

ВПЛИВ ФУНГІЦИДІВ

на фізіолого-біохімічний стан рослин люпину за протруєння насіння

Мета. Оцінити вплив фунгіцидів на вміст хлорофілу та активність антиоксидантних ферментів (пероксидаза, каталаза) у рослинах люпину за протруєння насіння. **Методи.** Лабораторні й вегетаційні дослідження проводили в лабораторії аналітичної хімії пестицидів Інституту захисту рослин НААН. Насіння люпину жовтого (*Lupinus luteus* L., сорт Обрій) протруювали комбінованими фунгіцидами з різних хімічних класів: триазоли (ципроконазол, дифеноконазол, тебуконазол, протіконазол), фенілпіроли (флудиоксоніл), карбоксаміди (карбоксин), дитіокарбамати (тирам). Вміст фунгіцидів у рослинах визначали, використовуючи хроматографічні методи аналізу. Вміст хлорофілу, активність пероксидази та каталази визначали фізико-хімічними методами за загальноприйнятими методиками. **Результати.** Фунгіциди активували антиоксидантні системи рослин, залежно від їх фізико-хімічних властивостей (зокрема коефіцієнта розподілу октанол-вода K_{ow}) та вмісту в рослинах (С, мг/кг). Встановлено зростання пероксидазної активності (до 89% щодо контролю) впродовж 30-ти діб, що свідчить про активацію антиоксидантних процесів, спрямованих на підтримання окиснювального гомеостазу в рослинах. Зміна активності каталази під впливом фунгіцидів обернено пропорційно корелювала з активністю пероксидази, що пояснюється формуванням адапційних механізмів гомеостазу АФК. Висока, порівняно з каталазою, активність пероксидази свідчить про вагомий роль цього ферменту в окисно-відновних реакціях стійкості рослин за впливу фунгіцидів. Загальний вміст хлорофілу за дії фунгіцидів зростав на 6–20%, порівняно із контролем. **Висновки.** Протруєння насіння фунгіцидами

О.І. БОРЗИХ,
доктор сільськогосподарських наук,
академік НААН

О.В. ЦУРКАН,
кандидат сільськогосподарських наук

Л.М. ЧЕРВ'ЯКОВА,
кандидат сільськогосподарських наук

Т.П. ПАНЧЕНКО,
кандидат сільськогосподарських наук
Інститут захисту рослин НААН,
вул. Васильківська, 33, м. Київ,
03022, Україна
e-mail: lac_ipr@ukr.net

впливає на перебіг окисно-відновних реакцій у рослинах, викликаючи зміни активності ключових ферментів. Висока активність пероксидази на тлі коливань каталазної активності свідчить про пряму дію фунгіцидів на стан антиоксидантних систем та важливу роль пероксидази в підтриманні гомеостазу АФК. Встановлено стимулюючий вплив фунгіцидів на накопичення хлорофілу на початкових етапах росту рослин люпину, вміст якого за фазами розвитку перевищував показник контролю на 6–20%. Зміни активності антиоксидантних ферментів (каталази та пероксидази) та вмісту хлорофілу можуть слугувати критеріями для визначення рівнів адаптованості рослин люпину до впливу стресової дії фунгіцидів.

фунгіциди; протруйники; пероксидаза; каталаза; хлорофіл

Сучасні технології вирощування зернобобових культур потребують таких систем захисту від хвороб, які здатні своєчасно і надійно контролювати їхній розвиток та забезпечувати реалізацію генетичного потенціалу сорту/гібриду на усіх етапах росту і розвитку культурних рослин. Протруєння насіння фунгіци-

дами є обов'язковим методом, оскільки дає можливість захистити рослини на ранніх етапах органогенезу. Фунгіциди є фізіологічно активними речовинами, тому окрім своєї прямої дії — захисту сільськогосподарських культур від збудників хвороб, діють і на саму рослину, впливаючи на метаболізм, фізіологічний та біохімічний статус рослин, залежно від властивостей та дози застосування [1].

