

Postharvest L-phenylalanine Application on Shelf life and Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry During Cold Storage

K. Manda-Hakki¹ – H. Hassanpour²

1- M.Sc Degree in Horticultural Science and Engineering Majoring in Fruit Trees, Urmia University

2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University

Introduction

One of the most important global challenges is food waste, about 30% of the world's agricultural land is wasted. Every year, about 9.5 million tons of food is lost in the post-harvest phase of agriculture (Bishop *et al.*, 2021). Therefore, storage technology is very important to increase shelf life, preserve nutrition and maintain the taste of fresh products (Brizsolara *et al.*, 2020; Holler *et al.*, 2023). Storing strawberry fruits at an inappropriate temperature after harvesting significantly increases weight loss, rotting and softening (Gol *et al.*, 2013). L-phenylalanine as an amino acid is used for the biosynthesis of all phenolic compounds through the phenylpropanoid pathway. In recent years, the application of exogenous phenylalanine has been considered for use as a biologically safe molecule to maintain the postharvest quality of many horticultural crops (Kumar Patel *et al.*, 2020). L-phenylalanine treatment has been reported to reduce the frost damage of plum fruit during cold storage by maintaining membrane integrity and improving reactive oxygen species (ROS) scavenging capacity. The treated fruit showed a higher DPPH inhibition capacity by increasing the accumulation of phenolic compounds and antioxidant enzyme activity (Sogvar *et al.*, 2020). Aghdam *et al.* (2019) also reported that application of L-phenylalanine significantly reduced cold damage, membrane lipid peroxidation and ROS accumulation in tomato fruits during cold storage.

Materials and methods

Strawberry fruits were obtained from a commercial greenhouse located in Urmia at full maturity stage. The fruits were transported to the laboratory of the Department of Horticultural Sciences in Urmia University with necessary precautions to prevent any mechanical damage to the product. The fruits were separated in terms of size and uniformity, so that the fruits were divided into 3 groups, one group as a control group and 2 groups were treated with concentrations of L-phenylalanine (4 and 8 mM). After drying the treated fruits, they were placed in zipped nylon bags and kept in a cold room for 15 days at a temperature of 3 ± 0.5 °C and a relative humidity of 90-95%. Also, three biological replicates at each time point were included in the analysis. The samples obtained at each of these times were used to evaluate skin color, titratable acidity, soluble solids, taste index, pH, weight loss, firmness, antioxidant capacity, total phenol content, and polyphenol oxidase enzyme activity.

Results and discussion

The results showed that the effect of post-harvest treatment, storage time, and the interaction between them were statistically significant on all of the traits. In terms of color changes, the effect of post-harvest treatment ($p \leq 0.05$) was significant only in b^* index, and the highest rate was observed in the 4 Phe treatment. The effect of storage time was also significant in a^* and Chroma indices ($p \leq 0.05$) and the highest level was observed in both of these indices at day 5. The effect of storage time was also significant in TA ($p \leq 0.01$), the highest value was observed in day 10. In antioxidant capacity ($p \leq 0.05$), TSS ($p \leq 0.05$) and taste index ($p \leq 0.01$), the interaction effect between storage time and Phe treatment was significant. In antioxidant capacity, the highest percentage of DPPH inhibition was observed in day 10 and 4 Phe treatment, in TSS, the highest rate was observed on day 10 and 8 Phe treatment, and in taste index, the highest rate was observed on day 15 and 4 Phe treatment. The effect of post-harvest Phe treatment and storage period on fruit weight loss was significant ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$) respectively, and the lowest percentage of weight loss was observed in Phe 4 and day 5. In terms of firmness and total phenol content, only the effect of Phe treatment was significant ($p \leq 0.05$) and ($p \leq 0.01$), respectively, the highest level of firmness in the 4 Phe treatment and the highest amount of total phenol content in the 8 Phe treatment were observed. In the PPO enzyme, only the effect of storage time ($p \leq 0.05$) was significant.

Conclusion

According to the obtained results, the 4 Phe treatment is the best concentration of phenylalanine to increase the shelf life of harvested strawberry fruits under cold storage.

Keywords: Amino acid, Fruit firmness, Titratable acid, Total phenol

کاربرد پس از برداشت ال-فنیل آلانین بر ماندگاری و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت فرنگی رقم سابرینا در طی نگهداری در سردخانه

کریم منداحکی^۱ و حمید حسن پور^۲

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی باغبانی گرایش درختان میوه دانشگاه ارومیه

۲ دانشیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

نویسنده مسئول: Karim.manda1995@gmail.com

چکیده

توت فرنگی یکی از میوه‌هایی است که به دلیل رنگ، شکل، عطر و طعم آن معروف و به دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی مانند ویتامین C، ویتامین E، بتا کاروتن و آنتوسیانین‌ها، یکی از مهم ترین میوه‌ها از نظر اقتصادی در سراسر جهان می‌باشد اما این میوه در برابر بیماری‌ها و پوسیدگی بسیار آسیب پذیر است. یکی از چالش‌های مهم جهانی ضایعات مواد غذایی است. از ترکیبات شیمیایی نظیر اسیدهای آمینه می‌توان جهت افزایش ماندگاری پس از برداشت به عنوان یک تیمار مناسب استفاده کرد. در این پژوهش اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل آلانین در غلظت‌های (صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار) و زمان انبارمانی (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میوه توت فرنگی رقم سابرینا طی مدت انبارمانی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصله، بیشترین مقدار شاخص رنگ b^* در تیمار ۴ میلی‌مولار، مواد جامد محلول (تیمار ۸ میلی‌مولار)، شاخص طعم (تیمار ۴ میلی‌مولار)، ظرفیت آنتی-اکسیدانی (تیمار ۴ میلی‌مولار) و محتوی فنل کل (تیمار ۸ میلی‌مولار) بود. همچنین کمترین درصد کاهش وزن و کاهش سفتی در تیمار ۴ میلی‌مولار مشاهده شد. بطور کلی نتایج بدست آمده نشان داد که می‌توان از تیمار ۴ میلی‌مولار ال-فنیل آلانین به عنوان مناسب‌ترین غلظت برای افزایش ماندگاری پس از برداشت توت فرنگی رقم سابرینا استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: اسید آمینه، اسیدیته قابل تیتراسیون، سفتی بافت میوه، فنل کل

مقدمه

توت فرنگی (*Fragaria × ananassa* Duch) یک میوه مهم اقتصادی است که در سراسر جهان مصرف می‌شود و به دلیل رنگ، شکل، عطر، طعم و بافت لذیذ منحصر به فرد خود معروف می‌باشد (Khalifa et al., 2016). همچنین توت فرنگی به دلیل محتوای بالای ترکیبات فعال زیستی مانند ویتامین C، ویتامین E، بتا کاروتن و آنتوسیانین‌ها، یکی از مهم ترین میوه‌ها از نظر اقتصادی در سراسر جهان می‌باشد. با این حال، این میوه‌ها دارای سرعت تنفس بالایی هستند که باعث

می‌شود ماندگاری پس از برداشت آن کاهش یابد. آسیب مکانیکی و عفونت ناشی از میکروب‌ها نیز عوامل مهمی هستند که در تغییر رنگ، استحکام، کیفیت و تلفات پس از برداشت دخالت دارند (Piechowiak et al., 2019; Chu et al., 2020).

به طور خاص، توت‌های برداشت شده سطوح اسید آسیتزیک را در مقایسه با شرایط عادی افزایش می‌دهند که منجر به افزایش سرعت فرآیند رسیدن و در نتیجه پیری میوه می‌شود (Chen et al., 2014). یکی از چالش‌های مهم جهانی ضایعات مواد غذایی است که حدود ۳۰ درصد از مساحت زمین کشاورزی جهان در حال هدر رفتن است. هر سال حدود ۹/۵ میلیون تن غذا در مرحله پس از برداشت کشاورزی از بین می‌رود (Bishop et al., 2021). بنابراین، فناوری انبارداری برای افزایش ماندگاری، حفظ تغذیه و حفظ طعم کالاهای تازه اهمیت زیادی دارد (Brizzolara et al., 2020; Holler et al., 2023).

