

Рис. 4. Епідерміс листя петрушки після 40 діб зберігання (збільшення 15×40):

а – верхньої сторони, дослід; б – нижньої сторони, дослід; в – верхньої сторони, контроль; г – нижньої сторони, контроль; I – клітина, II – клітинна стінка, III – хлоропласти, IV – продихи, V – цитоплазма.

Отримані дані дозволяють рекомендувати спосіб зберігання на основі аграрного гідрогелю та антиоксидантів для зберігання зеленої петрушки з метою скорочення втрат від природного убутку маси на усіх етапах реалізації продукції.

#### Висновки.

Між рівнем втрати маси та кількістю опадів і ГТК при вирощуванні існує сильний прямий зв'язок ( $r=0,82\dots 0,99$ ). Природна втрата маси обернено корелює з сумою активних температур ( $r=-0,76\dots -0,91$ ), що вказує на позитивний вплив

даного фактора на збереженість зеленої петрушки. Втрати маси зеленої зібраної навесні за період зберігання на 2,8 % перевищували убуток маси петрушки отриманої від осіннього збору. Помітне в'янення петрушки спостерігається при втраті нею близько 15 % маси. Застосування способу зберігання з живильним середовищем на основі аграрного гідрогелю дозволяє знизити втрати маси під час зберігання зеленої петрушки більш ніж в 4 рази (40 доба) та подовжити термін зберігання до 60 – 100 діб.

#### Список літератури:

1. Способ обработки листовых овощей для длительного хранения : пат. 5492705 США, В 65 D 33/015 / Brian C. Dais, Jose Porchia, Zain E. M. Saad; Dowbrands L.P. – № 08/326,167; заявл. 19.10.1994; опубл. 20.02.1996.
2. Методы сохранения свежих продуктов: пат. 7851002 США: А 23 В7/00, А 23 В7/157, А 23 L3/358, А 23 L3/3508, А 23 В7/16, А 23 В7/153, А 23 В7/105, А 23 В7/10, А 23 L3/3454, А 23 В7/154 / Chao Chen, Xiaoling Dong, Ihab M. Heikal; Mantrose-Hauser Company, Inc. – № 12/749,113; заявл. 29.03.2010, опубл. 14.12. 2010.
3. Продление срока хранения собранного растительного материала использованием алканол-Л-аскорбиновой кислоты, а также её синтеза: пат. WO 2004093574 США: МПК А 23 В 7/154, А 23 L 3/3544, А 23 L 3/3499, А 23 L 3/3517, А 23 L 3/3508, А 23 В 7/10 / Elias Abushqara, Abed Shalata; Elias Abushqara, Frutavit Ltd., Abed Shalata. – № РСТ/IL2004/000342; заявл. 21.04.2004; опубл. 4.11.2004.
4. Спосіб підготовки зелених овочів до зберігання: пат. 85031 Україна: МПК А 23 В 7/14. / Калитка В. В., Прісс О. П., Кулик А.С., Жукова В. Ф.; заявник і власник охоронного документа Таврійський державний агротехнологічний університет. – № u201305153; заявл. 22.04.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21. – 4 с.
5. Witkowska I. M. Factors affecting the postharvest performance of fresh-cut lettuce: PhD thesis / Izabela Magdalena Witkowska. – Wageningen University, Wageningen, 2013. – 120 p.
6. Martin-Diana A. B. Calcium lactate washing treatments for salad-cut Iceberg lettuce: effect of temperature and concentration on quality retention parameters / A. B. Martin-Diana, D. Rico, C. Barry-Ryan [et al.] // Food Res. Int. – 2005. – № 38. – P. 729-740.
7. Brecht J.K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables / J. K. Brecht // HortScience. – 1995. – № 30. – P. 18-21.
8. Cantwell M. Postharvest handling systems: Fresh herbs / M. Cantwell, M.S. Reid // Postharvest Technology of Horticultural Crops 2nd ed. – 1992. – № 3311. – P. 211-213.
9. Adamicki F. Effects of pre-harvest treatments and storage conditions on quality and shelf-life of onions / F. Adamicki // Acta Hort. – 2005. – № 688. – P. 229-238
10. Poulsen N. Influence on growth conditions on the value of crisphead lettuce. 2. Weight losses during storage as affected by nitrogen, plant age and cooling system / N. Poulsen, J.N. Sørensen, A.S. Johansen // Plant Foods Hum Nutr. – 1994. – № 46 (1). – P. 13-18.
11. Ouzounidou, G. The use of nanotechnology in shelf life extension of green vegetables / G. Ouzounidou, F. Gaitis // Journal of Innovation Economics. – 2011. – № 8. – P. 163-171.
12. Alvarez S. Effect of pre-cooling on the postharvest of parsley leaves / S. Alvarez, L. Finger, C. de A. Santos [et al.] //

- Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2007. – Vol.5 (2). P. 31-34.
13. Hruschka H.W. Storage and shelf-life of packaged watercress, parsley and mint / H.W. Hruschka, C.Y. Wang // USDA Mkt. Res. Rep. – 1979. – № 1102. – 19 pp.
  14. Cantwell M. Postharvest physiology and handling of fresh culinary herbs / M. Cantwell, M.S. Reid // J. Herbs, Spices and Medicinal Plants. – 1993. – №1 (3). – P. 93-127.
  15. Петрушка молодая свежая. Технические условия: ДСТУ 6010:2008 – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 22 с.
  16. Дикий І. Л. Мікробіологічне обґрунтування придатності хлорофіліпту для створення м'якої лікарської форми антиінфекційного призначення / І. Л. Дикий, В. М. Остапенко, Н. І. Філімонова [та ін.] // Вісник фармації. – 2005. – №4 (44). – С. 73-76.
  17. Санітарні правила і норми по застосуванню харчових добавок [Електронний ресурс] : Затв. МОЗ України 23.07.96 № 222. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0715-96>
  18. Скалецька Л. Ф. Методи досліджень рослинницької сировини. Лабораторний практикум : навч. посіб. / Л.Ф. Скалецька, Г.І. Подпрятков, О.В. Завадська. – К. : «ЦП «Компринт», 2013. – 242 с.
  19. Seefeldt H.F. Effect of variety and harvest time on respiration rate of broccoli florets and wild rocket salad using a novel O2 sensor / H. F. Seefeldt, M. M. Lokke, M. Edelenbos // Postharvest Biology and Technology. – 2012. – №69. – P. 7-14

УДК 664.8.03:634.11

DOI

## ОКИСНИЙ СТРЕС І АНТИОКСИДАНТНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ПЛОДІВ ЯБЛУНІ

М.Є.Сердюк, кандидат сільськогосподарських наук, доцент \*

E-mail: igorserduk@mail.ru

С.С.Байбєрова, кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач \*

\*кафедра технології переробки та зберігання продукції сільського господарства

Таврійський державний агротехнологічний університет,

пр. Б.Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312

**Анотація.** Дослідження присвячено вивченню закономірностей функціонування антиоксидантної захисної системи і встановленню визначального чинника у розвитку стрес-толерантності плодів яблуни. Об'єктами досліджень обрано плоди яблуни чотирьох сортів: Айдаред, ГолденДелішес, Ренет Симиренко, Флоріна. Встановлено, що під дією стресових погодних чинників у плодах яблуни розвивається окисний стрес, про що свідчить значне зростання вмісту малонового діальдегіду. Основним стресовим погодним чинником в умовах Південної степової підзони України є середньорічна сума активних температур. Адаптивною відповіддю плодів є стимуляція антиоксидантної захисної системи, яка проявляється в підвищенні ендogenous рівня фенольних речовин, цукрів і активності супероксиддисмутази і пероксидази. Розраховані вектори пріоритетів свідчать, що при окисному стресі домінуюча роль у захисній відповіді плодів яблуни сортів Ренет Симиренко та Голден Делішес належить фенольним речовинам. В яблуках сортів Флоріна і Айдаред визначальною є дія антиоксидантних ферментів супероксиддисмутази і пероксидази.

**Ключові слова:** яблука, окисний стрес, адаптація, малоновий діальдегід, цукри, кислоти, фенольні речовини, аскорбінова кислота, супероксиддисмутаза, пероксидаза.

**Аннотация.** Исследования посвящены изучению закономерностей функционирования антиоксидантной защитной системы и выявлению определяющего фактора в развитии стресс-толерантности плодов яблони. Объектами исследования были выбраны плоды яблони четырех сортов: Айдаред, ГолденДелишес, Ренет Симиренко, Флорина. Установлено, что под действием стрессовых погодных факторов в плодах яблони развивается окислительный стресс, о чем свидетельствует значительный рост содержания малонового диальдегида. Основным стрессовым погодным фактором в условиях Южной степной зоны Украины является среднегодовая сумма активных температур. Адаптивной ответом плодов является стимуляция антиоксидантной защитной системы, которая проявляется в повышении эндогенного уровня фенольных веществ, сахаров и активности супероксиддисмутаза и пероксидазы. Рассчитанные векторы приоритетов показывают, что при окислительном стрессе доминирующая роль в защитном ответе плодов яблони сортов Ренет Симиренко и Голден Делишес принадлежит фенольным веществам. В яблоках сортов Флорина и Айдаред определяющим является действие антиоксидантных ферментов супероксиддисмутаза и пероксидазы.

**Ключевые слова:** яблоки, окислительный стресс, адаптация, малоновый диальдегид, сахара, кислоты, фенольные вещества, аскорбиновая кислота, супероксиддисмутаза, пероксидаза.

#### Вступ

Яблука пізнього терміну достигання вважаються найбільш цінною групою продуктів, яка забезпечує населення свіжими плодами, а

переробку промисловістю високоякісною сировиною. Але протягом всього вегетаційного періоду плодів рослини піддаються впливу негативних стресових факторів різної природи, що

призводить до надмірного накопичення в клітинах активних форм кисню (АФК). Підвищений рівень АФК активує сигнальні шляхи, що зумовлює посилення ендогенного антиоксидантного захисту. Природа антиоксидантного захисту плодів обумовлена генетичними особливостями та відрізняється від інших видів рослинної сировини. Тому, перш ніж розробляти нові технологічні заходи підвищення стійкості плодів до стресових абіотичних чинників, необхідно мати точне уявлення про їх ендогенний адаптивний потенціал.

