

## ВПЛИВ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ АНТИОКСИДАНТАМИ НА УТИЛІЗАЦІЮ АКТИВНИХ ФОРМ КИСНЮ ВПРОДОВЖ ЗБЕРІГАННЯ ОГІРКІВ

Прісс О. П., Данченко О. О., Євлаш В. В., Жукова В. Ф.,  
Верхоланцева В. О., Степаненко Д. С.

### 1. Вступ

Аналітичний огляд літературних джерел, а також власний досвід в дослідженні впливу негативних чинників на збереженість плодоовочевої продукції, свідчать про те, що окисний стрес є ключовою ланкою в патогенезі патологічних процесів у плодах впродовж холодильного зберігання [1–6]. Найбільш вагомим чинником, що призводить до окисного стресу під час зберігання плодоовочевої продукції, є низькі температури. Зберігання в охолодженому стані дає можливість суттєво знизити метаболізм і продовжити післязбиральне життя плодів. Проте у теплолюбних культур тропічного і субтропічного походження, до яких відносяться огірки, адаптивні можливості до холоду вкрай обмежені. Зберігання при температурах нижче межі чутливості призводить до функціональних розладів і швидкої втраті якості [7].

Щоб запобігти втратам впродовж холодильного зберігання, уповільнити метаболізм і зберегти високу цінність овочевої продукції, у світовій практиці широко використовують післязбиральні обробки [8]. Незважаючи на зусилля дослідників, ефективних рішень для усунення холодових пошкоджень під час зберігання плодів на сьогодні не знайдено. Запобігання реакціям окиснення за допомогою антиоксидантів (прямий підхід) може бути досить ефективним у поєднанні зі заходами непрямого (не хімічного) підходу. Для кращого з'ясування відповіді антиоксидантних систем захисту на вплив різних прямих і непрямих обробок необхідні додаткові дослідження. Отримана інформація матиме важливе значення в розвитку комбінованих методів післязбиральної обробки для їх практичного застосування. Ці міркування дозволяють вважати обраний напрямок досліджень актуальним.

### 2. Об'єкт досліджень та його технологічний аудит

*Об'єкт досліджень* – процес утилізації активних форм кисню тканинами огірок під час зберігання.

Відповідно до ДСТУ 3247-95, свіжі огірки з захищеного ґрунту можна зберігати до 15 діб при температурі 10–14 °С, а з відкритого ґрунту – при 7–10 С [9]. Огірки, як і інші фізіологічно недозрілі овочі, швидко реагують на зниження температури нижче оптимальних режимів появою фізіологічних розладів [10]. Симптомами холодового пошкодження (ХП) в них є поява невеличких темних виїмок з розм'якшеною обводненою поверхнею, що з часом стрімко збільшуються та ослизнюються. Встановлено, що їх розвиток обумовлений перш за все пошкодженням структури клітинних мембран, а ключовим мотивом де-

градації мембранних компартментів є перекисне окиснення ліпідів (ПОЛ), яке активізується інтенсивною генерацією активних форм кисню (АФК) [11]. Продуктом вільнорадикального окиснення і біологічним маркером окиснювального стресу є малоновий діальдегід (МДА) [12]. Його динаміка впродовж холодильного зберігання виступає відображенням рівня окисного пошкодження клітин та резервно-адаптаційного потенціалу плодів. Підвищення рівня МДА вказує на посилення процесів ПОЛ [13].

АФК генеруються в дихальному ланцюгу та інших нормальних метаболічних процесах. Головними утилізаторами АФК, є антиоксидантні ферменти супероксиддисмутаза (СОД), каталаза (КАТ), пероксидаза (ПО) [14].

СОД виконує ключову функцію у захисті рослинних організмів від окисного стресу [15]. Запобігаючи окисненню клітинних макромолекул, СОД є першою лінією захисту від окиснювальних пошкоджень. Її роль полягає у диспропорціонуванні супероксидних радикалів з утворенням пероксиду водню, для утилізації якого активізуються інші антиоксидантні ензими – КАТ і ПО.

Під час зберігання плодів припиняється синтез речовин, потрібних для стабільного метаболізму, механізм антиоксидантного контролю над утворенням вільних радикалів справно функціонує лише впродовж обмеженого часу. Коли розвиваються незворотні процеси старіння, вміст вільних радикалів стрімко зростає [16], ресурси антиоксидантного захисту витрачаються. Це зумовлює низку метаболічних порушень і призводить до загибелі клітин. Тому утилізація надмірної кількості АФК під час зберігання огірків є запорукою збереження їх якості.

### **3. Мета і завдання досліджень**

*Мета досліджень* – визначити вплив теплової обробки розчинами антиоксидантних композицій на рівень утилізації АФК тканинами огірків.

*Завдання досліджень:*

1. Розглянути ступінь пошкодження холодом під час зберігання огірків.
2. Проаналізувати динаміку вмісту малонового діальдегіду під час зберігання огірків.
3. Проаналізувати динаміку активності супероксиддисмутази, каталази та пероксидази під час зберігання огірків.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Для протидії внутрішнім деструктивним процесам доцільно використовувати ряд механізмів, що інгібують окисний стрес індукований охолодженням.

Існують різні післязбиральні технології для затримки розвитку ХП при зберіганні чутливої продукції. Деякі з цих технологій мають фізичну природу і складаються в основному зі зміни температури, відносної вологості або газового складу атмосфери при зберіганні фруктів і овочів. Однак зберігання в контрольованій атмосфері залежно від виду продукції може бути корисним, неефективним чи навіть шкідливим в зниженні холодового пошкодження. Зберігання в регульованому газовому середовищі має переваги для кабачків, не впливає на помідори та посилює симптоми переохолодження в огірках і солодкому перці [17]. Відомо, що використання модифікованої атмосфери сприяє пом'якшенню впливу низьких темпера-

тур. Огірки, упаковані в поліетилен низької щільності, мають менші природні втрати маси та затримку розвитку холодкових пошкоджень за зберігання при 5 °С. Проте термін зберігання такої продукції не перевищує 15 діб [18].

Вивчається можливість застосування холодової акліматизації перед зберіганням огірків [19]. Повідомляється, що попередня холодова акліматизація дозволяє знизити рівень МДА під час зберігання огірків при 5 °С. Однак динаміка активності антиоксидантних ферментів і ефективність холодової акліматизації залежали від тривалості впливу попередньої акліматизації. Крім того, термін зберігання огірків не перевищував 12 діб.