نگهداری میوه‌های توت‌فرنگی در دمای نامناسب پس از برداشت به‌طور قابل توجهی کاهش وزن، ایجاد پوسیدگی و نرم شدن آن را افزایش می‌دهد (Gol et al., 2013). با این حال، قرار گرفتن در معرض دمای پایین نیز ممکن است باعث ایجاد آسیب سرمایی شود که بر کیفیت میوه تأثیر منفی می‌گذارد (Bustamante et al., 2016).

یکی از ترکیبات شیمیایی استفاده شده برای افزایش نگهداری پس از برداشت میوه‌ها، اسیدهای آمینه می‌باشند. اسید آمینه، ترکیب آلی دارای نیتروژن است و محصولات با پایه اسید آمینه در دهه گذشته به وسیله کشاورزان استفاده شده است و باعث بهبود عملکرد و رشد گیاهان مختلف شده است. مزایای استفاده از اسید آمینه با محتوای نیتروژن آلی در ارتباط با تعامل مثبت و سازنده با در دسترس بودن برخی مواد معدنی و مغذی است (Cerdna et al., 2009). همچنین اسیدهای آمینه به‌عنوان مولکول‌های واسطه هورمون‌های گیاهی درون‌زا، به سنتز پروتئین کمک می‌کنند و تأثیر کمپلکس‌کننده‌ای بر مواد مغذی دارند (Taiz et al., 2017).

واحدهای تشکیل دهنده پروتئین اسیدهای آمینه می‌باشند که در ایجاد مقاومت به بیماری‌ها و آفات، افزایش ظرفیت آنتی-اکسیدانی و ترکیبات فنلی نقش مهمی دارند. فنیل استیک اسید نخستین ترکیب حدواسط برای سنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین، لیگنین و تانن می‌باشد که اسید آمینه فنیل آلانین ماده اصلی تشکیل دهنده این مولکول مهم زیستی است (Garde-Cerdan et al., 2014). فنیل آلانین با نام شیمیایی acid 2-Amino-3-phenylpropanoic یکی از ۲۰ اسید آمینه اصلی می‌باشد که یک آلفا آمینو اسید با فرمول شیمیایی $C_9H_{11}NO_2$ است (Portu et al., 2015).

فنیل آلانین به‌عنوان یک اسید آمینه برای بیوسنتز تمام ترکیبات فنلی از طریق مسیر فنیل پروپانوئید استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، کاربرد فنیل آلانین برون‌زا برای استفاده به‌عنوان یک مولکول ایمن بیولوژیکی برای حفظ کیفیت پس از برداشت بسیاری از محصولات باغبانی مورد توجه قرار گرفته است (Kumar Patel et al., 2020).

در آزمایشی که در آن اثر تیمارهای پس از برداشت فنیل آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه بادنجان (*Solanum melongena* L.) بررسی گردید، مشخص شد که تیمارهای ۷/۵ میلی‌مولار فنیل آلانین و ۳ میلی‌مولار سولفید هیدروژن جهت حفظ کیفیت میوه، تأخیر کاهش وزن و آسیب سرمازدگی و افزایش عمر انبارمانی میوه مناسب می‌باشند (Najafi et al., 2021). همچنین گزارش شده است که تیمار فنیل آلانین با حفظ یکپارچگی غشاء و بهبود ظرفیت مهار گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) آسیب سرمازدگی میوه آلو را در طول ذخیره‌سازی سرد کاهش می‌دهد

میوه تیمار شده با افزایش انباشت ترکیبات فنلی و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی، ظرفیت مهار DPPH بالاتری را نشان داد (Sogvar *et al.*, 2020). همچنین Aghdam و همکاران (2019) نیز گزارش کردند که کاربرد فنیل آلانین به طور قابل توجهی آسیب ناشی از سرما، پراکسیداسیون لیپید غشایی و تجمع ROS را در میوه‌های گوجه فرنگی در طی نگهداری سرد کاهش داد.

با توجه به اهمیت تغذیه‌ای توت‌فرنگی و عمر انبارداری کم آن نیاز به استفاده از روش‌هایی جهت افزایش عمر پس از برداشت و حفظ ویژگی‌های بیوشیمیایی آن ضروری می‌باشد، علی‌رغم اینکه فنیل آلانین اثرات مثبتی بر عمر پس از برداشت و ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه‌ها و سبزیجات دارد، اما با توجه به اطلاعات ما، تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از این ترکیب و اثرات آن بر فیزیولوژی پس از برداشت توت‌فرنگی رقم سابرینا ارائه نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی تاثیر پس از برداشت فنیل آلانین بر ماندگاری و حفظ ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی توت‌فرنگی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا مورد آزمایش در این پژوهش از یک گلخانه تجاری واقع در ارومیه در مرحله بلوغ و رسیدگی کامل تهیه شد. میوه‌ها با احتیاط لازم جهت جلوگیری از وقوع هر گونه آسیب مکانیکی به محصول، به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. میوه‌ها از نظر اندازه و یکنواختی تفکیک گردیده، بطوریکه میوه‌ها به ۳ گروه ۱۵ عددی تقسیم شده یک گروه به عنوان گروه شاهد و ۲ گروه به ترتیب با غلظت‌های ال-فنیل آلانین (۴ و ۸ میلی‌مولار) به صورت محلول‌پاشی بر روی میوه‌ها تیمار شدند. بعد از خشک شدن میوه‌های تیمار شده، آن‌ها در داخل کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار قرار داده شده و به مدت ۱۵ روز در دمای 5 ± 3 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد در سردخانه نگهداری شدند. همچنین سه تکرار بیولوژیکی در هر سه نقطه زمانی در آنالیز گنجانده شد. نمونه‌های بدست آمده در هر یک از این زمان‌ها جهت ارزیابی رنگ پوست، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH، کاهش وزن، سفتی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مورد استفاده قرار گرفتند.

تغییرات رنگ پوست با استفاده از دستگاه رنگ سنج (CHROMA METER CR-400) ساخت ژاپن در دو نقطه‌ی پوست میوه اندازه‌گیری شد. در این روش مقادیر L^* ، a^* ، b^* ، $\text{Hue angle} = \arctan(b^*/a^*)$ و $\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ اندازه‌گیری شدند (Pathare *et al.*, 2013).

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش (Erkan and Selcuk., 2015) با کمی تغییر استفاده شد. همزمان با قرائت pH، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال تا زمانی که pH عصاره به عدد ۸/۲ برسد انجام شد. بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی در جریان تیتراسیون مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت میلی‌گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم محاسبه شد:

$$TA = (S \times N \times F \times E / C) \times 100$$

در این رابطه: TA: مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، S: مقدار NaOH مصرفی، N: نرمالیت، F: فاکتور NaOH، C: مقدار عصاره میوه، E: اکی والان اسید سیتریک

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از رفرآکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد (Jalili Marandi., 2013). همچنین شاخص طعم هر نمونه نیز از طریق مقدار مواد جامد محلول (TSS) بر اسیدیتته قابل تیتراسیون (TA) بدست آمد-Pelayo (zaldivar., 2005). میزان pH آبمیوه نیز با دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Mtere CG 824) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن میوه‌ها، قبل از قرار دادن میوه‌ها در انبار و در روز پنجم، دهم و پانزدهم وزن آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (CANDGL مدل ۳۰۰) اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Meng et al., 2007).

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه تجزیه و سنجش بافت مدل (Texture analyser) ساخت انگلستان با پروب به قطر ۲ میلی‌متر بر روی میوه‌ها انجام گرفت و نتایج بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بیان شد (Jalili Marandi., 2013).

