

ВПЛИВ ФУНГІЦИДІВ НА АКТИВНІСТЬ ПЕРОКСИДАЗ У *ARABIDOPSIS THALIANA*

Т.А. ЗАВОРОТНА¹, С.С. РУДЕНКО², І.І. ПАНЧУК^{1*}

¹Кафедра молекулярної генетики та біотехнології,

²Кафедра екології та біомоніторингу

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,

вул. Коцюбинського 2, м. Чернівці, 58012

*e-mail: i.panchuk@chnu.edu.ua

Для ефективного контролю грибкових захворювань важливих сільськогосподарських рослин широко застосовуються фунгіциди, які захищають плоді дерева, овочеві та декоративні культури. Всі фунгіциди розділяються на дві групи – контактні та системні. Контактні фунгіциди, які містять сполуки міді або сірки, мають профілактичну дію. Системні або лікувальні фунгіциди вбивають міцелій, запобігаючи його розростанню у паренхімі рослин. Серед системних фунгіцидів розповсюджені такі, які містять бензімідазоли та стробіруліни. Незважаючи на позитивну дію фунгіцидів проти грибкових захворювань, в деяких випадках спостерігається негативний вплив препаратів на ріст та розвиток рослин. Такі ефекти пов'язані, насамперед, з тим, що фунгіциди є стресовим чинником для рослин. За дії стресових факторів у рослин утворюється підвищена кількість активних форм кисню (АФК). Зростання вмісту АФК призводить до оксидативного стресу. Для протидії цьому стресу у рослинній клітині існують механізми детоксикації шкідливих АФК. Ці механізми охоплюють, в першу чергу, ферменти антиоксидантного захисту, зокрема, аскорбат та гваякол пероксидази. Контактні фунгіциди впливають на антиоксидантну систему рослин. Проте роль антиоксидантних ферментів за дії системних фунгіцидів все ще нез'ясована. Тому метою нашого дослідження було вивчення ролі аскорбатпероксидази (APX) та гваякол пероксидази (POD) у відповіді модельної рослини *Arabidopsis thaliana* на вплив контактного (Медян) та системних (Стробі, Топсін М) фунгіцидів. Показано, що при використанні системних фунгіцидів Стробі та Топсін М суттєвих змін активності APX не відбувається. Натомість, у рослин, оброблених контактним фунгіцидом Медян, активність APX збільшилася на 46,3% у порівнянні з контрольними рослинами. Вимірювання активності POD показало, що застосування Стробі та Топсін М не впливає на активність цього ферменту. Проте, за дії Медяну спостерігалось суттєве зростання активності POD на 42,6%. Отже, антиоксидантна система модельної рослини *A.thaliana* по-різному реагує на обробку рослин фунгіцидами різної дії. Показано, що фунгіциди системної дії Стробі та Топсін М не викликають оксидативного стресу у рослинній клітині. Контактний фунгіцид Медян призводить до активації антиоксидантних ферментів, зокрема – APX та POD.

Ключові слова: фунгіциди, активні форми кисню (АФК), антиоксидантна система, APX, POD, *Arabidopsis thaliana*.

Вступ. Хвороби рослин призводять до зниження врожаю в середньому на 20% (Petit et al., 2012). Важливим резервом збільшення продуктивності землеробства та підвищення якості врожаю є захист рослин від грибкових хвороб. Для їх ефективного контролю широко застосовуються фунгіциди, які захищають плоді дерева, овочеві та декоративні культури. Всі фунгіциди, що випускаються сьогодні хімічною промисловістю можна розділити на дві групи – контактні та системні. Контактні фунгіциди містять сполуки міді або сірки, мають профілактичну дію, оскільки знешкоджують гриби на стадії проростання спор. Системні фунгіциди, або лікувальні, вбивають міцелій, запобігаючи його розростанню у паренхімі рослин. Серед системних фунгіцидів розповсюджені такі, що містять бензімідазоли та стробіруліни. Ефективність стробірулінів

зумовлюється їх здатністю пригнічувати дихання грибів (Petit et al., 2012).

