

АКТИВНІСТЬ ОКИСНИХ ФЕРМЕНТІВ У ВЕГЕТАТИВНИХ ОРГАНАХ ҐРУНТОПОКРИВНИХ РОСЛИН ЗА УМОВ ДІЇ ПОЛЮТАНТІВ

Наведено дані щодо активності супероксиддисмутази та пероксидази у вегетативних органах ґрунтопокривних рослин в умовах техногенного забруднення. Досліджено зміни активності ферментів залежно від виду полютантів. Зроблено висновки щодо стійкості рослин до дії промислового стресу.

Розвиток індустріальних центрів призводить до порушення екологічного балансу в природних біоценозах та створення іншого типу рослинних угруповань, значно збіднених видами, — урбофітоценозів. Деградація рослинного покриву своєю чергою спричиняє появу рудеральних бур'янів, багато з яких містять алергени [4, 11]. Тому велике значення має вивчення ґрунтопокривних рослин, які не тільки мають декоративний вигляд, а й поліпшують хімічні та фізичні властивості ґрунту, запобігають ерозії, поліпшують ріст та розвиток дерево-чагарникового ярусу. Підбираючи асортимент, ураховують реакцію рослин на несприятливі умови зростання.

Вплив будь-яких чинників на рослину, зокрема нові умови зростання, посуха або емісії промислових підприємств, запускає захисні механізми організму. Однією з найхарактерніших реакцій рослини на дію стресорів є зміна активності окисно-відновних ферментів [6, 16—18].

Стрес, спричинений впливом промислових полютантів, порушує збалансований перебіг фізіологічних процесів у клітинах, спричиняє утворення супероксидних радикалів, нейтралізацію яких в організмі рослини здійснює супероксиддисмутаза

(СОД). Цей фермент каталізує реакцію дисмутації, в результаті якої відбувається перетворення високореакційного аніона — радикала кисню (супероксид аніона) на відносно менш активний пероксид водню і молекулярний кисень. Подальша утилізація пероксиду водню відбувається за участю інших ферментів антиоксидантної системи, зокрема пероксидази [1, 5].

Враховуючи недостатність інформації щодо механізмів адаптації трав'янистих рослин до дії промислового забруднення [3, 10, 13, 20], актуальним є вивчення активності ферментів антиоксидантного захисту — супероксиддисмутази та пероксидази.

Матеріали і методи

Об'єктами досліджень було обрано два види ґрунтопокривних рослин місцевої флори — *Euphorbia cyparissias* L. (Euphorbiaceae Juss.) та *Stellaria holostea* L. (Caryophyllaceae Juss.), а також три види роду *Sedum* L. (Crassulaceae DC.), інтродуковані з інших географічних зон: європейський вид *S. reflexum* L., далекосхідний — *S. kamtschaticum* Fisch. та кавказький — *S. spurium* Bieb.

Рослини були висаджені в санітарних зонах підприємства з виробництва миючих засобів "Ольвія Бета" (ділянка 1) та Гірничо-збагачувального комбінату м. Орджо-

нікідзе (ділянка 2). Основними забруднювачами на цих підприємствах є окисли азоту, вуглецю, феноли, сірчані, фтористі сполуки, а також окисли важких металів [9, 15]. Так, за даними санітарно-епідеміологічної станції, у районі дослідних ділянок середні концентрації забруднюючих речовин у повітрі становили, мг/м³: SO₂ — 0,85–0,98; NO₂ — 0,90–1,14; NH₃ — 0,63–0,80; фенол — 0,06–0,07.

Аналіз агрохімічних показників ґрунтів на території підприємств м. Орджонікідзе засвідчив, що вони містять легкорозчинний азот. Вміст рухливих форм фосфору та калію перевищує оптимальні показники в 3,5–7,0 разів. Крім того, виявлено забруднення ґрунтів сполуками Mn, Cu, Zn тощо [8].

Як контроль обрали рослини з колекції Ботанічного саду Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. Рослини на всіх ділянках вирощували без застосування агротехнічних засобів, окрім поливу в період посухи, щоб уникнути водного дефіциту.