#### Постановка проблеми та її зв'язок з найважливішими науковими та практичними завданнями

Особливості окисного стресу та система антиоксидантного захисту плодів яблуні при впливі на них абіотичних стресових чинників вивчені недостатньо. Одночасно з цим, загально відомо, що наслідком окисного стресу є втрата яблуками харчової та біологічної цінності, а також зниження їх лежкості. З погляду на це дослідження механізмів стійкості плодів яблуні до абіотичних стресових чинників дозволить отримати нові фундаментальні знання про їх адаптацію до несприятливих умов і відкриє широкі перспективи не тільки для розробки технологій вирощування а і сучасних технологій зберігання яблук.

#### Огляд літератури

Аномальні погодні умови мають негативний вплив на фізіологічний стан плодів рослин. На думку багатьох авторів [1-3] абіотичні стреси різної природи провокують утворення активних форм кисню в рослинних клітинах і розвиток окисного стресу. Це може бути пов'язано з пригніченням швидкості транспорту електронів не тільки в результаті пошкодження структури і біологічних функцій мембран, насамперед, хлоропластів і мітохондрій, а й унаслідок недостатнього пулу відновних еквівалентів [4]. На думку Є.А. Бакуліної при посиленні в стресових умовах одноелектронного відновлення кисню при фотосинтезі в хлоропластах і транспорту електронів при диханні в мітохондріях, спочатку утворюється синглетний кисень ( $^1\text{O}_2$ ), супероксид-радикал ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ), потім продукт його дисмутації –  $\text{H}_2\text{O}_2$  і, в кінці, самий токсичний гідроксильний радикал ( $\text{OH}^\cdot$ ) [5].

Біологічним маркером, який характеризує ступінь руйнівної дії стресових чинників на рослинну клітину вважається малооновий діальдегід (МДА). За результатами досліджень багатьох авторів [6-7] процес окисної деструкції клітинних мембран супроводжується значним накопиченням МДА.

Знешкодження АФК у плодів рослин в умовах окисного стресу ефективно забезпечується

функціонуванням багатоступеневої системи захисту, яка складається із високомолекулярних сполук – антиоксидантних ферментів і низькомолекулярних антиоксидантів, до яких відносять фенольні речовини, аскорбінову кислоту а також цукри та органічні кислоти.

Речовини фенольної природи вважаються найважливішими ендогенними низькомолекулярними органічними антиоксидантами в плодах. Вони є активними метаболітами клітинного обміну і відіграють провідну роль у таких фізіологічних функціях, як фотосинтез, дихання, досягання, стійкість до інфекційних захворювань, тощо [8].

Аскорбінова кислота (АК) це унікальне поліфункціональне з'єднання. Вона бере участь у таких найважливіших енергетичних процесах рослинної клітини як фотосинтез і дихання, є загально визнаним антиоксидантом. АК є субстратом істинних пероксидаз і здатна пригнічувати реакції пероксидазного каталізу. Безсумнівною є її участь у захисних реакціях рослин [9].

Деякі вчені вважають, що вільні радикали аскорбату і флавоноїдів виконують важливу біологічну функцію, реагуючи з деструктивними вільними радикалами, які утворюються при окисному стресі. Причому наявність флавоноїдної системи значно підвищує ефективність антиокисної функції аскорбінової кислоти [10].

Останнім часом цукри і органічні кислоти, поряд з іншими низькомолекулярними сполуками, розглядаються як компоненти системи антиоксидантного захисту рослин [11]. На думку Дерябіна А.Н. цукри є ефективними перехоплювачами гідроксильних радикалів [12]. З іншого боку недолік сахарози у рослин може сприяти розвитку окисного стресу, а саме – накопиченню активних форм кисню і впливати на експресію генів, пов'язаних з окисним стресом [13]. Що стосовно органічних кислот, то є дані, що імунітет рослин може визначатися кількістю органічних і ароматичних кислот в клітинному соку. Чим більше цих речовин міститься в соку рослини, тим стійкіше вона до захворювань [14]. У той же час роль цих низькомолекулярних сполук при формуванні стійкості рослин до окисного стресу залишається мало дослідженою.

Ще однією адаптивною відповіддю плодів рослин на посилення генерації активних форм кисню є збільшення активності антиоксидантних ферментів. В умовах окисного стресу антиоксидантні ферменти, відіграють ключову роль у захисті метаболізму від пошкодження [15]. Найголовнішими ферментами антиоксидантного захисту є супероксиддисмутаза (СОД), каталаза та пероксидаза.

СОД вважається основною лінією захисту рослин від окисного стресу. Цей фермент каталізує

реакції дисмутації  $\text{O}_2^{\cdot-}$  в хлоропластах, мітохондріях і цитозолі [16]. В результаті реакції дисмутації, яка каталізується СОД, утворюється пероксид водню. Ферменти каталаза і пероксидаза здатні ініціювати процес розпаду молекул пероксиду водню на воду і молекулярний кисень і пов'язувати молекули активного кисню в клітинах. Однак внаслідок низької спорідненості до субстрату каталаза ефективна тільки при високих концентраціях  $\text{H}_2\text{O}_2$ . При низьких концентраціях пероксиду водню вона здатна каталізувати його відновлення тільки при наявності додаткових донорів водню, наприклад етанолу або мурашиної кислоти [17]. Отже, основним ферментом антиоксидантного захисту, який регулює рівень внутрішньоклітинного вмісту пероксиду водню є пероксидаза [18].

