  $p \leq 0,05$ .

**Результати дослідження.** Відомо, що рослини, які зростають на урбанізованих територіях, відчувають постійний вплив техногенного забруднення [13]. За дії полютантів 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 найдіяльнішу участь беруть ферменти [14].

Специфічним ферментом, що перешкоджає ушкодуючому впливу супероксиданіон-радикалу кисню на біологічні структури, є супероксиддисмутаза, яка перетворює цей радикал на пероксид водню [16]. Активність СОД виступає показником неспецифічної резистентності рослинного організму до стресових чинників. За впливу несприятливих факторів активність цього ферменту змінюється в залежності від тривалості дії та напруженості стрес-чинників [21].

Установлено, що в умовах м. Дніпропетровська у насінні *Fraxinus excelsior* L. серпневого відбору, яке збирали на дослідних ділянках, спостерігали більшу активність 10,2–12,22 ум.од./г сухої ваги хв, порівняно з контрольним насінням 6,63 ум.од./г сухої ваги хв. У рослин із пр. Кірова цей параметр збільшений відносно контролю на 54 %, вул. Г. Сталінграда – на 84 %, пр. Гагаріна – на 24 % (рис. 1).



**Рис. 1. Активність супероксиддисмутази у насінні ясеня звичайного з різних моніторингових ділянок: I – ботанічний сад ДНУ; II – пр. Кірова; III – вул. Г. Сталінграда; IV – пр. Гагаріна**

У контрольному і дослідному насінні вересневого відбору порівняно з серпневим відмічено збільшення (у 2,6 і 1,2 рази) активності СОД. У рослин з моніторингових ділянок рівень активності ферменту достовірно знижений відносно контролю на 13–41 %.

Насіння жовтневого відбору (повна стиглість) контрольних рослин характеризувалось зниженням активності СОД (7,01 ум.од./г сухої речовини хв.) порівняно з вересневим відбором. У дослідного насіння *Fraxinus excelsior* навпаки фіксували зростання активності ферменту в 1,4 рази відносно вересня місяця та на 52–187 % відносно контрольного насіння (рис. 1).

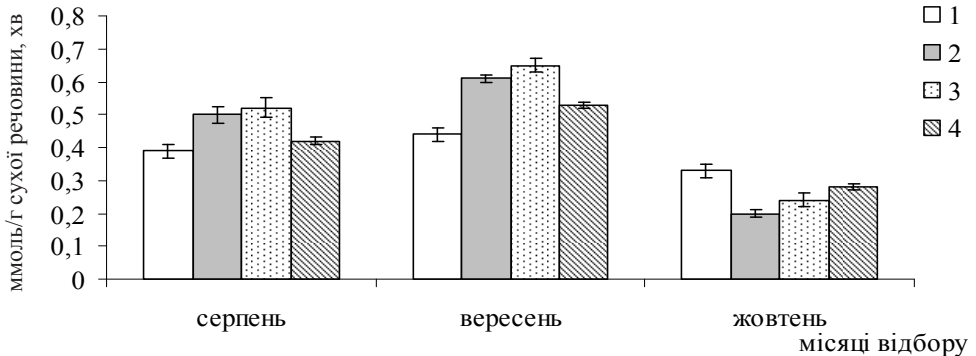
Коливання активності СОД у насінні ясенів, що зростають на ділянках із хронічною дією аерополутантів носить захисний характер для цих рослинних організмів і узгоджується з літературними даними, наведеними для гороху за умов кліностакування [2], для рису при засоленні [25], тепловій обробці проростків огірків [24]. Виявлене нами збільшення активності СОД у серпні та вересні місяцях згідно [8; 23] може відбуватися за рахунок активації латентних форм ферменту, а також синтезу *de novo*.

Важлива роль в обміні речовин у процесах адаптації організму до стрес-факторів відводиться каталазі, яка є одним із найактивніших ферментів у рослинах [21]. Результати досліджень із вивчення динаміки активності каталази в період досягання насіння ясеня звичайного проілюстровано на рис. 2. Активність каталази у насінні серпневого відбору дослідних рослин (0,42–0,52 ммоль/г сухої речовини хв), а контрольних – 0,39 ммоль/г сухої речовини хв.

У вересні місяці фіксували зростання активності ферменту порівняно з серпнем місяцем в 1,1 рази у контрольному насінні та в 1,2–1,25 рази у дослідному.

При цьому слід зазначити, що насіння дерев, які зростали на автомагістралях міста, характеризувалось збільшенням активності каталази відносно контрольних зразків на 20-48 %.

У жовтні місяці реєстрували тенденцію до зниження активності каталази порівняно з вереснем: у 1,3 рази у насінні з точки I, у 1,9 рази – у насінні з точки IV, у 3 та 2,7 рази – у насінні з ділянок II та III, що, ймовірно, пов'язано зі зниженням інтенсивності процесів дихання при переході до стану спокою. У дослідному насінні активність ферменту знижена відносно контрольного на 15–40 %, що свідчить згідно [10] про активну участь каталази у детоксикації перексиду водню.