Незважаючи на позитивну дію фунгіцидів проти грибкових захворювань, в деяких випадках спостерігається негативний вплив препаратів на ріст та розвиток рослин. Зокрема, було показано сповільнення росту, зменшення інтенсивності фотосинтезу, зниження транспірації, порушення розвитку репродуктивних органів, зміна метаболізму нітрогену та/або карбону (Petit et al., 2012). Показано також вплив фунгіцидів на ліполітичні ферменти, що грають ключову роль у зберіганні зерна (Poudel et al., 2017). Такі ефекти пов'язані, насамперед, з тим, що фунгіциди є стресовим чинником для рослин.

Загальновідомо, що за дії зовнішніх стресових факторів біотичної та абіотичної природи у рослин утворюється підвищена кількість активних форм кисню (АФК) (Das and Roychoudhury, 2014;

Foyer and Noctor, 2013). АФК у рослинній клітині взаємодіють із білками та ліпідами, окислюючи їх, що призводить до оксидативного стресу. Для протидії стресу у рослинній клітині існують механізми детоксикації шкідливих АФК. Ці механізми включають, в першу чергу, ферменти антиоксидантного захисту, зокрема, аскорбат та гваякол пероксидази. (Das and Roychoudhury, 2014; Demidchik, 2015). Відомо, що APX відіграють важливу роль в антиоксидантному захисті рослинних клітин за дії абіотичних та біотичних стресових факторів. Так, для різних видів рослин встановлено зростання активності APX за дії абіотичних стресових факторів (Pandey et al., 2017).

Класична або гваякол пероксидаза (POD) є ферментом необхідним для нормального функціонування рослинної клітини. Їх активація як відповідь на стрес – один із найважливіших процесів у формуванні й розвитку захисних реакцій у рослинних клітинах. Значне збільшення пероксидазної активності спостерігається під час водного дефіциту, механічних пошкоджень, у процесі старіння, при патогенезі, за дії високої температури (Das and Roychoudhury, 2014; Demidchik, 2015).

Існують дані стосовно впливу контактних фунгіцидів на антиоксидантну систему рослин (Ferreira et al., 2014). Проте не з'ясована роль антиоксидантних ферментів за дії системних фунгіцидів. Тому метою нашого дослідження було вивчення ролі аскорбатпероксидази (APX) та гваякол пероксидази (POD) у ранній відповіді модельної рослини *Arabidopsis thaliana* на вплив контактного (Медян) та системних (Стробі, Топсін М) фунгіцидів.

Матеріали та методи. Для дослідження використовували 5-ти тижневі рослини *Arabidopsis thaliana* екотипу Columbia 0. Рослини вирощували на суміші субстратів «Поліський. Універсальний» (рН 5,5-6,5; фракція 6-20; вміст азоту – 100-200 мг/л, фосфору – 140-260 мг/л, калію – 120-200 мг/л) та торфосумішшю «Сомро Sana. Універсальна» (рН 6,0-7,0, торф, перліт) у співвідношенні 3:1 в умовах 16-годинного світлового дня за сталої температури +20°C, при освітленні 2000 Лк та відносній вологості повітря 60-70 %.

Для того, щоб з'ясувати ранню стресову відповідь рослинної клітини на дію фунгіцидів, обробку рослин проводили за умов, що забезпечують швидке їх надходження до тканин листків. Тому для проведення стресової обробки надземну частину рослин відокремлювали від кореневої системи та місцем зрізу занурювали в розчини фунгіцидів у концентраціях, рекомендованих виробником: Медян –

1600 мкл/л H₂O; Стробі - 114,2 мг/100 мл H₂O; Топсін М - 20,8 г/100 мл H₂O. Рослини інкубували за кімнатної температури протягом 8 годин. Після закінчення тривалості стресової обробки рослини заморожували в рідкому азоті та зберігали при – 70°C для подальших досліджень. Контрольні рослини інкубували у дистильованій воді без додавання фунгіцидів. Як додатковий контроль використовували інтактні рослини, які заморожували у рідкому азоті безпосередньо після зрізання.