Найбільш часто на промисловому рівні використовується кондиціонування при помірній температурі [20], попередні теплові обробки (ТО) при високих температурах [21, 22] чи переривання холодильного зберігання на тимчасове отеплення продукції (одноразово чи періодично) [23, 24]. Позитивний вплив теплових процедур пов'язаний з утворенням і захисною дією білків теплового шоку (БТШ). БТШ приймають участь у регуляції утворення АФК, захисті компартментів клітини від окиснювального стресу [25]. Термотолерантність, індукована тепловим стресом, може дати захист і проти холодowego стресу [25, 26]. Післязбиральні ТО можуть не тільки затримувати розвиток холодowego пошкодження, а й модулювати швидкість дозрівання і старіння продукції [21].

Серед можливих шляхів посилення толерантності до впливу холоду, крім застосування фізичних методів є використання хімічних речовин з біологічною активністю (регулятори росту, антиоксиданти, мікроелементи) [27, 28]. Обробка плодів сполуками, що можуть діяти як антиоксиданти і зменшувати окиснювальне пошкодження, індуковане охолодженням, широко застосовується при зберіганні плодово-вочевої продукції. Добре відомі такі антиоксиданти, як дифеніламін, диметилполісилоксан, етоксиквін, сафлорова олія чи мінеральні масла [28, 29]. Антиоксидант Хедefon зменшує інтенсивність дихання та пошкодження холодом огірків [1].

Різні зовнішні стресори виробляють аналогічні механізми для підвищення стійкості до окиснювального стресу. Якщо застосовуються два або більше стресори одночасно, в рослинній тканині розвивається ширша стрес крос-толерантність [30]. Тож перспективною стратегією додаткового зниження окисних пошкоджень в плодах під час зберігання є поєднання теплової обробки з антиоксидантами, оскільки при цьому є велика ймовірність синергічної дії обох елементів технології для підвищення стресостійкості системи.

## **5. Методи досліджень**

### **5.1. Рослинні матеріали, умови вирощування та збирання**

Досліди виконували в 2005–2012 рр. на базі лабораторії технології переробки та зберігання продукції сільського господарства НДІ Агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, Україна). Досліджували плоди огірків Маша F1 і Афіна F1 з відкритого ґрунту. На зберігання закладали плоди без відірваної плодоніжки, неушкоджені, розміром 11...14 см. Огірки обробляли розчинами антиоксидантних композицій з температурою 42 °С на 10 хв шляхом занурення. Композиції склалися з компонентів бактерицидної та антиоксидантної дії: хлорофіліпт

(Хл), іонол (І) та лецитин (Л) [31]. Плоди висушували і затарювали в ящики, вистелені всередині поліетиленовою плівкою. Температура зберігання  $8 \pm 0,5$  °С, відносна вологість  $95 \pm 1$  %. За контроль приймали необроблені плоди.

## **5.2. Методики оцінювання пошкодження холодом, визначення МДА та активності ферментів**

Ступінь холодового пошкодження (ХП) визначали в кінці зберігання за наведених режимів та витримки плодів 24 год. при температурі  $21 \pm 2$  °С. Повторність п'ятикратна, по 20 плодів у кожній.

Оцінку розвитку ХП впродовж зберігання плодів проводили за суб'єктивною шкалою від 0 до 3 балів та відображали через індекс пошкодження холодом (І), який обчислювали за формулою:

$$I = \frac{N_1 \times 1 + N_2 \times 2 + N_3 \times 3}{S}, \quad (1)$$

де  $N_1, N_2, N_3$  – кількість плодів з відповідним до шкали холодовим пошкодженням;

$S$  – загальна кількість плодів у повторності.

Параметри шкали: 0 – відсутні пошкодження; 1 – незначні пошкодження ( $\leq 10$  % поверхні плоду); 2 – помірне пошкодження (10–30 % поверхні плоду), і 3 – суттєве пошкодження ( $\geq 30$  %).

Концентрацію МДА встановлювали тіобарбітуровим методом [32].

Активність СОД встановлювали за її властивістю сповільнювати реакцію аутоокислення адреналіну в лужному середовищі [33] з модифікацією у частині підготовки сировини до досліджень. Для вимірювання активності СОД, брали 0,5 г рослинного матеріалу, додавали 5 мл фосфатного буфера рН=10,65 та розтирали в ступці зі склом на льоді. Далі переносили в центрифужні пробірки, додавали 0,3 мл хлороформу та 0,6 мл спирту та центрифугували при 8000 об. 20 хвилин. Для спектрофотометрування відбирали надосадовий центрифугат,  $\lambda=347$  нм. Активність СОД виражали в умовних одиницях, що показують відсоток інгібування аутоокиснення адреналіну.

Активність КАТ встановлювали титруванням нерозкладеного залишку пероксиду водню тіосульфатом натрію [34].

Активність ПО встановлювали титруванням нерозкладеного залишку пероксиду водню при окисненні пірокатехіну [35].

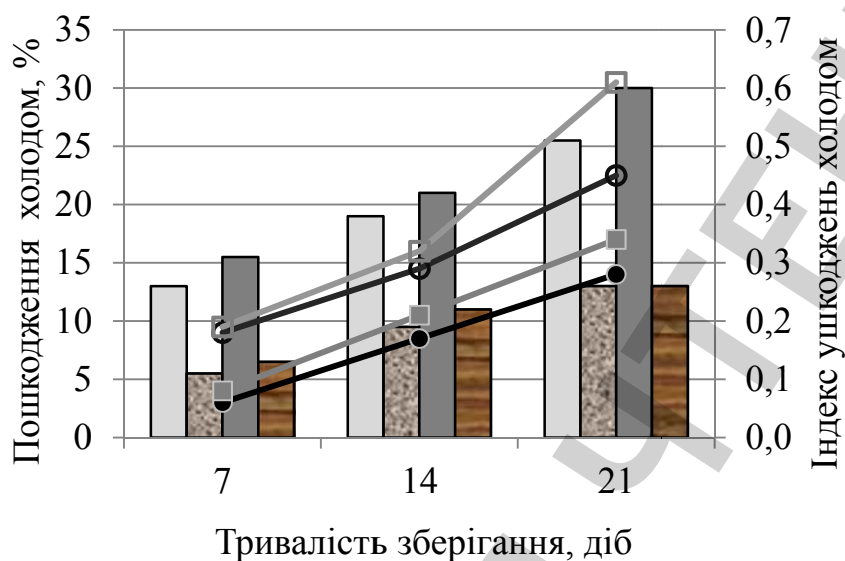
## **6. Результати досліджень**

### **6.1. Пошкодження холодом**

При зберіганні огірків за температури 8 °С початкові ознаки переохолодження проявлялись втиснутими темними плямами більше 3 мм в контрольній партії вже на 7 добу зберігання. Однак інтенсивний розвиток пошкоджень відбувається з 14 доби.

