

В.Р. ГАЩИШИН, О.І. ПАЦУЛА, О.І. ТЕРЕК
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005, Україна
vira_b87@ukr.net

ВПЛИВ ІОНІВ ЦИНКУ Й МІДІ ТА ТРЕПТОЛЕМУ НА ВМІСТ ПЕРОКСИДУ ВОДНЮ Й АКТИВНІСТЬ КАТАЛАЗИ ТА ПЕРОКСИДАЗИ РОСЛИН *BRASSICA NAPUS L.*

Ключові слова: Brassica napus, пероксид водню, пероксидаза, каталаза, іони важких металів

Вступ

Дія біотичних й абіотичних стресорів спричиняє зростання вмісту високоактивних кисневих похідних у рослинному організмі, яке визначають поняттям оксидантний стрес [15, 23]. У процесі послідовного відновлення молекулярного кисню до H_2O утворюються проміжні продукти – O_2^- , HO^- та H_2O_2 , які є потенційно токсичними, оскільки відносно активніші, ніж O_2 [11]. Активні форми кисню (АФК) можуть призводити до неспецифічного окиснення протеїнів та мембранних ліпідів або пошкоджувати ДНК. Тканини, пошкоджені внаслідок оксидативного стресу, як правило, містять підвищені кількості малонового діальдегіду [2] та характеризуються підвищеним рівнем виділення етилену [8].

Показано, що АФК відіграють важливу роль у системах захисту рослин від патогенів, є маркерами таких етапів розвитку, як формування елементів трахеїд, лігніфікації та інших процесів утворення поперечних зшивок у клітинних стінках, програмованої загибелі клітин, а також діють як сигнальні молекули в регуляції генної експресії [8, 13]. Завдяки цим численним функціям активованого кисню клітини мають строго контролювати рівень АФК, проте цілковито їх не елімінувати. Такий контроль досягається за допомогою антиоксидантних систем, які містять метаболіти (аскорбат, глутатіон, токоферол) і ферменти (супероксиддисмутазу, пероксидази та каталазу) [11, 24, 26].

Загальне забруднення навколишнього середовища внаслідок антропогенного впливу загостило проблему адаптації та стійкості рослин, яка стала однією з головних у фізіології рослин [21]. Для зниження дії стресових чинників природного й антропогенного походження використовують регулятори росту рослин, які мають властивості адаптогенів.

На особливу увагу заслуговують препарати, створені в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України на основі N-окиснених піридинових сполук [17], зокрема трептолему: комплекс 2,6-диметилпіридин-1-оксид із бурштиною кислотою – 50 г/л та Емістиму С – 1,0 г/л (ІБОНХ НАНУ, МНТЦ «Агробіотех», ЗАТ «Високий урожай») [6]. Рекомендований до використання

на соняшнику та ріпаку для допосівної обробки насіння та обприскування посівів, трептолем збільшує врожай насіння, вміст у ньому олії, знижує захворюваність рослин на гнилі, підвищує їхню стійкість до стресових чинників [22].

У літературі ми знайшли небагато досліджень механізмів адаптивної дії на рослину регуляторів росту за впливу важких металів, але дані стосовно можливості використання препарату трептолему для підвищення стійкості рослин ріпаку за цих умов цілком відсутні.

Таким чином, нашою метою було дослідження динаміки вмісту пероксиду водню та активності каталази і пероксидази у рослин ріпаку за сумісного впливу іонів важких металів і трептолему.

Матеріали та методи дослідження

Досліджувалися рослини ріпаку (*Brassica napus* L.) сорту Микитинецький. Насіння пророщували на дистильованій воді та розчині трептолему в концентрації 1 мл/л. Відтак тридобові проростки пересаджували на середовище Хогланда–Арнона, що містило цинк (10^{-3} М) і купрум (10^{-5} М) сульфати. Контролем слугували рослини, вирощені на розчині Хогланда–Арнона. Рослини вирощували в теплиці в контрольованих умовах за природного освітлення. Аналізували рослини на 7 та 21 добу росту на розчинах.