Пестициди, проникаючи в клітини рослин, можуть впливати на окиснювальну модифікацію білків, нуклеїнових кислот, окиснення ліпідів тощо. Загальною реакцією рослин на дію несприятливих чинників навколишнього середовища (посуха і засолення, низькі і високі температури, вплив важких металів, пестицидів, ураження фітопатогенами) є утворення активних форм кисню (АФК), які розглядаються водночас і як маркери стресового стану, і як сигнальні посередники (інтермедіати), необхідні для розвитку адаптивної відповіді. Захист рослин від деструктивної дії надлишку АФК відбувається за участю ферментативних та неферментативних систем, які забезпечують механізми антиоксидантного захисту рослин та підтримання функціональної активності клітини. Основними компонентами ферментативної системи є супероксиддисмутаза, каталаза, пероксидази та ін. Їхня активність контролюється генетично і суттєво варіює у різних видів рослин і навіть в окремих сортів одного і того ж виду [2–4].

У джерелах літератури наведено суперечливі дані щодо впливу фунгіцидів на активність антиоксидантних ферментів у рослинних клітинах: з одного боку є інформація, що засвідчує зростання ка-

талазної, пероксидазної та супер-оксиддисмутазної активності при застосуванні фунгіцидів з класів триазоли та стробілурини [5, 6], з іншого — є результати досліджень про відсутність активації ферментів антиоксидантної системи за їх застосування [7, 8]. Динаміка змін оксидазної активності — неспецифічне явище, однак відображає всі процеси, пов'язані з накопиченням АФК, і є індикатором фізіолого-біохімічного стану рослин, стійкості до впливу біотичних та абіотичних факторів.

Одним з важливих критеріїв оцінки реакцій рослинного організму на стресори різної природи, у т.ч. пестициди, може також слугувати стан пігментного комплексу, оскільки надлишок АФК може призводити до низки деструктивних процесів: фотоокиснення хлорофілу, перекисного окиснення ліпідів та сульфгідрильних груп білків хлоропластних мембран, порушення структури хлоропластної ДНК тощо [9—12]. Крім того пігменти рослин також є одним із дієвих механізмів протидії фітотоксичним впливам на клітинному рівні, тому динаміка зміни їх вмісту є одним із показників фізіологічного стану рослин, характеристикою фотосинтетичної активності та потенційної здатності сільськогосподарських культур рослин формувати врожай [13, 14]. В літературі є дані як про позитивний [15], так і про негативний [16] вплив фунгіцидів на фотосинтетичний апарат рослин. Позитивний вплив фунгіцидів на пігментний комплекс рослин розглядається вченими з позиції їх стимулюючої дії на процеси синтезу пігментів та формування світлопоглинального комплексу, а також захисної дії цих сполук від передчасного руйнування хлорофілів [17].

Нині питання механізму впливу фунгіцидів на антиоксидантний метаболізм, вміст фотосинтетичних пігментів і їхню роль у визначенні рівня такого впливу на продуктивність сільськогосподарських культур активно вивчається та дискутується [18—21], проте окремі аспекти фізіолого-біохімічних змін залишаються

нез'ясованими і потребують подальших детальних досліджень.

Метою досліджень була оцінка впливу фунгіцидів на вміст хлорофілу та активність оксидоредуктазних ферментів (пероксидаза, каталаза) в рослинах люпину за протруєння насіння.

Методика досліджень. Лабораторні і вегетаційні дослідження проводили в лабораторії аналітичної хімії пестицидів Інституту захисту рослин НААН. Насіння люпину жовтого (*Lupinus luteus* L., сорт Обрій) протруювали комбінованими фунгіцидами різних хімічних класів (триазоли, фенілпіроли, карбоксаміди, дитіокарбамати) за варіантами:

1. Контроль (без обробки);
2. Карбоксин, н.в. 500 г/т + тирам, н.в. 500 г/т;
3. Ципроконазол, н.в. 13 г/т + флудіоксоніл, н.в. 38 г/т;
4. Ципроконазол, н.в. 9 г/т + дифеноконазол, н.в. 45 г/т;
5. Протіоконазол, н.в. 50 г/т + тебуконазол, н.в. 30 г/т.

Дослідження проводили протягом квітня — травня з дотриманням вимог вегетаційного методу. Рослини вирощували в пластикових посудинах (грунт сірий опідзолений з вмістом гумусу 2,2%, рН 6,1) за природного освітлення і температури. Повторність дослідів чотириразова. Досліди повторювали двічі. Відбори зразків рослин здійснювали з інтервалом 5 діб (після появи сходів).

