مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۶ شماره ۲ صفحه‌های ۱۶۵ تا ۱۸۴ (۱۴۰۴)
مقاله پژوهشی

تیمار اسید سالیسیلیک به‌عنوان راهبردی کارآمد برای رویارویی با چالش‌های کیفی پس از برداشت لیموی آب

Salicylic Acid Treatment as an Effective Approach to Address Postharvest Quality Challenges in Mexican Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle)

پدرام عصار*، لیلا تقی‌پور
گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی: ۱۱۱-۷۴۱۳۵.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Pedramassar@gmail.com و Pedramassar@jahromu.ac.ir).
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۲

چکیده

میوه سبز بالغ لیموی آب به‌دلیل ارزش تغذیه‌ای و دارویی، جایگاه ویژه‌ای در سطح بین‌المللی دارد. با این وجود، وقوع سریع فرایندهای مرتبط با پیری مانند کاهش وزن و تغییر رنگ پوست، از مهم‌ترین چالش‌های کیفی پس از برداشت این محصول و نیازمند توجه جدی است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تاثیرپذیری شاخص‌های کیفی میوه در پاسخ به تیمار پس از برداشت اسید سالیسیلیک بود. میوه‌ها به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک (۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار) یا آب مقطر (شاهد) غوطه‌ور و سپس به‌مدت ۳۰ روز در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. تیمار میوه‌ها، به‌ویژه در غلظت ۳ میلی‌مولار، باعث کاهش معنی‌دار افت وزن و نشت الکترولیت پوست میوه در طول دوره انبارمانی شد. تیمار با غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار با پایداری بیشتر در میزان مواد جامد محلول کل و بهبود قابل توجه در شاخص طعم نهایی آب میوه همراه بود. افزون‌برآن، بیش‌ترین میزان اسید آسکوربیک، اسید قابل تیتر، ترکیبات فنولی کل و فعالیت پاداکسنده آب میوه، به‌همراه بیش‌ترین میزان کلروفیل و کمترین مقدار کاروتنوئید پوست، و نیز بالاترین امتیاز در ارزیابی حسی از منظر پذیرش کلی مصرف‌کننده مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. بنابراین، تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک می‌تواند راهکاری ایمن و دوستدار محیط زیست برای حفظ کیفیت و ویژگی‌های تغذیه‌ای و بازارپسندی مطلوب میوه لیموی آب باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی حسی، انبارمانی، حفظ رنگ پوست، کاهش وزن، میوه مرکبات.

مقدمه

بازار جهانی لیمو و لایم به‌عنوان یکی از ارکان اصلی تولید مرکبات، سهم قابل‌توجهی از تولید جهانی را به خود اختصاص می‌دهد، به گونه‌ای که در سال ۲۰۲۲ حدود ۲۱/۵۳ میلیون تن محصول از سطح زیرکشت ۱/۳۳ میلیون هکتار تولید شده است (۱). این بازار پویا توسط کشورهای مختلفی همچون هند، مکزیک، چین، آرژانتین، برزیل، اسپانیا، ایالات متحده، ترکیه، ایتالیا و ایران پشتیبانی می‌شود که نشان‌دهنده پراکنش جهانی و اهمیت اقتصادی این محصولات است (FAO, 2022).

در میان انواع لایم، لیموی آب[۱]، که در ایران با نام‌هایی نظیر لیموی آب جهرم و لیموی آب شیراز نیز شناخته می‌شود، از جایگاه ویژه بین‌المللی برخوردار است. این میوه اسیدی و معطر که به تیره مرکبات[۲] تعلق دارد، قرن‌هاست که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان کشت می‌شود و امروزه به‌دلیل ارزش اقتصادی، تغذیه‌ای و دارویی آن مورد توجه است. لیموی آب منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال مانند اسید سیتریک، اسید آسکوربیک (ویتامین ث)، فلاونوئیدها، فنول‌ها، ترپنوئیدها، استروئیدها و مواد معدنی ضروری است که در ایجاد خواص پاداکسنده، ضدالتهابی و ضدمیکروبی آن نقش دارند (Izah et *al*.,

۱- Rutaceae ۲- *Citrus aurantifolia* Swingle cv. Mexican Lime

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

2024; Mohammadi et *al*., 2024). این میوه به‌ویژه از نظر محتوای ویتامین ث حائز اهمیت است؛ به‌گونه‌ای که هر ۱۰۰ گرم از آن حدود ۳۵ درصد نیاز روزانه یک فرد بالغ به این ویتامین را تأمین می‌کند (Pimsorn *et al*., 2022). همچنین، حاوی مقادیر بسیار بالای اسید سیتریک است که تقریباً دو برابر گریپ‌فروت و پنج برابر پرتقال می‌باشد و موجب طعم خاص ترش آن می‌شود (Pimsorn *et al*., 2022).

فراتر از ارزش تغذیه‌ای، کاربردهای درمانی متعدد این میوه در حوزه طب سنتی نیز شایسته توجه است. اثراتی مانند ضدعفونی‌کننده، ضد انگل، ضد اسکوربوت، قابض، ادرارآور و تسکین‌دهنده علائم سردرد، آرتریت، مشکلات گوارشی، سرفه و گلودرد برای این میوه گزارش شده است (Asowata-Ayodele *et al*., 2019).

با وجود تمامی این خواص ارزشمند، عمر پس‌ازبرداشت کوتاه یکی از چالش‌های مهم در زنجیره تولید و عرضه لیموی آب است. این میوه، با وجود طبیعت نافرازگرا، به‌سرعت دچار تغییرات فیزیکوشیمیایی و کاهش کیفیت و بازارپسندی می‌گردد. ضایعات پس‌ازبرداشت لایم در سطح بین‌الملل رقمی قابل توجه بین ۱۸ تا ۲۵ درصد برآورد شده است. این مشکل به‌ویژه در مناطق گرمسیری که دما و رطوبت بالا دارند، حادتر است و طول عمر میوه را در شرایط نگهداری در دمای محیط تنها به شش تا نه روز محدود می‌کند (Mohammadi *et al*., 2024).

اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنولی طبیعی و هورمون گیاهی مؤثر در تنظیم سازوکارهای رشد، دفاعی و پس‌ازبرداشت در گیاهان است (Nicktam *et al*., 2023). اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان، نقش کلیدی در فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی به تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند و به دلیل توانایی در کاهش سرعت رسیدن، مهار تولید اتیلن، حفظ کیفیت، و کاهش فساد میوه‌ها و سبزیجات، کاربردهای گسترده‌ای در مدیریت پس‌ازبرداشت پیدا کرده است (Haider *et al*., 2022). در پژوهشی، تأثیر تیمارهای پیش‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک و مشتقات آن (استیل‌سالیسیلیک اسید و متیل‌سالیسیلات) بر ویژگی‌های کیفی، ترکیبات زیست‌فعال و فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده دو رقم آلو بررسی شد. میوه‌های تیمارشده در زمان برداشت دارای مقادیر بالاتری از فنول کل، کاروتنوئیدها و فعالیت پاداکسنده بودند. همچنین طی دوره انبارمانی، میزان سفتی، اسیدیته و فعالیت آنزیم‌های دفاعی پاداکسنده در آن‌ها در سطح بالاتری حفظ شد. نتایج نشان داد که این ترکیبات با تأخیر در فرایند رسیدن، به حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت کمک می‌کنند (Martínez-Esplá *et al*., 2017). برآیند نتایج دو پژوهش مستقل (Chen *et al*., 2023; Huang *et al*., 2023) نیز نشان داده است که تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک منجر به بهبود قابل‌توجه کیفیت و افزایش ماندگاری میوه پوملو رقم 'Jinshayou' در دمای اتاق می‌شود. این تیمار موجب کاهش پوسیدگی، افت وزن، و شدت تغییر رنگ پوست شد و به حفظ بهتر میزان مواد جامد محلول و اسید قابل تیتر آب و سفتی میوه کمک کرد. تیمار نامبرده با مهار فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی و کاهش بیان ژن‌های مرتبط، موجب پایداری ساختار دیواره سلولی و حفظ سطح بالاتر پروتوپکتین، سلولز و همی‌سلولز شد. همچنین در پاسخ به تیمار، کاهش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده، و حفظ ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و اسید آسکوربیک مشاهده شد.

از مهم‌ترین عواملی که کیفیت و ماندگاری پس‌ازبرداشت میوه لیموی آب را تهدید می‌کند می‌توان به تخریب رنگدانه‌های کلروفیلی و زرد شدن پوست میوه اشاره کرد که منجر به از دست رفتن رنگ سبز شاداب و مطلوب از منظر بازار می‌شود (Awad & Al-Qurashi, 2021). رنگ سبز پوست یکی از شاخص‌های اصلی طراوت و تازگی لایم است و کاهش آن، به‌عنوان نشانه‌ای از پیری محصول، به‌طور مستقیم بر ارزش بازاری محصول و ترجیح مصرف‌کننده تأثیرگذار است. کاهش وزن میوه نیز از دیگر مشکلات عمده پس از برداشت به‌شمار می‌رود که به‌دلیل نازکی پوست و تبخیر سریع رطوبت از سطح میوه اتفاق می‌افتد (Mohammadi *et al*., 2024). مجموعه این عوامل به همراه سایر تغییرات نامطلوب کیفی، لزوم توسعه و به‌کارگیری تیمارهای ایمن، مؤثر و مقرون‌به‌صرفه پس‌ازبرداشت را برای افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت این محصول بیش از پیش نمایان می‌سازد. به‌کارگیری چنین راهکارهایی برای تضمین عرضه پایدار محصول تازه در بازارهای داخلی و نیز صادرات آن در طول سال ضروری است.

تأمل در نتایج پژوهش‌های پیشین که نشان‌دهنده کارآیی اسید سالیسیلیک در افزایش عمر انباری و حفظ کیفیت محصولات باغی است و از سوی دیگر، منشأ طبیعی، ایمنی بالا و سازگاری آن با اصول کشاورزی پایدار، این ترکیب را به گزینه‌ای مناسب

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

برای مدیریت پس‌ازبرداشت تبدیل کرده است (Haider *et al*., 2022). از این رو، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی توانمندی اسید سالیسیلیک در حفظ شاخص‌های تعیین کننده کیفیت میوه لیموی آب در طی دوره انبارمانی یک ماهه بود.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

میوه‌های لیموی آب در مرحله سبز بالغ به‌صورت دستی از یک باغ تجاری واقع در روستای مانیان، دهستان جلگاه، بخش مرکزی شهرستان جهرم در استان فارس (موقعیت جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۴ دقیقه و ۳۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه و ۵۷ ثانیه طول شرقی) برداشت شدند. میوه‌ها پس از برداشت بی‌درنگ به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشگاه جهرم منتقل و بر اساس یکنواختی در اندازه، شکل و رنگ، انتخاب و درجه‌بندی شدند. میوه‌های دارای آسیب مکانیکی، علائم بیماری یا آلوده به آفات حذف شدند. برای ضدعفونی سطحی میوه‌ها از روش غوطه‌وری میوه‌ها در محلول دو درصد هیپوکلریت سدیم به مدت دو دقیقه استفاده شد. سپس شستشوی میوه‌ها با آب مقطر انجام شد و به دنبال آن میوه‌ها در دمای محیط خشک شدند.

