

УДК 58.02.582.542.11

## ІНТЕНСИВНІСТЬ ПЕРОКСИДНОГО ОКСИДНЕННЯ ЛІПІДІВ ТА АКТИВНІСТЬ АНТИОКСИДАНТНИХ ФЕРМЕНТІВ У ЛИСТКАХ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ДІЇ ГРУНТОВОЇ ПОСУХИ

Маменко Т.П., Ярошенко О.А., Троценко В.А.

Інститут фізіології рослин і генетики  
Національної академії наук України

Показано, що динаміка зміни активності антиоксидантних процесів у листках озимої пшениці корелює із здатністю сорту реалізувати свій генетичний потенціал та адаптуватись до несприятливих умов вирощування. **Ключові слова:** *Triticum aestivum* L., малоновий діальдегід, супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза, гваяколпероксидаза, посуха.

**Постановка проблеми.** Однією з актуальних проблем в Україні є одержання високих та стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, а також створення раціональних технологій їх вирощування в різних регіонах України [1]. Важливим шляхом вирішення даного питання є удосконалення існуючих та створення нових методів оцінки стану культурних рослин та розробка способів підвищення їх продуктивності та якості врожаю [1, 2].

В цьому аспекті вивчення ролі прооксидантно-антиоксидантних процесів, які беруть участь у підтриманні стаціонарного рівня вільнорадикальних процесів у клітині та розвитку адаптивних властивостей рослин за дії несприятливих факторів, в тому числі й посухи, має важливе значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Порушення водного балансу в рослинному організмі викликає пригнічення ростових процесів, змінюється інтенсивність процесів фотосинтезу та дихання, оптимальний перебіг вуглеводневого, азотного і нуклеїнового обміну, змінюється активність ферментів тощо [3, 6, 7, 9]. Втрата води

рослинним організмом ініціює регуляторні процеси, які зумовлюють зміни у генній експресії та метаболізмі рослин, що призводить до формування адаптивного потенціалу рослин в несприятливих умовах зростання [4, 6, 7, 9]. Відомо, що будь-який зовнішній вплив, втім числі і дефіцит води, викликає у клітині посилення вільнорадикальних процесів і зміщення рівноваги в напрямку активації пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) [3, 4, т 13].

В організмі існує фізіологічно нормальний рівень вільнорадикальних процесів та ПОЛ, який необхідний для регулювання фазового стану ліпідів, проникності мембран та ряду біосинтетичних процесів [3, 4]. Такий стаціонарний стан визначається функціонуванням складної системи інгібіторів вільнорадикального окиснення. Підвищення інтенсивності ПОЛ індукують перебудови у захисній антиоксидантній системі, зокрема, зміни активності антиоксидантних ферментів і пулу низькомолекулярних антиоксидантів [13]. Зміни у властивостях мембранних структур і метаболізмі клітини, які відбуваються в результаті активації ПОЛ за дії стресору, очевидно, є од-

ними з початкових, первинних ланок в ланцюгу процесів, які призводять до формування стану стресу, активація антиоксидантної системи є фактором, який надає рослинному організму підвищену стійкість [3, 4, 13].

Адаптація рослин до несприятливих факторів навколишнього середовища, в тому числі до дії посухи, пов'язана із змінами обміну речовин і структурними перебудовами рослинних клітин [3, 4, 9, 13]. Вирішальна роль в адаптації рослин до дії несприятливих чинників навколишнього середовища належить біохімічним системам захисту. Серед них значна увага приділяється з'ясуванню ролі антиоксидантних ферментів у метаболізмі та формуванні стійкості рослин за дії стресових факторів [3, 5]. Антиоксидантні ферменти приймають участь у нейтралізації активних форм кисню, накопичення яких у рослинній клітині за дії стресу ініціює процеси окиснювальної деградації мембранних структур [3, 4].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених вивченню питання антиоксидантних процесів, наявні дослідження не враховують сортові і генетичні особливості рослин, а також їх екологічну пластичність та адаптаційну здатність до стресових умов.

**Постановка завдання.** Метою нашої роботи було дослідити інтенсивність процесів ліпопероксидації та активність ключових антиоксидантних ферментів у різних за зерновою продуктивністю сортів озимої пшениці в умовах посухи. Встановили динаміку зміни активності антиоксидантних процесів від генетичних особливостей сорту та їх адаптаційної здатності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нами зафіксовано, що ґрунтова посуха індукувала підвищення вмісту малонового діальдегіду (МДА) у листках сортів озимої пшениці, що свідчить про інтенсивність перебігу процесів ліпопероксидації у рослин (табл. 1).

