فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۳، آذر و دی‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۸۹-۴۰۵
https://doi.org/10.22034/13.63.389

مقاله پژوهشی

بررسی اثر تیمارهای گابا و پرولین روی حفظ کیفیت پس از برداشت میوه لیموشیرین (*Citrus limetta*)

طیبه حیدری[۱]، زهرا پاک‌کیش*[۱] و سهیلا محمدرضاخانی[۲]
[۱] بخش باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
[۲] مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، جیرفت، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷)

چکیده
یکی از راه‌های اصولی جهت افزایش عمر انبارمانی میوه‌ها، استفاده از تیمارهایی است که بتوانند خصوصیات کیفی و بازارپسندی را افزایش دهند. در این تحقیق استفاده از ترکیباتی از جمله پرولین و گابا به دلیل داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی به منظور محافظت از غشاهای سلولی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری در طی دوره پس از برداشت در میوه‌های لیموشیرین صورت گرفته است. تیمارها شامل، غلظت‌های گابا ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول بر لیتر، پرولین ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومول بر لیتر و آب‌مقطر (شاهد) بودند. سپس میوه‌ها مورد نظر به مدت پنج دقیقه با روش غوطه‌ورکردن، در محلول‌های مورد نظر تیمار شدند. بعد از خشک‌شدن کامل میوه‌ها،آنها در بسته‌های ۵ تایی قرار داده و به سردخانه منتقل و در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد، به مدت چهار ماه نگهداری شدند و به فاصله هر ۳۰ روز یکبار، تعدادی از میوه‌ها را از سردخانه خارج نموده و صفاتی نظیر درصد آسیب‌دیدگی میوه، اسیدهای آلی، میزان مواد جامد محلول، فعالیت آنزیم‌های پرکسیداز و کاتالاز، پروکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی بررسی شدند. نتایج نشان دادند که میزان آسیب‌دیدگی، نشت یونی، پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها در میوه‌های تیمارشده با گابا ۲۰۰ میکرومول و پرولین ۲۵۰ میکرومول نسبت به شاهد کاهش یافته است. تیمار میوه‌های لیمو شیرین با گابا ۲۰۰ میکرومول و پرولین ۲۵۰ میکرومول منجر به افزایش در میزان مواد جامد محلول، اسیدهای آلی و همچنین فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گردیده است. بنابراین، کاربرد گابا و پرولین می‌تواند جهت افزایش عمر انبارمانی میوه در سطح تجاری توصیه گردد.

کلمات کلیدی: آنتی‌اکسیدان، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز انبارمانی، کیفیت میوه

مقدمه
لیموشیرین از میوه‌های گرمسیری و از مرکبات قابل رقابت ایران در بازارهای جهانی و منطقه‌ای است عوامل مختلفی از قبیل زمان برداشت، جابه‌جایی محصول، دما و طول مدت انبارمانی بر خواص مختلف میوه تأثیر می‌گذارند و پیامدهای اقتصادی قابل‌توجهی را به دنبال دارد (FotouhiGhazvini and FattahiMoghaddam, 2007).

بیماری‌های بعد از برداشت نقش مهمی در محدودکردن عمر انبارمانی در مرکبات دارند، در طی انبار طولانی به دلیل تغییرات فیزیولوژیکی که در محصولات انجام می‌گیرد، باعث

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: Zahrapakkish@uk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

می‌گردد، عامل بیماری بتواند در میوه رشد کند و آسیب‌پذیری نسبت به بیمارهای بعد از برداشت افزایش یابد (Crisosto and Kader, 2000).

محصولات باغبانی به دلیل داشتن آب زیاد، به طور طبیعی آمادگی تخریب را دارند. آنها از لحاظ بیولوژیکی بسیار فعال بوده و تنفس، تبخیر و تعرق، رسیدن و سایر فعالیت‌های بیوشیمیایی، منجر به از بین‌رفتن کیفیت در آنها می‌شود (Thumula, 2006). کاهش سرعت رسیدن و به تعویق انداختن مرحله پیری در همه میوه‌ها به منظور افزایش عمر نگهداری آن بسیار ضروری است (Crisosto and Kader, 2000).

گابا از آمینواسیدهای آزاد و در سلول‌های گیاهی به مقدار قابل توجهی تجمع پیدا می‌کند و در پاسخ به تنش در گیاهان تجمع می‌یابد. تنش‌های مختلف از قبیل تغییرات دما و برخی از تنظیم‌کننده‌های رشد در بافت‌های گیاهی باعث تجمع گابا می‌شوند (Shelp *et al*., 2012).

از نقش‌های احتمالی گابا می‌توان به حفظ تعادل کربن به نیتروژن، رشد و هدایت دانه‌گرده، تنظیم pH سیتوسولی، حفاظت در مقابل تنش اکسیداتیو، جلوگیری از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در تنش‌های مختلف محیطی، دفاع در برابر حشرات، مشارکت در چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید، متابولیزم نیتروژنو تنظیم‌کننده اسمزی نمو گیاه اشاره کرد (Nayyar *et al*., 2014).

پرولین یکی از ترکیبات ذخیره‌ای و یک ماده قابل حل است که دارای وزن مولکولی پایین است و تولید و تجمع پرولین از سازگاری‌های مهم فیزیولوژیک در گیاهان تحت تنش اکسیداتیو است. در واقع پرولین می‌تواند به عنوان منبع ذخیره کربن و نیتروژن برای بافت‌های در حال ترمیم، یک ترکیب مؤثر در تنظیم و تعدیل فشار اسمزی، یک بافر برای تثبیت pH، یک پاک‌کننده گونه اکسیژن واکنش‌گر در سلول و نیز به عنوان یک مولکول محافظ، عمل کند (Ashraf and Foolad, 2007).

پرولین نقش مهمی را در سلول‌های گیاهی در پاسخ‌های سازگارکننده و محافظتی در مقابل تنش‌ها ایفا می‌کند و از آسیب‌های اکسیداتیو مثل آسیب به پروتئین‌ها و تخریب آنزیم‌ها، RNA، DNA و لیپیدهای غشایی جلوگیری کند و سبب افزایش تحمل و مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها می‌شود (Ashraf and Foolad, 2007).

با کاربرد گابا روی گوجه‌فرنگی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافته است،که نشان‌دهنده تأثیر گابا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است. همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد گابا افزایش یافته و منجر به کاهش علایم سرمازدگی در گیاهچه‌های گندم شده است (Malekzadeh *et al*., 2014). کاربرد گابا در غلظت ۲۰ میلی‌مولار در میوه موز باعث کاهش آسیب سرمازدگی، تجمع پرولین، افزایش فنل کل، افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ کیفیت گردید (Deng *et al*., 2010).

گابا باعث افزایش انسجام غشاهای سلولی همچون غشای پلاسمایی و تیلاکوئیدی و مانع تخریب دستگاه فتوسنتزی می‌شود. این عملکرد باعث افزایش میزان کلروفیل و افزایش فتوسنتز شده و در رشد و نمو گیاه نقش بسزایی دارد (Shelp *et al*., 2012). گزارش شده است که در طی تنش سرما متابولیسم گابا در بافت میوه هلو افزایش می‌یابد، که باعث کاهش آسیب سرمایی می‌شود، کم شدن آسیب سرمایی در میوه‌های هلوی تیمارشده با گابا در انبار سرد ممکن است در نتیجه تجمع پرولین باشد (Shang *et al*., 2011).