جهت اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رادیکال آزاد (2,2-Diphenyl-picryl-Hydtazy) DPPH استفاده شد. برای اندازه‌گیری توانایی عصاره‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد، ۵۰ میکرولیتر از عصاره آماده شده را با ۱۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Dynamica HALO DB_20) با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شده و بر اساس فرمول زیر با درصد بازدارندگی محاسبه گردید (Nakajima et al., 2004).

$$\text{درصد مهار رادیکال} = \left(\frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \right) \times 100$$

که در این فرمول A blank جذب نمونه شاهد و A sample جذب نمونه‌ها می‌باشد.

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل به ۳۰ میکرولیتر از عصاره، ۶۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو ۱۰ درصد و ۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه ۴۸۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه گردید و حجم نهایی به ۱۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد (Du et al., 2009). سپس نمونه‌ها به مدت ۱/۵ لی ۲ ساعت در محل تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از این مدت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Dynamica HALO DB_20) قرائت گردید. نتایج بر حسب میلی‌گرم معادل اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم تر میوه بیان شد.

تهیه عصاره آنزیمی: هموژن حاصل از خیساندن و خرد کردن ۵۰۰ میکرولیتر از آبمیوه تهیه شده در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار pH=7.5 متشکل از ۱ درصد پلی‌وینیل پیرولیدون (pvp) و ۱ میلی‌مولار EDTA به‌عنوان یک عصاره آنزیمی برای ارزیابی آنزیم استفاده شد. محتوای پروتئین پس از سانتی‌فیوژ به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (Bradford., 1976).

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) از روش Pizzocaro و همکاران (1993) بر اساس اکسیداسیون کاتکول استفاده شد. مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر ماده بافری را به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و پس از قرار دادن به مدت ۵ دقیقه در بن ماری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر به مدت سه دقیقه

اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیمی عبارت از میزان تغییر PPO به مقدار ۰/۰۰۱ در دقیقه در یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیم بود.

$$\text{فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن تر)} = (\Delta A \times 1000) / (0/001 \times 25)$$

$$\Delta A = \text{اختلاف جذب}$$

$$25 = \text{میزان گرم آنزیم به کار رفته}$$

پژوهش حاضر بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با تعداد ۱۵ میوه در هر تکرار در هر مرحله نمونه‌برداری انجام شد. فاکتور اول غلظت‌های مختلف فنیل‌آلانین در سه سطح ۰، ۴ و ۸ میلی‌مولار و فاکتور دوم زمان انبارمانی در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بود. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطوح ۵ و ۱ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار پس از برداشت ال فنیل‌آلانین اثر معنی داری بر b^* رنگ (۵ درصد)، کاهش وزن (۵ درصد)، سفتی بافت میوه (۵ درصد) و محتوی فنل کل (یک درصد) داشت. همچنین اثر معنی داری زمان انبارمانی نیز بر صفات a^* (۵ درصد)، Chroma (۵ درصد)، اسیدیته قابل تیتراسیون (یک درصد)، کاهش وزن (یک درصد) و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (۵ درصد) بود. در برخی از صفات نیز اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و مدت زمان انبارمانی مشاهده شد، این اثر معنی دار بر مواد جامد محلول (۵ درصد)، شاخص طعم (یک درصد) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵ درصد) بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در انبار سرد.

Table 1- The results of variance analysis of the effect of post-harvest application of L-phenylalanine on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberries during cold storage

		میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	a^*	b^*	L^*	Chroma	Hue	کاهش وزن Weight loss	pH

فنیل آلانین Phenylalanine (Phe)	2	1.86 ^{ns}	14.01 [*]	8.61 ^{ns}	9.62 ^{ns}	31.1 ^{ns}	0.18 [*]	0.25 ^{ns}
زمان انبارمانی Storage time (ST)	2	18.1 [*]	5.97 ^{ns}	5.61 ^{ns}	29.01 [*]	1.49 ^{ns}	2 ^{**}	0.29 ^{ns}
فنیل آلانین × زمان انبارمانی Phe × ST	4	4.40 ^{ns}	1.88 ^{ns}	5.23 ^{ns}	8.88 ^{ns}	1.07 ^{ns}	0.030 ^{ns}	0.073 ^{ns}
خطا Error	18	4.93	4.02	7.40	7.99	15.04	0.062	0.036
ضریب تغییرات C.V (%)		7.84	16.45	9.39	9.27	16.69	16.14	4.69

^{ns}، ^{**} و ^{*} به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

^{ns}، ^{**} and ^{*} are respectively non-significant, significant at the probability level of 1 and 5 percent

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-فنیل آلانین بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در انبار سرد.

Continuation of Table 1- The results of variance analysis of the effect of post-harvest application of L-phenylalanine on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberries during cold storage

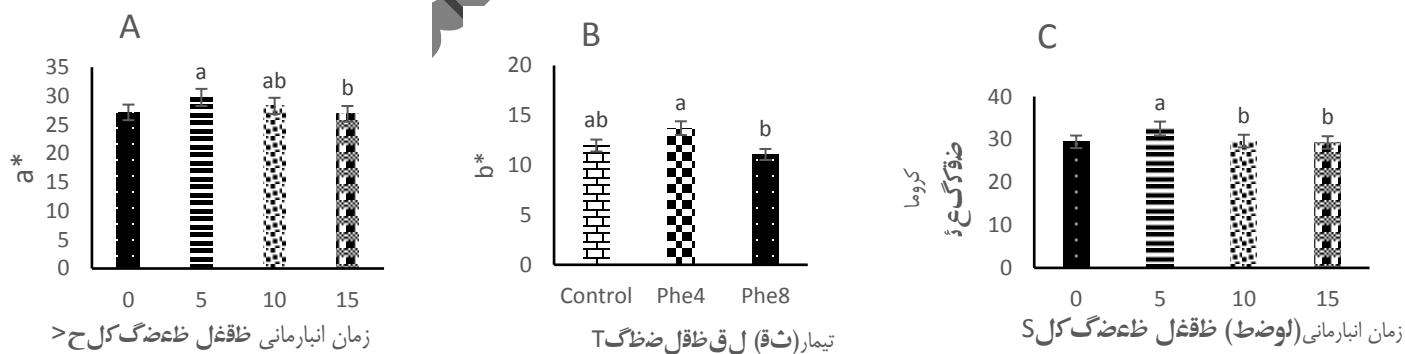
		میانگین مربعات Mean squares						
منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	اسیدیته قابل تیتراسیون TA	مواد جامد محلول TSS	طعم TSS/ TA	سفتی بافت میوه Fruit firmness	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	محتوی فنل کل Total phenol content	آنزیم پلی فنل اکسیداز PPO activity
فنیل آلانین Phenylalanine (Phe)	2	0.04 ^{ns}	3.89 [*]	0.10 ^{ns}	0.017 [*]	661.4 ^{**}	70379.2 ^{**}	13792 ^{ns}
زمان انبارمانی Storage time (ST)	2	0.19 ^{**}	2.89 [*]	3.83 [*]	0.0009 ^{ns}	61.35 ^{ns}	9730 ^{ns}	113348 [*]

فنیل آلانین × زمان انبارمانی Phe × ST	4	0.035 ^{ns}	2.64*	4.55**	0.004 ^{ns}	126.9*	9061 ^{ns}	370 ^{ns}
خطا Error	18	0.021	0.85	0.81	0.005	50.84	5535.5	25733
ضریب تغییرات C.V (%)		12.78	10.36	11.52	11.07	11.11	10.1	71.9

^{ns}، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, ** and * are respectively non-significant, significant at the probability level of 1 and 5 percent