Вміст фунгіцидів у рослинах

визначали з використанням Алгоритму хіміко-аналітичного моніторингу пестицидів [22]. Визначення вмісту хлорофілу, активності пероксидази (КФ. 1.11.1.7) проводили колориметрично, каталази (КФ.1.11.1.6) — титриметрично за загальноприйнятими методиками [23, 24]. Статистичну обробку одержаних даних здійснювали методами дисперсійного аналізу з використанням Microsoft Office Excel.

Результати досліджень. Характер впливу діючих речовин на інтенсивність фізіолого-біохімічних процесів в цілому, та активність ензиматичних систем антиоксидантного захисту (каталази, пероксидази) зокрема, визначається їх фізико-хімічними властивостями (за величиною коефіцієнта гідрофобності $\log K_{ow}$) та вмістом у рослинах (С, мг/кг). Вміст фунгіцидів у рослинах зменшується протягом вегетаційного періоду і залежить від норми їх застосування, що зумовлює початкову кількість (вихідний токсичний потенціал) пестициду (рис. 1).

За результатами досліджень зафіксовано різну чутливість пероксидази стосовно досліджуваних фунгіцидів. На 10-ту добу після сівби (фаза сходів) у варіантах із застосуванням комбінацій діючих речовин на основі триазолу: дифеноконазол + ципроконазол (вміст у рослинах 0,58 мг/кг + 0,28 мг/кг) та протіоконазол

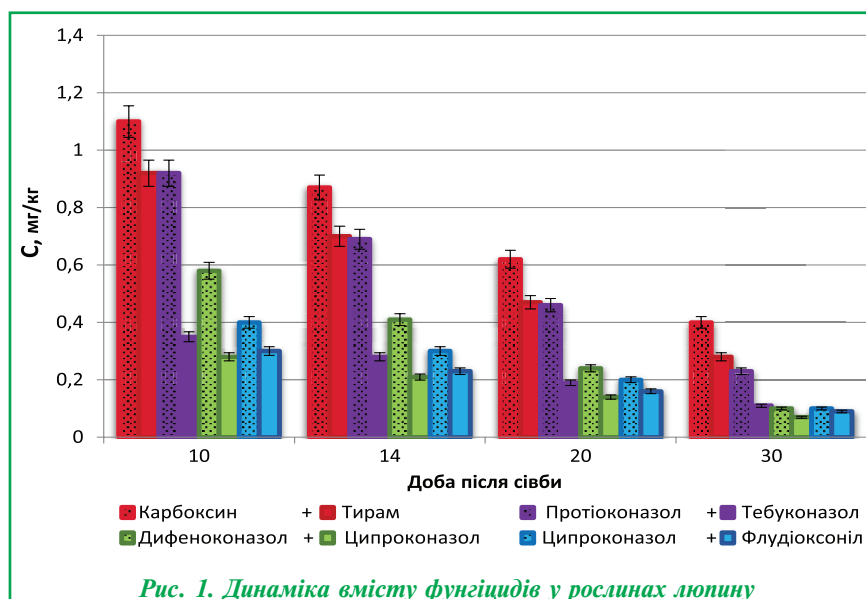


Рис. 1. Динаміка вмісту фунгіцидів у рослинах люпину

+ тебуконазол (0,92 мг/кг + 0,35 мг/кг) активність пероксидази була найвищою — 13% та 17% щодо контролю відповідно (рис. 1, 2). Тоді як за застосування комбінації ципроконазолу з флудіоксонілом (клас фенілпіроли) активність ферменту була на 15% нижче контролю. Такий різноспрямований регуляторний ефект може бути зумовлений як хімічним класом сполук, так і особливостями процесів їх транслокації і трансформації в рослинах. Отримані результати підтверджують встановлені закономірності [25].

Існує припущення, що величина поглинання діючих речовин під час проростання насіння прямо пропорційно корелює з ліпофільністю сполук (за величиною $\log K_{ow}$) [26]. Відповідно, триазоли ципроконазол, протіоконазол, дифеноконазол та тебуконазол, як ліпофільні ($\log K_{ow}$ 3,09—4,4), розчинні у воді сполуки (15—300 мг/л), добре сорбуються насінням і транслокуються акропетально (системна дія). Тоді як флудіоксоніл, як ліпофільна сполука ($\log K_{ow}$ 4,12), добре сорбується насінням, однак через слабку розчинність у воді (1,8 мг/л) дуже повільно рухається по судинній системі рослини, тому проявляє незначний стресовий вплив у цей же період часу. При застосуванні комбінації карбоксин (клас карбоксаміди) + тирам (клас дитіокарбамати), незважаючи на значну норму застосування,

їх вміст на 10-ту добу після сівби становить 1,1 мг/кг та 0,92 мг/кг, відповідно, при цьому активність пероксидази на варіанті лише на 5% перевищувала контроль: карбоксин ($\log K_{ow}$ 2,3) — локально проникає в насіння, малорухомий у рослині; тирам ($\log K_{ow}$ 1,73) — майже не проникає в насіння, практично не розчинний у воді, чим і можна пояснити зафіксований незначний вплив на активність ферменту.

