

УДК 581.1

Т.В. Легостаєва, Г.С. Россихіна-Галича, В.С. Більчук, Д.Є. Новак

*Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010 Україна
e-mail: anna-rossihina@rambler.ru*

АКТИВНІСТЬ ФЕРМЕНТІВ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ У ФОТОСИНТЕЗУЮЧИХ ОРГАНАХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ACER L. В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА

Клен гостролистий, клен несправжньо-платановий, вміст ТБК-активних продуктів, ферментативна активність супероксиддисмутази, каталази та пероксидази

АКТИВНІСТЬ ФЕРМЕНТІВ АНТИОКСИДАНТНОГО ЗАХИСТУ У ФОТОСИНТЕЗУЮЧИХ ОРГАНАХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ACER L. В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА. Т.В. Легостаєва, Г.С. Россихіна-Галича, В.С. Більчук, Д.Є. Новак. – В умовах аеротехногенного забруднення м. Дніпропетровська досліджено стан ферментів антиоксидантного захисту СОД, каталази та пероксидази фотосинтезуючих органів представників роду *Acer* L. Встановлено, що за умов окиснювального стресу в вегетативних органах клену несправжньо-платанового відбувається активація досліджуваних ферментів, що забезпечує його стійкість до аеротехногенного забруднення. У листках клену гостролистого спостерігається інгібування активності СОД і каталази, що свідчить про чутливість даного виду до забруднювачів.

АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ОРГАНОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ACER L. В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА. Т.В. Легостаева, А.С. Россихина-Галычая, В.С. Бильчук, Д.Е. Новак. – В условиях антропогенного загрязнения атмосферы г. Днепропетровска исследовано функционирование ферментов антиоксидантной защиты СОД, каталазы и пероксидазы в фотосинтезирующих органах представителей рода *Acer* L. Установлено, что в условиях окислительного стресса в вегетативных органах клена ложноплатанового происходит активация исследуемых ферментов, которые обеспечивают его устойчивость к аэротехногенному загрязнению. В листьях клена остролистого наблюдается ингибирование активности СОД и каталазы, что свидетельствует о чувствительности вида к токсикантам.

ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES LEAVES REPRESENTATIVES OF THE GENUS ACER L. IN THE INDUSTRIAL CITY. T.V. Legostaeva, A.S. Rossikhina-Galychaya, V.S. Bilchuk, D.E. Novak. – The functioning of SOD antioxidant enzymes, catalase and peroxidase in photosynthesis organs of the genus *Acer* L. is studied under the conditions of anthropogenic pollution of the atmosphere of Dnepropetrovsk city. It has been determined that the activation of studied enzymes which provide for stability of a sycamore maple to aeroanthropogenic pollution, takes place under conditions of oxidative stress in the vegetative organs of this maple. Inhibition of the activity of SOD and catalase occurs in the leaves of Norway maple that indicates about sensitivity of species to toxicants.

Посилення аеротехногенного забруднення атмосфери призводить до швидкої деградації фітоценозів, особливо тих, що розташовані поблизу промислових комплексів та автомагістралей. Для створення стійких насаджень, в тому числі з використанням інтродуцентів, на техногенних територіях необхідне всебічне вивчення дії забруднювачів на процеси росту та розвитку рослин (Коршиков и др., 1995; Бессонова, 1999; Виноградова, 2007). Загальновідомо, що за дії стресових чинників навколишнього середовища в рослинних організмах відбувається прискорення швидкості пероксидного окислення ліпідів (ПОЛ), продукти якого ушкоджують біологічні молекули (Коршиков и др., 1995; Полесская, 2004; Курганова и др., 1997; Клеточные..., 2005). Адаптація деревних порід до дії полікомпонентних викидів відбувається за рахунок ферментів антиоксидантного захисту, серед яких важливе місце належить супероксиддисмутази (СОД), каталази, пероксидази

(Клеточные..., 2005; Таран та ін..., 2004). Функціонування антиоксидантів у вегетативних органах інтродуцентів в умовах техногенного забруднення досліджено недостатньо (Коршиков, Виноградова, 2005; Лук'ячук, Чмир, 2007). Оскільки стійкість організмів залежить не від одного ферменту, а від складної системи ферментативних і неферментативних антиоксидантів, компенсаторно пов'язаних між собою та з іншими факторами (Клеточные..., 2005; Косаківська, 2007; Таран та ін., 2004), дослідження адаптації рослин на рівні комплексу оксидоредуктаз є актуальним.