Одним із дієвих заходів зниження чутливості до охолодження при зберіганні є попередні теплові обробки [21, 36]. Проведені дослідження підтвер-

джують такі дані [4, 6]. Занурення огірків у воду з температурою 42 °С на 10 хв. (режими обрано на основі літературних джерел [36, 37], перед закладанням на зберігання, суттєво скорочує відсоток уражених холодом екземплярів та зменшує важкість симптомів переохолодження (рис. 1).



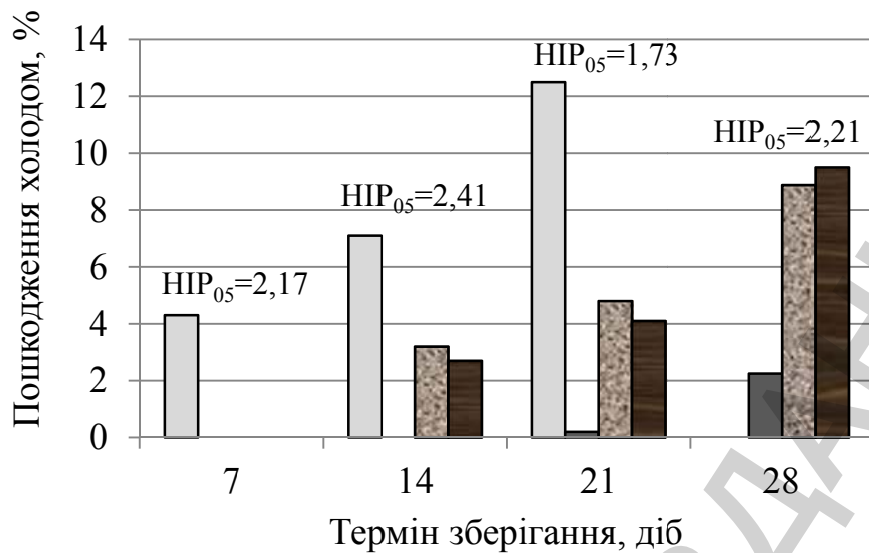
**Рис. 1.** Пошкодження холодом під час зберігання огірків:

- , ○ – Маша без обробки; ▨, ● – Маша з тепловою обробкою;  
 ■, □ – Афіна без обробки; ▩, ■ – Афіна з тепловою обробкою

Як видно з рис. 1, попередня тепла обробка практично вдвічі знижує кількість плодів з холодовими пошкодженнями. Крім того, знижується важкість симптомів переохолодження, що особливо помітно для більш сприйнятливих огірків Афіна, де індекс пошкодження сягає 0,6. Різниця у важкості симптомів переохолодження зростає із зростанням терміну зберігання.

Для індукування захисту тканин від стресу та запобігання втрат від низькотемпературного пошкодження, досліджено сумісний вплив теплової обробки та антиоксидантних композицій. Антиоксидантні речовини використовували в концентраціях 0,036 І; 0,50 Хл; 4 Л.

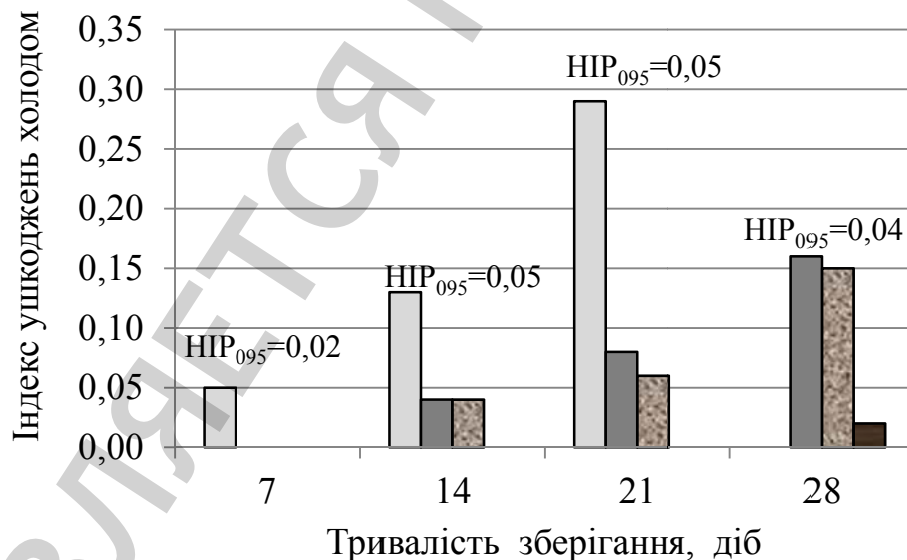
Післязбиральна тепла обробка антиоксидантними сполуками індукує холодову толерантність огірків. В плодах оброблених Х+Л та Х+І перші незначні ознаки переохолодження відмічені на 7 днів пізніше, ніж в плодах з тепловою обробкою (14 доба). Плоди, оброблені композицією антиоксидантів Х+І+Л, виявляли чутливість до низьких температур аж на кінець зберігання (рис. 2).



**Рис. 2.** Пошкодження холодом під час зберігання огірків, середні дані по двом сортам:

- – теплова обробка водою; ▨ – теплова обробка антиоксидантом Хл+Л;
- – теплова обробка антиоксидантом Хл+І; ■ – теплова обробка антиоксидантом Хл+І+Л

Як видно з рис. 3, антиоксиданти також сприяють полегшенню холодових травм.



**Рис. 3.** Індекс ушкоджень холодом, середні дані по двом сортам:

- – теплова обробка водою; ■ – теплова обробка Хл+Л; ▨ – теплова обробка Хл+І; ■ – теплова обробка Хл+І+Л

На 21 добу, коли плоди з тепловою обробкою знімали зі зберігання, важкість уражень холодом в огірках, оброблених Хл+Л, була в 3,6 нижча, ніж в контрольних. Індекс ХП в огірках, оброблених Хл+І, в 4,8 рази менший, ніж в плодах з тепловою обробкою. В плодах, оброблених трьохкомпонентним анти-

оксидантом, практично не виявляли плодів з балом ушкодження 2 та 3, що суттєво знижує індекс ушкодження холодом.