Для вимірювання активності ферменту готували екстракт нативних білків. Для цього заморожений рослинний матеріал гомогенізували з рідким азотом. Для екстракції білків у нативному стані використовували буфер, який складався із 50 мМ натрій-фосфату (рН=7,0), 0,25 мМ ЕДТА, 20% гліцерину, 2% полівінілпіролідону-25, 0,5 мМ аскорбату. 150 мг гомогенізованого у рідкому азоті рослинного матеріалу переносили у мікроцентрифужну пробірку та додавали 450 мкл охолодженого екстракційного буферу. Вміст проб ретельно перемішували та центрифугували на центрифугі Eppendorf Centrifuge 5415C при +4°C та 15000 g протягом 15 хвилин. Отриманий супернатант переносили у чисту мікропробірку та зберігали на льоду для подальшого визначення активності ферменту

Загальну активність аскорбат пероксидази визначали за описаним в літературі методом (Amako, 1994). Реакційна проба складалась з 1 мл буферу, що містив 25 мМ натрій-фосфатний буфер (рН 7,0), 0,1 мМ ЕДТА, 1 мМ H₂O₂, 0,25 мМ аскорбат та 25 мкл білкового екстракту. Вимірювання зміни оптичної густини проби проводили за довжини хвилі 290 нм на спектрофотометрі СФ-46. Активність ферменту виражали в мкмольах аскорбату ($\epsilon=2,8 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$) за 1 хвилину в перерахунку на 1 мг білка.

Загальну активність POD визначали спектрофотометрично вимірюванням зміни оптичної густини проби за довжини хвилі 470 нм (Amako, 1994). Реакційна проба (1 мл) містила 25 мкл білкового екстракту та 975 мкл реакційної суміші, що складалась з 25 мМ натрій-ацетатного буферу (рН 5,0), 8 мМ гваяколу та 9 мМ H₂O₂. Активність ферменту виражали в умовних одиницях як зміну оптичної густини проби за 1 хвилину в перерахунку на 1 мг білка.

Концентрацію білка у пробі визначали спектрофотометрично за методом Бредфорда (Bradford, 1976). До 10 мкл білкового екстракту додавали 990 мкл реактиву Бредфорда і перемішували. Суміш інкубували протягом 10 хв та проводили вимірювання оптичної густини за довжини хвилі 595 нм на спектрофотометрі СФ-

46. Вміст білка в досліджуваних пробах визначали за допомогою калібрувального графіка, побудованого зі стандартним розчином білка. Як стандарт використовували бичачий сироватковий альбумін.

Кожний експеримент було повторено для шести незалежно вирощених партій рослин. Кожне вимірювання проводили у трьох паралельних пробах. Статистичну вірогідність отриманих даних оцінювали з використанням двовибіркового t-критерію для залежних вибірок (Буджак, 2013).

Результати та їх обговорення. На першому етапі наших досліджень було вивчено активність

APX за впливу фунгіцидів Медян, Стробі та Топсін М у тканинах листків *A. thaliana*. Отримані дані показали (рис. 1А), що при використанні системних фунгіцидів Стробі та Топсін М не відбувалось суттєвих змін активності ферменту. Активність APX у рослин, що піддавались обробці протягом 8 годин залишалась на рівні контрольних рослин. Натомість, при застосуванні для обробки рослин *A. thaliana* контактного фунгіциду Медян, відмічено зростання активності APX на 46,3% порівняно з контрольними рослинами.