Метою роботи було дослідження системи ключових антиоксидантних ферментів фотосинтезуючих органів різних видів *Acer L.* у процесі онтогенезу за умов техногенного забруднення.

Матеріал та методика дослідження

Об'єктами досліджень були листки клена гостролистого *Acer platanoides L.* та к. несправжньоплатанового *A. pseudoplatanus L.*, які широко використовують для створення штучних фітоценозів степової зони України. Дослідні дерева зростали вздовж автомагістралей м. Дніпропетровська, де основними забруднюючими речовинами були оксиди карбону, нітрогену, сульфору, органічні сполуки важких металів, вуглеводи тощо. Для аналізу використовували середню пробу листя з кожного дерева в різні фази розвитку.

Визначення активності СОД проводили фотометричним методом Переслєгіної (Переслєгіна, 1989). Активність пероксидази визначали за методом А.Н. Бояркіна в нашій модифікації (Методы..., 1987), а активність каталази – оксидометричним методом за Б.П. Плешковим (1968). Статистичну обробку експериментальних даних проведено за допомогою багатфункціонального пакету прикладних програм "Statgraphics" (версія 3,0). Достовірною вважали різницю при $p < 0,05$ (Лакин, 1990).

Результати досліджень та їх обговорення

Встановлено, що активність СОД в листках дослідних рослин клену несправжньоплатанового збільшується в умовах аеротехногенного забруднення і перевищує контроль в 1,4–2,1 рази. Дана закономірність характерна для всіх фаз розвитку і різного техногенного навантаження (рис. 1). При цьому максимальне підвищення активності СОД в 2,1 рази зареєстровано в фазі вторинного росту листків в умовах аерогенного забруднення на автомагістралі пр. Кірова. Факт підвищення активності СОД свідчить про включення ферменту в процес адаптації даного виду до аеротехногенного забруднення (Клеточные..., 2005; Бараненко, 2006).

Для клену гостролистого встановлено ряд специфічних особливостей. Так, дія аерогенного забруднення викликала достовірне зниження активності СОД у вегетативних органах в фазу активного і вторинного росту від 10 до 60% відносно контролю (рис. 1).

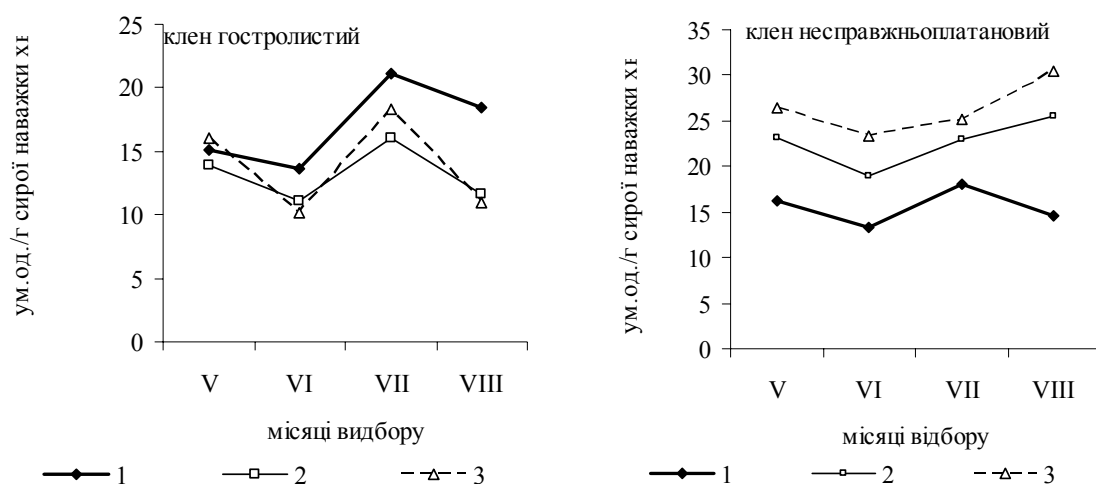


Рис. 1. Активність супероксиддисмутази у листках кленів з різних районів м. Дніпропетровська: 1 – контроль; 2 – пр. Гагаріна; 3 – пр. Кірова; V – травень; I – червень; VII – липень; VIII – серпень