### 6.2. Рівень утилізації активних форм кисню

Фоновий рівень МДА в огірках в середньому за роками досліджень і гібридами становить 35 нмоль/г (рис. 4). Оскільки окисний стрес розвивається відразу після відділення від материнської рослини, продовжується під час охолодження та поглиблюється під час зберігання, то наростання продуктів ПОЛ є закономірним. Таке збільшення кількості МДА спостерігається вже через тиждень зберігання контрольних зразків.

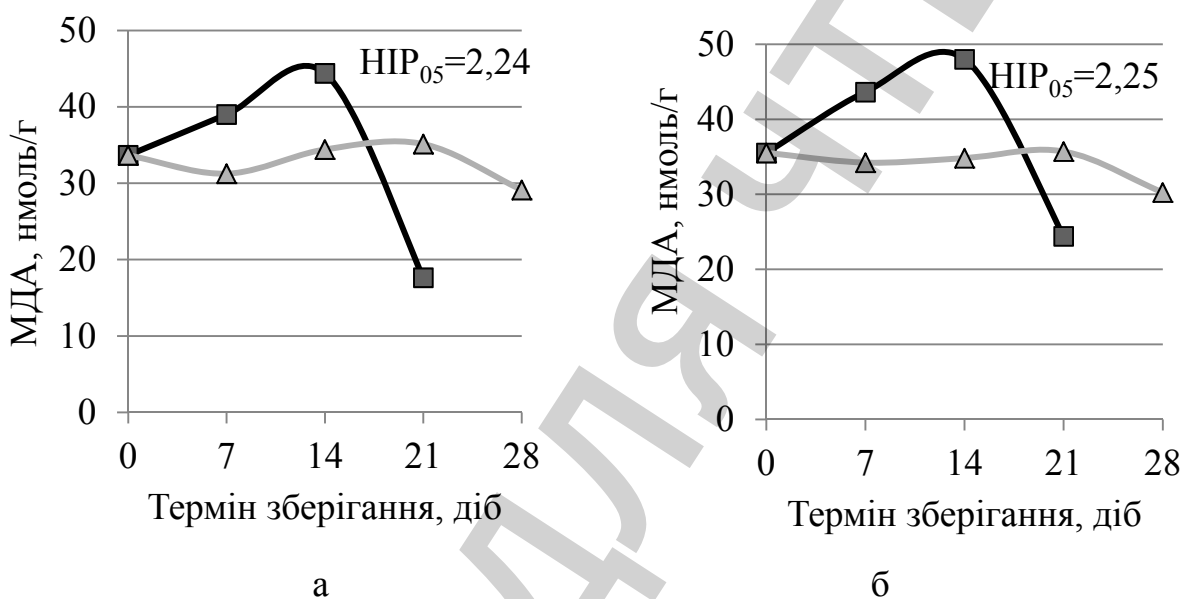


Рис. 4. Динаміка кількості малонового діальдегіду:

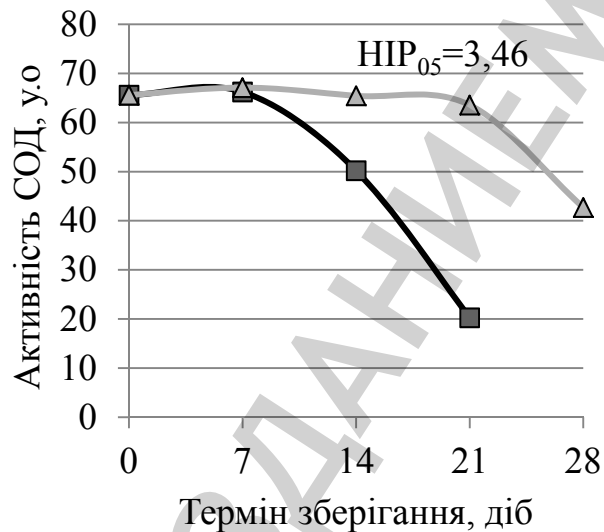
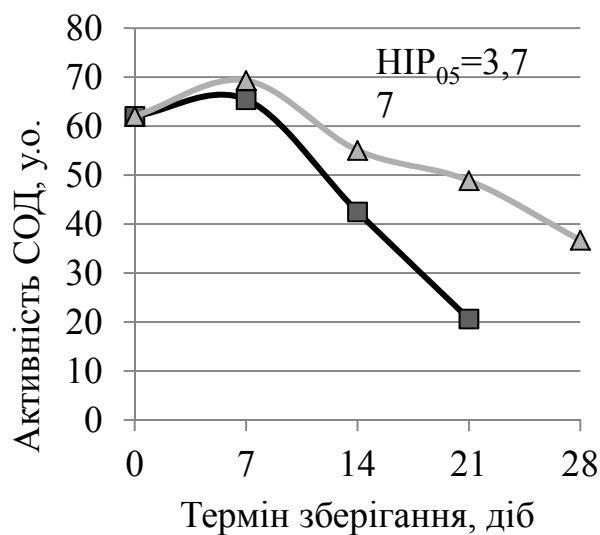
а – Афіна; б – Маша; ■ – контроль; ▲ – теплова обробка Хл+І+Л

Нарощення кількості МДА у контрольних зразках відбувається до 14 доби, коли їх товарна якість передбачає знімання зі зберігання. Подальше зберігання веде до різкого зниження рівня МДА. Таке зниження МДА є закономірним при перезріванні плодів огірка. Як відмічають китайські дослідники, рівень МДА в огірках з першими проявами пожовтіння падає [38].

У дослідних плодів, незалежно від гібриду, за весь час зберігання відхилення від фонового значення МДА мінімальні, що відповідно відображає стабільне функціонування антиоксидантної системи.

### 6.3. Утилізація АФК через систему високомолекулярних антиоксидантів

*Супероксиддисмутаза.* На початку зберігання огірків відбувається деяке зростання активності СОД. (рис. 5). Це можна пояснити відповіддю на холодовий стрес. Багатьма дослідниками описується індукція СОД в стресових умовах [15].



