

ВПЛИВ КОМПОНЕНТІВ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ НА СТІЙКІСТЬ СОРТУ РОСЛИН ДО ХВОРОБ

Затулівітер Людмила¹⁾, Боброва Марія²⁾

^{1), 2)} *Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, м. Кропивницький, Україна.*

Анотація: У статті розкрито роль прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) у забезпеченні стійкості рослинного організму до хвороб. Встановлено, що при збільшенні рівня стійкості сорту рослин до хвороб спостерігається збільшення значення ферментних та низькомолекулярних антиоксидантів. Виявлено, що рівень генерації супероксиду має оберненопропорційну залежність з рівнем стійкості сорту до хвороб. Доведено, що вміст ТБК-активних продуктів генерується супероксидом, але залежить від потужності антиоксидантної ланки тканин. Підтверджено факт що цитохромоксидаза є індикатором взаємоузгодженості обох ланок ПАС. Встановлено що відсутність фотосинтетичних та репродуктивних процесів в тканинах бульб *Solanum tuberosum L.* призводить до незначного переважання антиоксидантної ланки ПАС.

Ключові слова: прооксиданти, антиоксиданти, стійкість сорту рослин до хвороб, *Solanum tuberosum L.*

Influence of the components of the prooxidant-antioxidant system on the resistance of a plant variety to diseases

L. Zatuliviter¹⁾, M. Bobrova²⁾

^{1), 2)} *Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, Kropyvnytsky, Ukraine*

Abstract: *The article reveals the role of the prooxidant-antioxidant system (PAS) in ensuring the resistance of the plant organism to disease.*

*It is established that with increasing the level of plant variety resistance to diseases, there is an increase in the value of enzymatic and low molecular weight antioxidants. It was found that the level of superoxide generation is inversely related to the level of disease resistance. It is proved that the content of TBA-active products is generated by superoxide, but depends on the power of the antioxidant part of the tissues. The fact that cytochrome oxidase is an indicator of coherence of both links of PAS is confirmed. It was found that the lack of photosynthetic and reproductive processes in the tissues of tubers of *Solanum tuberosum L.* leads to a slight predominance of the antioxidant link of PAS.*

Key words: *prooxidants, antioxidants, plant resistance to diseases, *Solanum tuberosum L.**

Постановка проблеми. Дослідження механізмів, що забезпечують підтримку високого імунного статусу рослин, є особливо актуальним в умовах несприятливої екологічної ситуації, що визначає створення імунного дефіциту не лише у людини та тварин, але й у рослин, та викликає необхідність вивчення компонентів і факторів стійкості та прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) рослинних об'єктів.

Зміна величин показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи (ПАС) супроводжує всі фізіологічні та патологічні процеси, тому є об'єктом дослідження клінічної медицини та геронтології [1]. Перспектива використання і модифікації окремих компонентів антиоксидантного захисту (АОЗ) для підвищення захисних сил організму відкриває нове коло досліджень у галузі імунології, селекції, біотехнології та генної інженерії та привертає увагу вчених до проблеми ПАС [2]. Особливістю ПАС рослин є посилення активності прооксидантної ланки за рахунок фотосинтезу та генерації активних форм Оксигену (АФО) пластидами, пероксисомами, апопластом, цитозолем [1, 2]. Недослідженими є зв'язок імуностійкості рослин та їх адаптації до умов існування в плані зміни величин показників ПАС; роль окремих компонентів ПАС у забезпеченні стійкості рослин до хвороб, біохімічних та молекулярних механізмів цієї стійкості; особливості розподілу компонентів ПАС у різних органах організму рослин. Останнім часом, в умовах несприятливої екологічної ситуації, зростає увага до кількісного вмісту антиоксидантів, АФО та продуктів вільнорадикального перекисного окиснення (ВРПО) біополімерів, які надходять до нашого організму з продуктами харчування рослинного походження. Актуальним є вивчення динаміки їх зміни зі збільшенням тривалості зберігання їстівних вегетативних частин рослин [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Утворення АФО в процесі життєдіяльності рослинних і тваринних організмів вперше було встановлено М. Шенбейном [3]. У формуванні уявлень про участь АФО і вільних радикалів у біохімічних процесах велике значення мали теорія перекисного окиснення

