Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

The effect of melatonin treatment on postharvest life of tomato (*Solanum ycopersicum* L.) by changing the content of antioxidant compounds

Parvizz Malekzadeh[1*]

[1]Department of Biology, Faculty of Science, University of qom, qom, Iran, Email: par_malek@yahoo.com

Article type:
Research article

Article history
Received: 28.04.2022
Revised: 15.07.2022
Accepted: 25.07.2022
Published:23.09.2023

Keywords
Antioxidant
Chlorophyllase
Glucosinolate
Melatonin
Tomato
Vitamin C

Abstract

This study aimed to investigate the effect of the exogenous application of melatonin treatment on the activity of enzymes and compounds effective in the shelf life of tomato fruit during storage. Melatonin has been implicated in various aspects of cell growth and development and has recently been shown to play a role in protecting cells from biotic and abiotic stress. In this study, tomato fruit was immersed with 100 µM L^{-1} melatonin as a treatment and distilled water as a control group for 15 minutes, then kept at 4±°C for 4 weeks. The results showed that melatonin treatment by reducing the activity of superoxide dismutase and catalase enzymes was able to reduce the content of free radicals' superoxide and hydrogen peroxide and thus the content of flavonoids, total phenol, vitamin C, and glucosinolate. These results showed that melatonin treatment can be effective by increasing the content of cell protective compounds and also by affecting the activity of antioxidant enzymes to increase the post-harvest life of tomato fruit.

Cite this article as: Malekzadeh, P. (2023). The effect of melatonin treatment on postharvest life of tomato (*Solanum ycopersicum* L.) by changing the content of antioxidant compounds. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(3): 63-74.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch
Doi: 10.30495/iper.2022.1957624.1792

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

تاثیر تیمار ملاتونین بر عمر پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) از طریق تغییر در محتوای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی

پرویز ملک‌زاده[1]*

[1] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران، رایانامه: par_malek@yahoo.com

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر تیمار ملاتونین بر فعالیت آنزیم‌ها و ترکیبات موثر در ماندگاری میوه گوجه‌فرنگی در طی انبارمانی می‌باشد. ملاتونین در جنبه‌های مختلف رشد ونمو سلول نقش داشته و اخیراً مشخص شده که در حفاظت سلول در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده نقش دارد. در این پژوهش میوه‌گوجه‌فرنگی با ۱۰۰ میکرومولار بر لیتر ملاتونین به عنوان تیمار و آب مقطر به عنوان شاهد به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور شد، سپس به مدت ٤ هفته در دمای ۱±٤ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که تیمار ملاتونین از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز توانست محتوای رادیکال‌های آزاد سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را کاهش دهد و از این طریق محتوای فلاونوئیدها، فنول کل، ویتامین ث و گلوکوزینولات را در حد بالایی حفظ کند. این نتایج نشان داد که تیمار ملاتونین می‌تواند از طریق افزایش محتوای ترکیبات حفاظتی سلول و همچنین از طریق تاثیر روی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای افزایش عمر پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی موثر باشد.

واژه‌های کلیدی:
آنتی‌اکسیدان
گلوکوزینولات
گوجه فرنگی
ملاتونین
ویتامین ث

استناد: ملک‌زاده، پرویز. (۱٤۰۲). تاثیر تیمار ملاتونین بر عمر پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) از طریق تغییر در محتوای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸ (۳)، ۷٤-٦۳.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.
Doi: 10.30495/iper.2022.1957624.1792

مقدمه

فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی میوه‌ها پس از برداشت ادامه داشته و کیفیت میوه‌ها از نظر شکل ظاهری و تغذیه‌ای در طول نگه‌داری و حمل و نقل به دلیل از دست دادن آب درون سلولی اُفت پیدا می‌کند. بنابراین ارزش تجاری این محصولات کاهش یافته و صدمات مالی زیادی به فعالان اقتصادی و کشاورزان وارد می‌شود (Cao et al., 2018).میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، میوه‌ای است که در سراسر جهان مصرف می‌شود (Zhou et al., 2022)، و ارزش تغذیه‌ای آن به دلیل تجمع ترکیبات آنتی‌اکسیدان‌ها همچون اسیدآسکوربیک، ترکیبات فنولیک، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها می‌باشد (Mordente et al., 2011; Tao et al., 2022). گوجه‌فرنگی حاوی سطوح بالایی از ترکیبات فعال زیستی برای سلامتی، همچون ویتامین‌ث، ترکیبات فنولی و گلوکوزینولات‌ها است (Rabiei et al., 2022). این مواد مغذی دارای خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی هستند (Han et al., 2019; Han et al., 2017). با این حال، بایستی میوه گوجه‌فرنگی معمولاً در حین حمل و نقل یا در زمان فروش در مغازه و یا پس از خرید توسط مصرف‌کنندگان به‌مدت چند هفته قابل نگه‌داری باشد. در این دوره قسمت گوشتی میوه به دلیل تخریب اجزاء دیواره سلولی، شروع به شل شدن کرده و محتوای غذایی آنها مثل ترکیبات آنتی‌اکسیدان، به سرعت کاهش پیدا می‌کند (Han et al., 2019). تغییر اتمسفر محل نگه‌داری، تابش نور قرمز، هورمون‌های گیاهی و تیمارهای شیمیایی روش‌هایی هستند که برای حفظ کیفیت ظاهری میوه گوجه‌فرنگی و تاخیر در مرحله پیری گزارش شده‌اند (Krasnow and Ziv, 2022; Tao et al., 2022; Torun and Uluisik, 2022). هرچند این مطالعات ممکن است بدلیل تمرکز بر بعد نگهداری میوه؛ به‌طور کامل به تقاضای مصرف‌کنندگان بمنظور دسترسی به میوه و سبزیجات با کیفیت بالا و غنی از مواد مغذی نپردازند و نیاز مداوم به شناسایی بیشتر یک روش ایمن و مؤثر وجود دارد که از پیری زودرس میوه جلوگیری کند و سطح مواد مغذی موجود در میوه برداشت شده را در حد قابل قبول حفظ کند.