طرح آماری آزمایش و تیمارها

طرح آماری آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بود. فاکتورهای آزمایشی شامل غوطه‌وری در محلول اسید سالیسیلیک در چهار سطح (۰، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار) و زمان نمونه‌برداری حین انبارمانی در سه سطح (۱۰، ۲۰ و ۳۰ روز پس از انبارمانی) بودند. هر تیمار مشتمل بر چهار تکرار (۱۵ عدد میوه در هر تکرار) بود. شیوه اعمال تیمارها، غوطه‌وری میوه‌ها به مدت پنج دقیقه در محلول‌های تهیه‌شده از اسید سالیسیلیک (محصول شرکت Sigma-Aldrich، ساخت ایالات متحده آمریکا) بود؛ در حالی‌که میوه‌های شاهد در آب مقطر غوطه‌ور شدند. پس از اعمال تیمارها، میوه‌ها به مدت یک ساعت در دمای محیط خشک شدند و سپس در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار دارای سوراخ (با نسبت سوراخ معادل سه درصد از سطح کل کیسه) بسته‌بندی شدند. شرایط انبارمانی میوه‌ها شامل دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد برای مدت ۳۰ روز بود. شاخص‌های کیفی در فواصل زمانی ۱۰ روز یکبار ارزیابی شدند. همچنین، به‌منظور اطلاع از وضعیت میوه‌ها پیش از آغاز دوره نگهداری، شاخص‌های مدنظر پیش از اعمال تیمارها نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند و این داده‌ها برای تحلیل آماری استفاده نشد.

کاهش وزن میوه

برای توزین و بررسی میزان کاهش وزن میوه‌ها، از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم (برند Pand، مدل PT206B، ساخت ایران) استفاده شد. مقدار کاهش وزن با مقایسه وزن اولیه (در زمان برداشت) و وزن ثانویه (در زمان ارزیابی) محاسبه و به‌صورت درصد بیان شد (فرمول یک) (Aghaei Dargiri *et al*., 2025).

$$\text{کاهش وزن میوه (٪)} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

اسید آسکوربیک، اسید قابل تیتر، مواد جامد محلول کل و شاخص طعم آب میوه

اسید آسکوربیک موجود در آب‌میوه با روش تیتراسیون و بهره‌گیری از معرف ۲ و ۶-دی‌کلروفنول‌ایندوفنول اندازه‌گیری و نتایج به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب‌میوه گزارش شد (Aghaei Dargiri *et al*., 2025). تعیین اسید قابل تیتر از طریق تیتراسیون با محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال انجام شد تا محلول به pH برابر با ۸/۱ برسد و نتیجه به‌صورت درصد گزارش شد (Aghaei Dargiri *et al*., 2025). برای اندازه‌گیری درصد مواد جامد محلول کل آب میوه، از رفراکتومتر دیجیتال (برند Milwaukee، مدل MA871، ساخت مجارستان) استفاده شد. شاخص طعم نیز با نسبت‌گیری میان مقادیر درصد مواد جامد محلول کل و اسید قابل تیتر آب میوه به دست آمد (Aghaei Dargiri *et al*., 2025).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

فنول کل و فعالیت پاداکسنده آب میوه

در ابتدا به‌منظور تهیه عصاره متانولی نیم میلی‌لیتر آب میوه با سه میلی‌لیتر متانول ۸۵ درصد مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. سپس محتوای فنول کل آب میوه با استفاده از روش فولین-سیوکالتیو با اصلاحات جزئی تعیین شد. در این روش، ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی میوه با ۱۵۰۰ میکرولیتر محلول فولین ۱۰ درصد مخلوط شد و پس از پنج دقیقه، ۱۲۰۰ میکرولیتر محلول کربنات سدیم هفت درصد به مخلوط اضافه و سپس مخلوط حاصل به آرامی و به مدت ۱۰ ثانیه هم‌زده شد. همگن حاصل به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگهداری شد و سپس میزان جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (برند Techcomp، مدل S/1020/UV-VIS، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. محاسبه غلظت فنول کل بر پایه منحنی استاندارد تهیه‌شده از اسید گالیک در غلظت‌های مختلف صورت گرفت و نتایج به صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب میوه بیان شد (Aghaei Dargiri *et al*., 2025).

ارزیابی فعالیت پاداکسنده آب میوه بر پایه توان بازدارندگی رادیکال آزاد ۲و۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل انجام شد. برای این منظور، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره متانولی با ۱۹۰۰ میکرولیتر محلول ۲و۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل ترکیب و به‌شدت هم‌زده شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط و در تاریکی نگهداری شد. سپس میزان جذب در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (برند Techcomp، مدل S/1020/UV-VIS، ساخت انگلستان) قرائت شد. در این آزمون، نمونه شاهد شامل کلیه مواد به‌جز عصاره میوه بود. درصد فعالیت پاداکسنده بر اساس اختلاف جذب نمونه نسبت به شاهد محاسبه گردید (فرمول دو) (Aghaei Dargiri *et al*., 2025).

$$\text{فعالیت پاداکسنده (\%)} = [1-\frac{\text{جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}{\text{جذب کنترل در طول موج ۵۱۷ نانومتر}}] \times 100 \quad (۲)$$

نشت الکترولیت پوست میوه

برای هر تکرار، تعداد ۱۰ دیسک یکنواخت از پوست میوه (به قطر ۱۰ میلی‌متر) به‌صورت تصادفی انتخاب و در ۲۵ میلی‌لیتر محلول مانیتول ۰/۴ مولار غوطه‌ور شد. نمونه‌ها به‌مدت چهار ساعت در دمای محیط (حدود ۲۵ درجه سلسیوس) و تحت شرایط لرزش مداوم انکوبه شدند. پس از پایان انکوباسیون، هدایت الکتریکی اولیه محلول با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (برند Shenzhen Graigar Technology، مدل AZ8306، ساخت چین) اندازه‌گیری شد. سپس ویال‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس اتوکلاو شدند تا تمام الکترولیت‌های سلولی آزاد شوند. پس از نگهداری شبانه در دمای محیط، مقدار نهایی (کل) هدایت الکتریکی ثبت گردید. در نهایت، درصد نشت الکترولیت با استفاده از فرمول سه محاسبه شد (McCollum & McDonald, 1991).

$$\text{نشت الکترولیت (٪)} = (\text{هدایت الکتریکی اولیه} / \text{هدایت الکتریکی کل}) \times 100 \quad (۳)$$

کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید پوست میوه

ابتدا بافت تازه پوست میوه به‌طور کامل شسته و به قطعات یکنواخت (با ابعادی حدود یک تا دو سانتی‌متر مربع) برش داده شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه پوست به‌دقت توزین و به کمک نیتروژن مایع پودر شد. پودر حاصل در حضور حجم کمی از استون ۸۰ درصد (نسبت حجمی) با استفاده از هاون و دسته‌هاون به‌صورت خمیر یکنواخت آسیاب گردید. هموژن حاصل به لوله سانتریفیوژ منتقل و حجم آن با افزودن استون ۸۰ درصد به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. به‌منظور جلوگیری از تجزیه رنگیزه‌ها، مخلوط به‌مدت ۱۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. محلول رویی حاصل به‌آرامی درون لوله تمیز دیگری ریخته شد؛ به‌گونه‌ای که رسوب ته لوله برداشته نشود. سپس محلول از صافی کاغذی عبور داده شد تا اطمینان حاصل شود ذرات باقی‌مانده حذف شده‌اند. جذب نوری عصاره شفاف در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (برند Techcomp، مدل S/1020/ UV-VIS، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد. بر اساس مقادیر جذب، میزان کلروفیل *a*، کلروفیل *b*، کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از معادلات استاندارد (فرمول چهار، پنج، شش، و هفت) و بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تازه محاسبه گردید (Wellburn, 1994).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

جذب نمونه در × ۲/۷۹) – (جذب نمونه در طول موج ۶۶۳ نانومتر × ۱۲/۲۵) = کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) (۴)
(طول موج ۶۴۵ نانومتر
جذب نمونه در × ۵/۱۰) – (جذب نمونه در طول موج ۶۴۵ نانومتر × ۲۱/۵۰) = کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) (۵)
(طول موج ۶۶۳ نانومتر
کلروفیل b + کلروفیل a = کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) (۶)
× ۱/۸۲) – (جذب نمونه در طول موج ۴۷۰ نانومتر × ۱۰۰۰)] = کاروتنوئید (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) (۷)
۱۹۸ / [(مقدار کلروفیل b × ۸۵/۰۲) – (مقدار کلروفیل a

میزان پذیرش کلی مصرف کننده

در پایان دوره انبارمانی، ۱۰ نفر ارزیاب (شامل پنج نفر مرد و پنج نفر زن) بدون آموزش اولیه و برمبنای تعریف خود از کیفیت مطلوب، میزان پذیرش کلی میوه‌ها را بر اساس درک خود از یکنواختی رنگ و شفافیت پوست، عطر و بو، میزان شادابی و آب‌داری، و سفتی بافت میوه در مقیاسی از یک تا پنج ارزیابی کردند؛ به‌طوری‌که عدد یک نشان‌دهنده پذیرش بسیار ضعیف و عدد پنج بیانگر پذیرش عالی بود. فرآیند ارزیابی در دمای اتاق و زیر نور استاندارد انجام شد (Taghipour & Assar, 2021).

واکاوی آماری

واکاوی آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده فاکتورهای آزمایشی بر تمام شاخص‌های مورد ارزیابی (غیر از اثر ساده زمان بر مواد جامد محلول کل آب) معنی‌دار بود و برهمکنش اثر فاکتورها بر کاهش وزن، اسید آسکوربیک، مواد جامد محلول کل، و شاخص طعم آب میوه، و نیز نشت الکترولیت، کلروفیل b و کاروتنوئید پوست میوه معنی‌دار بود (نتایج نشان داده نشده است).

کاهش وزن

نتایج نشان داد که با گذشت زمان انبارمانی میزان کاهش وزن میوه‌های تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت، اما همواره میوه‌های تیمار شده به‌صورت معنی‌داری کاهش وزن کم‌تری نسبت به میوه‌های شاهد داشتند. در پایان دوره انبارمانی، میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک کم‌ترین میزان کاهش وزن را دارا بودند (شکل ۱-A).

اسید آسکوربیک آب میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، نتایج نشان داد که پس از ۱۰ روز انبارمانی مقدار عددی میزان اسید آسکوربیک آب میوه در میوه‌های شاهد و نیز تیمار شده با غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به روز ابتدایی کاهش یافت. در حالی که مقدار عددی این شاخص در آب میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار نسبت به روز ابتدایی افزایش یافت. در طول ۱۰ روز دوم انبارمانی، میزان شاخص نامبرده در تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت معنی دار کاهش یافت. پس از ۱۰ و ۲۰ روز انبارمانی، بیش‌ترین میزان اسید آسکوربیک آب میوه مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۴/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار و شاهد به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. در طول ۱۰ روز پایانی انبارمانی، افزایش معنی‌دار در محتوای اسید آسکوربیک آب میوه‌های تمام گروه‌های آزمایشی به استثنای میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ثبت شد. البته میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک همچنان بیش‌ترین میزان اسید آسکوربیک آب میوه را در پایان دوره انبارمانی دارا بودند و میزان این شاخص در میوه‌های زیر تیمار ۱/۵ و ۴/۵ میلی‌مولار به‌صورت مشابه با هم به صورت معنی‌داری بیش از میوه‌های شاهد و کم‌تر از میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار بود. مقدار عددی شاخص نامبرده در میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در طول دوره انبارمانی بیش از مقدار آن در روز نخستین آزمایش بود (شکل ۱-B).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

اسید قابل تیتر آب میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان اسید قابل تیتر آب میوه‌ها در دهمین روز انبارمانی بیش از مقدار روز نخستین بود. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ساده فاکتورهای آزمایشی نشان داد که روند تغییر میزان این شاخص به صورت کاهش معنی‌دار در ۱۰ روز دوم انبارمانی و افزایش معنی‌دار در ۱۰ روز پایانی بود به گونه‌ای که در پایان انبارمانی میزان آن با مقدار مربوط به روز دهم برابر بود (شکل ۲-A). همچنین، بیش‌ترین میزان شاخص نامبرده مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و از این نظر تفاوتی بین میوه‌های گروه‌های آزمایشی دیگر وجود نداشت (شکل ۲-B).

مواد جامد محلول کل آب میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان مواد جامد محلول کل آب میوه تمام گروه‌های آزمایشی پس از ۱۰ روز انبارمانی نسبت به نخستین روز آزمایش افزایش یافت. در پایان ۱۰ روز ابتدایی انبارمانی، کم‌ترین میزان این شاخص در قیاس با شاهد مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که فاقد تفاوت معنی‌دار با میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های دیگر بود. در طول ۱۰ روز دوم و سوم انبارمانی، روند تغییر میزان مواد جامد محلول کل آب میوه‌های شاهد به ترتیب به‌صورت افزایش و کاهش معنی‌دار بود به گونه‌ای که، به صورت مشابه با آنچه در مورد میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک مشاهده شد، میزان این شاخص در پایان انبارمانی مشابه با میزان آن در روز دهم انبارمانی بود. در بازه زمانی نامبرده، تغییر آماری در میزان مواد جامد محلول کل آب میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک اتفاق نیفتاد. پس از ۳۰ روز انبارمانی، تنها تفاوت آماری موجود با شاهد، مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که کم‌ترین میزان مواد جامد محلول کل آب میوه را (بدون تفاوت آماری با میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار) دارا بودند (شکل ۲-C).

شاخص طعم آب میوه

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پس از ۱۰ روز انبارمانی شاخص طعم آب میوه‌های تمام گروه‌های آزمایشی مشابه بود. پس از آن، روند تغییر شاخص طعم آب میوه‌های شاهد و زیر تیمار غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک متفاوت بود. در طول ۱۰ روز دوم انبارمانی، شاخص طعم آب میوه‌های شاهد به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت در حالی که تغییری در میزان این شاخص در میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های اسید سالیسیلیک مشاهده نشد. در طول ۱۰ روز پایانی انبارمانی، شاخص طعم آب میوه‌های شاهد و زیر تیمار دو غلظت بالاتر اسید سالیسیلیک به‌صورت معنی‌دار کاهش یافت، در حالی که در مورد میوه‌های زیر تیمار ۱/۵ میلی‌مولار بدون تغییر بود. در نهایت و پس از ۳۰ روز انبارمانی، از نظر آماری کم‌ترین شاخص طعم آب میوه مربوط به میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و تفاوتی بین شاخص طعم آب میوه‌های شاهد و زیر تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک وجود نداشت (شکل ۳-A).

فنول کل آب میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان فنول کل آب میوه‌ها در دهمین روز انبارمانی بیش از مقدار آن در روز نخستین بود. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ساده فاکتورهای آزمایشی نشان داد که روند تغییر میزان این شاخص به صورت کاهش معنی‌دار در ۱۰ روز دوم انبارمانی و افزایش معنی‌دار در ۱۰ روز پایانی بود (شکل ۳-B). همچنین، بیش‌ترین میزان شاخص نامبرده مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و پس از آن به‌ترتیب میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۴/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار این ترکیب و شاهد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و تمام تفاوت‌های موجود معنی‌دار بود (شکل ۳-C).

فعالیت پاداکسنده آب میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان فعالیت پاداکسنده آب میوه‌ها در دهمین روز انبارمانی بیش از مقدار روز نخستین بود. مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ساده فاکتورهای آزمایشی نشان داد که روند تغییر میزان این شاخص در طول دوره انبارمانی و نیز تاثیرپذیری آن از غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک با آنچه در مورد میزان فنول کل آب میوه‌ها بیان شد مشابه است (شکل ۴-A و B).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

نشت الکترولیت پوست میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان نشت الکترولیت پوست میوه تمام گروه‌های آزمایشی پس از ۱۰ روز انبارمانی نسبت به نخستین روز آزمایش افزایش یافت. در پایان ۱۰ روز ابتدایی انبارمانی، از نظر آماری بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این شاخص به‌ترتیب مربوط به میوه‌های شاهد و زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود. میزان شاخص نامبرده در میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۱/۵ و ۴/۵ میلی‌مولار مشابه بود. در ادامه و در طی ۱۰ روز دوم انبارمانی، علی‌رغم عدم تغییر معنی‌دار میزان نشت الکترولیت پوست میوه‌های شاهد و زیر تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و افزایش معنی‌دار این شاخص در میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار، همچنان میوه‌های شاهد و زیر تیمار ۳ میلی‌مولار به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این شاخص را دارا بودند و بین میوه‌های زیر غلظت‌های دیگر اسید سالیسیلیک تفاوتی وجود نداشت. در طی ۱۰ روز پایانی انبارمانی، میزان شاخص نامبرده در تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت به گونه‌ای که میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های اسید سالیسیلیک به صورت مشابه با هم میزان نشت الکترولیت پوست کم‌تری نسبت به میوه‌های شاهد داشتند (شکل ۴-C).

کلروفیل *a* پوست میوه

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ساده فاکتورهای آزمایشی نشان داد که روند تغییر میزان کلروفیل *a* پوست میوه‌ها در طول دوره انبارمانی به‌صورت کاهش معنی‌دار بود (شکل ۵-A). همچنین، بیش‌ترین میزان شاخص نامبرده مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و پس از آن به‌ترتیب میوه‌های زیر تیمار ۴/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار این ترکیب و شاهد در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و تمام تفاوت‌های موجود معنی‌دار بود (شکل ۵-B).

کلروفیل *b* پوست میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، پس از ۱۰ روز انبارمانی میزان کلروفیل *b* پوست میوه‌های زیر تیمار ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نسبت به نخستین روز آزمایش افزایش یافت. در ادامه، روند تغییر میزان کلروفیل *b* پوست میوه‌های تمام گروه‌های آزمایشی به‌صورت کاهش معنی‌دار تا انتهای زمان انبارمانی بود. در تمام زمان‌های نمونه‌برداری بیش‌ترین میزان شاخص نامبرده مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود که پس از ۲۰ روز و تا انتهای دوره انبارمانی اختلاف آن با تمام گروه‌های آزمایشی معنی‌دار بود. در این بازه زمانی، میوه‌های زیر تیمار ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رتبه دوم و میوه‌های زیر تیمار ۱/۵ میلی‌مولار و میوه‌های شاهد به‌صورت مشابه باهم در رتبه آخر میزان این شاخص قرار داشتند (شکل ۵ -C).

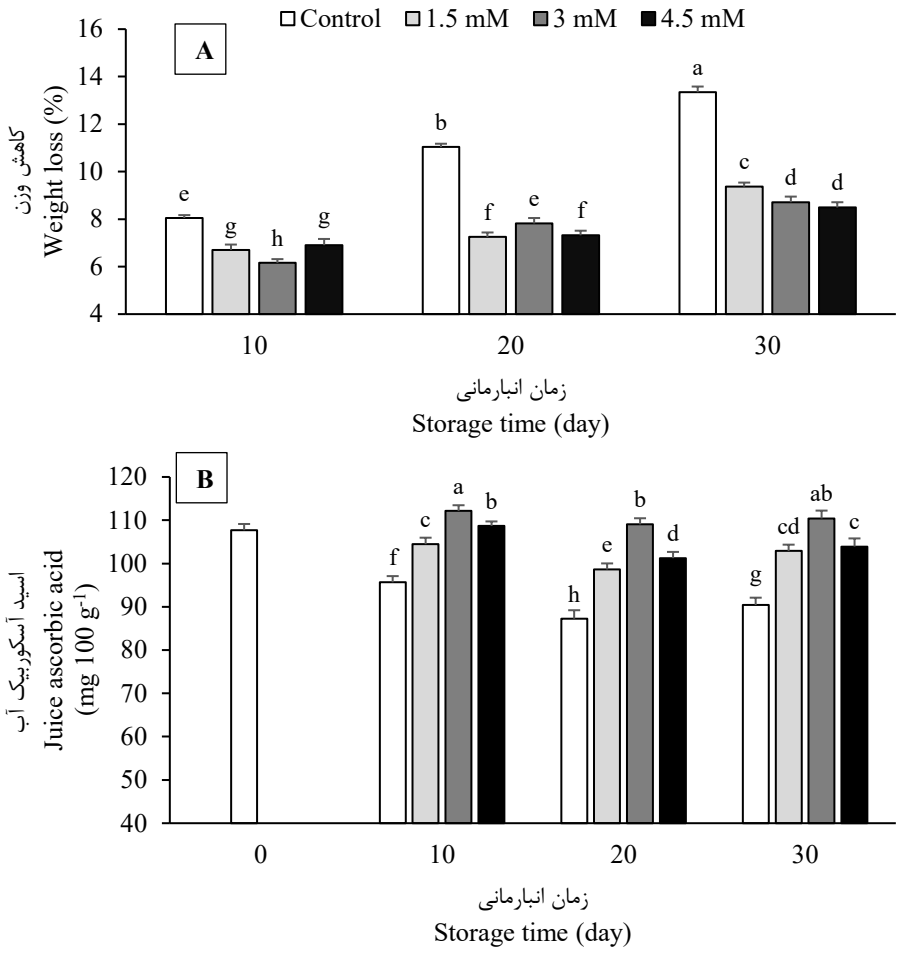
کلروفیل کل پوست میوه

مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر ساده فاکتورهای آزمایشی نشان داد که روند تغییر میزان کلروفیل کل پوست میوه‌ها در طول دوره انبارمانی و نیز تاثیرپذیری آن از غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک با آنچه در مورد میزان کلروفیل *a* پوست میوه‌ها بیان شد مشابه است (شکل ۶-A و B).

کاروتنوئید پوست میوه

صرف‌نظر از تحلیل آماری میانگین‌ها، میزان کاروتنوئید پوست میوه تمام گروه‌های آزمایشی پس از ۱۰ روز انبارمانی نسبت به نخستین روز آزمایش افزایش یافت. در پایان ۱۰ روز ابتدایی انبارمانی، از نظر آماری بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این شاخص به‌ترتیب مربوط به میوه‌های شاهد و زیر تیمار غلظت‌های بالاتر اسید سالیسیلیک بود. در ادامه و طی ۱۰ روز دوم انبارمانی، با افزایش معنی‌دار میزان شاخص نامبرده در میوه‌های زیر تیمار اسید سالیسیلیک، تفاوت بین میوه‌های زیر تیمار با هم و با گروه شاهد از بین رفت. در طی ۱۰ روز پایانی انبارمانی، تغییری در میزان کاروتنوئید پوست میوه‌های هیچ‌کدام از گروه‌های آزمایشی اتفاق نیفتاد. با این حال، پس از ۳۰ روز انبارمانی کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و بین دیگر گروه‌های آزمایشی تفاوت آماری وجود نداشت (شکل ۶-C).

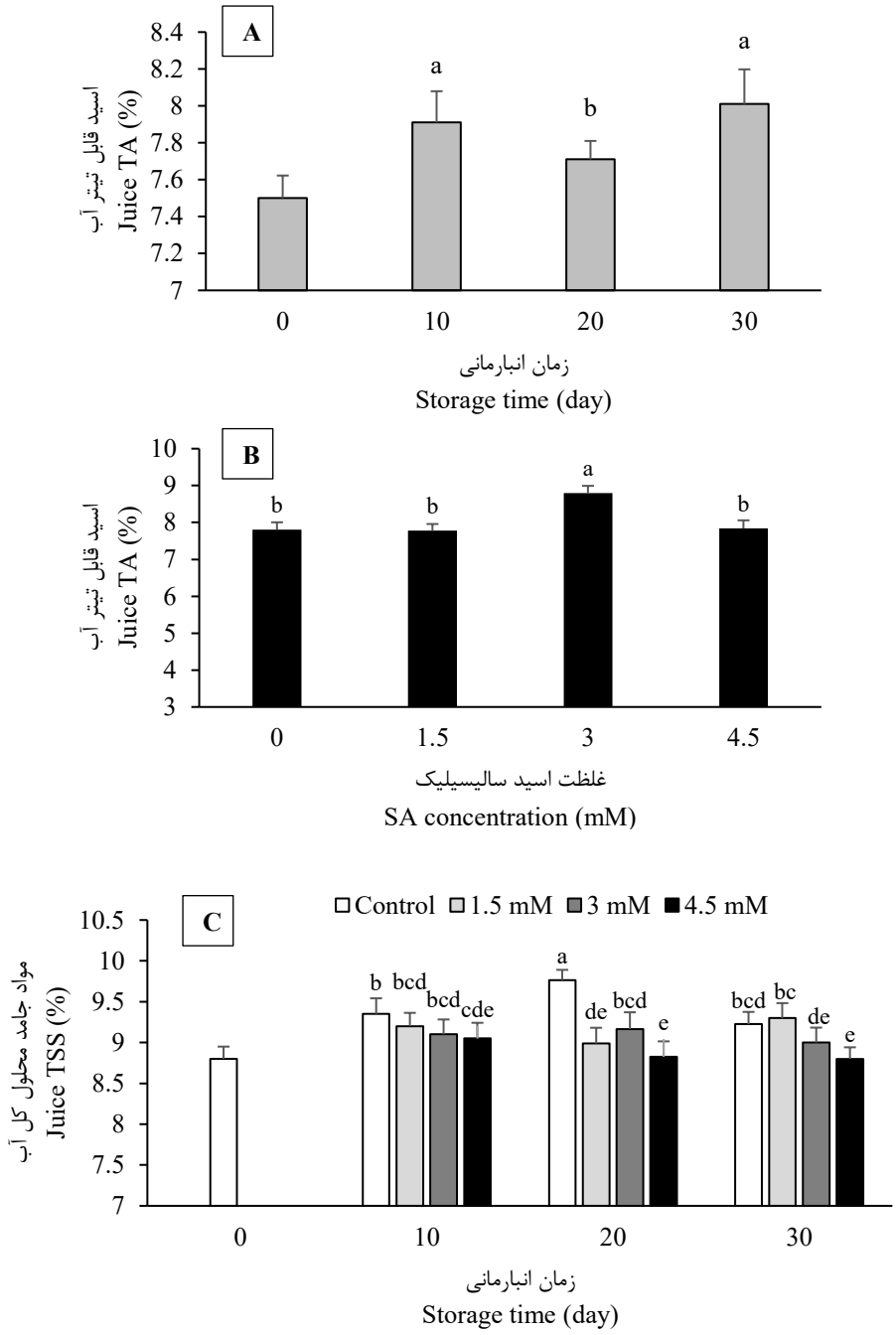
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۱- تغییرات کاهش وزن (A) و میزان اسید آسکوربیک (B) آب میوه لیموی آب طی ۳۰ روز نگهداری در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین چهار تکرار ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. وجود حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (P ≤ ۰/۰۵) است.

Fig. 1. Changes in the weight loss (A) and juice ascorbic acid content (B) of Mexican lime fruit during 30 days of storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Fruits were dipped in salicylic acid solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 4 replicates ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test (P ≤ 0.05).

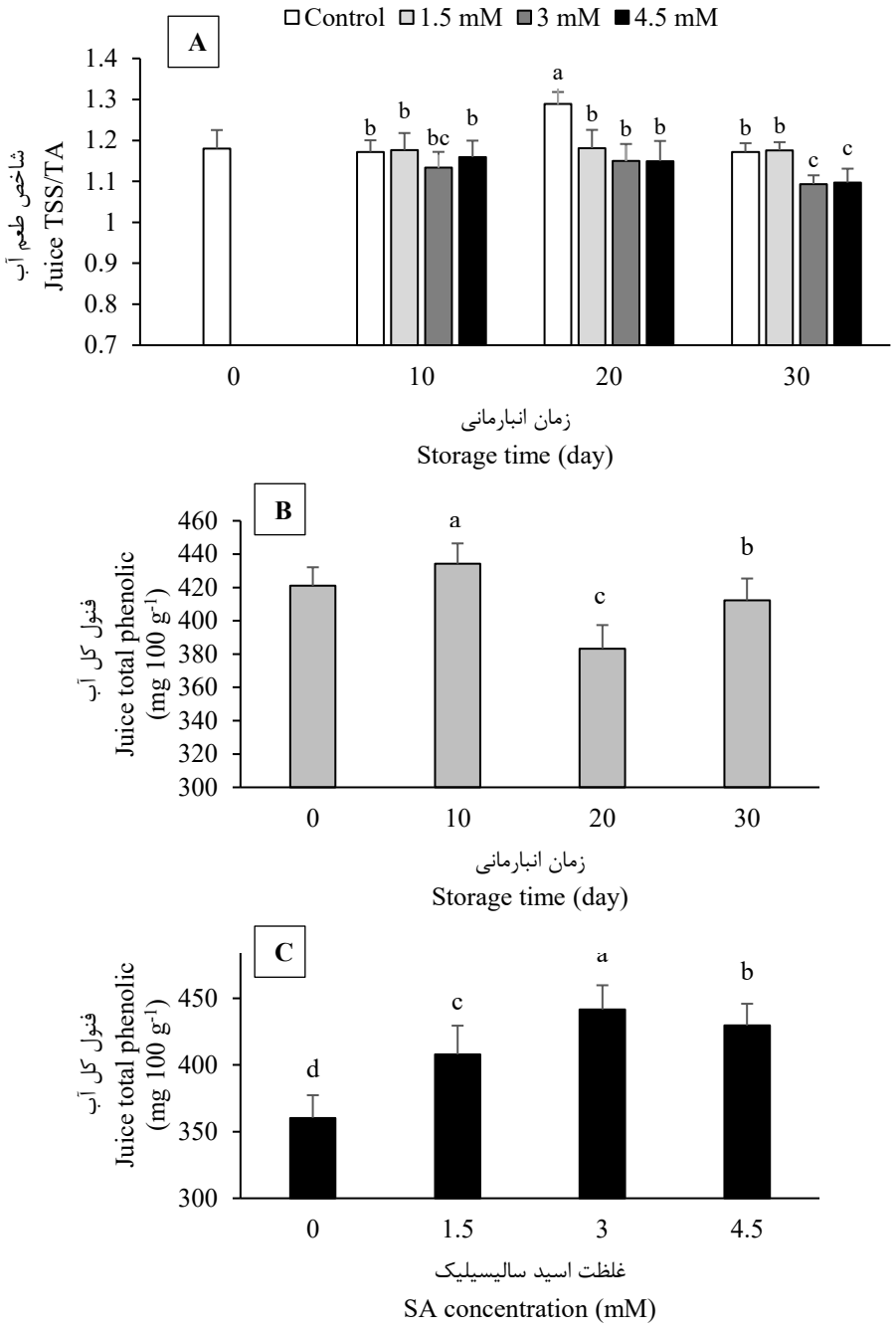
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۲- تغییرات اسید قابل تیتر آب میوه لیموی آب زیر تأثیر اصلی زمان انبارمانی (A) و تیمار اسید سالیسیلیک (B). تغییرات مواد جامد محلول کل آب میوه (C) طی ۳۰ روز نگهداری. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین ۱۶ تکرار برای (A)، ۱۲ تکرار برای (B) و چهار تکرار برای (C) ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq ۰/۰۵$) است.

Fig 2. Changes in juice titratable acidity (TA) of Mexican lime fruit under the main effects of storage time (A) and salicylic acid (SA) treatment (B). Changes in juice total solube solids (C) during 30 days of storage. Fruits were dipped in SA solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 16 replicates for (A), 12 replicates for (B); and 4 replicates for (C) ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

