Plant Production Technology/ Volume 24/ Issu 1/ Pages 113-128/ Spring and Summer 2024
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.29346.2129

ORIGINAL RESEARCH PAPER

The Effect of Putrescine and Hot Water Treatments on some Biochemical Characteristics of Strawberry Fruit, cv. Paros During Storage

Mirani[1], A., Esna Ashari[2*], M., GohariArdabili[3], A. and Amerian[4], M.

1 and 2. Former Master's student and Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Food Industeries, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
4. Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
*: Corresponding author Email: m.esnaashari@basu.ac.ir

Received: 2024/05/13 Accepted:2024/07/22

Introduction
Strawberry is a fruit with a short season of harvest. Strawberry is well-known among people all over the world for its distinct flavour, nutritional value, and delicacy. While on the other hand, preserving strawberry and shelf life extension has been a huge difficulty due to their perishable nature. Making effective and sustainable use of already available food processing and preservation technology needs time. Researchers must use advanced techniques like a cool store, modified atmospheric packaging (MAP), cool store, controlled atmospheric storage (CA), various packaging methods, and a variety of chemical and physical treatments to retain commodities for a longer period due to strategic market sales following harvest. Except for the preserving techniques, there is some polysaccharide-based edible coating which has a crucial role in delaying fruit softening, fruit decay, maintaining the increased levels of ascorbic acid and phenols, enhancing the activities of antioxidant enzymes, and reducing membrane damage. During the postharvest stages, there are numerous threats to keep in view regarding the safety and quality of strawberries. The beneficial effect of heat treatments on the storability of different fruits is well documented. The exposure to temperatures higher than 35 degrees celsius has caused ripening inhibition in different fruits. Polyamines are a group of biomaterials which control ripening of fruits and, due to their aliphatic nitrogen structure, are among the compounds detected in animals, plants, and microorganisms. In plants, there is a competition in production of ethylene and polyamines of spermine, spermidine, and putrescine using the common precursor of S-adenosyl methionine, yet ethylene and polyamines act oppositely in ripening and senescence processes. Application of polyamines had extraordinary effects on the quality of some fruits during storage.

Materials and methods
This research was carried out in the laboratory and cold room of the Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah. Strawberry fruits of Paros cultivar with uniform sizes and similar conditions in the stage of commercial maturity (when more than 75% of their surface had turned red) were obtained from a sample garden in Sanandaj and transferred to the laboratory in a short time. In this research, the effect of different concentrations of putrescine and different water temperatures on some biochemical characteristics of Paros strawberry fruit was investigated in a factorial way in the form of a completely randomized design in three replications. The first factor in this research included putrescine at four levels of 0 (control), 0.5, 1, and 2 mM and water temperature at four levels of 25 (control), 45, 50, and 55 degrees celsius and the second factor was storage time. The measured traits included titratable acidity, ethylene, respiration, antioxidant capacity, malondialdehyde and total phenol.

Results and Discussion
Increase in respiration, malondialdehyde, decrease in consumption of organic acids and increase in ethylene production during the storage period were significantly less in the treated samples. In the samples treated with putrescine, the antioxidant capacity first increased and then decreased. Also, putrescine increased total phenol. The increase in respiration, ethylene, malondialdehyde and decrease in consumption of organic acids during the storage period were significantly less in the treated samples. In the samples treated with hot water, the amount of total phenol and antioxidant capacity increased during the storage period.

Conclusion

Although the quality of the products after harvesting cannot be improved, the decrease in fruit quality can be controlled. For this purpose, various physical and chemical methods and treatments are used to maintain the quality of the products after harvesting. Putrescine, that is naturally present in animals and plants in particular, belongs to the amine groups. It seems that putrescine of 2 mM concentration has tangible impact on strawberry fruits and it is recommended in strawberry store rooms. There is a competition in production of ethylene and polyamides of spermine, spermidine, and putrescine in plants, due to their common precursor namely S-adenosyl methionine, yet they act oppositely in ripening and senescence processes. The use of polyamines has been claimed to decrease ethylene synthesis in a wide range of plants by decreasing ACC synthase (ACS) and ACC oxidase (ACO) enzymes activities. Application of polyamides and hot water had extraordinary effects on the quality of some fruits during storage. Therefore, hot water treatment is recommended as a safe method to improve and increase the storage life of strawberries and a suitable alternative to chemical fungicides. Based on the obtained results, it is recommended to use putresin and hot water treatment to maintain the quality of Paros strawberry fruit after harvesting.

keywords: Ethylene, Respiration, Malondialdehyde and Total phenol

Citations: Mirani, A., Esna Ashari, M., GohariArdabili, A. & Amerian, M. (2024). The Effect of Putrescine and Hot Water Treatments on some Biochemical Characteristics of Strawberry Fruit, cv. Paros During Storage. *Plant Production Technology*, *24*(1), 113-128. https://doi.org/10.22084/ppt.2024.29346.2129

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و چهارم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۱۱۳-۱۲۸ / بهار و تابستان ۱۴۰۳
https://doi.org/10.22084/PPT.2024.29346.2129

اثر تیمارهای پوترسین و آب گرم روی برخی خصوصیات بیوشیمیایی میوه‌ی توت‌فرنگی، رقم پاروس در طول انبارداری

The Effect of Putrescine and Hot Water Treatments on Some Biochemical Characteristics of Strawberry Fruit, cv. Paros During Storage

عاطفه میرانی[۱]، محمود اثنی عشری[۲*]، اشرف گوهری‌اردیبلی[۳] و معصومه عامریان[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

(مقاله پژوهشی)

چکیده

توت‌فرنگی یکی از میوه‌هایی است که به‌دلیل داشتن مزه و عطر و طعم منحصر به فرد، موردپسند و علاقه فراوان مردم دنیاست. این میوه سرشار از مواد مغذی مانند آنتی اکسیدان‌ها، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها می‌باشد. در این تحقیق تأثیر غلظت‌های مختلف پوترسین و دماهای مختلف آب روی برخی از ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم پاروس به صورت آزمایش فاکتوریل (دارای دو فاکتور) در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار بررسی شد. فاکتور اول شامل ٤ تیمار پوترسین (صفر "شاهد"، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و ٤ تیمارآب گرم (۲۵ "شاهد"، ٤۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سلسیوس) و فاکتور دوم نیز زمان انبارمانی (صفر "شروع انبارداری"، ۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۵ روز) بود. صفات اندازه‌گیری شده شامل اسیدیته قابل تیتراسیون، اتیلن، تنفس، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، مالون دی‌آلدئید و فنل کل بود. ارزیابی ویژگی‌های ذکر شده طی ۱۵ روز انبارداری به شرح فوق انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش تنفس، مالون دی آلدئید، کاهش مصرف اسیدهای آلی و افزایش اتیلن طی دوره انبارمانی در نمونه‌های تیمار شده به‌طور معنی‌داری کم بود. در نمونه‌های تیمار شده با پوترسین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. هم‌چنین پوترسین باعث افزایش فنل کل شد. افزایش تنفس، اتیلن، مالون دی‌آلدئید و کاهش مصرف اسیدهای آلی طی دوره انبارمانی در نمونه‌های تیمار شده با پوترسین به‌طور معنی‌داری کم بود. در نمونه‌های تیمار شده با آب گرم، میزان فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طی دوره انبارمانی افزایش نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اتیلن، تنفس، مالون دی‌آلدئید و فنل کل

ارجاع به مقاله: میرانی، ع.، اثنی‌عشری، م.، گوهری‌اردیبلی، ا. و عامریان، م. (۱٤۰۳). اثر تیمارهای پوترسین و آب گرم روی برخی خصوصیات بیوشیمیایی میوه‌ی توت‌فرنگی، رقم پاروس در طول انبارداری، *مجله فنآوری تولیدات گیاهی*، ۲٤(۱)، ۱۱۳-۱۲۸.
https://doi.org/10.22084/ppt.2024.29346.2129

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی: ۲٤۷٦-٥٦٥۱ **شاپا چاپی:** ۲٤۷٦-٦۳۲۱

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳. استادیار، گروه صنایع غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
٤. استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
*: نویسنده مسئول Email: m.esnaashari@basu.ac.ir

۱.مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) متعلق به تیره Rosaceae گیاه علفی چند ساله است که به‌دلیل تنوع ژنوتیپی، هتروزیگوتی طبیعی بالا و دامنه گسترده سازگاری‌های زیست‌محیطی، در بسیاری از مناطق جهان پراکنش دارد (Singh & Singh, 2023). این میوه به‌دلیل داشتن طعم و عطر منحصر به‌فرد و نیز دارا بودن اسید آسکوربیک، پتاسیم، فیبر و دیگر متابولیت‌های ثانویه، یک ماده‌ی غذایی خیلی مهم می‌باشد که مواد موجود در آن غالباً دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی هستند(Abouelenein *et al.*, 2023). استان کردستان با سطح زیر کشت سه هزار و ٤٠٠ هکتار (معادل ٥٦ درصد کل سطح زیر کشت کشور) و تولید ٥٢ هزار تن (معادل ٥٧ درصد کل تولید کشور) و متوسط عملکرد بالای ١٦ تن در هکتار، پیشتاز تولید توت‌فرنگی در فضای باز است و استان‌های مازندران، گلستان و گیلان در رتبه‌های بعدی هستند (Anonymous, 2023).