در مطالعات قدیمی‌تر از طریق تغییر اتمسفر (Sozzi et al., 1999)، تغییرمحتوای هورمون و تنظیم کننده‌های رشد (Srivastava and Handa, 2005)، بررسی اثر پلی‌آمین‌ها (Serrano et al., 2003)، مطالعه تاثیر نیتریک اکسید (Lai et al., 2011) و همچنین پژوهش‌های سال‌های اخیر روی نگهداری پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی کار می‌کنند شامل استفاده از هگزانوئیک‌اسید (Rabiei et al., 2022)، بکار بردن پراکسیدهیدروژن (Torun and Uluisik, 2022) و استفاده از محلول متیل‌جاسمونات (Tao et al., 2022) می‌باشد؛ با این وجود برای رسیدن به یک روش امن بری سلامت انسان و انتخاب ترکیبی با کمترین اثر مخرب روی سلامت نیاز به تحقیقات بیشتری احساس می‌شود.

از ملاتونین به‌عنوان یک تنظیم کننده موثر در تنش سرما، یک پاک‌کننده رادیکال آزاد در گیاهان، تنظیم کننده رشد و موثر در تنش اکسیداتیو نام برده می‌شود (Jiao et al., 2022; Li et al., 2022; Magri and Petriccione, 2022). مطالعات گذشته نشان داد که استفاده برونزای ملاتونین از طریق تاثیر روی چرخه یانگ و در نتیجه آن تغییر محتوای هورمون اتیلن؛ رسیدن میوه موز را بهبود داد (Hu et al., 2017). همچنین در میوه توت‌فرنگی، تیمار ملاتونین از طریق مهار سنتز هورمون اتیلن، آسیب ناشی از سرما را کاهش داد (Hayat et al., 2022a; Magri and Petriccione, 2022). به‌علاوه، قرار گرفتن در معرض ملاتونین باعث کاهش آسیب سرما و افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در میوه‌های گوجه‌فرنگی

(Delgado- Vargas et al., 2022)، هلو (Cao et al., 2016) و انگور (Xu et al., 2018) شد. پیش تیمار ملاتونین در میوه هلو با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن (H_2O_2) تحمل به سرما را افزایش داد (Cao et al., 2016).

بررسی منابع مختلف نشان داد که اطلاعات کمی در مورد تأثیر استفاده برونزا از ملاتونین بر فیزیولوژی پس از برداشت میوه‌ها و سبزیجات در طول ذخیره‌سازی انجام شده است. در این پژوهش سعی شده است با بکارگیری ملاتونین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار ویژگی‌های ظاهری، محتوای مواد مغذی همچون ویتامین‌ث و گلوکوزینولات و متابولیسم آنزیم و ترکیبات آنتی‌اکسیدان که فعالیت و محتوای این ترکیبات اثر آشکاری در سلامت و بازارپسندی میوه گوجه‌فرنگی دارد؛ مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آماده سازی و آنالیز اولیه: ملاتونین (نشان سیگما آدریچ) از شرکت کیمیا گستر تهران و میوه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در مرحلهٔ بلوغ تجاری از منطقه قنوات قم در آبانماه ۱۳۹۹ تهیه شد و سریعاً به آزمایشگاه تحقیقات گیاهی گروه زیست‌شناسی دانشگاه قم انتقال یافت. گوجه‌فرنگی‌هایی با رنگ یکنواخت و فاقد زخم ناشی از آسیب مکانیکی یا آسیب آفات و حشرات برای استفاده به عنوان نمونه در آزمایش انتخاب گردید.

در آزمایش اولیه جهت انتخاب غلظت بهینه ملاتونین، میوه گوجه‌فرنگی با ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ٤۰۰ و ٦۰۰ میکرومولار بر لیتر ملاتونین تیمار شد. نتایج آزمایش اولیه نشان داد که غلظت ۱۰۰ میکرومولار بر لیتر ملاتونین اثر قابل توجهی بر کیفیت ظاهری پس از برداشت داشت (نتایج آزمایش اولیه آورده نشده است). بنابراین، تیمار ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار بر لیتر به عنوان غلظت مرجع برای مطالعات گسترده‌تر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. در آزمایش اصلی، میوه گوجه‌فرنگی به صورت تصادفی به دو گروه که در هر گروه ٥٤ میوه وجود داشت، تقسیم گردید. گروه اول در محلول با غلظت ۱۰۰ میکرومولار بر لیتر ملاتونین به مدت ۱۵ دقیقه غوطه‌ور گردید، گروه دوم به عنوان گروه شاهد به مدت ۱۵ دقیقه در آب مقطر غوطه‌ور شد. میوه گوجه‌فرنگی پس از تیمار در معرض هوا خشک شد و سپس در کیسه‌های پلی اتیلن به ضخامت ۰/۰٤ میلی‌متر قرار گرفت و در دمای ۱±٤ درجه سانتیگراد به مدت ۲۸ روز (٤هفته)، نگه‌داری شد. ویژگی‌های ظاهری و کاهش وزن مورد ارزیابی قرار گرفت. هر هفته شش عدد میوه گوجه‌فرنگی از هر یک از دو گروه آزمایش جدا شده و به سرعت در نیتروژن مایع منجمد شدند و پیش از تجزیه و تحلیل بعدی در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد جهت مطالعات بعدی نگه‌داری قرار شدند. آنالیزها شامل اندازه‌گیری سطوح مواد مغذی، محتوای فنل کل، فلاونوئید، محتوای ویتامین‌ث، اندازه‌گیری گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بود می‌باشد و در هر آزمایش از سه تکرار از گروه‌های تیمار شده و تیمار نشده استفاده شد.

میزان کاهش وزن: شش میوه گوجه‌فرنگی تازه از هر تکرار و از هر تیمار برای تعیین میزان کاهش وزن انتخاب شد. درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Jiao et al., 2022):

درصد کاهش وزن = (٪) (وزن اولیه – وزن هفتگی) / وزن اولیه ×۱۰۰

محتوای ویتامین ث و گلوکوزینولات: محتوای ویتامین‌ث با استفاده از روش اسپکتروفتومتری آمونیوم وانادات مولیبدات اندازه‌گیری شد (Gao et al., 2016). محتوای ویتامین‌ث با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۷٦۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (Optizen 3220 UV؛ ساخت کره

جنوبی) محاسبه شد. محتوای گلوکوزینولات‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (Optizen 3220 UV ؛ ساخت کره جنوبی) با جذب مخلوط واکنش در طول موج ۲٤۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Gao et al., 2016).

محتوای فنل کل و فلاونوئید: فنول کل و فلاونوئید با استفاده از روش توصیف شده اندازه‌گیری شدند (Gao et al., 2016). ۰/۵ گرم میوه گوجه‌فرنگی به ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد (حجم/حجم) اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه تحت فراصوت قرار گرفت. پس از آماده سازی، جذب مخلوط واکنش پس از ۱ ساعت نگه‌داری در دمای اتاق در طول موج ۷٦۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل، ۱ میلی‌لیتر مایع رویی به ۱ میلی‌لیتر $NaNO_2$ ۵ درصد (وزنی/حجمی) و ۰/۲۵ میلی‌لیتر ۱۰ درصد (وزنی/حجمی) $AlCl_3$ اضافه شد. متعاقباً، یک میلی‌لیتر NaOH یک مولار به مخلوط واکنش اضافه شد. بعد از ۵ دقیقه جذب مخلوط واکنش در طول موج ۵۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتری (Optizen 3220 UV ؛ ساخت کره جنوبی) اندازه‌گیری شد .

محتوای رادیکال سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن H_2O_2 : مقدار تولید آنیون‌های سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در طی دوره انبارمانی طبق روش زیر اندازه‌گیری شد (Cao et al., 2016). پس از آماده سازی مخلوط واکنش، جذب فاز آبی پایین‌تر و صورتی جهت محاسبه محتوای آنیون سوپراکسید در طول موج ۵۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری محتوای H_2O_2، ۵ گرم پودر میوه گوجه فرنگی منجمد در ۵ میلی‌لیتر استون همگن شد. محتوای H_2O_2 با اندازه‌گیری جذب در طول موج ٤۱۲ نانومتر تعیین گردید.

اندازه گیری میزان فعالیت آنزیم‌های CAT و SOD: فعالیت آنزیم سوپراکسیداز دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) تعیین شد (Cao et al., 2018).

تحلیل آماری

تمام تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS(25) انجام شد. داده‌های هر آنالیز تحت تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) قرار گرفتند و میانگین جداسازی‌ها با آزمون کمترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح معنی‌داری $p<۰/۰۵$ مقایسه شد. داده‌های ارائه شده نشان دهنده میانگین ± انحراف استاندارد است.

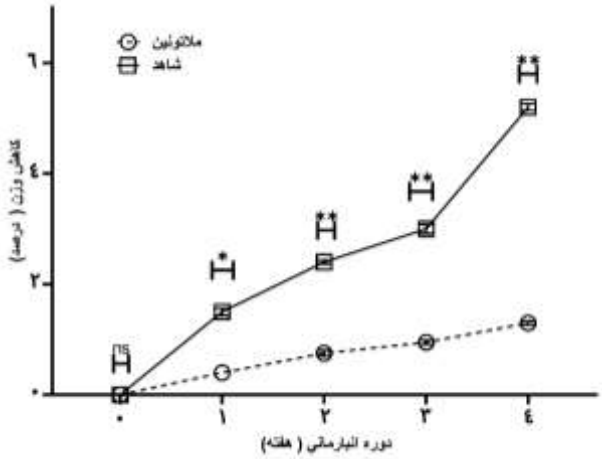
نتایج

براساس نتایج تجزیه واریانس در شاخص‌های کاهش وزن تر میوه، محتوای ویتامین ث، گلوکوزینولات، فنل‌کل و فلاونوئیدها، رادیکال‌های آزاد و فعالیت آنزیم کاتالاز و آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، اثر زمان بررسی و اثر تیمار و برهم‌کنش بین تیمار و زمان بررسی، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.

تأثیر تیمار ملاتونین بر کاهش وزن تازه: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار ملاتونین اثر معنی‌داری در وزن تازه گوجه‌فرنگی در هفته چهارم انبارمانی داشته است.

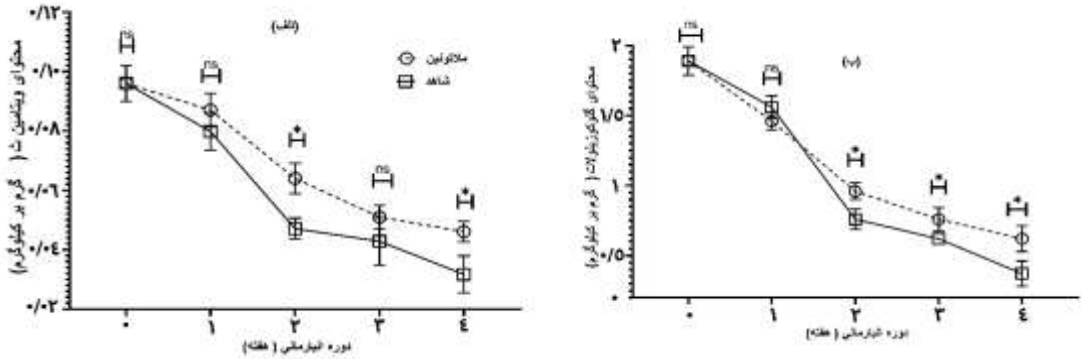
در طول ٤ هفته نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتیگراد، کیفیت و شکل ظاهری میوه گوجه‌فرنگی با یک روند ثابتی کاهش یافت. با این حال در کل دوره نگه‌داری کیفیت میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین در مقایسه با گروه شاهد بالاتر باقی ماند. در هر چهار دوره نمونه‌برداری کمترین کاهش وزن در میوه‌های تیمار شده با ملاتونین مشاهده شد. تیمار میوه گوجه‌فرنگی با ملاتونین در حفظ وزن تازه در طول ذخیره‌سازی، نسبت به شاهد بسیار موثر بود (شکل ۱). از هفته دوم نگه‌داری، درصد کاهش وزن تر میوه گوجه‌فرنگی در گروه شاهد به سرعت شروع به افزایش کرد در حالی که میزان از دست دادن وزن‌تر در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین نسبتاً

پایین و با روند ملایم و ثابت باقی ماند. در پایان چهار هفته نگه‌داری، کاهش وزن در گروه شاهد میوه گوجه‌فرنگی ٤ برابر بیشتر از گروه تیمار شده با ملاتونین بود. بیشترین کاهش وزن در گروه شاهد در هفته چهارم نگه‌داری مشاهده شد.



شکل ۱: تاثیر تیمارملاتونین بر درصد کاهش وزن‌تر میوه گوجه‌فرنگی در طی ٤ هفته نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.
(*: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ و **: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ ، ns: عدم معنی‌داری)

اثر تیمار ملاتونین بر محتوای ویتامینC و گلوکوزینولات در میوه گوجه‌فرنگی: نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای ویتامین ث بین گروه شاهد و تیمار شده در مدت زمان نگه‌داری تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ نشان داد. نتایج نشان داد محتوای ویتامین ث به تدریج در هر دو گروه گوجه‌فرنگی تیمار شده و تیمار نشده با ملاتونین در طول دوره چهار هفته نگه‌داری کاهش یافت، با این حال، تیمار ملاتونین شیب کاهش را ملایم‌تر کرد (شکل ۲-الف). محتوای ویتامین ث در هفته‌های اول و هفته‌های دوم تا هفته چهارم در گروه تیمار شده با ملاتونین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بیشتر از گروه شاهد بود.

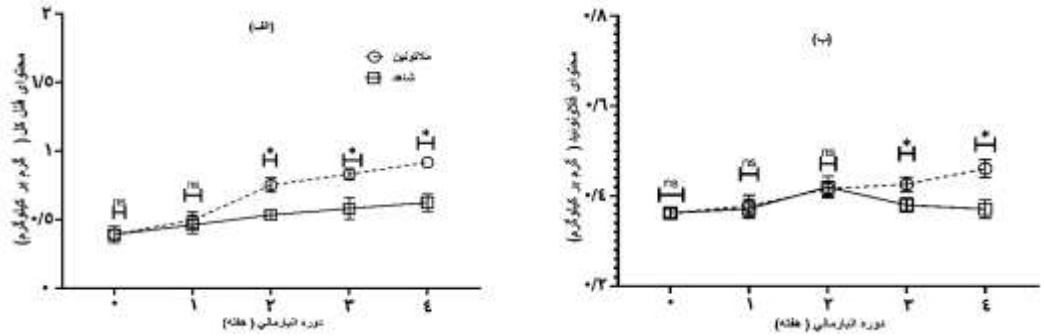


شکل ۲: اثرات تیمارملاتونین بر محتوای ویتامین ث (الف) و گلوکوزینولات (ب) در میوه گوجه‌فرنگی در طی ٤ هفته نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.
(*: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ و **: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ ، ns: عدم معنی‌داری)

نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها نشان داد سطوح ویتامین ث در گروه شاهد ٦٧ درصد و در گروه میوه گوجه‌فرنگی تحت تیمار با ملاتونین ٤٨/٤ درصد در طی چهار هفته نگه‌داری کاهش یافت. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هفته اول و سوم نگه‌داری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ در محتوای ویتامین ث بین گروه شاهد و تیمار شده با ملاتوینن نشان نداد.

تغییرات در سطوح گلوکوزینولات در شکل ۲–ب نشان داده شده است. بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ملاتونین در هفته‌های دوم تا چهارم در سطح احتمال ۰/۰۰۵ معنی‌دار بوده است. نتایج نشان داد که محتوای گلوکوزینولات در هر دو گروه تیمار و شاهد در طول چهار هفته نگه‌داری به تدریج کاهش یافت، اگرچه سطح گلوکوزینولات در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) بالاتر بود. نتایج نشان داد فقط در هفته اول نگه‌داری محتوای گلوکوزینولات در گروه شاهد بیشتر از گروه تیمار شده با ملاتونین بود اما از هفته دوم نگه‌داری تا هفته چهارم محتوای گلوکوزینولات در گروه تحت تیمار با ملاتونین بیشتر از گروه شاهد بود.

اثر تیمار ملاتونین بر محتوای فنول کل و فلاونوئیدها در میوه گوجه‌فرنگی: محتوای فنول کل به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثر متقابل تیمار ملاتونین و زمان نگه‌داری قرار گرفت (شکل ۳–الف) مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در طی نگهداری محتوای فنل کل بافت میوه گوجه‌فرنگی در هر دو گروه تیمار شده با ملاتونین و شاهد روند افزایشی نشان داد. از طرف دیگر تیمار ملاتونین از هفته دوم دوره نگه‌داری باعث افزایش سطح فنول کل در گوجه‌فرنگی گردید. بین گروه شاهد و تیمار تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ بین دو گروه در هفته سوم و چهارم نگه‌داری مشاهده شد



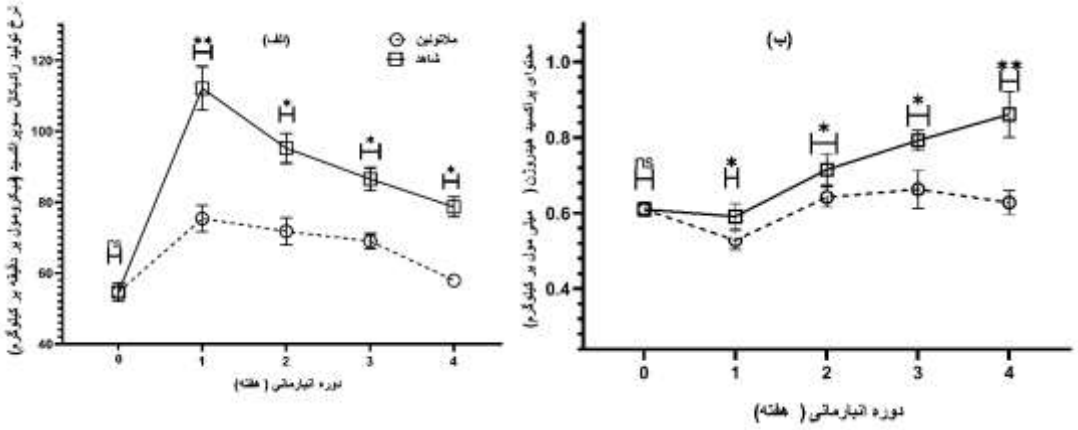
شکل۳: اثرات تیمارملاتونین بر محتوای فنل‌کل (الف) و فلاونوئیدها (ب) در میوه گوجه‌فرنگی در طی٤ هفته نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.

(*: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ و **: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ ، ns: عدم معنی‌داری)

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمار ملاتونین روی محتوای فلاونوئیدها در هفته‌های سوم تا چهارم در سطح احتمال ۰/۰۰۵ معنی‌دار بوده است. سطح فلاونوئیدها در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین در مقایسه با گروه شاهد به جز در هفته اول و دوم تفاوت معنی‌دای در سطح احتمال ۰/۰۰۵ مشاهده نشد اما در محتوای فلاونوئیدها بین گروه تیمار شده با ملاتونین و گروه شاهد در هفته سوم و چهارم نگه‌داری تفاوت معنی‌دای در سطح احتمال ۰/۰۰۵مشاهده شد(شکل ۳–ب).

اثر تیمار ملاتونین بر تولید رادیکال سوپراکسید (O_2^-) و پراکسید هیدروژن (H_2O_2): تولید رادیکال سوپراکسید (O_2^-) در میوه گوجه‌فرنگی در هفته اول انبارمانی در هر دو گروه تحت تیمار با ملاتونین و

گروه شاهد به شدت افزایش یافت و سطح تولید O_2^- در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین ۷۵/۳ میکرومول بر دقیقه بر کیلوگرم و ۱۳۹/۵ میکرومول بر دقیقه بر کیلوگرم در گروه شاهد بود (شکل ٤-الف). قابل توجه است که نرخ تولید O_2^- در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کمتر از میوه گوجه‌فرنگی شاهد در کل دوره نگه‌داری بود.



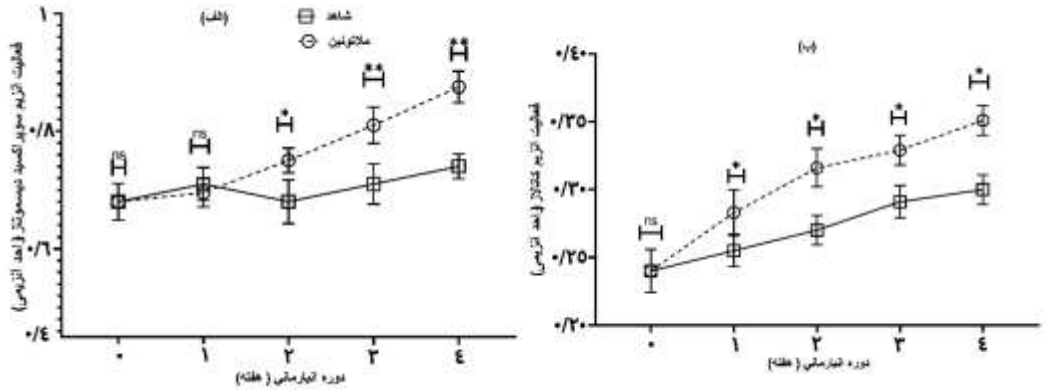
شکل ٤: اثرات تیمارملاتونین بر محتوای رادیکال سوپراکسید (**الف**) و پراکسید هیدروژن (ب) در میوه گوجه‌فرنگی در طی ٤ هفته نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد.