До фази 3—4 листків (20-та доба) активність ферменту в рослинах на усіх варіантах поступово зростала, в середньому, у 1,2—1,4 раза, що може бути зумовлене збільшенням синтезу ферменту *de novo*, змінами співвідношення між ізоформами пероксидази та/або накопиченням субстратів ферменту, які індукують його синтез. Стрімке і суттєве підвищення активності ферменту у варіанті ципроконазол + флудіоксоніл (98% до контролю) порівняно з варіантом ципроконазол + дифеноконазол (30% до контролю), може свідчити про накопичувальний пролонгований стресовий вплив власне флудіоксонілу. До 30-ї доби (фаза 7—8 листків), на фоні зменшення початкового вмісту фунгіцидів у 3—6 разів, активність пероксидази на усіх варіантах знижувалася, порівняно з попередньою фазою досліджень, однак перевищувала відповідний показник контролю на 11—35%, отже, обробка насіння досліджуваними фунгіци-

дами індукує достатньо високий рівень активності пероксидази впродовж 30-ти діб, що свідчить про активацію антиоксидантних процесів, спрямованих на підтримання окиснювального гомеостазу в клітинах рослин.

Зміна активності каталази, яка, як правило, обернено пропорційно корелює з активністю пероксидази, під впливом досліджуваних фунгіцидів значно відрізнялася за варіантами. Максимальну активність ферменту на 10-ту добу після сівби фіксували у варіанті із застосуванням комбінації дифеноконазол + ципроконазол (46% до контролю), тоді як у решти варіантів активність каталази була на 13—31% нижчою рівня контролю (рис. 3).

У подальшому, при застосуванні комбінації ципроконазол + дифеноконазол протягом двох декад спостерігалася тенденція до стійкого зниження активності ферменту, що ймовірно свідчить про зміщення прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в напрямі посилення генерації АФК у формі перекисів. У варіанті ципроконазол + флудіоксоніл максимальну активність каталази (36% до контролю), як і пероксидази, фіксували на 20-ту добу, що може свідчити про синергізм дії цих ферментів у процесі детоксикації надлишку АФК. До 30-ї доби активність ферменту знижувалася до рівня контролю, що ймовірно, пояснюється тим, що за цей період відбулась стабілізація детоксикаційних процесів, у результаті чого знизилась кількість утворюваних АФК. Низька активність каталази (на 13—50% нижче контролю) протягом 20-ти діб при застосуванні комбінації тебуконазол + протіоконазол може бути зумовлена конкурентною дією пероксидази, активність якої в цей період зростала. У варіанті карбоксин + тирам до 14-ї доби активність каталази зростала, проявляючи певний синергізм з пероксидазою, а подальші зміни можна пояснити «антагонізмом» пероксидази та формуванням адаптаційних механізмів для підтримки гомеостазу АФК.