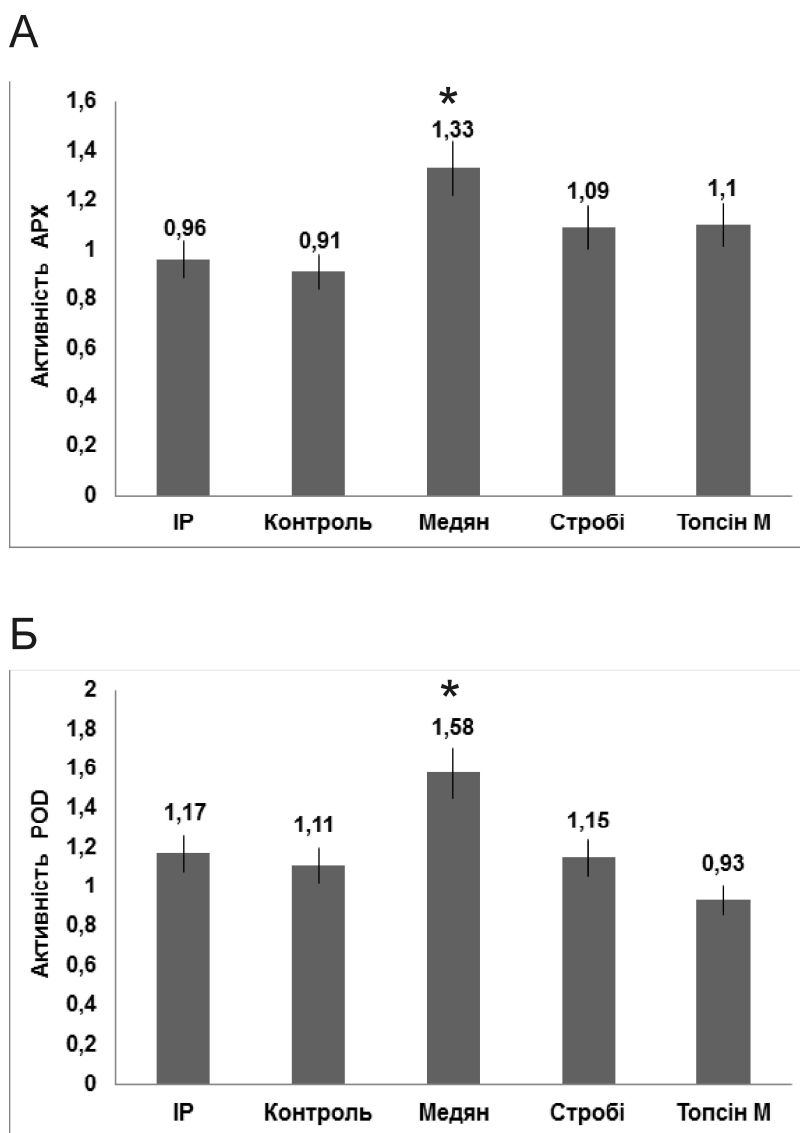


Рис. 1. Активність ($\mu\text{M}/\text{хв}/\text{мг}$ білка) APX (А) та POD (Б) у листках *Arabidopsis thaliana* за дії інсектицидів.

Нотатки: наведено середні значення, отримані для шести незалежних дослідів та їх стандартні відхилення; * – різниця між контрольними та обробленими рослинами достовірна ($p < 0,05$).

Fig. 1. Activities ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mgprotein}$) of APX (A) and POD (Б) in leaves of *Arabidopsis thaliana* after application of insecticides.

Note: average values and standard deviations obtained from six batches of plants are given; * – difference between control and treated plants is statistically significant ($p < 0,05$).

Дослідження активності іншого ферменту антиоксидантного захисту показало, що використання Стробі та Топсін М мало аналогічний вплив на POD як і на APX. Змін активності ферменту в даному випадку не спостерігалось. Проте за дії фунгіциду Медян спостерігалось суттєве зростання активності POD – на 42,6% (рис. 1Б).

Отже, отримані нами дані свідчать, що системні фунгіциди Стробі та Топсін М не впливають на активність APX та POD. Очевидно, дані фунгіциди, не призводять до утворення надмірної кількості АФК, що і не потребує активації антиоксидантної системи. Фітотоксична дія фунгіцидів, діючою речовиною яких є бензімідазол (Топсін М) була показана раніше (Petit et al., 2012), проте механізм дії в цьому випадку може бути не пов'язаний з утворенням АФК.