(*: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ و **: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱ ، ns: عدم معنی‌داری)

همانطور که در شکل ٤-ب مشاهده می‌شود محتوای H_2O_2 روند افزایشی نسبی را در هر دو گروه میوه گوجه‌فرنگی (تیمار شده و تیمار نشده) نشان داد. محتوای H_2O_2 در گروه تیمار شده با ملاتونین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کمتر از گروه شاهد در هفته‌های اول، دوم، سوم و چهارم نگه‌داری بود.

اثر تیمار ملاتونین بر فعالیت آنزیم‌های CAT و SOD: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) افزایش تدریجی را در هر دو گروه میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده و تیماره نشده در طول دوره نگه‌داری نشان داد (شکل ٥-الف). با این وجود گروه شاهد زودتر از گروه تیمار شده با ملاتونین شروع به افزایش فعالیت آنزیم SOD کرد. قابل ذکر است، از هفته دوم تا هفته چهارم نگه‌داری، فعالیت SOD در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) کمتر از میوه گوجه‌فرنگی شاهد بود. در پایان چهار هفته نگه‌داری، فعالیت SOD در گروه شاهد ۸/۸۲ درصد و در گروه تیمار شده با ملاتونین ۲۸/٦۷ درصد در طی چهار هفته نگه‌داری افزایش یافت.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در هر دو گروه شاهد و تیمار شده با ملاتونین در طول چهار هفته دوره نگه‌داری روند افزایشی ثابتی را نشان داد (شکل ٥-ب). با این حال، به طور معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) فعالیت CAT در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین بیشتر از گروه شاهد در کل دوره نگه‌داری بود. مقایسه میانگین نشان داد که فعالیت آنزیم CAT در هفته چهارم در گروه شاهد ۲۵ درصد و در گروه تیمار شده با ملاتونین ٤٥/۸ درصد در مقایسه با روز اول نگه‌داری افزایش یافت.



شکل۵: اثرات تیمارملاتونین بر محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (الف) و آنزیم کاتالاز (ب) در میوه گوجه‌فرنگی در طی ٤ هفته نگه‌داری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

(*: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۵ و **: معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ns: عدم معنی‌داری)

بحث

میوه گوجه‌فرنگی تازه به دلیل ارزش کالری کم و محتوای فیبر غذایی بالا، سطوح قابل توجه لیکوپن، و به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از ترکیبات ضد سرطان و آنتی اکسیدان، در بسیاری از نقاط جهان یک سبزی محبوب است(Jannatizadeh et al., 2019). تنش ناشی از اختلال ناگهانی انرژی، مواد مغذی و هورمون‌ها که در اثر برداشت اتفاق می‌افتد، فرآیندهای پیری را در میوه گوجه فرنگی فعال می‌کند و پیری به صورت تخریب دیواره سلولی و کاهش ارزش غذایی ظاهر می‌شود. در مجموع، این تغییرات ارزش اقتصادی میوه گوجه‌فرنگی را کاهش می‌دهد (Zhou et al., 2021). مطالعه حاضر نشان داد که غوطه‌ورسازی پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی در محلول ملاتونین نسبت به میوه شاهد باعث مهار قابل توجه درصد کاهش وزن‌تر، کاهش تولید ویتامین ث، گلوکوزینولات، فنول کل و فلاونوئیدها، کاهش تولید رادیکال O_2^-، تجمع کمتر H_2O_2 و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با دفاع آنتی اکسیدان سلول گردیده است.

میوه گوجه‌فرنگی نرخ تنفس پس از برداشت نسبتاً بالایی دارد، که این امر موجب سرعت بخشیدن به فرآیندهای مربوط به بلوغ یا پیری، افزایش سرعت از دست دادن آب و افزایش سرعت رسیدن میوه می‌گردد (Tao et al., 2022). در مطالعه حاضر، غوطه‌وری میوه‌گوجه‌فرنگی در محلول ملاتونین، سرعت کاهش وزن را تعدیل می‌کند، که این امر پیری میوه گوجه‌فرنگی برداشت شده در انبار را به تاخیر می‌اندازد. سطح میزان رادیکال‌های آزاد درون سلولی ارتباط نزدیکی با پیری میوه گوجه‌فرنگی دارد و نقش مهمی در حفظ کیفیت میوه در طول نگه‌داری دارد (Torun and Uluisik, 2022). در مطالعه ما، همبستگی منفی بین فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان و محتوای رادیکال‌های آزاد درون سلولی مشاهده شد.

گوجه فرنگی منبعی غنی از انواع ویتامین‌ها و مواد شیمیایی گیاهی است که این مواد در رنگ، مزه و ظاهر و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گوجه‌فرنگی کمک می‌کند. اما نگهداری میوه گوجه‌فرنگی در دمای پایین منجر به کاهش چشمگیر ترکیبات فوق می‌گردد (Tao et al., 2022). نتایج مطالعه ما نشان می‌دهد که تیمار میوه گوجه‌فرنگی با ملاتونین با مهار از دست دادن ویتامین ث، گلوکوزینولات‌ها، فنول‌کل و فلاونوئیدها، که به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فعال زیستی مهمی هستند، به حفظ کیفیت غذایی میوه گوجه‌فرنگی کمک می‌کند. ملاتونین، به

دلیل پتانسیل آنتی‌اکسیدانی ذاتی خود، به نظر می‌رسد سنتز فنول کل را به طور مثبت تنظیم می‌کند (Hayat et al., 2022b). داده‌های ما نشان می‌دهد که توانایی حفظ سطح ترکیبات فعال زیستی مهم پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی ممکن است با تنظیم بالقوه سنتز ترکیبات فتوسنتزی، حفاظتی و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی توسط ملاتونین مرتبط باشد، که منجر به تاخیر در مرحله پیری بافت‌های میوه گوجه‌فرنگی می‌شود.