گزارش شده که محلولپاشی پس از برداشت گاماآمینوبوتریک اسید بر گیلاس رقم تک دانه مشهد سبب حفظ مقدار اسیدهای قابل تیتراسیون، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان کل، فنل کل، فلاونوئید کل در میوه‌های تیمارشده نسبت به میوه‌های شاهد بعد از ۳۰ روز انبارمانی شده است. در حالی‌که مقدار pH در میوهای تیمارشده نسبت به میوه‌های تیمارنشده در طول انبارمانی کاهش یافت (Hassanpour *et al*., 2018).

کاربرد خارجی پرولین سبب کاهش خسارت تنش اکسیداتیو و کاهش اثرات رادیکال‌های آزاد می‌شود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

(Mansour, 2000). تا کنون گزارشی مبنی بر کاربرد پرولین جهت افزایش عمر پس از برداشت محصولات باغی ارایه نشده است و این اولین گزارش در این زمینه است. گابا از طریق فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در مسیرهای متابولیسم نیتروژن، تجمع آلانین محافظ در برابر تنش و جلوگیری از تجمع ROS و مرگ سلول و حذف ROS رابهبود دهد (Barbosa *et al.*, 2010).

هدف از این پژوهش بررسی کاربرد تیمار بعد از برداشت پرولین و گابا روی حفظ صفات شیمیایی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب سرمازدگی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی میوه‌ها و حفظ کیفیت ظاهری میوه‌های لیموشیرین طی انبارمانی بوده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش در آزمایشگاه بخش علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی د انشگاه شهید باهنر کرمان انجام شده است. میوه‌های لیموشیرین سالم، یکنواخت و عاری از هر نوع عامل بیماری‌زا به منظور اعمال تیمار بکار برده شدند. میوه‌ها در از یک باغ تجاری واقع در جیرفت در استان کرمان در زمان رسیدن کامل (در آذرماه) برداشت شدند. ابتدا میوه‌ها با آب معمولی کاملاً شسته شدند تا تمام مواد زایدی که به سطح میوه چسبیده بودند از آن جدا، سپس با آب ۳۵ درجه سانتی‌گراد شستشو تا میوه‌ها از هر نوع عامل بیماری‌زایی سطحی تمیز گردند و در نهایت میوه‌ها به طور کامل خشک و با مواد شیمیایی مورد نظر تیمار شدند.

برای انجام تیمار، غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومول گابا و پرولین با غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرومول بر لیتر و آب‌مقطر (شاهد) به مدت پنج دقیقه با روش غوطه‌ورکردن، (دمای محلول‌ها ۴±۲۰ درجه سانتیگراد) استفاده شدند. بعد از تیمار، میوه‌ها از محلول خارج و در سبدهایی قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. بعد از خشک‌شدن و جذب‌شدن کامل مواد مذکور توسط میوه‌ها، در بسته‌های پنج تایی در ظروف یکبار مصرف شفاف، قرار داده شدند و آنها به سردخانه منتقل و در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد، به مدت چهار ماه نگهداری شدند.

در نهایت به فاصله هر ۳۰ روز یکبار، تعدادی از میوه‌ها را از سردخانه خارج نموده و برای بررسی عمر انبارمانی و تغییرات بیوشیمیایی میوه، نظیر میزان آسیب‌دیدگی میوه، اسیدهای آلی، میزان مواد جامد محلول، pH، فعالیت آنزیم‌های پرکسیداز و کاتالاز، پروکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یون بررسی شدند.

اندازه‌گیری میوه‌های آسیب‌دیده: ارزیابی میزان میوه‌های آسیب‌دیده در لیموشیرین ۳۰ روزی یکبار به مدت چهار ماه نگهداری در دمای پایین صورت گرفت. وجود لکه‌های قهوه‌ای رنگ به همراه فرورفتگی‌های سطح میوه و پوسیدگی روی سطح میوه به عنوان میوه‌های آسیب‌دیده (هر گونه علایمی که از بازارپسندی میوه می‌کاهد، به عنوان آسیب در نظر گرفته شد) در نظر گرفته شد. میزان میوه‌های آسیب‌دیده بدین صورت محاسبه گردید (Nilprapruck *et al.*, 2008).

رابطه ۱)

درصد میوه‌های آسیب‌دیده = (تعداد کل میوه – تعداد میوه سالم / تعداد کل میوه) × ۱۰۰

اندازه‌گیری نشت یونی: اندازه‌گیری شاخص پایداری غشا از روش (Dhindsa *et al.*, 1981) انجام شد. در این روش ابتدا ۰/۱ گرم از پوست میوه توزین گردیده و سپس به قطعات مساوی کوچک‌تر تقسیم و در لوله‌ای کوچک در پوشدار قرار داده شدند و در ادامه به هر کدام ۱۵ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه گردیده و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند، پس از آن هدایت الکتریکی محلول حاصله با دستگاه ECمتر مدل Metrhom (ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد. که بدین صورت EC1، بدست آمد.

برای اندازه گیری EC2، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت فریزشده (دمای ۲۰- درجه) و ۲۴ ساعت دیگر در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند و مجدد هدایت الکتریکی محلول حاصله اندازه‌گیری شد (EC_2) در پایان میزان نشت یونی با استفاده از نسبت $EC_1/EC_2 \times 100$ محاسبه گردید.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشا: بر طبق این روش (Dhindsa *et al.*, 1981) ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی وزن شده و در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ مدل NAPco2028R ساخت کشور سوییس به مدت ۱۰ دقیقه در g ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد، به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد، که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید (TBA) بود، اضافه شد.

مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتیگراد حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شد و دوباره مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در g۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد، ماده مورد نظر در این طول‌موج، کمپلکس قرمز رنگ (MDA-TBA) است، برای حذف ترکیبات اضافی، جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر خوانده و از جذب نمونه در طول‌موج ۵۳۲ نانومتر کسر گردید و برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل $155\ mM^{-1}cm^{-1}$ و معادله زیر استفاده گردید:

رابطه ۲)

$$A= \epsilon BC$$

در این معادله، A جذب خوانده‌شده، (€) ضریب خاموشی، B عرض کووت و C غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب نانومول بر گرم وزن تر محاسبه شد (Dhindsa *et al.*, 1981).

اندازه‌گیری اسید آلی: برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه را توسط پیپت داخل ظرف شیشه‌ای ریخته و به آن ۲۰ تا ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر اضافه شد (Basiouny, 1996). سپس عمل سنجش حجمی (تیتراسیون) توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال انجام داده شد. بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرف‌شده در عمل تیتراسیون، مقدار اسید را در عصاره میوه به صورت درصد یا گرم اسید در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه محاسبه گردید. برای این منظور از معادله زیر استفاده شد:

رابطه ۳)

$$A=S.N.F.E/C\times100$$

A= مقدار اسید در عصاره میوه (گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)، S= مقدار سدیم مصرف‌شده بر حسب میلی‌لیتر، N= نرمالیته NaOH، F= فاکتور NaOH، C= مقدار عصاره میوه (ml)، E= اکی‌والان اسید مورد نظر و اندازه‌گیری میزان اسیدیته (pH)

جهت تعیین اسیدیته آب میوه از عصاره صاف‌شده میوه و با استفاده از دستگاه pHمتر(مدل ۳۳۲۰ ساخت شرکت Jenway انگلستان) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری انجام گرفت.

اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن: ۰/۱ گرم از بافت گیاهی را با ۳ میلی‌لیتر تری‌کلرور استیک اسید (۰/۱ درصد یعنی ۰/۱ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب) در حمام یخ مخلوط کرده بعد در ۱۲۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ نموده و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره حاصل با ۰/۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار با pH =۷ و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم (KI) یک مولار مخلوط و سپس هر نمونه در طول‌موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد (Velikova *et al.*, 2000).

اندازه گیری فعالیت آنزیم، استخراج پروتئین: ابتدا یک گرم بافت گیاهی را در هاون حاوی ۵ میلی‌لیتر بافر تریس-HCL ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ سائیده تا محلول همگنی بدست آید. محلول را به لوله سانتریفیوژ منتقل نموده و بعد از ۱۰ دقیقه سکون به مدت ۲۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ یخچال‌دار، سانتریفیوژ نموده، سپس لوله‌ها به آرامی از دستگاه خارج و محلول رویی را در لوله آزمایش ریخته و عصاره پروتیئنی حاصل شد که برای سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز بکار رفت.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: پس از آماده‌سازی عصاره پروتیئنی، برای سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به معرف‌های زیر نیاز است:

۲ میلی‌لیتر بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار pH =۷/۵، ۳۰۰ میکرولیتر آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

که همگی آنها را در حمام یخ با هم مخلوط نموده و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۴۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Kochba *et al*., 1977).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت کاتالاز براساس کاهش جذب آب اکسیژنه در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت (Dhindsa *et al*., 1981). براساس این روش مخلوط واکنش ۳ میلی‌لیتر (شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، آب اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با اضافه‌کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش شروع شد و کاهش در جذب آب اکسیژنه در مدت ۳۰ ثانیه در طول‌موج ۲۴۰ نانومتربا استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری Cary 500 ساخت شرکت Varian اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیمی مقدار آنزیمی است که یک میلی‌مول آب اکسیژنه را در مدت یک دقیقه تجزیه کند. چون میزان فعالیت آنزیم براساس غلظت آب اکسیژنه تجزیه‌شده محاسبه شد. غلظت آب اکسیژنه مصرف‌شده با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS): در این تحقیق اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS) توسط رفراکتومتر دستی (مدل H 50 از شرکت Atago ژاپن) صورت گرفته است (Zokaee- Khosroshahi and Esna-Ashari, 2007).

اندازه‌گیری اسید آسکوربیک: برای اندازه‌گیری اسید آسکوربیک ۱/۲۶۹ گرم ید را با ۱۶/۶ گرم یدید پتاسیم در آب مقطر مخلوط کرده و حجم آن به یک لیتر رسانده شد. در این مخلوط، نرمالیته ید ۰/۰۱ نرمال است، اما قبل از آزمایش باید فاکتور آن اندازه‌گیری شود. برای این منظور مخلوط حاضر شده را ۱ الی ۲ روز نگهداری کرده، سپس ۲۰ میلی‌لیتر از مخلوط فوق را در یک ظرف دیگر ریخته، روی آن ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته یک درصد اضافه می‌نمایند. این مخلوط با محلول اسید آسکوربیک خالص تیتر شد. به طوریکه در نقطه پایان محلول به رنگ خاکستری کم‌رنگ در آید. برای تهیه محلول اسید آسکوربیک ۱۰۰ میلی‌لیتر پودر خالص آن را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر حل شد. برای محاسبه فاکتور مخلوط ید از معادله زیر استفاده شد (Basiouny, 1996).

رابطه ۳)

$$F=A/B\times N\times 88.1$$

F= فاکتور مخلوط ید، A= مقدار اسید آسکوربیک خالص (میلی‌گرم)، B= مقدار مخلوط ید مصرف‌شده (میلی‌گرم)، N= نرمالیته مخلوط ید

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS9.2 صورت گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و مقایسه میانگین اثرات متقابل توسط نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج

اثر پرولین و گابا روی درصد میوه آسیب‌دیده لیموشیرین: طبق نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر، با گذشت زمان درصد میوه‌های آسیب‌دیده افزایش یافته است به‌طوریکه با کاربرد تیمارهای پرولین و گابا در میوه‌های لیموشیرین درصد میوه‌های آسیب‌دیده طی انبارمانی کاهش پیدا کرد.

به‌طوریکه طی چهار ماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین درصد میوه‌های آسیب‌دیده مربوط به تیمار شاهد و کمترین درصد پس از پایان دوره انبارمانی در میوه‌های تیمارشده با پرولین ۲۵۰ میکرومول و گابا ۲۰۰ میکرومول مشاهده شد، که در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۱ و شکل ۱).

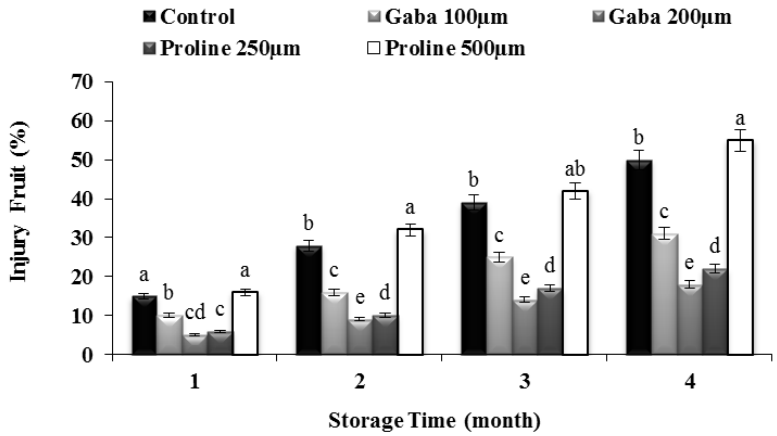
نشت یونی: نتایج مربوط به صفت نشت یونی نشان داد که با گذشت زمان بیشترین میزان نشت یونی در میوه‌های شاهد وکمترین مربوط به میوه‌های تیمارشده با غلظت ۲۰۰ میکرومول گابا بود (جدول ۲). سایر تیمارها نیز میزان نشت یونی را در مقایسه با تیمار شاهد کاهش دادند. غوطه‌وری بر نشت یونی در زمان برداشت تأثیر نداشت، پرولین ۵۰۰ میکرومولار تأثیر مثبتی بر کاهش نشت یونی نداشته و فاقد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان درصد میوه‌های آسیب‌دیده لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	-	۰/۵۴*	۰/۸۹*	۱/۶۰*	۲/۷۰*
خطا	۱۰	-	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		-	۱/۸۰	۱/۴۷	۱/۰۸	۱/۰۷

****معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری**



شکل ۱- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی درصد میوه آسیب‌دیده در میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان نشت یون لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۰۰۱ns	۰/۱۳*	۰/۳۶*	۱/۰۰۵*	۱/۸۸*
خطا	۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)		۱/۰۴	۱/۱۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۸۶

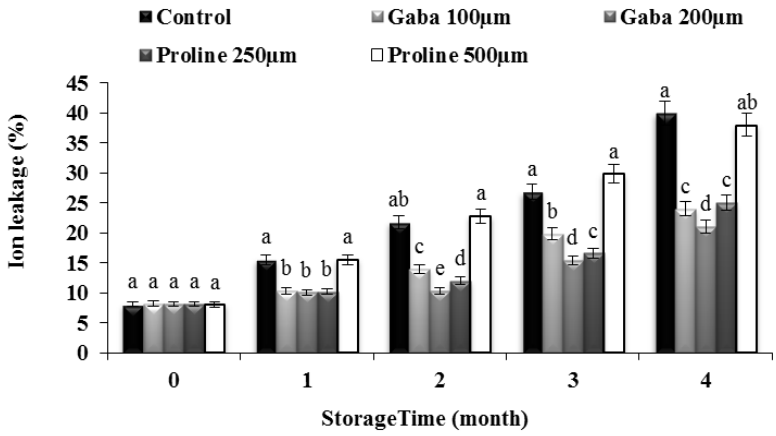
****معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ns عدم معنی‌داری**

اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بود (شکل ۲).