Максимальне інгібування активності ферменту (в 1,6 раза) відмічено для листків у фазу вторинного росту. Ймовірно, цей ефект обумовлений тим, що клен гостролистий є нестійким до техногенного забруднення, що узгоджується з даними інших дослідників (Коршиков, Виноградова, 2005).

Підвищення активності СОД на фоні хронічної дії техногенного забруднення на рослини призводить до накопичення продукту перетворення, яким є пероксид водню. Пероксид водню є токсичною сполукою і негативно впливає на метаболічні процеси рослин (Половникова, 2008; Колупаєв, Карпец, 2010). У реакціях знешкодження пероксиду водню бере участь каталаза – важливий компонент антиоксидантного захисту. Аналіз отриманих результатів показав, що рівень активності ферменту в листках досліджуваних кленів визначається їх видом і фазою вегетаційного періоду (рис. 2). Так, для фотосинтезую-

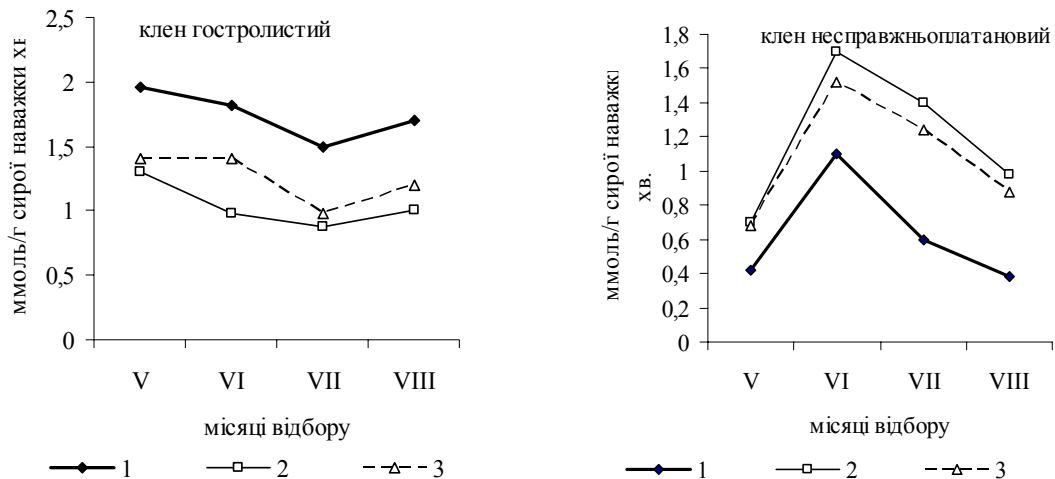


Рис. 2. Активність каталази у листках кленів з різних районів м. Дніпропетровська: 1 – контроль; 2 – пр. Гагаріна; 3 – пр. Кірова; V – травень; VI – червень; VII – липень; VIII – серпень

чих органів клену несправжньоплатанового характерне підвищення каталазної активності в порівнянні з контролем в усі фази сезонного розвитку. На початку активного росту листя за дії стрес-факторів активність каталази дослідних зразків перевищувала контроль в 1,6 рази. Найбільші відмінності за активністю ферменту зафіксовано в період його вторинного росту. Хронічна дія забруднювачів викликала інтенсифікацію каталазної реакції, при цьому активність ферменту перевищувала контроль у 2 рази. Підвищений рівень активності каталази корелював з високими значеннями активності СОД за стресових умов, що узгоджується з даними Ю.Е. Колупаєва та Ю.В. Карпець (Колупаєв, Карпец, 2010).