پوشش سطح و گوشت میوه‌ی توت‌فرنگی بسیار نازک و نرم است که میوه را در مقابل ضربات و فشار آسیب‌پذیر می‌کند. هر نوع صدمه می‌تواند باعث هجوم عوامل فاسدکننده مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها شود که این میوه شدیداً به آن‌ها حساس است. این ناهنجاری بر روی ظاهر میوه و سپس طعم و مزه آن اثر می گذارد. (Shrivastava *et al.*, 2023). از طرفی توت‌فرنگی یک میوه نافرازگرا است و بعد از برداشت نمی‌تواند برسد و بنابراین میوه باید وقتی چیده شود که کاملاً رسیده و قرمز شده است تا بهترین کیفیت خوراکی به‌دست آید، که همین عوامل سبب کاهش سریع کیفیت محصول پس از برداشت می‌شود (Rizzo *et al.*, 2023).

امروزه خطرات استفاده‌ی نامناسب از مواد شیمیایی در تکنولوژی پس از برداشت به‌خوبی شناخته شده است (Igiebor *et al.*, 2023). و خریداران نیز مایل به استفاده از محصولات عاری از مواد شیمیایی هستند و تقاضا برای محصولات ارگانیک به‌سرعت در حال افزایش است. بنابراین اهمیت تحقیق برای پیدا کردن روش‌های فیزیکی که جایگزین مواد شیمیایی شود بسیار روشن است. یک نمونه از روش‌های فیزیکی، تیمار حرارتی می باشد که اغلب در ترکیب با انبارهای خنک استفاده می‌شود (You *et al.*, 2023). با این وجود، اثرات تیمار گرما در کیفیت توت‌فرنگی می‌تواند متناقض باشد، زیرا تحت‌تأثیر تعداد زیادی از عوامل مانند رقم، مرحله‌ی رسیدن، چگونگی گرمادهی و شرایط انبارداری قرار می‌گیرد (Lara *et al.*, 2006). باتوجه به این موارد، کاربرد روش‌ها و تکنیک‌هایی که در حفظ کیفیت میوه‌ی توت‌فرنگی در طی دوره‌ی انبارمانی مؤثر می‌باشد، ضروری به‌نظر می‌رسد. در مورد میوه‌های فاسد شدنی نظیر توت‌فرنگی، استفاده از تکنیک‌هایی که در ترکیب با انبار سرد، کیفیت پس از برداشت را حفظ نماید، مفید است. از جمله تیمارهای معمول که برای رسیدن به هدف مذکور در این پژوهش موردتوجه قرار گرفتند، تیمار میوه‌ها با پوترسین فروبری آن‌ها در آب گرم بود.

پلی‌آمین‌ها (شامل دی‌آمین، تری‌آمین و تراآمین) هیدروکربن های آلیفاتیک با وزن مولکولی کم و دارای زنجیره راست ۳ تا ۱۵ کربنه و دو گروه آمینی انتهایی هستند. پلی‌آمین‌های معمول در گیاهان پوترسین (دی‌آمین)، اسپرمیدین (تری‌آمین) و اسپرمین (تراآمین) هستند (Trivedi *et al.*, 2023). این ترکیبات طبیعی تقریباً در همه‌ی گیاهان یافت می‌شوند و در طیف وسیعی از فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله رشد و نمو، تحریک تقسیم سلولی، سنتز DNA و پروتئین‌ها، شکستن رکود غده‌ها و پیازها و جوانه‌زنی بذور، کنترل ریشه‌زایی، جنین‌زایی، پیری، گل انگیزی و نمو اندام زایشی، تشکیل و رشد میوه و نیز واکنش به تنش‌های محیطی (زنده و غیرزنده) نقش ایفاء می‌کنند (Tiburcio *et al.*, 2014). پلی‌آمین‌ها به مولکول‌های آلی حیاتی سلول از جمله پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، پکتین‌ها و انواع مختلفی از آنزیم‌ها به‌ویژه پکتین استراز می‌چسبند و فعالیات آن ها را تنظیم می‌کنند. هم‌چنین پلی‌آمین‌ها با نقش کاتیونی خود، همانند کاتیون‌های معدنی، فعالیت آنزیم پکتین‌استراز، پلی گالاکتروناز و لیپواکسیژناز را در گوشت میوه کاهش می‌دهند (Jimenez *et al.*, 2002 & Hosseinifarahi *et al.*, 2020).

طی چند سال گذشته، علاقه شدید به استفاده از تیمارهای گرمایی در پس از برداشت برای کنترل آفات، جلوگیری از پوسیدگی قارچی و تأثیرگذاری بر رسیدن یا پاسخ به‌شدت دما در محصول افزایش یافته است. تیمار حرارتی یک تیمار فیزیکی غیرمضر برای جایگزینی مواد شیمیایی است (Godana & Gurmu, 2020). تیمار گرمایی پس از برداشت میوه برای جلوگیری از هجوم حشرات، کنترل بیماری‌ها و برای تغییر پاسخ میوه به سایر تنش‌ها و به‌ویژه، حفظ کیفیت میوه طی انبارمانی

استفاده می‌شود (Javed *et al.*, 2022). تیمار گرمایی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای محصولات مختلف نظیر انبه (*Mangifera indica* L.) آزمایش شده است (Mwando *et al.*, 2021 & Javed *et al.*, 2022). تیمار حرارتی به‌عنوان یکی از روش‌های ضدعفونی کردن سطحی میوه‌های کوچک پیشنهاد شده است (Umeohia & Olapade, 2014 & Panou *et al.*, 2021). باتوجه به مطالب فوق، این تحقیق با هدف چگونگی تأثیر تیمار پوترسین و آب گرم بر کیفیت پس از برداشت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس به‌وسیله اندازه‌گیری صفات مرتبط با ویژگی‌های بیوشیمیایی آن طی نگه‌داری در انبار سرد صورت گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه و سردخانه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ انجام شد. میوه‌های توت‌فرنگی رقم پاروس با اندازه‌های یکنواخت و شرایط مشابه در مرحله‌ی بلوغ تجاری (زمانی‌که بیش از ۷۵ درصد سطح آن‌ها قرمز شده بود) از یک باغ نمونه در سنندج تهیه و در زمان کوتاهی به آزمایشگاه منتقل گردید. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل (دارای دو فاکتور) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل ٤ تیمار پوترسین (صفر "شاهد"، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و ٤ تیمار آب گرم (۲۵ "شاهد"، ٤۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سلسیوس) و فاکتور دوم زمان انبارمانی شامل صفر (شروع انبارداری)، ۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۵ روز بود. اعمال تیمارها به صورت مجزا، اما همگی در یک روز انجام شد. باتوجه به تعداد تیمارهای پوترسین و آب گرم که ۸ عدد بود، برای هر تیمار ۲۰ عدد میوه منظور گردید و با در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار، مجموعاً ٤۸۰ عدد میوه موردآزمایش قرار گرفت.

پودر پوترسین با خلوص ۹۸ درصد از شرکت مرک آلمان تهیه گردید. بعد از انتخاب میوه‌های یک دست (از نظر اندازه، رنگ و شکل)، میوه‌ها در محلول‌های تهیه شده‌ی پوترسین (۵۰۰ میلی‌لیتر) به‌مدت پنج دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از اعمال تیمارها در مدت زمان مشخص و خشک شدن میوه‌های در دمای آزمایشگاه (۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس)، میوه‌ها در ظروف یک‌بار مصرف با سلفون پوشانده شده و سپس به سردخانه با دمای ۱ ± درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۹۰ درصد انتقال داده شدند. جهت اعمال تیمار آب گرم از یک بن‌ماری (حمام آب گرم) با یک ترموستات دقیق جهت کنترل درجه حرارت استفاده شد. میوه‌های توت‌فرنگی با آب گرم (٤۵، ۵۰ و ۵۵ درجه سلسیوس) به‌مدت یک دقیقه و میوه‌های شاهد با آب ۲۵ درجه سلسیوس تیمار شدند. پس از اعمال تیمار آب گرم، خشک کردن، بسته‌بندی و انتقال میوه‌ها به سردخانه عیناً شبیه میوه‌های تیمار شده با پوترسین صورت گرفت. نمونه‌برداری و اندازه گیری صفات موردنظر در روزهای صفر (شروع انبارداری)، ۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۵ روز پس از نگه‌داری در سردخانه به شرح ذیل انجام شد.

۲-۱. اسیدیته قابل تیتراسیون

ابتدا سه میلی‌لیتر آب میوه با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق گردید و سپس با استفاده از معرف فنل‌فتالئین یک درصد به‌روش عیارسنجی با سود ۰/۲ نرمال تا مرحله تغییر رنگ به صورتی، اسید میوه اندازه‌گیری شد و نهایتاً با فرمول زیر بر حسب گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه محاسبه گردید (Mohammadi *et al.*, 2017).

$$\text{اسیدیته (\%)} = \frac{\text{میزان سود مصرفی} \times \text{والانس گرم اسید غالب} \times \text{نرمالیته سود}}{\text{وزن نمونه} \times 1000} \times 100$$

۲-۲. فنل کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی با استفاده از روش فولین سیوکالتیو (Folin ciucaeltiu) به‌شرح زیر انجام شد. ابتدا عصاره میوه توت فرنگی با آب میوه‌گیری تهیه و پس از عبور از کاغذ صافی، به میکروتیوب دو میلی‌لیتری اضافه شد. سپس آب‌میوه سانتریفیوژ گردید و محلول‌رویی به درون میکروتیوب دیگری منتقل شد. ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول‌رویی برداشته و به آن سه میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر واکنش‌گر فولین سیوکالیتو اضافه گردید و پس از قرار دادن به‌مدت سه تا پنج دقیقه در دمای اتاق، ۱/۵ میلی‌لیتر محلول کربنات‌سدیم به آن اضافه شد و به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق نگه‌داری گردید. از محلول تهیه شده جهت اندازه‌گیری فنل کل استفاده شد. جذب نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر مدل S2100, SUV (یونیکو آمریکا) در طول موج ۷٦۵ نانومتر قرائت گردید (Razzaq *et al.*, 2013)

۲-۳. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس درصد مهارکنندگی DPPH (۲ و ۲ دی‌فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل) انجام گرفت (Razzaq *et al.*, 2013). ابتدا دو تا سه میوه به‌طور تصادفی از هر تکرار انتخاب و با استفاده از هاون چینی له گردید. سپس ۰/۵ گرم از مخلوط این چند میوه با سه میلی‌لیتر حلال متانول ۸۵ درصد مخلوط و از کاغذ صافی واتمن ٤٢ عبور داده شد. پانصد میکرولیتر از عصاره‌ی به‌دست آمده، در یک لوله آزمایش ریخته شد. سپس به‌همان نسبت آب مقطر به لوله اضافه کرده و محتویات لوله در سانتریفیوژ ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه از هم تفکیک شدند. پس ازپنج دقیقه از مایع‌رویی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و ۲۹۰۰ میکرولیتر DPPH به آن اضافه گردید و سپس ۳۰ دقیقه روی شیکر با ۱۲۰ دور در دقیقه و در تاریکی تکان داده شد. در نهایت جذب تمام نمونه‌ها در طول موج ۵۱۵ نانومتر خوانده شد (Razzaq *et al.*, 2013). درصد مهارکنندگی بر اساس فرمول زیر به‌دست آمد:

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{A1 - A2}{A1} \times 100$$

A_1= طول موج جذب خالص (DPPH)

A_2= طول موج جذب نمونه + طول موج جذب خالص (DPPH)

۲-٤. مالون دی‌آلدئید

مقدار ۰/۵ گرم از نمونه میوه‌ی تازه با نیتروژن مایع برای مدت یک دقیقه در هاون خرد شد. پودر به‌دست آمده درون لوله فالکون‌های ۱۵میلی‌لیتری ریخته، سپس مقدار ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ درصد (pH=۷) که در درون ظرف یخ قرار داشت به آن اضافه گردید. فالکون‌ها در دمای چهار درجه سلسیوس به‌مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. سپس یک میلی‌لیتر از محلول‌رویی حاصل از سانتریفیوژ به تیوپ‌های دو میلی‌لیتر منتقل و یک میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسید تیوباربیوتیک حاوی اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد به آن افزوده شد. مخلوط در حمام آب داغ به‌مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. در این مرحله به‌منظور توقف واکنش، ظرف محتوی مخلوط حرارت داده شده به‌سرعت درون حمام یخ قرار گرفت و اجازه داده شد به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام یخ بماند. باتوجه به اهمیت زمان حرارت دادن، اطمینان حاصل شد که این مدت، از ۳۰ دقیقه بیشتر یا کمتر نشود. مخلوط سرد شده با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه سلسیوس سانتریفوژ گردید و سپس میزان جذب مخلوط به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در دو طول موج ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر قرائت شد. (جذب در طول موج دوم، جذب چربی‌های غیرخالص است که باید از جذب در طول موج اول کم شود و در محاسبه مقدار MDA ضریب خاموشی ۱۵۵ mM^{-1} cm^{-1} نیز لحاظ گردید). میزان مالون دی‌آلدئید با استفاده از رابطه زیر بر حسب (نانومول در گرم وزن تر) بیان گردید (Yang *et al.*, 2021).

$$MDA=\frac{(532nm-600nm)}{(QD\times QF)}\times DF$$

MDA = میزان مالون دی‌آلدئید بر حسب نانومول در گرم وزن تر

QD = قطر کووت (۱سانتی‌متر)

QF = ضریب خاموشی (۱۵۵درصد بر سانتی‌متر)

DF = فاکتو رقت (در این روش ۲۰ می‌باشد)

۲-۵. اتیلن

میزان اتیلن تولید شده به روش سیستم بسته و با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی اندازه‌گیری شد. دو میوه پس از تعیین حجم و وزن در ظرف شیشه‌ای ۲۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شدند و پس از یک ساعت، نمونه گازی داخل ظرف با استفاده از سوزن دو سر و ظرف خلا (ونوژکت) ده میلی‌لیتری برداشت شد. سپس یک میلی‌لیتر از نمونه گاز توسط سرنگ همیلتون از ونوژکت برداشت و به دستگاه GC تزریق گردید. میزان اتیلن تولید شده بر حسب نانولیتر در کیلوگرم میوه در ساعت ($nl\ g^{-1}h^{-1}$) و از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه گردید (Javed *et al.*, 2022).

$$E=\frac{y\times hs}{w\times t}$$

که در آن E، میزان تولید اتیلن میوه‌ها بر حسب نانولیتر در کیلوگرم در ساعت، hs، حجم کل ظرف منهای حجم نمونه میوه، t، مدت زمان قرارگیری میوه در ظرف (یک ساعت)، w، وزن نمونه میوه و y، میزان تولید اتیلن بر حسب نانولیتر در میلی‌لیتر می‌باشند.

۲-۶. شدت تنفس

برای اندازه‌گیری میزان تنفس محصول از یک سیستم بسته استفاده شد. در هر نوبت اندازه‌گیری، دو عدد میوه از هر تکرار به‌مدت یک ساعت تحت هوای معمول قرار گرفتند. سپس میوه ها در ظروف بسته نگه‌داری شدند. هر ظرف محتوی ۱۵ میلی لیتر هیدروکسید باریوم بود و میوه‌ها درون ظرف در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت یک ساعت قرار داده شدند. پس از این مدت، دو قطره فنل فتالئین اضافه گردید و با اگزالات ۱/٤٤ مول در لیتر تیتر شد. نرخ تنفس محصول به صورت تولید دی‌اکسید کربن بیان شد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید(Javed *et al.*, 2022).

$$RI = (V1 - V2) \times c \times 44W \times t$$

V_1: حجم اگزالات شاهد (ml)؛ V_2: حجم اگزالات نمونه (ml)؛ C: غلظت اگزالات (مول در لیتر)؛ 44: وزن مولکولی دی اکسیدکربن؛ W: وزن نمونه (g)؛ t: زمان

۲-۷. تجزیه آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخهٔ ۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین داده‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P\geq0.05$) استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردیدند.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. اسیدیته قابل تیتراسیون

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمار و زمان نگه‌داری (جدول ۱) نشان داد که کم‌ترین میزان اسیدیته در طول انبارمانی در تیمار شاهد و بیش‌ترین آن در تیمار پوترسین دو میلی‌مولار و نیز آب ۵۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد. باتوجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش زمان انبارداری میزان اسیدیته میوه توت‌فرنگی کاهش یافت (جدول ۱)، درحالی‌که تیمار آب گرم و پوترسین باعث افزایش میزان اسیدیته میوه نسبت به شاهد شد.

Table 1: Comparison of the mean interaction effect of treatment and storage time on titratable acidity (%) of Paros strawberry cultivar

	Storage time (day)					
Treatment	0	3	6	9	12	15
Control	0.716^{ghi}	0.72^{ghi}	0.716^{ghi}	0.59^{i}	0.53^{lm}	0.53^{lm}
P_1	0.716^{ghi}	0.793^{bcde}	0.803^{bcd}	0.78^{cde}	0.81^{bc}	0.803^{bcd}
P_2	0.716^{ghi}	0.836^{ab}	0.84^{ab}	0.77^{de}	0.71^{ghi}	0.69^{ij}
P_3	0.716^{ghi}	0.86^{a}	0.79^{bcde}	0.753^{ef}	0.75^{ef}	0.7^{hi}
T_1	0.716^{ghi}	0.67^{jk}	0.716^{ghi}	0.58^{i}	0.52^{lm}	0.49^{lmn}
T^2	0.716^{ghi}	0.806^{bcd}	0.796^{bcde}	0.716^{ghi}	0.723^{gh}	0.77^{de}
T^3	0.716^{ghi}	0.796^{bcde}	0.75^{ef}	0.803^{bcd}	0.7^{hi}	0.706^{hi}
T^4	0.716^{ghi}	0.840^{ab}	0.723^{gh}	0.740^{fg}	0.773^{de}	0.830^{ab}

P_1, P_2 and P_3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T_1, T_2, T_3 and T_4 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively.
Similar letters indicate the absence of significant differences between treatments at five percent probability level.

نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش دما و طول دوره نگه‌داری، اسیدیته نمونه‌ها به‌طور تدریجی کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های (Ranjbar *et al.*,2007) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که میزان اسیدیته‌ی آب میوه‌ی انار تحت تیمارهای کلرید کلسیم، تیمار گرمایی و پوشش پلی‌اتیلن، کاهش یافت. هم‌چنین (Nikdel *et al.*, 2016) نیز چنین گزارشی را در میوه انار (*Punica granatum* L.) با کاربرد تیمارهای دمایی و پوششی گزارش دادند.

وجود اسیدهای آلی همراه قند اثر مهمی در طعم میوه دارد و نسبت بین قند و اسیدهای آلی عامل تعیین‌کننده‌ای در طعم ترش و شیرین میوه دارد. کاهش اسیدیته هنگام رسیدن میوه به‌علت شرکت اسید در تنفس یا تبدیل آن به قند است. در میان فعالیت‌های متابولیکی، تنفس مهم‌ترین فرآیندی است که طی رسیدن و انبارمانی افزایش می‌یابد. اسیدهای آلی که به منزله‌ی ذخیره‌ی انرژی در بافت میوه هستند، به‌دلیل تنفس مقدار زیادی تجزیه می‌شوند و هم‌زمان با رسیدن میوه افزایش pH عصاره و کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) در طول دوره نگه‌داری

مشاهده می‌شود (Khan *et al.*, 2008). همان‌طوری‌که از نتایج این تحقیق به‌دست آمد، استفاده از پوترسین میزان تنفس میوه را کاهش داده و از این طریق مصرف اسیدهای آلی به تأخیر می‌افتد (Martinez-Romero *et al.*, 2002). نتایج مشابهی که نشان دهنده‌ی کاهش مصرف اسیدهای آلی در اثر مصرف پوترسین است، توسط (Zokaee Khosroshahi & Esna-Ashari, 2008) در میوه‌ی آلو (*Prunus domestica* L.) (& Davarynejad *et al.*, 2015) و (Wannabussapawich & Seraypheap, 2018) در میوه‌ی انبه گزارش شده است.

۳-۲. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج مقایسه میانگین های اثر متقابل بین تیمار و زمان نگه‌داری (جدول ۲)، بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای یک میلی‌مولار پوترسین و دماهای ۵۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین آن در نمونه‌های شاهد به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های تیمار شده با پوترسین ابتدا به مقدار کمی افزایش و از روز نهم انبارداری به بعد کاهش نشان داد، که این روند در هر سه غلظت پوترسین مشاهده شد. بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار شده با پوترسین و به‌خصوص در غلظت یک میلی‌مولار مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد داشت (جدول ۲).

Table 2: Comparison of the mean interaction effect of treatment and storage time on antioxidant capacity (DPPH inhibition percentage) of Paros strawberry cultivar

	Storage time (day)					
Treatment	0	3	6	9	9	15
Control	81.23^{lmno}	83.26^{stuv}	82.51^{lmno}	81.43^{jkl}	81.43^{jkl}	85.36^{lmn}
P_1	81.23^{lmno}	87.26^{lmn}	87.75^{lm}	95.48^{ab}	95.48^{ab}	90.69^{ghi}
P_2	81.23^{lmno}	87.15^{lmno}	89.93^{ij}	95.63^{ab}	95.63^{ab}	92.48^{defg}
P_3	81.23^{lmno}	87.01^{lmno}	89.63^{ijk}	95.25^{ab}	95.25^{ab}	91.39^{fghi}
T_1	81.23^{lmno}	82.56^{uvw}	86.16^{mnopq}	87.33^{lmn}	87.33^{lmn}	86.65^{klm}
T_2	81.23^{lmno}	86.86^{lmno}	87.48^{lm}	90.16^{hij}	90.16^{hij}	94.09^{bcde}
T_3	81.23^{lmno}	86.20^{mnop}	90.96^{fghi}	92.34^{defg}	92.34^{defg}	95.71^{ab}
T_4	81.23^{lmno}	86.81^{lm}	90.27^{hij}	92.12^{efgh}	92.12^{efgh}	97.18^{a}

P_1, P_2 and P_3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T_1, T_2, T_3 and T_4 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively.
Similar letters indicate the absence of significant differences between treatments at five percent probability level.

تنش‌های اکسیداتیو از طریق افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن باعث پیری می‌شوند، اما سیستم‌های پاداکسندگی فعال درونی می‌تواند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرند و بدین ترتیب پیری را به تأخیر می‌اندازند (Van De Velde *et al.*, 2013). پژوهش‌های قبلی نشان داده است که توت‌فرنگی منبع غنی از آنتی‌اکسیدان طبیعی است (Hernandez-Munoz *et al.*, 2008). کاهش فعالیت پاداکسندگی طی مدت انبارداری ممکن است به‌دلیل افزایش تنش اکسیداتیو، تولید رادیکال‌های آزاد، فرآیند پیری و پوسیدگی میوه باشد (Petriccione *et al.*, 2015). تیمار پوترسین با حفظ ترکیبات فنلی موجب حفظ فعالیت پاداکسندگی و به تأخیر انداختن فرآیند پیری در میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد شدند که با یافته‌های گزارش شده در توت‌فرنگی (Petriccione *et al.*, 2015)، خیار (*Cucumis sativus* L.) (Jia & Wannabussapawich & Seraypheap, 2018) و انبه (*et al.*, 2018) مطابقت دارد. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تیمار شده تا اواسط دوره نگه‌داری ادامه یافت ولی بعد از این دوره به‌دلیل پیری و کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان میزان آن کاهش یافت.

(Yiu *et al.*, 2009) نشان دادند که پلی‌آمین‌ها به‌طور مستقیم و با گرفتن رادیکال‌های آزاد، و یا به‌طور غیرمستقیم با کاهش فعالیت آنزیم‌های تولیدکننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از شدت تنش‌های اکسایشی می‌کاهند و بدین‌ترتیب به حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کنند. نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار گرمایی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را طی دوره نگه‌داری افزایش داد

و بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در دماهای ۵۰ و ۵۵ درجه سلسیوس به‌دست آمد.

۳-۳. فنل کل

اثر متقابل بین تیمار (آب گرم و پوترسین) و زمان انبارداری معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که بیش‌ترین میزان فنل کل در میوه‌های تیمار شده با پوترسین یک میلی‌مولار و هم‌چنین میوه‌های تیمار شده با آب گرم ۵۰ درجه سلسیوس بود و بین این دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، در حالی‌که کم‌ترین میزان فنل کل در تیمار ۲۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. طبق نتایج به‌دست آمده، با افزایش زمان نگه‌داری، میزان فنل کل میوه‌ها افزایش یافت (شکل ۲).

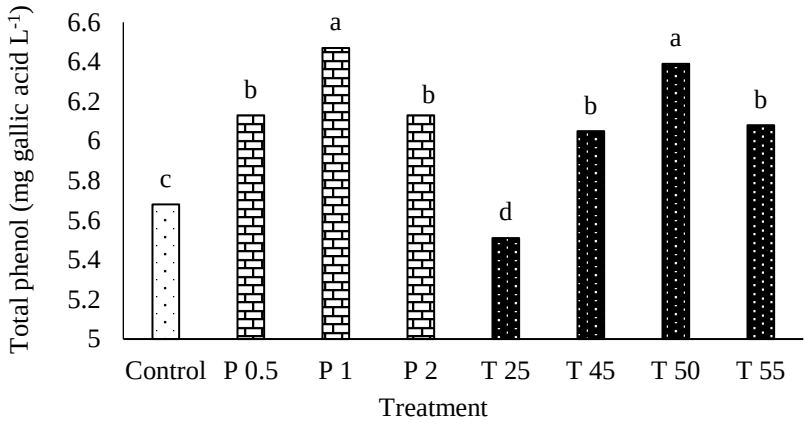

Fig. 1: The effect of different levels of putrescine and water temperature on total phenol content of strawberry fruit
P 0.5, P 1, P 2 and P 3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T 25, T 45, T 50 and T 55 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively

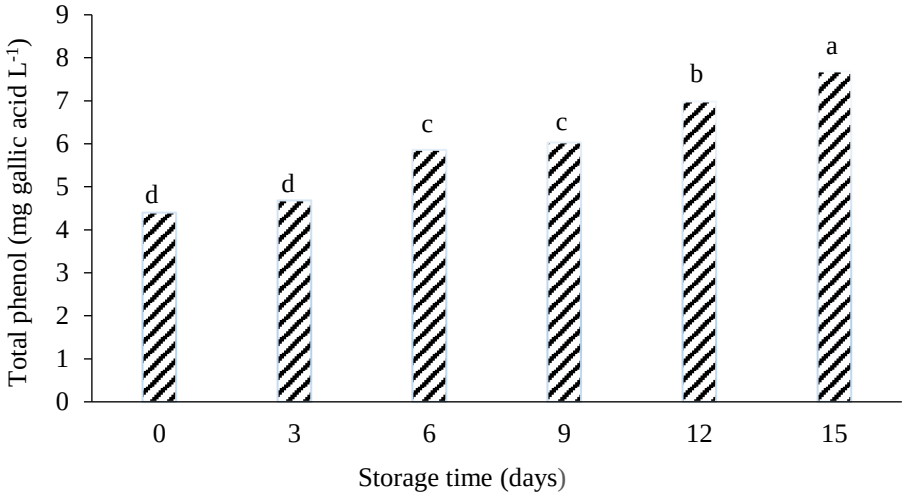

Fig. 2: The effect of storage time on total phenol content of strawberry fruit

در گیاهان، بیوسنتز ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها، از طریق مسیر فنیل‌پروپانوئید انجام می‌شود (Aghdam *et al.*, 2013). ترکیبات فنلی غالب در میوه توت‌فرنگی، کومارین، کوئرستین و الاژیک اسید است و فلاونوئیدهای با پایه پلارگونیدین بیش‌تر از فلاونوئیدهای با پایه سیانیدین گزارش شده‌اند (Wang & Gao, 2013). در این پژوهش میوه‌های تیمار شده با پوترسین دارای میزان فنل بیش‌تری از میوه‌های گروه شاهد بودند که با نتایج گزارش شده در توت‌فرنگی (Siruie Nejad *et al.*, 2013) و خیار (Jia *et al.*, 2018) مطابقت دارد. تجزیه و تخریب ترکیبات فنلی نتیجه

فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل‌اکسیداز و پراکسیداز می‌باشد (Aghdam *et al.*, 2013). تیمار میوه‌ها با پوترسین توانست روند کاهشی غلظت ترکیبات فنلی را کندتر نماید و یک میلی‌مولار پوترسین از این نظر بیش‌ترین تأثیر را داشت. در رابطه با پاسخ میوه در برابر تیمار با پوترسین، برخی محققان این‌گونه بیان کرده اند که استعمال پوترسین وابسته به پاسخ پوترسین داخلی تحت شرایط محیطی است (Serrano *et al.*, 2003). هم‌چنین مشاهده کرده‌اند که میزان پلی‌آمین‌های داخلی در میوه‌های تیمار شده آلو با پوترسین برون‌زاد افزایش یافت. از لحاظ فیزیولوژیکی، افزایش در تولید سوکسینات (از تولیدات فرعی چرخه کربس)، به‌واسطهٔ دخالت پلی‌آمین‌هاست که یکی از حد واسطهای چرخه کربس هستند و افزایش این ترکیب، منجر به افزایش تولید اگزالواستات (یکی از پیش‌ماده‌های تولید ترکیبات فنولی) می‌شود که نهایتاً منجر به حفظ افزایش این ترکیبات در زمان برداشت می‌شود. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد که افزایش ترکیبات فنولی در زمان برداشت و پس از استعمال پوترسین، ناشی از اثر این ترکیب در افزایش تولید پیش‌ماده‌های تولید ترکیبات فنولی است. به‌طور مشابه رابطه‌ی مثبتی بین سطح داخلی پوترسین و میزان ترکیبات فنولی در انار (Mirdehghan *et al.*, 2015) گزارش شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار آب گرم باعث کاهش کندتر ترکیبات فنلی در میوه‌های تیمارشده نسبت به میوه‌های شاهد شد و بیش‌ترین میزان فنل کل در تیمار ۵۰ درجه سلسیوس به‌دست آمد. در گزارشی، کاربرد تیمار گرمایی ۵۰ درجه سلسیوس در مرکبات موجب افزایش ترکیبات فنلی در پوست میوه مرکبات شد که آن را به ظرفیت گرما در آزادسازی باندهای کووالانسی ترکیبات فنولیکی ارتباط دادند (Jeong *et al.*, 2004).

۳-٤. مالون دی‌آلدئید

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بین تیمار و زمان نگه‌داری (جدول ۳) نشان داد که کم‌ترین میزان مالون دی‌آلدئید طی زمان انبارداری متعلق به تیمارهای یک مولار پوترسین و دمای آب ٤٥ درجه سلسیوس و بیش‌ترین آن مربوط به نمونه‌های شاهد بود. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش طول دوره انبارداری، میزان مالون دی‌آلدئید در تیمار شاهد افزایش یافت، درحالی‌که تیمارهای آب گرم و پوترسین سبب کاهش میزان مالون دی‌آلدئید نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۳).

Table 3: Comparison of the average interaction effect of treatment and storage time on the amount of malondialdehyde (nmol g^{-1} FW) of Paros strawberry cultivar

	Storage time (day)					
Treatment	0	3	6	9	9	15
Control	19.93^{y}	24.57^{uvw}	35.70^{ghij}	46.51^{c}	46.51^{c}	63.69^{a}
P_1	19.93^{y}	26.17^{tuv}	30.53^{opqr}	32.18^{lmno}	32.18^{lmno}	40.13d^{ef}
P_2	19.93^{y}	23.51^{vwx}	25.14^{uv}	28.28^{rst}	28.28^{rst}	35.65^{ghij}
P_3	19.93^{y}	29.31^{pqrs}	34.65^{ijkl}	37.43^{fgh}	37.43^{fgh}	47.25^{c}
T_1	19.93^{y}	25.04^{uvw}	35.36^{ghijk}	46.60^{c}	46.60^{c}	62.96^{a}
T_2	19.93^{y}	23.79^{vw}	23.47^{vwx}	26.60^{stu}	26.60^{stu}	36.40^{ghi}
T_3	19.93^{y}	25.43^{uvw}	31.84^{mnop}	31.86^{mnop}	31.86^{mnop}	39.59^{def}
T_4	19.93^{y}	28.71^{qrst}	34.51^{ijklm}	37.85^{efg}	37.85^{efg}	47.67^{c}

P_1, P_2 and P_3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T_1, T_2, T_3 and T_4 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively.
Similar letters indicate the absence of significant differences between treatments at five percent probability level.

تجمع مالون دی‌آلدئید با افزایش عمر انباری افزایش یافت، ولی میزان افزایش آن در میوه‌های تیمار شده با پوترسین نسبت به نمونه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. میزان تجمع مالون دی‌آلدئید به‌عنوان یک نشان‌گر برای مشخص کردن میزان خسارت تنش اکسیداتیو به اسیدهای چرب غشای سلولی به‌کار می‌رود و مقدارش بسته به نوع تنش زیستی و غیرزیستی متفاوت می‌باشد (Aghdam *et al.*, 2013). در حالت کلی، میزان نشت یونی و تجمع مالون دی‌آلدئید از نشان‌گرهای بیوشیمیایی

مورداستفاده برای ارزیابی غیرمستقیم میزان انسجام غشای سلولی تحت شرایط تنش‌هایی مانند خشکی می‌باشد که موجب تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردند (Shulaev & Oliver, 2006). در طول نگه‌داری میوه‌ها، میزان تجمع مالون دی‌آلدئید افزایش می‌یابد که می‌تواند در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز باشد که مسئول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع غشاء است. طبق نتایج این تحقیق، روند افزایش تجمع مالون دی‌آلدئید در میوه‌هایی که با پوترسین تیمار شده بودند به‌طور معنی‌داری کندتر بود که نتیجهٔ آن حفظ انسجام غشایی سلول است. گزارش شده است که تیمار پس از برداشت پوترسین موجب کاهش تجمع مالون دی آلدئید در خیار طی دوره انباری شده است (Jia *et al.*, 2018). پلی‌آمین‌ها می‌توانند به‌عنوان جاروکننده‌های رادیکال‌های آزاد عمل کرده و غشاهای یاخته‌ای را در برابر اکسید شدن حفظ کنند و بدین‌ترتیب مقاومت غشاء را افزایش دهند. تیمار پلی‌آمین‌ها می‌تواند باعث افزایش سطح پلی‌آمین‌های درونی و در نتیجه پایداری غشا شود (Liu *et al.*, 2007). افزایش تجمع مالون دی‌آلدئید یکی از مشخصه‌های پیری است. تخریب غشاء یاخته در نتیجه تجزیه اسیدهای چرب غشاء به‌دلیل افزایش فعالیت فسفولیپاز D و لیپواکسیژناز است که این دو آنزیم در تخریب بیوشیمیایی لیپیدهای غشاء شرکت دارند و افزایش فعالیت آن‌ها با آغاز از دست دادن پایداری غشاء مرتبط است (Aghdam *et al.*, 2013).

طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، تجمع مالون دی‌آلدئید با افزایش زمان انباری افزایش یافت، ولی میزان افزایش آن در میوه‌های تیمار شده با آب گرم کم بود و کم‌ترین میزان آن در دمای ۴۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. در نتیجه‌ی کاهش مقادیر مالون دی‌آلدئید، میزان پراکسیداسیون لیپید و آسیب به غشاء کم‌تر می‌شود (Li *et al.*, 2024). بنابراین باتوجه به نتایج به‌دست آمده (جدول ٤) می‌توان گفت که تیمار آب گرم با کم کردن میزان پراکسیداسیون چربی‌های غشاء باعث حفظ تمامیت آن می‌گردد و از تخریب بافت‌ها و نهایتاً پیری جلوگیری کرده و یا مقدار آن را کاهش می‌دهد. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Ma *et al.*, 2014) در میوه کیوی مطابقت دارد.

۳-۵. اتیلن

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل بین تیمار و زمان نگه‌داری (جدول ٤)، کم‌ترین میزان اتیلن طی زمان انبارداری در تیمارهای پوترسین دو میلی‌مولار (۱۰۹ $nL\ kg^{-1}\ h^{-1}$) و دمای ۵۰ درجه سلسیوس آب (۱۵۲/۳۳ $nL\ kg^{-1}\ h^{-1}$) دیده شد و بیش‌ترین آن از نمونه‌های شاهد به‌دست آمد. در تیمار شاهد با افزایش زمان انبارداری میزان اتیلن میوه‌های توت‌فرنگی افزایش نشان داد. کاربرد تیمار آب گرم و پوترسین باعث کاهش میزان اتیلن میوه‌های توت‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ٤).

با افزایش زمان نگه‌داری میوه‌ها میزان تولید اتیلن افزایش یافت، ولی این افزایش در میوه‌های تیمار شده با آب گرم و پوترسین نسبت به میوه‌های شاهد کم‌تر بود. اگرچه توت‌فرنگی میوه‌ای نافرازگرا می‌باشد، ولی طی دوره پس از برداشت، اتیلن نسبتاً زیادی تولید می‌کند (Jalali *et al.*, 2023). ممانعت از تولید اتیلن، بارزترین ویژگی پلی‌آمین‌ها می‌باشد و بسیاری از آزمایش‌ها نقش ضد اتیلنی پلی‌آمین‌ها را تأیید می‌کنند (Vijayalaxmi *et al.*, 2022). مسیر بیوسنتز اتیلن و پلی‌آمین‌ها یکسان می‌باشد و هر دو از اسیدآمینه متیونین تشکیل می‌شوند. گزارش‌ها حاکی از آن است که پلی‌آمین‌ها با از بین بردن رادیکال‌های آزاد سوپراکسید که برای تبدیل ACC به اتیلن ضروری هستند، از فعالیت آنزیم ACC–اکسیداز و تولید اتیلن ممانعت می‌کنند (Asrey *et al.*, 2023).

در محصولات فرازگرا، جلوگیری از رسیدن میوه به‌وسیله گرما ممکن است به واسطه تأثیر گرما بر اتیلن به‌عنوان هورمون رسیدن و آنزیم‌های مسئول در بیوسنتز آن (ACC–اکسیداز و ACC–سنتاز) باشد (Serrano *et al.*, 2003). دماهای بالای ۴۰ درجه سلسیوس هم در سیب و هم در موز منجر به حداکثر سنتز اتیلن خواهد شد. در صورتی‌که از این دما به بالا هر افزایشی (۴۵-۵۰ درجه سلسیوس) اثر بسیار زیادی بر روی کاهش انتشار اتیلن دارد، به‌طوری‌که دماهای بالاتر از ۴۰ درجه سلسیوس از طریق ممانعت فعالیت ACC–سنتاز غلظت‌های پایین‌تر ACC را القاء می‌نمایند (Valero & Serrano, 2010). در این تحقیق با کاربرد تیمار گرمایی میزان سنتز اتیلن کاهش یافت و کم‌ترین میزان در تیمار ۵۰ درجه سلسیوس بود. نتایج مشابهی توسط (Hosseini *et al.*,2014 & Abdi & Roein, 2016) گزارش شده

است که نشان دادند با کاربرد تیمار گرمایی، میزان تولید اتیلن نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یافت.

Table 4: Comparison of the average interaction effect of treatment and storage time on the amount of ethylene (nL kg^{-1} h^{-1}) of Paros strawberry cultivar

	Storage time (day)					
Treatment	0	3	6	9	12	15
Control	150.66^{klm}	225^{f}	259.66^{cd}	275^{c}	295^{b}	335^{a}
P_1	150.66^{klm}	152^{jklm}	173.33^{hij}	200^{g}	215^{fg}	233.33^{ef}
P_2	150.66^{klm}	153^{jklm}	160.66^{ijk}	161^{ijk}	168.33^{ij}	181.33^{hi}
P_3	150.66^{klm}	109^{no}	131.33^{mno}	138.66^{lmno}	145.33^{lmn}	145.33^{lmn}
T_1	150.66^{klm}	228.66^{f}	262^{cd}	277^{c}	299.33^{b}	340.33^{a}
T_2	150.66^{klm}	156.33^{jkl}	175.33^{hij}	205.66^{g}	222^{f}	244.66^{e}
T_3	150.66^{klm}	157.66^{ijkl}	159.66^{ijk}	165.66^{ijk}	168^{ij}	189^{h}
T_4	150.66^{klm}	152.33^{jklm}	158.33^{ijkl}	164.66^{ijk}	172^{hij}	194.66^{gh}

P_1, P_2 and P_3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T_1, T_2, T_3 and T_4 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively.
Similar letters indicate the absence of significant differences between treatments at five percent probability level.

۳-٦. تنفس

مطابق نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳)، بیش‌ترین میزان تنفس میوه‌ها از تیمار شاهد (۴۲/۸۳ mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}) و کاربرد آب گرم ۲۵ درجه سلسیوس (۴۲/۸۹ mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}) به‌دست آمد، در حالی‌که کم‌ترین آن در غلظت‌های یک (۲۶/۸۹ mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}) و دو میلی‌مولار (۲۶/۷۷ mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}) پوترسین و دمای ۴۵ درجه سلسیوس آب (۲۶/۸۳ mg CO_2 kg^{-1} h^{-1}) مشاهده شد. طبق نتایج به‌دست آمده، با افزایش زمان نگه‌داری، میزان تنفس میوه‌ها افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان تنفس ۱۵ روز پس از نگه‌داری میوه‌ها به‌دست آمد (شکل ٤).

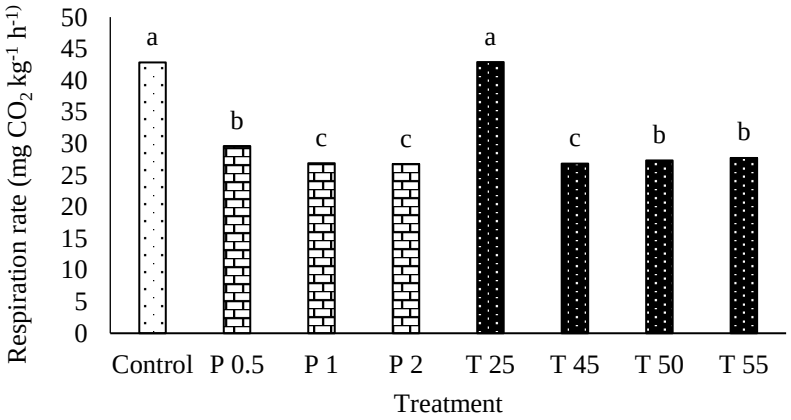

Fig. 3: The effect of different levels of putrescine and water temperature on respiration rate of strawberry fruit
P 0.5, P 1, P 2 and P 3 are 0.5, 1 and 2 mM Putrescin respectively, and T 25, T 45, T 50 and T 55 are 25, 45, 50 and 55 degrees Celcius water temperature respectively

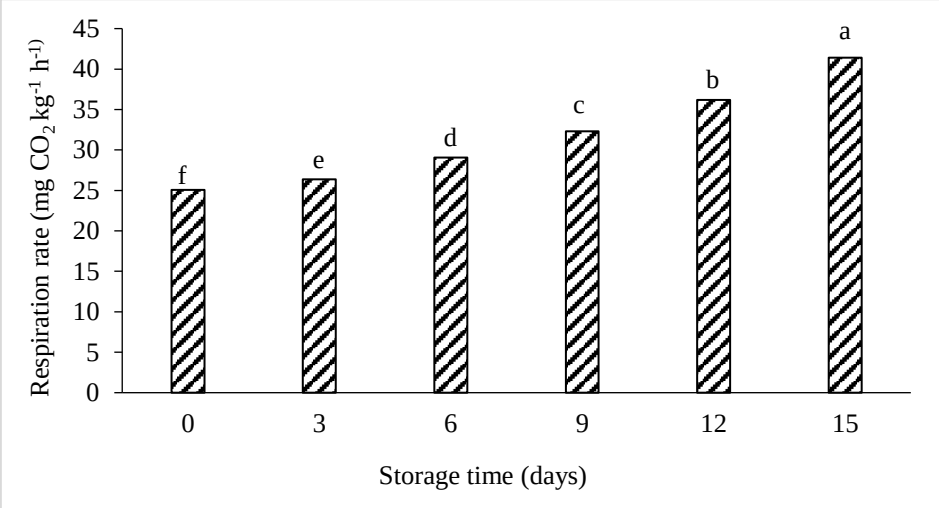

Fig. 4: The effect of storage time on respiration rate of strawberry fruit

تنفس یک فرآیند زیستی غیرقابل اجتناب است و سلول زنده برای بقاء نیاز به تنفس دارد. این پروسه یکی از مشخصه‌های بارز عوامل پس از برداشت است که در طی آن ذخایر قندی به آهستگی کم شده و محصول دچار تغییرات برگشت‌ناپذیری می‌گردد. طی زمان نگه‌داری میوه‌ها، معمولاً تنفس با شدت بیشتری ادامه می‌یابد که این تغییر می‌تواند به‌دلیل فعالیت‌های داخل سلولی و تأمین انرژی برای آن‌ها باشد. همان‌طوری‌که نتایج این تحقیق نشان داد، تیمار گرمایی سبب کاهش میزان تنفس در میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های شاهد شد، و با این‌که با افزایش روزهای نگه‌داری میزان تنفس افزایش یافت، ولی میزان تنفس در میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های شاهد کم‌تر بود و این افزایش به‌دلیل پیری محصول می‌باشد. کم‌ترین میزان تنفس در دمای ٤٥ درجه سلسیوس به‌دست آمد و به‌صورت معنی‌داری نسبت به دماهای ٥٠ و ٥٥ درجه سلسیوس کم‌تر بود، ولی بین دو دمای ٥٠ و ٥٥ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

مطالعات انجام شده توسط (Shehata *et al.*, 2013) در فلفل دلمه‌ای، (Caleb *et al.*, 2016) در توت‌فرنگی (Hatami *et al.*, 2012) در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نشان می‌دهد که در میوه‌های تیمار شده با آب گرم، میزان تنفس نسبت به میوه‌های تیمار نشده (شاهد) کم‌تر است. در نتیجه مصرف پیش‌ماده‌های تنفسی نظیر کربوهیدرات‌ها و اسیدها، میزان تولید اتیلن کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان میوه‌ای ماندگارتر با عوارض فیزیولوژیکی کم‌تر را انتظار داشت. تیمارهای گرمایی می‌تواند موجب تغییر اتمسفر درونی میوه شوند که شامل افزایش CO_2 و کاهش O_2 می‌باشد و این تغییر اتمسفر، موجب کاهش تولید اتیلن می‌گردد (Hatami *et al.*, 2012).

٤. نتیجه‌گیری

اگرچه کیفیت محصولات پس از برداشت نمی‌تواند ارتقاء یابد، اما کاهش کیفیت میوه را می‌توان کنترل کرد. به‌همین منظور انواع روش‌ها و تیمارهای فیزیکی و شیمیایی برای حفظ کیفیت پس از برداشت محصولات به‌کار گرفته می‌شود. طبق نتایج این پژوهش، افزایش تنفس و افزایش تولید اتیلن طی دوره انبارداری رخ داد ولی در نمونه‌های تیمار شده به‌خصوص تیمارهای یک و دو میلی‌مولار پوترسین کم‌تر بود. کم‌ترین میزان مالون دی آلدئید در تیمار یک میلی‌مولار پوترسین بود. با افزایش زمان انباری، میزان اسیدیته میوه کاهش یافت، ولی در تیمار دو میلی‌مولار پوترسین بیش‌ترین اسیدیته به‌دست آمد. در نمونه‌های تیمار شده با پوترسین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. هم‌چنین پوترسین باعث افزایش فنل کل شد و بیش‌ترین میزان فنل کل در پوترسین یک میلی‌مولار به دست آمد. طبق نتایج این پژوهش، افزایش تنفس، مالون دی آلدئید و اتیلن و هم‌چنین کاهش مصرف اسیدهای آلی طی دوره انبارداری رخ داد، ولی در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌های شاهد به‌طور معنی‌داری کم بود. در نمونه‌های تیمار شده با آب گرم میزان فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طی نگهداری میوه‌ها در انبار افزایش نشان داد. بر اساس نتایج حاصله، استفاده از تیمار پوترسین و آب گرم برای حفظ کیفیت پس از برداشت میوه توت فرنگی رقم پاروس قابل توصیه است.

۵. منابع

Abdi, S. & Roein, Z. (2016). Effect of hot water dipping on the marketability of greengages fruit (*Prunus domestica*). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, *1*(2), 27-39. (In Persian). http://ijppb.lu.ac.ir/article-1-49-en.html

Abouelenein, D., Acquaticci, L., Alessandroni, L., Borsetta, G., Caprioli, G., Mannozzi, C. & Mustafa, A. M. (2023). Volatile profile of strawberry fruits and influence of different drying methods on their aroma and flavor: a review. *Molecules*, *28*(15), 5810. https://doi.org/10.3390/molecules28155810.

Aghdam, M. S., Dokhanieh, A. Y., Hassanpour, H., & Fard, J. R. (2013). Enhancement of antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit by postharvest calcium treatment. *Scientia Horticulturae*, *161*, 160-164. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.006.

Anonymous. (2023). Agricultural statistics for the crop year 2022-2023. Publisher: Ministry of Agricultural Jihad Iran), Planning and Economic Deputy, Office of Statistics and Information Technology, 2023. *Prepared by the Office of Statistics and Information Technology of the Ministry of Agricultural Jihad*. (In Persian)

Asrey, R., Sharma, S., Barman, K., Prajapati, U., Negi. N & Meena, N. K. (2023). Biological and postharvest interventions to manage the ethylene in fruit: A review. *Sustainable Food Technology*. https://doi.org/10.1039/D3FB00037K.

Caleb, O. J., Wegner, G., Rolleczek, C., Herppich, W. B., Geyer, M., & Mahajan, P. V. (2016). Hot water dipping: Impact on postharvest quality, individual sugars, and bioactive compounds during storage of 'Sonata' strawberry. *Scientia Horticulturae*, *210*, 150-157. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.07.021.

Davarynejad, G. H., Zarei, M., Nasrabadi, M. E. & Ardakani, E. (2015). Effects of salicylic acid and putrescine on storability: quality attributes and antioxidant activity of plum cv. 'Santa Rosa'. *Journal of Food Science and Technology*, *52*, 2053-2062. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1232-3.

Godana, E. A. & Gurmu, A. H. (2020). Non-chemical and integrated approches to control posthravest diseases and extend shelf life of tomato fruit: a review. *Annals: Food Science & Technology*, *21*(3), 649-659. https://afst.valahia.ro/wp-content/uploads/2022/09/V.1_Esa.pdf.

Hatami, M., Kalantari, S. & Delshad, M. (2012). Effect of Hot Water Treatment (HWT) and Storage Temperature Conditions on Mature Green Tomato. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *43*(2), 113-123. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2012.25103.

Hernandez Munoz, P., Almenar, E., Del-Valle V., Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, *110*, 428-435. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020.

Hosseini, M. S., Babalar, M. & Askari, M. A. (2014). The effect of putrescine and heat treatment on postharvest quality of pear fruit (*Pyrus communis* cv. Spadona). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *45*(3), 225-234. (In Persian). https://doi.org/10.22059/IJHS.2014.52866.

Hosseinifarhi, M., Mosavi, S.M., Radi, M., Jowkar, M. M., Romanazzi, G. (2020). Postharvest application of hot water and putrescine treatments reduce brown rot and improve shelf life and quality of apricots, Phytopathol. *Mediterr*, *59*(2), 319-329. https://doi.org/10.14601/Phyto-10751.

Igiebor, F. A., Odozi, E. B. & Ikhajiagbe, B. (2023). Chemical-based fruit ripening and the implications for ecosystem health and safety. In One Health Implications of Agrochemicals and Their Sustainable Alternatives (pp. 335-353). Singapore: *Springer Nature Singapore*. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3439-3_12.

Jalali, P., Zakerin, A. R., Aboutalebi-Jahromi, A. H. & Sadeghi, H. (2023). Improving postharvest life, quality and bioactive compounds of strawberry fruits using spermine and spermidine. *Brazilian Journal of Biology*, *83*, 1-10. https://doi.org/10.1590/1519-6984.273886.

Javed, S., Fu, H., Ali, A., Nadeem, A., Amin, M., Razzaq, K. & Hussain, S. B. (2022). Comparative response of mango fruit towards pre-and post-storage quarantine heat treatments. *Agronomy*, *12*(6), 1476. https://doi.org/10.3390/agronomy12061476.

Jeong, S. K., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ah, D. U. & Lee, S. C. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from Citrus peels. *Agricultural and Food Chemistry*, *52*, 3389-3393. https://doi.org/10.1021/jf049899k.