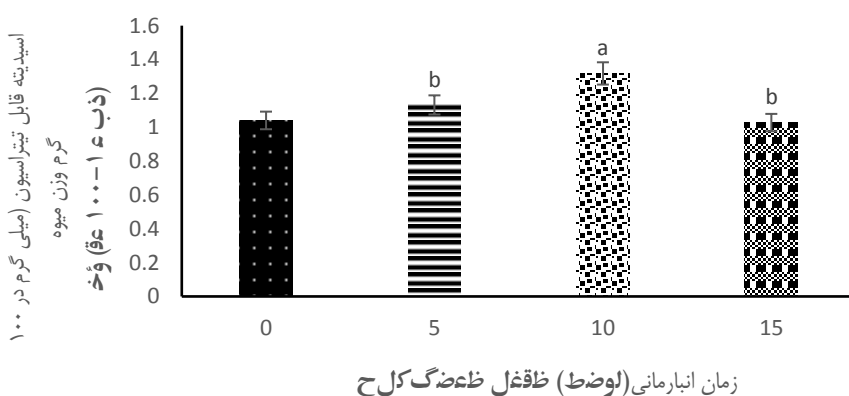
تغییرات رنگ: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، برخی از شاخص‌های رنگی دچار تغییر شده اند. اثر تیمار پس از برداشت فنیل آلانین فقط بر شاخص ^{b*} در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۱) که بالاترین میزان آن در تیمار ۴ میلی مولار فنیل آلانین مشاهده شد (شکل ۱). البته اثر فنیل آلانین در شاخص‌های ^{a*}، ^{L*}، Hue و Chroma معنی دار نبود که این نشان دهنده اثر مثبت فنیل آلانین بر حفظ این شاخص‌ها می باشد (جدول ۱). اثر زمان انبارمانی در شاخص‌های ^{a*} و Chroma در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین مقادیر هر دو شاخص در روز ۵ انبارمانی مشاهده گردید و در زمان‌های دیگر کاهش یافت (شکل ۱). یکی از شاخص‌های کیفی و مهم بازارپسندی، رنگ میوه است. با گذشت زمان و همزمان با شدت گرفتن تخریب رنگدانه‌ها تحت واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی میزان این شاخص‌های رنگی کاهش می یابد. همچنین در میوه‌ها و سبزی‌ها با گذشت زمان انبارمانی در اثر افزایش pH و شدت تنفس، رنگدانه‌های آن‌ها تجزیه شده و در نتیجه کیفیت ظاهری و رنگی آن کاهش می یابد (Daraei Garmakhany et al., 2021).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی بر شاخص ^{a*} (A) و Chroma (C) و تیمار پس از برداشت ال-فنیل آلانین بر شاخص ^{b*} (B) رنگ میوه توت‌فرنگی رقم سابیرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 1. Comparison of the average effect of storage time on a* (A) and Chroma (C) and postharvest L-phenylalanine treatment on b* (B) of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

اسیددیده قابل تیتراسیون: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر مدت زمان انبارمانی بر میزان اسیددیده قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود جدول (۱) و بیشترین مقدار آن در روز ۱۰ انبارمانی مشاهده گردید شکل (۲). همچنین اثر تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین بر اسیددیده قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا معنی‌دار نبود. یکی از ویژگی‌های مهم در تعیین کیفیت میوه، اسیددیده قابل تیتراسیون می‌باشد و اسید قابل تیتراسیون با غلظت اسیدهای ارگانیک موجود در میوه رابطه مستقیمی دارد (Akhtar *et al.*, 2010). میزان اسیدهای آلی پس از برداشت میوه‌ها به مواد جامد محلول و سرعت تجزیه این اسیدها بستگی دارد. تجزیه اسیدهای آلی نیز به سرعت تنفس بستگی دارد. از آنجا که ماده اولیه واکنش‌های آنزیمی تنفس، اسیدهای آلی می‌باشند، انتظار می‌رود طی مدت زمان انبارمانی اسیددیده میوه کاهش و مقدار pH آن افزایش یابد (Taherpour *et al.*, 2020). همچنین فنل‌ها به کاهش تنفس و تولید اتیلن کمک کرده و در مجموع سرعت فرآیند متابولیکی و مصرف اسیدهای آلی را کاهش می‌دهد (Asghari *et al.*, 2019). کاهش اسیددیده قابل تیتراسیون در زمان انبارمانی به دلیل تغییرات متابولیکی میوه ناشی از مصرف شدت اسیدهای آلی در فرآیند تنفس می‌باشد (Akhond *et al.*, 2022).

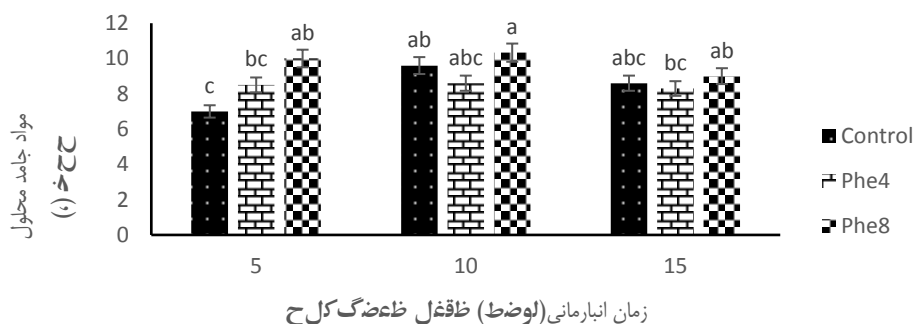


شکل ۲. مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی بر میزان اسیددیده قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig2. Comparison of the average effect of storage time on the TA of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

مواد جامد محلول: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری بر میزان مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی مدت زمان انبارمانی داشت جدول (۱). بیشترین مقدار TSS در روز ۱۰ و در تیمار ۸ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد شکل (۳). یکی

از شاخص‌های کیفی مهم که رابطه بالایی با ساختار میوه دارد مواد جامد محلول می‌باشد. میوه حاوی قندهایی مانند نشاسته، گلوکز، فروکتوز، ساکارز می‌باشد که مقادیر بالای آن‌ها در دوره رسیدن میوه و پس از برداشت به دلیل هیدرولیز نشاسته افزایش می‌یابد (Davarpناه *et al.*, 2013). با گذشت زمان و از دست دادن رطوبت میوه، غلظت مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. از سوی دیگر طی فرآیند تنفس، ترکیبات پلی‌ساکارییدی دیواره سلولی تجزیه و به قندهای محلول تبدیل شده و در نهایت مواد جامد محلول به شدت افزایش می‌یابد. در نتیجه عواملی که سبب کاهش و یا ممانعت از تجزیه دیواره سلولی می‌گردند از افزایش بیش از حد مواد جامد محلول جلوگیری می‌نمایند (Shahimoridi & Dastjerdi, 2020). در طی محلول‌پاشی بر روی توت‌فرنگی با ۱۰۰ میکرومولار فنیل‌آلانین باعث افزایش مواد جامد محلول گردید (Mohseni *et al.*, 2015)

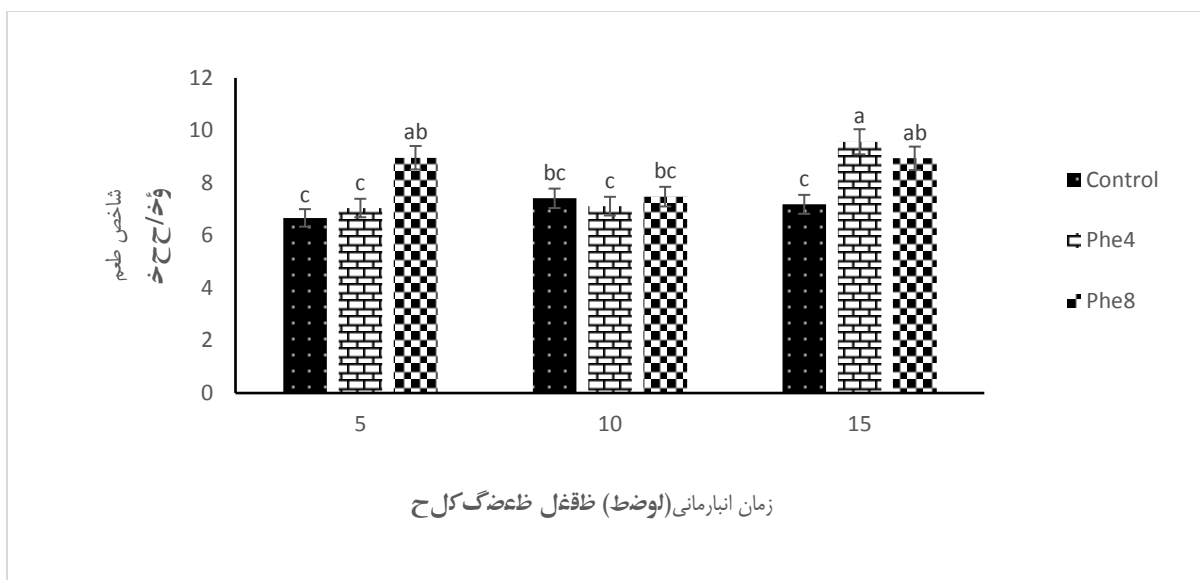


شکل ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر مواد جامد محلول توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 3. Comparison of the average interaction effect of storage time and postharvest treatment of L-phenylalanine on soluble solids of Sabrina strawberry during 15 days of storage