Не дивлячись великий об'єм існуючої інформації, антиоксидантна система плодів культур і, безпосередньо, плодів яблуні вивчена недостатньо. Зокрема, мало відомо про кореляційні зв'язки між процесами функціонування антиоксидантних ферментів і стрес-залежною акумуляцією низькомолекулярних антиоксидантів. Крім цього, слабо досліджено питання про роль антиоксидантної захисної системи у розвитку стрес-толерантності яблук до дії різних абіотичних стресорів, таких як, наприклад, аномально високі температури та посуха. Отже, дослідження, присвячені питанням функціонування антиоксидантної системи плодів яблуні є актуальними.

#### Визначення пріоритетів для компонентів системи антиоксидантного захисту плодів яблуні

Мета досліджень полягала у вивченні закономірностей функціонування антиоксидантної захисної системи і встановленні визначального чинника у розвитку стрес-толерантності плодів яблуні.

Дослідження були виконані у 2003 – 2012 роках в Мелітопольському районі, Запорізької області. Щоденні метеорологічні дані зібрані на Мелітопольській метеостанції. Для дослідження були обрані плоди яблуні чотирьох сортів, які внесені до Державного реєстру сортів рослин придатних для поширення в Україні: Айдаред, Голден Делішес, Ренет Симиренко, Флоріна. Плоди збирали з дерев, типових для сорту та одного віку. Агрофон на дослідних ділянках був однаковим та задовольняв вимогам агротехніки.

Інтенсивність процесів пероксидації оцінювали за рівнем малонового діальдегіду. Визначення вмісту компонентів антиоксидантної системи захисту виконували за наступними методиками: масову концентрацію цукрів фериціанідним методом, титровану кислотність арбітражним

методом, вміст аскорбінової кислоти йодометричним методом, вміст фенольних речовин за допомогою реактиву Фоліна-Деніса [19]. Активність супероксиддисмутази визначали по автоокисленню адреналіну і визначенню оптичної активності продуктів окислення [20], пероксидази – за кількістю не розкладеного пероксиду водню при субстраті окислення пірокатехіні [21]. Математичну обробку виконували використовуючи комп'ютерні програми «MS office Excel 2007», пакет «Statistica 6» і персональний комп'ютер.

Моніторингом температурних показників встановлено, що протягом дослідних років, найменша сума активних температур (САТ) була відзначена у 2006 році і дорівнювала 3431 °С, а найбільша у 2012 – 4281 °С. Слід зазначити, що за період з 2003 року до 2006 року щорічні показники САТ тільки у 2005 році перевищували середнє багаторічне значення цього показника (3682 °С). Натомість, за період з 2007 до 2012 щорічні показники САТ на 71 – 600 °С перевищували середнє багаторічне значення, за виключенням тільки 2011 року. САТ за період вегетації яблуні в умовах дослідного регіону знаходилась на рівні 3373,3 °С. Таким чином температурні показники південної степової підзони України значно перевищують потреби плодів культур, що може стати причиною температурного стресу плодів.

Кількість опадів за аналізований період коливалась від 345,4 мм у 2012 році до 655 мм – у 2004 з коефіцієнтом варіації 20,2 %. Середній багаторічний показник становив 513,2 мм. У 2004, 2006, 2010 і 2011 річна сума опадів перевищувала 600 мм. Протягом інших 6 дослідних років кількість опадів була значно нижчою. Моніторинг розподілення опадів свідчить про нерівномірність їх випадання протягом року. Так на протягом холодного періоду – з листопаду до березня – випадає в середньому 39,5 % опадів з коливанням від 22,7 до 50,4 %. В період інтенсивного витрачання вологи випадає в середньому 60,5 % опадів. Що стосовно вегетаційних періодів, то кількість опадів в середньому становила 260 мм. Максимально зволожений був 2004 рік. Отже, наведені результати свідчать про те, що даний регіон придатний для вирощування яблуні зі зрошенням, а опади є одним із основних стресових чинників. Середня річна відносна вологість повітря коливалась в межах від 68 % до 74 %, з середнім багаторічним значенням 73 %. Що стосовно періоду вегетації, то середня відносна вологість змінювалась в межах від 57 % до 70 %. Середня мінімальна відносна вологість повітря за аналізований період не перевищувала 50 %. Абсолютний мінімум цього показника за дослідний період – 17 % – зафіксований у 2012 році, що свідчить про глибоку поверхневу посуху повітря в даний період. Середнє значення ГТК за вегетаційні періоди яблуні коливалось від 0,3 (2007 рік) до 1,2

(2004 рік), з середнім багаторічним значенням 0,8. Таким чином, південно-стєпова підзона України відноситься до зони нестійкого зволоження.

Як було зазначено вище, ступінь окисного пошкодження мембран стресорами різної природи оцінюють за рівнем МДА. Результатами

десятирічних досліджень встановлено, що середній рівень МДА в плодах яблуні знімальної стиглості, вирощених в умовах Південної степової підзони України становив 33,9 нмоль/г, та значно коливався як за роками досліджень, так і за сортами, про що свідчать коефіцієнти варіації (табл. 1).