Для вегетативних органів клену гостролистого за дії аерогенного забруднення характерне зниження каталазної активності в процесі онтогенезу в 1,4–1,8 рази по відношенню до контрольних зразків (рис. 2). Найбільше інгібування каталазної активності зафіксовано в умовах аеротехногенного забруднення автомагістралей пр. Гагаріна для листків клену гостролистого в період їх активного та вторинного росту. Зменшення активності каталази корелювало зі зниженим рівнем СОД, що за літературними даними свідчить про чутливість даного виду до аеротехногенного забруднення (Чиркова, 2002; Полесская, 2004; Половникова, Воскресенская, 2008).

У реакціях знешкодження активних форм кисню, які утворюються в результаті ПОЛ, активну участь бере і пероксидаза. Як свідчать результати досліджень, впродовж вегетаційного періоду кленів відбувалось широке варіювання значень активності ферменту. Динаміка пероксидазної активності при переході від активного росту листя до фази вторинного росту в контрольних та дослідних зразках була спрямована в бік підвищення. Дія полікомпонентних викидів призводила до посилення активності ферментів фотосинтезуючих органів клену гостролистого в 1,7–2,7 рази у фазу початку активного росту. Хронічна дія забруднювачів викликала деяке зниження активності пероксидази в порівнянні з початком активного росту, але рівень перевищував контроль від 10 до 20%. І тільки в фазу фізіологічного спокою зафіксоване зниження активності пероксидази дослідних

зразків відносно контролю на 7–15% (рис. 3).

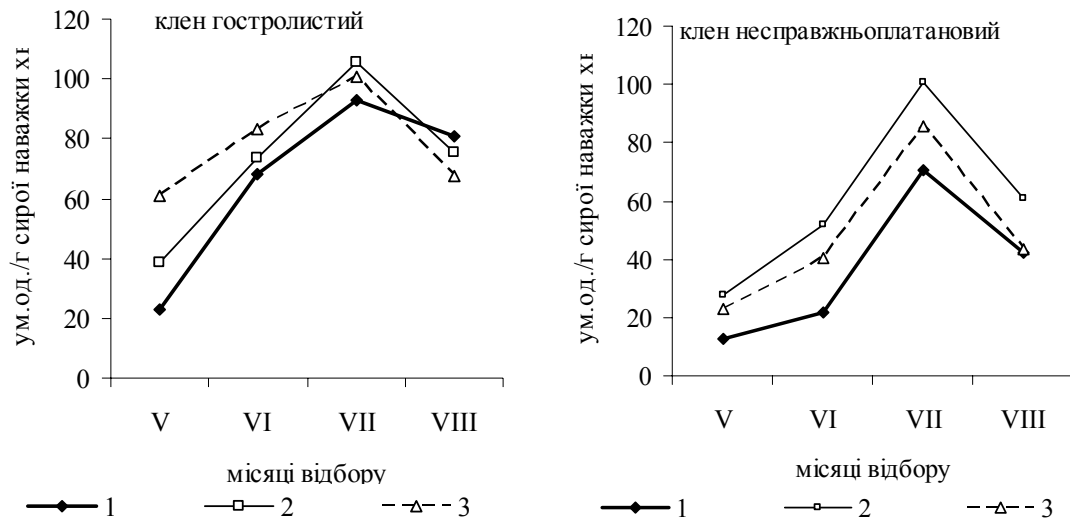


Рис. 3. Активність пероксидази у листках кленів з різних районів м. Дніпропетровська: 1 – контроль; 2 – пр. Гагаріна; 3 – пр. Кірова; V – травень; VI – червень; VII – липень; VIII – серпень

На відміну від цих закономірностей, в фотосинтезуючих органах клену несправжньо-платанового спостерігали підвищений в 1,9–2,4 рази, в залежності від інтенсивності аеротехногенного забруднення, рівень активності на всіх фазах онтогенезу (рис. 3). Максимальне підвищення пероксидазної активності за дії антропогенного забруднення фіксували в фазу активного росту листків.