Було показано, що системний фунгіцид Триамідефон викликає реакцію відповідь антиоксидантної системи. Зокрема, показано, що за обробки даним фунгіцидом рослин томату *Lycopersicon esculentum* відбувалось зростання активності антиоксидантних ферментів супероксиддисмутази, каталази та поліфенолоксидази (Mohamadi and Rajaei, 2013). Триамідефон відноситься до групи тріазолів. Обробка тріазолами призводила до підвищення активності SOD, APX та CAT у порівнянні з контролем у рослин окри (Rabert et al., 2013). Очевидно, що ця діюча речовина, на відміну від використовуваного нами бензімідазолу, викликає активацію антиоксидантної системи.

Існують дані, що препарати на основі стробірулінів знижують оксидативний стрес у рослинній клітині, який виникає під час зараження патогенами. Так, було показано, що обробка рослин рису азоксистробіном сприяла збільшенню вмісту низькомолекулярного антиоксиданту відновленого глутатіону, проте активації антиоксидантних ферментів SOD, POD, APX, глутатіон пероксидази, глутатіонредуктази та глутатіон-S-трансферази не спостерігалось (Debona and Rodrigues, 2016).

У наших експериментах відмічено суттєве зростання активності обох досліджуваних ферментів APX та POD при використанні для обробки контактного фунгіциду Медян. Це, насамперед, може бути пов'язано із присутністю міді у складі препарату, яка призводить до формування АФК. Було показано, що фунгіциди на основі оксихлориду міді призводять до зростання активності SOD (Ferreira et al., 2014). Раніше у нашій лабораторії при дослідженні впливу іонів купруму на антиоксидантну систему *A. thaliana* було показано посилення

перекисного окислення ліпідів вже через 2 години після початку обробки (Доліба та ін., 2012). У випадку використання препарату Медян спостерігається зростання активності APX. Це може вказувати на те, що даний препарат стимулює антиоксидантну систему рослин, що є необхідним для стійкості проти захворювань. Активація ферментів антиоксидантної системи спостерігалась також за впливу інших фунгіцидів контактної дії, що не містять іонів купуруму. Наприклад, за впливу Манкоцебу (діюча речовина комплекс етилен-біс-дітіокарбаматів цинку та марганцю) відмічено збільшену активність APX, SOD та глутатіонредуктази та зростання вмісту тіобарбітуратактивних продуктів (ТБКАП), що свідчить про посилення окисних процесів у рослинній клітині (Majid et al., 2013). Використання контактної-системного фунгіциду Acrobat MY призводило до оксидативного стресу у *Lycopersicon esculentum*, на що вказує підвищена активність каталази у оброблених рослин (Horotan and Oancea, 2013).

Висновки. Антиоксидантна система модельної рослини *A. thaliana* по-різному реагує на обробку рослин фунгіцидами різної дії. Показано, що фунгіциди системної дії Стробі та Топсін М не викликають оксидативного стресу у рослинній клітині. Контактний фунгіцид Медян призводить до активації ферментів антиоксидантної системи, про що свідчить підвищена активність АОХ та POD.

Список літератури:

1. Буджак В.В. Біометрія / В.В. Буджак. – Чернівці: Рута, 2013. – С. 326.
2. Доліба І.М., Волков Р.А., Панчук І.І. Вплив іонів міді на перекисне окислення ліпідів у cat2 нокаутного мутанта *Arabidopsis thaliana* // Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 13-19
3. Amako K., Chen G., Asada K. Separate assays for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants // Plant Cell Physiol. – 1994. – V. 35. – P. 497-504.
4. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analyt. Biochem. – 1976. – V. 72. – P. 248-254. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3
5. Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plants // Front. Environ. Sci. – 2014. – V. 2. – P. 1-13. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053
6. Debona D., Rodrigues F. A. A Strobilurin fungicide relieves bipolaris oryzae-induced oxidative stress in Rice. Journal of Phytopathology. – 2016-. 164(9). – P. 571-581. doi: 10.1111/jph.12481
7. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology.