میوه گوجه‌فرنگی برداشت شده در طول نگه‌داری پس از برداشت مستعد انواع آسیب‌های مکانیکی و تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در پیری میوه است که هر دو باعث افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) همچون رادیکال سوپراکسید و پراکسید هیدروژن می‌شوند که این ترکیبات یکی از دلایل اصلی خراب شدن غشاهای زیستی است که کیفیت و بازارپسندی محصولات را کاهش می‌دهد (Zhou et al., 2022). سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی در گیاهان برای محدود کردن تجمع ROS و مهار آسیب اکسیداتیو تکامل یافته‌اند، آنزیم‌های CAT و SOD آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اصلی هستند (Hatamnia et al., 2016). در شرایط تنش‌های محیطی مولکول اکسیژن با دریافت یک الکترون تبدیل به رادیکال منفی سوپراکسید (O_2^-) می‌شود. که این ترکیب قادر به عبور از غشاهای زیستی نمی‌باشد. اگر این رادیکال سوپراکسید یک الکترون دیگر دریافت کند تبدیل به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) می‌شود این واکنش توسط آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) انجام می‌شود (Masia, 1998). این ترکیب (H_2O_2) به راحتی می‌تواند از غشاهای زیستی عبور کند و همچنین H_2O_2 باقیمانده در سلول می‌تواند به کمک آنزیم کاتالاز (CAT) به آب و اکسیژن تبدیل گردد. بنابراین آنزیم‌های CAT و SOD گونه‌های فعال اکسیژن اضافی را که در پاسخ به تنش تجمع می‌یابد حذف می‌کنند(Wang et al., 2022). گزارش‌های مطالعات گذشته نشان می‌دهد که ملاتونین ممکن است به عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان عمل کند که می‌تواند رادیکال‌های آزاد مانند H_2O_2 و O_2^- را از بین ببرد و از مولکول‌های زیستی در برابر آسیب رادیکال‌های آزاد محافظت کند (Mishra et al., 2022). نتایج مطالعه حاضر نشان داد که سطح فعالیت آنزیم SOD و CAT در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین بیشتر از میوه گوجه‌فرنگی تیمار نشده بود، این نتایج موازی و تایید کننده نتایج مربوط به غلظت رادیکال سوپراکسید و H_2O_2 بود (شکل٤). این داده‌ها نشان می‌دهد که ملاتونین می‌تواند با گسترش متابولیسم ترکیبات و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تولید ROS را مهار کند و از این طریق آسیب ناشی از تنش اکسیداتیو به غشاها را کاهش داده و پیری میوه را به تاخیر بیاندازد.

تنظیم متابولیسم ROS در سلول‌ها در زمان پیری سلول و بافت‌های گیاهی به هم می‌ریزد و منجر به تخریب ماکرومولکول‌های سلولی می‌شود. با این حال، سطح کافی از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توانایی بهبود آسیب ناشی از سطوح اضافیROS، از جمله تخریب کلروفیل را دارد. نتایج پژوهش نشان داد که حفظ کیفیت ظاهر قرمز رنگ در میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با ملاتونین حاصل شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

در کل غوطه‌وری میوه گوجه‌فرنگی برداشت شده پس از برداشت در محلول ۱۰۰ میکرومولار بر لیتر ملاتونین در طول ذخیره‌سازی با به تاخیر انداختن از دست دادن وزن‌تر، مهار از دست دادن مواد مغذی و تاخیر در پیری؛ منجر به حفظ شکل ظاهر و کیفیت میوه گوجه‌فرنگی شد. اثر ملاتونین بر میوه گوجه‌فرنگی با کاهش محتوای رادیکال‌های آزاد و افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان همراه است. بر اساس داده‌های به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر، در

نتیجه افزایش ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی و همچنین ترکیبات آنتی‌اکسیدان همچون ویتامین‌ث رسیدن به این نتیجه تسهیل شده است. در پایان به نظر می‌رسد تیمار پس از برداشت با ملاتونین یک روش مفید برای حفظ شکل ظاهری و همچنین کیفیت و سطوح مواد مغذی میوه گوجه‌فرنگی ذخیره شده می‌تواند باشد و سبب افزایش عمر مفید آن گردد.

References

Cao, S., Shao, J., Shi, L., Xu, L., Shen, Z., Chen, W. and Yang, Z. (2018). Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage. Scientific Reports, 8: 1-11.

Cao, S., Song, C., Shao, J., Bian, K., Chen, W. and Yang, Z. (2016). Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64: 5215-5222.

Delgado-Vargas, F., Vega-Álvarez, M., Landeros Sánchez, A., López-Angulo, G., Salazar-Salas, N.Y., Quintero-Soto, M.F., Pineda-Hidalgo, K.V. and López-Valenzuela, J.A. (2022). Metabolic changes associated with chilling injury tolerance in tomato fruit with hot water pretreatment. Journal of Food Biochemistry, e14056.

Gao, H., Zhang, Z.K., Chai, H.K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D.N., Yang, T. and Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. Postharvest Biology and Technology, 118:103-110.

Han, A., Cao, S., Li, Y., Wang, H., Wei, Y., Shao, X. and Xu, F. (2019). Sucrose treatment suppresses programmed cell death in broccoli florets by improving mitochondrial physiological properties. Postharvest Biology and Technology, 156:110932.

Han, C., Li, J., Jin, P., Li, X., Wang, L. and Zheng, Y. (2017). The effect of temperature on phenolic content in wounded carrots. Food Chemistry, 215: 116-123.