а б  
**Рис. 5.** Динаміка активності супероксидисмутази:

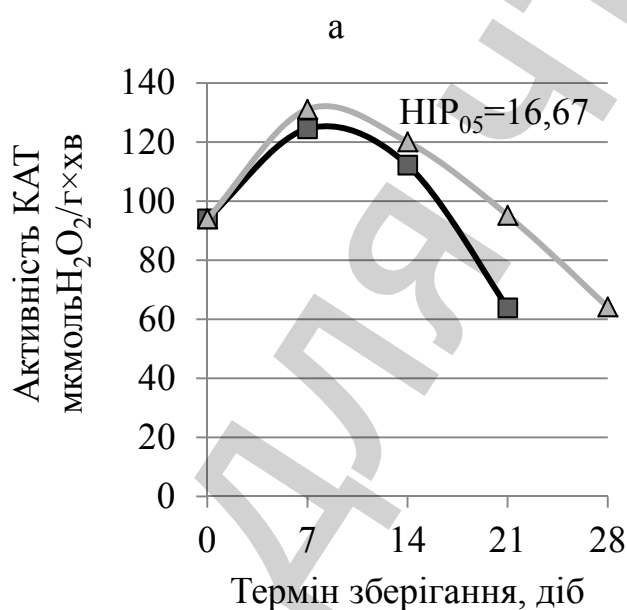
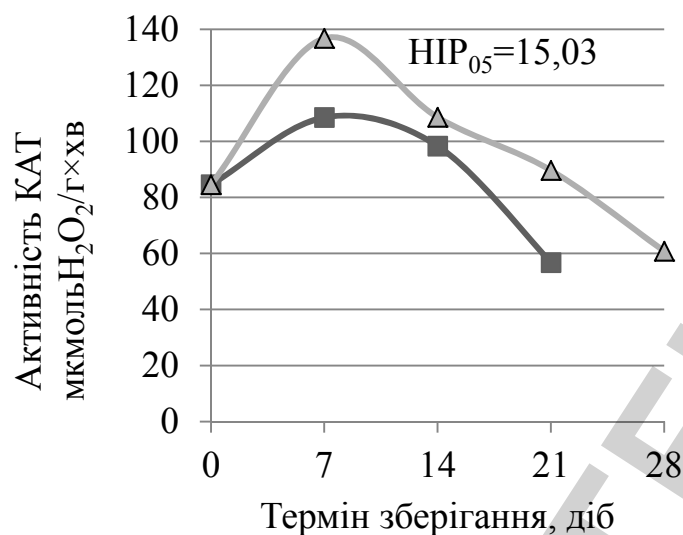
а – Афіна; б – Маша; ■ – контроль; △ – теплова обробка Хл+І+Л

Оскільки огірки гібриду Маша виявили вищу холодову толерантність порівняно з плодами гібриду Афіна, то і приріст активності СОД вони демонструють набагато нижчий. Подальша динаміка активності СОД в контрольних зразках незалежно від сортових особливостей аналогічна. Після 7 днів відбувається стрімке зниження активності ферменту. На 21 добу активність СОД втричі менша від початкового значення.

У дослідних плодів сортова специфіка зберігається. Холодотолерантний Маша підтримує початкову активність СОД аж до 21 доби, а відтак відбувається її зниження на третину. Дослідні плоди гібриду Афіна показують динаміку активності СОД близьку до контрольних. Проте темпи зниження ферментної активності набагато нижчі, а це сприяє діяльності СОД на рівні 60 % від початкового значення через 28 днів зберігання.

*Каталаза.* На початку зберігання огірків, активність каталази зростає в контрольних і дослідних зразках (рис. 6). Таке зростання активності цього ензиму на першому етапі зберігання є закономірним, адже за різними дослідженнями, КАТ активується у відповідь на охолодження [39]. Більш чутливі до охолодження огірки Афіна характеризуються нижчими рівнями активності КАТ від самого початку зберігання. Через тиждень зберігання активність ензиму зростала в середньому на 28 % у Афіни та на 34 % у Маші відносно початкового значення, що підтверджує теорію про головну роль каталази в захисті від холододового пошкодження [39].





**Рис. 6.** Динаміка активності каталази:

а – Афіна; б – Маша; ■ – контроль; ▲ – тепла обробка Хл+І+Л

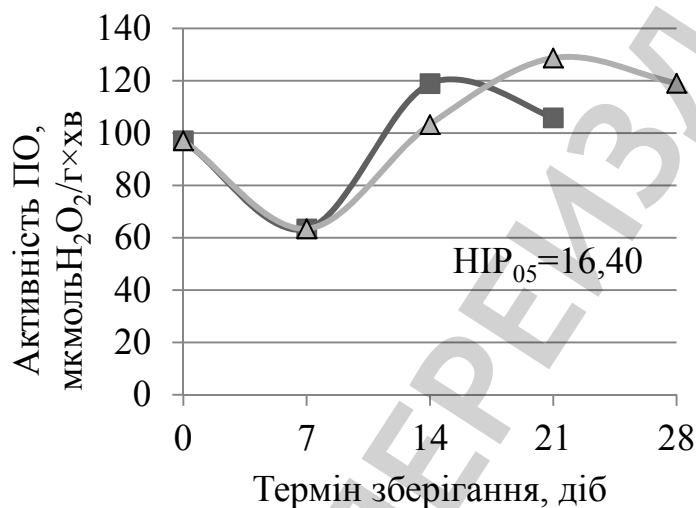
В дослідних зразках особливо помітний вплив екзогенної обробки антиоксидантами саме в чутливих до охолодження плодах гібриду Афіна. Активність КАТ оброблених огірків Афіна зростає на сьому добу в середньому на 60 % від початкового значення, що на 32 % більше ніж в контролі. Одночасно для холодопереносливої Маші це зростання близько 40 %, а порівняно з контролем більше тільки на 8 %. Тож тепла обробка АО посилює захист ендогенної системи підтримання нормального метаболізму лише за необхідності.

Під час подальшого зберігання, через розвиток окисного стресу, активність КАТ поступово знижується в усіх групах огірків. Різниця полягає лише в темпах зниження, аналогічно як і в активності СОД. Зниження активності СОД може також опосередковано впливати на зниження активності КАТ, оскільки є

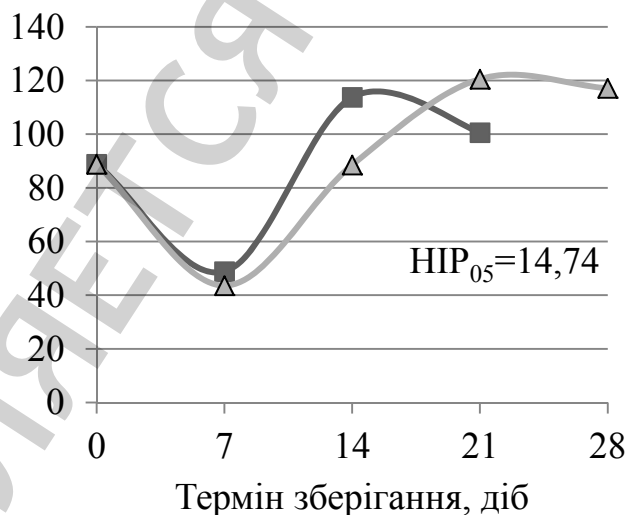
відомості про чутливість каталази до супероксидного аніон-радикалу, який може інгібувати фермент [40].