- Environm Exp Botany. – 2015. - 109. – P. 212-228. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
8. Ferreira L. C., Scavroni J., da Silva J. R. V., Cataneo A. C. et al. Copper oxychloride fungicide and its effect on growth and oxidative stress of potato plants // *Pesticide biochemistry and physiology*. - 2014. - 112. – P. 63-69. doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.04.010
 9. Foyer C.H., Noctor G. Redox signaling in plants Noctor // *Antioxidants Redox Signaling*. – 2013. – V. 18, No 16. – P. 2087-2090
 10. Horotan A., Oancea S. Effects of fungicide and acetylsalicylic acid treatments on the physiological and enzymatic activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) // *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*. – 2013. - 17(1). – P. 13-26. doi: 10.2478/auaft-2013-0002
 11. Majid U., Siddiqi T. O., Iqbal, M. Antioxidant response of *Cassia angustifolia* Vahl. to oxidative stress caused by Mancozeb, a pyrethroid fungicide // *Acta physiologiae plantarum*. – 2013. - 36(2). – P. 307-314. doi 10.1007/s11738-013-1411-x
 12. Mohamadi N., Rajaei, P. Effect of triamidedon fungicide on some growth parameters and antioxidant enzymes activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant under drought stress // *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. – 2013. - 1(4). – P. 341-350.
 13. Pandey S., Fartyal D., Agarwal A., Shukla T. et al. Abiotic Stress Tolerance in Plants: Myriad Roles of Ascorbate Peroxidase // *Frontiers in Plant Science*. – 2017. – Vol 8. – Article 581
 14. Petit A. N., Fontaine F., Vatsa et al. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants.// *Photosynthesis research*. – 2012. - 111(3). – P. 315-326.
 15. Poudel R., Bhatta M., Regass T., Rose D. J. Influence of foliar fungicide treatment on lipolytic enzyme activity of whole wheat // *Cereal Chemistry* – 2017. - 94(3). - P. 633-639.
 16. Rabert G. A., Rajasekar, M., Manivannan, P., Somasundaram, R., Panneerselvam R. Effect of triazole fungicide on biochemical and antioxidant enzymes activity in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plant under drought stress // *Int J Agri Food Sci*. – 2013. - 3(3). – P. 100-107.
- utilizing the principle of protein-dye binding. *Analyt. Biochem.* 1976; 72: 248-254. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3
5. Das K., Roychoudhury A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS scavengers during environmental stress in plants. *Front. Environ. Sci.* 2014; 2: 1-13. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053
 6. Debona D, Rodrigues FA A Strobilurin fungicide relieves *bipolaris oryzae* induced oxidative stress in rice. *Journal of Phytopathology*. 2016; 164(9): 571-581. doi: 10.1111/jph.12481
 7. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environm. Exp. Botany*. 2015; 109: 212-228. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
 8. Ferreira LC, Scavroni J, da Silva JRV, Cataneo AC et al. Copper oxychloride fungicide and its effect on growth and oxidative stress of potato plants. *Pesticide biochemistry and physiology*. 2014; 112: 63-69. doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.04.010
 9. Foyer CH, Noctor G. Redox signaling in plants Noctor. *Antioxidants Redox Signaling*. 2013; 18(16): 2087-2090.
 10. Horotan A, Oancea S. Effects of fungicide and acetylsalicylic acid treatments on the physiological and enzymatic activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Acta. Universitatis. Cibiniensis. Series E: Food Technology*. 2013; 17(1): 13-26. doi: 10.2478/auaft-2013-0002
 11. Majid U, Siddiqi TO, Iqbal M. Antioxidant response of *Cassia angustifolia* Vahl. to oxidative stress caused by Mancozeb, a pyrethroid fungicide. *Acta. physiologiae plantarum*. 2013; 36(2): 307-314. doi 10.1007/s11738-013-1411-x
 12. Mohamadi N, Rajaei P. Effect of Triamidedon fungicide on some growth parameters and antioxidant enzymes activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant under drought stress // *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 2013; 1(4): 341-350. doi 10.2478/auaft-2013-0002
 13. Pandey S, Fartyal D, Agarwal A, Shukla T. et al. Abiotic stress tolerance in plants: myriad roles of ascorbate peroxidase. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8: 581. doi 10.3389/fpls.2017.00581
 14. Petit AN, Fontaine F, Vatsa et al. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynthesis research*. 2012; 111(3): 315-326. doi 10.1007/s11120-012-9719-8
 15. Poudel R, Bhatta M, Regass T, Rose DJ. Influence of foliar fungicide treatment on lipolytic enzyme activity of whole wheat. *Cereal Chemistry*. 2017; 94(3): 633-639. doi 10.1094/CCHEM-11-16-0279-R
 16. Rabert GA, Rajasekar M, Manivannan P, Somasundaram R, Panneerselvam R. Effect of triazole fungicide on biochemical and antioxidant enzymes activity in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plant under drought stress. *Int. J. Agri. Food Sci*. 2013; 3(3): 100-107. doi 10.21839/jaar.2016.v1i2.25