Таблиця 1 - Вміст малонового діальдегіду (МДА) в плодах яблуні знімальної стиглості, нмоль/г (2003 – 2012 рр.)

Рік досліджень	Помологічний сорт				Середнє значення	Коефіцієнт варіації, %
	Айдаред	Голден Делішес	Ренет Смиренка	Флоріна		
2003	18,083	16,521	12,186	15,084	15,469	16,2
2004	77,107	6,579	5,049	5,279	6,003	16,6
2005	40,329	42,557	55,402	40,112	44,599	16,3
2006	13,099	10,688	4,754	8,965	9,377	37,5
2007	70,343	65,550	42,557	45,879	56,083	24,8
2008	22,668	75,515	29,510	27,061	38,689	63,9
2009	38,569	35,756	27,453	25,158	31,734	20,3
2010	57,093	41,423	58,421	36,248	48,296	23,1
2011	38,279	23,606	27,377	37,672	31,734	23,2
2012	72,837	64,263	43,173	51,200	57,868	22,9
Середнє значення	37,841	38,246	30,588	29,266	33,985	-
Коефіцієнт варіації, %	61,3	63,4	63,3	53,5	60,3	-
НІР <sub>05</sub> за сортом						0,801
НІР <sub>05</sub> за роками						1,266
НІР <sub>05</sub> досліджу						2,532

Максимальне значення рівня МДА і відповідно, найбільша інтенсивність окисного пошкодження мембран, в яблуках сортів Айдаред та Флоріна зафіксовані у 2012, сорту Голден Делішес – у 2008, а Ренет Смиренка – у 2010 році. Але слід зазначити, що усі яблука врожаїв 2007 і 2012 років, незалежно від сорту, відзначалися підвищеним вмістом МДА.

Двохфакторним дисперсійним аналізом підтверджено, що основний вплив на рівень МДА в плодах яблуні мають погодні чинники (фактор А) з часткою впливу 76,12 %. Достатньо вагомий вплив має і взаємодія факторів АВ з часткою 19,1 %. Натомість частка впливу сортових особливостей (фактор В) є незначною – всього 4,1 %.

Для визначення основних погодних чинників, які мають найвагомий вплив на вміст МДА в плодах яблуні був проведений кореляційний аналіз. Був досліджений зв'язок з 24 факторами довкілля. З 8 факторами встановлений сильний кореляційний зв'язок. До них належать: річна САТ, сума ефективних температур (СЕТ) вище 10 °С, гідротермічний коефіцієнт (ГТК) та сума опадів (СО) за вегетаційний період, середньорічна відносна вологість повітря (ВВП), а також САТ, середні температури та абсолютна мінімальна ВВП останнього місяця формування плодів. Для перелічених факторів, були проведені множинний кореляційний та регресійний аналізи, і за їх

результатами отримане рівняння залежності вмісту МДА в плодах яблуні від погодних чинників (з вірогідністю 95 %):

$$Y = 0,053X_1 - 1,491X_2 - 131,731,$$

де  $X_1$  – середньорічна САТ, °С (в межах від 3430 до 4281 °С),

$X_2$  – абсолютна мінімальна ВВП останнього місяця формування плодів, % (в межах від 13 до 30 %);

$Y$  – вміст МДА, нмоль/г.

При цьому, коефіцієнт множинної кореляції  $R=0,95$ , коефіцієнт детермінації  $R^2=0,91$ , скорегований коефіцієнт детермінації – 0,88, критерій  $F(2;7)=34,282$ , рівень значимості – 0,00024, при стандартній помилці оцінки – 6,446.

Приватний коефіцієнт еластичності фактору  $X_1$  (середньорічна САТ) дорівнює 5,24, що свідчить про його істотний вплив на вміст МДА у плодах яблуні. Приватний коефіцієнт еластичності фактору  $X_2$  (абсолютна мінімальна ВВП останнього місяця формування плодів) дорівнює 0,95, а отже і вплив його є менш значущим.

Таким чином, можна зробити висновок, що в умовах Південної степової підзони України рівень МДА в плодах яблуні, і, відповідно, інтенсивність окисного пошкодження мембран зростає разом зі зростанням суми активних температур (рис. 1). Отже САТ можна вважати основним стресовим чинником.