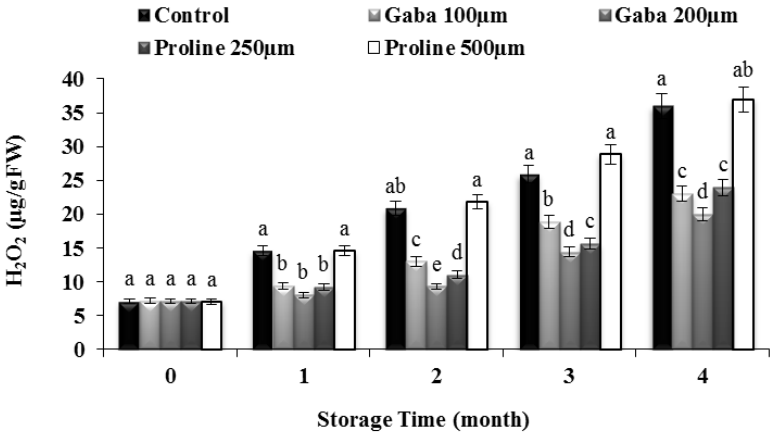
به‌طوریکه در پایان چهار ماه از شروع انبارمانی، میزان نشت یونی در میوه‌های شاهد نسبت به میوه‌های تیمارشده افزایش یافته است. به‌طوریکه کمترین میزان در میوه‌های تیمارشده با گابا ۲۰۰ میکرومولار بوده است.

پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدها: طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر (جدول ۳)، تیمار پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین با پرولین و گابا نشان داد، پراکسید هیدروژن (شکل ۳) و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا (شکل ۴) میوه‌های تیمارشده و تیمارنشده، طی انبارمانی افزایش پیدا کرد، ولی میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا میوه‌های شاهد و تیمار پرولین ۵۰۰ میکرومول طی انبارمانی بیشتر افزایش یافت. به‌طوریکه طی چهار ماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین میزان پراکسید هیدروژن و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا مربوط به میوه‌های شاهد (تیمار-نشده) و غلظت ۵۰۰ میکرومول پرولین و کمترین

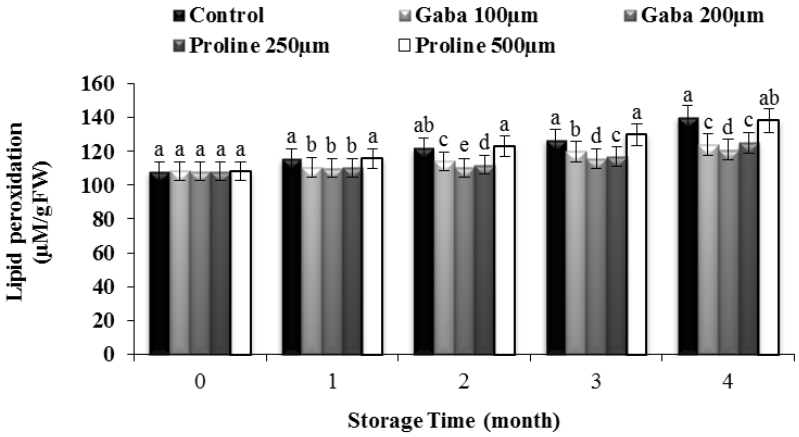
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]



شکل ۲- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی درصد نشت یونی در میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی



شکل ۳- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی میزان پراکسید هیدروژن در میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی



شکل ۴- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی میزان پراکسیداسیون لیپیدها میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

میزان پس از پایان دوره انبارمانی مربوط به میوه‌های تیمارشده با گابا ۲۰۰ میکرومول بود. سایر تیمارها نیز پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را در مقایسه با شاهد کاهش دادند (شکل‌های ۳ و ۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشای لیموشیرین طی انبارمانی

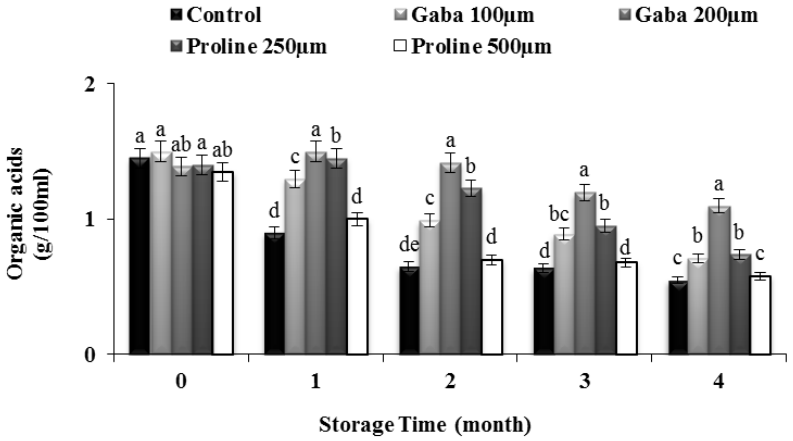
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۱۴/۵۴^{ns}	۲۳/۷۸*	۲۴/۲۸*	۲۶/۳۷*	۱۵/۷۶*
خطا	۱۰	۵/۸۲	۳/۳۱	۲/۳۳	۱/۱۰	۲/۶۰
ضریب تغییرات (٪)		۱۴/۸۲	۱۰/۳۲	۸/۲۹	۵/۴۷	۸/۰۶

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان اسیدهای آلی لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۱۸/۳۱^{ns}	۱۸/۶۵*	۱۹/۹۲*	۲۲/۸۳*	۲۷/۰۸*
خطا	۱۰	۵/۹۹	۵/۴۵	۵/۸۵	۵/۶۱	۵/۳۳
ضریب تغییرات (٪)		۱۶/۰۴	۱۵/۱۳	۱۵/۲۵	۱۴/۵۴	۱۳/۶۲

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری



شکل ۵- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی میزان اسید آلی میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

اسیدهای آلی: طبق نتایج بدست آمده (جدول ۴) از این پژوهش، غلظت اسیدهای آلی طی انبارداری کاهش پیدا کرد، کمترین کاهش در غلظت اسیدهای آلی در میوه‌های تیمارشده با گابا ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد. تیمار پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین با پرولین و گابا نشان داد، اسیدهای آلی میوه‌ها طی انبارمانی کاهش پیدا کرد، ولی میوه‌های تیمارشده با پرولین و گابا اسیدهای آلی را طی انبارمانی کاهش کمتری را نشان دادند. به گونه‌ای که طی چهار ماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین میزان اسیدهای آلی مربوط به گابا ۲۰۰ میکرومول و کمترین میزان آن پس از پایان دوره انبارمانی مربوط به تیمار شاهد بود (شکل ۵).