Таблиця 1. Екологічна характеристика досліджуваних рослин

| Вид | Клімаморфи | Трофоморфи | Гігоморфи | Геліоморфи | Ценоморфи |
|--------------------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|
| Euphorbia cyparissias | G | OgTr | Ks | He | St, Ps |
| Sedum kamtschaticum | HKr | OgTr | Ks | ScHe | Ptr |
| S. reflexum | Ch | OgTr | Ks | ScHe | Pr, Ps |
| S. spurium | Ch | OgTr | Ks | He | Mont, Pr |
| Stellaria holostea | HKr | MsTr | Ms | HeSc | Sil |

Примітка. G — геофіт; HKr — гемікриптофіт; Ch — хамефіт; OgTr — оліготроф; MsTr — мезотроф; Ks — ксерофіт, Ms — мезофіт; He — геліофіт; HeSc та ScHe — частково вимогливий до світла; Ptr — скельна рослина; Mont — гірська рослина; Pr — лучна рослина; Sil — лісова рослина; St — степова рослина; Ps — псаммофіт

Активність ферментів визначали у надземних вегетативних органах рослин. Активність СОД (КФ 1.15.1.11) — за ступенем інгібування відновлення нітросинього тетразолу (НТС) за наявності НАДН та феноазинметасульфату (ФМС). Кількісні параметри реакції визначали шляхом вимірювання оптичної густини реакційної суміші при довжині хвилі 540 нм [19]. Активність пероксидази (КФ 1.11.1.7) досліджували методом Бояркіна, який ґрунтується на визначенні швидкості реакції окиснення бензидину до синього продукту окиснення. Інтенсивність забарвлення вимірювали при довжині хвилі 590 нм [14].

Отримані результати обробляли стандартними методами математичної статистики [7].

Результати та обговорення

Дослідженню фізіологічних показників ґрунтопокривних рослин передувало вивчення основних екологічних особливостей досліджуваних видів за О.Л. Бельгардом [2]. Виявлено, що види мають багато спільних ознак, хоча в природних умовах займають різні екологічні ніші (табл.1). Їм притаманний різний морфологічний статус. У рослин *Stellaria holostea*, які зростали на території хімічного підприємства, спостерігали зменшення висоти куща та площі листових пластинок порівняно з рослинами контрольного варіанта в середньому в 1,5 разу, а також зменшення інтенсивності розростання з 12–15 см/рік (у контрольних рослин) до 6–9 см/рік [12].

З урахуванням екологічних та морфологічних особливостей проведено фізіолого-біохімічні дослідження чутливості ферментів антиоксидантної системи до дії стресових факторів.

У ході експерименту спостерігали підвищення активності СОД та пероксидази у вегетативних органах надземної частини рослин, що зростали на дослідних ділянках, порівняно з контролем (табл. 2). У *Sedum spurium*, *S. reflexum*, *Stellaria holostea* під впли-

Таблиця 2. Активність антиоксидантних ферментів у надземних вегетативних органах ґрунтопокривних рослин

| Вид | Активність СОД, ум.од./г сирової речовини | | | Активність бензидинпероксидази, ум. од./хв · г сирової речовини | | |
|------------------------------|--|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
| | Контроль | Ділянка 1 | Ділянка 2 | Контроль | Ділянка 1 | Ділянка 2 |
| <i>Euphorbia cyparissias</i> | 16,91±0,239 | 32,56±0,323 | 37,92±0,15 | 8,15±0,03 | 22,01±0,03 | 27,04±0,01 |
| <i>Sedum kamtschaticum</i> | 4,78±0,015 | 12,68±0,044 | 22,15±0,081 | 3,62±0,017 | 11,51±0,013 | 19,55±0,02 |
| <i>S. reflexum</i> | 8,75±0,076 | 13,14±0,041 | 27,24±0,106 | 4,41±0,026 | 9,03±0,021 | 22,99±0,026 |
| <i>S. spurium</i> | 7,06±0,029 | 10,67±0,052 | 12,09±0,125 | 4,15±0,041 | 13,52±0,032 | 15,44±0,02 |
| <i>Stellaria holostea</i> | 18,24±0,058 | 29,40±0,03 | 33,19±0,107 | 9,94±0,03 | 21,11±0,01 | 24,90±0,02 |

вом полікомпонентних викидів хімічного підприємства активність СОД зростає в 1,5–1,6 разу, у *Euphorbia cyparissias* — в 1,9 разу. Найсуттєвішу різницю в активності СОД між контролем та рослинами, які зростали на території хімічного підприємства, виявлено у *Sedum kamtschaticum* — в 2,6 разу. В умовах забруднення поллютантами гірничо-збагачувального комбінату активність СОД була більшою, ніж у контролі та у рослин дослідної ділянки 1 (рис. 1). Так, у *Sedum spurium*, *Stellaria holostea*, *Euphorbia cyparissias* активність ферменту збільшувалася в 1,7–2,2 разу порівняно з контролем, у *Sedum reflexum* — в 3,1 разу. Найбільшу різницю щодо контролю також виявлено у *Sedum kamtschaticum* (у 4,6 разу). Отримані дані свідчать про здатність СОД дослідних видів підтримувати рівень клітинного гомеостазу в умовах техногенного стресу.