Баха-Енглера, теорія ланцюгового вільнорадикального окиснення, розроблена М.М. Семеновим, а також дослідження американського вченого І. Фрідовіча, який довів утворення кисневих радикалів у ферментативних реакціях і відкрив здатність інактивувати деякі АФО за допомогою ферментів [4, 5]. Оскільки активація кисню є однією з перших відповідей рослинної клітини, не виключено, що саме АФО належить важлива роль в пригніченні розвитку патогенів. Так, при здійсненні реакції надчутливості відбувається вихід фенолів з вакуолей та їх ферментативне окиснення. А оскільки цей процес супроводжується генерацією активованого кисню в токсичних концентраціях, можливо, що саме він служить причиною загибелі як інфікованих клітин господаря, так і вторгненого патогену [6]. У лабораторії І.А.Тарчевського встановлено, що патогенні мікроорганізми індукують в рослинній клітині каскад захисних реакцій ще задовго до того, як стійкість або сприйнятливість проявиться в повній мірі. Це досягається функціонуванням сигнальних систем [7, 8]. Ці дані, а також постійно зростаюча кількість публікацій про участь АФО в інших важливих фізіологічних процесах (метаболізм і синтез фітогормонів, регуляція фотосинтетичних реакцій і мітохондріального окислення, апоптоз, старіння), вимагають більш детального, якісно нового підходу у вивченні біологічної ролі АФО та АО в життєдіяльності рослин [9-12].

Мета статті: дослідити зміни показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи тканин *Solanum tuberosum L.* в залежності від їх рівня стійкості до хвороб.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

1. Дослідити стан компонентів прооксидантної ланки тканин *Solanum tuberosum L.* різних за рівнем стійкості сортів до хвороб.
2. Дослідити стан компонентів антиоксидантної ланки тканин *Solanum tuberosum L.* різних за рівнем стійкості сортів до хвороб.
3. Встановити зв'язок між показниками стану ПАС та рівнем стійкості сорту рослин до хвороб.

Виклад основного матеріалу (результатів) дослідження.

Біохімічний аналіз *Solanum tuberosum L.* здійснювався на тканинах поперечного перерізу геометричної середини бульби. Кількісний аналіз компонентів стану ПАС *Solanum tuberosum L.* здійснювали на тканинах рослин таких сортів: «Тирас» (високостійкий сорт), «Повінь» (середньостійкий сорт) та «Серпанок» (малостійкий сорт). Кожна дослідна група включала 10 проб.

Методи дослідження. Визначення біохімічних показників здійснювали згідно загальноприйнятих методик: концентрацію $\bullet\text{O}_2^-$ (нмоль $\bullet\text{O}_2^-/\text{г}\cdot\text{с}$) досліджували спектрофотометричним НСТ-тестом, концентрацію МДА (мкмоль/кг) визначали за реакцією з 2-тіобарбітуровою кислотою у кислому середовищі, активність СОД (ОД активності) визначали кінетично за швидкістю 50 %-го інгібування аутоокиснення адреналіну, активність каталази (мкмоль/г \cdot хв) – методом О.М. Баха та С.М. Зубкової, активність GSH-пероксидази (ОД активності) – реактивом Елмана, концентрацію АК (ммоль/кг) – титруванням за Тільмансом, концентрацію GSH (ммоль/кг) – за допомогою реактиву Елмана, активність цитохромоксидази (ОД активності, індофенольна одиниця за хв. на г тканини) – за методом W. Straus [2].

Результати дослідження значення показників стану ПАС тканин коренеплодів *Solanum tuberosum L.* наведені в таблиці 1. Експериментально встановлено, що фоновий рівень генерації $\bullet\text{O}_2^-$ в тканинах бульб малостійкого сорту «Серпанок» в 3,04 рази вищий ніж у високостійкого сорту «Тирас» ($p < 0,05$) та в 1,44 рази вищий ніж у середньостійкого сорту «Повінь» ($p < 0,05$).