شاخص طعم: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول (۱)، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین بر شاخص طعم میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری داشت. میوه‌های تیمار شده با فنیل‌آلانین نسبت به گروه شاهد با گذشت زمان اثر مثبت‌تری بر شاخص طعم میوه‌ها گذاشتند، بطوریکه بیشترین میزان شاخص طعم در زمان سوم و در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد. شکل (۴). شاخص طعم یکی از شاخص‌های کیفی و مهم بازارپسندی می‌باشد که وابسته به دو شاخص اسیدیته قابل تیتراسیون و مواد جامد محلول می‌باشد. در صورتی که مواد جامد محلول میوه بالا رفته و اسیدیته قابل تیتراسیون آن کاهش یابد، شاخص طعم نیز افزایش می‌یابد.

pH: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول (۲)، هیچ یک از فاکتورهای مدت زمان انبارمانی، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل بین آنها اثر معنی‌داری بر میزان pH میوه نداشتند و مقدار اولیه آن (۴/۰۹) بود.

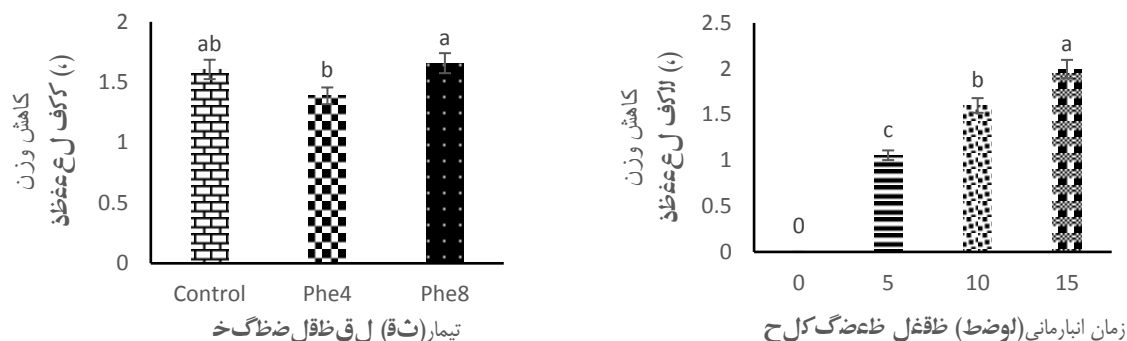


شکل ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت ال-فنیل آلانین بر شاخص طعم توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 4. Comparison of the average interaction effect of storage time and postharvest treatment of L-phenylalanine on Sabrina strawberry taste index during 15 days of storage

کاهش وزن: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، اثر تیمار پس از برداشت فنیل آلانین و مدت زمان انبارمانی بر درصد کاهش وزن میوه به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. البته اثر متقابل بین این دو معنی‌دار نبود. میزان کاهش وزن با مدت زمان انبارمانی ارتباط مستقیمی داشت و هرچه زمان انبارمانی بیشتر می‌شد درصد کاهش وزن میوه‌ها نیز افزایش یافت، بطوریکه بیشترین درصد کاهش وزن در زمان ۱۵ روز مشاهده شد. همچنین کمترین درصد کاهش وزن در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل آلانین مشاهده شد. شکل (۵). وزن میوه یکی از شاخص‌های مهم کیفیت میوه می‌باشد که به مرور زمان با توجه به شرایط نگهداری کاهش می‌یابد. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود: نخست قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرایند فیزیولوژیکی می‌باشد و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌گردد (Treviño Garza *et al.*, 2015). یکی از ویژگی‌های بسیار مهم جهت ارزیابی کیفی محصول، کاهش وزن می‌باشد که به میزان تعرق و تنفس میوه مربوط می‌شود. میوه توت‌فرنگی به دلیل پوست نازک خود مستعد از دست دادن آب می‌باشد. این امر بر بازارپسندی محصول تاثیر منفی گذاشته و سبب نرم شدن بافت، تغییر در رنگ و عطر و طعم میوه، تسریع فرایند پیری، رشد پاتوژن‌ها و سرمازدگی می‌گردد (De Bruno *et al.*, 2023). با گذشت زمان انبارمانی و افزایش تبخیر و تعرق به دلیل یکسان نبودن فشار بخار آب در فضای بین سلولی بافت‌ها و اتمسفر احاطه کننده میوه از یک سو و نیز تشدید فرآیندهای تنفسی از سوی دیگر کاهش وزن میوه‌ها در طی زمان انبارمانی امری طبیعی می‌باشد (Quintana *et al.*, 2021; Faz *et al.*, 2016). احمدخانی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که تیمار پس از برداشت فنیل آلانین باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه زغال اخته می‌گردد. همچنین نجفی و همکاران (Najafi

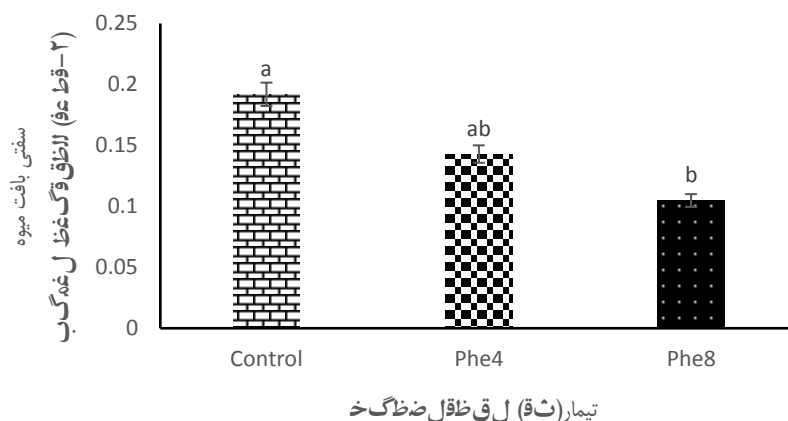
et al., 2021) نیز مشاهده نمودند که تیمار پس از برداشت فنیل آلانین باعث جلوگیری از کاهش وزن بادنجان می شود. نتایج ما با نتایج این دو گزارش مطابقت دارد.



