

The Effect of Postharvest *trans*-Cinnamic Acid Treatment in Delaying the Senescence and Improving the Marketability of Strawberry Fruit cv. Monterey

ABSTRACT

Application of natural and safety compounds is an effective method to maintain the quality and improve the marketability of stored strawberries. In this research, the effect of *trans*-cinnamic acid in delaying the senescence, maintaining the quality, and improving the marketability of strawberry fruit cv. Monterey at the end of the storage (10 days at $1\pm 1^{\circ}\text{C}$ and 24 hours at room temperature) was investigated. The postharvest treatment of *trans*-cinnamic acid in concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3 g/L reduced ion leakage, malondialdehyde and other aldehydes contents as the indicators related to strawberry fruit senescence. Also, *trans*-cinnamic acid treatment increased total anthocyanin content of strawberry fruits approximately 12.5 %, 19 % and 14.5 % and total antioxidant activity of berries 6.8 %, 10.7 % and 9.2 % respectively compared to control one. These results showed a negative and significant correlation with senescence related parameters. Strawberries treated with *trans*-cinnamic acid had better color and taste compared to the control. Statistically, *trans*-cinnamic acid did not show a significant effect on the firmness of strawberry fruits. Also, *trans*-cinnamic acid in different concentrations improved the marketability of strawberry fruit 13 %, 20 % and 9 % respectively, compared to control one. In general, the results of this research indicated that the post-harvest application of *trans*-cinnamic acid, especially at the 0.2 g/L, has considerable effects on maintaining quality and improving marketability of stored strawberry fruits via delaying senescence and increasing the antioxidant activity of strawberry fruits.

Keywords: Correlation coefficient, Ion leakage, Marketability, Quality indicators, Total antioxidant

تأثیر تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید در به تأخیر انداختن روند پیری و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم مونتری

چکیده

استفاده از ترکیبات طبیعی و سالم روشی مؤثر در حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در دوره پس از برداشت می‌باشد. در این تحقیق تأثیر تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید در به تأخیر انداختن روند پیری و زوال محصول و همچنین حفظ شاخص‌های کیفی و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم مونتری در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای 1 ± 1 درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در دمای اتاق) مورد بررسی قرار گرفت. ترانس- سینامیک اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر موجب مهار شاخص‌های مرتبط با پیری میوه توت‌فرنگی نظیر نشت یونی، مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها شد. همچنین ترانس- سینامیک اسید به ترتیب موجب افزایش میزان آنتوسیانین کل به میزان ۱۲/۵، ۱۹ و ۱۴/۵ درصد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی به میزان ۶/۸، ۱۰/۷ و ۹/۲ درصد نسبت به نمونه شاهد شد که این نتایج همبستگی معنی‌داری در مهار واکنش‌های مرتبط با پیری میوه توت‌فرنگی نشان دادند. ترانس- سینامیک اسید تأثیر مثبت بر حفظ رنگ و بهبود طعم میوه‌های توت‌فرنگی داشت و از نظر آماری تأثیر معنی‌داری بر سفتی میوه‌ها نشان نداد. ترانس- سینامیک اسید (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر) تأثیر چشم‌گیری در بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی به میزان ۱۳، ۲۰ و ۹ درصد نسبت به نمونه‌های شاهد داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که ترانس- سینامیک اسید ۰/۲ گرم بر لیتر تأثیر بهتری در مهار واکنش‌های مرتبط با پیری و زوال میوه، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری داشته است.

کلید واژه‌ها: آنتی‌اکسیدان کل، بازارپسندی، شاخص‌های کیفی، ضریب همبستگی، نشت یونی

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) میوه‌ای پرمصرف با ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که به‌صورت گسترده در سراسر جهان مورد کشت قرار می‌گیرد. با اینحال حساسیت بالای این محصول به آلودگی‌های پاتوژنی و ماندگاری بسیار کوتاه این محصول در دوره پس از برداشت از مشکلات مهم در تولید و عرضه این محصول می‌باشد (Sun et al., 2020). بطوریکه، ماندگاری میوه توت‌فرنگی در شرایط دمایی صفر درجه سانتی‌گراد در حدود ۱۵ روز و در شرایط دمایی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد در حدود ۴-۳ روز می‌باشد (Romanazzi et al., 2019). به همین دلیل، تحقیقات مستمر برای توسعه روش‌ها و فناوری‌های مؤثر و کارا برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری توت‌فرنگی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات سالم و سازگار با محیط زیست، به عنوان روشی نوین برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Peretto et al., 2014) و سینامیک اسید به عنوان ترکیبی سالم با اثر بخشی مطلوب نقش مؤثری در دستیابی به این اهداف دارد (Shi et al., 2024; Wu et al., 2024).

سینامیک اسید، یک کربوکسیلیک اسید آروماتیک و طبیعی است که از مسیر شیکمیک اسید و از طریق دامیناسیون فنیل آلانین توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز سنتز می‌شود. سینامیک اسید دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد سرطانی، محافظت کننده سیستم عصبی، ضد التهابی و ضد دیابتی می‌باشد و از طریق اهدای الکترون به رادیکال‌های آزاد و تولید محصولات پایدار، موجب توقف واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال‌های آزاد می‌شود. همچنین سینامیک اسید به دلیل خاصیت آروماتیک به عنوان یک ماده معطر در لوازم آرایشی، طعم دهنده‌ها و مواد شوینده آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ugazio et al., 2008). در سال ۱۹۶۵ استفاده از سینامیک اسید و مشتقات آن در کشاورزی به تأیید FDA^۱ رسیده است (Liu et al., 1995). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ترانس- سینامیک اسید در مهار تنش اکسیداتیو و به تأخیر انداختن روند پیری محصول در جهت حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم مونتری در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای ۱ ± ۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در دمای اتاق) می‌باشد.

پیشینه پژوهش

پتانسیل سینامیک اسید و مشتقات آن در بخش کشاورزی و در کنترل بیماری قارچی شانکر والسا درختان سیب (Li et al., 2023)، بیماری ویروسی موزائیک توتون (Yang et al., 2023) و مهار رشد علف هرز سس (Moreno-Robles, 2023) توسط محققین گزارش شده است. همچنین سینامیک اسید و مشتقات آن پتانسیل لازم برای کنترل بیماری‌های پس از برداشت، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی را دارند (Zhang et al., 2023). سینامیک اسید از طریق تخریب غشا پلاسمایی هیف‌های قارچ *Geotrichum citri-aurantii* عامل بیماری پوسیدگی ترش مرکبات، موجب نشت محتویات سلول‌ها از جمله ملکول‌های پروتئینی می‌شود که مرگ قارچ بیماری‌زا را به همراه دارد (Cheng et al., 2022). سینامیک اسید از طریق تخریب تمامیت غشا سلولی مسیلیوم‌های قارچ بوتریتیس و افزایش میزان گونه‌های اکسیژن فعال به طور مستقیم از رشد قارچ *Botrytis cinerea* در حبه‌های انگور انبار شده جلوگیری می‌کند. در عین حال، سینامیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز به عنوان آنزیم‌های دخیل در سیستم دفاعی گیاه موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری قارچی کپک خاکستری شده است (Zhang et al., 2015). همچنین استفاده از مشتقات سینامیک اسید در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی نتایج رضایت بخشی داشته است. کاربرد ۱۰۰ میکرو مول در لیتر ۴- متوکسی سینامیک اسید^۲ درصد باز شدن کلاهدک قارچ، میزان قهوه‌ای شدن و نشت یونی، محتوای مالون دی‌آلدئید، شکل‌گیری آنیون سوپراکسید و شدت تنفس را به طور چشمگیری کاهش داده و در عین حال تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل داشته است (Hu et al., 2015). نتایج متعددی در خصوص تأثیر کاربرد سینامیک اسید و مشتقات آن در مهار قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی (Hu et al., 2016) و برش‌های تازه میوه تارو (Xiao et al., 2022) در دوره پس از برداشت گزارش شده است. همچنین مطابق تحقیقات انجام گرفته پوشش خوراکی صمغ عربی به همراه سینامیک اسید اثر هم‌افزایی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه انبه پس از ۲۸ روز انبارداری در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد داشته است. بطوریکه تیمار صمغ عربی ۲۰ درصد به همراه سینامیک اسید ۰/۲ درصد بیشترین تأثیر را در حفظ سفتی

¹ Food and Drug Administration

² 4- Methoxycinnamic acid

بافت، اسیدیته کل، فلاونوئید و کاروتنوئید کل و حفظ کیفیت خوراکی محصول داشته است. همچنین این تیمارها موجب سرکوب فعالیت آنزیم‌های پلی گالاکتروناز، پکتین متیل استراز و سلولاز به عنوان آنزیم‌های دخیل در هضم دیواره سلولی شدند (Gill et al., 2024).

روش‌شناسی پژوهش

فرآوری و تیمار میوه‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم مونتری در مرحله رنگ‌گیری کامل از گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر ارومیه برداشت شدند و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. توت‌فرنگی‌های یکسان از نظر اندازه و رنگ و همچنین عاری از هرگونه آلودگی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی انتخاب شد و جهت تیمار با محلول‌های مورد نظر به صورت کاملاً تصافی تقسیم شدند. جهت تهیه محلول ترانس-سینامیک اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر، ابتدا مقدار مورد نظر از این ماده در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و پس از قرار دادن مخلوط در دستگاه سونیکاسیون به مدت ۳۰ دقیقه، محلولی شفاف از این مواد تهیه و با اضافه کردن آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شدند. میوه‌های توت‌فرنگی به مدت ۳ دقیقه در داخل محلول‌های تهیه شده غوطه ور شدند و پس از خشک شدن کامل میوه‌ها در شرایط دمای اتاق در جعبه‌های پلی‌اتیلنی (۱۲×۱۵×۲۰ سانتی‌متر) بسته‌بندی و به مدت ۱۰ روز در دمای ۱± درجه سانتی‌گراد انبار شدند. نمونه‌های شاهد توسط آب مقطر تیمار شدند. برای ارزیابی کیفیت میوه‌ها پس از ۱۰ روز انبارداری در دمای پایین، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند و سپس نمونه‌برداری برای ارزیابی شاخص‌های کیفی و بیوشیمیایی مورد نظر انجام گرفت.