Порівняння результатів НСТ-тесту середньо- і високостійкого сорту показало, що фоновий рівень $\bullet\text{O}_2^-$ тканин бульб картоплі сорту «Повінь» переважає аналогічний показник «Тирас» в 2,12 рази ($p < 0,05$). Стимуляція дріжджами посилює генерацію $\bullet\text{O}_2^-$ в тканинах сорту «Серпанок» на 47,20 %, змінюючи таким чином міжсортове співвідношення: 1 : 2,35 : 3,89 ($p < 0,05$). Стимуляція NaF достовірно не збільшує рівень генерації $\bullet\text{O}_2^-$ в тканинах коренеплодів моркви всіх дослідних сортів.

**Порівняння показників стану компонентів ПАС тканин бульб
Solanum tuberosum L. різних сортів за рівнем стійкості до хвороб**

№	Показники стану ПАС	Сорти рослин		
		«Тирас»	«Повінь»	«Серпанок»
1	НСТ тест (фоновий рівень), нмоль•O ₂ ⁻ /Г·с	0,094 ± 0,004	0,199 ± 0,006	0,286 ± 0,009
2	НСТ тест (стимуляція дріжджами), нмоль•O ₂ ⁻ /Г·с	0,108 ± 0,002	0,254 ± 0,004	0,421 ± 0,013
3	НСТ тест (стимуляція NaF), нмоль•O ₂ ⁻ /Г·с	0,089 ± 0,004	0,184 ± 0,009	0,279 ± 0,011
4	Δ МДА, %	41,61 ± 2,45	49,54 ± 1,22	51,99 ± 4,07
5	Аскорбінат, ммоль/кг	0,63 ± 0,02	0,38 ± 0,01	0,19 ± 0,01
6	GSH, ммоль/кг	39,14 ± 0,08	40,06 ± 0,09	40,49 ± 0,11
7	Каталаза, мкмоль/Г·хв	1,88 ± 0,09	1,06 ± 0,04	0,73 ± 0,04
8	СОД, ОД	1,33 ± 0,02	0,69 ± 0,03	0,22 ± 0,01
9	GSH-пероксидаза, ОД	2,12 ± 0,02	1,99 ± 0,02	1,71 ± 0,01
10	Цитохромоксидаза, ОД	0,846 ± 0,011	0,654 ± 0,020	0,508 ± 0,019

Виявлено найвище значення Δ МДА в тканинах бульб картоплі сорту “Серпанок”, що в порівнянні з “Тирас” має переважання на 24,95% ($p < 0,05$), що є закономірним при найвищому рівні генерації супероксиду і може свідчити про низький рівень активності антиоксидантної ланки у малостійкого сорту.

Експериментально встановлена найвища концентрація низькомолекулярних АК в тканинах бульб картоплі сорту “Тирас”, та переважання значення встановленого показника в 1,66 ($p < 0,05$) і 3,32 рази ($p < 0,05$) в порівнянні з сортом “Повінь” та “Серпанок”. Міжсортова різниця вмісту АК в тканинах середньо- і малостійкого сорту склала 2 рази ($p < 0,05$). Достовірна міжсортова різниця вмісту GSH в тканинах всіх дослідних сортів рослин не виявлена.

Результати визначення активності основних ферментних АО свідчать, що співвідношення показників активності каталази тканин бульб картоплі сорту

“Тирас”, “Повінь” та “Серпанок” складає 2,56 : 1,45 : 1 ($p < 0,05$), активності СОД 6,05 : 3,14 : 1 ($p < 0,05$), активності GSH-пероксидази – 1,24 : 1,16 : 1 відповідно.

Встановлено, що цитохромоксидаза проявляє найбільшу активність у тканинах бульб картоплі сорту “Тирас”, що в 1,29 рази перевищує аналогічний активність сорту “Повінь”, та в 1,67 рази сорту “Серпанок” ($p < 0,05$).