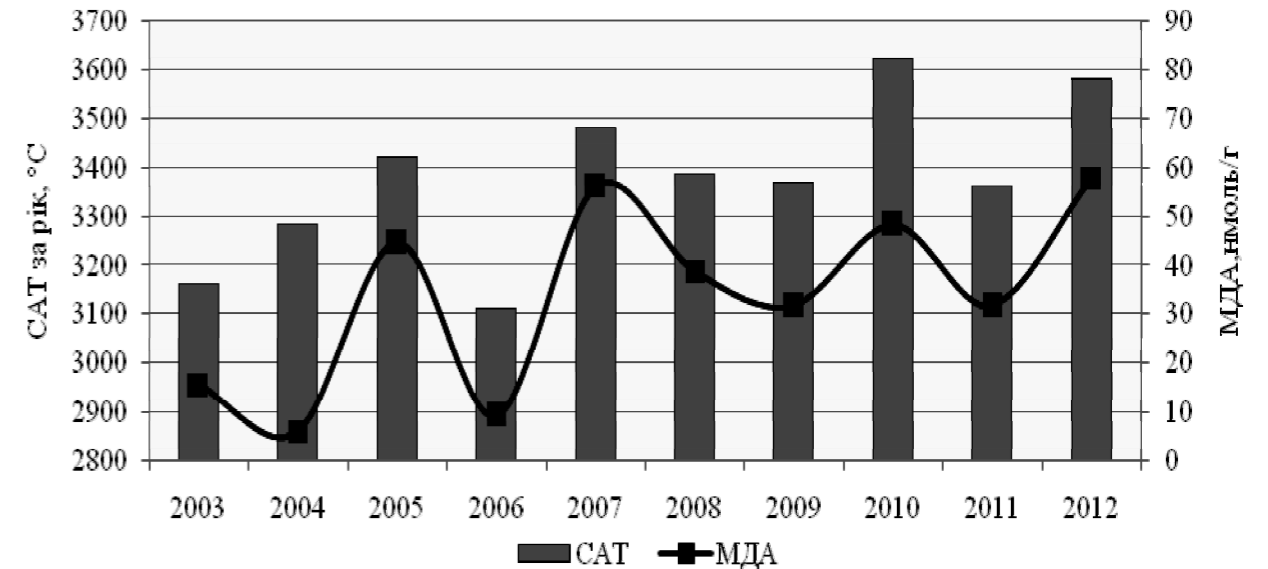


Рис. 1. Порівняльна динаміка МДА в плодах яблуні і середньорічної САТ, (2003 – 2012 рр.).

Наступним етапом досліджень було встановлення визначального чинника у розвитку стрес-толерантності плодів яблуні. При цьому були визначені кількісний вміст низькомолекулярних компонентів антиоксидантної системи захисту плодів та активність антиоксидантних ферментів, і проведений кореляційний аналіз. Кореляційним аналізом встановлено існування тісних зв'язків між багатьма компонентами ендогенної антиоксидантної системи плодів яблуні та вмістом МДА (табл. 2).

Наведені коефіцієнти кореляції констатують сильну кореляцію фенольних речовин з усіма компонентами системи антиоксидантного захисту. Крім того, АК сильно позитивно корелює з кислотами і негативно з цукрами. Антиоксидантні

ферменти позитивно корелюють між собою, та негативно з органічними кислотами. Що стосовно МДА, то він сильно позитивно корелює з цукрами, фенолами, СОД та ПО. З органічними кислотами та АК встановлений негативний кореляційний зв'язок середньої сили.

Отримані дані, дають можливість стверджувати, що у захисній відповіді плодів яблуні можуть приймати участь як низькомолекулярні антиоксиданти (цукри та феноли) так і високомолекулярні – антиоксидантні ферменти. Отже для встановлення визначального чинника у розвитку стрес-толерантності яблук доцільно розрахувати значення пріоритетів кожного показника.

Таблиця 2 – Матриця коефіцієнтів парної кореляції між компонентами антиоксидантної системи і МДА в плодах яблуні (середні 2003 – 2012 рр.)

Показники	Цукри	Кислоти	Аскорбінова кислота	Фенольні речовини	СОД	Пероксидазна активність	МДА
Цукри	1	-0,58	-0,67	0,80	0,63	0,62	0,78
Кислоти	-0,58	1	0,97	-0,69	-0,67	-0,69	-0,52
Аскорбінова кислота	-0,67	0,97	1	-0,68	-0,61	-0,62	-0,57
Фенольні речовини	0,8	-0,69	-0,68	1	0,91	0,90	0,91
СОД	0,63	-0,67	-0,61	0,91	1	0,99	0,85
Пероксидазна активність	0,62	-0,69	-0,62	0,9	0,99	1	0,82
МДА	0,78	-0,52	-0,57	0,91	0,85	0,82	1

При сортовому дослідженні вмісту ендогенних антиоксидантів в межах одного року, були встановлені деякі особливості, які можуть позначатися на пріоритетах. Так, на тлі загального

підвищення рівнів СОД і фенольних речовин у 2012 році порівняно з іншими роками, була виявлена різна ступінь зростання цих показників залежно від сорту (рис. 2).

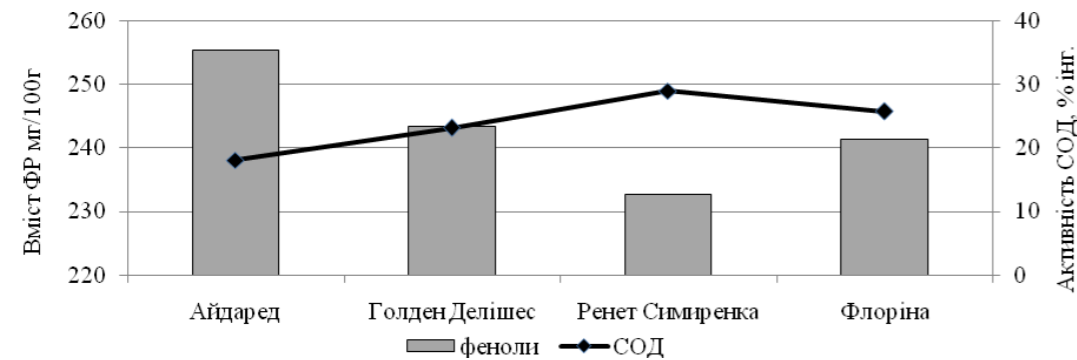


Рис.2. Вміст фенольних речовин та активність СОД в плодах яблуни знімальної стиглості, (2012 р.).