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و محاسبه شاخص طعم

میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی (ATAGO, Japan) و pH آب میوه توت‌فرنگی توسط دستگاه پی‌اچ متر دیجیتال (pH-Meter CG 824) اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، آب میوه‌های توت‌فرنگی به نسبت ۱:۱ با آب مقطر رقیق شده و عمل تیتراسیون با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۲ انجام گرفت. میزان اسید آلی بر حسب میلی گرم سیتریک اسید در میلی لیتر عصاره محاسبه و گزارش شد (Bellincontro et al., 2004). شاخص طعم میوه‌های توت‌فرنگی با تقسیم میزان مواد جامد محلول بر میزان اسیدیته کل میوه‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری سفتی

سفتی بافت میوه‌های توت‌فرنگی توسط دستگاه سفتی سنج دیجیتال (Texture Analyzer TA-XT Plus, UK) مجهز به پروب ۲ میلی متر با سرعت حرکت ۲ میلی‌متر بر ثانیه و عمق نفوذ ۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. نتایج به صورت کیلوگرم بر میلی‌متر بیان شدند.

اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ

رنگ میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با استفاده از دستگاه کرومومتر انعکاسی-انتقالی (Chroma-Meter CR-400, Konica Minolta, Japan) اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های L^* (روشنایی-تیره‌گی)، a^* (سبزی-قرمزی) و b^* (آبی-زردی) توسط دستگاه ثبت شدند و پارامترهای خلوص رنگ ($Chroma = [(a^{*2} + b^{*2})^{0.5}]$) و زاویه هیو ($Hue\ angle = [\arctan\ b^*/a^*]$) با کمک شاخص‌های a^* ، b^* محاسبه شدند (Jiang et al., 2011).

ارزیابی میزان بازارپسندی محصول براساس کیفیت ظاهری و نمره‌دهی

۱۱۳ بازارپسندی میوه‌های توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفی ظاهری نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی،
 ۱۱۴ سفتی و یا انسجام ساختاری محصول، مزه و عطر (مطابق جدول ۱) و نمره دهی ۵-۱ برای هر بسته توت‌فرنگی به صورت ۱: خیلی ضعیف
 ۱۱۵ (غیر قابل خوردن)، ۲: ضعیف (کیفیت خوراکی بسیار ضعیف)، ۳: قابل قبول، ۴: خوب و ۵: بسیار خوب انجام پذیرفت (Kelly et al., 2016).
 ۱۱۶
 ۱۱۷ **جدول ۱.** جدول ارزیابی میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی براساس شاخص‌های کیفی نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی، سفتی، طعم و عطر (Kelly et al., 2016).

نمره دهی و توضیح هر یک از شاخص‌های کیفی					
۱: بسیار ضعیف	۲: ضعیف	۳: قابل قبول*	۴: خوب	۵: عالی	
رنگ	بسیار تیره به رنگ قرمز-بنفش، میوه‌هایی با رسیدگی بسیار شدید و یا پیر	قرمز تیره، میوه‌های بسیار رسیده	قرمز کامل	قرمز کامل روشن	رنگ‌گیری ۳/۴ تا رنگ‌گیری کامل میوه، قرمز روشن
پژمردگی	شدیداً کم آب و خشک	پژمردگی شدید: میوه‌ها پژمرده و کالیکس کم آب و خشک	ظهور علائم پژمردگی: شروع علائم کاهش رطوبت در میوه و کالیکس	علائم بسیار مختصر از پژمردگی و کاهش رطوبت در کالیکس	میوه‌ها کاملاً تازه و آبدار، کالیکس با ظاهری تازه و با تورژسانس کامل
پوسیدگی	۱۰۰ درصد، ظهور علائم هاگ‌زایی، پوسیدگی کامل یا بخشی از میوه	۷۵ درصد، رشد متوسط تا زیاد مسیلیوم‌ها	۵۰ درصد، ظهور لکه‌هایی با علائم پوسیدگی و با رشد مختصر مسیلیوم	۲۵ درصد، ظهور رنگ قهوه‌ای مختصر (نشانه‌ای از آغاز علائم پوسیدگی)	صفر درصد، بدون تغییرات قابل مشاهده در بافت
سفتی	به شدت نرم با بافتی تخریب شده	نرم و آبکی	نرم شدگی مختصر در بافت	بافتی سفت اما با تورژسانس کم	بسیار سفت با تورژسانس بالا
طعم	بسیار ضعیف، طعم ناخوشایند، غیر قابل خوردن	ضعیف، میوه‌ها با طعم تخمیری و ناخوشایند	قابل قبول منتهی با کاهش مختصر در طعم مطلوب توت‌فرنگی	طعمی خوب، تازه و شیرین	عالی با طعم مطبوع و خوشایند میوه توت‌فرنگی
عطر	بسیار ضعیف، عطر ناخوشایند	ضعیف	قابل قبول	خوب	عالی، سرشار از عطر مخصوص میوه توت‌فرنگی

اندازه‌گیری نشت یونی

۱۱۸ از دستگاه هدایت سنج (ELICO (R) CM 180, cell constant 1.04) برای تعیین میزان نشت یونی میوه‌های توت‌فرنگی استفاده شد
 ۱۱۹ (Jiang et al., 2001). ۲ عدد میوه توت‌فرنگی هم اندازه از وسط برش داده شده و به ظروف شیشه‌ای حاوی ۱۰۰ میلی‌متر آب مقطر منتقل
 ۱۲۰ شدند. شیشه‌ها در دستگاه اتوکلاو (دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۱/۵ اتمسفر) به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند. هدایت الکتریکی (EC)
 ۱۲۱ نمونه‌ها قبل و بعد از اتوکلاو در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و نتایج بر حسب میکرو زیمنس در ۱۰۰ گرم وزن تر بدست
 ۱۲۲ آمد. در نهایت برای محاسبه میزان نشت یونی از فرمول زیر استفاده شد:
 ۱۲۳ $100 \times ((EC \text{ قبل از اتوکلاو}) / (EC \text{ بعد از اتوکلاو} - EC \text{ قبل از اتوکلاو})) = \text{میزان نشت یونی (درصد)}$
 ۱۲۴
 ۱۲۵
 ۱۲۶
 ۱۲۷
 ۱۲۸

اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها

میزان پراکسیداسیون لیپیدها، از طریق تعیین میزان مالون دی‌آلدئید تولید شده در محلول واکنش محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها (۱- پروپانال، ۱- بوتانال، ۱- هگزانال، ۱- هپتانال و ۱- پروپانال- دیمتیل استال)، ۰/۵ گرم بافت میوه توت‌فرنگی با ۵ میلی لیتر بافر استخراج حاوی تریکلرواستیک اسید ۲۰ درصد و EDTA ۱/۵ میلی مولار عصاره‌گیری شد. پس از سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه) ۲ میلی لیتر از روشناور با ۲ میلی لیتر از تریکلرواستیک اسید ۱۰ درصد حاوی تیوباربیتوریک اسید ۰/۶ درصد مخلوط شد. محلول حاصل به مدت ۱ ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شده و سپس بلافاصله توسط حمام یخ خنک شد. نمونه‌های موجود مجدداً در ۸۰۰۰ دور به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. بعد از رقیق‌سازی توسط آب مقطر، در طول موج‌های ۵۳۲، ۴۵۵ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شدند (Kosugi & Kikugawa, 1985). ضریب خاموشی مالون دی‌آلدئید در طول موج ۵۳۲ نانومتر برابر با $10^5 \times 0.457$ مول بر سانتی‌متر و ضریب خاموشی سایر آلدئیدها در طول موج ۴۵۵ برابر با $10^5 \times 1/56$ مول بر سانتی‌متر می‌باشد.

$$138 \quad \text{مالون دی‌آلدئید} = (A_{532} - A_{600}) / 0.457 \times 10^5 \text{ M cm}^{-1}$$

$$139 \quad \text{سایر آلدئیدها} = (A_{455} - A_{600}) / 1.56 \times 10^5 \text{ M cm}^{-1}$$

۱۴۰

۱۴۱

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

میزان آنتوسیانین کل میوه‌های توت‌فرنگی براساس جذب عصاره‌های استخراج شده با pH‌های متفاوت ۱ و ۴/۵ و در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. براین اساس، ۰/۵ گرم میوه توت‌فرنگی با ۳ میلی لیتر بافر استخراج هیدرو کلریک اسید- پتاسیم کلراید ۰/۲ مولار (۱: pH) و بافر استیک اسید- سدیم استات ۱ مولار (۴/۵: pH) هموژنیزه شدند. عصاره‌های استخراج شده بعد از انکوبه شدن به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. نمونه‌های استخراج شده با بافرهای مذکور در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Halo CB-20, UV-Visible Double Beam) قرائت شدند (Ganhao et al., 2019). میزان آنتوسیانین با استفاده از ضریب خاموشی سیانیدین-۳- گلوکوزاید محاسبه و نتایج به صورت میلی گرم سیانیدین-۳- گلوکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد.

$$149 \quad \Delta A = [(A_{510} - A_{700})_{pH 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH 4.5}]$$

$$150 \quad \text{Total Anthocyanin Concentration} = (\Delta A \times MW \times DF \times V \times 100) / \epsilon L \times Wt$$

۱۵۱ ΔA : تغییرات جذب در pH‌های ۱ و ۴/۵، MW: وزن مولکولی سیانیدین (۴۴۹/۲ گرم بر مول)، DF: نسبت رقیق شدگی، V: حجم نهایی عصاره (میلی لیتر)، ϵ : ضریب خاموشی سیانیدین-۳- گلیکوزید (۲۹۶۰۰ میلی مولار بر سانتی‌متر)، L: طول سل (۱ سانتی‌متر) و Wt: وزن نمونه (گرم).

۱۵۴

۱۵۵

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل بر اساس DPPH[•]

۱۵۶ رادیکال آزاد (DPPH[•]) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl برای ارزیابی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی ۲۸ میکرولیتر عصاره استخراج شده توسط متانول ۸۰ درصد، ۲۸ میکرولیتر محلول DPPH[•] ۳ میلی مولار و ۹۴۴ میکرولیتر اتانول خالص بود. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها، بعد از قرار گرفتن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (دمای اتاق) و شرایط تاریکی به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید (Cao et al., 2011).