**Рис. 2. Активність каталази у насінні ясеня звичайного з різних моніторингових ділянок: позначення див. рис. 1**

Отже, згідно з отриманими результатами важлива роль в обміні речовин у процесах адаптації насіння дослідних організмів до стрес-факторів належить каталазі. Кореляційний аналіз отриманих результатів виявив тісний зв'язок між активністю каталази і СОД ( $r=0,95-0,99$ ,  $p \leq 0,05$ ).

Встановлене пригнічення активності каталази згідно з О. В. Ситар [18] 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 з якими більшість рослин має пониженою активністю каталази на забруднених ділянках зростання [13].

Серед ферментів антиоксидантного захисту особлива роль у підтриманні рослинного гомеостазу в необхідному для життя відновленому стані належить пероксидазі. Вона реагує на широкий спектр факторів, що призводять до порушення гомеостазу активних форм кисню у рослин, змінюючи набір ізоферментів, або шляхом підвищення активності вже існуючих молекулярних форм [1; 9].

Отримані результати (рис. 3) засвідчують, що у насінні ясеня звичайного, відібраного у серпні з дослідних моніторингових ділянок, активність пероксидази порівняно з контрольними була збільшена в 1,4 рази (IV), у 1,89 рази – (II) та в 2,0 рази – (III).

У вересні місяці спостерігали зниження активності пероксидази порівняно з серпнем у контрольного насіння в 1,3 рази, а у дослідного – від 1,8 до 2,1 разів залежно від точки відбору. Слід відмітити, що у насінні з ділянок з антропогенним навантаженням рівень активності вище контролю в 1,2 рази (II), у 1,4 рази (III).

У стиглому насінні (жовтень) фіксували деяке збільшення пероксидазної активності як в контрольних зразках, так і в дослідних. Але у дослідного насіння рівень ферментативної активності виявився зниженим відносно контрольного на 7–19 %, що ймовірно пов'язано зі зниженням інтенсивності дихання і переходом насіння до стану спокою.



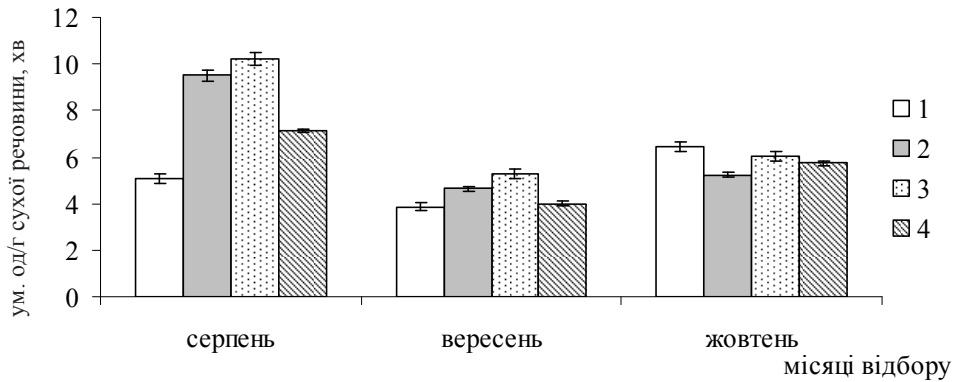


Рис. 3. Активність пероксидази у насінні ясеня звичайного з різних моніторингових ділянок: позначення див. рис. 1

Виявлені нами зміни активності пероксидази впродовж етапів досягання насіння *Fraxinus excelsior* свідчить про реакцію даних рослин, спрямовану на захист від окислення компонентів рослинної клітини й активну участь ферменту у відновленні  $H_2O_2$  до  $H_2O$  згідно з [9].

**Висновки.** 1. Виявлено, що в метаболічних процесах і реакціях, пов'язаних із захистом і стійкістю клітин насіння до дії поллютантів, беруть участь антиоксидантні ферменти: СОД, каталаза і пероксидаза.

2. У насінні рослин *Fraxinus excelsior*, що зазнають хронічного комбінованого впливу вихлопних газів та промислових викидів упродовж онтогенезу, відбувається зростання активності супероксиддисмутази у серпні і жовтні за рахунок активації латентних форм ферменту та синтезу *de novo*.

3. Пристосування дерев ясеня звичайного до антропогенних компонентів міського фітоценозу відбувалося за рахунок зростанням активності каталази у серпні–вересні, і зниженні – у жовтні.

4. З'ясовано, що виявлені нами зміни активності пероксидази впродовж етапів досягання насіння свідчать про реакцію даних рослин, спрямовану на захист від окислення компонентів рослинної клітини й активну участь ферменту у відновленні  $H_2O_2$  до  $H_2O$ .