При збільшенні вмісту фенольних речовин в плодах яблуни сорту Айдаред в 1,1 рази, активність СОД залишається на рівні в 1,3 рази нижчому за середній сортовий у 2012 році. В той же час, при достатньо низькому рівні фенольних речовин в яблуках сорту Ренет Смиренка ( в 1,3 рази нижче, ніж середній сортовий) відзначається висока активність СОД, яка перевищує середній сортовий рівень 2012 року в 1,2 рази.

Отже, можна зробити висновок, що зниження активності антиоксидантних ферментів в плодах яблуни певних сортів, компенсується збільшенням

вмісту низькомолекулярних антиоксидантів, таких як фенольні речовини і цукри.

Комплексна оцінка антиоксидантного статусу плодів яблуни виконувалась за методом аналізу ієрархії Т.Саати [22]. Матриці парних порівнянь були розроблені на основі коефіцієнтів кореляції між компонентами антиоксидантної системи захисту плодів і вмістом МДА. В результаті розрахунків були визначені вектори пріоритетів ендогенних антиоксидантів для кожного сорту плодів, а також глобальний вектор в цілому по яблукам (рис. 3).

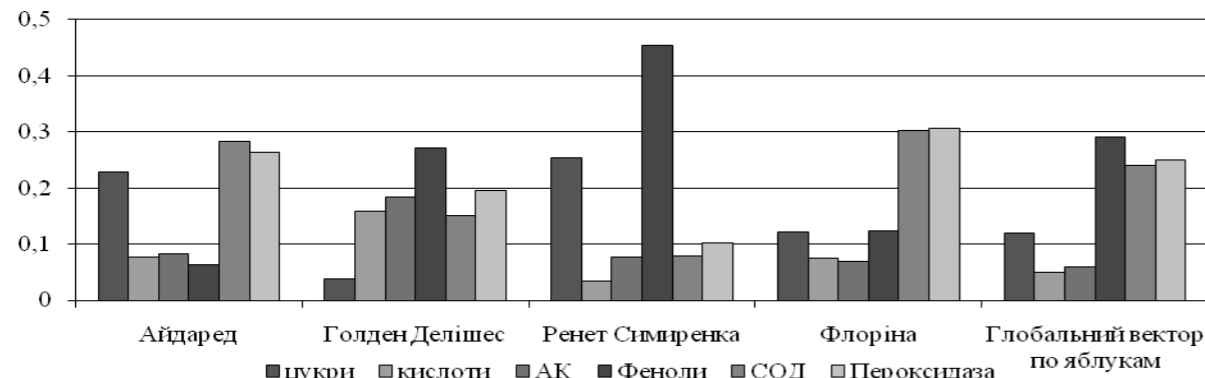


Рис. 3. Вектори пріоритетів компонентів антиоксидантної системи плодів яблуни.

Отримані пріоритети свідчать, про домінування низькомолекулярних сполук (фенолів, цукрів) у захисній відповіді плодів яблуни сорту Ренет Смиренка. В плодах сорту Голден Делішес провідну протекторну роль також виконували фенольні речовини, але на відміну від попереднього сорту, на другому місці знаходились антиоксидантні ферменти, а також вітамін С та органічні кислоти. В плодах сорту Флоріна і Айдаред визначальною є дія антиоксидантних ферментів СОД і пероксидази. Крім того, в яблуках сорту Айдаред значну роль відіграють і цукри.

Пріоритети глобального вектору свідчать, що в цілому по плодам яблуни, більш ефективною в захисній відповіді при окисному стресі є участь низькомолекулярних сполук, ніж ферментів-антиоксидантів.

Отже, на цій підставі можна стверджувати, що

здатність плодів яблуни до інтенсивного біосинтезу низькомолекулярних сполук, очевидно, є визначальним чинником розвитку їх стрес-толерантності.

#### Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що під дією стресових погодних чинників у плодах розвивається окисний стрес, про що свідчить зростання рівня МДА. Основним стресовим погодним чинником в умовах Південної степової підзони України є середньорічна сума активних температур.

Адаптивною відповіддю плодів є стимуляція антиоксидантної захисної системи, яка проявляється в підвищенні ендогенного рівня фенольних речовин, цукрів і активності СОД і

пероксидази.

Розраховані вектори пріоритетів свідчать про домінування фенольних речовин у захисній відповіді плодів яблуни сортів Ренет Смиренка та

Голден Делішес. В яблуках сортів Флоріна і Айдаред визначальною є дія антиоксидантних ферментів СОД і пероксидази.