۱۶۰ از فرمول $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$ درصد ممانعت رادیکال (DPPH[•]) برای محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH[•] استفاده شد

۱۶۱ A0: میزان جذب محلول DPPH[•] و A1: میزان جذب نمونه.

۱۶۲

۱۶۳

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار شامل ۱۲ واحد آزمایشی انجام شد که هر واحد آزمایشی شامل ۲۰ عدد میوه توت‌فرنگی داخل هر جعبه پلی‌اتیلنی بود. برای انجام تجزیه واریانس از نرم افزار SAS (Version 9.1) استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

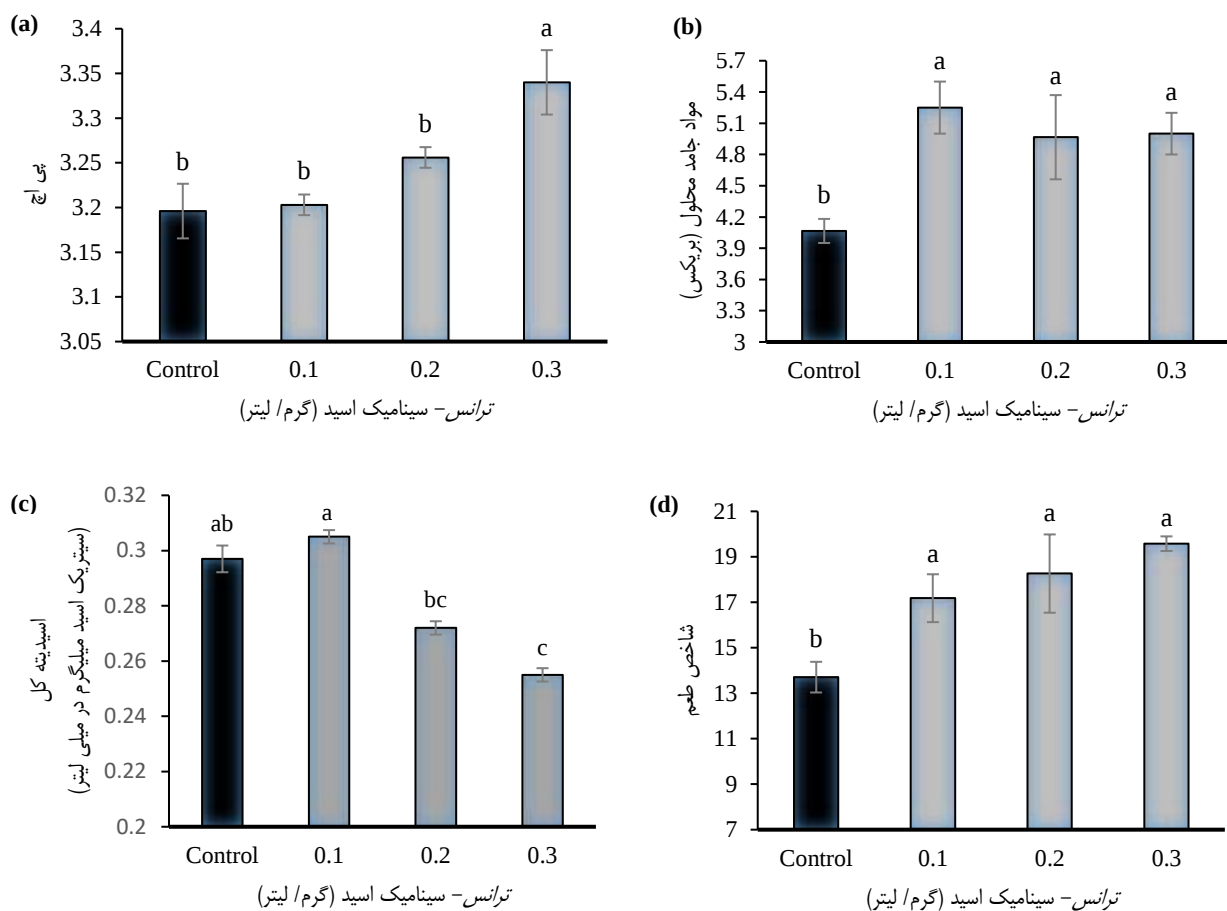
تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر پی‌اچ، مواد جامد محلول، اسیدیته کل و شاخص طعم

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری بر میزان پی‌اچ، اسیدیته کل، مواد جامد محلول و شاخص طعم میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد داشت. تیمار پس از برداشت سینامیک اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر به ترتیب موجب افزایش پی‌اچ به میزان ۰/۲، ۱/۸ و ۴/۳ درصد (شکل ۱-a) و افزایش مواد جامد محلول به میزان ۲۲/۵، ۱۸/۱ و ۱۸/۷ درصد (شکل ۱-b) در مقایسه با نمونه شاهد شد. همچنین کاهش ۹ و ۱۶/۵ درصدی در میزان اسیدیته کل میوه‌های توت‌فرنگی در پاسخ به تیمار سینامیک اسید در غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر (شکل ۱-c) مشاهده شد. نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته کل به عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی-ترشی) در توت‌فرنگی لحاظ می‌شود. در این پژوهش به دلیل تأثیری که ترانس-سینامیک اسید در کاهش میزان اسیدیته و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی در طی دوره انبارداری داشته است موجب شده است که میوه‌های تیمار شده طعم بهتری نسبت به نمونه شاهد داشته باشند (شکل ۱-d).

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر برخی شاخص‌های کیفی و بیوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم مونتری در پایان دوره انبارداری

منبع تغییرات	درجه آزادی	پی‌اچ	اسیدیته کل	مواد جامد محلول	شاخص طعم	میانگین مربعات			
						روشنایی	سبزی-قرمزی	آبی-زردی	خلوص رنگ
ترانس-سینامیک اسید	۳	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۱۵**	۰/۸۰۶**	۱۸/۹۷**	۲/۸۰**	۳/۷۶*	۱/۷۹ ^{ns}	۵/۱۲*
خطا	۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۹	۱/۱۵	۰/۲۱	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۸۶
ضریب تغییرات (درصد)		۰/۷۶	۳/۹۱	۵/۴۷	۶/۲۶	۱/۷۹	۲/۹۴	۶/۳۲	۳/۳
منبع تغییرات	درجه آزادی	سفتی	بازاریسندی	آنتی اکسیدان کل	آنتوسیانین کل	نشت یونی	میانگین مربعات		
							مالون دی‌آلدید	سایر آلدیدها	
ترانس-سینامیک اسید	۳	۰/۰۰۰۳۱ ^{ns}	۰/۳۶۱**	۲۲/۹**	۵۲/۴۱*	۲۸/۵۹**	۰/۰۴۳**	۲/۳۳**	
خطا	۸	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰	۲/۴۷	۱۱/۶۹	۱/۵۵	۰/۰۰۳	۰/۱۵	
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۴۷	۰/۰	۲/۹۶	۵/۲۱	۳/۱۲	۴/۰۵	۴/۹۳	

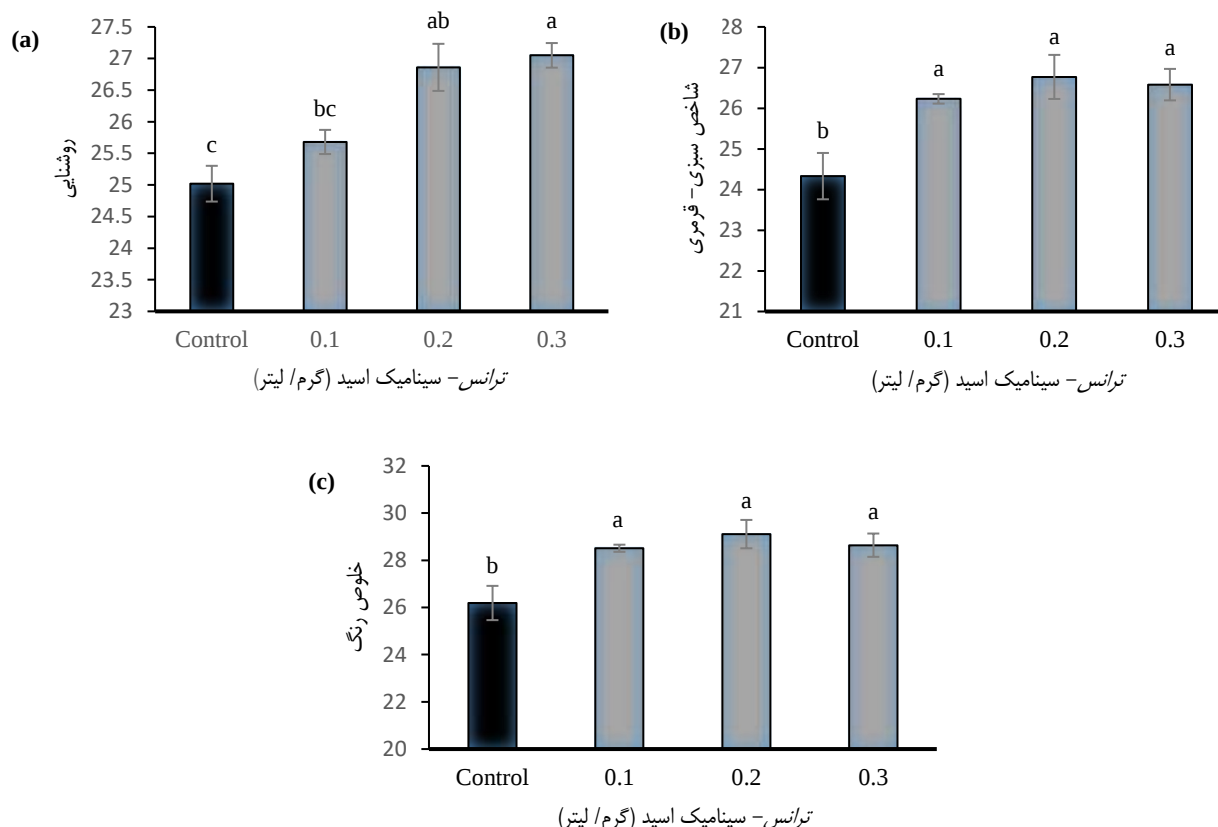
^{ns}، * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۱. تأثیر ترانس- سینامیک اسید بر میزان پی اچ (a)، مواد جامد محلول (b)، اسیدیته کل (c) و شاخص طعم (d) میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری.