*Пероксидаза.* Сортові особливості в активності пероксидази в огірках практично не проявляються. На відміну від каталази, на початку зберігання огірків пероксидазна активність різко гальмується в усіх варіантах (рис. 7).

Зниження активності ПО на першому етапі зберігання огірків фіксовано й іншими авторами [41, 42], що характерно для чутливих до охолодження огірків і є реакцією на зниження температури. Крім того, теплова обробка також може знижувати діяльність ПО [21].



а



б

**Рис. 7.** Динаміка активності пероксидази:

а – Афіна; б – Маша; ■ – контроль; ▲ – теплова обробка Хл+І+Л

Проте, зважаючи на мультифункціональність даного ферменту, можуть бути й інші причини зміни його активності.

Через 7 діб зберігання активність ПО не лише відновлюється, а й зростає відносно початкового значення. Збільшення активності пероксидази є нормальним процесом при старінні тканин [41, 42].

Далі динаміка пероксидази контрольних і дослідних плодів різниться. Оброблені огірки продовжують нарощувати активність ПО, у той же час контрольні зразки вже демонструють зниження діяльності ферменту, що може бути свідченням катаболічних процесів. Крім того, було доведено, що пероксидаза клітинної стінки, яка здатна до утворення перекису водню при нейтральному рН, відновлює пероксидазну властивість при зміщенні рН в кислий бік [43]. Саме в цей час відбувається підвищення кислотності в дослідних плодах, що може сказатись на збільшенні активності ПО. На 28 добу зберігання у дослідних екземплярах також відбувається поступове гальмування активності ПО.

## 7. SWOT-аналіз результатів досліджень

*Strengths.* Сильною стороною даного дослідження є результати щодо впливу теплової обробки антиоксидантами на ступінь утилізації АФК в тканинах огірків. На користь даного твердження свідчить відсутність такої інформації в сучасних світових джерелах літератури. Отримані результати дозволяють зрозуміти механізм підвищення стресостійкості плодів огірка під час зберігання. Завдяки цьому суттєво скорочується відсоток уражених холодом екземплярів та зменшується важкість симптомів переохолодження. У порівнянні з іншими методами, які індукують холодотолерантність, теплова обробка антиоксидантами може бути легко інтегрована на етапі підготовки плодів до зберігання без істотного збільшення матеріально-технічних витрат, оскільки вартість антиоксидантів становить 80,2 грн/т (3,1 дол/т). При цьому зменшуються втрати від фізіологічних розладів, скорочуються втрати маси та збільшується вихід стандартної продукції після зберігання на 14 % у порівнянні з контролем. Термін зберігання продукції подовжується на 5 діб. Крім того, внаслідок інгібування метаболізму в огірках з тепловою обробкою антиоксидантами краще зберігаються цінні фітонутрієнти, що матиме соціальний ефект для здоров'я населення.

*Weaknesses.* Слабкою стороною даного дослідження є аналіз впливу даної обробки на виключно ензиматичний комплекс антиоксидантного захисту, не охоплюючи неферментативні антиоксиданти.

*Opportunities.* Проте аналіз реакції кожного елемента антиоксидантної системи плодів огірка призведе до перевантаження і важкого сприйняття даної роботи. Для запобігання цього доцільно включити матеріал щодо впливу післязбиральної обробки на неферментативні антиоксиданти огірків в окрему роботу, що стане перспективою подальших досліджень.

Впровадження технології зберігання огірків з використанням теплової обробки антиоксидантами за рахунок подовження терміну зберігання, скорочення природних втрат маси і збереження високої якості продукції забезпечує зростання чистого прибутку на 5624,4 грн/т (217 дол/т). та рівня рентабельності зберігання на 107,7 %.

*Threats.* Складність в корегуванні симптомів окисного стресу плодів огірка полягає у нестабільному вмісті ендogenous антиоксидантів, щорічних коливаннях цих показників залежно від агрокліматичних умов вирощування.

При впровадженні технології зберігання огірків з використанням теплової обробки антиоксидантами фактичні витрати підприємства зростуть на 272,8 грн/т (10,5 дол/т) чи на 80 %.

## 8. Висновки

1. Встановлено, що застосування екзогенних біологічно активних речовин індукує холододу толерантність огірків. Залежно від застосованих антиоксидантів, важкість симптомів переохолодження знижується в 3,6...4,8 рази у порівнянні з плодами з тепловою обробкою. Прояви холододових пошкоджень з'являються на 7 діб пізніше при застосуванні Хл+І та Хл+Л.

Поєднання теплової обробки та композиції антиоксидантів Хл+І+Л дозволяє уникати холододових пошкоджень аж до кінця зберігання.

2. Показано, що огірки з тепловою обробкою антиоксидантами за весь час зберігання демонструють мінімальні відхилення від фонового значення малонового діальдегіду. Це відображає стабільне функціонування антиоксидантної системи.

3. Встановлено, що тепла обробка антиоксидантами дозволяє сповільнити темпи зниження активності супероксиддисмутази. Це сприяє діяльності СОД на рівні 60 % від початкового значення через 28 діб зберігання.

Застосування теплової обробки антиоксидантами індукує активність каталази в огірках. Каталазна активність оброблених огірків зростає відповідно до ступеня їх холододової толерантності. Максимальне індукування активності каталази спостерігається в більш чутливого до холоду гібриду Афіна. Тож тепла обробка антиоксидантами посилює захист ендogenous системи підтримання нормального метаболізму лише за необхідності.

Теплова обробка антиоксидантами регулює діяльність пероксидази в огірках, що є підтвердженням сповільнення процесів старіння.

## Література

1. Laamim, M. Treatments to reduce chilling injury in harvested cucumbers [Text] / M. Laamim, Z. Lapsker, E. Fallik, A. Ait-Oubahou, S. Lurie // *Advances in Horticultural Science.* – 1998. – Vol. 12, No. 4. – P. 175–178.

