Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 4, Oct.-Nov. 2025, p. 359-376

Maintaining the Quality of Chico Fruit (*Manilkara zapota*) during Storage Using Amino Acids (Phenylalanine, Glutathione, and L-arginine) and Growth Regulator (Melatonin)

S. Ebrahimi Meymand[1], L. Jafari[1*], A. Mirzaalian Dastjerdi[1], A. Ramazanian[2]

1- Department of Horticulture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
(*- Corresponding Author Email: jafari.leila@hormozgan.ac.ir)
2- Department of Horticulture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 09.12.2024
Revised: 28.04.2025
Accepted: 03.05.2025
Available Online: 18.08.2025

How to cite this article:
Ebrahimi Meymand, S., Jafari, L., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Ramazanian, A. (2025). Maintaining the quality of Chico fruit (*Manilkara zapota*) during storage using amino acids (phenylalanine, glutathione, and L-arginine) and growth regulator (melatonin). *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(4), 359-376. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.91169.1389

Introduction

Sapodilla is a tropical fruit well-known for its sweet taste and soft texture. It is a fruit that continues to ripen naturally after being harvested. Therefore, the fruit harvesting time must be chosen carefully to ensure that the fruit reaches a stage of ripeness where it has the desired flavor and quality. Sapodilla continues to ripen naturally after harvest, so selecting the right time for picking is crucial for ensuring optimal flavor and quality. Proper post-harvest handling, such as controlling temperature and humidity, can extend its shelf life. Using edible coatings or suitable packaging also helps preserve its freshness and delay spoilage. Maintaining quality and reducing post-harvest fruit deterioration is one of the significant challenges in the agricultural supply chain, requiring effective protective methods. The spoilage of sapodilla fruit is due to its sensitivity to temperature conditions and water loss. Application of amino acids can help preserve its quality and extend its shelf life. In this study, phenylalanine, glutathione, melatonin, L-arginine, and control (distilled water) were applied to evaluate post-harvest quality of sapodilla over five storage periods with three replications.

Materials and Methods

First, sapodilla fruits were harvested from an orchard located in Rodan City at the stage of commercial maturity in the second half of July. Immediately after harvesting, the fruits were transported to the Horticultural Science Laboratory at the Faculty of Agriculture, University of Hormozgan. The harvested fruits were healthy and free from pests and diseases. They were selected based on uniform shape and weight. After being washed, the fruits were disinfected in a 1% sodium hypochlorite solution for 2 minutes. Following disinfection, the fruits were dried in ambient air.

The fruits were treated with four amino acids (phenylalanine (8 mM), glutathione (0.05%), melatonin (0.5 mM) and L-arginine (1 mM)) and control (distilled water) for 10 minutes. After the treatment, they were transferred to the cold room with a temperature of 8 ± 1 C° and a relative humidity of 90 ± 5 ٪. The factorial experiment was conducted in five storage times (0, 10, 20 30 and 40) in three replications as a completely random design and the quality and biochemical factors of sapodilla were measured.

Results and Discussion

In this study, the weight loss of Sapodilla fruit increased with storage time, while the treatments helped prevent weight loss. At the end of the 40-day storage, the phenylalanine treatment prevented 37.9% of the weight loss compared to the control. Phenylalanine treatment prevented 92.33% of the weight loss relative to the control. The

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.91169.1389

fruit firmness decreased over time, whereas treatments helped increase this parameter. The highest and lowest firmness values at the end of the experiment were observed in the melatonin and glutathione treatments (97.67 and 66.66 N, respectively), with the control having the lowest firmness (57.55 N). Soluble solids content increased over time. The highest and lowest soluble solids were found in the control and the treatments with arginine, melatonin, and glutathione, respectively. At the end of the 40-day experiment, the arginine, melatonin, and glutathione treatments reduced soluble solids content, compared to the control by 6.98%, 6.60%, and 6.41%, respectively. The greatest and least increases in soluble solids were observed in the control and the treatments with L-arginine and glutathione, respectively. After 40 days of storage, the L-arginine and glutathione treatments reduced the decay percentage by 45.81% and 41.43%, respectively, compared to the control. Glutathione treatment increased the ascorbic acid content of sapodilla fruit at most storage times. At the end of storage (40 days), glutathione treatment increased ascorbic acid content by 56.79% compared to the control. An increase in antioxidant activity was observed in Sapodilla fruit over time. On day 30 of storage, phenylalanine treatment increased antioxidant activity by 28.67%, and on day 40, melatonin treatment showed a 30.61% increase. This increase in antioxidant activity is considered a defense response to environmental and physiological stress during storage. At the end of 40-day storage period, catalase activity increased. The highest and lowest catalase activities were observed at 33.06 and 25.22 units/mg fresh weight, respectively. By day 40, catalase activity was increased to 31.08% in the arginine treatment compared to the control.

Conclusion

In conclusion, using these treatments, particularly phenylalanine, melatonin, and glutathione, can serve as effective strategies for preserving the quality of sapodilla fruit during long-term storage and mitigating the negative effects of physiological and environmental stress. These treatments not only reduce weight loss, maintain firmness, and prevent decay, but also improve the nutritional properties and health benefits of the fruit by enhancing antioxidant activity and defense enzyme levels. In the future, further research could focus on identifying the precise mechanisms by which these compounds influence the biochemical processes in sapodilla and other fruits. Furthermore, studying the long-term effects of these treatments, as well as their interactions with various environmental and physiological factors in real-world storage conditions, could pave the way for wider adoption of these strategies in the fruit storage and packaging industry. These investigations could enhance fruit preservation methods, minimize food waste, and prolong the shelf life of fruits and decresing postharvest loss.

Keywords: Antioxidant activity, Glutathione, L-arginine, Melatonin, Phenylalanine

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۱، شماره ٤، مهر- آبان ١٤٠٤، ص. ٣٧٦-٣٥٩

حفظ کیفیت میوه چیکو (*Manilkara zapota*) در مدت انبارمانی با کاربرد آمینواسیدها (فنیل‌آلانین، گلوتاتیون و ال‌آرژنین) و تنظیم‌کننده رشد (ملاتونین)

سلیمه ابراهیمی میمند[۱]- لیلا جعفری[۱*]- عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی[۱]- اصغر رمضانیان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

چکیده

فساد میوه چیکو (*Manikara zapota*) عمدتا به‌دلیل حساسیت به شرایط دمایی و کاهش رطوبت رخ می‌دهد که تأثیر منفی بر کیفیت و ماندگاری آن دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر آمینواسیدها و تنظیم‌کننده رشد بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی چیکو انجام شد. میوه‌ها به‌مدت ۲ دقیقه در محلول‌های فنیل‌آلانین (۸ میلی‌مولار)، گلوتاتیون (۰/۰۵ درصد)، ملاتونین (۰/۵ میلی‌مولار) و ال‌آرژنین (۱ میلی‌مولار) در مقایسه با شاهد (آب مقطر) غوطه‌ور شده و سپس در محیط خشک شدند. پس از اعمال تیمار، میوه‌ها در سردخانه با دمای ۱±۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۹۰ درصد نگهداری شدند. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد و ارزیابی کیفیت میوه‌ها در در پنج زمان انبارمانی (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز) صورت گرفت. پس از پایان دوره، میوه‌ها به‌مدت یک روز در دمای محیط (۲۵ درجه سلیسیوس) نگهداری شدند تا تغییرات کمی آنها بررسی شود. نتایج نشان داد که تیمار فنیل‌آلانین توانست به‌میزان ۹/۳۷ درصد از کاهش وزن میوه در ۴۰ روز نگهداری جلوگیری کند و در نهایت، سفتی بافت میوه چیکو در تیمارهای ملاتونین و گلوتاتیون نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۲/۳۱ و ۱۹/۹۵ درصد در پایان آزمایش افزایش یافت. همچنین، تیمار گلوتاتیون سبب افزایش ۵۶/۷۹ درصدی میزان اسید آسکوربیک نسبت به شاهد در ۴۰ روز نگهداری میوه شد. در پایان ۴۰ روز آزمایش، تیمارهای آرژنین، ملاتونین و گلوتاتیون به‌میزان ۶/۹۸، ۶/۶۰ و ۶/۴۱ درصد نسبت به شاهد سبب کاهش مواد جامد محلول در میوه چیکو شدند. افزون بر این در پایان زمان نگهداری، تیمار آرژنین توانست به‌میزان ۳۲ درصد اسید قابل تیتر میوه را افزایش دهد. این مطالعه نشان داد که تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق می‌توانند به‌طور مؤثری بر بهبود کیفیت و حفظ خصوصیات تغذیه‌ای میوه چیکو در طول دوره نگه‌داری مؤثر باشند. این نتایج پتانسیل استفاده از این ترکیبات را به‌عنوان راهکارهایی برای افزایش عمر مفید و حفظ کیفیت میوه‌ها تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آرژنین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنیل‌آلانین، گلوتاتیون، ملاتونین

مقدمه

چیکو یا ساپودیلا (*Manilkara zapota*) یکی از میوه‌های گرمسیری ارزشمند از خانواده Sapotaceae است که به‌دلیل طعم مطبوع، ارزش تغذیه‌ای بالا و کاربردهای صنعتی در کشورهای مختلفی از جمله ایران کشت می‌شود (Padmaja & John, 2014; Yahia & Gutierrez-Orozco, 2011). این میوه به‌ویژه در استان‌های جنوبی مانند سیستان و بلوچستان و هرمزگان تولید شده و در سال ۱۴۰۲ میزان برداشت آن از باغ‌های استان سیستان و بلوچستان بیش از ۱۲۰۰ تن گزارش شده است. چیکو سرشار از ترکیبات فعال زیستی، ویتامین‌ها، مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند پلی‌فنل‌ها و کاروتنوئیدها است که موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای و کاربرد دارویی آن می‌شود (Kaur, Singh, Singh & Sharma, 2020).