درصد مواد جامد محلول: تیمار پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین با پرولین و گابا نشان داد (جدول ۶)، مواد جامد محلول میوه‌های لیموشیرین تیمارشده و تیمارنشده، طی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان pH لیموشیرین طی انبارمانی

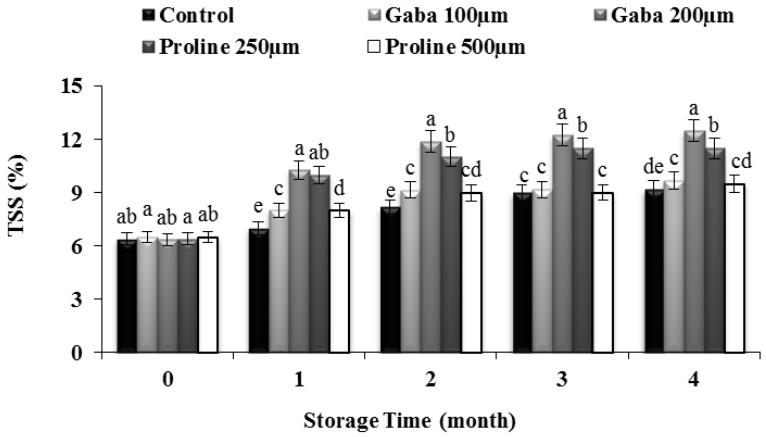
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۵/۶۹^{ns}	۱/۴۹*	۰/۸۶*	۱/۲۱*	۱/۲۳*
خطا	۱۰	۳/۱۴	۲/۲۷	۱/۳۸	۱/۶۳	۲/۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۹/۶۵	۷/۷۱	۵/۷۵	۶/۰۶	۵/۹۲

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان مواد جامد محلول لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۴*
خطا	۱۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات (٪)		۲۳/۶۳	۲۰/۱۱	۲۱/۷۸	۱۱/۷۱	۱۷/۰۹

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری



شکل ۶- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی درصد مواد جامد محلول میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

انبارمانی افزایش پیدا کرد، ولی میوه‌های تیمارشده با پرولین و گابا مواد جامد محلول را طی انبارمانی بیشتر افزایش دادند. به‌طوریکه طی چهار ماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین میزان مواد جامد محلول در میوه‌های تیمارشده با پرولین ۲۵۰ میکرومول و گابا ۲۰۰ میکرومول و کمترین میزان آن پس از پایان دوره انبارمانی در تیمار شاهد مشاهده گردید (شکل ۶).

میزان مواد جامد محلول یکی از عوامل مهم در کیفیت میوه‌ها است. با افزایش مدت انبارمانی میزان مواد جامد محلول به‌طورکلی افزایش می‌یابند که منجر به کاهش میزان رطوبت در میوه‌ها می‌شود.

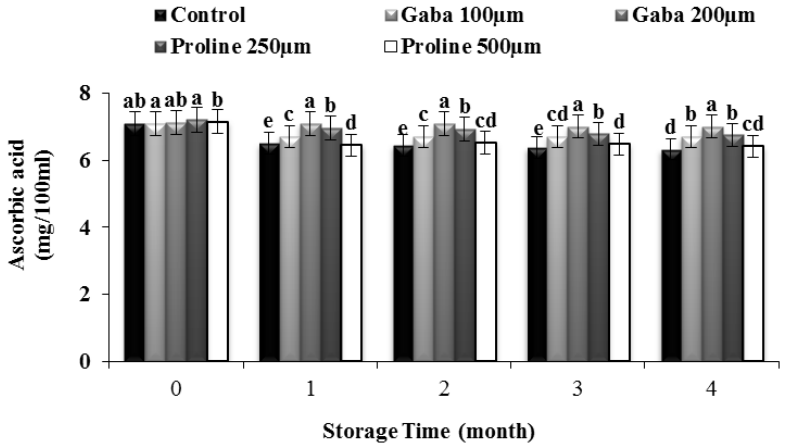
اسید آسکوربیک (ویتامین ث): نتایج حاصل از بررسی داده‌های مربوط به اسید آسکوربیک نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، تیمار پس از

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان ویتامین ث لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۶*	۰/۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۲*
خطا	۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۱۲/۲۲	۱۵/۰۹	۱۲/۹۰	۱۹/۴۱	۱۷/۲۶

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری



شکل ۷- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی اسید آسکوربیک میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

برداشت میوه‌های لیموشیرین با پرولین و گابا نشان داد، میزان اسید آسکوربیک میوه‌های لیموشیرین تیمارشده و تیمارنشده، طی انبارمانی افزایش پیدا کرد، ولی میوه‌های تیمارشده با پرولین و گابا، اسید آسکوربیک را طی انبارمانی بیشتر حفظ شد.

به‌طوریکه طی چهار ماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های تیمارشده با گابا ۲۰۰ میکرومول و کمترین میزان آن پس از پایان دوره انبارمانی در تیمار شاهد مشاهده گردید، که در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم داشتند، سایر تیمارها نیز مواد جامد محلول را در مقایسه با شاهد افزایش دادند غلظت ویتامین ث طی انبارداری کاهش پیدا کرد، کمترین کاهش در غلظت اسیدهای آلی در میوه‌های تیمارشده با پابا ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۷).

فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز: طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر (جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰)، تیمار پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین با پرولین و گابا نشان داد، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (شکل ۸) و کاتالاز (شکل ۹) میوه‌های لیموشیرین تیمارشده با پرولین و گابا طی انبارمانی افزایش ولی میزان آن در میوه‌های تیمارنشده طی انبارمانی کاهش پیدا کرد.

به‌طوریکه طی چهارماه انبارمانی میوه‌های لیموشیرین، بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار ۲۵۰ میکرومول پرولین و ۲۰۰ میکرومول گابا و کمترین میزان آن پس از پایان دوره انبارمانی مربوط به تیمار شاهد بوده است (شکل‌های ۸ و ۹).

بحث

زمانی‌که میوه در سردخانه یا یخچال برای مدت طولانی نگهداری می‌شود، ممکن است هیچ گونه علایم سرمازدگی از خود نشان ندهند و به نظر سالم باشند. یکی از دلایل افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان پراکسید هیدروژن لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۱*
خطا	۱۰	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۶/۱۴	۱۵/۷۱	۲۲/۸۹	۲۵/۱۷	۲۳/۷۱

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز لیموشیرین طی انبارمانی

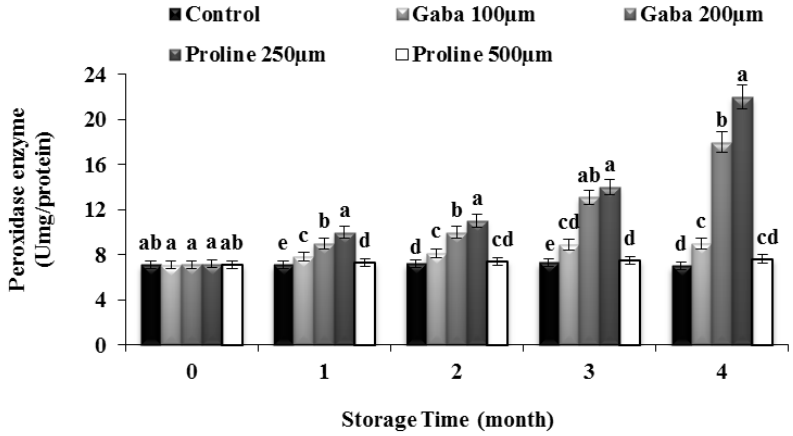
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۱۹^{ns}	۰/۱۸*	۰/۱۷*	۰/۲۱*	۰/۳۷*
خطا	۱۰	۰/۰۶۰	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷
ضریب تغییرات (٪)		۵/۵۴	۴/۸۸	۴/۴۶	۵/۲۹	۷/۲۸