Вплив поллютантів хімічного підприємства спричинив збільшення активності пероксидази в 2,0–2,7 разу у *Stellaria holostea*, *Sedum reflexum*, *Euphorbia cyparissias* та в 3,2 разу — у *Sedum kamtschaticum* і *S. spurium* (рис. 2). Під впливом викидів гірничо-збагачувального комбінату активність пероксидази зростає в 2,5–3,7 разу у *Stellaria holostea*, *Euphorbia cyparissias* та *Sedum spurium*. Цей

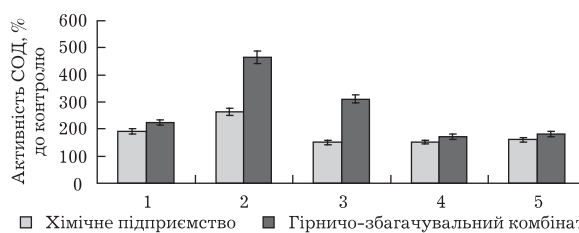


Рис. 1. Активність СОД у надземних вегетативних органах рослин за умов дії техногенного стресу: 1 — *Euphorbia cyparissias*; 2 — *Sedum kamtschaticum*; 3 — *Sedum reflexum*; 4 — *Sedum spurium*; 5 — *Stellaria holostea*

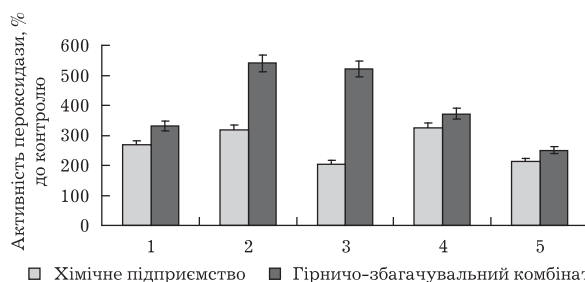


Рис. 2. Активність пероксидази в надземних вегетативних органах рослин за умов дії техногенного стресу: 1 — *Euphorbia cyparissias*; 2 — *Sedum kamtschaticum*; 3 — *Sedum reflexum*; 4 — *Sedum spurium*; 5 — *Stellaria holostea*

показник був значно вищим у *Sedum reflexum* (в 5,2 разу) та у *S. kamtschaticum* (в 5,4 разу). Зростання активності пероксидази

вважають універсальним індикатором дії промислових емісій та вихлопних газів автотранспорту [9]. У даному випадку її можна розглядати як важливий показник захисної функції організму рослини.

Таким чином, під дією стресорів відбувається перебудова ферментативного апарату, спрямована на пристосування рослини до існування в несприятливих умовах. Про це свідчить підвищення активності ферментів антиоксидантної системи.

Висновки

Одержані результати досліджень засвідчили, що у ґрунтопокривних рослин які зростали в умовах промислового забруднення, значно збільшується активність ферментів антиоксидантного комплексу (СОД та пероксидази) в надземних вегетативних органах. Це свідчить про процеси адаптації рослин до дії техногенного стресу. Візуальних пошкоджень у досліджуваних видів не виявлено, проте у рослин, що зростали на дослідних ділянках, зафіксоване більш раннє закінчення вегетації порівняно з контролем.

За результатами вивчення активності СОД та пероксидази можна виділити стійкі до промислового забруднення види ґрунтопокривних рослин. Рослини, які визначаються вищою активністю антиоксидантних ензимів, можливо, є стійкішими до дії забруднюючих факторів. Найстійкішими до впливу полутантів хімічного підприємства виявилися *Sedum kamtschaticum* та місцевий вид — *Euphorbia cyparissias*. В умовах дії викидів гірничо-збагачувального комбінату — *Sedum kamtschaticum* та *S. reflexum*. Імовірно, що такі екологічні особливості цих видів, як невибагливість до ґрунтів, висока посухостійкість та здатність зростати в екстремальних умовах у природному середовищі, сприяють підвищеній стійкості до умов техногенного навантаження. На підставі морфологічних змін можна дійти висновку, що найменш стійким до дії емісій хімічного підприємства є лісовий вид *Stellaria holostea*, який є мезофітом та мезотрофом.

Вважаємо перспективним продовження вивчення активності ферментів антиоксидантного комплексу в умовах дії стресу та її зв'язку з інтенсивністю нагромадження продуктів перекисного окиснення ліпідів (ТБК-активних сполук) у вегетативних органах ґрунтопокривних рослин з метою підбору асортименту стійких видів для техногенних екотопів.