2. Gill, S. S. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants [Text] / S. S. Gill, N. Tuteja // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2010. – Vol. 48, No. 12. – P. 909–930. doi:[10.1016/j.plaphy.2010.08.016](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016)

3. Sevillano, L. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact [Text] / L. Sevillano, M. T. Sanchez-Ballesta, F. Romojaro, F. B. Flores // *Journal of the Science of Food and Agriculture.* – 2009. – Vol. 89, No. 4. – P. 555–573. doi:[10.1002/jsfa.3468](https://doi.org/10.1002/jsfa.3468)

4. Priss, O. Effect of heat treatment with antioxidants on oxygen radical scavenging during storage of bell pepper fruits [Text] / O. Priss // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5, No. 1. – P. 16–26.
5. Priss, O. Chilling-injury reduction during the storage of tomato fruits by heat treatment with antioxidants [Text] / O. Priss // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 1, No. 6 (73). – P. 38–43. doi:[10.15587/1729-4061.2015.37171](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.37171)
6. Priss, O. Effect of heat treatment with antioxidants on oxygen radical scavenging during storage of zucchini squash [Text] / O. Priss, V. Kalytka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 6, No. 10 (77). – P. 47–53. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56188](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56188)
7. Priss, O. P. Reduction of losses during storage vegetables sensitive to low temperatures [Text] / O. P. Priss, V. V. Kalitka // Progressive engineering and technology of food production enterprises, catering business and trade. – 2014. – Vol. 1 (19). – P. 209–221.
8. Mahajan, P. V. Postharvest treatments of fresh produce [Text] / P. V. Mahajan, O. J. Caleb, Z. Singh, C. B. Watkins, M. Geyer // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – 2014. – Vol. 372, No. 2017. – P. 20130309. doi:[10.1098/rsta.2013.0309](https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309)
9. DSTU 3247-95. Ohirky svizhi. Tekhnichni umovy [Text]. – Introduced 1997-01-01. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1996. – 24 p.
10. Valenzuela, J. Oxidative Stress Associated with Chilling Injury in Immature Fruit: Postharvest Technological and Biotechnological Solutions [Text] / J. Valenzuela, S. Manzano, F. Palma, F. Carvajal, D. Garrido, M. Jamilena // International Journal of Molecular Sciences. – 2017. – Vol. 18, No. 7. – P. 1467. doi:[10.3390/ijms18071467](https://doi.org/10.3390/ijms18071467)
11. Karuppanapandian, T. Reactive oxygen species in plants: Their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms [Text] / T. Karuppanapandian, J. C. Moon, C. Kim, K. Manoharan, W. Kim // Australian Journal of Crop Science. – 2011. – Vol. 5, No. 6. – P. 709–725.
12. Del Rio, D. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress [Text] / D. Del Rio, A. J. Stewart, N. Pellegrini // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. – 2005. – Vol. 15, No. 4. – P. 316–328. doi:[10.1016/j.numecd.2005.05.003](https://doi.org/10.1016/j.numecd.2005.05.003)
13. Yang, Q. Low-temperature conditioning induces chilling tolerance in «Hayward» kiwifruit by enhancing antioxidant enzyme activity and regulating endogenous hormones levels [Text] / Q. Yang, Z. Zhang, J. Rao, Y. Wang, Z. Sun, Q. Ma, X. Dong // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2013. – Vol. 93, No. 15. – P. 3691–3699. doi:[10.1002/jsfa.6195](https://doi.org/10.1002/jsfa.6195)
14. Gill, S. S. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants [Text] / S. S. Gill, N. Tuteja // Plant Physiology and Biochemistry. – 2010. – Vol. 48, No. 12. – P. 909–930. doi:[10.1016/j.plaphy.2010.08.016](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016)
15. Alscher, R. G. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants [Text] / R. G. Alscher, N. Erturk, L. S. Heath // Journal of Ex-

perimental Botany. – 2002. – Vol. 53, No. 372. – P. 1331–1341. doi:[10.1093/jexbot/53.372.1331](https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1331)

16. Hodges, D. M. The relationship between antioxidants and postharvest storage quality of fruits and vegetables [Text] / D. M. Hodges, J. M. DeLong // Stewart Postharvest Review. – 2007. – Vol. 3, No. 3. – P. 1–9. doi:[10.2212/spr.2007.3.12](https://doi.org/10.2212/spr.2007.3.12)

17. Wang, C. Y. Chilling Injury of Tropical Horticultural Commodities [Text] / C. Y. Wang // HortScience. – 1994. – Vol. 29, No. 9. – P. 986–988.

18. Wang, C. Y. Modified atmosphere packaging alleviates chilling injury in cucumbers [Text] / C. Y. Wang, L. Qi // Postharvest Biology and Technology. – 1997. – Vol. 10, No. 3. – P. 195–200. doi:[10.1016/s0925-5214\(97\)01405-1](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(97)01405-1)

19. Wang, B. Pre-storage cold acclimation maintained quality of cold-stored cucumber through differentially and orderly activating ROS scavengers [Text] / B. Wang, S. Zhu // Postharvest Biology and Technology. – 2017. – Vol. 129. – P. 1–8. doi:[10.1016/j.postharvbio.2017.03.001](https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.001)

20. Wang, C. Y. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase, and superoxide dismutase in chilled zucchini squash [Text] / C. Y. Wang // Postharvest Biology and Technology. – 1995. – Vol. 5, No. 1-2. – P. 67–76. doi:[10.1016/0925-5214\(94\)00020-s](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00020-s)

21. Lurie, S. Fundamental aspects of postharvest heat treatments [Text] / S. Lurie, R. Pedreschi // Horticulture Research. – 2014. – Vol. 1. – P. 14030. doi:[10.1038/hortres.2014.30](https://doi.org/10.1038/hortres.2014.30)

22. Kasim, M. U. Vapor heat treatment increase quality and prevent chilling injury of cucumbers (*Cucumis melo* L. cv. Silor) [Text] / M. U. Kasim, R. Kasim // American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. – 2011. – Vol. 11, No. 2. – P. 269–274.

23. Wang, C. Y. Combined treatment of heat shock and low temperature conditioning reduces chilling injury in zucchini squash [Text] / C. Y. Wang // Postharvest Biology and Technology. – 1994. – Vol. 4, No. 1-2. – P. 65–73. doi:[10.1016/0925-5214\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90008-6)

24. Artes, F. Physiological responses of tomato fruit to cyclic intermittent temperature regimes [Text] / F. Artes, F. Garcia, J. Marquina, A. Cano, J. P. Fernandez-Trujillo // Postharvest Biology and Technology. – 1998. – Vol. 14, No. 3. – P. 283–296. doi:[10.1016/s0925-5214\(98\)00055-6](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(98)00055-6)

25. Kolupaev, Yu. Ye. Reactive oxygen species at adaptation of plants to stress temperatures [Text] / Yu. Ye. Kolupaev, Yu. V. Karpets // Fyzyolohyya y byokhymyya kul'turnykh rasteny. – 2009. – Vol. 41, No. 2. – P. 95–108.