شکل ۵. مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 5. Comparison of the average effect of postharvest L-phenylalanine treatment and storage time on weight loss of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

سفتی بافت میوه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، تیمار پس از برداشت فنیل آلانین در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی داری بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا داشت. سفتی بافت میوه در تمامی تیمارها کاهش یافت اما تیمار ۴ میلی مولار فنیل آلانین نسبت به تیمار ۸ میلی مولار نرمی بافت میوه کمتری را نشان داد. شکل (۶). یکی از رایج‌ترین پارامترهای فیزیکی که برای ارزیابی فرآیند نرم شدن و رسیدن میوه استفاده می‌شود، سفتی میوه می‌باشد (Hong et al., 2014). همچنین از شاخص‌های مهم جهت نگهداری میوه، مقبولیت توسط مصرف‌کننده و بازارپسندی محصولات باغبانی می‌باشد (Valero et al., 2003). نرمی بافت میوه در اثر تغییرات در ساختار دیواره سلولی بخصوص کاهش همبستگی سلول به سلول، تغییرات در بافت و ساختار میوه به علت کاهش آب و حل شدن پکتین‌ها است (Perkins-Veazie, 1995). افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های درگیر در هیدرولیز دیواره سلولی در طی رسیدن و پس از برداشت باعث نرم شدن میوه می‌گردد که با تولید اتیلن مرتبط می‌باشند (Valero & Serrano, 2010). همچنین پراکسیداسیون لیپیدی غشاء بر اثر تخریب غشاء نیز سفتی بافت میوه را کاهش می‌دهد. رادیکال‌های آزاد پراکسید هیدروژن و سوپراکسید از محصولات حدواسط و نهایی پراکسیداسیون لیپیدی غشاء هستند که در فرآیند رسیدگی و نرم شدن بافت میوه نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند (Mo et al., 2008). در گزارش نجفی و همکاران (Najafi et al., 2021) نیز فنیل آلانین سرعت نرم شدن بافت بادنجان را کاهش داد که با نتایج ما مطابقت دارد.

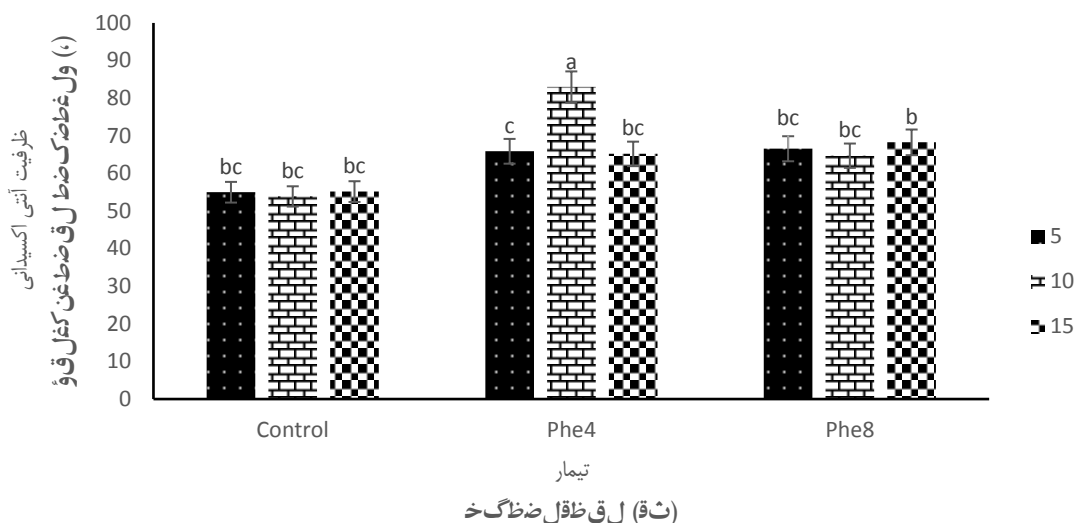


شکل ۶. مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل آلانین بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 6. Comparison of the average effect of postharvest L-phenylalanine treatment on the firmness of Sabrina strawberry fruit tissue during 15 days of storage

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل آلانین بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در زمان ۱۰ روز و در تیمار ۴ میلی‌مولار فنیل آلانین مشاهده شد. شکل (۷). از آسیب‌های مهم بافتی که ممکن است در اثر قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش‌ها رخ دهد، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن آزاد است. تجمع بیش از حد ROS باعث کاهش سیالیت غشا، انتقال یونی، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها می‌گردد و در نهایت مرگ سلولی را به همراه خواهد داشت (Ranjbar Malidarreh *et al.*, 2019). بطور کلی افزایش ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیمی با افزایش مدت زمان انبارمانی دارد (Sowmyashree *et al.*, 2021; Sayyari & Gharibi, 2016). در طی مطالعه‌ی مشاهده گردید که تیمار پس از برداشت فنیل آلانین باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه انبه شد (Patel *et al.*, 2023). نتایج ما با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. بنابراین تیمار فنیل آلانین باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

می‌گردد، القای فعالیت آنتی‌اکسیدانی احتمالاً تجمع ROS را کاهش می‌دهد، که به القای مسیر فنیل پروپانویید مربوط می‌شود که منجر به تجمع فلاونوئیدهایی می‌شود که فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند.

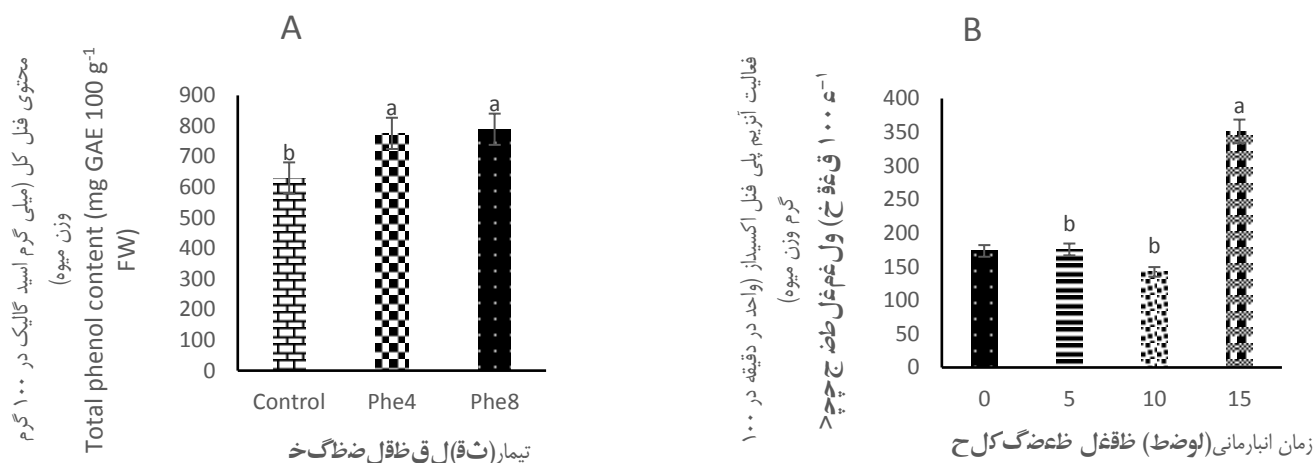


شکل ۷. مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین و زمان انبارمانی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت-فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی

Fig 7. Comparison of the average effect of postharvest L-phenylalanine treatment and storage time on antioxidant capacity of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

محتوی فنل کل: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا داشت. بیشترین میزان فنل کل در تیمار ۸ میلی‌مولار فنیل‌آلانین مشاهده شد. شکل (۸ A). مدت زمان انبارمانی و اثر متقابل بین مدت زمان انبارمانی و تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین اثر معنی‌داری بر محتوی فنل کل نداشتند. جدول (۲). توت‌فرنگی یکی از میوه‌هایی است که به انواع سیستم‌های ضد اکسایشی غیر آنزیمی مانند ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه مجهز می‌باشد (Aminifard et al., 2013). فنل ترکیبی ساده با خواص مختلف است که به صورت طبیعی توسط گیاهان تولید می‌گردد. گیاهان ترکیبات فنلی را در پاسخ به برخی ترکیبات پیام‌رسان که نقش دفاعی مهمی را دارند، آزاد می‌نمایند. پژوهشی نشان می‌دهد که رابطه مثبتی میان میزان فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد (Ghasemzade et al., 2011). فنل‌ها در مکانیسم‌های دفاعی گیاه در مقابله با رادیکال‌های آزاد اکسیژن به منظور بقاء و جلوگیری از صدمات مولکولی و آسیب‌های میکروارگانیسم‌ها، حشرات و گیاه‌خواران نقش دارند (Vaya et al., 1997). احمدخانی و همکاران (Ahmadkhani et al., 2023) گزارش کردند که تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین باعث افزایش محتوی فنل کل می‌شود که نتایج ما با این گزارش مطابقت دارد.