1. Андреева В.Ф. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. — М.: Наука, 1988. — 130 с.

2. Бельгард А.Л. Лесная растительность юго-востока УССР. — К.: КГУ, 1950. — 264 с.

3. Більчук В.С. Зміни активності та компонентного складу поліфенолоксидази трав'янистих рослин за умов дії важких металів // Сучасні проблеми інтродукції та акліматизації рослин: Тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 75-річчю Ботанічного саду ДНУ. — Дніпропетровськ, 2008. — С. 29–30.

4. Бурда Р.І. Антропогенна трансформація флори. — К.: Наук. думка, 1991. — 168 с.

5. Диксон М., Уэбб Э. Ферменты: В 3 т. — М.: Мир, 1982. — Т. 3. — 1120 с.

6. Долгова Л.Г. Активность пероксидазы — показатель устойчивости растений-интродуцентов в условиях степной зоны Украины // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту. Сер. Біологія. Екологія. — 2004. — 1, вип. 12. — С. 38–41.

7. Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. — М.: Наука, 1991. — 184 с.

8. Звіт про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2006 р. — Дніпропетровськ, 2006. — 174 с.

9. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. — К.: Наук. думка, 1978. — 246 с.

10. Коршиков И.М. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. — К.: Наук. думка, 1996. — 234 с.

11. Мальшев Л.И. Изменение флоры земного шара под влиянием антропогенного давления // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. — 1981. — № 3. — С. 5–20.

12. Мартинова Н.В., Лихолат Ю.В. До характеристики морфологічних ознак ґрунтопокривних рослин в умовах степового Придніпров'я // Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель: Зб. наук. пр. — Дніпропетровськ: РВВДНУ, 2006. — Вип. 10 (35). — С. 88–97.

13. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки. — М.: ВИНТИ, 1989. — 403 с.

14. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. — 3-е изд. — Л.: Агропромиздат, 1982. — 430 с.

15. Пронина Н.Б. Экологические стрессы (причины, классификация, тестирование, физиолого-биохимические механизмы). — М.: Изд-во МСХА, 2001. — 312 с.

16. Рубин Б.А., Ладыгина М.Е. Аксенова В.А. Биохимические механизмы иммунитета растений // Функциональная биохимия клеточных структур. — М.: Наука, 1970. — С. 349.

17. Сарсенбаев К.Н., Полимбетова Ф.А. Роль ферментов в устойчивости растений. — Алма-Ата, 1968. — 245 с.

18. Таран Н.Ю., Оканенко А.А., Бацманова Л.М., Мусиенко Н.Н. Вторичный окислительный стресс как элемент общего адаптационного ответа растений на действие неблагоприятных факторов окружающей среды // Физиол. и биохим. культ. раст. — 2004. — 36(1). — С. 315–321.

19. Чевари С., Чаба И., Секей Й. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в биологических материалах // Лабораторное дело. — 1985. — № 11. — С. 678–681.

20. Reddy S., Vijava K., Venkajan B. Effect of heavy metals on superoxidedismutase activity in Pennisetum typhoideum seedlings // Curr. Scin. — 1988. — 57, N 12. — P. 664–665.

Рекомендувала до друку
Н.В. Заїменко

Н.В. Мартынова, Ю.В. Лихолат, В.Ф. Опанасенко
Ботанический сад Днепропетровского
национального университета имени Олеся Гончара,
Украина, г. Днепропетровск

АКТИВНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ
ФЕРМЕНТОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ ОРГАНАХ
ПОЧВОПОКРОВНЫХ РАСТЕНИЙ В
УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ

Приведены данные об активности супероксиддисмутазы и пероксидазы в вегетативных органах почвопокровных растений в условиях техногенного загрязнения. Исследовано изменение активности ферментов в зависимости от вида поллютантов. Сделаны выводы относительно устойчивости растений к действию промышленного стресса.

N.V. Martynova, Yu.V. Lykholat, V.F. Opanasenko
Oles' Gonchar Dnipropetrovsk
State University Botanical Garden,
Ukraine, Dnipropetrovsk

ACTIVITY OF OXIDATIVE ENZYMES
IN VEGETATIVE PARTS OF GROUND COVER
PLANTS UNDER THE ACTION OF POLLUTANTS

Data about activity of superoxidedismutase and peroxidase in vegetative parts of ground cover plants in the technogenic pollution conditions have been given. Changes of enzyme activity are studied depending on a kind of pollutants. Conclusions concerning stability of plants to the action of industrial stress are drawn.