**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای پرولین و گابا بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز لیموشیرین طی انبارمانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		قبل از انبارمانی	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم
تیمار	۴	۰/۳۷^{ns}	۰/۵۵*	۰/۳۹*	۰/۲۷*	۰/۳۷*
خطا	۱۰	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۸	۰/۰۷
ضریب تغییرات (٪)		۳/۴۹	۱۲/۲۴	۱/۵۳	۵/۸۰	۶/۲۳

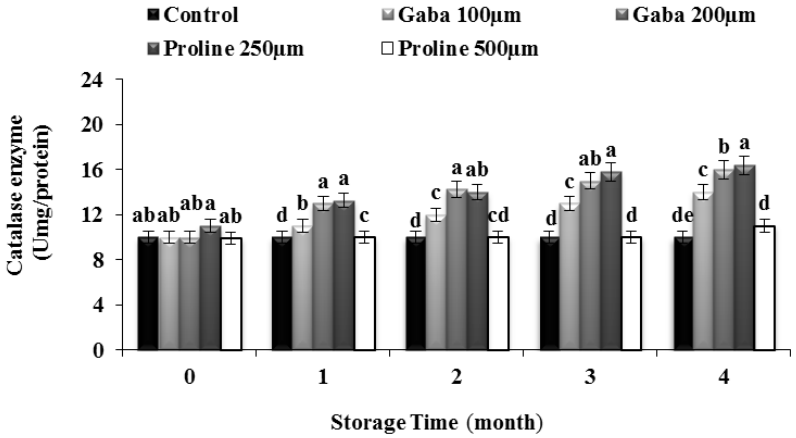
**معنی‌دار در سطح ۱٪، *معنی‌دار در سطح ۵٪، ^{ns} عدم معنی‌داری



شکل ۸- اثرات تیمار های پرولین و گابا روی میزانفعالیت آنزیم پراکسیداز میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]



شکل ۹- اثرات تیمارهای پرولین و گابا روی میزان فعالیت آنزیم کاتالاز میوه لیموشیرین طی دوره انبارمانی

درصد میوه‌های آسیب‌دیده طی دوره انبارمانی خسارت سرمازدگی است. علائم سرمازدگی به لحاظ تخریب بافت در گوشت میوه پس از انتقال میوه از انبار سرد به دمای اتاق بروز می‌کند (Lurie and Crisosto, 2005). طبق نتایج، نشت یونی و پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با افزایش مدت زمان انبارمانی روند افزایشی داشته و بیشترین مقدار آن در میوه‌های شاهد بعد از چهار ماه نگهداری مشاهده شد. تیمارهای گابا و پرولین طی دوره انبارمانی میزان نشت یونی و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء را نسبت به شاهد کاهش دادند. تنش سرما از طریق تأثیر بر نفوذپذیری سبب افزایش نشت محلول‌های سلولی و همچنین تجمع مالون دی‌آلدئید به دنبال پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی موجب آسیب در محصولات می‌شود (Asghari *et al*., 2015). از عواملی که به عنوان شاخص‌های آسیب غشایی به منظور اندازه‌گیری غیرمستقیم انسجام غشای سلولی مورد توجه قرار گرفته است، نشت یونی کاهش انسجام غشای سلولی و وقوع سرمازدگی را در محصولات باغی نشان دهند (Shang *et al*., 2011). پراکسیداسیون لیپیدها به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین فرآیندهای شناخته‌شده که در هر موجود زنده رخ می‌دهد، شناخته می‌شود. آسیب غشایی گاهی به‌عنوان یک پارامتر تنها برای تعیین سطح تخریب چربی‌ها تحت تنش‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود. پراکسیداسیون لیپیدها زمانی اتفاق می‌افتد که سطوح بالای ROS ایجاد شود، بنابراین نه تنها به طور مستقیم بر عملکرد نرمال سلولی تأثیر می‌گذارد، بلکه همچنین باعث تشدید تنش اکسایشی از طریق تولید رادیکال‌های حاصل از لیپیدها می‌شود (Parida and Das, 2005). گابا باعث کاهش میزان مالون دی‌آلدئید و کاهش نشت یونی در میوهای موز ذخیره‌شده در انبار شد که نتایج حاصل از تحقیق حاضر را تأیید می‌نماید (Wang *et al*., 2014).

کاربرد خارجی پرولین بر روی گیاهان منجر به محافظت از غشای سلولی شده و از آسیب به آنزیم‌ها در تنش‌های مختلف جلوگیری می‌کند (Ashraf and Foolad, 2007). همچنین، پرولین به وسیله حفظ پایداری ردوکس (Hoque *et al*., 2008) و مهار انواع اکسیژن فعال (Chen *et al*., 2006) سلول‌های گیاهی را در برابر تنش محافظت می‌کند و در تحقیق حاضر، پرولین نیز با حفظ و پایداری غشا سلول از نشت یون و پراکسیداسیون لیپیدها جلوگیری نموده است.

نقش پرولین در مهار رادیکال‌های آزاد بیشتر از نقش اسمزی این اسیدآمینه است (Hong *et al*., 2000). کاربرد خارجی پرولین از طریق پروتئین‌های محافظت‌کننده (Khedr *et al*., 2003)، کاهش پراکسیداسیون لیپیدی (Banu *et al*., 2009) و جلوگیری از اکسیداسیون پروتئین‌ها (Hoque *et al*., 2008) موجب تحمل به تنش می‌شود که نتایج حاصل از پژوهش حاضر را تأیید می‌نماید.

در طی دوره انبارمانی افزایش در تجزیه اسیدهای آلی، ترکیبات ساختاری و کربوهیدرات‌ها در میوه زردآلو (Zokaee Khosroshahi and Esna-Ashari, 2008)، توت‌فرنگی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

(Zokaee-Khosroshahi *et al.*, 2007) و آلو (Guo, 2010) نیز مشاهده شده است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

از طرف دیگر گزارش شده است که افزایش pH ممکن است به علت تغییر در مقدار اسیدهای آلی در طول دوره انبارمانی باشد ولی این افزایش در میوه‌ها بسته به نوع آن متفاوت است چون علاوه بر اسیدها سایر مواد موجود در میوه نظیر قندها نیز امکان تأثیر بر pH را دارند (Pila *et al.*, 2010).

یکی از دلایل اثر تیمار گابا بر میزان اسیدیته احتمالاً مربوط به فعالیت سیستم آنزیمی گلوتامات دهیدروژناز باشد که برای فعالیت خود به شرایط اسیدی نیاز دارد. نتایج حاکی از آن است که گابا نقش مهمی در حفظ pH سیتوپلاسم سلول در طی تجمع اسیدهای آلی در طول دوره نمو در گوجه‌فرنگی دارد و باعث حفظ و تنظیم pH می‌شود (Trobacher *et al.*, 2013).

همچنین کاربرد گابا در پس از برداشت منجر به حفظ میزان pH در میوه هلو شده است (Shang *et al.*, 2011). از آنجا که اسیدهای آلی به عنوان سوبسترا برای واکنش‌های آنزیمی تنفس به کار می‌روند، انتظار می‌رود طی دوره پس از برداشت، اسید آلی میوه کاهش و مقدار pH آن افزایش یابد (Kazemi *et al.*, 2011).