تأثیر ترانس- سینامیک اسید بر شاخص‌های رنگ

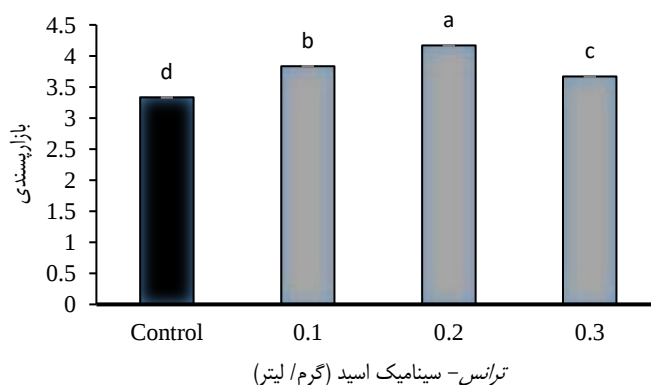
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری بر روشنایی، شاخص سبزی- قرمزی و خلوص رنگ میوه‌های توت‌فرنگی دارد. به طوریکه در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای 1 ± 1 درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در شرایط دمای اتاق)، میوه‌های تیمار شده با سینامیک اسید 0.3 گرم بر لیتر میزان روشنایی بیشتری نسبت به شاهد و سایر غلظت‌های سینامیک اسید (0.1 و 0.2 گرم بر لیتر) داشتند (شکل ۲-a). همچنین تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید در غلظت‌های مختلف تأثیر مثبت در افزایش شاخص‌های سبزی- قرمزی و خلوص رنگ میوه‌های توت‌فرنگی نشان داد، گرچه مطابق شکل‌های b، c تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف ترانس- سینامیک اسید در شاخص‌های مذکور مشاهده نشد. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های آبی- زردی و زاویه هیو میوه‌های توت‌فرنگی نداشته است.



شکل ۲. تأثیر *تُرانس- سینامیک اسید* بر روشنایی (a)، شاخص سبزی- قرمزی (b) و خلوص رنگ (c) میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری.

تأثیر *تُرانس- سینامیک اسید* بر سفتی و بازارپسندی

مطابق جدول تجزیه واریانس کاربرد پس از برداشت *تُرانس- سینامیک اسید* تأثیر معنی‌داری بر سفتی میوه‌های توت‌فرنگی نشان نداد ولی در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری بر بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری داشت (جدول ۲). مطابق شکل ۳، کاربرد پس از برداشت *تُرانس- سینامیک اسید* در غلظت‌های مختلف تأثیر مثبت در بهبود بازارپسندی میوه‌های توت‌فرنگی داشت و بیشترین میزان بازارپسندی در توت‌فرنگی‌های تیمار شده با *تُرانس- سینامیک اسید* ۰/۲ گرم بر لیتر مشاهده شد.

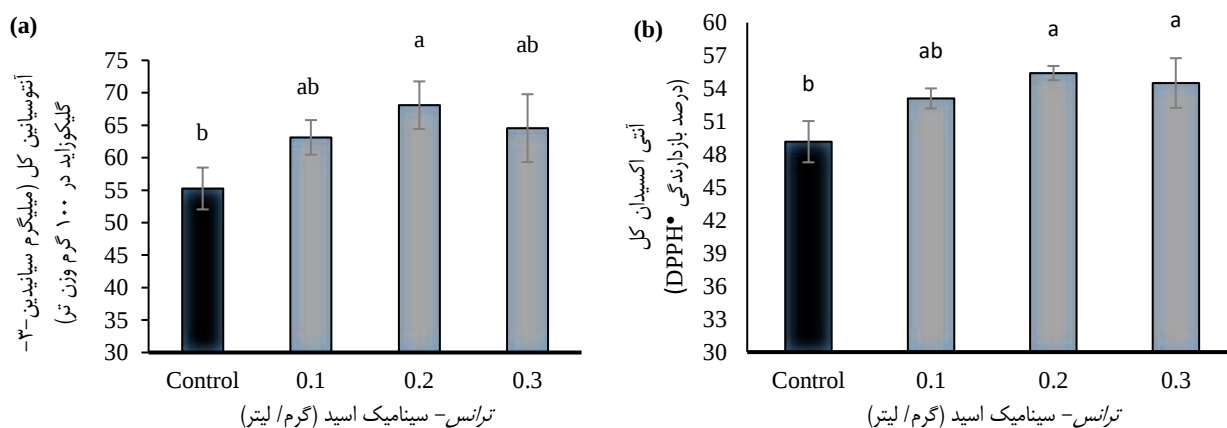


شکل ۳. تأثیر *سینامیک اسید* بر بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری.

تأثیر ترانس- سینامیک اسید بر میزان آنتوسیانین کل و آنتی اکسیدان کل

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان آنتوسیانین کل میوه های توت فرنگی داشته است. بیشترین میزان آنتوسیانین به میزان ۶۸/۰۹ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر از میوه های تیمار شده با ۰/۲ گرم بر لیتر ترانس- سینامیک اسید به دست آمد. به طوریکه میزان آنتوسیانین میوه های توت فرنگی تیمار شده با ترانس- سینامیک اسید ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر به ترتیب افزایش ۱۲/۵، ۱۹ و ۱۴/۵ درصدی در مقایسه با نمونه شاهد داشتند (شکل ۴-a).

همچنین ترانس- سینامیک اسید در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی داری بر فعالیت آنتی اکسیدانی میوه های توت فرنگی در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای 1 ± 1 درجه سانتی گراد و ۲۴ ساعت در شرایط دمای اتاق) نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی کل در میوه های تیمار شده با ترانس- سینامیک اسید ۰/۲ گرم بر لیتر مشاهده شد. هر چند از نظر آماری تفاوت معنی داری بین غلظت های مختلف ترانس- سینامیک اسید بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه توت فرنگی مشاهده نشد (شکل ۴-b).

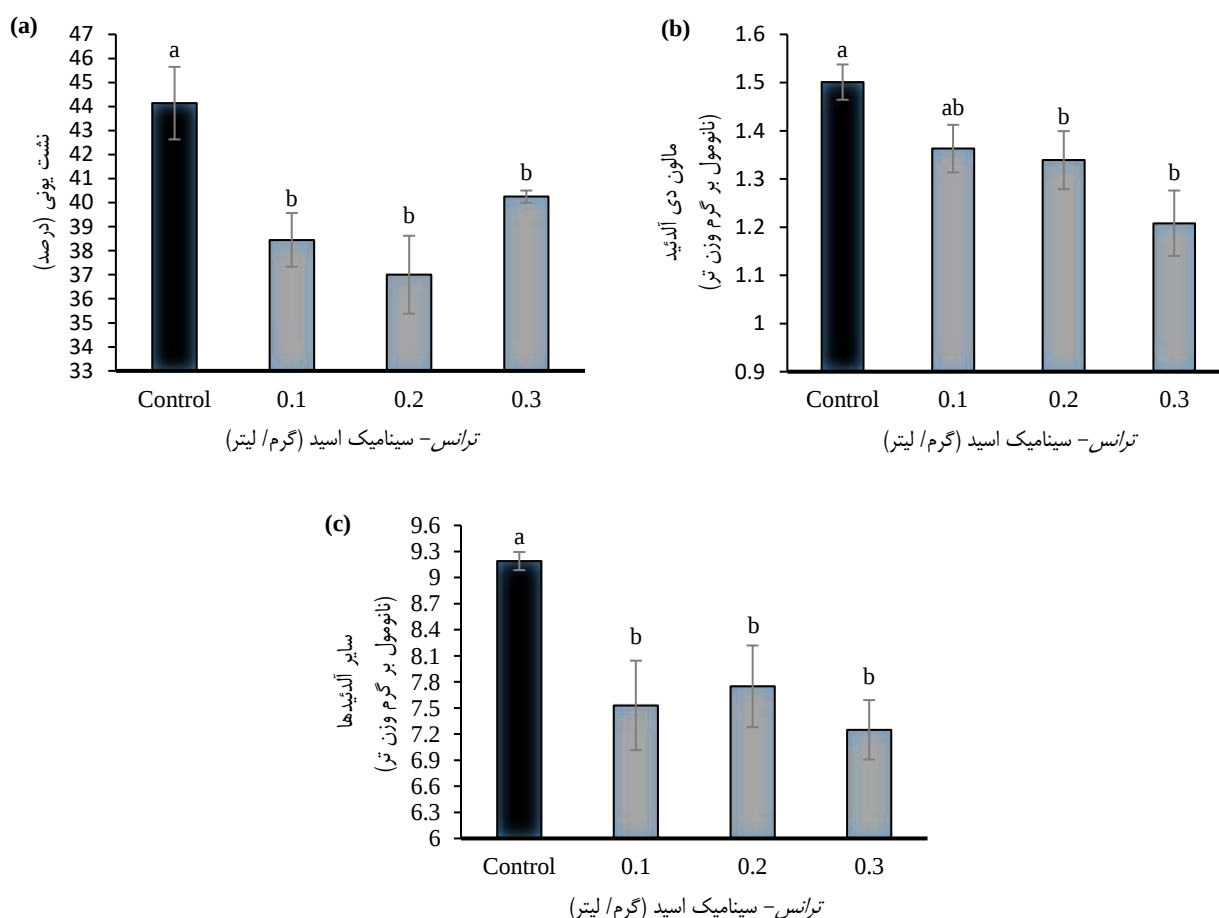


شکل ۴. تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر میزان آنتوسیانین کل (a) و آنتی اکسیدان کل (b) میوه توت فرنگی در پایان دوره انبارداری.

تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر شاخص های نشت یونی، میزان مالون دی آلدئید و سایر آلدئیدها

نتایج گزارش شده در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بیانگر تأثیر معنی دار تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید بر میزان نشت یونی، مالون دی آلدئید و سایر آلدئیدها در سطح احتمال ۱ درصد می باشد. مطابق شکل ۵-a، تیمار پس از برداشت میوه های توت فرنگی با سینامیک اسید ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم در لیتر به ترتیب موجب کاهش میزان نشت یونی میوه های توت فرنگی به میزان ۱۳، ۱۶ و ۹ درصد نسبت به نمونه شاهد شد. همچنین ترانس- سینامیک اسید موجب کاهش معنی دار در میزان مالون دی آلدئید و محتوای سایر آلدئیدها (۱- هپتانال^۱، ۱- پروپانال-دی متیل استال^۲، ۱- پروپانال^۳، ۱- بوتانال^۴ و ۱- هگزانال^۵) در میوه های توت فرنگی شد. بطوریکه محتوای مالون دی آلدئید میوه توت فرنگی در پاسخ به تیمار سینامیک اسید ۰/۳ گرم در لیتر در حدود ۱۹/۵ درصد کمتر از نمونه شاهد بود و تیمار ترانس- سینامیک اسید در غلظت های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم در لیتر به صورت معنی دار موجب کاهش محتوای سایر آلدئیدها به میزان ۱۸، ۱۶ و ۲۱ درصد نسبت به نمونه شاهد شد (شکل ۵ b, c).

¹ 1-heptanal
² 1-propanal-dimethylacetal
³ 1-propanal
⁴ 1-butanal
⁵ 1-hexanal



شکل ۵. تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر میزان نش‌ یونی (a)، مالون دی آلدئید (b) و میزان سایر آلدئیدها (c) میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری.

نتایج ضریب همبستگی

مطابق نتایج جدول ضریب همبستگی (جدول ۳)، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بازارپسندی و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی نظیر شاخص روشنایی ($r = 0.59, p < 0.05$)، شاخص سبزی-قرمزی ($r = 0.71, p < 0.01$)، خلوص رنگ ($r = 0.72, p < 0.01$)، مواد جامد محلول ($r = 0.66, p < 0.05$) و شاخص طعم ($r = 0.60, p < 0.05$) وجود دارد. همچنین، همبستگی منفی و معنی‌داری بین بازارپسندی و میزان نش‌ یونی ($r = -0.90, p < 0.01$) و تجمع سایر آلدئیدها ($r = -0.58, p < 0.05$) وجود دارد. این در حالیست که افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی می‌تواند تأثیر معنی‌داری در ممانعت از توسعه علائم مرتبط با پیری میوه‌های توت‌فرنگی داشته باشد. بطوریکه مطابق جدول ضریب همبستگی، همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل با میزان نش‌ یونی ($r = -0.80$)، میزان مالون دی آلدئید ($r = -0.73$) و تجمع سایر آلدئیدها ($r = -0.75$) وجود دارد.

سایر آلدئیدها	مالون دی‌آلدئید	نشست یونی	آنتی‌اکسیدان کل	آنتوسیانین کل	طعم	مواد جامد محلول	اسیدیته کل	خلوص رنگ	سبزی-قرمزی	روشنایی	بازارپسندی
۱											بازارپسندی
										۱	روشنایی
									۱	۰/۶۵*	سبزی-قرمزی
								۱	۰/۹۹**	۰/۶۳*	خلوص رنگ
							۱	-۰/۴۳ ^{NS}	-۰/۴۸ ^{NS}	-۰/۶۶*	اسیدیته کل
						۱	-۰/۱۷ ^{NS}	۰/۸۰**	۰/۸۲**	۰/۵۳ ^{NS}	مواد جامد محلول
					۱	۰/۸۰**	-۰/۷۰*	۰/۸۰**	۰/۸۴**	۰/۸۰**	طعم
				۱	۰/۴۸ ^{NS}	۰/۳۰ ^{NS}	-۰/۴۲ ^{NS}	۰/۴۶ ^{NS}	۰/۴۷ ^{NS}	۰/۴۵ ^{NS}	آنتوسیانین کل
			۱	۰/۷۴**	۰/۷۸**	۰/۶۴*	-۰/۵۰ ^{NS}	۰/۵۳ ^{NS}	۰/۵۶ ^{NS}	۰/۷۱**	آنتی‌اکسیدان کل
		۱	-۰/۸**	-۰/۷**	-۰/۵۵ ^{NS}	-۰/۶۳*	۰/۲۰ ^{NS}	-۰/۶۴*	-۰/۶۲*	-۰/۵۱ ^{NS}	نشست یونی
	۱	۰/۵ ^{NS}	-۰/۷۳**	-۰/۵ ^{NS}	-۰/۸۰**	-۰/۵۳ ^{NS}	۰/۶۹*	-۰/۵۳ ^{NS}	-۰/۵۹*	-۰/۶۵*	مالون دی‌آلدئید
۱	۰/۸**	۰/۵ ^{NS}	-۰/۷۵**	-۰/۳ ^{NS}	-۰/۹۰**	-۰/۸۷**	۰/۴۶ ^{NS}	-۰/۷۲**	-۰/۷۵**	-۰/۶۵*	سایر آلدئیدها

NS: * و ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

بحث

پیری و زوال محصولات باغی برنامه فیزیولوژیکی تنظیم شده‌ای است که با تغییرات بیوشیمیایی و مولکولی همراه بوده و در نهایت منجر به تجزیه و مرگ بافت‌های گیاهی می‌شود که توسط یکسری عوامل درونی و بیرونی نظیر ژنتیک، سیگنال‌های رشدی، هورمون‌ها و شرایط محیطی تنظیم می‌شود (Anwar et al., 2018). پیشرفت روند پیری در محصولات برداشت شده کیفیت محصول و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی و آلودگی‌های پاتوزنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت موجب کاهش کیفیت و بازار پسندی محصول برداشت شده می‌شود (Pott et al., 2020). توت‌فرنگی میوه‌ای حساس با شدت تنفس بالا (۲۵-۲۰ میلی‌لیتر دی‌اکسید کربن بر کیلوگرم در ساعت در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد) و ماندگاری کوتاه می‌باشد (Castello et al., 2010). تنش اکسیداتیو از عوامل مهم در پیشرفت روند پیری و گسترش ناهنجاری‌های پس از برداشت در میوه توت‌فرنگی می‌باشد (Alos et al., 2019; Fenn & Giovannoni, 2021). تخریب رنگدانه‌ها، فعالیت آنزیم‌های پروتئازی، جهش اسیدهای نوکلئیک، تخریب متابولیت‌های آنتی‌اکسیدانی، غیر فعال شدن آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و اختلال در یکپارچگی و عملکرد غشا سلولی از جمله علائم مربوط به پیری این محصول می‌باشد (Corpas et al., 2023). بنابراین استفاده از ترکیبات سالم در جهت مهار تنش اکسیداتیو می‌تواند نقش مؤثری در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی داشته باشد. براساس نتایج بدست آمده از این آزمایش، ترانس-سینامیک اسید نقش مؤثری در کاهش تنش اکسیداتیو و توسعه علائم مرتبط با آن داشته است و در پایان دوره انبارداری توت‌فرنگی‌های تیمار شده با ترانس-سینامیک اسید نشست یونی، مالون دی‌آلدئید و آلدئید کمتری در مقایسه نمونه شاهد داشتند.

کاهش پایداری غشاء سلولی شرایط را برای نشست الکترولیت‌ها به فضای خارج سلولی فراهم می‌کند که به عنوان شاخصی برای ارزیابی میزان روند پیری لحاظ می‌شود (Yang et al., 2021). مالون دی‌آلدئید در اثر پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی تولید می‌شود که به عنوان شاخصی برای ارزیابی شدت پراکسیداسیون چربی‌ها و تنش اکسیداتیو لحاظ می‌شود (Dhindsa et al., 1981). پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سلولی موجب تغییر در میزان لیپیدهای غشا، تمامیت غشا سلولی و در نتیجه اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیکی سلول می‌شود. علاوه بر آن تجمع بیشتر مالون دی‌آلدئید به مرور موجب آسیب بیشتر به غشا پلاسمایی و سایر اندامک‌های سلول می‌شود. به‌طوریکه مالون دی‌آلدئید می‌تواند با پروتئین و اسیدهای نوکلئیک واکنش داده و موجب اختلال در عملکرد بیولوژیکی آنها شود (Tao et al., 2007).

۳۳۳ آلدئیدها گروه دیگری از ترکیبات هستند که تجمع آنها به عنوان شاخصی برای ارزیابی شدت پراکسیداسیون لیپیدها لحاظ
 ۳۳۴ می‌شود. آلدئیدها، دسته بزرگی از ترکیبات الکتروفیل حاوی گروه‌های آلدئیدی (CHO-) هستند که به طور اجتناب‌ناپذیر و پیوسته در طی
 ۳۳۵ رشد و متابولیسم سلولی در موجودات زنده مختلف تولید می‌شوند (Huang et al., 2020). در واقع آلدئیدها ترکیبات مشتق شده در نتیجه
 ۳۳۶ پراکسیداسیون لیپیدها به خصوص اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشند که طی واکنش‌های آنزیمی و یا غیرآنزیمی در گیاهان تولید شده و
 ۳۳۷ در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی نقش دارند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که وجود آلدئیدها در سلول‌های گیاهی
 ۳۳۸ و در غلظت‌های مناسب در پاسخ گیاه به انواع تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی، نوری، دمایی و کمبود عناصر غذایی مهم می‌باشند. از
 ۳۳۹ طرف دیگر، آزمایش‌های انجام گرفته نشان داده است که افزایش آلدئیدها در سلول‌های گیاهی و همچنین کاربرد خارجی آلدئیدها در
 ۳۴۰ غلظت‌های بالا موجب آسیب به پروتئین و اسیدهای نوکلئیک شده، هموستاز ردوکس^۱ سلول‌های گیاهی را مختل کرده و مانع از رشد و
 ۳۴۱ نمو طبیعی گیاه شده است. بنابراین آلدئیدها در غلظت‌های نامناسب به عنوان ترکیبات سمی و مضر برای گیاه شناخته می‌شوند. در واقع
 ۳۴۲ آلدئیدها به عنوان نشانگرهای زیستی^۲ برای ارزیابی وضعیت سلامتی گیاه در نظر گرفته می‌شوند. طبق تحقیقات ژنتیکی انجام شده،
 ۳۴۳ ملکول‌های کوچکی نظیر کارنوزین^۳ و گلوتاتیون^۴ از طریق جاروب کردن آلدئیدها نقش مؤثر در بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی و رشد و
 ۳۴۴ نمو گیاهان دارند (Liang et al., 2022; LoPachin & Gavin, 2014).