آنزیم پلی فنل اکسیداز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس جدول ۱، مدت زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد گذاشت و بیشترین میزان آنزیم PPO در زمان ۱۵ روز مشاهده شد. شکل (۸ B). اما تیمار پس از برداشت فنیل‌آلانین و اثر متقابل آن با مدت زمان انبارمانی اثر معنی‌داری نداشتند. جدول (۲). آنزیم پلی فنل اکسیداز در تمامی بافت‌های گیاهی یافت می‌شود. سوبسترای آن ترکیبات فنلی حاوی یک حلقه آروماتیک با داشتن یک یا چندین گروه هیدروکسیل مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانیدین‌ها، تیروزین و سینامیک اسید است (Unal et al., 2011). فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز توسط میزان تنفس، غلظت عناصر غذایی، استحکام بافت میوه و آنتی‌اکسیدان‌ها تنظیم می‌گردد و عواملی همچون زمان برداشت و دما، ترکیب گازی اتمسفر و شرایط محیطی نیز بر فعالیت آن موثر می‌باشد (Khoshghalb et al., 2007). مکانیسم‌های مختلفی جهت مقابله با گونه‌های فعال اکسیژن در موجودات زنده وجود دارد که یکی از مهمترین آنها سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو پاسخ خود را از طریق تولید آنزیم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی داده و از تخریب بیشتر سلول‌ها جلوگیری می‌کنند (Van and Clijsters., 1990; Prasad, 1997). بنابراین این آنزیم نقش مهمی در برابر پوسیدگی‌های قارچی دارد (Yang et al., 2011).



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر محتوی فنل کل (A) و اثر زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (B) میوه توت‌فرنگی در طی ۱۵ روز انبارمانی

Figure 8. Comparison of the average effect of post-harvest L-phenylalanine treatment on the content of total phenol (A) and the effect of storage time on the activity of PPO enzyme (B) of strawberry fruit during 15 days of storage

نتیجه‌گیری: این مطالعه به بررسی شاخص‌های کیفی و کمی توت‌فرنگی تیمار شده با فنیل‌آلانین در طی نگهداری سرد پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین تاثیر مثبتی در حفظ برخی از صفات کیفی میوه

توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی دوره ۱۵ روزه انبارمانی داشت، به طوری که باعث افزایش شاخص b^* رنگ، و محتوای فنل کل شده و همچنین با حفظ یکپارچگی غشای سلولی از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد به وسیله ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی و تحریک مسیر فعال فنیل‌پروپانویید از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری کرد. همچنین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال- فنیل‌آلانین و مدت زمان انبارمانی باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای مواد جامد محلول و شاخص طعم گردید. که البته افزایش محتوای مواد جامد محلول ممکن است باعث کاهش عمر انبارمانی میوه شود. همچنین تیمار ال- فنیل‌آلانین نتوانست باعث کاهش سفتی میوه‌ها گردد. این پژوهش نشان داد که ما می‌توانیم از تیمار ال- فنیل‌آلانین به عنوان یک تیمار و روش مفید و سالم جهت حفظ برخی از ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی طی انبارمانی در سردخانه استفاده نمائیم که البته نیاز به بررسی بیشتر می‌باشد، زیرا در برخی از شاخص‌ها تاثیر مثبتی نداشت.

REFERENCES

- Aghdam, M.S., Moradi, M., Razavi, F. & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*. 246:818-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074>
- Ahmadkhani, S., Soleimani, A., Razavi, F. & Khairi, A. (2023). The effect of post-harvest phenylalanine treatment on the physicochemical properties of cranberries during storage. *Journal of Iranian Horticultural Sciences*. 53(2): 295-308. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2022.325698.1943>
- Akhond, M., Heidariadeh, F. & Kolahi, M. (2022). Comparative study of qualitative and chemical characteristics of Camarosa and Parus strawberry cultivars during 15 days of storage. *Developmental Biology*, 14(2), 43-52. <https://doi.org/10.30495/jdb.2022.1941563.1270>
- Akhtar, A., Abbasi, N.A. & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loguati fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42: 181–188.
- Aminifard, M., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H. & Jaafar, H. (2013). Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 14(2): 525-534. <http://dx.doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1232>
- Asghari, M., Azarsharif, Z., Tajik, H., & Farrokhzad, A. (2019). Effect of galbanum gum coating combined with cumin essential oil and calcium chloride on quality and shelf life of sweet cherry (cv. Siah Mashhad). *Journal of Horticultural Science*, 32(4), 665-680. (In Persian) <https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.343066.2028>
- Bishop, G., Styles, D. & Lens, P.N.L. (2021). Environmental performance of bioplastic packaging on fresh food produce: a consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 317, 128377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128377>

- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B. & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Front. Plant Science*. 11, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>
- Bustamante, C. A., Monti, L. L., Gabilondo, J., Scossa, F., Valentini, G., Budde, C.O. & Drincovich, M. F. (2016). Differential Metabolic Rearrangements after Cold Storage Are Correlated with Chilling Injury Resistance of Peach Fruits. *Frontiers in Plant Science*, 7(September), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01478>
- Cerdna, M., Snchez Snchez, A., Oliver, M., Juarez, M., & Snchez Andreu, J.J. (2009). Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. *Acta Horticulturae*, 830: 481- 488. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.830.68>
- Chen, J., Mao, L., Mi, H., Zhao, Y., Ying, T., & Luo, Z. (2014). Detachment-accelerated ripening and senescence of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Akihime) fruit and the regulation role of multiple phytohormones. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(9), 2441–2451. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-014-1617-6>
- Chu, Y., Gao, C.C., Liu, X., Zhang, N., Xu, T., Feng, X., Yang, Y., Shen, X. & Tang, X. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. In: *LWT*, 122, 109054. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109054>
- Daraei Garmakhany, A., Mirzaei, H. & Shakarami, K. (2021). Investigation of the effect of flower and leaf ethanolic extract of *Humulus lupulus* plant on the shelf life and quality attributes of strawberry fruits. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 17(109), 75-90. (In Persian) <http://dx.doi.org/10.52547/fsct.17.109.75>
- Davarpanah, J., Kiasat, A.R., Noorizadeh, S. & Ghahremani M. (2013). Nano magnetic double-charged diazoniabicyclo [2.2.2] octane dichloride silica hybrid: Synthesis, characterization, and application as an efficient and reusable organic–inorganic hybrid silica with ionic liquid framework for one-pot synthesis of pyran annulated heterocyclic compounds in water. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 376: 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.04.020>
- Du, G., Li, M., Ma, F. & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113: 557-562. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.025>
- Erkan, M. & Selcuk, N. (2015). The effects of 1-MCP treatment on fruit quality of medlar fruit (*Mespilus germanica* L. cv. Istanbul) during long term storage in the palliflex storage system. *Postharvest Biology and Technology*, 100: 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.018>
- Faz, F.N., Mirdehghan, S.H., Karimi, H. & Alaei, H. (2016). Effect of thymol and menthol essential oils combined with packaging with celofan on the maintenance of postharvest quality of

strawberry cv. Parus. Iranian Journal of Horticultural Science, 47(1), 81-91. (In Persian)
<https://doi.org/10.22059/ijhs.2016.58214>

Garde-Cerdan, T., Santamaría, P., Rubio-Breton, P., Gonzalez-Arenzana, L., Lopez-Alfaro, I. & Lopez, R. (2014). Foliar application of proline, phenylalanine, and urea to tempranillo vines: Effect on grape volatile composition and comparison with the use of commercial nitrogen fertilizers. LWT Food Science and Technology, 60, 684-689.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.028>

Ghasemnezhad, M., Nezhad, M. A. & Gerailoo, S. (2011). Changes in postharvest quality of loquat (*Eriobotrya japonica*) fruits influenced by chitosan. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 52(1), 40-45. <http://dx.doi.org/10.1007/s13580-011-0028-5>