26. Lurie, S. Postharvest heat treatments [Text] / S. Lurie // Postharvest Biology and Technology. – 1998. – Vol. 14, No. 3. – P. 257–269. doi:[10.1016/s0925-5214\(98\)00045-3](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(98)00045-3)

27. Lukatkin, A. S. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review [Text] / A. S. Lukatkin, A. Brazaityte, C. Bobinas, P. Duchovskis // Zemdirbystė (Agriculture). – 2012. – Vol. 99, No. 2. – P. 111–124.

28. Wang, C. Y. Alleviation of chilling injury in tropical and subtropical fruits [Text] / C. Y. Wang // Acta Horticulturae. – 2010. – Vol. 864. – P. 267–273. doi:[10.17660/actahortic.2010.864.35](https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.864.35)

29. Purvis, A. C. Diphenylamine reduces chilling injury of green bell pepper fruit [Text] / A. C. Purvis // *Postharvest Biology and Technology*. – 2002. – Vol. 25, No. 1. – P. 41–48. doi:[10.1016/s0925-5214\(01\)00144-2](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(01)00144-2)
30. Toivonen, P. M. A. Benefits of Combined Treatment Approaches to Maintaining Fruit and Vegetable Quality [Text] / P. M. A. Toivonen // *Fresh Produce*. – 2009. – Vol. 3, No. 1. – P. 58–64.
31. Substance for treating fruited vegetables prior to storage [Electronic resource]: Patent of Ukraine No. 41177; MPK A23V 7/00, A23L 3/34 / Priss O. P., Prokudina T. F., Zhukova V. F. – Appl. No. u 200813962; Filed 04.12.2008; Publ. 12.05.2009, Bull. No. 9. – Available at: \www/URL: <http://uapatents.com/2-41177-rechovina-dlya-obrobki-plodovikh-ovochoiv-pered-zberigannyam.html>
32. Musiienko, M. M. Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohii, biokhimii ta ekolohii roslyn [Text] / M. M. Musiienko, T. V. Parshykova, P. S. Slavnyi. – Kyiv: Fitosotsiotsentr, 2001. – 200 p.
33. Sposob opredeleniia antioksidantnoi aktivnosti superoksiddismutazy i himicheskikh soedinenii [Electronic resource]: Patent of the Russian Federation No. 2144674; MPK 7 G 01 N33/52, G 01 N33/68 / Sirota T. V. – Appl. No. 99103192/14; Filed 24.02.1999; Publ. 20.01.2000, Bull. No. 2. – Available at: \www/URL: <http://ru-patent.info/21/40-44/2144674.html>
34. Hrytsaienko, Z. M. Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv [Text] / Z. M. Hrytsaienko, A. O. Hrytsaienko, V. P. Karpenko. – Kyiv: NiChLAVA, 2003. – 320 p.
35. Zemlianuhin, A. A. Malyi praktikum po biohimii [Text]: Handbook / A. A. Zemlianuhin. – Voronezh: VGU, 1985. – 128 p.
36. McCollum, T. G. Immersion of cucumber fruit in heated water alters chilling-induced physiological changes [Text] / T. G. McCollum, H. Doostdar, R. T. Mayer, R. E. McDonald // *Postharvest Biology and Technology*. – 1995. – Vol. 6, No. 1-2. – P. 55–64. doi:[10.1016/0925-5214\(94\)00045-t](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)00045-t)
37. McCollum, T. G. Tolerance of cucumber fruit to immersion in heated water and subsequent effects on chilling tolerance [Text] / T. G. McCollum, R. E. McDonald // *Acta Horticulturae* – 1993. – Vol. 343. – P. 233–237. doi:[10.17660/actahortic.1993.343.54](https://doi.org/10.17660/actahortic.1993.343.54)
38. Qian, C.-L. Role of antioxidative system during the development and senescence of cucumber fruit [Text] / C.-L. Qian, Y.-Y. Zhao, H.-B. Mi, X.-H. Chen, L.-J. Guo, L.-C. Mao // *Biologia Plantarum*. – 2012. – Vol. 56, No. 4. – P. 793–797. doi:[10.1007/s10535-012-0126-y](https://doi.org/10.1007/s10535-012-0126-y)
39. Sala, J. M. Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling [Text] / J. M. Sala, M. T. Lafuente // *Postharvest Biology and Technology*. – 2000. – Vol. 20, No. 1. – P. 81–89. doi:[10.1016/s0925-5214\(00\)00115-0](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(00)00115-0)
40. Kolupaev, Yu. Ye. Plants antioxidative system: participation in cell signaling and adaptation to influence of stressors [Text] / Yu. Ye. Kolupaev, Yu. V. Karpets, O. I. Oboznyi // *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*. – 2011. – Vol. 1 (22). – P. 6–34.
41. Keren-Keiserman, A. Peroxidase activity associated with suberization processes of the muskmelon (*Cucumis melo*) rind [Text] / A. Keren-Keiserman,

Z. Tanami, O. Shoseyov, I. Ginzberg // *Physiologia Plantarum*. – 2004. – Vol. 121, No. 1. – P. 141–148. doi:[10.1111/j.0031-9317.2004.00301.x](https://doi.org/10.1111/j.0031-9317.2004.00301.x)

42. Zhang, W. Polyamines enhance chilling tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through modulating antioxidative system [Text] / W. Zhang, B. Jiang, W. Li, H. Song, Y. Yu, J. Chen // *Scientia Horticulturae*. – 2009. – Vol. 122, No. 2. – P. 200–208. doi:[10.1016/j.scienta.2009.05.013](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.013)

43. Blee, K. A. Molecular identification and expression of the peroxidase responsible for the oxidative burst in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and related members of the gene family [Text] / K. A. Blee, S. C. Jupe, G. Richard, A. Zimmerlin, D. R. Davies, G. P. Bolwell // *Plant Molecular Biology*. – 2001. – Vol. 47, No. 5. – P. 607–620. doi:[10.1023/a:1012307324782](https://doi.org/10.1023/a:1012307324782)

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВИЗДАТОМ