



## The effect of post-harvest trans-cinnamic acid treatment on delaying the aging process and improving the marketability of “Monterey” strawberries

Mohammadreza Asghari<sup>1</sup> , Pari Zahedipour Sheshglani<sup>2✉</sup> , Safaa Mohammed Ali Kadhim Al-Janabi<sup>3</sup> 

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. Email: [m.asghari@urmia.ac.ir](mailto:m.asghari@urmia.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. Email: [p.zahedipour@urmia.ac.ir](mailto:p.zahedipour@urmia.ac.ir)
3. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran. Email: [s.mahommedalikadhim@urmia.ac.ir](mailto:s.mahommedalikadhim@urmia.ac.ir)

| Article Info                                                                                                                                                     | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Article type:</b><br>Research Article                                                                                                                         | Applying natural and safe compounds is an effective method to preserve the quality and enhance the marketability of stored strawberries. This study investigated the effects of <i>trans</i> -cinnamic acid on delaying aging, maintaining quality, and improving the marketability of “Monterey” strawberries after storage (10 days at 1±1°C followed by 24 hours at room temperature).<br>Postharvest treatment with <i>trans</i> -cinnamic acid at concentrations of 0.1, 0.2, and 0.3 g/L reduced ion leakage, malondialdehyde, and other aldehyde contents—key indicators of strawberry aging. Additionally, <i>trans</i> -cinnamic acid increased the total anthocyanin content by approximately 12.5%, 19%, and 14.5%, and boosted the total antioxidant activity by 6.8%, 10.7%, and 9.2%, respectively, compared to the control. These results showed a significant negative correlation with the parameters related to senescence.<br>Strawberries treated with <i>trans</i> -cinnamic acid also exhibited better color and taste compared to the untreated fruits. Statistically, however, <i>trans</i> -cinnamic acid did not significantly affect fruit firmness. Moreover, using different concentrations of <i>trans</i> -cinnamic acid improved the marketability of strawberries by 13%, 20%, and 9%, respectively, compared to the control.<br>Overall, the results indicate that post-harvest application of <i>trans</i> -cinnamic acid—particularly at 0.2 g/L—has notable effects on preserving quality and enhancing the marketability of stored strawberries by delaying aging and increasing their antioxidant activity. |
| <b>Article history:</b><br>Received: 19 October 2024<br>Received in revised form: 22 January 2025<br>Accepted: 13 February 2025<br>Published online: Winter 2025 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Keywords:</b><br><i>Correlation coefficient, Ion leakage, Marketability, Quality indicators, Total antioxidant.</i>                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Cite this article:** Asghari, M. R., Zahedipour Sheshglani, P. & Al-Janabi, S. M. A. K. (2025). The effect of post-harvest trans-cinnamic acid treatment on delaying the aging process and improving the marketability of “Monterey” strawberries. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (4), 657-677. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.383860.2219>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.383860.2219>

**Publisher:** The University of Tehran Press.

## Extended Abstract

### Introduction

“Strawberries are widely cultivated and consumed globally. However, due to their delicate structure, they are highly sensitive to postharvest handling and have a very limited shelf life. Cinnamic acid, an aromatic carboxylic acid derived from phenylalanine, is a safe, natural compound known for its antioxidant and antimicrobial properties. This study investigates the effectiveness of trans-cinnamic acid in delaying senescence and enhancing antioxidant activity in ‘Monterey’ strawberries to maintain fruit quality and improve marketability after 10 days of storage at  $1\pm1^{\circ}\text{C}$ , followed by 24 hours at room temperature.”

### Material and Methods

Strawberry fruits (*Fragaria* × *ananassa* cv. Monterey) were harvested at the full ripe stage from a commercial greenhouse and immediately transported to the laboratory. Healthy and uniform strawberries were selected and divided into three groups. The fruits were immersed in trans-cinnamic acid solutions at concentrations of 0.1, 0.2, and 0.3 g/L for 3 minutes, then packed in polyethylene boxes (20×15×12 cm) and stored for 10 days at  $1\pm1^{\circ}\text{C}$ . Control samples were treated with distilled water for the same duration. After the storage period, all fruits were kept at room temperature for 24 hours to simulate commercial conditions. Subsequently, sampling was carried out to assess quality traits and biochemical compounds. The experiment was arranged in a completely randomized design with three replicates.

### Results and Discussion

The study revealed that applying trans-cinnamic acid (at concentrations of 0.1, 0.2, and 0.3 g/L) after harvest significantly reduced key indicators of senescence in stored strawberries ( $p < 0.01$ ). These indicators included:

- **Ion leakage rate:** Decreased by 12.9%, 16.2%, and 8.2%, respectively.
- **Malondialdehyde content:** Decreased by 10%, 12%, and 24%, respectively.
- **Other aldehydes content:** Decreased by 22%, 18.5%, and 26.8%, respectively.

Furthermore, the treatment with trans-cinnamic acid led to an increase in both the total anthocyanins content and the total antioxidant activity of the strawberries.

Correlation analysis showed a significant negative correlation ( $p < 0.01$ ) between total antioxidant activity and electrolyte leakage rate, malondialdehyde, and other aldehydes. This suggests that enhanced antioxidant activity plays a crucial role in inhibiting senescence-related processes in stored berries.

The postharvest application of trans-cinnamic acid (0.1, 0.2, and 0.3 g/L) also positively impacted organoleptic quality parameters, improving the marketability of the strawberries by 13%, 20%, and 9%, respectively. Strawberries treated with varying concentrations of trans-cinnamic acid exhibited:

- Lower titratable acidity
- Higher total soluble solids
- Improved color and taste

Statistically, trans-cinnamic acid did not significantly affect the firmness of the strawberries.

Overall, postharvest treatment with trans-cinnamic acid influenced the eating quality and marketability of strawberries. The findings strongly suggest that applying trans-cinnamic acid after harvest, particularly at a concentration of 0.2 g/L, was most effective in preserving quality and enhancing the market appeal of strawberry fruits. This research underscores the significant positive effects of trans-cinnamic acid on postharvest quality, antioxidant capacity, delaying senescence, and improving the marketability of strawberries.

### Conclusion

The findings of this study indicate that trans-cinnamic acid delayed strawberry senescence. Therefore, it has the potential to extend storage life and improve the marketability of strawberry fruit.

### Author Contributions

M. Asghari and P. Zahedipour Sheshglani conceived and planned the experiments. P. Zahedipour Sheshglani and S. Mohammed Ali Kadhim Al-Janabi carried out the experiments. P. Zahedipour Sheshglani analyzed data. P. Zahedipour Sheshglani wrote the first manuscript. M. Asghari, P. Zahedipour Sheshglani and S. Mohammed Ali Kadhim Al-Janabi contributed to the interpretation of the results. All authors provided critical feedback

and helped shape the research, analysis and manuscript.

***Data Availability Statement***

Data available on request from the authors.

***Acknowledgements***

The authors would like to thank the research council of the University of Urmia, Iran for the financial support of this research.

***Ethical considerations***

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

***Conflict of interest***

The author declares no conflict of interest.

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

محمد رضا اصغری<sup>۱</sup> | پری زاهدی پور ششگلانی<sup>۲</sup> | صفا محمد علی کاظمی<sup>۳</sup> |

۱. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [m.asghari@urmia.ac.ir](mailto:m.asghari@urmia.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [p.zahedipour@urmia.ac.ir](mailto:p.zahedipour@urmia.ac.ir)

۳. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: [s.mahommedalikadhim@urmia.ac.ir](mailto:s.mahommedalikadhim@urmia.ac.ir)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                             | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>نوع مقاله:</b><br><br>مقاله پژوهشی                                                                                                     | استفاده از ترکیبات طبیعی و سالم روشی مؤثر در حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه توت فرنگی در دوره پس از برداشت می باشد. در این تحقیق تأثیر تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید در به تأخیر انداختن روند پیری و زوال محصول و همچنین حفظ شاخص های کیفی و بهبود بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم مونتری در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای ۱±۱ درجه سانتی گراد و ۲۴ ساعت در دمای اتاق) مورد بررسی قرار گرفت. ترانس-سینامیک اسید در غلظت های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر موجب مهار شاخص های مرتبط با پیری میوه توت فرنگی نظیر نشت یونی، مالون دی آلدئید 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 آنتی اکسیدانی کل میوه های توت فرنگی به میزان ۶/۸، ۱۰/۷ و ۹/۲ درصد نسبت به نمونه شاهد شد که این نتایج همبستگی معنی داری در مهار واکنش های مرتبط با پیری میوه توت فرنگی نشان دادند. ترانس-سینامیک اسید تأثیر مثبت بر حفظ رنگ و بهبود طعم میوه های توت فرنگی داشت و از نظر آماری تأثیر معنی داری بر سفتی میوه ها نشان نداد. ترانس-سینامیک اسید (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر) تأثیر چشم گیری در بهبود بازارپسندی میوه توت فرنگی به میزان ۱۳، ۲۰ و ۹ درصد نسبت به نمونه های شاهد داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که ترانس-سینامیک اسید ۰/۲ گرم بر لیتر تأثیر بهتری در مهار واکنش های مرتبط با پیری و زوال میوه، افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی، حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی توت فرنگی در پایان دوره انبارداری داشته است. |
| <b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۷/۲۸<br><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۰۳<br><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۲۵<br><b>تاریخ انتشار:</b> زمستان ۱۴۰۴ |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>کلیدواژه ها:</b><br>آنتی اکسیدان کل، بازارپسندی، شاخص های کیفی، ضریب همبستگی، نشت یونی.                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**استاد:** اصغری، محمد رضا؛ زاهدی پور ششگلانی، پری و الجنبانی، صفا محمد علی کاظمی (۱۴۰۴). تأثیر تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید در به تأخیر انداختن روند پیری

و بهبود بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم مونتری. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۴)، ۶۷۷-۶۵۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.383860.2219>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.383860.2219>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

## مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) میوه‌ای پرمصرف با ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که به‌صورت گسترده در سراسر جهان مورد کشت قرار می‌گیرد. با این حال، حساسیت بالای این محصول به آلودگی‌های پاتوزنی و ماندگاری بسیار کوتاه آن در دوره پس‌از برداشت از مشکلات مهم در تولید و عرضه این محصول می‌باشد (Sun et al., 2020) به‌طوری‌که ماندگاری این میوه در شرایط دمایی صفر درجه سانتی‌گراد در حدود ۱۵ روز و در شرایط دمایی ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد در حدود ۳-۴ 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 محیط‌زیست به عنوان رویکردی نوین برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Peretto et al., 2014) و سینامیک‌اسید به عنوان ترکیبی سالم با اثربخشی مطلوب نقش مؤثری در دستیابی به این اهداف دارد (Shi et al., 2024; Wu et al., 2024).

سینامیک‌اسید، یک کربوکسیلیک‌اسید آروماتیک و طبیعی است که از مسیر شیکمیک‌اسید و از طریق دامیناسیون فنیل‌آلانین توسط آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز سنتز می‌شود. سینامیک‌اسید دارای خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد سرطانی، محافظت‌کننده 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. سینامیک‌اسید به دلیل خاصیت آروماتیک به عنوان یک ماده معطر در لوازم آرایشی، طعم‌دهنده‌ها و مواد شوینده آرایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ugazio et al., 2008). در سال ۱۹۶۵، استفاده از سینامیک‌اسید و مشتقات آن در کشاورزی به تأیید FDA<sup>۱</sup> رسیده است (Liu et al., 1995). هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر ترانس-سینامیک‌اسید در مهار تنش اکسیداتیو و به تأخیر انداختن روند پیری محصول در جهت حفظ کیفیت و بهبود بازپسندی 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

ظرفیت سینامیک‌اسید 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 علف‌هرز سس (Moreno-Robles, 2023) توسط محققین گزارش شده است. همچنین سینامیک‌اسید و مشتقات آن پتانسیل لازم را برای کنترل بیماری‌های پس‌از برداشت، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی دارند (Zhang et al., 2023). سینامیک‌اسید از طریق تخریب غشاء 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). این ماده همچنین با تخریب تمامیت غشاء سلولی مسیلیوم‌های قارچ بوتریتیس و افزایش میزان گونه‌های اکسیژن فعال به‌طور مستقیم از رشد قارچ *Botrytis cinerea* در حبه‌های انگور انبارشده جلوگیری می‌کند. در عین حال، سینامیک‌اسید از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل 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). استفاده از مشتقات سینامیک‌اسید در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی نتایج رضایت‌بخشی داشته است. کاربرد صد میکرومول در لیتر ۴-متوکسی سینامیک‌اسید درصد باز شدن کلاهدک قارچ،<sup>۲</sup> میزان قهوه‌ای شدن و نشت یونی، محتوای مالون‌دی‌آلدئید، شکل‌گیری آنیون سوپراکسید و شدت تنفس را به‌طور چشمگیری کاهش داده و در عین حال تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل داشته است (Hu et al., 2015). نتایج متعددی در خصوص تأثیر کاربرد سینامیک‌اسید و مشتقات آن در مهار قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی (Hu et al.,

<sup>1</sup>Food and Drug Administration

<sup>2</sup>4-Methoxycinnamic acid

(2016) و برش‌های تازه میوه تارو (Xiao et al., 2022) در دوره پس‌از برداشت ثبت شده است. مطابق تحقیقات انجام گرفته، پوشش خوراکی صمغ عربی به همراه سینامیک‌اسید اثر هم‌افزایی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه انبه پس از ۲۸ روز انبارداری در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد داشته است به‌طوری‌که تیمار صمغ عربی بیست درصد به همراه سینامیک‌اسید ۰/۲ درصد بیشترین تأثیر را در حفظ سفتی بافت، اسیدیته کل، فلاونوئید و کاروتنوئید کل و حفظ کیفیت خوراکی محصول داشته است. افزون‌براین، این تیمارها موجب سرکوب فعالیت آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، پکتین‌متیل‌استراز و سلولاز به‌عنوان آنزیم‌های دخیل در هضم دیواره سلولی شدند (Gill et al., 2024).

## روش شناسی 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 پس‌از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. توت‌فرنگی‌های یکسان از نظر اندازه و رنگ و عاری از هرگونه آلودگی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیک انتخاب شد و جهت تیمار با محلول‌های موردنظر به‌صورت کاملاً تصافی تقسیم شدند. جهت تهیه محلول ترانس-سینامیک‌اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر، ابتدا مقدار موردنظر 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 موردنظر رسانده شدند. میوه‌های توت‌فرنگی به مدت ۳ دقیقه داخل محلول‌های تهیه‌شده غوطه‌ور شدند و پس از خشک‌شدن کامل، 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 موردنظر انجام گرفت.

### اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل‌تیتراسیون و محاسبه شاخص طعم

میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتمتر دستی (ATAGO, Japan) و pH آب میوه توت‌فرنگی توسط دستگاه پی‌اچ‌متر دیجیتال (pH-Meter CG 824) اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان اسیدیته قابل‌تیتراسیون، 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 برحسب میلی‌گرم سیتریک‌اسید در میلی‌لیتر 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 سفتی‌سنج دیجیتال (Texture Analyzer TA-XT Plus, UK) مجهز به پروب ۲ میلی‌متر 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 شاخص-های  $a^*$ ،  $b^*$  محاسبه شدند (Jiang et al., 2011).

**ارزیابی میزان بازارپسندی محصول براساس کیفیت ظاهری و نمره دهی**

بازارپسندی میوه های توت فرنگی در پایان دوره انبارداری با در نظر گرفتن شاخص های کیفی ظاهری نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی، سفتی و انسجام ساختاری محصول، مزه و عطر (مطابق جدول ۱) و نمره دهی ۱ تا ۵ برای هر بسته توت فرنگی به صورت ۱: خیلی ضعیف (غیر قابل خوردن)، ۲: ضعیف (کیفیت خوراکی بسیار ضعیف)، ۳: قابل قبول، ۴: خوب و ۵: بسیار خوب انجام پذیرفت (Kelly et al., 2016).

**جدول ۱.** جدول ارزیابی میزان بازارپسندی میوه توت فرنگی براساس شاخص های کیفی نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی، سفتی، طعم و عطر (Kelly et al., 2016)

| نمره دهی و توضیح هر یک از شاخص های کیفی                            |                                                   |                                                                |                                                                  |                                                                      |         |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------|
| ۱: بسیار ضعیف                                                      | ۲: ضعیف                                           | ۳: قابل قبول*                                                  | ۴: خوب                                                           | ۵: عالی                                                              |         |
| بسیار تیره به رنگ قرمز-بنفش، میوه هایی با رسیدگی بسیار شدید یا پیر | قرمز تیره، میوه های بسیار رسیده                   | قرمز کامل                                                      | قرمز کامل روشن                                                   | رنگ گیری ۳/۴ تا رنگ-گیری کامل میوه، قرمز روشن                        | رنگ     |
| شدیداً کم آب و خشک                                                 | پژمردگی شدید: میوه ها 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              | میوه ها کاملاً تازه و آب دار، کالیکس با ظاهر تازه و با تورژسانس کامل | پژمردگی |
| صددرد، ظهور علائم هاگ زایی، پوسیدگی کامل یا بخشی از میوه           | ۷۵ درصد، رشد متوسط تا زیاد مسیلیوم ها             | ۵۰ درصد، ظهور لکه هایی با علائم پوسیدگی و با رشد مختصر مسیلیوم | ۲۵ درصد، ظهور رنگ قهوه ای مختصر (نشانه ای از آغاز علائم پوسیدگی) | صفر درصد، بدون تغییرات قابل مشاهده در بافت                           | پوسیدگی |
| به شدت نرم یا بافتی تخریب شده                                      | نرم و آبکی                                        | نرم شدگی مختصر در بافت                                         | بافت سفت با تورژسانس کم                                          | بسیار سفت با تورژسانس بالا                                           | سفتی    |
| بسیار ضعیف، طعم ناخوشایند، غیر قابل خوردن                          | ضعیف، میوه ها با طعم تخمیری و ناخوشایند           | قابل قبول اما با کاهش مختصر در طعم مطلوب توت فرنگی             | طعم خوب، تازه و شیرین                                            | عالی با طعم مطبوع و خوشایند میوه توت-فرنگی                           | طعم     |
| بسیار ضعیف، عطر ناخوشایند                                          | ضعیف                                              | قابل قبول                                                      | خوب                                                              | عالی، سرشار از عطر مخصوص میوه توت-فرنگی                              | عطر     |

**اندازه گیری نشت یونی**

از دستگاه هدایت سنج (ELICO (R) CM 180, cell constant 1.04) برای تعیین میزان نشت یونی میوه های توت فرنگی استفاده شد (Jiang et al., 2001). دو عدد میوه توت فرنگی هم اندازه از وسط برش داده شده و به ظروف شیشه ای حاوی صد میلی متر آب مقطر منتقل شدند. شیشه ها در دستگاه اتوکلاو (دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد، فشار ۱/۵ اتمسفر) به مدت بیست دقیقه قرار گرفتند. هدایت الکتریکی (EC) نمونه ها قبل و بعد از اتوکلاو در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد اندازه گیری شد و نتایج برحسب میکروزیمنس در صد گرم وزن تر به دست آمد. در نهایت، برای محاسبه میزان نشت یونی از فرمول زیر استفاده شد:

$$100 \times ((EC) \text{ قبل از اتوکلاو} / (EC) \text{ بعد از اتوکلاو} - EC) = \text{میزان نشت یونی (درصد)}$$

### اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها

میزان پراکسیداسیون لیپیدها ا طریق تعیین میزان مالون‌دی‌آلدئید تولیدشده در محلول واکنش محاسبه شد. برای اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها (۱- پروپانال، ۱- بوتانال، ۱- هگزانال، ۱- هپتانال و ۱- پروپانال- دیمیتیل استال)، ۰/۵ گرم بافت میوه توت‌فرنگی با پنج میلی‌لیتر بافر استخراج حاوی تریکلرواستیک‌اسید بیست درصد و EDTA ۱/۵ میلی‌مولار عصاره‌گیری شد. پس از سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دمای چهار درجه سانتی‌گراد به مدت ده دقیقه) دو میلی‌لیتر از روشناور با دو میلی‌لیتر از تریکلرواستیک‌اسید ده درصد حاوی تیوباربیتوریک‌اسید ۰/۶ درصد مخلوط شد. محلول حاصل به مدت یک ساعت در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد انکوبه شده و سپس بلافاصله توسط حمام یخ خنک شد. نمونه‌های موجود مجدداً در ۸۰۰ دور به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ شدند. بعد از رقیق‌سازی با آب مقطر، در طول موج‌های ۵۳۲، ۴۵۵ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شدند (Kosugi & Kikugawa, 1985). ضریب خاموشی مالون‌دی‌آلدئید 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  $10^5 \times 0.56$  مول بر سانتی‌متر می‌باشد.

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

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

### اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

میزان آنتوسیانین کل میوه‌های توت‌فرنگی براساس جذب عصاره‌های استخراج‌شده 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 سه میلی‌لیتر بافر استخراج هیدروکلریک‌اسید-پتاسیم‌کلراید ۰/۲ مولار (pH: ۱) و بافر استیک‌اسید-سدیم‌استات ۱ مولار (pH: ۴/۵) هموژنیزه شدند. عصاره‌های استخراج‌شده بعد از انکوبه شدن به مدت دو ساعت در دمای اتاق به مدت ده دقیقه سانتریفیوژ شدند. نمونه‌های استخراج‌شده 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 میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلوکوزاید در صد گرم وزن تر بیان شد.

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

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

$\Delta A$ : تغییرات جذب در pHهای ۱ و ۴/۵، MW: وزن مولکولی سیانیدین (۴۴۹/۲ گرم بر مول)، DF: نسبت رقیق‌شدگی، V: حجم نهایی عصاره (میلی‌لیتر)،  $\varepsilon$ : ضریب خاموشی سیانیدین-۳-گلوکوزید (۲۹۶۰۰ میلی‌مولار بر سانتی‌متر)، L: طول سل (۱ سانتی‌متر) و Wt: وزن نمونه (گرم).

### سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل براساس DPPH<sup>•</sup>

رادیکال آزاد 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH<sup>•</sup>) برای ارزیابی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی ۲۸ میکرولیتر عصاره استخراج‌شده توسط متانول هشتاد درصد، ۲۸ میکرولیتر محلول DPPH<sup>•</sup> سه میلی‌مولار 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 ده دقیقه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید (Cao et al., 2011).

از فرمول  $[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$  درصد ممانعت رادیکال (DPPH<sup>•</sup>) برای محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH<sup>•</sup> استفاده شد (A0: میزان جذب محلول DPPH<sup>•</sup> و A1: میزان جذب نمونه).

### 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 بیست عدد میوه توت‌فرنگی داخل هر جعبه پلی‌اتیلنی بود. برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS (Version 9.1) استفاده شد و

مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

## یافته‌های پژوهش

### تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر PH، مواد جامد محلول، اسیدیت کل و شاخص طعم

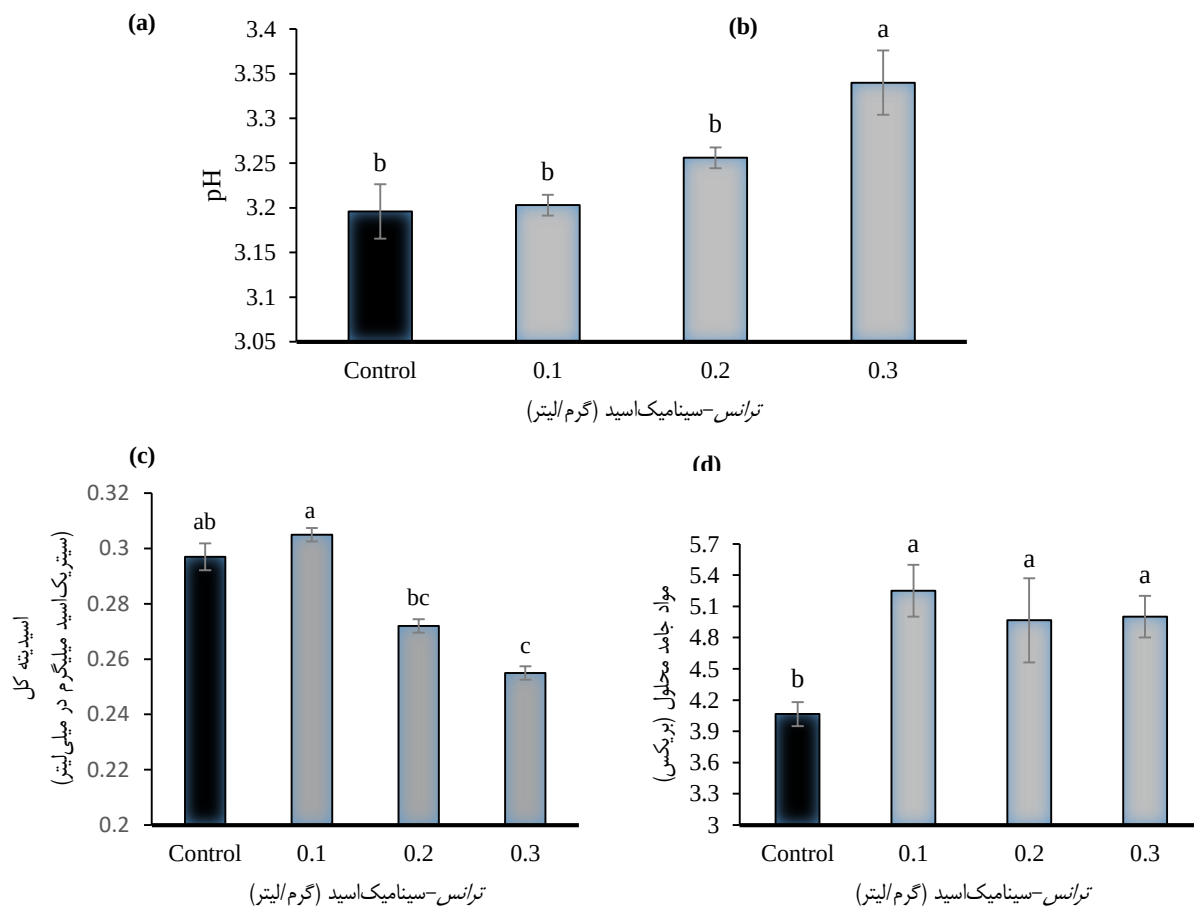
مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید تأثیر معنی داری بر میزان PH، اسیدیت کل، مواد جامد محلول و شاخص طعم میوه توت فرنگی در سطح احتمال یک درصد داشت. تیمار پس از برداشت سینامیک اسید در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر به ترتیب موجب افزایش PH به میزان ۰/۲، ۱/۸ و ۴/۳ 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 اسیدیت کل میوه‌های توت فرنگی 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 اسیدیت کل به عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی-ترشی) در توت فرنگی لحاظ می‌شود. در این پژوهش به دلیل تأثیری که ترانس-سینامیک اسید در کاهش میزان اسیدیت و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت فرنگی طی دوره انبارداری داشته، موجب آن شده 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 توت فرنگی رقم مونتری در پایان دوره انبارداری

| میانگین مربعات      |            |            |              |                 |               |           |                  |               |          |           |
|---------------------|------------|------------|--------------|-----------------|---------------|-----------|------------------|---------------|----------|-----------|
| منبع تغییرات        | درجه آزادی | PH         | اسیدیته کل   | مواد جامد محلول | شاخص طعم      | روشنایی   | سبزی- قرمزی      | آبی- زردی     | خلوص رنگ | زاویه هیو |
| ترانس- سینامیک اسید | ۳          | **۰/۰۱۳    | **۰/۰۰۱۵     | **۰/۸۰۶         | **۱۸/۹۷       | **۲/۸۰    | *۳/۷۶            | ns ۱/۷۹       | *۵/۱۲    | ns ۰/۰۰۰۵ |
| خطا                 | ۸          | ۰/۰۰۰۶     | ۰/۰۰۰۱       | ۰/۰۶۹           | ۱/۱۵          | ۰/۲۱      | ۰/۵۸             | ۰/۴۶          | ۰/۸۶     | ۰/۰۰۰۲    |
| ضریب تغییرات (درصد) |            | ۰/۷۶       | ۳/۹۱         | ۵/۴۷            | ۶/۲۶          | ۱/۷۹      | ۲/۹۴             | ۶/۳۲          | ۳/۳      | ۳/۹۱      |
| میانگین مربعات      |            |            |              |                 |               |           |                  |               |          |           |
| منبع تغییرات        | درجه آزادی | سفتی       | بازاری پسندی | آنتی اکسیدان کل | آنتوسیانین کل | نشست یونی | مالون دی- آلدئید | سایر آلدئیدها |          |           |
| ترانس- سینامیک اسید | ۳          | ns ۰/۰۰۰۳۱ | **۰/۳۶۱      | **۲۲/۹          | *۵۲/۴۱        | **۲۸/۵۹   | **۰/۰۴۳          | **۲/۲۳        |          |           |
| 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          |          |           |

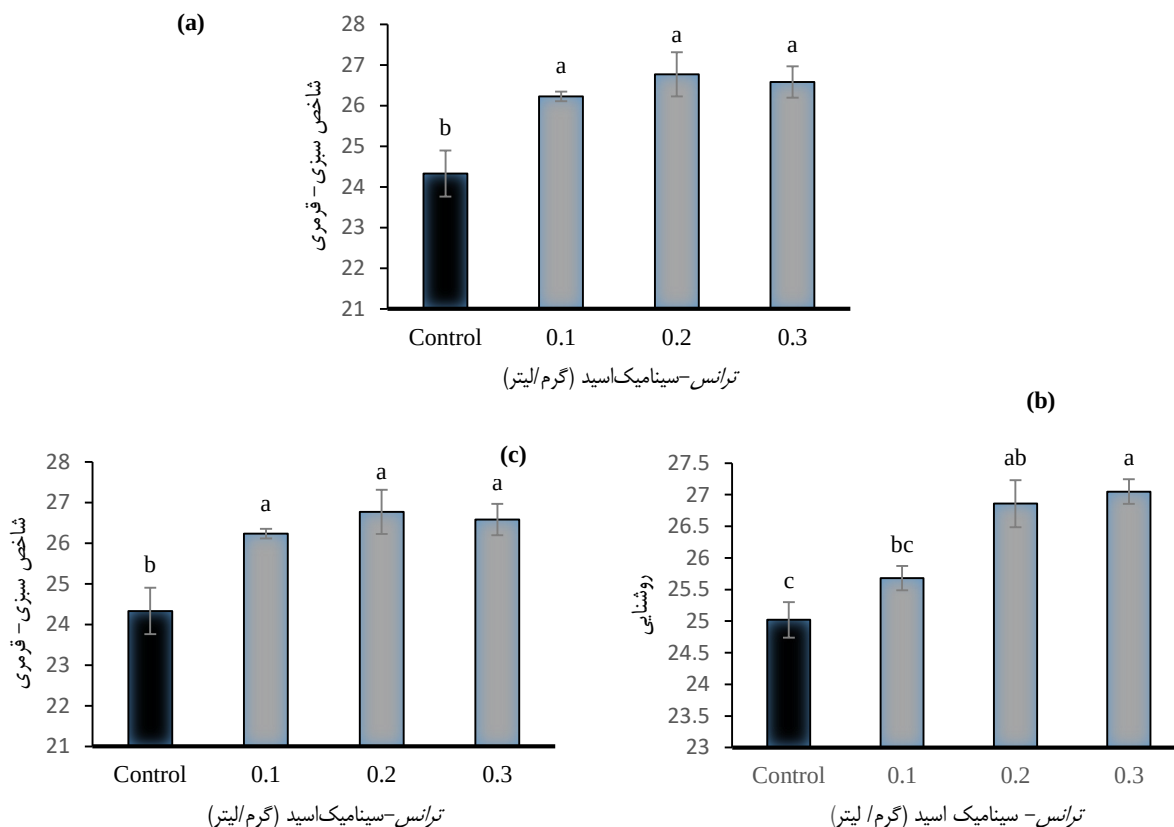
ns، \* و \*\* به ترتیب عدم معنی داری، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۱. تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر میزان pH (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

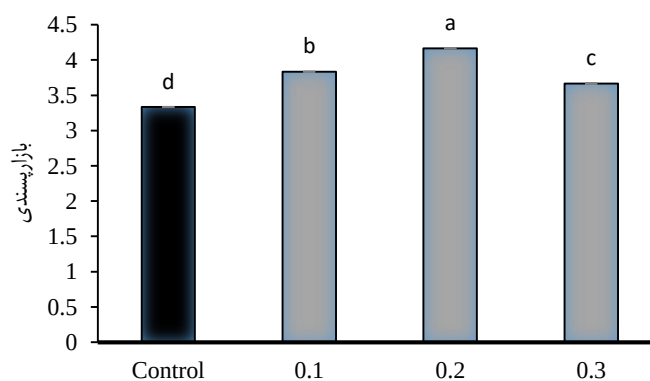
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید تأثیر معنی‌داری بر روشنایی، شاخص سبزی-قرمزی و خلوص رنگ میوه‌های توت‌فرنگی دارد به‌طوری‌که در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای  $1 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و ۲۴ ساعت در شرایط دمای اتاق)، میوه‌های تیمار شده با سینامیک اسید ۰/۳ گرم بر لیتر میزان روشنایی بیشتری نسبت به شاهد و سایر غلظت‌های سینامیک اسید (۰/۱ و ۰/۲ 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، اگرچه مطابق شکل ۲ (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 ترانس-سینامیک اسید بر روشنایی (a)، شاخص سبزی-قرمزی (b) و خلوص رنگ (c) میوه توت فرنگی در پایان دوره انبارداری.

### تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر سفتی و بازارپسندی

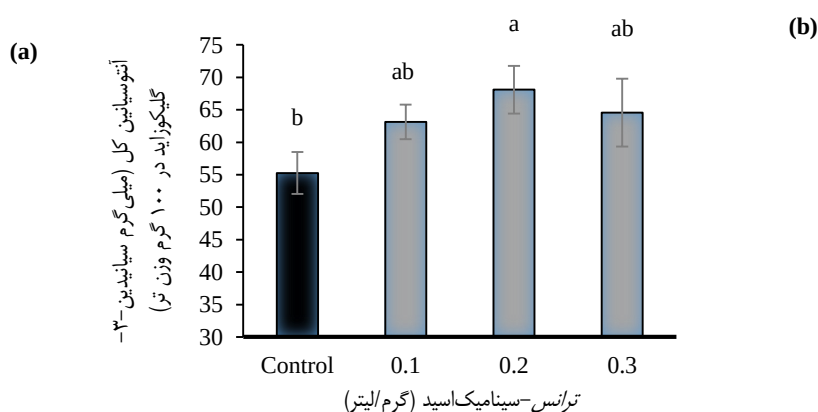
مطابق جدول تجزیه واریانس کاربرد پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید تأثیر معنی داری بر سفتی میوه های توت فرنگی نشان نداد ولی در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی داری بر بازارپسندی میوه توت فرنگی در پایان دوره انبارداری داشت (جدول ۲). مطابق شکل ۳، کاربرد پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید در غلظت های مختلف تأثیر مثبت در بهبود بازارپسندی میوه های توت فرنگی داشت و بیشترین میزان بازارپسندی در توت فرنگی های تیمار شده با ترانس-سینامیک اسید ۰/۲ گرم بر لیتر مشاهده شد.



### 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 پنج درصد بر میزان آنتوسیانین کل میوه های توت فرنگی داشته است. بیشترین میزان آنتوسیانین به میزان ۶۸/۰۹ میلی گرم در د گرم وزن تر از میوه های تیمار شده با ۰/۲ گرم برلیتر ترانس-سینامیک اسید به دست آمد به طوری که میزان آنتوسیانین میوه های توت فرنگی تیمار شده با ترانس-سینامیک اسید ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم برلیتر 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 یک درصد تأثیر معنی داری بر فعالیت آنتی اکسیدانی میوه های توت فرنگی در پایان دوره انبارداری (۱۰ روز در دمای  $1 \pm 1$  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 برلیتر مشاهده شد؛ اگرچه 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).



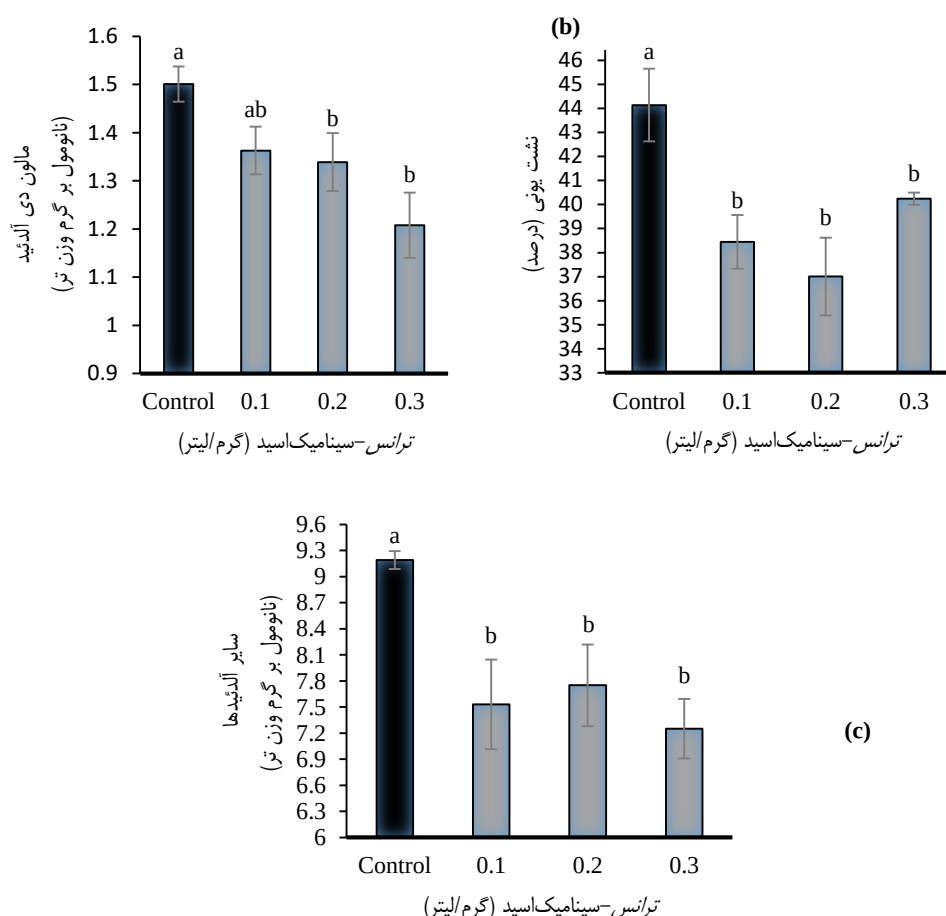
شکل ۴. تأثیر ترانس-سینامیک اسید بر میزان آنتوسیانین کل (a) و آنتی اکسیدان کل (b) میوه توت فرنگی در پایان دوره انبارداری.

### 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 یک 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 برلیتر 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-پروپانال-دی متیل استال، ۱-پروپانال، ۱-بوتانال و ۱-هگزانال) در میوه های توت فرنگی شد به طوری که محتوای مالون دی آلدئید میوه توت فرنگی در پاسخ به تیمار سینامیک اسید ۰/۳ گرم برلیتر 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 برلیتر 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).

- 11-heptanal
- 21-propanal-dimethylacetal
- 31-propanal
- 41-butanal
- 51-hexanal





(a)

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

### نتایج ضریب همبستگی

مطابق نتایج جدول ضریب همبستگی (جدول ۳)، همبستگی مثبت و معنی داری 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 معنی داری بین بازارپسندی و میزان نشت یونی ( $r = -0.90, p < 0.01$ ) و تجمع سایر آلدئیدها ( $r = -0.58, p < 0.05$ ) وجود دارد. این درحالیست که افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی می‌تواند تأثیر معنی داری در ممانعت از توسعه علائم مرتبط با پیری میوه‌های توت‌فرنگی داشته باشد به‌طوری که مطابق جدول ضریب همبستگی، همبستگی منفی و معنی داری در سطح احتمال یک درصد بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل با میزان نشت یونی ( $r = -0.80$ )، میزان مالون دی آلدئید ( $r = -0.73$ ) و تجمع سایر آلدئیدها ( $r = -0.75$ ) وجود دارد.

جدول ۳. جدول ضریب همبستگی بین بازارپسندی، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، آنتوسیانین و آنتی‌اکسیدان کل، نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها

| بازارپسندی      | روشنایی | سبزی-قرمزی | خلوص رنگ | اسیدپته کل | مواد جامد محلول | طعم     | آنتوسیانین کل | آنتی‌اکسیدان کل | نشت یونی | مالون دی-آلدئید | سایر آلدئیدها |
|-----------------|---------|------------|----------|------------|-----------------|---------|---------------|-----------------|----------|-----------------|---------------|
| بازارپسندی      | ۱       |            |          |            |                 |         |               |                 |          |                 |               |
| روشنایی         | ۰/۵۹*   | ۱          |          |            |                 |         |               |                 |          |                 |               |
| سبزی-قرمزی      | ۰/۷۱**  | ۰/۶۵*      | ۱        |            |                 |         |               |                 |          |                 |               |
| خلوص رنگ        | ۰/۷۳**  | ۰/۶۲*      | ۰/۹۹**   | ۱          |                 |         |               |                 |          |                 |               |
| اسیدپته کل      | ۰/۲۳-ns | ۰/۶۶*      | ۰/۴۸-ns  | ۰/۴۳-ns    | ۱               |         |               |                 |          |                 |               |
| مواد جامد محلول | ۰/۶۶*   | ۰/۵۲-ns    | ۰/۸۲**   | ۰/۸۰**     | ۰/۱۷-ns         | ۱       |               |                 |          |                 |               |
| طعم             | ۰/۶۰*   | ۰/۸۰**     | ۰/۸۴**   | ۰/۸۰**     | ۰/۷۰*           | ۰/۸۰**  | ۱             |                 |          |                 |               |
| آنتوسیانین کل   | ۰/۶۶*   | ۰/۴۵-ns    | ۰/۴۷-ns  | ۰/۴۶-ns    | ۰/۴۲-ns         | ۰/۳۰-ns | ۰/۴۸-ns       | ۱               |          |                 |               |
| آنتی-اکسیدان کل | ۰/۷۶**  | ۰/۷۱**     | ۰/۵۶-ns  | ۰/۵۲-ns    | ۰/۵۰-ns         | ۰/۶۴*   | ۰/۷۸**        | ۰/۷۴**          | ۱        |                 |               |
| نشت یونی        | ۰/۹۰**  | ۰/۵۱-ns    | ۰/۶۲*    | ۰/۶۴*      | ۰/۲۰-ns         | ۰/۶۳*   | ۰/۵۵-ns       | ۰/۷**           | ۰/۸**    | ۱               |               |
| مالون‌دی-آلدئید | ۰/۴۰-ns | ۰/۶۵*      | ۰/۵۹*    | ۰/۵۳-ns    | ۰/۶۹*           | ۰/۵۳-ns | -             | ۰/۸۰**          | ۰/۷۳**   | ۰/۵-ns          | ۱             |
| سایر آلدئیدها   | ۰/۵۸*   | ۰/۶۵*      | ۰/۷۵**   | ۰/۷۲*      | ۰/۴۶-ns         | ۰/۸۷**  | ۰/۹۰**        | ۰/۳-ns          | ۰/۷۵**   | ۰/۵-ns          | ۰/۸**         |