Отже, у результаті проведеного біохімічного аналізу тканин поперечного перерізу бульб *Solanum tuberosum* L., виявлено закономірність, при якій значення більшості досліджуваних показників стану ПАС зростають зі збільшенням стійкості сорту до хвороб.

Головні висновки: 1) Стійкість сорту до хвороб залежить від таких показників стану прооксидантно-антиоксидантної системи рослин: рівня генерації $\bullet\text{O}_2^-$, вмісту малонового діальдегіду, аскорбінової кислоти, глутатіону, активності супероксиддисмутази, глутатіонпероксидази, цитохромоксидази. 2) Тканини бульб *Solanum tuberosum* L. як вегетативного нефотосинтезуючого органу характеризуються незначною перевагою антиоксидантної ланки. Величини показників стану антиоксидантної системи бульб *Solanum tuberosum* L. зменшуються зі зниженням стійкості сорту до хвороб.

Перспективи подальших досліджень. Перспектива використання і модифікації окремих компонентів АОЗ для підвищення захисних сил організму відкриває нове коло досліджень у галузі імунології. Зміна величин показників ПАС супроводжує всі фізіологічні та патологічні процеси, тому є об’єктом дослідження клінічної медицини, геронтології та привертає увагу вчених до проблеми ПАС. Створення сортів посиленої стійкості та підвищеного вмісту антиоксидантів є перспективним напрямком селекції, біотехнології та генної інженерії.

Список використаної літератури

1. Baiano A., del Nobile M.A. Antioxidant compounds from vegetable matrices: Biosynthesis, occurrence, and extraction systems. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2015. № 56. P. 2053–2068.
2. Bobrova M., Holodaieva O., Koval S., Kucher O., Tsviakh O. Features of changes

- in prooxidant- antioxidant balance of tissues during activation of seed germination. *Journal of the University of Zulia*. 2022. № 13(37). P. 362-382.
3. Bobrova, M., Holodaieva O., Koval S., Kucher O., Tsviakh O. The effect of hypothermia on the state of the prooxidant-antioxidant system of plants. *Revista de la Universidad del Zulia*. № 33. 2021. P. 82-101.
 4. Дмитрієв О.П., Кравчук З.М. Активні форми кисню та імунітет рослин. *Цитологія і генетика*. 2005. № 39 (4). С 64–75.
 5. Janků M, Luhová L, Petřivalský M. On the Origin and Fate of Reactive Oxygen Species in Plant Cell Compartments. *Antioxidants (Basel)*. 2019. № 8(4). P. 105.
 6. Колупаєв Ю.Є., Карпець Ю.В., Мусатенко Л.І. Участь активних форм кисню в індукуванні солестійкості проростків пшениці саліциловою кислотою. *Доповіді Національної академії наук України*. 2007. № 6. С. 154-158.
 7. Morales M, Munné-Bosch S. Malondialdehyde: Facts and Artifacts. *Plant physiology*. 2019. № 180(3). P. 1246-1250.
 8. Nandi A., Liang-Jun Y., Jana C.K., Dascorresponding N. Role of Catalase in Oxidative Stress- and Age-Associated Degenerative Diseases. *Oxid Med Cell Longev*. 2019. 9613090. doi: 10.1155/2019/9613090
 9. Pacheco J. H. L., M. A. Carballo, and M. E. Gonsebatt. “Antioxidants against environmental factor-induced oxidative stress” in Nutritional Antioxidant Therapies. *Treatments and Perspectives*. 2018. № 8. P. 189–215.
 10. Paciolla C.; Fortunato, S.; Dipierro, N.; Paradiso, A.; De Leonardis S. (2019). Vitamin C in Plants: From Functions to Biofortification. *Antioxidants*. 2019. № 8(11). P. 519.
 11. Smirnoff N. Antioxidants and reactive oxygen species in plants. NY: *Blackwell Publishing*, 2005. 320 p.
 12. Xu, D.-P.; Li, Y.; Meng, X.; Zhou, T.; Zhou, Y.; Zheng, J.; Zhang, J.-J.; Li, H.-B. Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources. *Int. J. Mol. Sci*. 2017. № 18. P. 96.