Hatamnia, A.A., Rostamzad, A., Hosseini, M., Abbaspour, N., Darvishzadeh, R., Malekzadeh, P. and Aminzadeh, B.M. (2016). Antioxidant capacity and phenolic composition of leaves from 10 Bene (*Pistacia atlantica* subsp. kurdica) genotypes. Natural Product Research, 30: 600-604.

Hayat, F., Sun, Z., Ni, Z., Iqbal, S., Xu, W., Gao, Z., Qiao, Y., Tufail, M., Jahan, M. and Khan, U. (2022). Exogenous Melatonin Improves Cold Tolerance of Strawberry (*Fragaria*× *ananassa* Duch.) through Modulation of DREB/CBF-COR Pathway and Antioxidant Defense System. Horticulturae, 8: 194.

Hu, W., Yang, H., Tie, W., Yan, Y., Ding, Z., Liu, Y., Wu, C., Wang, J., Reiter, R.J. and Tan, D.-X. (2017). Natural variation in banana varieties highlights the role of melatonin in postharvest ripening and quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65: 9987-9994.

Jannatizadeh, A., Aghdam, M.S., Luo, Z. and Razavi, F. (2019). Impact of exogenous melatonin application on chilling injury in tomato fruits during cold storage. Food and Bioprocess Technology, 12: 741-750.

Jiao, J., Jin, M., Liu, H., Suo, J., Yin, X., Zhu, Q. and Rao, J. (2022). Application of melatonin in kiwifruit (*Actinidia chinensis*) alleviated chilling injury during cold storage. Scientia Horticulturae, 296: 110876.

Lai, T., Wang, Y., Li, B., Qin, G. and Tian, S. (2011). Defense responses of tomato fruit to exogenous nitric oxide during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology, 62:127-132.

Krasnow, C. and Ziv, C. (2022). Non-Chemical Approaches to Control Postharvest Gray Mold Disease in Bell Peppers. Agronomy 12: 216.

Li, Y., Zhang, L., Zhang, L., Nawaz, G., Zhao, C., Zhang, J., Cao, Q., Dong, T. and Xu, T. (2022). Exogenous melatonin alleviates browning of fresh-cut sweetpotato by enhancing anti-oxidative process. Scientia Horticulturae, 297: 110937.

Magri, A. and Petriccione, M. (2022) Melatonin treatment reduces qualitative decay and improves antioxidant system in highbush blueberry fruit during cold storage. Journal of the Science of Food and Agriculture.102: 4229-4237.

Masia, A. (1998) Superoxide dismutase and catalase activities in apple fruit during ripening and post-harvest and with special reference to ethylene. Physiologia Plantarum, 104: 668-672.

Mishra, S., Barman, K., Singh, A.K. and Kole, B. (2022). Exogenous polyamine treatment preserves postharvest quality, antioxidant compounds and reduces lipid peroxidation in black plum fruit. South African Journal of Botany, 146: 662-668.

Mordente, A., Guantario, B., Meucci, E., Silvestrini, A., Lombardi, E., E Martorana, G., Giardina, B. and Bohm, V. (2011). Lycopene and cardiovascular diseases: an update. Current Medicinal Chemistry, 18: 1146-1163.

Rabiei, Z., Hosseini, S., Dehestani, A., Pirdashti, H. and Beiki, F. (2022). Exogenous hexanoic acid induced primary defense responses in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants infected with Alternaria solani. Scientia Horticulturae, 295: 110841.

Serrano, M., Martinez-Romero, D., Guillen, F. and Valero, D. (2003). Effects of exogenous putrescine on improving shelf life of four plum cultivars. Postharvest Biology and Technology, 30: 259-271.

Sozzi, G.O., Trinchero, G.D. and Fraschina, A.A. (1999). Controlled-atmosphere storage of tomato fruit: low oxygen or elevated carbon dioxide levels alter galactosidase activity and inhibit exogenous ethylene action. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79: 1065-1070.

Srivastava, A. and Handa, A.K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. Journal of Plant Growth Regulation, 24: 67-82.

Tao, X., Wu, Q., Li, J., Huang, S., Cai, L., Mao, L., Luo, Z., Li, L. and Ying, T. (2022). Exogenous methyl jasmonate regulates phenolic compounds biosynthesis during postharvest tomato ripening. Postharvest Biology and Technology, 184: 111760.

Torun, H. and Uluisik, S. (2022). Postharvest application of hydrogen peroxide affects physicochemical characteristics of tomato fruits during storage. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 63:1-11.

Wang, B., Yang, W. and Shan, C. (2022). Effects of selenomethionine on the antioxidative enzymes, water physiology and fruit quality of strawberry plants under drought stress. Horticultural Science, 49:10.

Xu, L., Yue, Q., Xiang, G., Bian, F.e. and Yao, Y. (2018). Melatonin promotes ripening of grape berry via increasing the levels of ABA, H_2O_2, and particularly ethylene. Horticulture Research. 41: 48-74.

Zhou, R., Cen, B., Jiang, F., Sun, M., Wen, J., Cao, X., Cui, S., Kong, L., Zhou, N. and Wu, Z. (2021). Reducing the Halotolerance Gap between Sensitive and Resistant Tomato by Spraying Melatonin. Agronomy, 12:84-95.

Zhou, R., Cen, B., Jiang, F., Sun, M., Wen, J., Cao, X., Cui, S., Kong, L., Zhou, N. and Wu, Z. (2022). Reducing the Halotolerance Gap between Sensitive and Resistant Tomato by Spraying Melatonin. Agronomy, 12:84.