۳۴۵ در خصوص تأثیر سینامیک اسید در کاهش میزان مالون دی‌آلدئید می‌توان به کاربرد پس از برداشت ۴- متوکسی سینامیک اسید
 ۳۴۶ به عنوان یکی از مشتقات سینامیک اسید اشاره کرد که تأثیر معنی‌داری در مهار فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز و کاهش تجمع مالون دی‌آلدئید
 ۳۴۷ داشته است که با حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ خوراکی همراه بوده است (Hu et al., 2020).

۳۴۸ در واقع سینامیک اسید به دلیل داشتن گروه هیدروکسی فلولیک در ساختار شیمیایی خود دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و نقش مؤثر در
 ۳۴۹ خنثی کردن رادیکال‌های آزاد دارد (Sova, 2012). از طرف دیگر، استفاده از سینامیک اسید به عنوان محرک خارجی موجب تحریک سیستم
 ۳۵۰ آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز می‌شود که این افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی با کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه همبستگی دارد (Singh et al.,
 ۳۵۱ 2013). بنابراین می‌توان گفت که دلیل کاهش مالون دی‌آلدئید و نشت یونی و کاهش توسعه علائم پیری میوه توت‌فرنگی در تیمار ترانس-
 ۳۵۲ سینامیک اسید علاوه بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی ترانس-سینامیک اسید، همچنین به دلیل تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی
 ۳۵۳ در پاسخ به تیمار ترانس- سینامیک اسید بوده است که موجب مهار تنش اکسیداتیو، حفظ تمامیت غشا سلولی و مهار پیشرفت روند پیری
 ۳۵۴ در میوه‌های توت‌فرنگی شده است، که این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران در خصوص تأثیر سینامیک اسید در کاهش تجمع مالون
 ۳۵۵ دی‌آلدئید در قارچ خوراکی همخوانی دارد (Cheraghi et al., 2021).

۳۵۶ افزایش در بیوستز متابولیت‌های ثانویه و تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی از عوامل تأثیرگذار در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری
 ۳۵۷ میوه‌های توت‌فرنگی می‌باشد (Koyama et al., 2022). آنتوسیانین‌ها مهمترین ترکیب پلی‌فنلی شناخته شده در میوه توت‌فرنگی می‌باشند
 ۳۵۸ که عامل ایجاد رنگ قرمز در میوه توت‌فرنگی بوده و علاوه بر تأثیر مثبت بر کیفیت ارگانولپتیکی محصول، ارزش تغذیه‌ای و ظرفیت
 ۳۵۹ آنتی‌اکسیدانی میوه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر آن آنتوسیانین‌ها نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه در برابر شرایط محیطی
 ۳۶۰ تنش‌زا دارند و به طرق مختلف از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میانجیگری در آبراه‌های سیگنالینگ تحریک شده توسط گونه‌های اکسیژن
 ۳۶۱ فعال و همچنین از طریق کلاته کردن عناصر سنگین در تنظیم سیستم دفاعی گیاه نقش دارند (Naing & Kim, 2021; Zhang et al.,
 ۳۶۲ 2018). بیشتر از ۲۵ نوع متفاوت از رنگدانه‌های آنتوسیانین در میوه توت‌فرنگی شناسایی شده است. پلارگونیدین -۳- گلوکوزاید به میزان
 ۳۶۳ ۹۵-۸۹ درصد و سیانیدین -۳- گلوکوزاید به میزان ۱۰/۶ - ۳/۹ درصد از آنتوسیانین کل را تشکیل می‌دهند، که جزء مهمترین آنتوسیانین-
 ۳۶۴ های موجود در میوه توت‌فرنگی می‌باشند. بیوستز و تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله آنتوسیانین‌ها در پاسخ به الیستورهای خارجی تأثیر
 ۳۶۵ مستقیم در بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول دارند و علاوه بر تأثیر مثبت در افزایش مقاومت محصول در برابر شرایط تنش‌زای دوره
 ۳۶۶ پس از برداشت که تأثیر مثبتی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی دارند، ارزش تغذیه‌ای محصول را نیز بهبود می‌بخشند

¹ Redox homeostasis

² Biomarkers

³ carnosine

⁴ glutathione

۳۶۷ (Sirijan et al., 2020). در این تحقیق تیمار ترانس-سینامیک اسید تأثیر مثبت و معنی‌داری در افزایش میزان آنتوسیانین کل و بهبود
 ۳۶۸ فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی داشته است. در فلفل شیرین نیز، تیمار خارجی سینامیک اسید از طریق تأثیری که بر افزایش
 ۳۶۹ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین بیوسنتز آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی نظیر فلاونوئیدها داشته، موجب افزایش فعالیت سیستم
 ۳۷۰ آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش شوری شده است (Lin et al., 2020). در تحقیق حاضر و مطابق نتایج جدول ضریب
 ۳۷۱ همبستگی (جدول ۳)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان نشت یونی، مالون دی‌آلدئید
 ۳۷۲ و سایر آلدئیدها داشته است. بنابراین تأثیر مثبت ترانس-سینامیک اسید در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه مهار واکنش‌های مرتبط
 ۳۷۳ با پیری محصول، موجب حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه‌های توت‌فرنگی شده است.

۳۷۴ اسید سیتریک، اسید مالیک، اسید گلیکولیک، اسیدهای شیکمیک و اسید آسکوربیک اسیدهای آلی موجود در میوه توت‌فرنگی
 ۳۷۵ می‌باشند. با اینحال اسید سیتریک، اسید غالب در میوه توت‌فرنگی بوده و در حدود ۹۰ درصد از محتوای اسیدیته کل میوه توت‌فرنگی
 ۳۷۶ مربوط به اسید سیتریک می‌باشد (Sturm et al., 2003; Montero et al., 1996). اسیدهای آلی تأثیر مستقیمی بر طعم محصول باغی
 ۳۷۷ دارند. در عین حال موجب تنظیم پی‌اچ سلولی شده و می‌توانند ظهور رنگدانه‌ها در بافت گیاهی را تحت تأثیر قرار دهند (Montero et al.,
 ۳۷۸ 1996). در حالت کلی کاهش میزان اسیدهای آلی در محصولات باغی با افزایش میزان پی‌اچ همبستگی دارد و طبق گزارشات، اسیدهای
 ۳۷۹ آلی به طور مستقیم به عنوان سوبسترا در فعالیت‌های تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Igamberdiev & Eprintsev, 2016). با شروع
 ۳۸۰ فرآیند رسیدن محصولات باغی و همچنین در دوره پس از برداشت، هیدرولیز ترکیبات پلی- ساکاریدی به مونو- ساکارید و دی- ساکارید
 ۳۸۱ موجب تغییر در میزان قندهای محلول محصول می‌شود که همین موضوع تأثیر مستقیم بر طعم محصولات باغی خواهد داشت (Rahman
 ۳۸۲ et al., 2016). نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید نقش معنی‌داری در کاهش
 ۳۸۳ میزان اسیدیته کل و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی داشته است که همین امر موجب تغییر شاخص طعم میوه‌های
 ۳۸۴ توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری شد. نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته کل به عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی- ترشی) در
 ۳۸۵ محصولات نظیر پرتقال و توت‌فرنگی لحاظ می‌شود (Ikegaya et al., 2019; Zhou et al., 2018). در این پژوهش به دلیل تأثیری که
 ۳۸۶ ترانس-اسید سینامیک در کاهش میزان اسیدیته و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی دارد موجب شده است که در پایان
 ۳۸۷ دوره انبارداری میوه‌های تیمار شده طعم بهتری نسبت به نمونه شاهد داشته باشند.

۳۸۸ رنگ یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت ظاهری میوه‌ها و سبزیجات تازه می‌باشد که تأثیر مستقیم بر بازارپسندی
 ۳۸۹ محصول دارد (do Nascimento Nunes, 2015). تغییر رنگ میوه توت‌فرنگی رسیده با وجود انبارداری این محصول در شرایط دمای پایین،
 ۳۹۰ به طور طبیعی رخ می‌دهد و موجب تیره شدن رنگ میوه توت‌فرنگی می‌شود که میزان این تغییر رنگ در بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت
 ۳۹۱ می‌باشد (Lee et al., 2022). بنابراین استفاده از ترکیبات طبیعی و سالم در جهت حفظ کیفیت ظاهری محصول و بهبود بازارپسندی آن
 ۳۹۲ یکی از راه کارهای پیشنهادی در این خصوص می‌باشد. نقش سینامیک اسید و مشتقات آن به تنهایی و یا در ترکیب با پوشش‌های خوراکی
 ۳۹۳ در جهت حفظ شاخص‌های رنگ و جلوگیری از قهوه‌ای شدن برخی از محصولات باغی نظیر میوه تازه برش خورده گلابی (Sharma &
 ۳۹۴ Rao, 2015)، میوه تازه برش خورده تارو (Xiao et al., 2022) و قارچ خورکی (Cheraghi et al., 2022; Hu et al., 2015) گزارش شده
 ۳۹۵ است. سینامیک اسید از طریق سرکوب فعالیت آنزیم‌های قهوه‌ای شدن نظیر پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز و همچنین از طریق افزایش
 ۳۹۶ فعالیت آنتی‌اکسیدانی مانع از تغییر رنگ و کاهش کیفیت محصولات باغی در طی دوره انبارداری می‌شود (Xiao et al., 2022). همچنین
 ۳۹۷ تأثیر سینامیک اسید در کاهش بیان ژن‌های دخیل در پراکسیداسیون و تخریب لیپیدهای غشا سلولی، کاهش بیوسنتز فلاونوئیدها و همچنین
 ۳۹۸ افزایش بیوسنتز گلوکاتایون از مکانیسم‌های عمل سینامیک اسید در حفظ شاخص‌های رنگ و ممانعت از قهوه‌ای شدن میوه تازه برش
 ۳۹۹ خورده تارو بیان شده است (Wang et al., 2024).