Результати досліджень свідчать,

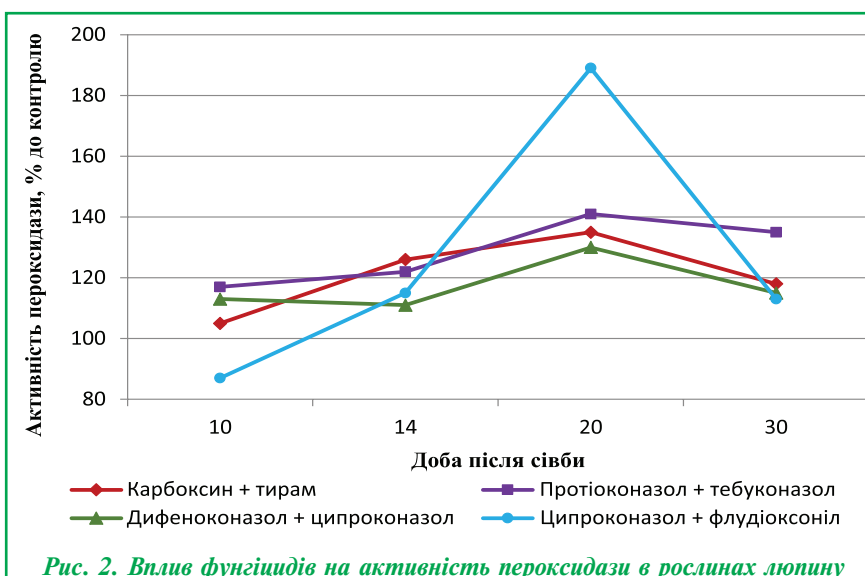


Рис. 2. Вплив фунгіцидів на активність пероксидази в рослинах люпину

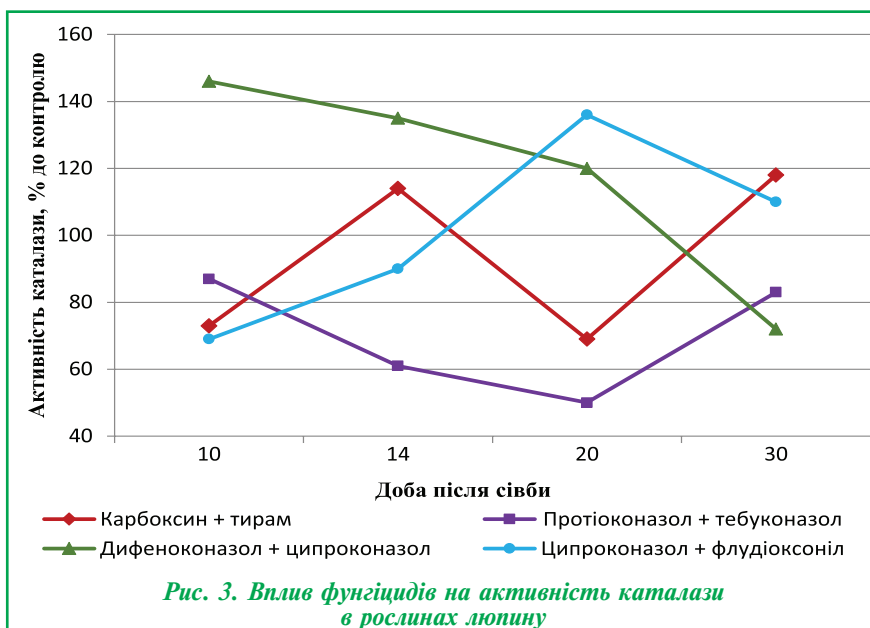


Рис. 3. Вплив фунгіцидів на активність каталази в рослинах люпину

що досліджувані фунгіциди зумовлювали різний ступінь активації антиоксидантної системи, що визначало різний рівень пероксидазної та каталазної активності в рослинах. Висока активність пероксидази, порівняно з каталазою протягом 30-ти діб після сівби, свідчить про вагомую роль цього ферменту в окисно-відновних реакціях стійкості рослин за впливу фунгіцидів, що підтверджується даними літератури [18].

Важливим показником, який відображає потужність розвитку фотосинтетичного апарату, є вміст хлорофілу. Загальний вміст пластидних пігментів суттєво залежав від періоду вегетації культури: від $1,07 \pm 0,03$ — $1,22 \pm 0,04$ мг/г на 10-ту добу (фаза сходів) до $4,69 \pm 0,12$ — $5,77 \pm 0,11$ мг/г — на 30-ту добу (фаза 7—8 листків). За протруювання насіння люпину комбінаціями на основі триазолів: протіоконазол + тебуконазол, ципроконазол + дифеноконазол та ципроконазол + флудіоксоніл вміст хлорофілу в листках на 10-ту добу перевищував контроль відповідно на 6%, 9 та 14% (рис. 4). До 30-ї доби вміст зелених пігментів поступово зростав і перевищував відповідний показник контролю на 16%, 19 та 20%, відповідно. За застосування комбінації карбоксин + тирам вміст хлорофілу за фазами розвитку перевищував контроль на

12—9%, причому, починаючи з 14-ї доби спостерігалася тенденція до зниження його вмісту.