Таблиця 1  
Вміст малонового діальдегіду в листках сортів озимої пшениці за дії ґрунтової посухи, нмоль/г сирової маси

Варіант	7-ма доба дії ґрунтової посухи	4-та доба після поновлення поливу
Подольанка		
Контроль, 70% ПВ	114,38 ± 5,7	111,8 ± 6,0
Посуха, 40% ПВ	132,44 ± 6,3	95,0 ± 4,0
Хуртовина		
Контроль, 70% ПВ	102,34 ± 4,0	116,1 ± 6,6
Посуха, 40% ПВ	136,74 ± 7,0	155,66 ± 9,6
Вінничанка		
Контроль, 70% ПВ	87,72 ± 3,0	136,74 ± 7,3
Посуха, 40% ПВ	135,02 ± 5,0	132,4 ± 7,2
Придніпровська		
Контроль, 70% ПВ	107,5 ± 4,5	146,2 ± 8,2
Посуха, 40% ПВ	134,16 ± 4,5	133,33 ± 8,4

Визначено, що найбільшим відносно контролю вміст МДА був у листках сорту Вінничанка (на 54%), Хуртовина (на 34%), Придніпровська (на 25%) і Подольанка (16%). Після відновлення поливу озимої пшениці вміст МДА у листках майже

досягав рівня контрольних рослин у сортів Подольанка, Придніпровська і Вінничанка. Слід відзначити, що впродовж вегетації, в озимій пшениці сорту Вінничанка, відбувалось суттєве зростання вмісту МДА у листках рослин, які зростали в умовах оптимального водозабезпечення. За таких умов у сорту Хуртовина вміст МДА у листках залишався на попередньому рівні – на 34% вище контрольних рослин.

Досліджено, що за дії посухи найвищою активністю СОД у листках відзначились сорти Придніпровська та Хуртовина відповідно на 95% і 60% порівняно із контролем (рис. 1).

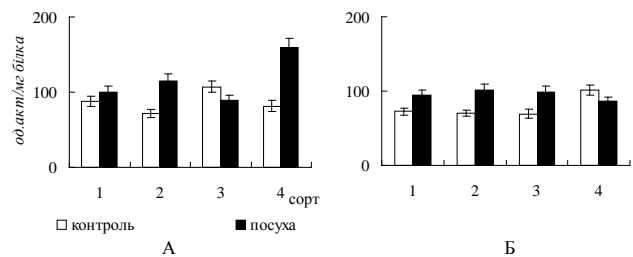


Рис. 1. Активність супероксиддисмутази в листках сортів озимої пшениці за дії ґрунтової посухи (А) та після поновлення поливу (Б) рослин. Сорти озимої пшениці: 1 – Подольанка, 2 – Хуртовина, 3 – Вінничанка, 4 – Придніпровська.

У сорту Подольанка активність ферменту незначно зростала – на 14% відносно контролю, а у сорту Вінничанка його активність знижувалась на 17%. Після відновлення поливу рослин активність СОД знижувалась у листках сорту Придніпровська і була на 15% нижче контрольних рослин, тоді як у решти сортів зростала на 40% (Хуртовина і Придніпровська) та 30% (Подольанка).

Виявлено, що тенденція зміни активності ГПО у листках сортів озимої пшениці за умов посухи була подібною до активності СОД (рис. 2).

Зокрема, у сортів Придніпровська та Хуртовина активність ферменту зростала відносно контролю на 200 і 100% відповідно, у сорту Подольанка була на 40% вищою від контрольних рослин, а у сорту Вінничанка знижувалась на 15%. У післястресовий період активність ферменту відновлювалась до рівня контролю у сортів Подольанка і Придніпровська, була на 50% вище контролю у сорту Хуртовина і активно знижувалась у сорту Вінничанка – на 58% від контролю.

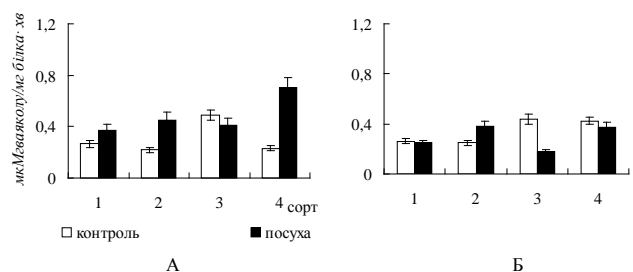
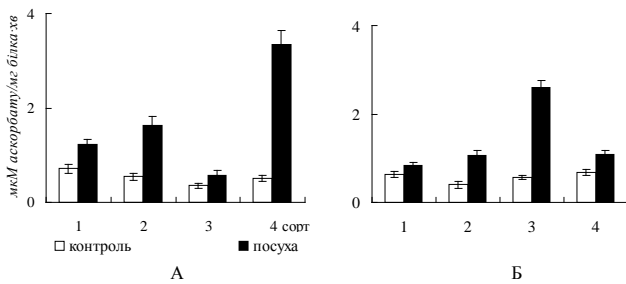


Рис. 2. Активність гваякопероксидази в листках сортів озимої пшениці за дії ґрунтової посухи (А) та після поновлення поливу (Б) рослин. Сорти озимої пшениці: 1 – Подольанка, 2 – Хуртовина, 3 – Вінничанка, 4 – Придніпровська.