Для визначення концентрації пероксиду водню рослинний матеріал гомогенізували та екстрагували 50 мМ калійфосфатним буфером (рН 7,0). Гомогенат центрифугували 25 хв за 7000 об./хв. Далі відбирали 3 мл супернатанту і додавали 1 мл 0,1 % $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$. Настоювали 20 хв, після чого знову центрифугували 15 хв за 7000 об./хв. Інтенсивність забарвлення визначали при 410 нм. За контроль брали суміш, що містила 3 мл буферу і 1 мл дистильованої води. Вміст пероксиду водню встановлювали за калібрувальною кривою. Виразили вміст H_2O_2 у мкмоль/г сирової речовини [25].

Для визначення активності каталази рослинний матеріал екстрагували у 0,05 М трис-НСІ буфері (рН 7,8). Гомогенат центрифугували протягом 15 хв за 3000 об./хв. Активність ферменту визначали спектрофотометрично з використанням 4% розчину молібдату амонію за довжини хвилі 410 нм. Знайдену активність виражали у мкмоль/мг білка·хв [12].

Метод визначення активності пероксидази ґрунтується на встановленні швидкості окиснення бензидину під впливом ферменту [4]. За участю пероксидази відбувається реакція окиснення бензидину з утворенням сполуки синього кольору. Активність пероксидази визначали після екстракції ацетатним буфером (рН 4,7). Екстракт центрифугували протягом 15 хв за 13 000 об./хв при +5 °С. Активність ферменту визначали у надосадовій рідині спектрофотометрично при 625 нм у присутності H_2O_2 . Реакційна суміш містила: 2 мл розчину бензидину в ацетатному буфері, 2 мл H_2O_2 і 0,1 мл ферментного розчину. В контрольну кювету замість пероксиду водню додавали воду. Встановлену активність виражали у мкмоль/мг білка.

Концентрацію білка визначали за методом Бредфорда [32].

Досліди повторювали тричі, одержані дані обробляли статистично [7].

Результати досліджень та їх обговорення

Нагромадження активних форм кисню, до яких належить H_2O_2 , вважається однією з ключових реакцій рослинних клітин на дію стресових чинників [27]. АФК спричиняють пригнічення розвитку патогена в інфікованій клітині та локальну загибель клітин рослини-живителя в разі гіперчутливої реакції. Вони здатні «вмикати» метаболічні сигнальні мережі, які призводять до експресії генів захисних білків і ферментів синтезу фітоалексинів, і, як наслідок, — руйнувати патогенні мікроорганізми та віруси, а також індукувати розвиток системної набутої стійкості в рослин [10, 23].

Пероксид водню розглядають як вторинний посередник у процесах передачі клітинних сигналів [5], оскільки він є невеликою, короткоживучою, вільнодифундуючою молекулою, яка генерується в результаті ферментативних реакцій у відповідь на стресовий сигнал. Відомо, що месенджер повинен володіти високою специфічністю до мішеней: пероксид водню впливає на тіольні групи, які містять практично всі білки [27].

Попередніми дослідженнями показано, що інгібування росту є одним із найбільш ранніх симптомів негативного впливу іонів важких металів на рослини. Іони міді та цинку діють фітотоксично на рослини, підтвердженням чого є зменшення довжини їхніх пагонів та коренів, а також маси сирової речовини щодо контрольних особин. У разі використання регулятора росту зафіксовано зниження токсичної дії важких металів на ріст рослин [3].

Наші результати засвідчують, що під впливом іонів важких металів відбувається нагромадження пероксиду водню (таблиця). Його молекулу розглядають як індикатор пошкодження клітини, а також як вторинний месенджер у процесі передачі стресового сигналу [20]. Можна припустити, що пероксид водню виявляє негативну дію, що виражається у пригніченні росту та розвитку рослин ріпаку. Трептолем знімає інгібуючий вплив, на що вказує зменшення рівня пероксиду водню в коренях рослин, які росли на середовищі з додаванням іонів важких металів та регулятора росту порівняно з рослинами, вирощеними на середовищах лише з іонами важких металів.