Jia, B., Zheng, Q., Zou, J., Gao, L., Wang, Q., Guan, W. & Shi, J. (2018). Application of postharvest putrescine treatment to maintain the quality and increase the activity of antioxidative enzyme of cucumber. *Scientia Horticulturae*, *239*, 210-215. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.043.

Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson, S., Verhoeyen, M. & Mullineaux, P. (2002). Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta*, *214*, 751-758. https://doi.org/10.1007/s004250100667.

Khan, A. S., Singh, Z., Abbasi, N. A. & Swinny, E. E. (2008). Pre-or post-harvest applications of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of 'Angelino'plum. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(10), 1686-1695. https://doi.org/10.1002/jsfa.3265.

Lara, I., Garcia, P. & Vendrell, M. (2006). Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) fruit. *Scientia horticulturae*, *109*, 48-53. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.03.001.

Li, W., Liu, Z., Wang, H., Yuan, J., Zheng, Y., Duan, L. & Jiang, Y. (2024). Heat shock pretreatment and low temperature fluctuation cold storage maintains flesh quality and retards watercore dissipation of watercored'Fuji'apples. *Scientia Horticulturae*, *323*, 112492. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112492.

Liu, J.H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y. & Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, *24*(1), 117-126. https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.24.117.

Ma, Q., Suo, J., Huber, D. J., Dong, X., Han, Y. & Zhang, Z. (2014). Effect of hot water treatments on chilling injury and expression of a new C-repeat binding factor (CBF) in 'Hongyang' kiwifruit during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, *97*, 102-110. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.018.

Martinez-Romero, D., Serrano, M., Carbonell, A., Burgos, L., Riquelme, F. & Valero, D. (2002). Effects of postharvest putrescine treatment on extending shelf life and reducing mechanical damage in apricot. *Journal of food science*, *67*(5), 1706-1712. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08710.x.

Mirdehghan, S.S., Esmaeilizadeh, M. & Farhad Pirzad, F. (2015) Effect of pre-harvest application of polyamines on quality and shelf life of kiwifruit cv. Hayward. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *46*(3), 387-398. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijhs.2015.55860.

Mohammadi, H., Kashefi, B. & Khosh ghalb, H. (2017). Investigation of Salicylic acid effect in different growth stages on quality and quantity of Grape varieties rish baba in Shahrood. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *29*(4), 886-895. https://doi.org/20.1001.1.23832592.1395.29.4.18.6.

Mwando, N. L., Ndlela, S., Meyhöfer, R., Subramanian, S. & Mohamed, S. A. (2021). Hot water treatment for post-harvest disinfestation of Bactrocera dorsalis (Diptera: Tephritidae) and its effect on cv. tommy atkins mango. *Insects*, *12*(12), 1070. https://doi.org/10.3390/insects12121070.

Nikdel, K., Seifi, E., Sharifani, M. & Hemmati, K. (2016). Effect of wrapping, chemical and thermal treatments on fruit shelf life and quality in pomegranate cv. Shirin Kolbad. *Food Processing and Preservation Journal*, *8*(1), 107-124. (In Persian). https://doi.org/10.14720/aas.2016.107.2.02.

Panou, A. A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P. & Riganakos, K.A. (2021). Effect of gaseous ozone and heat treatment on quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, *21*(1), 218-231. https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735.

Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M. S., Zampella, L., Nobis E., Capriolo, G. & Scortichini, M. (2015). Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, *4*, 501-523. https://doi.org/10.3390/foods4040501.

Ranjbar, H., Hasanpour, M., Asgari, M. A., Sameei Zadeh, H. & Baniasadi, A. (2007). The effects of calcium chloride, hot water treatment and polyethylene bag packaging on the storage life and quality of pomegranate (Cv: Malas-Saveh). *Journal of Food Science and Technology*, *4*(2), 1-10. http://fsct.modares.ac.ir/article-7-1174-en.html.

Razzaq, K., Khan, A. S., Malik, A. U. & Shahid, M. (2013). Ripening period influences fruit softening and antioxidative system of 'Samar Bahisht Chaunsa' mango. *Scientia Horticulturae*, *160*, 108-114. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.05.018.

Rizzo, M., Marcuzzo, M., Zangari, A., Gasparetto, A. & Albarelli, A. (2023). Fruit ripeness classification: A survey. *Artificial Intelligence in Agriculture*, *7*, 44-57. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2023.02.004.

Serrano, M., Martinez-Romero, D., Guillen, F. & Valero, D. (2003). Effects of exogenous putrescine on improving shelf life of four plum cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, *30*(3), 259-271. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00113-3.

Shehata, S., Ibrahim, M., El-Mogy, M &. Abd El-Gawad, K. (2013). Effect of hot water dips and modified atmosphere packaging on extend the shelf life Bell Pepper fruits. *Wulfenia*, *20*(3), 315-328. https://www.researchgate.net/publication/236342524.

Shrivastava, C., Schudel, S., Shoji, K., Onwude, D., da Silva, F. P., Turan, D & Defraeye, T. (2023). Digital twins for selecting the optimal ventilated strawberry packaging based on the unique hygrothermal conditions of a shipment from farm to retailer. *Postharvest Biology and Technology*, *199*, 1-28. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112283.

Shulaev, V. & Oliver, D. J. (2006). Metabolic and proteomic markers for oxidative stress, new tools for reactive oxygen species research. *Plant Physiology*, *141*, 367-372. https://doi.org/10.1104/pp.106.077925.

Singh, S. K. & Singh, V. K. (2023). An Efficacy of Plant Growth Substances on Vegetative Growth Traits and Fruiting Behaviour in Strawberry cv Winter Down under Open Condition. *International Journal of Environment and Climate Change*, *13*(10), 3544-3547. https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i103024.

Siruie Nejad, B., Mortazavi, S. M. H., Moalemmi, N. & Eshghi, S. (2013). The Effect of postharvest application of putrescine and UV-C irradiation on strawberry (*Fragaria* × *ananasa* cv. Selva) fruit quality. *Plant Productions*, *36*(1), 117-127. (In Persian). https://plantproduction.scu.ac.ir/article_10099.html?lang=en.

Tiburcio, A. F., Altabella, T., Bitrián, M, & Alcázar, R. (2014). The roles of polyamines during the lifespan of plants: from development to stress. *Planta*, *240*(1), 1-18. https://doi.org/10.1007/s00425-014-2055-9.

Trivedi, C. H., Mehta, K. J. & Panigrahi, J. (2023). Induction of extended shelf-life of cucumber by polyamines. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, *101*(1), 27-34. https://doi.org/10.21608/ejar.2022.137293.1232.

Umeohia, U. E. & Olapade, A. A. (2024). Quality Attributes, Physiology, and Postharvest Technologies of Tomatoes (*Lycopersicum esculentum*)-A Review. *American Journal of Food Science and Technology*, *12*(2), 42-64. https://doi.org/10.12691/ajfst-12-2-1.

Valero, D. & Serrano, M. (2010). Heat treatments. *Postharvest Biology and Technology for Preserving Fruit Quality*, *5*, 91-108. https://doi.org/10.1201/9781439802670-c5.

Van De Velde, F., Tarola, A. M., Guemes, D. & Pirovani, M. E. (2013). Bioactive compounds and antioxidant capacity of Camarosa and Selva strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Foods*, *2*, 120-131. https://doi.org/10.3390/foods2020120.

Vijayalaxmi, M., Rao, A. M., Reddy, M. V. & Nirmala, A. (2022). Water relations and post harvest life of cut Gerbera as affected by ethylene inhibitors. *Environment and Ecology*, *40*(4), 1965-1973. https://environmentandecology.com/wp-content/uploads/2024/07/MS1-3.pdf.

Wang, S. Y. & Gao, H. (2013). Effect of chitosan -based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x aranassa* Duch.). *LW T - Food Science and Technology*, *52*, 71-79. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003.

Wannabussapawich, B. & Seraypheap, K. (2018). Effects of putrescine treatment on the quality attributes and antioxidant activities of 'Nam Dok Mai No.4'mango fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, *233*, 22-28. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.050.

Yang, L., Wang, X., He, S., Luo, Y., Chen, S., Shan, Y. & Ding, S. (2021). Heat shock treatment maintains the quality attributes of postharvest jujube fruits and delays their senescence process during cold storage. *Journal of Food Biochemistry*, *45*(10), e13937. https://doi.org/10.1111/jfbc.13937.

Yiu, J. C., Juang, L. D., Fang, D. Y. T., Liu, S. W. & Wua, S. J. (2009). Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Scientia Horticulturae*, *120(3)*, 306-314. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.11.020.

You, Y., Zhou, Y., Duan, X., Mao, X, & Li, Y. (2023). Research progress on the application of different preservation methods for controlling fungi and toxins in fruit and vegetable. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(33), 12441-12452. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2101982.

Zokaee Khosroshahi, M. R. & Esna-Ashari, M. (2008). Effect of exogenous putrescine treatment on the quality and storage life of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Journal of Postharvest Technology and Innovation*, *1(3)*, 278-287. https://doi.org/10.1504/IJPTI.2008.021462.