В умовах дії ґрунтової посухи нами зафіксовано різке зростання активності АПО у листках

сортів озимої пшениці, особливо, у сорту Придніпровська – в 7 разів від контролю (рис. 3).



**Рис. 3. Активність аскорбатпероксидази в листках сортів озимої пшениці за дії ґрунтової посухи (А) та після поновлення поливу (Б) рослин. Сорти озимої пшениці: 1 – Подільянка, 2 – Хуртовина, 3 – Вінничанка, 4 – Придніпровська.**

**Таблиця 2**  
**Зернова продуктивність сортів озимої пшениці за дії ґрунтової посухи**

Варіант	Маса зерна на рослину, г	Кількість зерен, шт.	Маса 1000 зерен, г
<b>Подільянка</b>			
Контроль, 70% ПВ	4,77 ± 0,3	108,4 ± 5,9	43,9 ± 0,8
Посуха, 40% ПВ	3,23 ± 0,2	78,1 ± 4,9	41,8 ± 1,0
<b>Хуртовина</b>			
Контроль, 70% ПВ	3,84 ± 0,25	122,8 ± 8,0	31,3 ± 0,5
Посуха, 40% ПВ	2,07 ± 0,13	77,3 ± 4,9	27,4 ± 1,3
<b>Вінничанка</b>			
Контроль, 70% ПВ	3,72 ± 0,17	102,8 ± 4,5	36,4 ± 1,0
Посуха, 40% ПВ	1,83 ± 0,18	50,5 ± 4,8	37,2 ± 1,6
<b>Придніпровська</b>			
Контроль, 70% ПВ	3,82 ± 0,27	113,3 ± 7,8	33,7 ± 0,8
Посуха, 40% ПВ	1,81 ± 0,18	45,9 ± 4,5	39,7 ± 1,9

У решти сортів активність ферменту підвищувалась в 3 рази (Хуртовина) і в 1,7 разів (Подільянка та Вінничанка). Після відновлення поливу рослин активність АПО у листках сорту Придніпровська різко знижувалась до рівня контрольних рослин (в 1,6 рази вище контролю), залишалась майже на попередньому рівні у сорту Хуртовина (в 2,6 рази вище контролю), досягала контрольного рівня у сорту Подільянка (1,3 рази вище контролю). У сорту Вінничанка активність ферменту зростала і була майже у 5 разів вище контролю.

## Список літератури:

1. Моргун В.В., Гаврилук М.М., Оксьом В.П., Моргун Б.В., Починок В.М. Впровадження у виробництво нових, стійких до стресових факторів, високопродуктивних сортів озимої пшениці, створених на основі використання хромосомної інженерії та маркер-допоміжної селекції // Наука та інновація. – 2014. – 10, № 5. – С. 40-48.
2. Моргун В.В., Кірізій Д.А. Перспективи та сучасні стратегії поліпшення фізіологічних ознак пшениці для підвищення її продуктивності // Физиология и биохимия культурных растений. – 2012 – Т. 44, № 6. – С. 463-483.
3. Полесская О.Г., Каширина Е.И., Алехина Н.Д. Влияние солевого стресса на антиоксидантную систему растений в зависимости от условий азотного питания // Физиология растений. – 2006. – 53, № 2. – С. 207-214.
4. Тарчевский И.А. Сигнальные системы клеток растений. М.: Наука, 2002. – 294 с.
5. Турпаев К.Т. Активные формы кислорода и регуляция экспрессии генов // Биохимия. – 2002. – 67, № 3. – С. 281-292.
6. Banaj J., Karsal I., Balla K. et al. Heat stress response of wheat cultivars with different ecological adaptation // Cereal Res. Commun. – 2014. – 42, № 3. – P. 414-425.

Нами визначено, що за умов посухи відбувались втрати маси зерна з колосу на рослину в озимій пшениці сорту Подільянка на 30% від контролю, а у решти сортів вони становили від 45 до 50% (табл. 2).