У надземній частині рослин ріпаку спостерігалось збільшення вмісту H_2O_2 за сумісної дії регулятора росту та іонів цинку й міді. Оскільки активні форми кисню можуть не лише спричинювати загибель клітини, а й виступати в ролі індукторів генів стійкості, які забезпечують захисні реакції в рослинній клітині, можна вважати таку реакцію рослин на вплив важких металів захисною [28].

З'ясовано, що вміст пероксиду водню в пагонах рослин ріпаку перевищує його концентрацію в коренях як у рослин, що зростають в умовах дії іонів важких металів та регулятора росту, так і в контролі. Високий рівень пероксиду водню в надземній частині, порівняно з кореневою системою рослин ріпаку, пояснюється тим, що в зелених частинах рослин, а саме у хлоропластах, поряд із оксидантним стресом активно відбуваються природні процеси генерації пероксиду водню [26].

Утворення активних форм кисню, зокрема пероксиду водню, під впливом абіотичного стресу ініціює в рослин каскад реакцій, що допомагає їм уникати стресових навантажень [31]. Однією з ланок цього процесу є зростання активності антиоксидантних ферментів. Відомо, що такі ферменти розщеплення пероксиду, як каталаза та пероксидаза, можуть моделювати гомеостаз пероксиду і, відповідно, його сигнальну здатність [11]. Зокрема, каталаза (КФ 1.11.1.6) зв'язує пероксид водню без допомоги відновлювального субстрату [16]. Фермент розкладає пероксид водню, тим самим захищаючи клітини від його токсичної дії, та ще й каталізує низку метаболітно важливих реакцій [14]. На відміну від пероксидаз, які потребують різноманітних субстратів (поліфенольні сполуки, аскорбат) для відновлення H_2O_2 до води, каталази як субстрат використовують дві молекули H_2O_2 і каталізують їх перетворення на воду й молекулу кисню [30].

Нашими дослідженнями показано, що активність каталази в коренях семи-добових рослин зростає за дії іонів важких металів (рис. 1). Проте рівень активності каталази під впливом іонів важких металів разом із трептолемом знижується в коренях рослин, тоді як у надземній частині залишається майже незмінним.

Водночас у 21-добових рослин у всіх варіантах активність каталази залишалася майже на рівні контролю. Оскільки синтез каталази індукується субстратом, то для прояву каталітичної функції потрібна досить велика кількість пероксиду водню [14]. Зазначимо, що в 21-добових рослин ріпаку нагромадження пероксиду водню не виходить за межі фізіологічної норми, отже, не

Вміст пероксиду водню у рослин ріпаку за дії іонів важких металів та регулятора росту трептолему, мкмоль/г маси сирої речовини

Доба росту	Варіанти	$M \pm m$	% до контролю	$M \pm m$	% до контролю
<i>Корені</i>			<i>Надземна частина</i>		
7	К	$0,27 \pm 0,01$	100,0	$0,36 \pm 0,06$	100,0
	Тр	$0,28 \pm 0,03$	102,2	$0,36 \pm 0,03$	99,7
	Zn ²⁺	$0,32 \pm 0,02$	115,4	$0,48 \pm 0,03^*$	134,2
	Zn ²⁺ + Тр	$0,29 \pm 0,01$	105,5	$0,51 \pm 0,02^*$	141,1
	Cu ²⁺	$0,32 \pm 0,02$	117,6	$0,46 \pm 0,02^*$	126,4
	Cu ²⁺ + Тр	$0,30 \pm 0,01$	108,8	$0,44 \pm 0,01^*$	121,4
<i>Корені</i>			<i>Надземна частина</i>		
21	К	$0,28 \pm 0,02$	100,0	$0,34 \pm 0,05$	100,0
	Тр	$0,28 \pm 0,03$	100,7	$0,35 \pm 0,02$	102,7
	Zn ²⁺	$0,31 \pm 0,05$	111,4	$0,39 \pm 0,03$	114,2
	Zn ²⁺ + Тр	$0,29 \pm 0,03$	102,9	$0,43 \pm 0,04^*$	125,7
	Cu ²⁺	$0,33 \pm 0,04$	118,9	$0,44 \pm 0,06^*$	128,7
	Cu ²⁺ + Тр	$0,31 \pm 0,02$	109,3	$0,38 \pm 0,02$	110,9