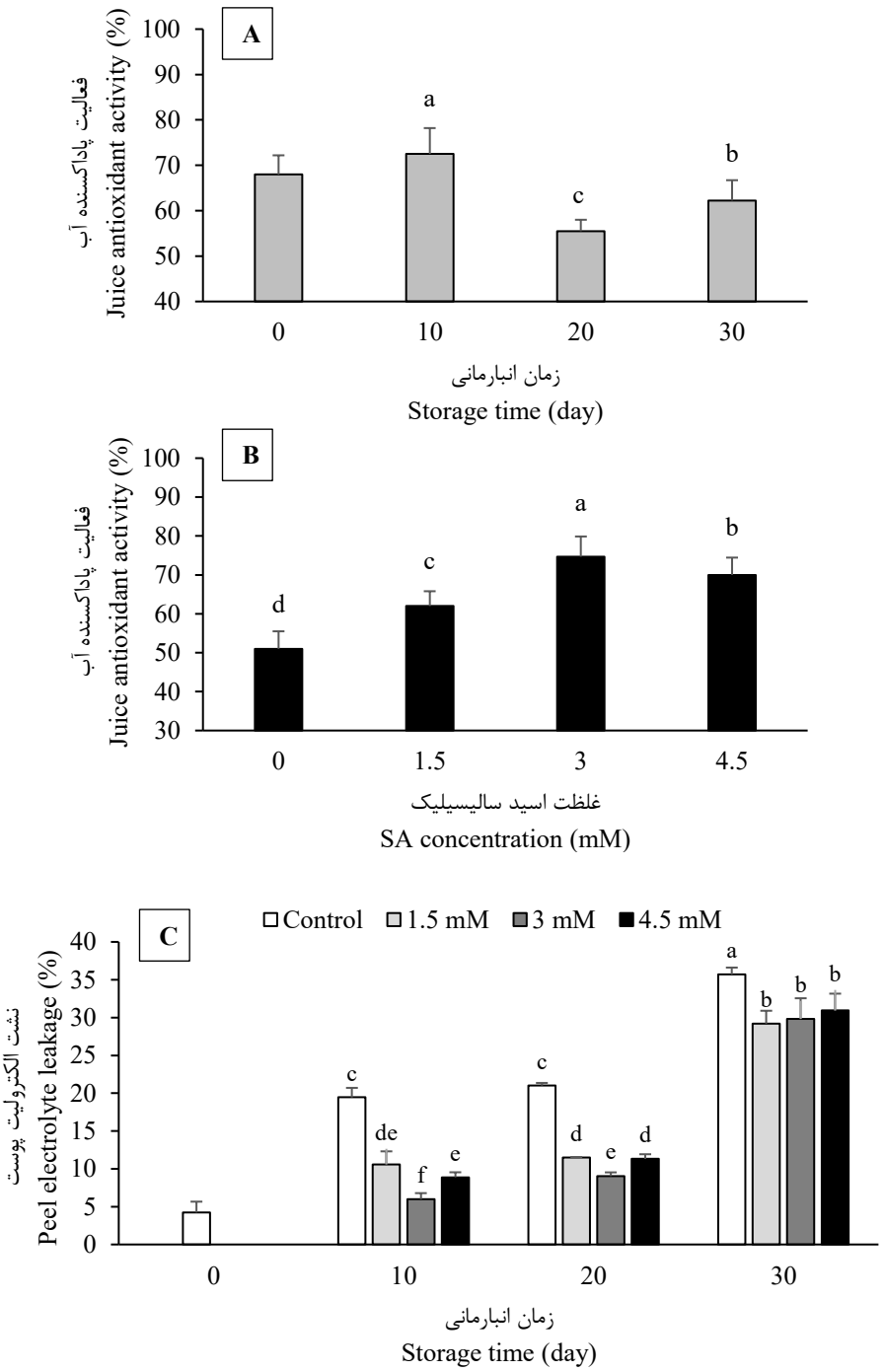
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۳- تغییرات شاخص طعم آب میوه لیموی (A) آب طی ۳۰ روز نگهداری. تغییرات فنول کل آب میوه زیر تأثیر اصلی زمان انبارمانی (B) و تیمار اسید سالیسیلیک (C). میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین چهار تکرار برای (A)، ۱۶ تکرار برای (B) و ۱۲ تکرار برای (C) ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq ۰/۰۵$) است.

Fig 3. Changes in juice flavor index (TSS/TA) of Mexican lime fruit during 30 days of storage (A). Changes in juice total phenolic content under the main effects of storage time (B) and salicylic acid (SA) treatment (C). Fruits were dipped in SA solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 4 replicates for (A), 16 replicates for (B); and 12 replicates for (C) ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

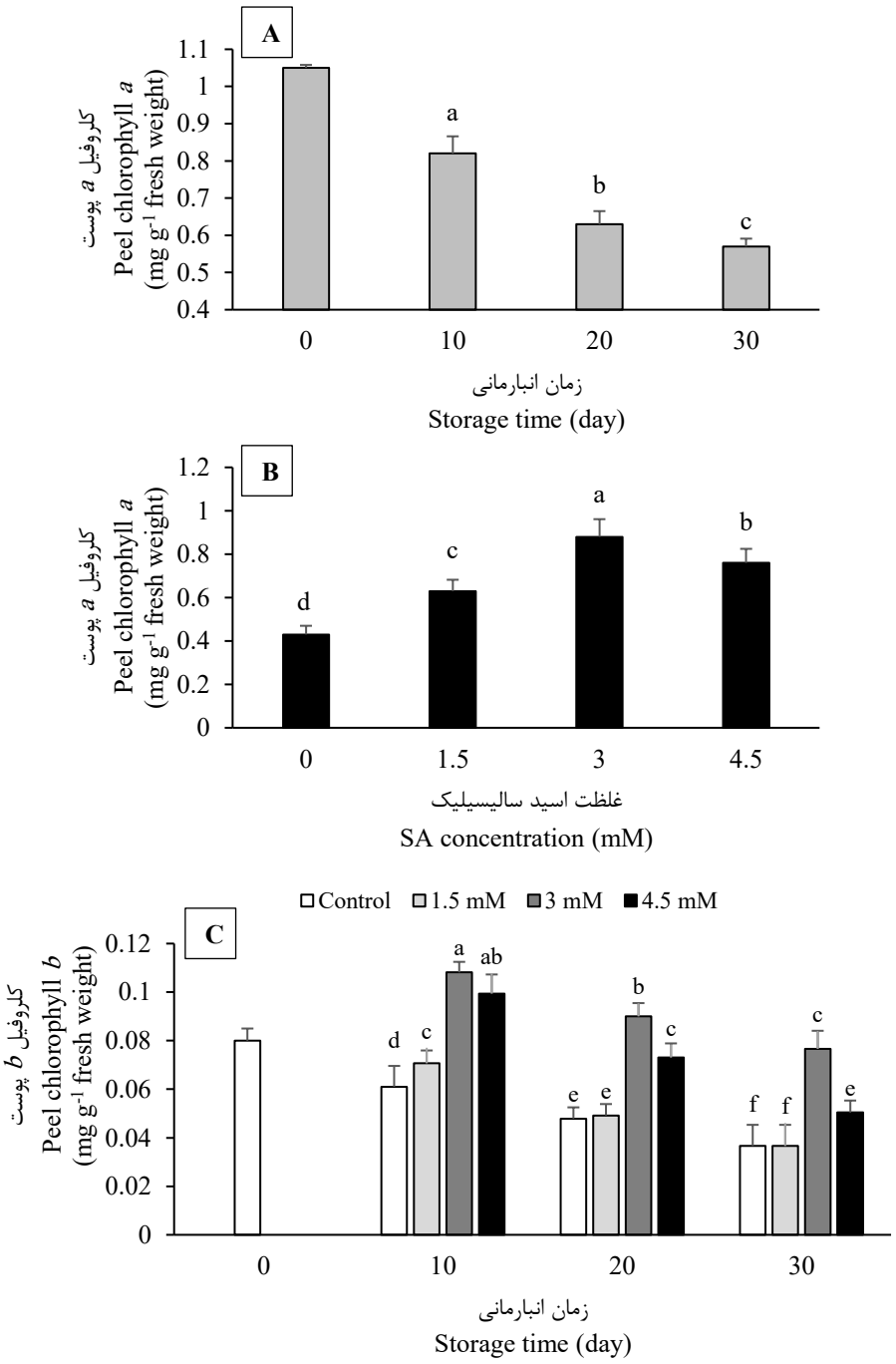
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۴- تغییرات فعالیت پاداکسنده آب میوه لیموی آب زیر تأثیر اصلی زمان انبارمانی (A) و تیمار اسید سالیسیلیک (B). تغییرات نشت الکترولیت پوست میوه (C) طی ۳۰ روز نگهداری. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین ۱۶ تکرار برای (A)، ۱۲ تکرار برای (B) و چهار تکرار برای (C) ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq ۰/۰۵$) است.

Fig 4. Changes in juice antioxidant activity of Mexican lime fruit under the main effects of storage time (A) and salicylic acid (SA) treatment (B). Changes in peel electrolyte leakage (C) during 30 days of storage. Fruits were dipped in SA solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 16 replicates for (A), 12 replicates for (B); and 4 replicates for (C) ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

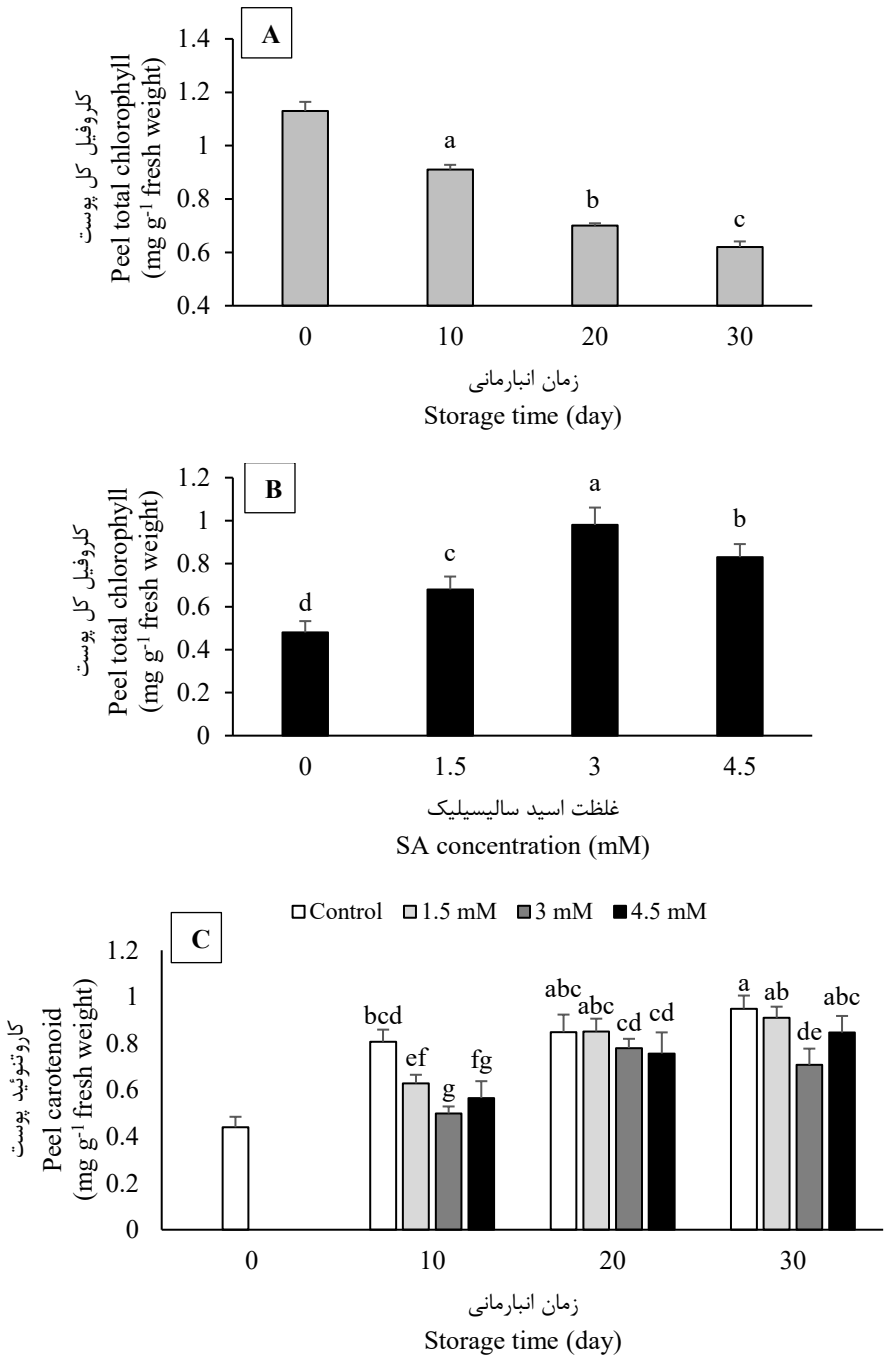
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



شکل ۵- تغییرات کلروفیل *a* پوست میوه لیموی آب زیر تأثیر اصلی زمان انبارمانی (A) و تیمار اسید سالیسیلیک (B). تغییرات کلروفیل *b* پوست میوه (C) طی ۳۰ روز نگهداری. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. . ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین ۱۶ تکرار برای (A)، ۱۲ تکرار برای (B) و چهار تکرار برای (C) ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq ۰/۰۵$) است.