۴۰۰ وضعیت ظاهری میوه توت‌فرنگی نقش اساسی در ارزیابی میزان بازارپسندی این محصول دارد. رنگ، سفتی و انسجام ساختاری
 ۴۰۱ محصول، عاری بودن از علائم پوسیدگی، عدم پژمردگی، عطر و طعم مطلوب محصول فاکتورهای هستند که بر میزان بازارپسندی محصول
 ۴۰۲ و در نتیجه بر تصمیم مصرف کنندگان برای خرید یک محصول با کیفیت تأثیر مستقیم دارند (Kelly et al., 2016). مطابق نتایج تیمار
 ۴۰۳ پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید تأثیر معنی‌دار و مثبتی در حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری

داشته است. تأثیر کاربرد سینامیک اسید و مشتقات آن در دوره پس از برداشت در حفظ شاخص‌های مرتبط با کیفیت ظاهری محصول و در نتیجه افزایش ماندگاری آن در میوه‌های تازه برش خورده تارو (Xiao et al., 2022; Wang et al., 2024)، قارچ خوراکی (Hu et al., 2015) و هلو (Sultan et al., 2024) گزارش شده است.

افزایش آگاهی مصرف کنندگان در خصوص استفاده از ترکیبات سالم و دوستدار محیط زیست در صنعت کشاورزی موجب شده است که تمایل رو به رشدی در استفاده از روش‌های نوین و سالم برای حفظ کیفیت و بازارپسندی محصول صورت گیرد. از طرف دیگر حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی محصول عاملی تأثیرگذار بر کاهش زیان‌های اقتصادی ناشی از ضایعات پس از برداشت خواهد بود (Aghdam et al., 2020; Sirijan et al., 2020). با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که تیمار ترانس- سینامیک اسید نقش مؤثری در دستیابی به این اهداف داشته است.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که توت‌فرنگی‌های تیمار شده با ترانس- سینامیک میزان نشت یونی، مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدهای کمتری و آنتوسیانین کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در پایان دوره انبارداری داشتند. همچنین میوه‌های تیمار شده با ترانس- سینامیک اسید، طعم، رنگ و بازارپسندی بهتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد داشتند. ترانس- سینامیک اسید از طریق افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهار تنش اکسیداتیو از توسعه علائم مرتبط با پیری محصول در دوره پس از برداشت جلوگیری می‌کند. بنابراین تیمار پس از برداشت ترانس- سینامیک اسید بخصوص غلظت ۰/۲ گرم در لیتر نقش مؤثری در بهبود شاخص‌های فیزیکیوشیمیایی و بیوشیمیایی میوه توت‌فرنگی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری این محصول در دوره پس از برداشت دارد.

منابع

چراغی، حدیث؛ قنبری، فردین و صیدی، مهدی (۱۴۰۱). اثر کاربرد سینامیک اسید بر ماندگاری و کیفیت قارچ دکمه‌ای در دوره پس از برداشت. *نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران*، ۱۸ (۲)، ۲۶۴-۲۷۶.

REFERENCES

- Aghdam, M.S., Palma, J.M. & Corpas, F.J. (2020). NADPH as a quality footprinting in horticultural crops marketability. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.002>
- Alos, E., Rodrigo, M.J., & Zacarias, L. (2019). Ripening and senescence. In *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*, 131-155. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00007-5>
- Anwar, R., Mattoo, A. K., & Handa, A. K. (2018). Ripening and senescence of fleshy fruits. *Postharvest biology and nanotechnology*, edited by Paliyath, G., Subramanian, L., Lim, T.L., Subramanian, K.S., Handa, A.K., Mattoo, A.K. WILEY online library. 15-51. <https://doi.org/10.1002/9781119289470.ch2>
- Bellincontro, A., De Santis, D., Botondi, R., Villa, I., & Mencarelli, F. (2004). Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1791-1800. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1889>
- Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y., Yang, Z., & Lu, B. (2011). Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chemistry*, 125(1), 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.051>
- Castello, M.L., Fito, P.J., & Chiralt, A. (2010). Changes in respiration rate and physical properties of strawberries due to osmotic dehydration and storage. *Journal of food engineering*, 97(1), 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.09.016>
- Cheng, X., Yang, Y., Zhu, X., Yuan, P., Gong, B., Ding, S., & Shan, Y. (2022). Inhibitory mechanisms of cinnamic acid on the growth of *Geotrichum citri-aurantii*. *Food Control*, 131, 108459. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108459>

- Cheraghi, H., Ghanbari, F., & Saidi, M. (2022). Effect of cinnamic acid on shelf life and quality of button mushroom at postharvest period. *Iranian Food Science Technology*, 18(2), 264-276. (In Persian). : <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.70214.1041>
- Corpas, F.J., Freschi, L., & Palma, J.M. (2023). ROS metabolism and ripening of fleshy fruits. In *Advances in Botanical Research*, 105, 205-238. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2022.08.024>
- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P.A.M.E.L.A., & Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental botany*, 32(1), 93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- do Nascimento Nunes, M.C. (2015). Correlations between subjective quality and physicochemical attributes of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 107, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.001>
- Fenn, M.A., & Giovannoni, J.J. (2021). Phytohormones in fruit development and maturation. *The Plant Journal*, 105(2), 446-458. <https://doi.org/10.1111/tjp.15112>
- Ganhao, R., Pinheiro, J., Tino, C., Faria, H., & Gil, M. M. (2019). Characterization of nutritional, physicochemical, and phytochemical composition and antioxidant capacity of three strawberry "*Fragaria* × *ananassa* Duch." cultivars ("Primoris", "Endurance", and "Portola") from western region of Portugal. *Foods*, 8(12), 682. <https://doi.org/10.3390/foods8120682>
- Gill, P.P.S., Jawandha, S.K., Singh, N.P., Kaur, S., & Kaur, P. (2024). Role of gum Arabic combined with cinnamic acid coating on quality and cell wall degradation enzymes of mango fruits at low temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 259, 129088. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129088>
- Hu, Y. H., Chen, C. M., Xu, L., Cui, Y., Yu, X. Y., Gao, H. J., Wang, Q., Liu, K., Shi, Y., & Chen, Q. X. (2015). Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, 104, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.007>
- Hu, Y.H., Chen, Q.X., Cui, Y., Gao, H.J., Xu, L., Yu, X.Y., Wang, Y., Yan, C.L., & Wang, Q. (2016). 4-Hydroxy cinnamic acid as mushroom preservation: anti-tyrosinase activity kinetics and application. *International journal of biological macromolecules*, 86, 489-495. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.070>
- Hu, Y.H., Zhou, Y., Liu, J.A., Wang, Q., Lin, J.C., & Shi, Y. (2020). Effect of 4-methoxycinnamic acid on the postharvest browning of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14735. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14735>
- Huang, J.Q., Lin, J.L., Guo, X.X., Tian, X., Tian, Y., Shangguan, X.X., Wang, L.J., Fang, X., & Chen, X.Y., (2020). RES transformation for biosynthesis and detoxification. *Science China Life Sciences*, 63, 1297-1302. <https://doi.org/10.1007/s11427-020-1729-5>
- Igamberdiev, A.U. & Eprintsev, A.T. (2016). Organic acids: the pools of fixed carbon involved in redox regulation and energy balance in higher plants. *Frontiers in plant science*, 7, 205704. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01042>
- Ikegaya, A., Toyozumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Kawata, T., Ito, S., & Arai, E. (2019). Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2419-2426. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1109>
- Jiang, T., Zheng, X., Li, J., Jing, G., Cai, L., & Ying, T. (2011). Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food chemistry*, 126(4), 1693-1699. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.060>
- Jiang, Y., Shiina, T., Nakamura, N., & Nakahara, A. (2001). Electrical conductivity evaluation of postharvest strawberry damage. *Journal of food science*, 66(9), 1392-1395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15220.x>
- Kelly, K., Whitaker, V.M., & do Nascimento Nunes, M.C. (2016). Physicochemical characterization and postharvest performance of the new Sensation® 'Florida127' strawberry compared to commercial standards. *Scientia Horticulturae*, 211, 283-294. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.012>
- Kosugi, H., & Kikugawa, K. (1985). Thiobarbituric acid reaction of aldehydes and oxidized lipids in glacial acetic acid. *Lipids*, 20(12), 915-921. <https://doi.org/10.1007/BF02534777>
- Koyama, R., Ishibashi, M., Fukuda, I., Okino, A., Osawa, R., & Uno, Y. (2022). Pre-and post-harvest conditions affect polyphenol content in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). *Plants*, 11(17), 2220. <https://doi.org/10.3390/plants11172220>

Lee, C., Lee, J., & Lee, J. (2022). Relationship of fruit color and anthocyanin content with related gene expression differ in strawberry cultivars during shelf life. *Scientia Horticulturae*, 301, 111109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111109>

Li, C., Jing, Y., Cheng, L., Si, Z., Mou, Z., Niu, D., Ma, F., & Liu, C. (2023). The antifungal activity of *trans*-cinnamic acid and its priming effect in apple in response to *Valsa mali*. *Plant Pathology*, 72(9), 1595-1603. <https://doi.org/10.1111/ppa.13786>

Liang, X., Qian, R., Wang, D., Liu, L., Sun, C., & Lin, X. (2022). Lipid-derived aldehydes: new key mediators of plant growth and stress responses. *Biology*, 11(11), 1590. <https://doi.org/10.3390/biology11111590>

Lin, C.Y., Chung, H.H., Kuo, C.T., & Yiu, J.C. (2020). Exogenous cinnamic acid alleviates salinity-induced stress in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 48(3), 164-182. <https://doi.org/10.1080/01140671.2020.1765814>