П р и м і т к а: * — різниця порівняно з контролем статистично достовірна при $p < 0,05$.

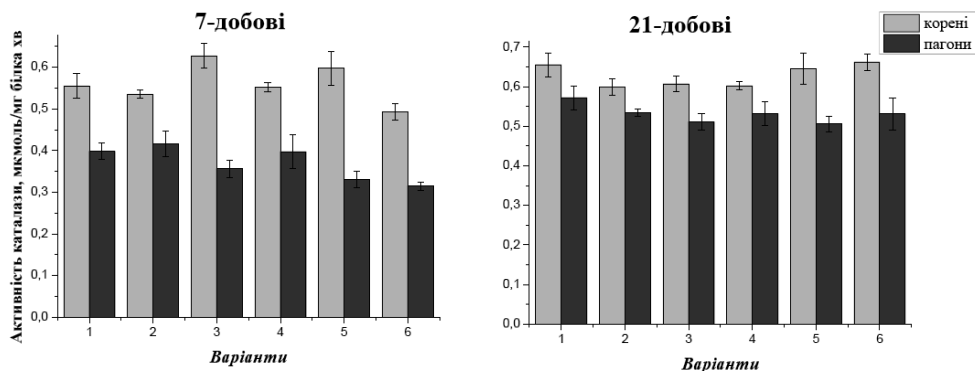


Рис. 1. Вплив іонів важких металів і трептолему на активність каталази у 7- і 21-добових рослин ріпаку. 1 — живильне середовище Хогланда—Арнона (контроль); 2 — 1 мл/л трептолему; 3 — 10^{-3} М $ZnSO_4$; 4 — 10^{-3} М $ZnSO_4$ + 1 мл/л трептолему; 5 — 10^{-5} М $CuSO_4$; 6 — 10^{-5} М $CuSO_4$ + 1 мл/л трептолему

Fig. 1. Effect of heavy metals and Treptolem on catalase activity in 7- and 21-day old rape plants. 1 — control (Hoagland-Arnone solutions); 2 — 1 ml/l Treptolem; 3 — 10^{-3} M $ZnSO_4$; 4 — 10^{-3} M $ZnSO_4$ + 1 ml/l Treptolem; 5 — 10^{-5} M $CuSO_4$; 6 — 10^{-5} M $CuSO_4$ + 1 ml/l Treptolem

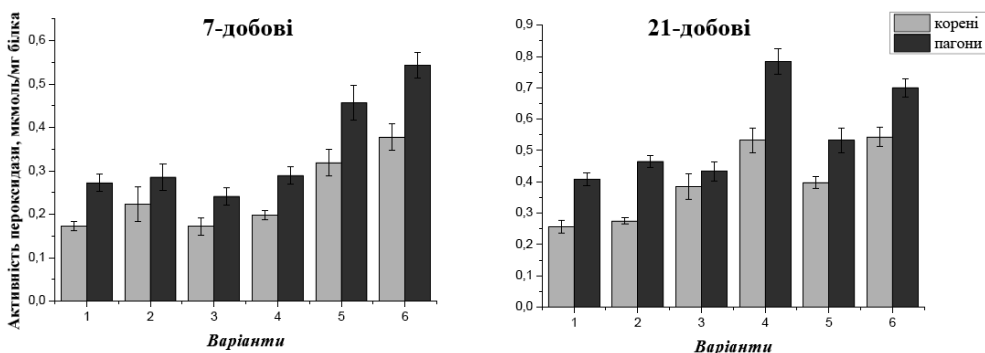


Рис. 2. Активність пероксидази у 7- і 21-добових рослин ріпаку за дії іонів важких металів і трептолему (позначення ті ж, що й на рис. 1)