کاربرد پس از برداشت گابا در گلابی باعث حفظ اسیدهای آلی شده است (Yu *et al.*, 2014). با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، می‌توان افزایش میزان مواد جامد محلول در میوه‌ها را به تبدیل نشاسته به قندهای محلول در مدت انبارمانی نسبت داد (Kazemi *et al.*, 2011).

همچنین مشخص شده که دیواره سلولی شامل مقادیر زیادی پلی‌ساکارید از جمله سلولز است که توسط آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی قابل هضم هستند و در نتیجه موجب افزایش معنی‌داری در میزان مواد جامد محلول می‌شود (Sayyari *et al.*, 2009). گابا با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و با جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدی از تجزیه کربوهیدرات‌ها و قندها جلوگیری کرده و مانع افزایش مواد جامد محلول می‌گردد (Yang *et al.*, 2011).

کاربرد پس از برداشت گابا در میوه‌های هلو و گلابی باعث حفظ مواد جامد محلول شده است (Yu *et al.*, 2014) که با نتایج ما مطابقت دارد. طی پژوهش حاضر محتوای مواد جامد محلول افزایش یافت، که این احتمالاً در اثر مصرف اسیدهای آلی در فرآیند تنفس و تبدیل آنها به دی‌اکسید کربن و آب است.

محتوای اسید آسکوربیک موجود در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تفاوت ژنوتیپی، شرایط آب و هوایی دوره رشد، روش‌های تربیت، بلوغ و زمان برداشت و شرایط نگهداری پس از برداشت قرار گیرد. در بین ویتامین‌ها، اسید آسکوربیک حداقل پایداری را دارد و به دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه است (Lee and Kader, 2000).

در اثر افزایش متابولیسم اکسیداتیو طی رسیدن میوه‌ها و در دوره نگهداری، گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابند و اسید آسکوربیک نقش مهمی در سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن (به صورت مستقیم توسط رادیکال‌های آزاد مصرف می‌شود) به ویژه پراکسید هیدروژن دارد (Spinardi, 2005).

در این تحقیق اثر اصلی گابا و پرولین موجب افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌های تیمارشده نسبت به شاهد شده است. نقش این تیمارها بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های تیمارشده چشم‌گیر بود. سیستم آنتی‌اکسیدانی به وسیله سمیت‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، میوه‌ها را از ناهنجاری‌ها محافظت کرده و در حقیقت باعث افزایش کیفیت تغذیه‌ای و ظاهری میوه‌ها می‌شود (Sayyari *et al.*, 2009). روند افزایش میزان سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی با کاربرد گابا در میوه موز ادامه داشته و موجب کاهش سرمازدگی در این محصول در طی دوره نگهداری شده است (Wang *et al.*, 2014) که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

در دانهال‌های گوجه‌فرنگی که با گابا تیمار شده بودند، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به ویژه آنزیم کاتالاز طی تنش مشاهده شده است (Malekzadeh *et al.*, 2014). آزمایشات انجام‌شده توسط پژوهشگران نشان‌دهنده افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]
[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

فعالیت کاتالاز (Aggarwal *et al*., 2011) و پراکسیداز (Hua and Guo, 2002) در اثر کاربرد پرولین است. همچنین افزایش میزان فعالیت کاتالاز را در اثر کاربرد پرولین مشاهده کردند (Aggarwal *et al*., 2011) که نتایج تحقیق حاضر را تأیید می‌نماید.

کاربرد تیمار پس از برداشت گابا در میوه موز باعث افزایش فعالیت پراکسیداز شده و چون این آنزیم در چوبی‌شدن دیواره سلولی نقش دارد احتمالاً با افزایش استحکام دیواره سلولی باعث کاهش میزان سرمازدگی و در نتیجه سفتی و افزایش کیفیت محصول برای مدت زمان طولانی شده است (Wang *et al*., 2014). تجمع پرولین علاوه بر کاهش مستقیم آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو می‌تواند با حفاظت از آنزیم‌های درگیر در سیستم آنتی‌اکسیدانی به مهار ROS کمک کند (Ashraf and Foolad, 2007) با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

گزارش شده است کاربرد پرولین موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نسبت به شرایط نرمال و تنش می‌شود (Yan *et al*., 2000) که در تحقیق انجام‌شده نیز چنین نتایجی حاصل شده است.

نتیجه‌گیری

براساس پژوهش انجام‌گرفته می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد گابا ۲۰۰ میکرومول و پرولین ۲۵۰ میکرومول اثرات مطلوبی روی حفظ کیفیت، ماندگاری و بازارپسندی در میوه‌های لیموشیرین طی دوره انبارمانی داشته است. پرولین و گابا با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و از بین‌بردن گونه‌های فعال اکسیژن بیشترین تأثیر را روی بهبود کیفیت پس از برداشت میوه‌های لیموشیرین دارد.

منابع

Aggarwal, M., Sharma, S., Kaur, N., Pathania, D., Bhandhari, V., Kaushal, N., Kaur, R., Singh, K., Srivastava, A., & Nayyar, H. (2011). Exogenous proline application reducesphytotoxic effects of selenium by minimizing oxidative stress and improves growth inbean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Biological Trace Element Research*, *140*, 354-367.

Asghari, M. &Hasanlooe, A. R. (2015). Interaction effects of salicylic acid and methyljasmonate on total antioxidant content, catalase and peroxidase enzymes activity in "Sabrosa" strawberry fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, *197*, 490-495.

Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plantabiotic stress tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*, 206-216.

Barbosa, J. M., Sing, N. K., Cherry, J. H., & Locy, R. D. (2010). Nitrate uptake and utilization is modulated by exogenous y-aminobutyric acid in *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Plant Physiology Biochemistry*, *48*, 443-450.

Banu, M. N. A., Hoque, M. A., Watanabe-Sugimoto, M., Matsuoka, K., Nakamura, Y., &Shimoishi,Y. (2009). Proline and glycinebetaine induce antioxidant defense gene expressionand suppress cell death in cultured tobacco cells under salt stress. *Journal of Plant Physiol*ogy, *166*, 146-156.

Basiouny, F. M. (1996). Blueberry fruit quality and storability influenced by postharvest application of polyamines and heat treatments. *Proccding Fland State Horticulturae Society*, *109*, 269-272.

Crisosto, C. H. & Kader, A. A. (2000). Plum and fresh prune postharvest qualitymaintenance guidelines. *Pomology Department University of California Davis*, *CA*; 95616.

Chen, C., Wanduragala, S., Becker, D. F., & Dickman, M. B. (2006). Tomato QM-like proteinprotects *Saccharomyces cerevisiae*cells against oxidative stress by regulatingintracellular prolinelevels. *Applied and Environmental Microbiology*,*72*(6), 4001-4006.

Dhindsa, R. S., Dhindsa, P., &Thorpe, A. T. (1981). Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decrease levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal Experimental Botany*, *32*, 93-101.

Deng, Y., Xu, L. J., Zeng, X., Li, Z. Y., Qin, B. B., &He, N. Y. (2010). New perspectiveof GABA as an inhibitor of formation of advanced lip oxidation end-products: It'sinteraction with malondialdehyde. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *6*, 318-324.

FotouhiGhazvini, R. & FattahiMoghaddam, J. (2007). Citrusgrowing in Iran. University of Guilan Press, Iran.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

Guo, X., Wang, Y., Li, L., Wang, G., & Chen, X. (2010). Principal components analysis of the influence of 1-MCP and salicylic acid treatment on fruit quality of “Angeleno" plum. *Food Science*, *31*, 416-422.