Таким чином, у фази активного і вторинного росту листків адаптація досліджуваних кленів до стрес-чинників відбувалась за рахунок інтенсифікації пероксидазної реакції. Хронічна дія токсикантів викликала зниження активності ферментів тільки у чутливого виду – клену гостролистого – у фазу фізіологічного спокою.

Висновки

Встановлено, що за дії оксидативного стресу відбувається активація ферментів антиоксидантного захисту СОД, каталази та пероксидази у листках клену несправжньо-платанового, що забезпечує його стійкість до аерогенного забруднення.

Показано, що впродовж вегетаційного періоду у листках клену гостролистого спостерігається інгібування активності СОД і каталази, що свідчить про чутливість даного виду до аеротехногенного забруднення. Його адаптація до стрес-факторів відбувається тільки за рахунок підвищення активності пероксидази.

Зміни активності антиоксидантних ферментів у листках деревних порід можна рекомендувати до використання як діагностичних критеріїв при пошуку видів, стійких до техногенного забруднення.

Бараненко В. В. Супероксиддисмутаза в клетках растений / В. В. Бараненко // Цитология. – 2006. – Т. 48, № 6. – С. 465–474.

Бессонова В. П. Цитофизиологические эффекты воздействия тяжелых металлов на рост и развитие растений / В. П. Бессонова. – Запорожье : Запор. гос. ун-т, 1999. – 208 с.

Виноградова Е. Н. Кинетические свойства и компонентный состав пероксидазы листьев *Populus deltoids* Marsh. и *Fraxinus lanceolata* Borkh. в условиях техногенного загрязнения / Е. Н. Виноградова // Промышленная ботаника. – 2007. – Вып. 7. – С. 63–68.

Коршиков И. И. Взаимодействие растений с техногенно-загрязненной средой : монография / И. И. Коршиков, В. С. Котов, И. П. Михеенко [и др.]. – К. : Наукова думка, 1995. – 190 с.

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, 2005. – 278 с.

Колупаев Ю. Е. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец. – К. : Основа, 2010. – 352 с.

- Коршиков И. И. Изменение физиолого-биохимических показателей листьев различающихся по устойчивости к выхлопным газам деревьев *Acer platanoides* L. и *Acer pseudoplatanus* L. в насаждениях вдоль автомагистрали / И. И. Коршиков, Е. Н. Виноградова // Промышленная ботаника. – 2005. – Вып. 5. – С. 75–84.
- Косаківська І. В. Екологічний напрям у фізіології рослин: досягнення і перспективи / І. В. Косаківська // Физиология и биохимия культурных растений. – 2007. – Т. 39, № 4. – С. 279–290.
- Курганова Л. Н. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная система защиты в хлоропластах гороха при тепловом шоке / Л. Н. Курганова, А. П. Веселов, Т. А. Гончарова // Физиология растений. – 1997. – Т. 44, № 5. – С. 725–730.
- Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
- Лук'янчук Н. Г. Вплив автомобільного транспорту на паркові фітоценози м. Львова / Н. Г. Лук'янчук, Р. М. Чмир // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України. – 2007. – Вип. 17.7. – С. 71–76.
- Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – [3-е изд.] – Л. : Агропромиздат, 1987. – 430 с.
- Переслегина И. А. Активность антиоксидантных ферментов слюны здоровых детей / И. А. Переслегина // Лабораторное дело. – 1989. – № 11. – С. 20–23.
- Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М. : Колос, 1968. – 183 с.
- Полесская О. Г. Изменение активности антиоксидантных ферментов в листьях и корнях пшеницы в зависимости от форм и дозы азота в среде / О. Г. Полесская // Физиология растений. – 2004. – Т. 51, № 5. – С. 686–691.
- 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.
- Таран Н. Ю. Вторинний оксидний стрес як елемент адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля / Н. Ю. Таран, О. А. Оканенко, Л. М. Боцманова [та ін.] // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Т. 36, № 1. – С. 3–14.
- Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений / Т. В. Чиркова. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2002. – 244 с.

Надійшла 29.04.2013 р.

Рекомендує до друку
Н.О. Гавриленко