Fig. 2. Peroxidase activity in 7- and 21-day old rape plants under the influence of heavy metals and Treptolem (notations same as in Figure 1)

потребує значної активації антиоксидантних ферментів, зокрема каталази. Ще одним поясненням може бути активація інших ланок системи антиоксидантного захисту. При цьому активність каталази у пагонах є дещо нижчою, ніж у коренях, оскільки корені безпосередньо занурені в розчин солей цинку та міді і раніше зазнають стресових реакцій, зумовлених їх дією.

Пероксидаза (КФ 1.11.1.7) є одним із маркерних ферментів, тому однією з перших активується у відповідь на стрес. Це мультифункціональний фермент, який бере участь у багатьох біохімічних реакціях, одна з яких спрямована, зокрема, на «зміцнення» клітинної стінки, що відіграє істотну роль в осморегуляції [18].

Аналізуючи вплив іонів важких металів на активність пероксидази в рослин ріпаку, ми зясували, що на 7 добу росту іони Zn^{2+} проявлять інгібувальну дію щодо цього ферменту в тканинах і коренів, і пагонів, тоді як іони Cu^{2+} підвищували активність пероксидази. При цьому в рослин на середовищах із додаванням регулятора росту виявлено зростання активності пероксидази в коренях та надземній частині порівняно з рослинами, які росли на середовищі лише з іонами важких металів. На 7-му добу у варіантах $10^{-5}M CuSO_4$ і $10^{-5}M CuSO_4 + 1$ мл/л трептолему активність пероксидази підвищувалась у пагонах і коренях щодо контролю та інших варіантів (рис. 2).

Загалом активність пероксидази в надземній частині рослин була вищою, ніж у коренях, що може свідчити про активніші антиоксидантні процеси в зелених частинах рослин.

У 21-добових рослин ріпаку виявлено підвищення активності цього ферменту у варіанті $10^{-3} M ZnSO_4 + 1$ мл/л трептолему. Збільшення пероксидазної активності у відповідь на стресові чинники зумовлене кількома причинами. Відомо, що за умов стресу досить швидко накопичується токсичний пероксид водню, інактивація якого здійснюється за допомогою ферменту [19]. З іншого боку, зміни активності пероксидази є одним з основних факторів, які впливають на вміст ІОК у клітинах, що вказує на один із можливих механізмів участі цього ферменту в регуляції росту клітин [1]. Водночас зниження активності пероксидази під час стресу може бути чинником, що обмежує розвиток окиснювальних процесів у рослині. Відомо, що за певних умов пероксидаза сама може продукувати АФК [28].

Порівнявши зміни активності пероксидази та каталази із нагромадженням пероксиду водню за дії пошкоджувального чинника, ми виявили зменшення рівня H_2O_2 на тлі підвищення активності цих ферментів. Вірогідно, це можна розглядати як захисну реакцію рослинного організму, оскільки відомо, що важкі метали зумовлюють підвищення концентрацій активних форм кисню, які швидко реагують із ДНК, ліпідами і білками, спричинюючи пошкодження клітин. Пошкодження активують ензиматичні та неензиматичні детоксикаційні механізми, що знижують рівень АФК [26, 29].

На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що зростання активності каталази та пероксидази є складовою антиоксидантного захисту, який гальмує акумуляцію пероксиду водню і запобігає патологічним змінам у рослин ріпаку в умовах токсичного впливу іонів важких металів. Отже, за допомогою трептолему, що здатний активувати антиоксидантну систему, можна зменшити пошкоджувальний ефект впливу іонів важких металів на рослини ріпаку.