Hassanpour, H., Bisti, A., & Nojavan, S. (2018). Effect of postharvest treatment of gamma-amino butyric acid on some biochemical and antioxidant properties of Sweet Cherry cv. TakDaneyeh Mashhad. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture), 14*(2), 67-78. (In Persian).

Hoque, M. A., Okuma, E., Banu, M. N. A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., & Murata, Y. (2008). Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenousbetaine by increasing antioxidant enzyme activities. *Journal of Plant Physiology*, *164*, 553-561.

Hua, B. & Guo, W. Y. (2002). Effect of exogenous proline on SOD and POD activity ofsoyabean callus under salt stress. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, *17*, 37-40.

Hong, Z., Lakkineni, K., Zhang, Z., &Verma, D. P. S. (2000). Removal of feedback inhibitionof D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase results in increased proline accumulation andprotection of plants from osmotic stress. *Plant Physiology*, *122*, 1129-1136.

Kochba, J., Lavee, S., &Spiegel-Roy, P. (1977). Differences in peroxidase activity and isoenzymes in embryogenic and non-embryogenic ‘Shamouti’ orange ovular callus lines. *Plant and Cell Physiology*, *18*, 463-497.

Khedr, A. H. A., Abbas, M. A., Wahid, A. A. A., Quick, W. P., & Abogadallah, G. M. (2003). Proline induces the expression of salt-stress- responsive protein sand may improve theadaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt-stress. *Journal of Experimental Botany*, *54*, 2553-2562.

Kazemi, M., Aran, M., & Zamani, S. (2011). Effect of calcium chloride and salicylic acid treatments on quality characteristics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during storage. *American Journal of Plant Physiology*, *6*(3), 183-189.

Lee, S. K. & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, *20*, 207-220.

Lurie, S. & Crisosto, C. (2005). Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology*, *37*, 195-208.

Mansour, M. M. F. (2000). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants tosalinity stress. *Biology Plant*, *43*, 491-500.

Malekzadeh, P., Khara, J., & Heidari, R. (2014). Alleviating effects of exogenous Gamma-aminobutiric acid on tomato seedling under chilling stress. *Journal of Physiology and Molecular Biology of Plants*, *20*(1), 133-137.

Nilprapruck, P., Authanithee, F., & Keebjan, P. (2008). Effect of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and quality of pineapple. *Silpakorn University Science and Techolog*, *2*, 33-42.

Nayyar, H., Kaur, R., Kaur, S., &Singh, R. (2014). Y-Aminobutyric acid (GABA) imparts partial protection from heat stress injury to rice seedlings by improving leaf turgor and up regulating osmoprotectans and antioxidants. *Journal Plant Growth Regulation*, *33*, 408-419.

Pila, N., Gol, N. B., & Rao, T. V. R. (2010). Effect of post-harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)Fruits during Storage. *American- Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science*, *9*, 470-479.

Parida, A. K. & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: Review. *Ecotoxicology and Environment Safety*, *60*, 324-349.

Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M., &Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, *53*, 152-154.

Spinardi, A. M. (2005). Effect of harvest data and storage on antioxidant systems in pears. *Acta Horticulture*, *682*, 10-18.

Shelp, B. J., Bozzo, G. G., Trobacher, C. P., Zarei, A., Deyman, K. L., & Brikis, C. J. (2012). Contribution of putrescine to -amino butyrate (GABA) production in response to abiotic stress. *Journal of Plant Science*, *193*, 130-135.

Shang, H. T., Cao, S. F., Yang, Z. F., Cai, Y. T., & Zheng, Y. H. (2011). Effect of exogenous γ aminobutyric acid treatment on proline accumulation and chilling injury in peach fruit after long-term cold storage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, *59*, 1264-1268.

Trobacher, C. P., Clark, S. M., Bozzo, G. G., Mullen, R. T., DeEll, J. R., & Shelp, B. J. (2013). Catabolism of GABA in apple fruit: Subcellular localization and biochemical characterization of two γ-amino butyrate transaminases. *Postharvest Biology and Technology*, *75*, 106-113.

Thumula, P. (2006). Studies on Storage Behaviorof Tomatoes Coated with Chitosan-Lysozyme Films. PhD. Thesis. McGill University Montreal.

Yu, Ch., Zeng, L., Sheng, K., Chen, F., Zhou, T., Zheng, X., & Yu, T. (2014). Γ-Aminobutyric acid induces resistance against *Penicillium expansum* by priming of defenseresponses in pear *fruit. Journal of Food Chemistry*, *159*, 29-37.

Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). Γ-Aminobutyric acidtreatment reduces chilling injury and activates the defense response of peach fruit. *Food Chemistry*, *129*(4), 1619-1622.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

Yan, H., Gang, L. Z., Zhao, C. Y., & Guo, W. Y. (2000). Effects of exogenous proline on thephysiology of soybean plantlets regenerated from embryos in vitro and on the ultra-structure of their mitochondria under NaCl stress. *Soybean Science*, *19*, 314-319.

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidativestress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, *151*, 59-66.

Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S. H., & Du, R. (2014). Effect of exogenous gamma-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae*, *168*, 132-137.

Zokaeekhosroshahi, M., Esna-Ashari, M., & Ershadi, A. (2007). Effect of exogenous putrescine on post-harvest life of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit, cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*, *114*, 27-32.

Zokaeekhosroshahi, M. &Esna-Ashari, M. (2008). Effect of exogenous putrescine treatment on the quality and storage life of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 1278-1289.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]

Evaluation of the effect of GABA and proline treatments on quality maintenance postharvest in sweet lemon (*Citrus limetta)* fruit

Tayebeh Heydari[1], Zahra Pakkish[*1] and Soheila Mohammadrezakhani[2]

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Jiroft, Iran
(Received: 2024/02/06, Accepted: 2024/06/16)

Abstract

One of the basic ways to increase the storage life of fruits is to use treatments that can increase their quality and marketability. In this research, compounds such as proline and GABA have been used due to their antioxidant properties in order to protect cell membranes, maintain quality and increase shelf life during the post-harvest period in sweet lemon fruits. The treatments included concentrations of GABA 100 and 200 mM/l, proline 250 and 500 mM/l, and distilled water (control). Then the desired fruits were treated in the desired solutions for 5 minutes by the immersion method. After the fruits were completely dried, they were placed in packs of 5 and transferred to the cold room, where they were kept at a temperature of 12 degrees Celsius for 4 months. Once every 30 days, a number of fruits were taken out of the cold room, and similar traits were observed. The percentage of fruit damage, organic acids, amount of dissolved solids, activity of peroxidase and catalase enzymes, hydrogen peroxide, lipid peroxidation and leakage were investigated. The results showed that the amount of damage, ion leakage, hydrogen peroxide and lipid peroxidation in the fruits treated with GABA 200 mM/l and proline 250 mM/l decreased compared to the control. The treatment of sweet lemon fruits with GABA 200 mM/l and proline 250 mM/l has led to an increase in the amount of soluble solids and organic acids, as well as the activity of peroxidase and catalase enzymes. Therefore, the use of GABA and proelin can be recommended to increase the storage life of fruit at the commercial level.

Keywords: Antioxidant, Activity of peroxidase and catalase enzymes, Storage, Fruit quality

Corresponding author, Email: ZahraPakkish@uk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-01-07]

[DOI: DOI: 10.22034/13.63.389]