#### Список літератури:

- Гудковский В.А. Окислительный стресс плодовых и ягодных культур / В.А. Гудковский, Н.Я.Каширская, Е. М. Цуканова. – Тамбов: Изд-во Тамб. техн. ун-та, 2001.–88 с.
- Чупахина Г. Н. Природные антиоксиданты (экологический аспект): монография / Г.Н. Чупахина, П.В. Масленников, П. Н. Скрыпник. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 111 с.
- Kalt W. The role of oxidative stress and antioxidants in plant and human health: Introduction to the Colloquium/ W. Kalt, M. Kuschand // Hort Science.– 2000. – 572 p.
- Chaves M.M, Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant / M. M. Chaves, J.P. Maroco, J.S. Pereira // Functional Plant Biology.– 2003. –№ 30. – P. 239-264. doi:10.1071/FP02076
- Бакулина Е.А. Исследование антиоксидантной роли пролина у галафитов и участие АФК в регуляции его биосинтеза: автореф. дис. канд. биол. наук: спец. 03.01.05 – физиология и биохимия растений / Е. А. Бакулина. – М., 2010. – 27 с.
- Shulaev V. Metabolic and Proteomic Markers for Oxidative Stress. New Tools for Reactive Oxygen Species Research <sup>[10A]</sup> / V. Shulaev, D. J. Oliver // Plant Physiology. – 2006. – №. 141.– P. 367–372.
- Kasperska-Zajac A. Antioxidant Enzyme Activity and Malondialdehyde Concentration in the Plasma and Erythrocytes of Patients With Urticaria Induced by Nonsteroidal Anti-inflammatory Drugs / A. Kasperska-Zajac, Z. Brzoza, B. Rogala, R. Polaniak, E. Birkner // J. Investig Allergol Clin Immunol. – 2008. - № 18(5). - P. 372-375
- Tomás-Barberan, F. A. Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing / F. A. Tomás-Barberan, F. Ferreres, M. I. Gil // Studies in Natural Products Chemistry. – 2000. – P. 739–795. doi:10.1016/s1572-5995(00)80141-6.
- Чупахина Г.Н. Система аскорбиновой кислоты растений: монография / Г. Н. Чупахина. – Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 1997. – 120 с.
- Yamasaki H., Flavonoid-peroxidase reaction as a detoxification mechanism of plant cells against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / H.Yamasaki, Y. Sakihama, N. Ikehara // Plant Physiol. – 1997.– № 115.– P. 1405–1412. doi: 10.1104/pp.115.4.1405
- Chen G., Effects of calcium and calmodulin antagonist on antioxidant systems of eggplant seedlings under high temperature stress /G. Chen, K. Jia, L. Han, L. Ren // Agr. Sci. China. – 2004. – V. 3, № 2. – P. 101-107.
- Дерябин А.Н. Влияние сахаров на развитие окислительного стресса, вызванного гипотермией (на примере растений картофеля, экспрессирующих ген инвертазы дрожжей) / А.Н. Дерябин, М.С.Синькевич, И. М. Дубинина // Физиология растений, 2007. – Т.54. – С. 39 – 46.
- Contento A.L. Transcriptome profiling of the response of Arabidopsis suspension culture cells to Suc starvation / A. L. Contento, S. J. Kim, D. C. Bassham // Plant Physiol. – 2004. – № 135. – P. 2330 – 2347. doi:10.1104/pp.104.044362
- Курсанова Т. А. Развитие представлений о природе иммунитета растений / Т.А. Курсанова. – М.: Наука, 1988. – 71 с.
- Тоайма В. И. М. Действие UV-B облучения на антиоксидантную систему лекарственных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.01.05 – физиология и биохимия растений / Ваел Исмаил Мохаммед Тоайма. – М., 2010. – 27 с.
- Adyanthaya I. Apple postharvest preservation is linked to phenolic content and superoxide dismutase activity / I. Adyanthaya, Y.I. Kwon, E. Apostolidis, K. Shetty // Journal of Food Biochemistry. – 2009. - № 33. – P.535–556. doi: 10.1111/j.1745-4514.2009.00236.
- Baker C.J., Active oxygen in plant pathogenesis / C. J. Baker, E. W. Orlandi // Annu Rev Phytopathol. – 1995. - № 33. – P. 299 – 321. doi: 10.1146/annurev.py.33.090195.001503.
- Dubey A. Characterization of Ionically Bound Peroxidases from Apple (Mallus pumilus) Fruits / A. Dubey, S.K. Diwakar, S. K. Rawat, P. Kumar // Preparative Biochemistry & Biotechnology. – 2007.– №37. – P. 47–58. doi: 10.1080/10826060601040871
- Найченко В.М. Технологія переробки і зберігання плодів та овочів / В.М. Найченко, І.Л. Заморська // Умань: Видавель «Сочінський», 2010. – 328 с.
- Пат. 2144674 Российская Федерация, МПК7 7G01N33/52, 7G01N33/68. Способ определения антиоксидантной активности супероксиддисмутазы и химических соединений / Сирота Т.В.; заявитель и патентообладатель Сирота Татьяна Валериановна. - № 99103192/14; заявл.24.02.99; опубл.20.01.00, Бюл. №2 (П.ч.). – С.266.
- Землянухин А.А. Малый практикум по биохимии/ А.А. Землянухин. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1985. – 128 с.
- Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иєрархий /Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 226 с.