1. Андреева В.А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. – М.: Наука, 1988. – 128 с.
2. Бакун В., Пацула О., Терек О. Інтенсивність перекисного окиснення ліпідів у рослин соняшнику і ріпаку за дії трептолему в умовах токсичного впливу іонів цинку та міді // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2011. – 55. – С. 194–200.

3. *Бакун В.Р., Пацула О.І., Терек О.І.* Вплив трептолеми на ростові параметри рослин ріпаку та соняшнику за дії іонів цинку і міді // *Мат-ли XI конф. молодих вчених: наук., приклад. та освіт. аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів.* – К., 2010. – С. 15–17.
4. *Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М.* Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. – М.: Высш. шк., 1985. – 392 с.
5. *Гамалей И.А., Клюбин И.В.* Перекись водорода как сигнальная молекула // *Цитология.* – 1996. – **38**, № 12. – С. 1233–1247.
6. *Грицаєнко З.М., Пономаренко С.П., Карпенко В.П., Леонтюк І.Б.* Біологічно активні речовини в рослинництві. – К.: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2008. – 352 с.
7. *Гумецький Р.Я., Паляниця Б.М., Чабан М.Є.* Математичні методи в біології. Теоретичні відомості, програмований практикум, комп'ютерні тести: навч. посібник. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2004. – 112 с.
8. *Гуральчук Ж.З.* Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. – К.: Логос, 2006. – 208 с.
9. *Дмитрієв О.П., Кравчук Ж.М.* Активні форми кисню та імунітет рослин // *Цитология и генетика.* – 2005. – **39**, № 4. – С. 64–75.
10. *Колупаєв Ю.Е., Карпец Ю.В.* Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. – Киев: Основа, 2010. – 352 с.
11. *Колупаєв Ю.Е., Карпец Ю.В., Обозный А.И.* Антиоксидантная система растений: участие в клеточной сигнализации и адаптации к действию стрессоров // *Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту. Сер. Біологія.* – 2011. – **1** (22). – С. 6–34.
12. *Корольок М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е.* Метод определения активности каталазы // *Лаб. дело.* – 1988. – **1**. – С. 16–19.
13. *Мерзляк М.Н.* Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки. – М.: ВИНТИ, 1988. – 166 с.
14. *Мирошниченко О.С.* Биогенез, физиологическая роль и свойства каталазы // *Биополимеры и клетка.* – 1992. – **8**, № 6. – С. 3–25.
15. *Паланиця М.П., Трач В.В., Мордерер Є.Ю.* Генерування активних форм кисню за дії грамініцидів і модифікаторів їх активності // *Физиология и биохимия культ. растений.* – 2009. – **41**, № 4. – С. 328–334.
16. *Пацула О.І., Демків О.Т.* Каталаза та адаптація рослин соняшника до токсичної дії кадмію та свинцю // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* – 2003. – **34**. – С. 221–226.
17. *Пономаренко С.П.* Створення та впровадження нових регуляторів росту рослин в агропромисловому комплексі України // *Ефективність хім. засобів у підвищенні продуктивності сільськогосп. культур: зб. наук. праць.* – Умань: Уманська держ. аграр. акад., 2001. – С. 15–23.
18. *Рогожин В.В.* Peroxidaza как компонент антиоксидантной системы живых организмов. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240 с.
19. *Садвакасова Г.Г., Кунаева Р.М.* Некоторые физико-химические и физиологические свойства пероксидазы растений // *Физиология и биохимия культ. растений.* – 1987. – **19**, № 2. – С. 107–119.
20. *Таран Н.Ю., Оканенко О.А., Бацманова Л.М., Мусієнко М.М.* Вторинний оксидний стрес як елемент загальної адаптивної відповіді рослин на дію несприятливих факторів довкілля // *Физиология и биохимия культ. растений.* – 2004. – **36**, № 1. – С. 3–12.
21. *Терек О.І.* Механізми адаптації та стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля // *Журн. агробіології та екології.* – 2004. – **1**, № 1–2. – С. 41–56.
22. *Терек О.І., Пацула О.І.* Ріст і розвиток рослин – Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 2011. – 328 с.
23. *Apel K., Hirt H.* Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2004. – **55**. – P. 373–399.
24. *Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K.V.* Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review // *Ann. Bot.* – 2003. – **91**. – P. 179–194.