ns، \* و \*\* به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

## بحث

پیری و زوال محصولات باغی برنامه فیزیولوژیک تنظیم شده‌ایست که با تغییرات بیوشیمیایی و مولکولی همراه بوده و درنهایت، منجر به تجزیه و مرگ بافت‌های گیاهی می‌شود که توسط مجموعه‌ای از عوامل درونی و بیرونی نظیر ژنتیک، سیگنال‌های رشدی، هورمون‌ها و شرایط محیطی تنظیم می‌شود (Anwar et al., 2018). پیشرفت روند پیری در محصولات برداشت‌شده کیفیت محصول و مقاومت در برابر تنش‌های محیطی و آلودگی‌های پاتوزنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و درنهایت موجب کاهش کیفیت و بازارپسندی محصول برداشت‌شده می‌شود (Pott et al., 2020). توت‌فرنگی میوه‌ای حساس با شدت تنفس بالا (۲۵-۲۰ میلی‌لیتر دی اکسید 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، غیرفعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اختلال در یکپارچگی و عملکرد غشاء 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 به دست آمده از این آزمایش، ترانس-سینامیک/اسید نقش مؤثری در کاهش تنش اکسیداتیو و توسعه علائم مرتبط با آن داشته و در پایان دوره انبارداری توت‌فرنگی‌های تیمار شده با ترانس-سینامیک/اسید، نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید و آلدئید کمتری در مقایسه با نمونه شاهد داشتند.

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

آلدئیدها گروه دیگری از ترکیبات هستند که تجمع آنها به‌عنوان شاخص ارزیابی شدت پراکسیداسیون لیپیدها لحاظ می‌شود. آلدئیدها، دسته بزرگی از ترکیبات الکتروفیل حاوی گروه‌های آلدئیدی (CHO-) هستند که به‌طور اجتناب‌ناپذیر و پیوسته طی رشد و متابولیسم سلولی در موجودات زنده تولید می‌شوند (Huang *et al.*, 2020). در واقع آلدئیدها ترکیبات مشتق از فرآیند پراکسیداسیون لیپیدها به‌خصوص اسیدهای چرب غیراشباع می‌باشند که طی واکنش‌های آنزیمی یا غیرآنزیمی در گیاهان تولید شده و در بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیک و بیولوژیک نقش دارند. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که وجود آلدئیدها در سلول‌های گیاهی و در غلظت‌های مناسب در پاسخ گیاه به انواع تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی، نوری، دمایی و کمبود عناصر غذایی مهم می‌باشند. از طرف دیگر، آزمایش‌های انجام‌گرفته نشان داده که افزایش آلدئیدها در سلول‌های گیاهی و همچنین کاربرد خارجی آلدئیدها در غلظت‌های بالا موجب آسیب به پروتئین و اسیدهای نوکلئیک شده، هموستاز ردوکس سلول‌های گیاهی را مختل کرده و مانع از رشد و نمو طبیعی گیاه شده است. بنابراین آلدئیدها در غلظت‌های نامناسب به‌عنوان ترکیبات سمی و مضر برای گیاه شناخته می‌شوند. در واقع آلدئیدها به‌عنوان نشانگرهای زیستی برای ارزیابی وضعیت سلامتی گیاه در نظر گرفته می‌شوند. طبق تحقیقات ژنتیک، ملکول‌های کوچکی نظیر کارنوزین و گلوتاتیون از طریق جاروب کردن آلدئیدها نقش مؤثر در بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیک و رشدنمو گیاهان دارند (Liang *et al.*, 2022; LoPachin & Gavin, 2014).

درخصوص تأثیر سینامیک‌اسید در کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید می‌توان به کاربرد پس از برداشت ۴-متوکسی‌سینامیک‌اسید به‌عنوان یکی از مشتقات سینامیک‌اسید اشاره کرد که تأثیر معنی‌داری در مهار فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز و کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید داشته است که با حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ خوراکی همراه بوده است (Hu *et al.*, 2020). درواقع، سینامیک‌اسید به‌دلیل داشتن گروه هیدروکسی فنولیک در ساختار شیمیایی خود دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و نقش مؤثر در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد دارد (Sova, 2012). از طرف دیگر، استفاده از سینامیک‌اسید به‌عنوان محرک خارجی موجب تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه نیز می‌شود که این افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی با کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه همبستگی دارد (Singh *et al.*, 2013). بنابراین می‌توان گفت که دلیل کاهش مالون‌دی‌آلدئید و نشت یونی و کاهش توسعه علائم پیری میوه توت‌فرنگی در تیمار ترانس-سینامیک‌اسید علاوه بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی ترانس-سینامیک‌اسید، همچنین تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی در پاسخ به تیمار ترانس-سینامیک‌اسید بوده است که موجب مهار تنش اکسیداتیو، حفظ تمامیت غشاء سلولی و مهار پیشرفت روند پیری در میوه‌های توت‌فرنگی شده که این یافته‌ها با نتایج سایر پژوهشگران درخصوص تأثیر سینامیک‌اسید در کاهش تجمع مالون‌دی‌آلدئید در قارچ خوراکی هم‌خوانی دارد (Cheraghi *et al.*, 2021).