У дослідженнях D. Radzikowska et. al. [27] зафіксовано зростання інтенсивності фотосинтезу та ефективності фотохімічних реакцій за протруєння насіння ячменю ярого флудіоксонілом, тритіконазолом, комбінацією тебуконазолу та протіоконазолу. Дані В.Г. Кур'ята свідчать, що за обробки овочевих пасльонових культур тебуконазолом відбувається перебудова мезоструктури листків та збільшення вмісту хлорофілів [28]. У роботі E. Yüzbaşıoğlu встановлено, що обробка томатів тирамом сприяла зростанню активності пероксидази, каталази та вмісту хлорофілу [29].

Отже, дані літературних джерел підтверджують одержані нами результати стимулюючого впливу фунгіцидів на активність антиоксидантних ферментів (пероксидаза, каталаза) та вміст хлорофілу, причому ступінь цього прояву відрізнявся за варіантами, залежно від характеру впливу діючих речовин.

ВИСНОВКИ

Протруювання насіння фунгіцидами впливає на перебіг окисно-відновних реакцій у рослинах, викликаючи зміни активності ключових ферментів. Висока активність пероксидази на тлі коливань каталазної активності свідчить про пряму дію фунгіцидів на стан антиоксидантних систем та важливу роль пероксидази в підтриманні гомеостазу АФК. Встановлено стимулюючий вплив фунгіцидів на накопичення хлорофілу на початкових етапах росту рослин люпину, вміст якого за фазами розвитку перевищував показник контролю на 6—20%. Зміни активності антиоксидантних ферментів (каталази та пероксидази) та вмісту хлорофілу можуть слугувати критеріями для визначення рівнів адаптованості рослин люпину до впливу стресової дії фунгіцидів.

Фінансування: дослідження виконували в рамках завдання 24.05.01.04.П «Наукове обґрунтування екологічно безпечного застосування хімічного захисту культур в агротехнологіях іх

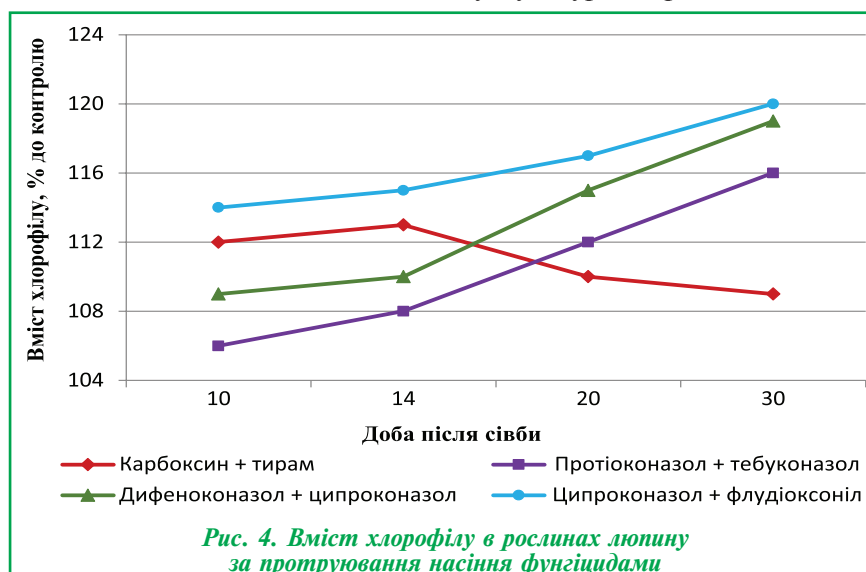


Рис. 4. Вміст хлорофілу в рослинах люпину за протруювання насіння фунгіцидами

виращування» ПНД 24 «Захист рослин».