25. Di Toppi L., Lambardi M., Pazzagli L., Capuggi G., Durante M., Gabbriellini R. Response to cadmium in carrot in vitro plants and cell suspension cultures // *Plant Science*. – 1998. – **137**. – P. 119–129.
26. Dubey R.S. Metal Toxicity, Oxidative Stress and Antioxidative Defense System in Plants – P. 177–203 // *Reactive Oxygen Species and Antioxidants in Higher Plants*. S. D. Gupta. [ed.]. – Science Publishers, 2011. – P. 362.
27. Gechev T.S., Hille J. Hydrogen peroxide as a signal controlling plant programmed cell death // *The J. Cell. Biol.* – 2005. – **168**(1). – P. 17–20.
28. Gwóźdź E.A., Przymusiński R., Rucińska R., Deckert J. Plant cell responses to heavy metals: molecular and physiological aspects // *Acta physiologiae plantarum*. – 1997. – **19**(4). – P. 459–465.
29. Miller G., Coutu J., Shulaev V., Mittler R. Reactive oxygen signaling in plants // *Annual Plant Reviews*. – 2008. – **33**. – P. 189–201.
30. Nasrabadi H. Some biochemical properties of catalase from Kohlrabi // *J. Biol. Sci.* – 2008. – **8**(3). – P. 649–653.
31. Neill S. J., Desikan R., Clarke A. et al. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants // *J. Exp. Botany*. – 2002. – **53**. – P. 1237–1247.
32. Read S.M., Northcote D.H. Minimization of variation in the response to different proteins of the co-omassie blue G dye-binding assay for protein // *Analyt. Biochem.* – 1981. – **116**(1). – P. 53–64.

Рекомендує до друку
Є.Л. Кордюм

Надійшла 19.03.2012 р.

V.P. Gauciшин, O.I. Пацула, O.I. Терек

Львовский национальный университет имени Ивана Франко

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЦИНКА, МЕДИ И ТРЕПТОЛЕМА НА СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА И АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ РАСТЕНИЙ *BRASSICA NAPUS* L.

Изучено влияние ионов тяжелых металлов и регулятора роста трептолема на содержание пероксида водорода, активность каталазы и пероксидазы в растений рапса. При совместном действии трептолема и ионов тяжелых металлов происходит увеличение активности пероксидазы и каталазы с одновременным уменьшением содержания пероксида водорода. Установлено, что трептолем запускает механизмы защиты растений и уменьшает негативное влияние активных форм кислорода. Показано, что основным механизмом защиты является активация антиоксидантной системы.

Ключевые слова: *Brassica napus* L., пероксид водорода, пероксидаза, каталаза, ионы тяжелых металлов.

V.R. Hashchyshyn, O.I. Patsula, O.I. Terek

Ivan Franko National University of Lviv

INFLUENCE OF COPPER AND ZINC IONS AND TREPTOLEM ON HYDROGEN PEROXIDE CONTENT AND CATALASE AND PEROXIDASE ACTIVITY IN PLANTS OF *BRASSICA NAPUS* L.

We studied the effects of heavy metal ions and growth regulator Treptolem on the content of hydrogen peroxide, the activity of catalase and peroxidase on rape plants (*Brassica napus* L. cv. Mykutynetsky). In variants with heavy metals ions compatible with Treptolem the peroxidase and catalase activity increased and the hydrogen peroxide content decreased. We established that treptolem launching mechanisms to protect plants, and this reduces the negative effects of reactive oxygen species. The main defense mechanism is the activation of antioxidants.

Key words: *Brassica napus* L., hydrogen peroxide, peroxidase, catalase, heavy metals ions.