1Redox homeostasis

2Biomarkers

3carnosine

4glutathione

افزایش در بیوستنر متابولیت‌های ثانویه و تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی از عوامل تأثیرگذار در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه‌های توت‌فرنگی می‌باشد (Koyama *et al.*, 2022). آنتوسیانین‌ها مهم‌ترین ترکیب پلی‌فنی شناخته شده در میوه توت‌فرنگی می‌باشند که عامل ایجاد رنگ قرمز میوه بوده و علاوه بر تأثیر مثبت بر کیفیت ارگانولپتیکی محصول، ارزش تغذیه‌ای و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر آن، آنتوسیانین‌ها نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه در برابر شرایط محیطی تنش‌زا دارند و به طرق مختلف از جمله فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میانجی‌گری در آبشارهای سیگنالینگ تحریک شده توسط گونه‌های اکسیژن فعال و همچنین از طریق کلاته کردن عناصر سنگین در تنظیم سیستم دفاعی گیاه نقش دارند (Naing & Kim, 2021; Zhang *et al.*, 2018). بیش از ۲۵ نوع متفاوت از رنگدانه‌های آنتوسیانین در میوه توت‌فرنگی شناسایی شده است. پلارگونیدین -۳- گلوکوزاید به میزان ۹۵-۸۹ درصد و سیانیدین -۳- گلوکوزاید به میزان ۱۰/۶-۳/۹ درصد از آنتوسیانین کل را تشکیل می‌دهند، که جزء مهم‌ترین آنتوسیانین‌های موجود در میوه توت‌فرنگی می‌باشند. بیوستنر و تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله آنتوسیانین‌ها در پاسخ به الیستورهای خارجی تأثیر مستقیم در بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی محصول دارند و علاوه بر تأثیر مثبت در افزایش مقاومت محصول در برابر شرایط تنش‌زای دوره پس از برداشت که تأثیر مثبتی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باگی دارند، ارزش تغذیه‌ای محصول را نیز بهبود می‌بخشند (Sirijan *et al.*, 2020). در این تحقیق تیمار ترانس-سینامیک اسید تأثیر مثبت و معنی‌داری در افزایش میزان آنتوسیانین کل و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی داشته است. در فلقل شیرین نیز، تیمار خارجی سینامیک اسید از طریق تأثیری که بر افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین بیوستنر آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی نظیر فلاونوئیدها داشته، موجب افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش شوری شده است (Lin *et al.*, 2020). در تحقیق حاضر و مطابق نتایج جدول ضریب همبستگی (جدول ۳)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌های توت‌فرنگی همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان نشت یونی، مالون‌دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها داشته است. بنابراین تأثیر مثبت ترانس-سینامیک اسید در افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه مهار واکنش‌های مرتبط با پیری محصول، موجب حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه‌های توت-فرنگی شده است.

اسید سیتریک، اسید مالیک، اسید گلیکولیک، اسیدهای شیکمیک و اسید آسکوربیک اسیدهای آلی موجود در میوه توت-فرنگی می‌باشند. با این حال، اسیدسیتریک، اسید غالب در میوه توت‌فرنگی بوده و در حدود نود درصد از محتوای اسیدیت کل میوه مربوط به آن می‌باشد (Sturm *et al.*, 2003; Montero *et al.*, 1996). اسیدهای آلی تأثیر مستقیمی بر طعم محصول باگی دارند. در عین حال، موجب تنظیم pH سلولی شده و می‌توانند ظهور رنگ‌دانه‌ها را در بافت گیاهی متأثر نمایند (Montero *et al.*, 1996). در حالت کلی، کاهش میزان اسیدهای آلی در محصولات باگی با افزایش میزان pH همبستگی دارد و طبق گزارشات، اسیدهای آلی به‌طور مستقیم به‌عنوان سوبسترا در فعالیت‌های تنفسی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Igamberdiev & Eprintsev, 2016). با شروع فرآیند رسیدن محصولات باگی و در دوره پس از برداشت، هیدرولیز ترکیبات پلی-ساکاریدی به مونو-ساکارید و دی-ساکارید موجب تغییر در میزان قندهای محلول محصول می‌شود که همین موضوع تأثیر مستقیم بر طعم محصولات باگی خواهد داشت (Rahman *et al.*, 2016). نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار پس از برداشت ترانس-سینامیک اسید نقش معنی‌داری در کاهش میزان اسیدیت کل و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی داشته است که همین امر موجب تغییر شاخص طعم میوه‌های توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری شد. نسبت مواد جامد محلول به اسیدیت کل به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی-ترشی) در محصولات نظیر پرتقال و توت‌فرنگی لحاظ می‌شود (Ikegaya *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2018). در این پژوهش به دلیل تأثیری که ترانس-اسیدسینامیک در کاهش میزان اسیدیت و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی دارد موجب شده که در پایان دوره انبارداری میوه‌های تیمار شده طعم بهتری نسبت به نمونه شاهد داشته باشند.

رنگ، یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت ظاهری میوه‌ها و سبزیجات تازه می‌باشد که تأثیر مستقیم بر بازارپسندی محصول دارد (do Nascimento Nunes, 2015). تغییر رنگ میوه توت‌فرنگی رسیده باوجود انبارداری این محصول در شرایط دمای پایین، به‌طورطبیعی رخ می‌دهد و موجب تیره‌شدن رنگ میوه توت‌فرنگی می‌شود که میزان این تغییر رنگ در بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت می‌باشد (Lee et al., 2022). بنابراین استفاده از ترکیبات طبیعی و سالم جهت حفظ کیفیت ظاهری محصول و بهبود بازارپسندی آن یکی از راه‌کارهای پیشنهادی در این خصوص می‌باشد. نقش سینامیک‌اسید و مشتقات آن به‌تنهایی یا در ترکیب با پوشش‌های خوراکی در جهت حفظ شاخص‌های رنگ و جلوگیری از قهوه‌ای‌شدن برخی از محصولات باغی نظیر میوه تازه‌برش‌خورده گلابی (Sharma & Rao, 2015)، میوه تازه‌برش‌خورده تارو (Xiao et al., 2022) و قارچ خوراکی (Cheraghi et al., 2022; Hu et al., 2015) گزارش شده است. سینامیک‌اسید از طریق سرکوب فعالیت آنزیم‌های قهوه‌ای‌شدن نظیر پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز، همچنین توسط افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی مانع از تغییر رنگ و کاهش کیفیت محصولات باغی طی دوره انبارداری می‌شود (Xiao et al., 2022). همچنین از جمله مکانیسم‌های سینامیک‌اسید، کاهش بیان ژن‌های دخیل در پراکسیداسیون و تخریب لیپیدهای غشاء سلولی، کاهش بیوستنر فلاونوئیدها و افزایش بیوستنر گلوکاتینون که موجب حفظ شاخص‌های رنگ و ممانعت از قهوه‌ای‌شدن میوه تازه‌برش‌خورده تارو بیان شده است (Wang et al., 2024).

وضعیت ظاهری میوه توت‌فرنگی نقش اساسی در ارزیابی میزان بازارپسندی محصول دارد. رنگ، سفتی و انسجام ساختاری محصول، عاری‌بودن از علائم پوسیدگی، عدم پژمردگی، عطر و طعم مطلوب محصول فاکتورهای هستند که بر میزان بازارپسندی و به‌دنبال آن، بر تصمیم مصرف‌کننده برای خرید یک محصول ب کیفیت تأثیر مستقیم دارند (Kelly et al., 2016). مطابق نتایج تیمار پس‌از برداشت ترانس-سینامیک‌اسید، تأثیر معنی‌دار و مثبتی در حفظ کیفیت و بهبود بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره انبارداری داشته است. تأثیر کاربرد سینامیک‌اسید و مشتقات آن در دوره پس‌از برداشت در حفظ شاخص‌های مرتبط با کیفیت ظاهری محصول و در نتیجه، افزایش ماندگاری آن در میوه‌های تازه‌برش‌خورده 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 مصرف‌کنندگان درخصوص استفاده از ترکیبات سالم و دوست‌دار محیط زیست در صنعت کشاورزی موجب شده که تمایل روبه‌رشدی به به‌کارگیری 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 پس‌از 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-سینامیک‌اسید نقش مؤثری در دستیابی به این اهداف داشته است.

## نتیجه‌گیری

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

## منابع

چراغی، حدیث؛ قنبری، فردین و صیدی، مهدی (۱۴۰۱). اثر کاربرد سینامیک‌اسید بر ماندگاری و کیفیت قارچ دکمه‌ای در دوره پس‌از 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. *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>
- 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/tpj.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>
- Nascimento Nunes (do), 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>
- 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->
- 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>