### Бібліографічні посилання

1. Андреева В. А. Фермент пероксидаза / В. А. Андреева. – М. : Наука, 1988. – 120 с.
2. Бараненко В. В. Супероксиддисмутаза в клетках растений / В. В. Бараненко // Цитология. – 2006. – Т. 48, № 6. – С. 465–474.
3. Бессонова В. П. Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты ( $SO_2$  и  $NO_2$ ) / В. П. Бессонова, Т. И. Юсыпова. – Запорожье : Запорож. гос. ун-т, 2001. – 193 с.
4. Більчук В. С. Вплив техногенного забруднення на активність і компонентний склад амінотрансфераз репродуктивних органів деревних рослин / В. С. Більчук // Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 6.
5. Грицай З. В. Насіннева продуктивність деревних рослин в умовах забруднення довкілля викидами металургійного підприємства / З. В. Грицай, О. Г. Денисенко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер. Біологія. Екологія. – 2011. – Вип. 19. – Т. 2. – С. 40–44.
6. Журавлева А. Н. Эколого-биологическое состояние и особенности размножения растений в условиях урбанизированной среды : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук : спец. 03.02.08 / А. Н. Журавлева. – Тольятти, 2012. – 18 с.

7. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 430 с.
8. Калашиников Ю. Е. Действие почвенной засухи и переувлажнения на активацию кислорода и систему защиты от окислительной деструкции в корнях ячменя / Ю. Е. Калашиников, Д. А. Закржевский, Т. И. Балахнина // Физиология растений. – 1992. – Т. 39, Вып. 2. – С. 263–269.
9. Карпин О. Вплив нафтового забруднення ґрунту на ростові показники вмісту пероксиду водню і активність пероксидази рослин бобу (*Vicia Faba L.*) / О. Карпин, Н. Джура, О. Цвілинюк // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біологічна. – 2008. – Вип. 47. – С. 160–165.
10. Пацула О. Оксидативні реакції рослин / О. Пацула, М. Кобилецька, О. Терек // Вісник Львів. ун-ту. Сер. біологічна. – 2008. – Вип. 48. – С. 201–204.
11. Переслегина И. А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей / И. А. Переслегина // Лабораторное дело. – 1989. – № 11. – С. 20–23.
12. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М. : Колос, 1968. – 183 с.
13. 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. 2, № 3. – С. 551–561.
14. Половникова М. Г. Экофизиология стресса / М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : МарГУ, 2010. – 203 с.
15. Приймак О. П. Вплив викидів автотранспорту на насінневу продуктивність декоративних квіткових рослин / О. П. Приймак // Екологічні питання співіснування: людина – рослина : матеріали Всеукр. конф. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 154–159.
16. Романова Е. В. Ферменты в антиокислительной системе растений: супероксиддисмутаза / Е. В. Романова // Агро XXI. – 2008. – № 7. – С. 27–30.
17. Россихина-Галича Г. С. Прооксидантно-антиоксидантна рівновага насіння *Fraginus excelsior L.* в умовах міського середовища / Г. С. Россихина-Галича // Вісник Львів. ун-ту. – Сер. біологічна. – 2013. – Вип. 61. – С. 195–200.
18. 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.
19. Філонік І. О. Вплив техногенного забруднення Дніпропетровська на показники білково-амінокислотного обміну і системи протеолізу у насінні гіркого каштану звичайного та клену гостролистого / І. О. Філонік // Рослини та урбанізація : матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 159–160.
20. Хромих Н. О. Стан глутатіон-залежної системи *Aesculus hippocastanum* за умов антропогенного забруднення / Н. О. Хромих // Вісник Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2012. – Вип. 58. – С. 265–270.
21. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2002. – 244 с.
22. Шупранова Л. В. Наслідки впливу комплексного забруднення міського середовища на стан генеративного потомства деревних рослин / Л. В. Шупранова // Екологічні питання співіснування: людина – рослина : матеріали Всеукр. конф. – Дніпропетровськ, 2009. – С. 283–286.
23. Kaminaka H. Differential gene expression of rice superoxide dismutase isoforms to oxidative and environmental stresses / H. Kaminaka, S. Morita, M. Tokumoto // Free Radical Research. – 1999. – Vol. 31. – P. 219–225.
24. Kang H.-M. Activity of enzymatic antioxidant defense systems in chilled and heat shocked cucumber seedling radicles / H. M. Kang, M. E. Saltveit // Ibid. – 2001. – Vol. 113, N 4. – P. 548–556.
25. Lee D. H. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa L.*) / D. H. Lee, Y. S. Kim, C. B. Lee // J. Plant Physiol. – 2001. – Vol. 158. – P. 737–745.

Надійшла до редколегії 14.05.2015