Конфлікт інтересів: автори декларують про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Коць С.Я., Павлице А.В. Використання фунгіцидів в інтегрованих системах захисту рослин та їх вплив на фізіолого-біохімічні процеси за інюкуляції її насіння бульбочковими бактеріями. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 1. С. 3–28. <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.003>
2. Колунаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода, антиоксиданты и устойчивости растений к действию стрессоров. Киев: Логос, 2019. 277 с.
3. Demidchik V. Mechanism of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Volume 109. P. 212–228. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021>
4. Колунаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Активные формы кислорода и стрессовый сигналинг у растений. *Ukrainian biochemical journal*. 2014. Vol. 86. № 4. С. 18–35. http://nbuv.gov.ua/UJRN/BioChem_2014_86_4_4
5. Yue-Xuan Wu, Andreas von Tiedemann. Physiological Effects of Azoxyrobin and Epoxiconazole on Senescence and the Oxidative Status of Wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2001. 71(1). P. 1–10. DOI:10.1006/pest.2001.2561.
6. Esteves Amaro A.C., Pereira Ramos A.R., Macedo A.C. et. al. Effects of the fungicides azoxystrobin, pyraclostrobin and boscalid on the physiology of Japanese cucumber. *Scientia Horticulturae*. 2018. Volume 228. P. 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.016>
7. Заворотна Т.А., Руденко С.С., Панчук І.І. Вплив фунгіцидів на активність пероксидаз у *Arabidopsis thaliana*. *Біологічні системи*. 2018. Т. 10. Вип. 2. С. 119–124. <https://doi.org/10.31861/biosystems2018.02.119>
8. Debona D., Rodrigues F. A. A Strobilurin fungicide relieves Bipolaris oryzae-induced oxidative stress in rice. *Journal of Phytopathology*. 2016. Volume 164. Issue 9. P. 571–581. DOI:10.1111/jph.12481
9. Dehshiri O., Paknyat H. Evaluation of Oilseed Rape Genotypes (*Brassica napus* L.) Based on Chlorophyll and Carotenoids Contents and Antioxidant Enzymes under Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Production and Processing*. 2014. 3 (10), P. 69–77.
10. Souahi H. Impact of lead on the amount of chlorophyll and carotenoids in the leaves of *Triticum durum* and *T. aestivum*, *Hordeum vulgare* and *Avena sativa*. *Biosystems Diversity*. 2021. 29(3), P. 207–210. doi:10.15421/012125
11. R. Esteban, O. Barrutia, U. Artetxe et al. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist*. 2015. Volume 206. P. 268–280. doi: 10.1111/nph.13186.
12. Ashraf M., Harris P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 2013. 51(2) P. 163–190. DOI: 10.1007/s11099-013-0021-6
13. Serrano I., Audran C., Rivas S. Chloroplasts at work during plant innate immunity. *Journal of Experimental Botany*. 2016. Vol. 67. No. 13. P. 3845–3854, doi:10.1093/jxb/erw088
14. Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell & Environment*. 2010. 33 (4), P. 453–467. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x
15. Rajasekar M., Rabert G.A., Manivanan P. The effect of triazole induced photosynthetic pigments and biochemical constituents of *Zea mays* L. (Maize) under drought stress. *Applied Nanoscience*. 2016. Volume 6, P. 727–735. <https://doi.org/10.1007/s13204-015-0482-y>
16. Petit A.-N., Fontaine F., Vatsa P. et al. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. *Photosynth Res*. 2012. Volume 111. P. 315–326. DOI:10.1007/s11120-012-9719-8
17. Михальська Л.М., Санін О.Ю., Третяков В.О. Вплив елементів живлення та фунгіцидів на вміст хлорофілу в листках високопродуктивних сортів пшениці озимої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. Т. 52. № 6. С. 538–549. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2020.06.538>
18. Shahid M., Ahmed B., Zaidi A., Khan M. S. Toxicity of fungicides to *Pisum sativum*: a study of oxidative damage, growth suppression, cellular death and morpho-anatomical changes. *RSC Adv*. 2018. 8(67). P. 483–498. doi: 10.1039/c8ra03923b
19. Dias M.C. Phytotoxicity: An Overview of the Physiological Responses of Plants Exposed to Fungicides. *Journal of Botany*. 2012. vol. 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/135479>
20. Gurpreet Singh, Harkamal Kaur Sahota. Impact of benzimidazole and dithiocarbamate fungicides on the photosynthetic machinery, sugar content and various antioxidative enzymes in chickpea. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2018. Volume 132. P. 166–173. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.09.001
21. Liu R., Li J., Zhang L. et al. Fungicide Difenoconazole Induced Biochemical and Developmental Toxicity in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*. 2021. Volume 10. P. 2304. <https://doi.org/10.3390/plants10112304>
22. Борзих О.І., Панченко Т.П., Черв'якова Л.М., Гаврилюк Л.Л. Алгоритм хіміко-аналітичного моніторингу пестицидів (Методичні рекомендації). 2020. <https://doi.org/10.36495/UDC631.95alhortym/IZR2020>
23. Починок Х.Н. Методи біохімічного аналізу рослин. Київ: Наукова думка, 1976. 336 с.
24. Агрохімічний аналіз; за ред. М.М. Горднього. Київ: Арістей, 2005. 468 с.
25. Борзих О.І., Цуркан О.В., Черв'якова Л.М., Панченко Т.П. Вплив фунгіцидів на ферментативну активність антиоксидантної системи та вміст хлорофілу в рослинах люпину за протруєння насіння. *Карантин і захист рослин*. 2020. (7–9). С. 3–6. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.7-9.3-6>
26. Fadel Sartori F., Floriano Pimpinato R., Tornisiolo V.L. et al. Soybean seed treatment: how do fungicides translocate in plants? *Pest Management Science*. 2020. Volume 76. Issue 7. P. 2355–2359. <https://doi.org/10.1002/ps.5771>
27. Radzikowska D., Grzanka M., Kowalczycki P.L. et al. Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. *Agronomy*. 2020. V. 10 (5). P. 731. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050731>
28. Kuryata V.H., Rogach V.V., Buina O.I. et al. Impact of gibberelic acid and tebuconazole on formation of the leaf system and functioning of donor — acceptor plant system of solanaceae vegetable crops. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. 8(2). P. 162–168. <https://doi.org/10.15421/021726>
29. Yüzbasioglu E. Effect of fungicide pre-treatment on lipid peroxidation, antioxidant enzyme systems and proline accumulation in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) leaves under high temperature stress. *Turkish Journal of Botany*. 2020. Vol. 44. No. 6. Article 2. P. 604–617. <https://doi.org/10.3906/bot-2004-79>