Gol, N.B., Patel, P.R. & Rao, T.V.R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan, Postharvest Biol. Technol. 85, 185–195.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.008>

Holler, M., Alberdi-Cedeno, J., Aunon-Lopez, A., Pointner, T., Martínez-Yusta, A., König, J. & Pignitter, M. (2023). Polylactic acid as a promising sustainable plastic packaging for edible oils. Food Packag. Shelf Life 36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101051>

Hong, K., Gong, D., Xu, H., Wang, S., Jia, Z., Chen, J. & Zhang, L. (2014). Effects of salicylic acid and nitric oxide pretreatment on the expression of genes involved in the ethylene signaling pathway and the quality of postharvest mango fruit. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 42, 205-216. <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.892012>

Jalili Marandi, R. (2013). Postharvest Physiology (Handling and Storage of Fruits, Vegetables, Ornamental Plants and Medicinal Plants). 4th Ed., Jahad University Press, West Azerbaijan Branch, 624 P. (In Persian)

Khalifa, H. Barakat, H.A. El-mansy, S.A. & Soliman, S.A. (2016). Effect of Chitosan – Olive Oil Processing Residues Coatings on Keeping Quality of Cold-storage Strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Festival) 39, pp. 504–515. <http://dx.doi.org/10.1111/jfq.12213>

Khoshghalb, H., Arzani, K., Tavakoli, A., Malakouti, M. J. & Barzegar, M. (2008). Quality of some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit in relation to pre-harvest CaCl₂, Zn and B sprays, harvest time, ripening and storage conditions. Acta Horticulturae, 800, 1027-1034.
<http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.800.140>

Kumar Patel, M., Maurer, D., Feygenberg, O., Ovadia, A. & Elad, Y. (2020). Oren-Shamir, M.; Alkan, N. Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens. Foods, 9, 646. <https://doi.org/10.3390/foods9050646>

Meng, X., Li, B., Liu, J. & Tina, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. Food Chemistry, 106, 501-508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012>

- Mo, Y., Gong, D., Liang, G., Han, R., Xie, J. & Li, W. (2008). Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 2693-2699. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.3395>
- Mohseni, F., Pakkish, Z. & Panahi, B. (2015). The role of foliar application of amino acids on vegetative and reproductive characteristics of strawberry (*Fragaria × ananassa*) cultivar Parous. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. (In Farsi).
- Najafi, R., Barzegar, T., Razavi, F. & Gharmani, Z. (2021). The effect of post-harvest treatments of phenylalanine and hydrogen sulfide on maintaining the quality and increasing the storage life of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)* 34 (4): 717-705. (In Persian) <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v34i4.87237>
- Nakajima, J.I., Tanaka, I., Seo, S., Yamazaki, M. & Saito, K. (2004). LC/PDA/ESI-MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Biomed Research International*, 241-247. <https://doi.org/10.1155%2F110724304404045>
- Patel, M.K., Fanyuk, M., Feynberg, O., Maurer, D., Sela, N., Ovadia, R., Orenshamir, M. & Alkan, N. (2023). Phenylalanine induces mango fruit resistance against chilling injuries during storage at suboptimal temperature. *Food Chemistry*. 405, 134909. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134909>
- Pathare, P. B., Opara, L. U. & Al-Said, A. F. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed food: A review. *Food Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pelayo-Zaldivar, C., Ebeler, S. E. & Kader, A. (2005). Cultivar and harvest date effect on flavor and other quality attributes of California strawberries. *Journal of Food Quality*, 28: 78-97. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00005.x>
- Perkins-Veazie, P. (1995). Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews*, 17(8): 267-297. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470650585.ch8>
- Piechowiak, T., Antos, P., Kosowski, P., Skrobacz, K., Jozefczyk, R. & Balawejder, M. (2019). Impact of ozonation process on the microbiological and antioxidant status of raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit during storage at room temperature. *Agric. Food Sci.* 28 (1), 35–44. <https://doi.org/10.23986/afsci.70291>
- Pizzocaro, F., Torreggiani, D. & Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17: 21-30. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x>
- Portu J., López-Alfaro I., Gómez-Alonso S., López R. & Garde-Cerdán T. (2015). Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food Chemistry* 180: 171-180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.042>
- Prasad, M.N.N. (1997). Trace metals, in: MNV Prasad plant ecophysiology, Wiley, New York, pp: 207-249.

- Quintana, S.E., Llalla, O., García-Risco, M.R. & Fornari, T. (2021). Comparison between essential oils and supercritical extracts into chitosan-based edible coatings on strawberry quality during cold storage. *The Journal of Supercritical Fluids*, 171, 105198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105198>
- Ranjbar Malidarreh, T., Askari Sarcheshmeh, M. A., Babalar, M., Shokri Heydari, H. & Ahmadi, A. (2019). Changes in some physiological and biochemical characteristics of plum (*Prunus salicina* cv. Flavor supreme pluot) affected by salicylic acid and iron pretreatment during storage with two different temperatures. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55(3), 525-539. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.278214.1620>
- Sayyari, M., & Gharibi, R. (2016). Effects of Lavender Essential Oil and Methyl Salicylate on Gray Mold Control and Postharvest Quality of Strawberry. *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 662-670. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.42384>
- Shahimoridi, A. & Dastjerdi, A.M.M. (2020). The effects of ethanol extract of red mangrove and eucalyptus leaves on antioxidant capacity, enzyme activity and malondialdehyde of fresh banana fruit. *Journal of Food Researches*, 30(1), 15-28. (In Persian)
- Sogvar, O.B., Rabiei, V., Razavi, F. & Gohari, G. (2020). Phenylalanine alleviates postharvest chilling injury of plum fruit by modulating antioxidant system and enhancing the accumulation of phenolic compounds. *Food Technojoy & Biotechnology*. original scientific paper, 1330-9862. <https://doi.org/10.17113%2Fftb.58.04.20.6717>
- Sowmyashree, A., Sharma, R., Rudra, S.G. & Grover, M. (2021). Layer-by-Layer coating of hydrocolloids and mixed plant extract reduces fruit decay and improves postharvest life of nectarine fruits during cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(8), 112. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-021-03256-8>
- Taherpour, L., Hosseinifarahi, M. & Radi, M. (2020). Application of pomegranate peel extract (PPE) with sodium alginate (Alg-Na) coating on fruit decay control and quality postharvest of sweet lemon fruit cv Mahali. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 17, 107-122. (In Persian)
- Taiz, L., E. Zeiger, I. Moller and A. Murphy. (2017). *Physiology and plant development*. Porto Alegre: Artmed. 858.
- Treviño Garza M. Z., García S., Del Socorro Flores González M. & Arévalo Niño K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Sciences* 80(8): 1823-1830. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938>
- De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A. & Poiana, M. (2023). Effect of edible coating enriched with naturpal antioxidant extract and Bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods*, 12(3), 488. <https://doi.org/10.3390/foods12030488>
- Unal, U. M., Yabaci, S. N. & Sener, A. (2011). Extraction, partial purification and characterization of polyphenol oxidase from tea leaf (*Camellia sinensis*). *GIDA*, 36(3), 137-144.

Valero, D. & Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC-Taylor and Francis, Boca Raton, FL, USA. <http://dx.doi.org/10.1201/9781439802670>

Valero, D., Martinez-Romero, A. D., Valverde, J. M., Guillen, F. & Serrano, M. (2003). Quality improvement and extension of shelf life by 1- methylcyclopropene in plumas affected by ripening stage at harvest. Food Sciences Emergency and Technology, 4, 339–348. [http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(03\)00038-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(03)00038-9)

Van Assche, F. & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. Plant Cell Environ, 13: 195–206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x>

Vaya, J., Belinky, P.A. & Aviram, M. (1997). Antioxidant constituents from licorice roots: Isolation, structure elucidation and antioxidative capacity toward LDL oxidation. Free Radical Biology and Medicine. 23(2), 302-313. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(97\)00089-0](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(97)00089-0)

Yang, Z., Cao, S., Cai, Y. & Zheng, Y. (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 12: 310-314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010>