Fig 5. Changes in peel chlorophyll *a* content of Mexican lime fruit under the main effects of storage time (A) and salicylic acid (SA) treatment (B). Changes in peel chlorophyll *b* content (C) during 30 days of storage. Fruits were dipped in SA solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 16 replicates for (A), 12 replicates for (B); and 4 replicates for (C) ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]



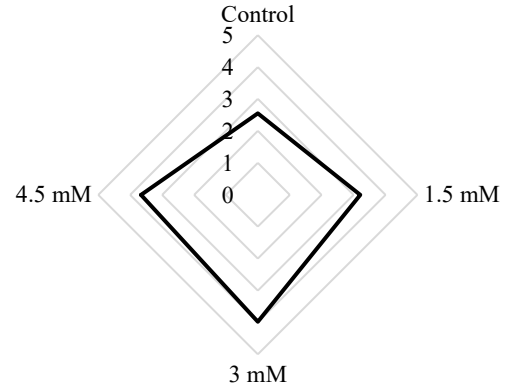
شکل ۶- تغییرات کلروفیل کل پوست میوه لیموی آب زیر تأثیر اصلی زمان انبارمانی (A) و تیمار اسید سالیسیلیک (B). تغییرات کاروتنوئید پوست میوه (C) طی ۳۰ روز نگهداری. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی‌ها هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. داده‌ها به‌صورت میانگین ۱۶ تکرار برای (A)، ۱۲ تکرار برای (B) و چهار تکرار برای (C) ± انحراف معیار ارائه شده‌اند. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون کمینه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq ۰/۰۵$) است.

Fig 6. Changes in peel total chlorophyll content of Mexican lime fruit under the main effects of storage time (A) and salicylic acid (SA) treatment (B). Changes in peel carotenoid content (C) during 30 days of storage. Fruits were dipped in SA solutions at 0, 1.5, 3, or 4.5 mM for 5 minutes prior to storage at 8 °C and 80 ± 5% RH. Evaluations were performed every 10 days. Data are presented as means of 16 replicates for (A), 12 replicates for (B); and 4 replicates for (C) ± SD. Different letters indicate significant differences according to the LSD test ($P \leq 0.05$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

پذیرش کلی مصرف‌کننده

نتایج ارزیابی حسی و تعیین میزان پذیرش کلی میوه‌های گروه‌های آزمایشی بر مبنای شاخص‌های رنگ و شفافیت پوست، عطر و بو، میزان شادابی و آب‌داری، و سفتی بافت میوه نشان داد که پس از ۳۰ روز انبارمانی بهترین کیفیت مربوط به میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بود و پس از آن به ترتیب میوه‌های زیر تیمار ۴/۵ و ۱/۵ میلی‌مولار از ترکیب نامبرده و میوه‌های شاهد در رتبه‌های بعدی کیفی قرار داشتند (شکل ۷).



شکل ۷- ارزیابی حسی میزان پذیرش کلی میوه‌های زیر تیمار و شاهد لیموی آب از نظر مصرف‌کننده پس از ۳۰ روز انبارمانی. میوه‌ها پیش از انبارمانی به‌مدت پنج دقیقه در محلول‌های اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۰، ۱/۵، ۳ یا ۴/۵ میلی‌مولار غوطه‌ور و سپس در دمای هشت درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۸۰ درصد نگهداری شدند.

Fig. 7. Sensory evaluation of overall consumer acceptance of treated and control Mexican lime fruits after 30 days of storage. Prior to storage, the fruits were dipped for 5 minutes in salicylic acid solutions at concentrations of 0, 1.5, 3, or 4.5 mM, and then stored at 8 °C and 80 ± 5% relative humidity.

بحث

میوه‌های لیموی آب معمولاً در زمانی برداشت می‌شوند که پوست آن‌ها هنوز سبز و سرشار از ترکیبات معطر است. با این حال، کیفیت پس‌ازبرداشت این میوه‌ها به‌سرعت کاهش می‌یابد. مهم‌ترین نشانه ظاهری این کاهش کیفیت، از بین رفتن رنگ سبز پوست است که اغلب در مدت زمان کوتاهی پس از برداشت رخ می‌دهد. علت اصلی وقوع این پدیده بروز تلفات آب در مدت زمان کوتاه است که با تحریک و تشدید نرخ تنفس و افزایش قابل توجه در تولید اتیلن (به‌عنوان کاتالیزور آنزیم‌هایی مانند کلروفیلاز و پکتین متیل‌استراز) سبب تجزیه کلروفیل و تغییر رنگ پوست و نیز ایجاد حالت پژمردگی ظاهری و نرم شدن بافت می‌شود (Nolpradubphan & Lichanporn, 2016).

در طی دوره پس‌ازبرداشت، شدت فعالیت‌های تنفسی و متابولیکی میوه‌های لیموی آب به‌طور مستقیم با افزایش دمای محیط مرتبط است که به خشک شدن و افت کیفیت میوه منجر می‌شود. بنابراین، بهبود ماندگاری لیموی آب در شرایط تنش پس‌ازبرداشت، در حالی که ویژگی‌های حسی و ارزش تغذیه‌ای آن حفظ شود، از طریق نگهداری در دمای پایین قابل دستیابی است و برای دست‌یابی به این هدف دمای هشت درجه سلسیوس و استفاده از بسته‌بندی مناسب توصیه شده است (Habibi & Susila, 2024). از این رو، در پژوهش حاضر دمای انبارمانی هشت درجه سلسیوس و بسته‌بندی میوه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار سوراخ‌دار (با نسبت سوراخ سه درصد) در مورد تمام گروه‌های آزمایشی لحاظ شد.

چنان‌که در قسمت نتایج بیان شد تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری موجب کاهش افت وزن و نشت الکترولیت پوست میوه‌ها طی دوره انبارمانی شد؛ به‌طوری‌که پس از ۳۰ روز، کمترین کاهش وزن در میوه‌های زیر تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار مشاهده شد. در طول دوره انبارمانی، همواره مقدار اسید آسکوربیک میوه‌های زیر تیمار اسید سالیسیلیک بیشتر از مقدار متناظر در میوه‌های شاهد بود به‌گونه‌ای که مقدار آن در میوه‌های زیر تیمار ۳ میلی‌مولار حتی بیش از مقدار مربوط به روز نخستین آزمایش بود. تیمار نامبرده با مقادیر بیش‌تر میزان اسید قابل تیتر همراه بود. همچنین، تیمار غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ثبات بهتر شاخص مواد جامد محلول کل آب میوه در طول دوره انبارمانی و شاخص طعم

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

نهایی مطلوب‌تر همراه بودند. نتایج پژوهش حاضر دال بر مقادیر بیش‌تر میزان فنول کل و فعالیت پاداکسنده آب، و نیز مقادیر بیش‌تر کلروفیل کل پوست در میوه‌های زیر تیمار اسید سالیسیلیک نسبت به میوه‌های شاهد بود و بیش‌ترین میزان شاخص‌های نامبرده مربوط به میوه‌های زیر تیمار غلظت ۳ میلی‌مولار بود. در انتهای زمان انبارمانی، میوه‌های زیر تیمار نامبرده کم‌ترین میزان کاروتنوئید پوست و بیش‌ترین امتیاز از نظر قابلیت پذیرش کلی مصرف‌کننده را دارا بودند.

همان‌گونه که نتایج پژوهش حاضر نیز دال بر این واقعیت است، تامل در یافته‌های پژوهش‌های پیشین تبیین‌کننده اثرات چندجانبه تیمار اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های گوناگون کیفی محصول (حسی، و مرتبط با ارزش تغذیه‌ای) است. به عنوان مثال، تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک، به‌ویژه غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب کاهش معنی‌دار افت وزن میوه‌های نارنگی و حفظ کیفیت آن‌ها در طول ۴۵ روز انبارمانی در دمای سرد (پنج درجه سلسیوس) و یا دمای محیط (۲۳ درجه سلسیوس) شد. این تیمار به حفظ سفتی بافت، مواد جامد محلول کل، اسیدیته، نسبت قند به اسید، و محتوای اسید آسکوربیک کمک کرد (Ennab *et al*., 2020). در پژوهشی دیگر، تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز اسیدهای آلی و مهار آنزیم‌های مسئول تجزیه آن‌ها، سبب حفظ اسیدیته قابل تیتر و محتوای کل اسیدهای آلی آب میوه بلوبری شد. از سوی دیگر، تیمار نامبرده سبب حفظ مواد جامد محلول کل آب میوه شد و برآیند این تاثیرات حفظ کیفیت حسی محصول در طول دوره انبارمانی بود (Jiang *et al*., 2022). همچنین، نتایج کاربرد پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک بر کیفیت و عمر انباری میوه هلو طی هفت هفته نگهداری نشان داد که تیمار نامبرده به‌ویژه در غلظت ۲ میلی‌مولار، تأثیر مثبتی بر کاهش افت وزن، و حفظ سفتی، محتوای فنول کل و فعالیت پاداکسنده میوه‌ها داشت، بدون آنکه اثر منفی بر طعم یا ظاهر میوه بگذارد. البته، تیمار با غلظت ۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تا حدودی موجب آسیب به میوه‌ها شد و در مقایسه با غلظت ۲ میلی‌مولار در حفظ کیفیت میوه کارآیی کمتری داشت (Khademi & Ershadi, 2013). میوه‌های عناب زمستانی در پاسخ به تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک، کاهش وزن، نرخ تنفس و تولید اتیلن کم‌تری داشتند. همچنین، میزان ترکیبات پاداکسنده مانند فنول‌های کل، فلاونوئیدها، اسید آسکوربیک و گلوتاتیون احیا در میوه‌های تیمارشده افزایش یافت (Sang *et al*., 2022). گزارش شده است که تیمار پس از برداشت اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری موجب افزایش فعالیت پاداکسنده میوه‌های زغال‌اخته در طی ۲۱ روز نگهداری در دمای چهار درجه سلسیوس شد. میوه‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک دارای مقادیر بالاتری از فنول کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل، اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نسبت به گروه شاهد بودند. این یافته‌ها نشان داد که تیمار اسید سالیسیلیک می‌تواند راهبرد مؤثری برای افزایش فعالیت پاداکسنده محصولات باغی باشد (Dokhanieh *et al*., 2013). تیمار غوطه‌وری میوه پاپایا درغلظت ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نیز تأثیر معنی‌داری در ممانعت از افزایش شاخص رسیدن، مواد جامد محلول کل، نرم شدن میوه، نشت الکترولیت و پکتین‌های محلول داشت. میوه‌های زیر تیمار نامبرده برترین گروه آزمایشی از نظر میزان سفتی بافت، فعالیت پاداکسنده و ترکیبات فنولی بودند (Promyou & Supapvanich, 2016).