Borzykh O.,

ORCID: 0000-0002-9802-5622

Tsurkan O.,

ORCID 0000-0003-3370-5229

Chervyakova L.,

ORCID 0000-0002-2311-9237

Panchenko T.

ORCID 0000-0002-2860-6464

Institute of Plant Protection of NAAS,

33, Vasylkivska str., Kyiv, 03022, Ukraine

e-mail: lac_ipp@ukr.net

The effect of fungicides on the physiological and biochemical state of lupine plants after seed treatment

Goal. To assess the effect of fungicides on the content of chlorophyll and the activity of antioxidant enzymes (peroxidase, catalase) in lupine plants after seed treatment. **Methods.** Laboratory and vegetation studies were carried out in the laboratory of analytical chemistry of pesticides of pesticides of the Institute of Plant Protection. The seeds of yellow lupine (*Lupinus luteus* L., variety Obriy) were treated with combined fungicides from different chemical classes: triazoles (cyproconazole, difenoconazole, tebuconazole, prothioconazole), phenylpyrroles (fludioxonil), carbamides (carboxin), dithiocarbamates (thiram). Determination of the content of fungicides in plants was carried out using chromatographic methods of analysis. Chlorophyll content, peroxidase and catalase activity were determined by physicochemical methods according to generally accepted methods. **Results.** Fungicides activated the antioxidant systems of plants, depending on their physicochemical properties (in particular, the octanol-water partition coefficient *Kow*) and their content in plants (C, mg/kg). An increase in peroxidase activity (up to 89% compared to the control) was established within 30 days, which indicates the activation of antioxidant processes aimed at maintaining oxidative homeostasis in plants. The change in catalase activity under the influence of fungicides was inversely correlated with peroxidase activity, which is explained by the formation of adaptive mechanisms of ROS homeostasis. The high activity of peroxidase, compared to catalase, testifies to the important role of this enzyme in the redox reactions of plant resistance under the influence of fungicides. The total chlorophyll content under the action of fungicides, increased by 6–20%, compared to the control. **Conclusions.** Seed treatment with fungicides affects the course of redox reactions in plants, causing changes in the activity of key enzymes. The high activity of peroxidase against the background of fluctuations in catalase activity indicates the direct effect of fungicides on the state of antioxidant systems and the important role of peroxidase in maintaining ROS homeostasis. The stimulatory effect of fungicides on the accumulation of chlorophyll at the initial stages of growth of lupine plants was established, the content of which exceeded the control indicator by 6–20% by development phase. Changes in the activity of antioxidant enzymes (catalase and peroxidase) and the content of chlorophyll can serve as criteria for determining the levels of adaptation of lupine plants to the stress effect of fungicides.

fungicides; seed treatment; peroxidase; catalase; chlorophyll

Надійшла до редакції: 01.02.2023

Прийнята до друку: 15.02.2023

Надруковано й опубліковано онлайн:

березень 2023