При цьому маса 1000 зернин знижувалась на 12% у сорту Хуртовина, зростала на 18% у сорту Придніпровська та була на рівні контрольних рослин у сортів Подільянка та Вінничанка. Слід відзначити, що зростання маси 1000 зерен відносно контролю у озимій пшениці відбувалось за рахунок значного зниження їх кількості. Так, за дії посухи у сортів озимій пшениці Вінничанка і Придніпровська кількість зерен у колосі на рослину зменшувалась на 50 і 60% відповідно, а у сортів Подільянка і Хуртовина – на 30 і 40%.

**Висновки з даного дослідження.** Аналіз отриманих результатів показав, що у сорту Подільянка спостерігалась типова, як для стійких сортів, тенденція зміни антиоксидантних процесів в умовах посухи: незначне підвищення інтенсивності процесів ліпопероксидації та активності антиоксидантних ферментів за дії стресу та відновлення процесів до контрольного рівня після дії стресу. У сортів озимій пшениці Хуртовина і Придніпровська спостерігалось підвищення активності антиоксидантних ферментів та ПОЛ у листках за дії стресу, що супроводжувалось повним або частковим відновленням їх рівня до контролю в післястресовий період. Зафіксовано різноспрямовану дію активності антиоксидантних ферментів у листках рослин сорту Вінничанка за умов посухи та після відновлення їх поливу, навіть гальмування активності ферменту ГПО. При цьому в озимій пшениці сорту Вінничанка виявлено інтенсифікацію процесів ліпопероксидації у листках, як за умов недостатнього, так і оптимального водозабезпечення, що очевидно, пов'язано із онтогенетичними перебудовами метаболізму рослин впродовж вегетації. Це вказує на те, що у сортів озимій пшениці Хуртовина, Придніпровська та Вінничанка перебудова метаболічних процесів відбувається значно повільніше, ніж у сорту Подільянка за дії стресору, тому дані сорти лише частково здатні реалізувати свій адаптаційний потенціал в умовах ґрунтової посухи.

Отже, інтенсивність процесів ліпопероксидації та активність ключових ферментів антиоксидантної системи (СОД, ГПО і АПО) суттєво відрізняється у різних за генотипом сортів озимій пшениці і залежить від здатності сорту реалізувати свій генетичний потенціал та адаптуватись до посушливих умов вирощування.

7. Behera U.K., Sharma A.R. Productivity and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under different resource conservation techniques and irrigation regimes // *Cereal Res. Commun.* – 2014. – 42, № 3. – P. 439-449.
8. Bradford M. A Rapid and sensitive method for the quantitation of the microgram quantities of protein utilising: the principle of protein-dye binding // *Anal. Biochem.* – 1976. – 72. – P. 248-254.
9. Bray A.E. Molecular Responses to Water Deficit // *Plant Physiol.* – 1993. – 103, № 5 – P. 1035-1040.
10. Heath R., Packer L. Photooxidation in isolated chloroplast. 1. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // *Arch. Biochem. Biophys.* – 1968. – 125. – P. 189-198.
11. Egley G.H., Paul R.N., Vaughn K.C., Duke S.O. Role of peroxidase in the development of water impermeable seed coats in *Sida sprinosa* L. // *Planta.* – 1983. – 157, № 1 – P. 224-232.
12. Giannopolitis C.N., Ries S.K. Superoxide Dismutase. 1. Occurrence in higher plants // *Plant Physiol.* – 1977. – 59, № 2. – P. 309-314.
13. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // *Trends Plant Sci.* – 2002. – P. 405-409.
14. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxidase is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // *Plant Cell Physiol.* – 1981. – 22, № 5. – P. 867-880.

**Маменко Т.П., Ярошенко Е.А., Троценко В.А.**

Институт физиологии растений и генетики  
Национальной академии наук Украины

### **ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЛИСТЯХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ**

#### **Аннотация**

Показано, что динамика изменений активности антиоксидантных процессов в листьях озимой пшеницы коррелирует со способностью сорта реализовать свой генетический потенциал и адаптироваться к неблагоприятным условиям выращивания.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., малоновый диальдегид, супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза, гваяколпероксидаза, засуха.

**Mamenko T.P., Yaroshenko O.A., Trotsenko V.A.**

Institute of Plant Physiology and Genetics  
National Academy of Sciences of Ukraine

### **LIPID PEROXIDATION AND ACTIVITY OF ANTIOXIDANT ENZYMES IN LEAVES OF WINTER WHEAT UNDER THE INFLUENCE OF SOIL DROUGHT**

#### **Summary**

It is shown that the dynamics of changes in the activity of antioxidant processes in leaves of winter wheat varieties correlates with the ability to reach their genetic potential and adapt to adverse growing conditions.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., malondialdehyde, superoxide dismutase, guaiacol-peroxidase, ascorbate-peroxidase, drought.