نقش مؤثر تیمار اسید سالیسیلیک در حفظ و یا بهبود شاخص‌های کیفی و کیفیت نهایی محصولات باغی، از طریق نقش آفرینی در وقوع و یا تعدیل مجموعه‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی حاصل می‌شود. در ادامه به تفسیر دقیق سازوکارهای مرتبط با کیفیت تاثیرپذیری شاخص‌های مورد ارزیابی زیر تاثیر تیمارهای مورد استفاده پرداخته می‌شود.

کاهش وزن، میزان نشت الکترولیت پوست میوه و صفات کیفی آب میوه

یکی از سازوکارهای اصلی کاهش افت وزن میوه‌ها در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک، اثرگذاری آن بر نرخ تنفس و تولید اتیلن است که روند اتلاف آب را کند می‌کند. این اثر از آن جهت حائز اهمیت است که تنفس بالا و تشدید تولید اتیلن پس از برداشت با افزایش سرعت پیری فیزیولوژیکی و تشدید متابولیسم همراه است. به‌عنوان نمونه، در میوه عناب زمستانی، تیمار اسید سالیسیلیک با مهار نرخ تنفس و کاهش تولید اتیلن منجر به تعدیل میزان کاهش وزن شد (Sang *et al*., 2022). به‌گونه مشابه، تیمار اسید سالیسیلیک موجب کاهش نرخ تنفس و کاهش معنی‌دار افت وزن میوه لونگان گردید (Zhang *et al*., 2025). در میوه آلو رقم 'France' نیز اسید سالیسیلیک توانست از افزایش نرخ تنفس و در نتیجه از کاهش وزن جلوگیری کند (Zhang, *et al*., 2024).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

محدودیت تعرق یکی از عوامل مؤثر در حفظ وزن میوه‌ها پس از برداشت است. اسید سالیسیلیک با القای بسته شدن روزنه‌ها و احتمالاً با تغییر در نفوذپذیری دیواره سلولی، موجب محدود شدن تبخیر آب و کاهش تلفات رطوبت می‌شود (Ennab *et al*., 2020). از سوی دیگر، اسید سالیسیلیک با تحریک سنتز ترکیبات پاداکسنده غیرآنزیمی و تشدید فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و نقش آفرینی در تنظیم متابولیسم دیواره سلولی از طریق مهار فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره، به حفظ یکپارچگی دیواره و غشاءهای سلولی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها کمک می‌کند. برآیند این اثرات حفظ سفتی بافت، کاهش نشت الکترولیت‌ها و در نهایت کاهش موثر در میزان اتلاف آب است (Chen *et al*., 2023; Nicktam *et al*., 2023). در پژوهشی، تیمار پس از برداشت اسید سالیسیلیک منجر به تأخیر در پیری، حفظ بهتر وزن و سفتی بافت، و نشت الکترولیت کمتر میوه پوملو شد (Chen *et al*., 2023). در مطالعه‌ای بر روی میوه هلو نیز تیمار با اسید سالیسیلیک منجر به کاهش هدایت الکتریکی نسبی شد که نشان‌دهنده حفظ بهتر یکپارچگی غشای سلولی است (Zhang *et al*., 2025).

از دیگر سازوکارهای مؤثر اسید سالیسیلیک در جلوگیری از کاهش وزن، حفظ فشار تورژسانس سلولی از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی و نگهداری آب در بافت میوه است. این ویژگی موجب کاهش دهیدراته شدن میوه در دوره انبارمانی و در نتیجه حفظ شاخص‌های کیفی فیزیکی مانند تازگی و سفتی بافت می‌شود (Nicktam *et al*., 2023).

اسید سالیسیلیک با فعال‌سازی آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، دهیدروآسکوربات ردوکتاز، و گلوتاتیون ردوکتاز، و نیز مهار فعالیت آنزیم آسکوربیک‌اسید اکسیداز موجب کاهش تخریب ویتامین ث، حفظ نسبت بالای اسید آسکوربیک به دهیدروآسکوربیک اسید، پایداری چرخه آسکوربات–گلوتاتیون، و افزایش فعالیت پاداکسنده آب میوه می‌شود (Zeraatgar *et al*., 2018; Gačnik *et al*., 2021; Zhang, X. *et al*., 2024). مهار تولید اتیلن و کاهش نرخ تنفس نیز از دیگر سازوکارهای مؤثر اسید سالیسیلیک در جلوگیری از افت محتوای اسید آسکوربیک است، زیرا اتیلن با تسریع فرآیند رسیدن و پیری و افزایش متابولیسم اکسایشی، نقش مهمی در تخریب ویتامین ث دارد (Zeraatgar *et al*., 2018). افزون بر آنچه بیان شد، تحریک سیستم دفاع پاداکسنده در پاسخ به تنش اکسایشی خفیف ناشی از تیمار اسید سالیسیلیک، و همچنین افزایش محتوای قندهای کاهنده، می‌توانند در حفظ یا حتی افزایش سطح اسید آسکوربیک نقش داشته باشند (Gačnik *et al*., 2021).

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند اسید سالیسیلیک در تنظیم فعالیت آنزیم‌های دخیل در زیست‌سنتز و تجزیه اسیدهای آلی، از جمله اسید سیتریک و مالیک، نقش دارد (Jiang *et al*., 2022). سازوکار اصلی اثر اسید سالیسیلیک در حفظ اسید قابل تیتر به توانایی آن در مهار تنفس و بیوسنتز اتیلن مربوط است که رسیدن و پیری را به تأخیر می‌اندازد. به‌عبارت دیگر، اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم متابولیسم اسیدهای آلی و کاهش نرخ تنفس، به کاهش مصرف اسیدهای آلی و حفظ سطح اسید قابل تیتر در آب میوه کمک می‌کند (Awad & Al-Qurashi, 2021; Yang *et al*., 2022; Zhang, *et al*., 2024). افزون بر آن، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها، محیط سلولی پایدارتری برای حفظ ترکیبات اسیدی فراهم می‌نماید (Chen *et al*., 2023).

تیمار اسید سالیسیلیک با تنظیم مسیرهای بیوسنتز و سیگنال‌دهی اتیلن، کاهش نرخ تنفس، و تأخیر در رسیدن و پیری میوه، نقش مؤثری در کنترل نسبت قند به اسید و حفظ تعادل شاخص طعم دارد، چنان‌که در میوه‌هایی مانند انبه و عناب زمستانی گزارش شده است (Awad & Al-Qurashi, 2021; Hong *et al*., 2014; Yang *et al*., 2022). از سوی دیگر، مهار تخریب دیواره سلولی زیر تاثیر اسید سالیسیلیک نیز با حفظ سفتی میوه و جلوگیری از آزادسازی قندها و اسیدهای آلی در ارتباط بوده و به حفظ متعادل شاخص طعم کمک می‌کند (Chen *et al*., 2023). این اثر در میوه‌هایی چون پوملو رقم 'Jinshayou'، و گلابی رقم 'Hosui' گزارش شده است (Chen *et al*., 2023; Zhang, *et al*., 2023).

ترکیبات فنولی به‌دلیل نقش پاداکسنده خود، در تعیین کیفیت تغذیه‌ای محصولات از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Yin, *et al*., 2024). اسید سالیسیلیک از طریق القای بیان ژن‌های رمزگذار آنزیم‌های پاداکسنده و افزایش سنتز پاداکسنده‌های غیرآنزیمی نظیر اسید آسکوربیک، گلوتاتیون و فنول‌ها، فعالیت پاداکسنده میوه را می‌افزاید (Nicktam *et al*., 2023). همچنین، اسید سالیسیلیک با تحریک فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و کاهش تنش اکسایشی سبب کاهش نشت الکترولیت، تداوم یکپارچگی دیواره سلولی و پایداری ساختار بافت میوه می‌شود که با حفظ بهتر سفتی میوه و ترکیبات پاداکسنده آن در طی انبارمانی همراه است (Chen *et al*., 2023; Asghari & Hasanlooe, 2015). افزایش فعالیت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

پاداکسنده در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک در مورد میوه‌هایی مانند عناب زمستانی و زغال اخته گزارش شده است (Dokhanieh *et al*., 2013; Yang *et al*., 2022). همچنین، مطالعات نشان داده‌اند که تیمارهای پیش یا پس‌از برداشت اسید سالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار و حفظ بهتر ترکیبات فنولی میوه‌هایی مانند خربزه درختی و انگور می‌شوند (Gomes *et al*., 2021; Hanif *et al*., 2020). همان‌گونه که در مورد میوه زغال اخته بیان شده است، سازوکار افزایش محتوای ترکیبات فنولی آب‌میوه در پاسخ به تیمار اسید سالیسیلیک با فعال‌سازی مسیر فنیل‌پروپانوئید و تقویت بیان ژن آنزیم‌هایی نظیر فنیل‌آلانین آمونیالیاز مرتبط است (Dokhanieh *et al*., 2013). افزون بر آن، اسید سالیسیلیک با تعدیل فعالیت آنزیم‌های متابولیسم فنولی از تجزیه فنول‌ها در طول دوره انبارمانی جلوگیری می‌کند (Zhang, *et al*., 2024). این یافته‌ها مؤید نقش مؤثر اسید سالیسیلیک در حفظ کیفیت تغذیه‌ای و عملکردی میوه‌ها طی انبارمانی است.

میزان کلروفیل و کاروتنوئید پوست میوه

پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که تیمار پس‌ازبرداشت اسید سالیسیلیک با بهره‌گیری از سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چندگانه، نقش مؤثری در حفظ رنگ سبز پوست میوه‌های مرکبات ایفا می‌کند. به‌عنوان نمونه، تیمار میوه‌های پوملو با غلظت ۰/۳ درصد اسید سالیسیلیک موجب تأخیر در پیری پوست، حفظ سفتی بافت و کاهش نشت الکترولیت شد که همگی در حفظ رنگ سبز پوست مؤثر بودند (Chen *et al*., 2023). یکی از سازوکارهای اصلی این اثر، مهار مستقیم آنزیم‌های دخیل در مسیر کاتابولیسم کلروفیل نظیر کلروفیلاز و سایر آنزیم‌های پایین‌دستی است که کلروفیل را به ترکیبات بی‌رنگ تبدیل می‌کنند (Champa & Gamage, 2020). افزون‌برآن، اسید سالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده، و افزایش ترکیبات پاداکسنده غیرآنزیمی مانند گلوتاتیون، اسید آسکوربیک، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها، سبب کاهش تنش اکسایشی، مهار پراکسیداسیون لیپیدی و تقویت پایداری غشاءها و حفظ تمامیت کلروپلاست‌ها می‌شود. این اثر حفاظتی با کاهش غلظت پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید به‌عنوان شاخص وقوع پراکسیداسیون لیپیدی همراه است (Huang *et al*., 2023).