Liu, L., Hudgins, W. R., Shack, S., Yin, M. Q., & Samid, D. (1995). Cinnamic acid: a natural product with potential use in cancer intervention. *International journal of cancer*, 62(3), 345-350. <https://doi.org/10.1002/ijc.2910620319>

LoPachin, R.M., & Gavin, T. (2014). Molecular mechanisms of aldehyde toxicity: a chemical perspective. *Chemical research in toxicology*, 27(7), 1081-1091. <https://doi.org/10.1021/tx5001046>

Montero, T.M., Mollá, E.M., Esteban, R.M., & López-Andréu, F.J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(96\)00892-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(96)00892-8)

Moreno-Robles, A., Cala Peralta, A., Zorrilla, J.G., Soriano, G., Masi, M., Vilariño-Rodríguez, S., Cimmino, A., & Fernández-Aparicio, M. (2023). Structure– Activity Relationship (SAR) Study of *trans*-Cinnamic Acid and Derivatives on the Parasitic Weed *Cuscuta campestris*. *Plants*, 12(4), 697. <https://doi.org/10.3390/plants12040697>

Naing, A.H., & Kim, C.K. (2021). Abiotic stress-induced anthocyanins in plants: Their role in tolerance to abiotic stresses. *Physiologia Plantarum*, 172(3), 1711-1723. <https://doi.org/10.1111/ppl.13373>

Peretto, G., Du, W. X., Avena-Bustillos, R. J., Sarreal, S. B. L., Hua, S. S. T., Sambo, P., & McHugh, T. H. (2014). Increasing strawberry shelf-life with carvacrol and methyl cinnamate antimicrobial vapors released from edible films. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.003>

Pott, D. M., Vallarino, J. G., & Osorio, S. (2020). Metabolite changes during postharvest storage: Effects on fruit quality traits. *Metabolites*, 10(5), 187. <https://doi.org/10.3390/metabo10050187>

Rahman, M.M., Moniruzzaman, M., Ahmad, M.R., Sarker, B.C., & Alam, M.K. (2016). Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.05.002>

Romanazzi, G., Elmer, P. A., & Feliziani, E. (2019). Table grape, kiwifruit, and strawberry. In *Postharvest Pathology of Fresh Horticultural Produce*, 141-186. CRC Press.

Sharma, S., & Rao, T. R. (2015). Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 791-800. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.050>

Shi, Z., Song, R., Zhang, L., Jiang, H., Jiao, L., Yuan, S., Zheng, Y., Chen, L., & Meng, D. (2024). Para-Coumaric Acid and Cinnamic Acid Enhance Resistance of *Agaricus bisporus* Mushrooms to Brown Blotch Disease Caused by *Pseudomonas tolaasii*. *Food Control*, 110859. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110859>

Singh, P. K., Singh, R., & Singh, S. (2013). Cinnamic acid induced changes in reactive oxygen species scavenging enzymes and protein profile in maize (*Zea mays* L.) plants grown under salt stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(1), 53-59. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0126-6>

Sirijan, M., Pipattanawong, N., Saeng-On, B., & Chaiprasart, P. (2020). Anthocyanin content, bioactive compounds and physico-chemical characteristics of potential new strawberry cultivars rich in-anthocyanins. *Journal of Berry Research*, 10(3), 397-410. 10.3233/JBR190487

Sova, M. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of cinnamic acid derivatives. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 12(8), 749-767. <https://doi.org/10.2174/138955712801264792>

Sturm, K., Koron, D., & Stampar, F. (2003). The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food chemistry*, 83(3), 417-422. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00124-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00124-9)

- Sultan, M., Hafez, O. M., & Saleh, M. A. (2024). Active coating film based on gelatin/trans-cinnamic acid for cold preservation of peach fruits (*Prunus persica* L. Bastch). *Journal of Stored Products Research*, 106, 102286. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102286>
- Sun, Y., Asghari, M., & Zahedipour-Sheshgelani, P. (2020). Foliar spray with 24-epibrassinolide enhanced strawberry fruit quality, phytochemical content, and postharvest life. *Journal of plant growth regulation*, 39, 920-929. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10033-y>
- Tao, F., Zhang, M., & Yu, H.Q. (2007). Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of food engineering*, 79(4), 1302-1309. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.011>
- Ugazio, E., Carlotti, M. E., Sapino, S., Trotta, M., Vione, D., & Minero, C. (2008). Photodegradation of cinnamic acid in different media. *Journal of dispersion science and technology*, 29(5), 641-652. <https://doi.org/10.1080/01932690701758491>
- Wang, Y., Ye, H., Lin, W., Wang, G., Luo, T., He, J., & Wang, B. (2024). Cinnamic acid application inhibits the browning of cold-stored taro slices by maintaining membrane function, reducing flavonoid biosynthesis and enhancing glutathione metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 218, 113180. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113180>
- Wu, M., Deng, Z. A., Shen, C., Yang, Z., Cai, Z., Wu, D., & Chen, K. (2024). Fabrication of antimicrobial PCL/EC nanofibrous films containing natamycin and trans-cinnamic acid by microfluidic blow spinning for fruit preservation. *Food Chemistry*, 442, 138436. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138436>
- Xiao, Y., Zhang, J., Jiang, Y., Yuan, Y., Xie, J., He, J., & Wang, B. (2022). Cinnamic acid treatment reduces the surface browning of fresh-cut taro. *Scientia Horticulturae*, 291, 110613. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110613>
- Yang, B.X., Li, Z.X., Liu, S.S., Yang, J., Wang, P.Y., Liu, H.W., Zhou, X., Liu, L.W., Wu, Z.B., & Yang, S. (2023). Novel cinnamic acid derivatives as a versatile tool for developing agrochemicals for controlling plant virus and bacterial diseases by enhancing plant defense responses. *Pest Management Science*, 79(7), 2556-2570. <https://doi.org/10.1002/ps.7433>
- Yang, L., Wang, X., He, S., Luo, Y., Chen, S., Shan, Y., Wang, R., & 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>
- Zhang, W., Jiang, Y., & Zhang, Z. (2023). The role of different natural organic acids in postharvest fruit quality management and its mechanism. *Food Frontiers*, 4(3), 1127-1143. <https://doi.org/10.1002/fft2.245>
- Zhang, Y., Jiang, L., Li, Y., Chen, Q., Ye, Y., Zhang, Y., Luo, Y., Sun, B., Wang, X., & Tang, H. (2018). Effect of red and blue light on anthocyanin accumulation and differential gene expression in strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Molecules*, 23(4), 820. <https://doi.org/10.3390/molecules23040820>
- Zhang, Z., Qin, G., Li, B., & Tian, S. (2015). Effect of cinnamic acid for controlling gray mold on table grape and its possible mechanisms of action. *Current Microbiology*, 71, 396-402. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0863-1>
- Zhou, Y., He, W., Zheng, W., Tan, Q., Xie, Z., Zheng, C., & Hu, C. (2018). Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. *Food Chemistry*, 259, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.102>

Extended Abstract

Introduction

Strawberry is a common fruit with high consumption that is widely cultivated all over the world. However, due to its specific structure, strawberry fruit is sensitive to postharvest handling and has very short shelf life. Cinnamic acid is an aromatic and natural carboxylic acid that is synthesized from phenylalanine. trans-cinnamic acid is a safe compound with antioxidant and antimicrobial activity that can be used in postharvest managements. The purpose of this research is to investigate the effect of trans-cinnamic acid in delaying the senescence and induce antioxidant activity of strawberry fruits in order to maintain the quality and improve the marketability of strawberry fruit at the end of the storage for 10 days at 1 ± 1 °C and 24 h in room temperature conditions.

Material and Methods

Strawberry fruits (*Fragaria × ananasa* cv. Monterey) were harvested from a commercial greenhouse in the full ripe stage and immediately transferred to the laboratory. Healthy and uniform strawberries were selected and divided in three groups. Strawberry fruits were immersed in the *trans*-cinnamic acid solutions (0.1, 0.2 and 0.3 g/L) for 3 min and packed in polyethylene boxes (20×15×12 cm) and stored for 10 days at 1±1 °C. Control samples were treated with distilled water for same duration. After 10 days storage at low temperature, all the fruits were kept at room temperature for 24 hours to simulate the commercial situations, and then sampling was done to evaluate quality traits and biochemical compounds. The experiment was conducted completely randomized design with three replications.

Results and Discussion

The results showed that postharvest application of *trans*-cinnamic acid (0.1, 0.2 and 0.3 g/L) decreased ion leakage rate (12.9 %, 16.2 % and 8.2 %), malondialdehyde (10 %, 12 % and 24 %) and other aldehyds (22 %, 18.5 % and 26.8 %) content of stored strawberry fruits ($p < 0.01$) respectively, as the most important indicators of senescence. Moreover, total anthocyanins content and total antioxidant activity of strawberries increased in response to *trans*-cinnamic acid treatment. According to correlation coefficient analysis, there was a significant and negative correlation between total antioxidant activity with the electrolyte leakage rate, malondialdehyde and other aldehyds ($p < 0.01$). These results indicate that increasing total antioxidant activity has positive effect to suppress the activities related to senescence of stored berries. Moreover, postharvest application of *trans*-cinnamic acid (0.1, 0.2 and 0.3 g/L) had positive effect on organoleptic quality parameters and improved marketability of strawberry fruits (13%, 20 % and 9%). Treated strawberries with different concentrations of *trans*-cinnamic acid had lower titratable acidity, more total soluble solid, better color and taste. Statistically, *trans*-cinnamic acid did not have significant effect on firmness of strawberries. Also, Postharvest treatment of *trans*-cinnamic acid influenced the eating quality and marketability of strawberries. These findings suggest that postharvest application of *trans*-cinnamic acid, especially at the concentration of 0.2 g/L, was most effective in maintaining the quality and improving the marketability of strawberry fruits. This research showed the significant impact of *trans*-cinnamic acid on postharvest quality, antioxidant activity, delaying senescence and improving the marketability of strawberry fruits.

Conclusion

The findings of this study indicate that the senescence of strawberries delayed in response to *trans*-cinnamic acid treatment. Therefore, *trans*-cinnamic acid can play an effective role in increasing storage life and improving the marketability of strawberry fruit.