۱- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafari.leila@hormozgan.ac.ir)
۲- گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.91169.1389

با این حال، چیکو به‌دلیل ماهیت کلماتریک و نرخ بالای متابولیسم پس از برداشت، ماندگاری کوتاهی دارد و در مدت زمان کمی دچار نرم‌شدگی، تغییر رنگ، کاهش مواد جامد محلول و فساد می‌شود. افزایش فعالیت متابولیکی، تنفس و تولید اتیلن در طول دوره رسیدگی منجر به کاهش کیفیت و عمر پس از برداشت این میوه می‌شود (Bhutia, Pal, Sen, & Jha, 2011; da Silva Rios, Nakamoto, Braga, & da Silva, 2022; Padmaja & John, 2014). روش‌های مختلفی برای حفظ کیفیت و افزایش عمر انباری چیکو پیشنهاد شده است. انبارمانی در دمای پایین یکی از رایج‌ترین روش‌ها است، اما چیکو در دمای کمتر از ۱۴درجه سلیسیوس مستعد سرمازدگی و کاهش کیفیت می‌شود (Yahia & Gutierrez-Orozco, 2011). امروزه افزایش ماندگاری محصول‌های باغی توسط تیمارهای ارگانیک توجه زیادی را در دنیا به خود جلب کرده است (Singh, 2023).

ملاتونین یک ترکیب آمفی‌پاتیک، با وزن مولکولی کم است که به‌عنوان محرک زیستی، آنتی‌اکسیدان و تنظیم‌کننده رشد گیاهان تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی عمل می‌کند (Hu, Luo, An, & Li, 2022). این ترکیب با افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی و حذف ROS، تحمل گیاهان را به سرما و سایر تنش‌ها بهبود می‌بخشد (Zhang *et al*., 2015). همچنین، تیمار برون‌زا با ملاتونین می‌تواند سرمازدگی را کاهش داده و از طریق تجمع فنل‌ها و مهار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، آسیب اکسیداتیو را محدود کند (Madebo, Hu, Zheng, & Jin, 2021). مطالعات قبلی نشان می‌دهد که تیمار پس از برداشت ملاتونین خارجی می‌تواند تحمل سرما را افزایش داده و کیفیت بهتر میوه‌ها در انبار سرد مانند انار (Aghdam *et al*., 2020)، گیلاس (Miranda *et al*., 2020) و گوجه‌فرنگی (Aghdam *et al*., 2019)، چریمویا (Medina-Santamarina, Guillén, Valero, Castillo, & Serrano, 2023) شود. در تحقیقی ملاتونین ۰/۵ میلی‌مول بر لیتر در میوه انبه، شاخص آسیب سرمازدگی، نشت الکترولیت و محتوای مالون دی‌آلدئید را کاهش داد در حالی‌که مقدار Fv/Fm بالاتری را حفظ کرد (Xu *et al*., 2023).

آرژنین یک آمینواسید کاتیونی با فعالیت ضدمیکروبی قوی است که از طریق ساختار غشای سلولی، بر میکروارگانیسم‌ها تأثیر می‌گذارد (Ma Qiumin, Davidson, & Zhong, 2020). این ترکیب، پیش‌ماده‌ای برای بیوسنتز پلی‌آمین‌ها و مولکول‌های سیگنال‌دهنده مانند اکسید نیتریک (NO) با حذف ROS، پیری را به تأخیر انداخته و از کاهش وزن و کم آبی سریع میوه‌ها جلوگیری می‌کند (Hasan *et al*., 2019). همچنین، آرژنین با بهبود کیفیت انبارمانی محصولات باغبانی، به‌عنوان یک افزودنی غذایی ایمن شناخته شده است (Shu *et al*., 2020). آرژنین برای نگه‌داری میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت از جمله مرکبات (Chen, Jiang, & Sun, 2022)، میوه توت‌فرنگی (Li *et al*., 2021) و میوه انگور (Sun, Hao, Yang, & Chen, 2018) استفاده شده است. می‌تواند رشد میکروبی پس از برداشت را مهار کند و کیفیت محصول و انبارمانی را بهبود بخشد. میوه انار پس از تیمار با یک میلی‌مولار آرژنین سرمازدگی کمتری را نشان‌داد (Babalar, Pirzad, Sarcheshmeh, Talaei, & Lessani, 2018). در پژوهشی ال-آرژنین با غلظت ۱ میلی‌مولار به‌طور قابل توجهی ماندگاری و کیفیت خرمالو را در دمای پایین حفظ کرد (Khan, Azam, Ahmad, & Atiq, 2023).

فنیل‌آلانین یک اسیدآمینه ضروری و آروماتیک است که نقش کلیدی در سنتز ترکیبات فنلی، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها و لینگین دارد (Garde-Cerdán *et al*., 2015). این ترکیب با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین‌آمونیالیاز، تجمع ترکیبات فنلی را تقویت کرده و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را بهبود می‌بخشد (Portu, López, Santamaría, & Garde-Cerdán, 2017). در دوره پس از برداشت، کاربرد خارجی فنیل‌آلانین می‌تواند با تحریک مسیر فنیل‌پروپانوئید، تنش سرما، پوسیدگی قارچی را کاهش داده و کیفیت تغذیه‌ای و حسی میوه‌ها و سبزی‌ها را حفظ کند (Jannatizadeh, Aghdam, Farmani, Maggi, & Morshedloo, 2018). تیمار فنیل‌آلانین باعث ایجاد مقاومت میوه در برابر پاتوژن‌های قارچی و کاهش پوسیدگی در انبه، آووکادو و مرکبات می‌شود (Patel *et al*., 2020). در یک مطالعه، کاربرد ۸ میلی‌مولار فنیل‌آلانین در انبه باعث کاهش آسیب‌های ناشی از سرمازدگی، حفظ بالاتر محتوای فلاونوئیدها و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، و همچنین کاهش میزان پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید شد (Patel *et al*., 2023).

گلوتاتیون یک آنتی‌اکسیدان قوی و جزء کلیدی مسیر AsA-GSH است که با حذف ROS از آسیب اکسیداتیو جلوگیری می‌کند (Hasanuzzaman *et al*., 2019). این مسیر شامل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD، CAT، POD و AP و ترکیبات غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون و آسکوربیک اسید است که در افزایش تحمل سرما نقش دارند (Song *et al*., 2016). آنزیم‌های چرخه گلوتاتیون-آسکوربیک اسید، مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز، در کاهش تنش سرما در گیاهان مؤثر هستند (Liu Juan, Li, Liang, Jiang, & Chen, 2019). در تحقیقاتی گلوتاتیون ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در میوه توت‌فرنگی (Ge *et al*., 2019)، ماش (Nahar, Hasanuzzaman, Alam, & Fujita, 2015) گوجه‌فرنگی (Zhou *et al*., 2022) افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای کاربرد گلوتاتیون با غلظت ۰/۰۵ درصد از آسیب سرمازدگی در میوه‌های فلفل دلمه‌ای جلوگیری کرد (Yao *et al*., 2021).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و آمینواسیدها نقش مهمی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه‌ها پس از برداشت دارند. تنظیم‌کننده‌های رشد با تأثیر بر مسیرهای متابولیکی و افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها، مقاومت میوه را در برابر تنش‌های پس از برداشت بهبود می‌بخشد و از پوسیدگی زودهنگام جلوگیری می‌کنند (Sharma, Pareek, Sagar, Valero, & Serrano, 2017). آمینواسیدها به‌عنوان پیش‌ساز ترکیبات زیستی مانند پلی‌آمین‌ها و پروتئین‌ها، موجب افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی، کاهش آسیب‌های فیزیولوژیک و جلوگیری از نرم شدن و تغییر رنگ می‌شوند (Chowdhury *et al*., 2023). حفظ کیفیت میوه چیکو طی دوره انبارمانی از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به حساسیت بالای این میوه به دمای پایین (۱۴ درجه سلسیوس) و فسادپذیری سریع آن در دمای بالاتر (۲۰ درجه سلسیوس)، که منجر به از دست دادن آب میوه و افت کیفیت می‌شود، نگهداری طولانی‌مدت چیکو در شرایط انباری با دمای بالا با چالش جدی مواجه است. تاکنون گزارش‌های محدودی درباره کاربرد آمینواسیدهایی مانند فنیل‌آلانین، گلوتاتیون و ال‌آرژنین و تنظیم‌کننده رشد گیاهی ملاتونین بر این میوه منتشر شده است. همچنین بررسی همزمان این ترکیبات در یک آزمایش واحد تاکنون گزارش نشده است. بنابراین هدف این پژوهش استفاده از آمینواسیدهای مختلف و تنظیم‌کننده رشد به‌منظور حفظ خصوصیات کیفی و افزایش ماندگاری میوه پس از برداشت است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری میوه و نحوه اعمال تیمار

ابتدا میوه‌های چیکو در مرحله بلوغ تجاری (نیمه دوم تیرماه) از ایستگاه تحقیقات کشاورزی میناب با طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه برداشت و بی‌درنگ پس از برداشت، به آزمایشگاه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه هرمزگان منتقل شد. میوه‌های سالم، عاری از آفات و بیماری‌ها و همچنین یکنواخت از لحاظ شکل و وزن انتخاب و پس از شست و شو و گندزدایی با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۲ دقیقه در مجاورت هوا خشک شدند. میوه‌ها به‌مدت ۲ دقیقه در محلول‌های فنیل‌آلانین (۸ میلی‌مولار)، گلوتاتیون (۰/۰۵ درصد وزنی/حجمی)، ملاتونین (۰/۵ میلی‌مولار) و ال–آرژنین (۱ میلی‌مولار) غوطه‌ور شدند و سپس در محیط خشک شدند. پس از اعمال تیمار میوه‌ها به سردخانه با دمای ۱ ± ۸ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۹۰ درصد قرار گرفتند. این آزمایش در پنج زمان انبارمانی (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز) با سه تکرار در سردخانه نگهداری شدند و سپس یک روز در دمای محیط (۲۵ درجه سلسیوس) قرار گرفتند. پس از آن، فاکتورهای کیفی و بیوشیمیایی چیکو اندازه‌گیری شد.

وزن میوه

میوه‌ها توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۱± گرم وزن شدند تا کاهش وزن در هر دو نمونه شاهد و تیمار اندازه‌گیری شود. کاهش وزن به‌صورت درصد تغییرات محاسبه شد که با فرمول (۱) $W_0 - W_f/W_0 \times 100$ تعیین شد. در این فرمول W_0 وزن اولیه و W_f وزن نهایی میوه است. کاهش وزن به‌عنوان درصدی از وزن تازه میوه‌ها محاسبه شد (Sandate-Flores *et al*., 2020b).

سفتی میوه

سفتی بافت میوه سفتی بافت میوه چیکو با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دیجیتال (Turoni Italy, 53205) با قطر پروب ۸ میلی‌متر پس از جداسازی پوست میوه در قسمت استوایی اندازه‌گیری و بر حسب نیوتن گزارش شد (Vetrekar *et al*., 2015).

مواد جامد محلول (Total suspended solids)

مواد جامد محلول (TSS) آب میوه با استفاده از یک رفراکتومتر دستی DBR95 (ساخت کشور تایلند) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری و به‌صورت درصد (٪) در سه تکرار، با ۳ میوه در هر تکرار بیان شد (Phalake, Tetali, & Raut, 2022).

اسید قابل تیتراسیون (Titratable acid)

اسید قابل تیتراسیون (TA) براساس روش AOAC (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. ۱۰ گرم از آب میوه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و فیلتر گردید. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول فیلتر شده با استفاده از ۰/۱ نرمال NaOH تیتر شد. پس از افزودن ۱ درصد (V/V) فنل فتالئین، تیتراسیون تا رسیدن به نقطه پایانی (ظهور رنگ صورتی روشن) انجام شد و نتایج به‌صورت درصد (٪) در سه تکرار ثبت گردید.

درصد پوسیدگی

درصد پوسیدگی میوه به‌صورت مشاهده‌ای در چهار گروه جداگانه: صفر (بدون آسیب)، ۱–ضعیف (صفر تا ۵ درصد آسیب)، ۲– متوسط (۵ تا ۲۵ درصد آسیب)، ۳– تا حدودی شدید (۵۰–۲۵ درصد آسیب)، ۴– بسیار شدید (بیش از ۵۰ درصد) به‌صورت فرمول (۲) محاسبه شد:

(تعداد میوه‌های پوسیده در هر درجه × درجه پوسیدگی) / تعداد کل میوه در هر تکرار محاسبه شد (Gonzalez-Aguilar, Zavaleta-Gatica, & Tiznado-Hernandez, 2007).

اسید آسکوربیک

مقداری از آب میوه، یک میلی‌لیتر محلول متافسفریک/اسید استیک و ۸ میلی‌لیتر آب مقطر استفاده شد (AOAC, 1990). قدرت کاهش اسید اسکوربیک به ۲،۶-دی کلروفنول ایندوفنول (۰/۲ درصد، وزن / حجم) تا زمانی‌که رنگ تغییر کند آزاد شد. محتوای ویتامین ث با استفاده از استاندارد اسید آسکوربیک محاسبه شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اسید اسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تازه بیان شد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

توانایی مهار رادیکال DPPH توسط ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با روش (Sandate-Flores *et al.*, 2020a) با برخی تغییرات اندازه‌گیری شد. مخلوط واکنش حاوی ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH ساخته شده در ۹۵ درصد (v/v) متانول و ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره بود. محلول به‌مدت ۳۰ دقیقه انکوبه شد و جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد.

کاتالاز

جهت اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنزیم‌ها از میوه‌ها که قبلا در فریزر ۸۰- درجه سلسیوس نگه‌داری شدند، استفاده شد. ابتدا حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه گیاهی در هاون و به کمک نیتروژن مایع به خوبی پودر شد و سپس ۵ میلی‌لیتر بافر استخراج که شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸)، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA، و ۴ درصد پلی وینیل پیرولیدون بود، هموژنیزه شد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند (Hasanuzzaman, Alam, Nahar, Ahamed, & Fujita, 2014). پس از سانتریفیوژ نمونه‌ها، مایع رویی نمونه‌ها به تیوب‌های جدید منتقل و از آن برای اندازه‌گیری میزان فعالیت‌های آنزیم آنتی‌اکسیدانی کاتالاز استفاده شد. آنزیم کاتالاز H_2O_2 را بدون نیاز به فاکتور احیا کننده، به اکسیژن و آب تبدیل می‌کند. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش (Hasanuzzaman *et al.*, 2014) انجام شد. بدین‌منظور، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH=7، ۱۰۰میکرولیتر عصاره آنزیمی، ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد به آن اضافه شد و میزان جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به‌مدت دو دقیقه با فواصل زمانی ۲۰ ثانیه‌ای ثبت گردید. به‌دلیل تجزیه H_2O_2، فعالیت کاتالاز بر حسب میکرومول H_2O_2 بر گرم وزن تازه در دقیقه بیان شد. غلظت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) با استفاده از ضریب خاموشی ۰/۲۸ میلی‌مول بر سانتی‌متر مربع برای کمی‌سازی دقیق محاسبه شد.

آنالیز آماری

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل نوع تیمار (فنیل‌آلانین، گلوتاتیون، ملاتونین و ال-آرژنین) و فاکتور دوم شامل زمان انبارمانی (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز) بود. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. برای بررسی تفاوت میان تیمارها و اثرات زمان انبارمانی، از آزمون ANOVA یک طرفه استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری $p<0.05$ مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل تیمار در زمان بر وزن میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش زمان میزان کاهش وزن میوه چیکو افزایش یافت، در حالی‌که تیمارها از افت وزن جلوگیری کردند. در پایان آزمایش (زمان ۴۰ روز) تیمار فنیل‌آلانین به‌میزان ۹/۳۷ درصد از کاهش وزن میوه چیکو جلوگیری نمود (شکل ۱). تیمار فنیل‌آلانین نسبت به شاهد به‌میزان ۳۳/۹۲ درصد از افت وزن میوه جلوگیری کرد (شکل ۱). مشابه این نتایج در پژوهشی تیمار فنیل‌آلانین و اتیلن از کاهش وزن میوه مرکبات ناشی از سرما جلوگیری کرد (Lafuente, Zacarias, Martínez-Téllez, Sanchez-Ballesta, & Dupille, 2001). همچنین در مطالعاتی فنیل‌آلانین از افت وزن میوه گلابی (Jinfeng) (Wang *et al.*, 2023) و توت‌فرنگی (Pang *et al.*, 2020) در مقایسه با شاهد جلوگیری کرد. تیمار فنیل‌آلانین در ۲۱ روز از کاهش وزن میوه بادمجان به‌میزان ۷/۵ درصد در مقایسه با شاهد جلوگیری کرد (Najafi, Barzegar, Razavi, & Ghahremani, 2021). انگور تیمار شده با فنیل‌آلانین در غلظت ۳۰ میلی‌مولار در پایان دوره نگه‌داری، توانست وزن میوه را حفظ کند (Asgarian, Karimi, Ghabooli, & Maleki, 2022).

فنیل‌آلانین به‌عنوان پیش‌ساز مهم در بیوسنتز ترکیبات فنلی (مانند فلاونوئیدها و لیگنین) عمل می‌کند. این ترکیبات به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌توانند از تخریب سلولی جلوگیری کنند و به‌طور مستقیم از کاهش وزن میوه جلوگیری کنند (de la Rosa, Moreno-Escamilla, Rodrigo-García, & Alvarez-Parrilla, 2019). فنیل‌آلانین می‌تواند از طریق تقویت ساختار دیواره سلولی و افزایش تشکیل لیگنین‌ها در میوه، مقاومت مکانیکی بافت را افزایش دهد. این موضوع از تغییرات فیزیکی و تخریب سریع بافت میوه جلوگیری می‌کند و باعث حفظ وزن بیشتر می‌شود (Oyom *et al.*, 2022).

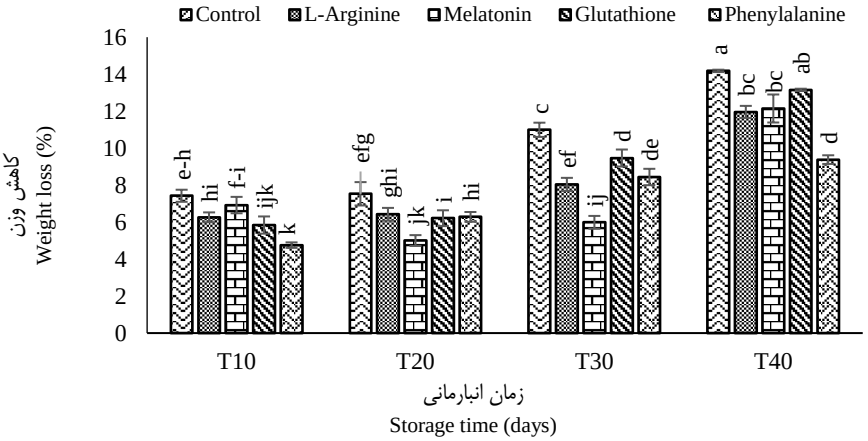
جدول ۱- تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون، فنیل آلانین و زمان بر صفات کمی و کیفی میوه چیکو

Table 1- Variance analysis of simple and reciprocal effects of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments and time on quantitative and qualitative traits of Sapodilla fruit

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares					
		کاهش وزن Weight loss	سفتی Firmness	مواد جامدمحلول TSS	اسید قابل تیتراسیون TA	TSS/TA	پوسیدگی Decay
تیمار Treatment	4	233.65**	2931.42**	93.52**	0.241**	490.66**	13.87**
زمان Time	4	37.11**	373.09**	5.011**	0.0076**	7977.03**	188.17**
تیمار × زمان Treatment× Time	16	53.38**	572.99**	17.36**	0.0246*	108.00**	0.142**
خطای آزمایش Test error	50	0.540	30.51	1.19	0.00082	29.58	0.053
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	11.04	6.93	4.69	6.65	9.11	29.13

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر کاهش وزن میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز)

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون دانکن است ($p<0.05$). نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است (n =3).

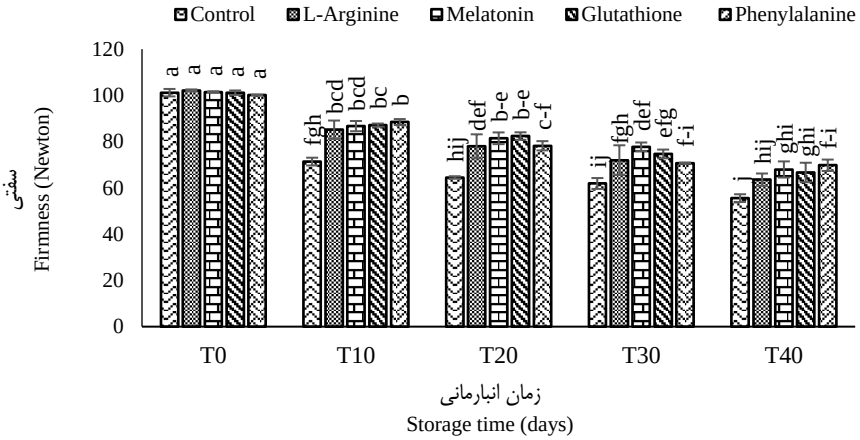
Fig. 1. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on weight loss of sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

Different letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's range test ($p<0.05$). Error bars indicate standard error (n = 3).

سفتی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل تیمار و زمان بر سفتی میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که طی زمان نگه‌داری سفتی میوه کاهش یافت، در حالی‌که تیمارها سبب افزایش این پارامتر شدند. بیشترین و کمترین میزان سفتی در پایان آزمایش میوه به‌ترتیب در تیمارهای ملاتونین و گلوتاتیون (۶۷/۹۷ و ۶۶/۶۶ نیوتن) و شاهد (۵۵/۵۷ نیوتن) مشاهده شد (شکل ۲). تیمارهای ملاتونین و گلوتاتیون سبب کاهش نرم شدن میوه چیکو به‌ترتیب به‌میزان ۲۲/۳۱ و ۱۹/۹۵ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۲). سفتی میوه یک شاخص مهم از کیفیت و رسیدگی است و معمولا با گذشت زمان و افزایش فرآیندهای نرم شدن بافت، کاهش می‌یابد (Tian & Xu, 2023). تیمارهای ملاتونین و گلوتاتیون نسبت به شاهد توانسته‌اند این کاهش را به‌طور قابل ملاحظه‌ای به تأخیر بیندازند. یکی از عوامل اصلی نرم شدن میوه‌ها فعالیت آنزیم‌هایی نظیر پلی‌گالاکتوروناز و پکتین متیل‌استراز است که باعث تخریب دیواره‌های سلولی و نرم شدن بافت میوه می‌شوند (Liu

Jun *et al.*, 2021). ملاتونین و گلوتاتیون به‌دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی خود می‌توانند از تخریب غشای سلولی و فعالیت این آنزیم‌ها جلوگیری کرده و بدین ترتیب سفتی بافت را حفظ کنند (Rastegar, Khankahdani, & Rahimzadeh, 2020; Wang *et al.*, 2022). ملاتونین و گلوتاتیون می‌توانند از طریق کاهش تنش اکسیداتیو و تثبیت غشای سلولی، دیواره‌های سلولی را تقویت کنند. این تقویت باعث می‌شود که بافت میوه برای مدت طولانی‌تری سفت بماند و از نرم شدن سریع جلوگیری شود (Ding, Dai, Zhang, Bi, & Prusky, 2024; Michailidis *et al.*, 2019). ملاتونین به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده می‌تواند به تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک از جمله رسیدگی میوه کمک کند. این هورمون گیاهی ممکن است از طریق کاهش تولید اتیلن (که یکی از عوامل کلیدی در نرم شدن میوه است) فرآیند نرم شدن را به تأخیر بیندازد (Sun *et al.*, 2015). در تحقیقی تیمار ملاتونین ۲۰۰ میکرومول در لیتر سبب افزایش سفتی میوه پرتقال ناول شد (Ma Qiaoli *et al.*, 2021). سفتی میوه توت‌فرنگی در غوطه‌وری با تیمار ملاتونین ۰/۱ میلی‌مولار در مقایسه با شاهد مشاهده شد (Liu, Zheng, Sheng, Liu, & Zheng, 2018). در پژوهشی کاربرد ملاتونین ۰/۵ میلی‌مولار و غوطه‌وری به‌مدت یک ساعت سبب سفتی میوه انبه در طول ذخیره‌سازی شد (Liu *et al.*, 2020). در گزارشی تیمار گلوتاتیون ۵ میلی‌مولار سفتی میوه انبه را به‌ترتیب به‌میزان ۲۵/۹ و ۳۰/۷۰ درصد در روزهای ۴ و ۸ افزایش داد (Zhou *et al.*, 2023).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل آلانین بر سفتی میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز)

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون دانکن است ($p<0.05$). نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است ($n=3$).

Fig. 2. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on the soluble solids of Sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

Different letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's range test ($p<0.05$). Error bars indicate standard error ($n = 3$).

مواد جامد محلول (TSS)

برطبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر متقابل تیمار و زمان بر مواد جامد محلول میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). میزان TSS با گذشت زمان افزایش یافت (شکل ۳ الف). بیشترین و کمترین میزان TSS به‌ترتیب در شاهد و تیمارهای آرژنین، ملاتونین و گلوتاتیون مشاهده شد (شکل ۳ الف). در پایان ۴۰ روز آزمایش، تیمارهای آرژنین، ملاتونین و گلوتاتیون به‌میزان ۶/۹۸، ۶/۶۰ و ۶/۴۱ درصد نسبت به شاهد سبب کاهش TSS در میوه چیکو شدند (شکل ۳ الف). در مطالعه‌ای میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با ۱ میلی‌مولار آرژنین سبب کاهش مواد جامد محلول در مقایسه با شاهد شد (Shu *et al.*, 2020). در تحقیقی اثر مثبت تیمار آرژنین بر میوه زغال اخته سبب بهبود مواد جامد محلول شد (Wang *et al.*, 2023). در پژوهشی نتایج نشان داد استفاده از ملاتونین ۰/۱ یا ۱ میلی‌مولار سبب کاهش مواد جامد محلول میوه توت‌فرنگی و کاهش پیری میوه شد (Liu *et al.*, 2018). در تحقیقی ملاتونین ۱۰۰۰ میکرومول در لیتر نسبت به سایر دوزها سبب کاهش مواد جامد محلول در میوه شلیل در ۴۰ روز نگه‌داری شد (Bal, 2021). ملاتونین ۲۰۰ میکرومول در لیتر باعث کاهش قابل توجهی در میوه پرتقال ناول (Newhall) شد که نشان‌دهنده ممانعت از کاهش کیفیت میوه شد (Ma Qiaoli *et al.*, 2021). در تحقیقاتی تیمار گلوتاتیون ۵ میلی‌مولار باعث کاهش ۱۰/۲۵ درصدی مواد جامد محلول در انبه شد (Zhou *et al.*, 2023).

اسید قابل تیتراسیون (TA)

افزایش TSS در طول زمان یکی از شاخص‌های متداول رسیدگی و تغییرات فیزیولوژیک در میوه‌ها است (Beckles, 2012). مواد جامد محلول عمدتا شامل قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات معدنی هستند که در نتیجه تجزیه ذخایر انرژی در طول دوره نگه‌داری افزایش می‌یابند (Famiani, Battistelli, Moscatello, Cruz-Castillo, & Walker, 2015). آرژنین، ملاتونین و گلوتاتیون ممکن است با کاهش سرعت تنفس میوه به تعویق افتادن فرآیندهای کاتابولیک (مثل تبدیل نشاسته به قند) کمک کنند. تنفس کمتر به معنای استفاده کمتر از ذخایر انرژی و کاهش تبدیل کربوهیدرات‌های پیچیده به مواد جامد محلول است (Kader & Yahia, 2011). ملاتونین و گلوتاتیون هر دو به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی شناخته می‌شوند که می‌توانند تنش اکسیداتیو را کاهش داده و تخریب سلولی را به تعویق بیندازند (Reiter *et al*., 2016). این موضوع ممکن است از تجزیه سریع ذخایر قندی جلوگیری کند و افزایش مواد جامد محلول را کاهش دهد. ال–آرژنین به‌عنوان یک آمینواسید کلیدی در مسیرهای متابولیسم نیتروژن عمل می‌کند و می‌تواند به تنظیم سنتز پروتئین‌ها و دیگر متابولیت‌های مهم بپردازد. این موضوع باعث به تأخیر افتادن تجزیه ترکیبات ذخیره‌ای و کاهش سرعت رسیدگی می‌شود (Pedrazini, Martinez, dos Santos, & Groppo, 2024).

TSS/TA

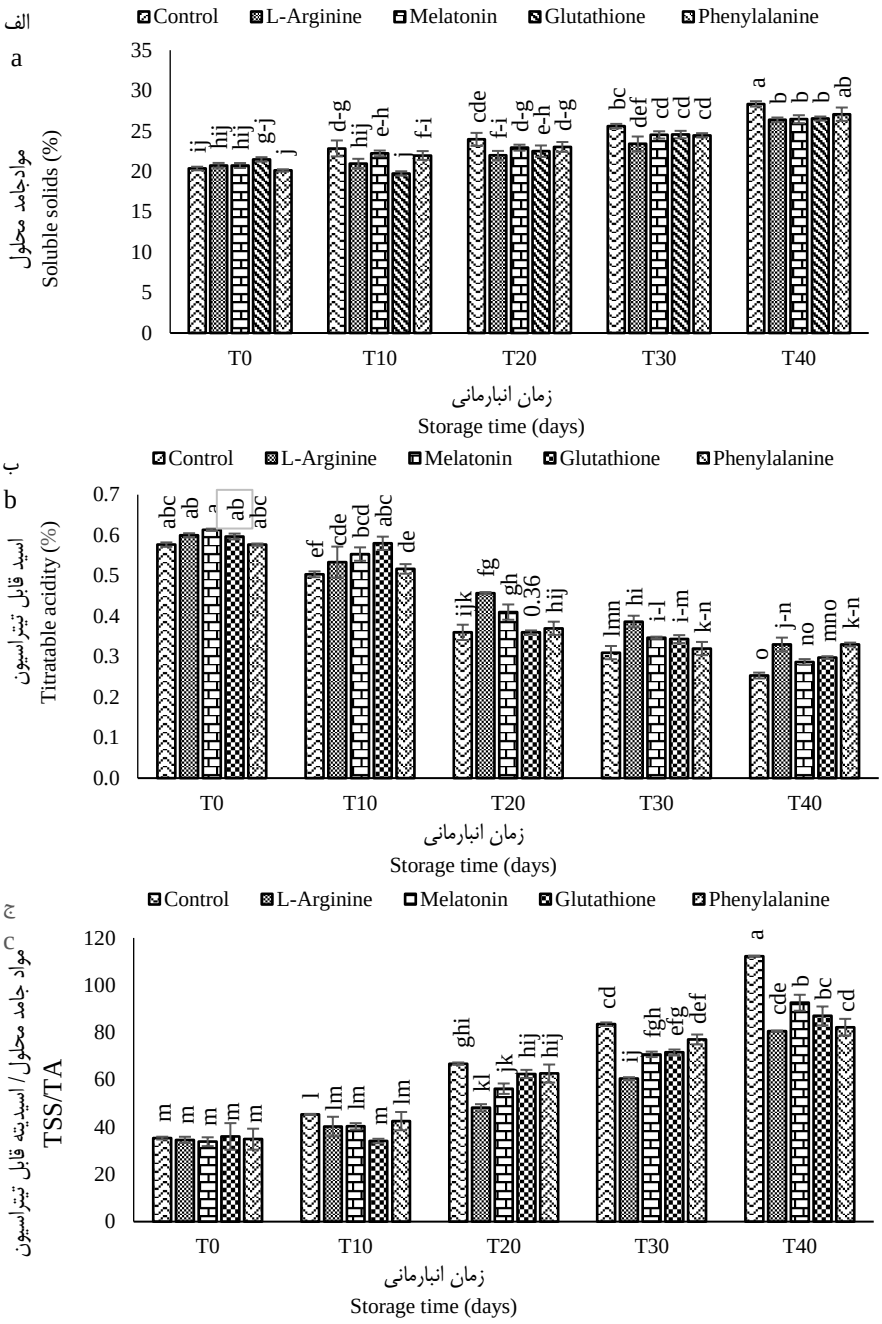
نتایج تحلیل واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان بر TA و TSS/TA میوه چیکو به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). در پایان آزمایش افزایش اسید قابل تیتراسیون در میوه چیکو به‌میزان ۳۲ درصد توسط تیمار آرژنین نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۳ ب). در ۴۰ روز آزمایش، افزایش میزان TSS/TA در میوه چیکو در طی زمان مشاهده شد؛ در حالی‌که تیمار ال– آرژنین به میزان ۲۸/۲۹ درصد سبب کاهش این صفت در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳ ج). افزایش نسبت TSS/TA در میوه‌ها به‌عنوان نشانه‌ای از رسیدگی تغییرات طعمی در طول زمان نگه‌داری شناخته می‌شود (Fawole & Opara, 2013). اما کاهش این نسبت با تیمار آرژنین در مقایسه با شاهد نشان دهنده‌ی این است که آرژنین می‌تواند با حفظ اسیدهای آلی و جلوگیری از کاهش سریع اسیدیته در طول زمان، روند رسیدگی و شیرینی نسبی میوه را کنترل کند. ال– آرژنین ممکن است به‌عنوان یک پیش‌ساز یا کوفاکتور برای آنزیم‌هایی که در سنتز اسیدهای آلی نقش دارند عمل کند. این امر منجر به افزایش سرعت و سنتز این ترکیبات در میوه می‌شود (Aguayo, Martínez-Sánchez, Fernández-Lobato, & Alacid, 2021). آرژنین می‌تواند بر روی مسیرهای متابولیکی مختلف تأثیر گذاشته و آن‌ها را به سمت سنتز اسیدهای آلی هدایت کند (Jiang, Sheng, Wu, Ye, & Zhang, 2021). در تحقیقی روی توت فرنگی، آرژنین یک میلی‌مولار به بهبود اسیدیته قابل تیتراسیون و افزایش مقاومت در برابر فساد کمک کرد (Shu *et al*., 2020). در مطالعه‌ای تیمار آرژنین باعث حفظ اسیدیته و افزایش ماندگاری میوه کیوی شد که به بهبود طعم و کیفیت در طول دوره نگه‌داری کمک کرد (Khan, Al Azzawi, Ali, & Yun, 2023).

درصد پوسیدگی میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های جدول ۱ نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان بر میزان پوسیدگی میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار بود. تیمارها در طی زمان سبب کاهش پوسیدگی میوه چیکو شدند. در پایان زمان آزمایش بیشترین و کمترین افزایش به‌ترتیب در شاهد و تیمار ال –آرژنین و گلوتاتیون مشاهده شد (شکل ۴). در ۴۰ روز نگه‌داری میوه چیکو تیمارهای ال –آرژنین و گلوتاتیون سبب کاهش درصد پوسیدگی در میوه چیکو به‌ترتیب به‌میزان ۴۵/۸۱ و ۴۱/۴۳ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۴). کاهش درصد پوسیدگی میوه چیکو در اثر تیمارهای ال –آرژنین و گلوتاتیون به‌دلیل ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی این ترکیبات است که از اکسیداسیون پلی‌فنل‌ها و در نتیجه درصد پوسیدگی جلوگیری می‌کنند. تیمار با گلوتاتیون در سیب و انگور باعث کاهش درصد پوسیدگی و حفظ رنگ طبیعی میوه شد که به‌دلیل مهار فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو بود (Shu *et al*., 2020). در تحقیقی دیگر استفاده از آرژنین در توت‌فرنگی منجر به کاهش درصد پوسیدگی شد و به حفظ رنگ و طراوات میوه در طول دوره نگه‌داری کمک کرد (Shu *et al*., 2020).

اسید آسکوربیک

بررسی داده‌های جدول ۲ نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان بر مقدار اسیدآسکوربیک میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد به‌طور معنی‌داری قابل توجه بود. تیمار گلوتاتیون در اکثر زمان‌های نگه‌داری باعث افزایش مقدار ویژگی اسید آسکوربیک شده است. در پایان زمان نگه‌داری (۴۰ روز) تیمار گلوتاتیون سبب افزایش میزان اسید آسکوربیک در میوه چیکو به مقدار ۵۶/۷۹ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۵).

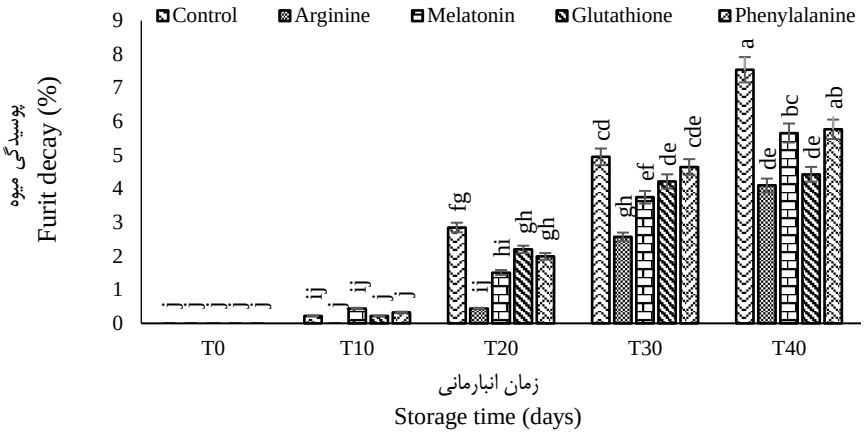


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر الف) مواد جامد محلول ب) اسید قابل تیتراسیون ج) مواد جامد محلول/ اسید قابل تیتراسیون میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ روز)

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون دانکن است ($p<0.05$). نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است (n =3).

Fig. 3. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on the a) soluble solids b) titratable acidity c) soluble solids / titratable acidity of Sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

Different letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's range test ($p<0.05$). Error bars indicate standard error (n = 3).



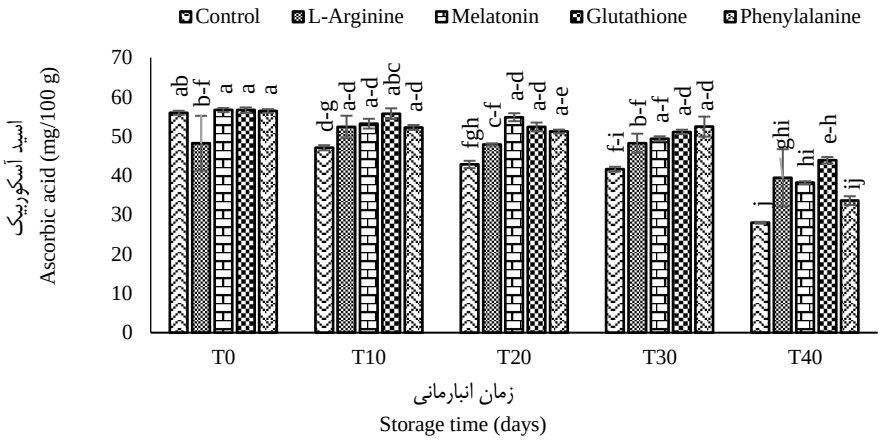
شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر شاخص درصد پوسیدگی میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ روز)

حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون دانکن است ($p<0.05$). نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است ($n=3$).

Fig. 4. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on fruit decay percentage of Sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

Different letters indicate significant differences between treatments based on Duncan's range test ($p<0.05$). Error bars indicate standard error ($n = 3$).

افزایش سطح اسید آسکوربیک (ویتامین C) در میوه چیکو در اثر تیمار گلوتاتیون احتمالا به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی گلوتاتیون و نقش آن در کاهش اکسیداسیون و حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است. گلوتاتیون می‌تواند به‌عنوان یک عامل احیاکننده عمل کرده و از تجزیه اسید آسکوربیک به‌ویژه در شرایط نگه‌داری طولانی مدت جلوگیری کند. در میوه کیوی استفاده از گلوتاتیون باعث حفظ سطح بالای اسید آسکوربیک در طول نگه‌داری شد و از تخریب آن جلوگیری کرد (Khan *et al*., 2023). همچنین در مطالعه‌ای دیگر روی پرتقال، تیمار گلوتاتیون از کاهش اسید آسکوربیک در طول زمان جلوگیری کرد و به حفظ کیفیت تغذیه‌ای میوه کمک نمود (Maslahati Fard & Hassanpoor, 2023).



شکل ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر میزان اسید اسکوربیک میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ روز)

میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Fig. 5. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on ascorbic acid of Sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

The mean of similar letters does not have a significant difference at the 5 % probability level. Error bar indicates standard error.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر صفات اسید آسکوربیک، آنتی‌اکسیدان و کاتالاز میوه چیکو

Table 2- Analysis of variance of simple and interaction effects of arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on ascorbic acid, antioxidant and catalase traits of chico fruit

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares		
		اسید آسکوربیک Ascorbic acid	آنتی‌اکسیدان Antioxidant	کاتالاز Catalase
تیمار Treatment	4	733.55**	873.13**	446.52**
زمان Time	4	176.21**	250.14**	29.94**
تیمار × زمان Treatment× Time	16	171.89**	225.22**	85.13**
خطای آزمایش Test error	50	24.08	8.13	1.21
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	10.14	5.47	4.90

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

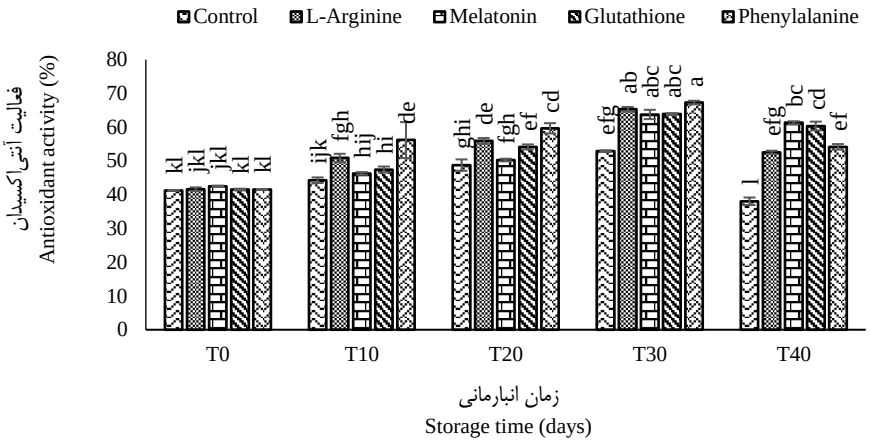
ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس جدول ۲ نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه چیکو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در این مطالعه افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه چیکو در طی زمان مشاهده شد (شکل ۶). تیمار فنیل‌آلانین در روز ۳۰ نگه‌داری به‌میزان ۶۷/۲۸ درصد و در روز ۴۰ آزمایش میزان آنتی‌اکسیدان ملاتونین ۶۱/۳۰ درصد مشاهده شد (شکل ۶). افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه چیکو به‌عنوان یک پاسخ دفاعی به تنش‌های محیطی و فیزیولوژیک در طول دوره نگه‌داری مشاهده می‌شود. تیمار فنیل‌آلانین با تحریک سنتز ترکیبات فیتوشیمیایی، مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها می‌توانند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر بگذارد. این ترکیبات به‌عنوان عوامل آنتی‌اکسیدانی طبیعی عمل کرده و با کاهش تنش اکسیداتیو، به حفظ سلامت سلولی و کیفیت میوه کمک می‌کنند (Holghoomi *et al.*, 2023). همچنین، ملاتونین به‌عنوان یک هورمون طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی، می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز را افزایش دهد و در نتیجه به کاهش آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد کمک کند (Zarezadeh *et al.*, 2022). این هورمون با تقویت مکانیسم‌های دفاعی گیاه، موجب افزایش توانایی میوه در مقابله با تنش‌های اکسیداتیو و در نهایت افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه چیکو می‌شود (Wang & Bi, 2021). کاربرد تیمار فنیل‌آلانین ۵ میلی‌مولار در مدت ۲۸ روز نگه‌داری میوه گوجه‌فرنگی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Aghdam, Moradi, Razavi, & Rabiei, 2019).

فعالیت آنزیم کاتالاز

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمار و زمان بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در ۴۰ روز نگه‌داری فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت (شکل ۷). بیشترین و کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب به‌میزان ۳۳/۰۶ و ۲۵/۲۲ واحد/ میلی‌گرم وزن تازه مشاهده شد (شکل ۷). در پایان زمان نگه‌داری (روز ۴۰) تیمار آرژنین سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به‌میزان ۳۱/۰۸ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۷). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه چیکو در طول دوره نگه‌داری به‌عنوان یک واکنش دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد و افزایش تولید هیدروژن پراکسید (H_2O_2) است. کاتالاز به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان عمل کرده و وظیفه دارد هیدروژن پراکسید را به آب و اکسیژن تجزیه کند، که این امر به کاهش آسیب‌های اکسیداتیو کمک می‌کند (Ighodaro & Akinloye, 2018). تیمار آرژنین به‌طور خاص با افزایش سطح نیتریک اکسید در سلول‌ها، می‌تواند به تحریک بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز منجر شود (Liang *et al.*, 2018). نیتریک اکسید به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده در گیاهان شناخته می‌شود که می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد و مکانیسم‌های دفاعی گیاه را تقویت کند (Groß, Durner, & Gaupels, 2013). مشابه این نتایج، در پژوهشی آرژنین ۱ میلی‌مولار باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه توت‌فرنگی شد (Shu *et al.*, 2020). همچنین افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در خرمالو با کاربرد ال- آرژنین ۱ میلی‌مولار مشاهده شد (Khan *et al.*, 2023).

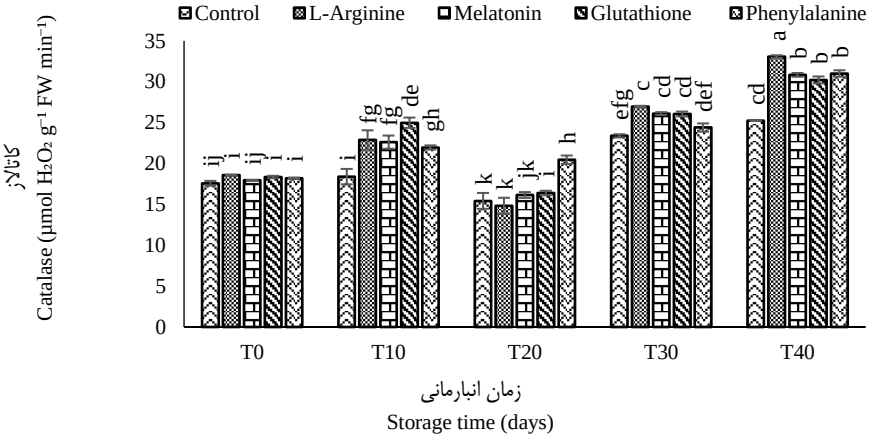


شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل‌آلانین بر آنتی‌اکسیدان سفتی میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ روز)

میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Fig. 6. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione, and phenylalanine treatments on) antioxidant activity of Sapodilla fruit firmness during storage (0, 10, 20, 30, and 40 days)

The mean of similar letters does not have a significant difference at the 5 % probability level. Error bar indicates standard error.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آرژنین، ملاتونین، گلوتاتیون و فنیل آلانین بر فعالیت آنزیم کاتالاز میوه چیکو در زمان نگه‌داری (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤٠ روز)

میانگین حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Fig. 5. Comparison of the average interaction effect of L-arginine, melatonin, glutathione and phenylalanine treatments on catalase enzyme activity of sapodilla fruit during storage (0, 10, 20, 30 and 40 days)

The mean of similar letters does not have a significant difference at the 5% probability level. Error bar indicates standard error.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از تیمارهای فنیل‌آلانین، آرژنین، ملاتونین و گلوتاتیون به‌طور مؤثری باعث بهبود و حفظ کیفیت میوه چیکو طی ۴۰ روز نگه‌داری در دمای سردخانه با دمای ۱ ± ۸ درجه سلسیوس شد. نتایج نشان داد که تمامی تیمارها به‌طور مؤثری بر حفظ کیفیت و افزایش عمر مفید میوه تأثیر دارند. اما تیمار گلوتاتیون به‌عنوان بهترین تیمار شناسایی شد. این تیمار به‌طور قابل توجهی موجب افزایش اسید اسکوربیک و همچنین بهبود سفتی میوه گردید. تیمار فنیل‌آلانین با جلوگیری از کاهش وزن میوه و حفظ سفتی بافت نقش مهمی در نگه‌داری کیفیت میوه ایفا کرد. تیمار ال- آرژنین با افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون و کاهش میزان TSS/TA، به بهبود ویژگی‌های طعمی و کیفیت میوه کمک کرد. تیمار ملاتونین نیز سفتی میوه را افزایش داد و اثرات مثبت دیگری را در طول دوره نگه‌داری نشان داد. در این مطالعه تیمار گلوتاتیون به‌عنوان بهترین گزینه برای حفظ ویژگی‌های تغذیه‌ای و کیفیت کلی میوه شناسایی شد، که می‌تواند به کاهش ضایعات و افزایش رضایت مصرف‌کنندگان کمک شایانی کند. با توجه به نتایج این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده

تأثیر این ترکیبات بر سایر میوه‌های گرمسیری بررسی شود. همچنین، ارزیابی مکانیسم‌های مولکولی و بیوشیمیایی مرتبط با تأثیر این ترکیبات می‌تواند درک بهتری از فرآیندهای مرتبط با حفظ کیفیت پس از برداشت فراهم کند. استفاده از این تیمارها در مقیاس صنعتی و بررسی اثرات اقتصادی آن نیز می‌تواند به بهینه‌سازی فرایندهای نگهداری و کاهش ضایعات کمک کند.

میزان مشارکت

ابراهیمی میمند: تحقیق و بررسی، جمع‌آوری داده‌ها، آنالیز داده‌ها، آماده‌سازی پیش‌نویس؛ **جعفری:** مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، نظارت و اعتبارسنجی، ویرایش مقاله، تأمین مالی؛ **میرزاعلیان دستجردی:** روش‌شناسی، مدیریت داده‌ها، نظارت و اعتبارسنجی، ویرایش مقاله، تأمین مالی؛ **رمضانیان:** نظارت و اعتبارسنجی، ویرایش مقاله.

منابع تأمین مالی

این کار توسط دانشگاه هرمزگان، پشتیبانی مالی شد.

References

1. Aghdam, M.S., Luo, Z., Jannatizadeh, A., Sheikh-Assadi, M., Sharaf, Y., Farmani, B., & Razavi, F. (2019). Employing exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in tomato fruit by upregulating ZAT2/6/12 giving rise to promotin endogenous polyamines, proline, and nitric oxide accumulation by triggering arginine pathway activity. *Food Chemistry*, *275*, 549–556. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.157
2. Aghdam, M.S., Luo, Z., Li, L., Jannatizadeh, A., Fard, J.R., & Pirzad, F. (2020). Melatonin treatment maintains nutraceutical properties of pomegranate fruit during cold storage. *Food Chemistry*, *303*, 125385. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125385
3. Aghdam, M.S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*, *246*, 818-825. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074
4. Aguayo, E., Martínez-Sánchez, A., Fernández-Lobato, B., & Alacid, F. (2021). L-Citrulline: a non-essential amino acid with important roles in human health. *Applied Sciences*, *11*(7), p.3293. https://doi.org/10.3390/app11073293
5. AOAC. (1990). Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
6. Asgarian, Z.S., Karimi, R., Ghabooli, M., & Maleki, M. (2022). Effect of phenylalanine treatment on chilling tolerance and biochemical attributes of grape during postharvest cold storage. *Journal of Berry Research*, *12*(4), 513-529. https://doi.org/10.3233/JBR-220037
7. Babalar, M., Pirzad, F., Sarcheshmeh, M.A.A., Talaei, A., & Lessani, H. (2018). ArginiExogenous treatment attenuates chilling injury of pomegranate fruit during cold storage by enhancing antioxidant system activity. *Postharvest Biology Technology*, *137*, 31–37. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.012
8. Bal, E. (2021). Effect of melatonin treatments on biochemical quality and postharvest life of nectarines. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(1), 288-295. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00636-5
9. Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *63*(1), 129-140. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.016
10. Bhutia, W., Pal, R., Sen, S., & Jha, S. (2011). Response of different maturity stages of sapota (*Manilkara achras* Mill.) cv. Kallipatti to in-package ethylene absorbent. *Journal of Food Science and Technology*, *48*, 763-768. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0360-x
11. Chen, S.Q., Jiang, W., & Sun, Z.D. (2022). Mechanism of fungal inhibition activity of Nα-lauroyl-L-arginine ethyl ester (LAE) and potential in control of *Penicillium expansum* on postharvest citrus 'Benimadonna' (*Citrus reticulate* × *Citrus sinensis*). *Journal of Agriculture and Food Research*, *102*, 4668–4676. https://doi.org/10.1002/jsfa.11827
12. Chowdhury, N.N., Islam, M.N., Jafrin, R., Rauf, A., Khalil, A.A., Emran, T.B., Aljohani, A.S., Alhumaydhi, F.A., Lorenzo, J.M., Shariati, M.A., & Simal-Gandara, J. (2023). Natural plant products as effective alternatives to synthetic chemicals for postharvest fruit storage management. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(30), 10332-10350. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2079112
13. da Silva Rios, D.A., Nakamoto, M.M., Braga, A.R.C., & da Silva, E.M.C. (2022). Food coating using vegetable sources: importance and industrial potential, gaps of knowledge, current application, and future trends. *Applied Food Research*, *2*(1), 100073. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100073
14. de la Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 253-271): Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9

15. Ding, R., Dai, X., Zhang, Z., Bi, Y., & Prusky, D. (2024). Composite coating of oleaster gum containing cuminal keeps postharvest quality of cherry tomatoes by reducing respiration and potentiating antioxidant system. *Foods*, *13*(10), 1542. https://doi.org/10.3390/foods13101542
16. Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J.G., & Walker, R.P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents-a review. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, *21*(2), 97-128. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.01.004
17. Fawole, O.A., & Opara, U.L. (2013). Harvest discrimination of pomegranate fruit: Postharvest quality changes and relationships between instrumental and sensory attributes during shelf life. *Journal of Food Science*, *78*(8), S1264-S1272. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12176
18. Garde-Cerdán, T., Santamaría, P., Rubio-Bretón, P., González-Arenzana, L., López-Alfaro, I., & López, R. (2015). Foliar application of proline, phenylalanine, and urea to Tempranillo vines: Effect on grape volatile composition and comparison with the use of commercial nitrogen fertilizers. *LWT-Food Science and Technology*, *60*(2), 684-689. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.028
19. Ge, C., Luo, Y., Mo, F., Xiao, Y., Li, N., & Tang, H. (2019). Effects of glutathione on the ripening quality of strawberry fruits. AIP Conf. Proc., 2079(1). https://doi:10.1063/1.5092391
20. Gonzalez-Aguilar, G.A., Zavaleta-Gatica, R., & Tiznado-Hernandez, M.E. (2007). Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, *45*(1), 108-116. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.012
21. Groß, F., Durner, J., & Gaupels, F. (2013). Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 419. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00419
22. Hasan, M.U., Rehman, R.N.U., Malik, A.U., Haider, M.W., Ahmed, Z., Khan, A.S., & Anwar, R. (2019). Pre-storage application of L-arginine alleviates chilling injury and maintains postharvest quality of cucumber (*Cucumis sativus*). *Journal Horticulture Science Technology*, *2*(4), 102-108. https://doi.org/10.46653/jhst190204102
23. Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., Nahar, K., Ahamed, K.U., & Fujita, M. (2014). Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus* by enhancing the antioxidant defense and glyoxalase systems. *Australian Journal of Crop Science*, *8*(4), 631-639. https://doi.org/10.3390%2Fantiox11102010
24. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.B., Anee, T.I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J.A., & Fujita, M. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, *8*(9), 384. https://doi.org/10.3390%2Fantiox8090384
25. Holghoomi, R., Hosseini Sarghein, S., Khara, J., Hosseini, B., Rahdar, A., & Kyzas, G.Z. (2023). Foliar application of Phenylalanine functionalized multi-walled carbon nanotube improved the content of volatile compounds of basil grown in greenhouse. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(31), 77385-77407. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27748-x
26. Hu, H., Luo, S., An, R., & Li, P. (2022). Endogenous melatonin delays sepal senescence and extends the storage life of broccoli florets by decreasing ethylene biosynthesis. *Postharvest Biology and Technology*, *188*, 1.11894. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111894
27. Ighodaro, O., & Akinloye, O. (2018). First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*, *54*(4). 378-293. https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001
28. Jannatizadeh, A., Aghdam, M.S., Farmani, B., Maggi, F., & Morshedloo, M.R. (2018). β-Aminobutyric acid treatment confers decay tolerance in strawberry fruit by warranting sufficient cellular energy providing. *Scientia Horticulturae*, *240*, 249-257. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.048
29. Jiang, Y., Sheng, Q., Wu, X.Y., Ye, B.C., & Zhang, B. (2021). L-arginine production in *Corynebacterium glutamicum*: manipulation and optimization of the metabolic process. *Critical Reviews in Biotechnology*, *41*(2), 172-185. https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1844625
30. Kader, A.A., & Yahia, E. (2011). Postharvest biology of tropical and subtropical fruits. In Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits (pp. 79-111): Elsevier. https://doi.org/10.1533/ 9780857093622.79
31. Kaur, J., Singh, A., Singh, B., & Sharma, S. (2020). Sapota. Antioxidants in fruits: Properties and health benefits, 181-199. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7285-2_10
32. Khan, M., Ali, S., Al Azzawi, T.N.I., & Yun, B.-W. (2023). Nitric oxide acts as a key signaling molecule in plant development under stressful conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(5), 4782. https://doi.org/10.3390/ijms24054782
33. Khan, M.A., Azam, M., Ahmad, S., & Atiq, M. (2023). Improvement of physicochemicals, antioxidant system and softening enzymes by postharvest L-arginine application leads to maintain persimmon fruit quality under low temperature storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *17*(3), 2964-2977. https://doi.org/10.1007/s11694-023-01835-6

34. Lafuente, M., Zacarias, L., Martínez-Téllez, M., Sanchez-Ballesta, M., & Dupille, E. (2001). Phenylalanine ammonia-lyase as related to ethylene in the development of chilling symptoms during cold storage of citrus fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, *49*(12), 6020-6025. https://doi.org/10.1021/jf010790b
35. Li, T., Liu, Y.X., Qin, Q.X., Zhao, L., Wang, Y.T., Wu, X.M., & Liao, X.J. (2021) . Development of electrospun flms enriched with ethyl lauroyl arginate as novel antimicrobial food packaging materials for fresh strawberry preservation. *Food Control*, *130*, 108371. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108371
36. Liang, M., Wang, Z., Li, H., Cai, L., Pan, J., He, H., & Yang, L. (2018). l-Arginine induces antioxidant response to prevent oxidative stress via stimulation of glutathione synthesis and activation of Nrf2 pathway. *Food and Chemical Toxicology*, *115*, 315-328. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.029
37. Liu, C., Zheng, H., Sheng, K., Liu, W., & Zheng, L. (2018). Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *139*, 47-55. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.016
38. Liu, J., Li, F., Liang, L., Jiang, Y., & Chen, J. (2019). Fibroin delays chilling injury of postharvest banana fruit via enhanced antioxidant capability during cold storage. *Metabolites*, *9*(7), 152. https://doi.org/10.3390%2Fmetabo9070152
39. Liu, J., Zhao, Y., Xu, H., Zhao, X., Tan, Y., Li, P., & Liu, D. (2021). Fruit softening correlates with enzymatic activities and compositional changes in fruit cell wall during growing in *Lycium barbarum* L. *International Journal of Food Science & Technology*, *56*(6), 3044-3054. https://doi.org/10.1111/ijfs.14948
40. Liu, S., Huang, H., Huber, D. J., Pan, Y., Shi, X., & Zhang, Z. (2020). Delay of ripening and softening in 'Guifei'mango fruit by postharvest application of melatonin. *Postharvest Biology and Technology*, *163*, 111136. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111136
41. Ma, Q., Davidson, P.M., & Zhong, Q. (2020). Properties and potential food applications of lauric arginate as a cationic antimicrobial. *International Journal of Food Microbiology*, *315*, 108417. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108417
42. Ma, Q., Lin, X., Wei, Q., Yang, X., Zhang, Y.N., & Chen, J. (2021). Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall'navel orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae*, *286*, 236. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110236
43. Madebo, M.P., Hu, S., Zheng, Y., & Jin, P. (2021). Mechanisms of chilling tolerance in melatonin treated postharvest fruits and vegetables: A review. *Journal of Future Foods*, *1*(2), 156-167. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.01.005
44. Maslahati Fard, S., & Hassanpoor, H. (2023). The effect of arginine on some biochemical attributes strawberry fruit (*Fragaria× ananassa* cv. Albion) under deficit fertigation. *Journal of Horticultural Science*, *37*(1), 135-149. https://doi.org/10.1007/s10341-022-00679-6
45. Medina-Santamarina, J., Guillén, F., Valero, D., Castillo, S., & Serrano, M. (2023). Melatonin treatments reduce chilling injury and delay ripening, leading to maintenance of quality in Cherimoya fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*;*24*(4), 3787. https://doi.org/10.3390/ijms24043787
46. Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., Sarrou, E., Stavridou, E., Ganopoulos, I., & Molassiotis, A. (2019). An integrated metabolomic and gene expression analysis identifies heat and calcium metabolic networks underlying postharvest sweet cherry fruit senescence. *Planta*, *250*, 2009-2022. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03272-6
47. Miranda, S., Vilches, P., Suazo, M., Pavez, L., García, K., M´endez, M.A., & Pozo, T. (2020). Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage. *Food Chemistry*, *319*, Article 126360. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126360
48. Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., & Fujita, M. (2015). Roles of exogenous glutathione in antioxidant defense system and methylglyoxal detoxifcation during salt stress in mung bean. *Biologia Plantarum*, *59*(4), 745–756. https://doi.org/10.1007/s10535-015-0542-x
49. Najafi, R., Barzegar, T., Razavi, F., & Ghahremani, Z. (2021). Effect of postharvest treatments of phenylalanine and hydrogen sulfide on maintaining quality and enhancing shelf life of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticultural Science*, *34*(4), 705-717.
50. Oyom, W., Yu, L., Dai, X., Li, Y.-C., Zhang, Z., Bi, Y., & Tahergorabi, R. (2022). Starch-based composite coatings modulate cell wall modification and softening in *Zaosu pears*. *Progress in Organic Coatings*, *171*, 107014. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107014
51. Patel, M.K., Fanyuk, M., Feyngenberg, O., Maurer, D., Sela, N., Ovadia, R., & Alkan, N. (2023). Phenylalanine induces mango fruit resistance against chilling injuries during storage at suboptimal temperature. *Food Chemistry*, *405*, 134909. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134909
52. Padmaja, N., & John, D. (2014). Preservation of sapota (*Manilkara zapota*) by edible aloe vera gel coating to maintain its quality. *International Journal of Science and Research*, *3*, 177-179. https://doi.org/10.15373/22778179/august2014/51

53. Pang, L., Wu, Y., Pan, Y., Ban, Z., Li, L., & Li, X. (2020). Insights into exogenous melatonin associated with phenylalanine metabolism in postharvest strawberry. *Postharvest Biology and Technology, 168*, 111244. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111244
54. Patel, M.K., Maurer, D., Feygenberg, O., Ovadia, A., Elad, Y., Oren-Shamir, M., & Alkan, N. (2020). Phenylalanine: A promising inducer of fruit resistance to postharvest pathogens. *Foods, 9*, 646. https://doi.org/10.3390/foods9050646
55. Pedrazini, M.C., Martinez, E.F., dos Santos, V.A.B., & Groppo, F.C. (2024). L-arginine: its role in human physiology, in some diseases and mainly in viral multiplication as a narrative literature review. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 10*(1), 1-18. https://doi.org/10.1186/s43094-024-00673-7
56. Phalake, S., Tetali, S., & Raut, V. (2022). A blending of sapota and lime juice using different methods of extraction.
57. Portu, J., López, R., Santamaría, P., & Garde-Cerdán, T. (2017). Elicitation with methyl jasmonate supported by precursor feeding with phenylalanine: Effect on Garnacha grape phenolic content. *Food Chemistry, 237*, 416-422. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.126
58. Rastegar, S., Khankahdani, H.H., & Rahimzadeh, M. (2020). Effects of melatonin treatment on the biochemical changes and antioxidant enzyme activity of mango fruit during storage. *Scientia Horticulturae, 259*, 108835. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108835
59. Reiter, R.J., Mayo, J.C., Tan, D.X., Sainz, R.M., Alatorre-Jimenez, M., & Qin, L. (2016). Melatonin as an antioxidant: under promises but over delivers. *Journal of Pineal Research, 61*(3), 253-278. https://doi.org/10.1111/jpi.12360
60. Sandate-Flores, L., Romero-Esquivel, E., Ontiveros, P.R., Celaya, M.F.M., Rodriguez-Rodriguez, J., Rostro-Alanis, M., & Iqbal, H.M. (2020). Physicochemical composition, antioxidant profile and anticancer potentialities of Chico (*Pachycereus weberi*) and Jiotilla (*Escontria chiotilla*) fruits extract. https://doi.org/10.20944/preprints202001.0347.v1
61. Sandate-Flores, L., Romero-Esquivel, E., Rodríguez-Rodríguez, J., Rostro-Alanis, M., Melchor-Martínez, E.M., Castillo-Zacarías, C., & Iqbal, H.M. (2020). Functional attributes and anticancer potentialities of chico (*Pachycereus weberi*) and jiotilla (*Escontria chiotilla*) fruits extract. *Plants, 9*(11), 1623. https://doi.org/10.3390/plants9111623
62. Sharma, S., Pareek, S., Sagar, N.A., Valero, D., & Serrano, M. (2017). Modulatory effects of exogenously applied polyamines on postharvest physiology, antioxidant system and shelf life of fruits: a review. *International Journal of Molecular Sciences, 18*(8), 1789. https://doi.org/10.3390/ijms18081789
63. Shu, P., Min, D., Ai, W., Li, J., Zhou, J., Li, Z., & Jiang, Y. (2020). L-Arginine treatment attenuates postharvest decay and maintains quality of strawberry fruit by promoting nitric oxide synthase pathway. *Postharvest Biology and Technology, 168*, 111253. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111253
64. Singh, A.K. (2023). *Horticultural practices and post-harvest technology*. Academic Guru Publishing House.
65. Song, L., Wang, J., Shafi, M., Liu, Y., Wang, J., Wu, J., & Wu, A. (2016). Hypobaric treatment effects on chilling injury, mitochondrial dysfunction, and the ascorbate–glutathione (AsA-GSH) cycle in postharvest peach fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64*(22), 4665-4674. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00623
66. Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., & Ren, S. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany, 66*(3), 657-668. https://doi.org/10.1093/jxb/eru332
67. Sun, Z.D., Hao, J.S., Yang, H.Q., & Chen, H.Y. (2018). Effect of chitosan coatings enriched with lauroyl arginate ethyl and montmorillonite on microbial growth and quality maintenance of minimally processed table grapes (*Vitis vinifera* L. Kyoho) during cold storage. *Food and Bioprocess Technology, 11*, 1853–1862. https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-018-2146-x
68. Tian, S., & Xu, H. (2023). Mechanical-based and optical-based methods for nondestructive evaluation of fruit firmness. *Food Reviews International, 39*(7), 4009-4039. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2015376
69. Vetrekar, N., Gad, R., Fernandes, I., Parab, J., Desai, A., Pawar, J., & Umapathy, S. (2015). Non-invasive hyperspectral imaging approach for fruit quality control application and classification: case study of apple, chikoo, guava fruits. *Journal of Food Science and Technology, 52*, 6978-6989. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1838-8
70. Wang, B., & Bi, Y. (2021). The role of signal production and transduction in induced resistance of harvested fruits and vegetables. *Food Quality and Safety, 5*, fyab011. https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyab011
71. Wang, J., Wang, Y., Li, Y., Yang, L., Sun, B., Zhang, Y., & Yan, X. (2023). l-Arginine treatment maintains postharvest quality in blueberry fruit by enhancing antioxidant capacity during storage. *Journal of Food Science, 88*(9), 3666-3680. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16710
72. Wang, L., Chen, S., Shao, J., Zhang, C., Mei, L., Wang, K., & Zheng, Y. (2022). Hydrogen sulfide alleviates chilling injury in peach fruit by maintaining cell structure integrity via regulating endogenous H_2S, antioxidant and cell wall metabolisms. *Food Chemistry, 391*, 133283. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133283

73. Wang, M., Li, C., Liu, J., Zhang, S., Guo, Y., Jin, Y., & Ge, Y. (2023). Phenylalanine maintains the postharvest quality of 'Jinfeng'pear fruit by modulating the tricarboxylic acid cycle and chlorophyll catabolism. *Postharvest Biology and Technology*, *204*, 112479. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112479
74. Yahia, E., & Gutierrez-Orozco, F. (2011). Sapodilla (*Manilkara achras* (Mill) Fosb., syn *Achras sapota* L.). In Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits (pp. 351-363e): Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857092618.351
75. Yao, M., Ge, W., Zhou, Q., Zhou, X., Luo, M., Zhao, Y., Wei, B., & Ji, S. (2021). Exogenous glutathione alleviates chilling injury in postharvest bell pepper by modulating the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle. *Food Chemistry*, *352*, 129458. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129458
76. Zarezadeh, M., Barzegari, M., Aghapour, B., Adeli, S., Khademi, F., Musazadeh, V., & Chehregosha, F. (2022). Melatonin effectiveness in amelioration of oxidative stress and strengthening of antioxidant defense system: Findings from a systematic review and dose–response meta-analysis of controlled clinical trials. *Clinical Nutrition ESPEN*, *48*, 109-120. https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.01.038
77. Xu, P., Huber, D. J., Gong, D., Yun, Z., Pan, Y., Jiang, Y., & Zhang, Z. (2023). Amelioration of chilling injury in 'Guifei'mango fruit by melatonin is associated with regulation of lipid metabolic enzymes and remodeling of lipidome. *Postharvest Biology and Technology*, *198*, 112233. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112233
78. Zhang, N., Sun, Q., Zhang, H., Cao, Y., Weeda, S., Ren, S., & Guo, Y.-D. (2015). Roles of melatonin in abiotic stress resistance in plants. *Journal of Experimental Botany*, *66*(3), 647-656. https://doi.org/10.1093/jxb/eru336
79. Zhou, Y., Liu, J., Zhuo, Q., Zhang, K., Yan, J., Tang, B., & Liu, K. (2023). Exogenous glutathione maintains the postharvest quality of mango fruit by modulating the ascorbate-glutathione cycle. *Peer Journal*, *11*, e15902. https://doi.org/10.7717/peerj.15902
80. Zhou, Y., Huang, X., Li, R., Lin, H., Huang, Y., Zhang, T., Mo., Y & Liu, K. (2022). Transcriptome and biochemical analyses of glutathione-dependent regulation of tomato fruit ripening. *Journal of Plant Intractions*, *17*(1), 537-547. https://doi.org/10.1080/17429145.2022.2069296