References:

1. Budhzak VV. *Biometrics*. Chernivtsi: Ruta; 2013.
2. Doliba IM, Volkov RA, Panchuk II. Effect of copper ions on lipid peroxidation in cat2 knock-out mutant of *Arabidopsis thaliana*. *The Bulletin of Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine*. 2012; 10(1): 13–19.
3. Amako K, Chen G, Asada K. Separate assays for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. *Plant Cell Physiol*. 1994; 35: 497-504. doi 10.1093/oxfordjournals.pcp.a078621
4. Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein

EFFECTS OF FUNGICIDES ON ACTIVITY OF PEROXIDASES

T.A. Zavorotna, S.S. Rudenko, I.I. Panchuk

*Fungicides that effectively protect fruit trees, vegetable and decorative plants are widely used to control fungal diseases of important agricultural crops. All fungicides are divided into two - contact and systemic - groups. Contact fungicides contain compounds of copper or sulfur, which have a prophylactic effect. Systemic or therapeutic fungicides kill the mycelium, preventing its growth in the parenchyma of plants. Widely used systemic fungicides contain benzimidazoles and strobirulins. Although fungicides demonstrate the positive effects against fungal diseases, in some cases the negative effects of these compounds on plant growth and development were found. These effects are primarily due to the fact that fungicides represent a stress factor for plants. Under the action of stress factors, an increased amount of reactive oxygen species (ROS) is generated in plants. The increase of ROS content in the plant cell leads to oxidative stress. To counteract this stress, the mechanisms of harmful ROS detoxification are present in the plant cell. These mechanisms include, first of all, the antioxidant enzymes, like ascorbate and guaiacol peroxidases. Contact fungicides affect the antioxidant system of plants. However, the role of antioxidant enzymes in the action of systemic fungicides has not been clarified. Therefore, the aim of our study was to investigate the role of ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (POD) in the response of the model plant *Arabidopsis thaliana* to the treatment by contact (Median) and systemic (Strobi, Topsin M) fungicides. It was found that after application of systemic fungicides Strobi and Topsin M no significant changes of APX activity occur. In contrast, in the plants treated with contact fungicide Median, APX activity increased by 46.3% compared to the control plants. Evaluation of POD activity revealed that the application of Strobi and Topsin M does not affect the activity of this enzyme. However a significant increase of POD activity by 42.6% was observed after the treatment with Median. Thus, the antioxidant system of the model plant *A. thaliana* specifically responds to the treatment of plants with different fungicides. It was shown that fungicides of systemic action like Strobi and Topsin M do not cause oxidative stress in plant cell. The contact fungicide Median leads to the activation of antioxidant enzymes, such as APX and POD.*

Keywords: fungicide, reactive oxygen species (ROS), antioxidant system, APX, POD, Arabidopsis thaliana.

Отримано редколегією 10.12.2018