بر اساس یافته‌های پیشین، اسید سالیسیلیک قادر است از طریق تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و مسیرهای سیگنال‌دهی قند و با حفظ تعادل انرژی و عملکرد قندها از بروز تنش متابولیکی و تسریع در پیری محصول، که منجر به تغییر رنگ پوست می‌شود، جلوگیری کند (Park *et al*., 2021). از سوی دیگر، اسید سالیسیلیک با مهار تولید و سیگنال‌دهی اتیلن، که از عوامل اصلی زردشدن پوست مرکبات است، از فعال شدن مسیرهای تجزیه کلروفیل و تجمع کاروتنوئید مرتبط با وقوع پیری جلوگیری می‌کند. در این راستا، نقش تنظیمی فاکتور رونویسی CcbHLH35 در تخریب کلروفیل پوست میوه نارنگی تحت تأثیر اتیلن و تعدیل آن زیر تأثیر اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Yin, *et al*., 2016; Liu *et al*., 2024).

میزان پذیرش کلی مصرف‌کننده

چگونگی تاثیرپذیری فیزیکوشیمیایی میوه‌ها از تیمارهای مورد استفاده و تفسیر یافته‌ها که پیش‌تر به آن پرداخته شد، می‌تواند کیفیت رتبه‌بندی میوه‌ها از نظر میزان پذیرش کلی مصرف‌کننده را توجیه نماید.

نتیجه‌گیری

تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در محلول اسید سالیسیلیک با غلظت ۳ میلی‌مولار، به‌عنوان رویکردی ایمن و سازگار با محیط زیست، نقش مؤثری در حفظ کیفیت تغذیه‌ای و بازارپسندی میوه لیموی آب طی ۳۰ روز انبارمانی ایفا نمود. ازاین‌رو، استفاده از تیمار نامبرده برای نگهداری طولانی‌مدت این محصول توصیه می‌شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی کارآیی تیمار نامبرده در شرایط انبارمانی بیش از ۳۰ روز ارزیابی شود.

منابع

References

Aghaei Dargiri, S., Rastegar, S., & Mohammadi, M. (2025). Chitosan based coating enriched with *Spirulina platensis* and moringa leaf extracts preserved the postharvest quality of Mexican lime (*Citrus aurantifolia*). *Journal of Horticulture and Postharvest Research, 8*(1), 105–124.

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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Asowata-Ayodele, M.A., Dabesor, P.A., & Afolabi, B. (2019). Phytochemical compositions and antimicrobial activities of *Citrus sinensis* and *Citrus aurantifolia* peels on selected pathogenic bacteria isolated from jollof rice. *International Journal of Pathogen Research, 2*(3), 1–7.

Awad, M., & Al-Qurashi, A. (2021). Postharvest salicylic acid and melatonin dipping delay ripening and improve quality of 'Sensation' mangoes. *Philippine Agricultural Scientist, 104*(1), 34–44.

Champa, W.A.H., & Gamage, K.G.N.M. (2020). Postharvest dip application of putrescine and salicylic acid delayed postharvest quality deterioration and extended the storage life of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) fruit. *International Journal of Fruit Science, 20*(Suppl 3), S1629–S1638.

Chen, C., Huang, Q., Peng, X., Wan, C., Zeng, J., Zhang, Y., & Chen, J. (2023). Alleviatory effects of salicylic acid on postharvest softening and cell wall degradation of 'Jinshayou'pummelo (*Citrus maxima* Merr.): A comparative physiological and transcriptomic analysis. *Food Chemistry*, *424*, 136428.

Dokhanieh, A.Y., Soleimani Aghdam, M., Fard, J.R., & Hassanpour, H. (2013). Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. *Scientia Horticulturae, 154*, 31–36.

Ennab, H.A., El-Shemy, M.A., & Alam-Eldein, S.M. (2020). Salicylic acid and putrescine to reduce post-harvest storage problems and maintain quality of Murcott mandarin fruit. *Agronomy, 10*(1), 115.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Production/yield quantities of lemons and limes in World + (Total)*. FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize

Gačnik, S., Veberič, R., Hudina, M., Koron, D., & Mikulič-Petkovšek, M. (2021). Salicylate treatment affects fruit quality and also alters the composition of metabolites in strawberries. *Horticulturae, 7*(10), 400.

Gomes, E.P., Borges, C.V., Monteiro, G.C., Belin, M.A., Minatel, I.O., Junior, A.P., Tecchio, M.A., & Lima, G.P. (2021). Preharvest salicylic acid treatments improve phenolic compounds and biogenic amines in 'Niagara Rosada' table grape. *Postharvest Biology and Technology, 176*, 111505.

Habibi, I., & Susila, A.D. (2024). Quality improvement of lime fruit (*Citrus aurantifolia*) between packaged and unpackaged conditions combined with different storage temperatures. *Journal of Agrosociology and Sustainability, 2*(1), 17–29.

Haider, F.U., Cheema, S.A., Ashraf, I., & Shahzad, B. (2022). Role of salicylic acid on postharvest physiology of plants. In A. Sharma, R. Bhardwaj, V. Kumar, B. Zheng, & D. K. Tripathi (Eds.), *Managing plant stress using salicylic acid: Physiological and molecular aspects* (pp. 111–137). Wiley.

Hanif, A., Ahmad, S., Shahzad, S., Liaquat, M., & Anwar, R. (2020). Postharvest application of salicylic acid reduced decay and enhanced storage life of papaya fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization, 14*, 3078–3088.

Hong, K., Gong, D., Xu, H., Wang, S., Jia, Z., Chen, J., & Zhang, L. (2014). Effects of salicylic acid and nitric oxide pretreatment on the expression of genes involved in the ethylene signalling pathway and the quality of postharvest mango fruit. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *42*(3), 205–216.

Huang, Q., Huang, L., Chen, J., Zhang, Y., Kai, W., & Chen, C. (2023). Maintenance of postharvest storability and overall quality of 'Jinshayou' pummelo fruit by salicylic acid treatment. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1086375.

Izah, S.C., Richard, G., & Odubo, T.C. (2024). *Citrus aurantifolia*: Phytochemical constituents, food preservative potentials, and pharmacological values. In S. C. Izah, M. C. Ogwu, & M. Akram (Eds.), *Herbal medicine phytochemistry* (pp. 123–134). Springer.

Jiang, B., Fang, X., Fu, D., Wu, W., Han, Y., Chen, H., Liu, R., & Gao, H. (2022). Exogenous salicylic acid regulates organic acids metabolism in postharvest blueberry fruit. *Frontiers in Plant Science, 13*, 1024909.

Khademi, Z., & Ershadi, A. (2013). Postharvest application of salicylic acid improves storability of peach (*Prunus persica* cv. Elberta) fruits. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 5*(6), 651.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Liu, Q., Deng, S., Liu, L., Wang, H., Yuan, L., Yao, S., Zeng, K., & Deng, L. (2024). The chlorophyll and carotenoid metabolism in postharvest mandarin fruit peels is co-regulated by transcription factor CcbHLH35. *Postharvest Biology and Technology, 216*, 113030. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113030

Martínez-Esplá, A., Serrano, M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Castillo, S., & Zapata, P.J. (2017). Enhancement of antioxidant systems and storability of two plum cultivars by preharvest treatments with salicylates. *International Journal of Molecular Sciences, 18*(9), 1911.

McCollum, T.G., & McDonald, R.E. (1991). Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit. *HortScience, 26*(9), 1191–1192.

Mohammadi, M., Rastegar, S., & Rohani, A. (2024). Enhancing Mexican lime (*Citrus aurantifolia* cv.) shelf life with innovative edible coatings: Xanthan gum edible coating enriched with *Spirulina platensis* and pomegranate seed oils. *BMC Plant Biology, 24*, 906.

Nicktam, T., Likhitha, C.S., Nameirakpam, R., & Singh, J. (2023). Enhancement of postharvest life of fruits by application of salicylic acid. *International Journal of Plant & Soil Science, 35*(10), 15–22.

Nolpradubphan, A., & Lichanporn, I. (2016). Effect of nitric oxide on postharvest quality of lime fruit (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Asia-Pacific Journal of Science and Technology, 21*(1), 86–96.

Park, S.H., Lee, B.R., La, V.H., Mamun, M.A., Bae, D.W., & Kim, T.H. (2021). Drought intensity-responsive salicylic acid and abscisic acid crosstalk with the sugar signaling and metabolic pathway in *Brassica napus*. *Plants, 10*(3), 610.

Pimsorn, O., Kramchote, S., & Suwor, P. (2022). Effects of *Aloe vera* gel coating on quality and shelf life of lime (*Citrus aurantifolia*) fruit during ambient storage. *The Horticulture Journal, 91*(3), 416–423.

Promyou, S., & Supapvanich, S. (2016). Effects of salicylic acid immersion on physicochemical quality of Thai papaya fruit 'Kaek Dam' during storage. *Acta Horticulturae, 1111*, 105–112.

Sang, Y., Liu, Y., Tang, Y., Yang, W., Guo, M., & Chen, G. (2022). Transcriptome sequencing reveals mechanism of improved antioxidant capacity and maintained postharvest quality of winter jujube during cold storage after salicylic acid treatment. *Postharvest Biology and Technology, 189*, 111929.

Taghipour, L., & Assar, P. (2021). Postharvest hot water treatment as a non-chemical alternative to fungicide: Physicochemical changes and adaptability to oxidative stress in sweet lime fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 22*(4), 483–496. (In Persian).

Yang, W., Kang, J., Liu, Y., Guo, M., & Chen, G. (2022). Effect of salicylic acid treatment on antioxidant capacity and endogenous hormones in winter jujube during shelf life. *Food Chemistry, 397*, 133788.

Yin, X.R., Xie, X.L., Xia, X.J., Yu, J.Q., Ferguson, I.B., Giovannoni, J.J., & Chen, K.S. (2016). Involvement of an ethylene response factor in chlorophyll degradation during citrus fruit degreening. *The Plant Journal*, *86*(5), 403-412.

Yin, Y., Hu, M., Yang, Z., Zhu, J., & Fang, W. (2024). Salicylic acid promotes phenolic acid biosynthesis for the production of phenol acid-rich barley sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 104*(9), 5350–5359.

Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology, 144*(3), 307–313.

Zeraatgar, H., Davarynejad, G.H., Moradinezhad, F., & Abedi, B. (2018). Effect of salicylic acid and calcium nitrate spraying on qualitative properties and storability of fresh jujube fruit (*Ziziphus jujube* Mill.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46*(1), 138–147.

Zhang, H., Shan, T., Chen, Y., Wen, H., Lin, M., Fan, Z., et al. (2025). Salicylic acid treatment improves the storability of fresh longan by regulating the metabolisms of respiration and energy. *Postharvest Biology and Technology, 219*, 113258.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Zhang, J., Wen, M., Dai, R., Liu, X., & Wang, C. (2023). Comparative physiological and transcriptome analyses reveal mechanisms of salicylic-acid-reduced postharvest ripening in ‘Hosui’ pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Plants, 12*(19), 3429.

Zhang, X., Liu, Y., Zhang, W., Yang, W., An, S., Guo, M., & Chen, G. (2024). Salicylic acid treatment ameliorates postharvest quality deterioration in ‘France’ prune (*Prunus domestica* L. ‘Ximei’) fruit by modulating the antioxidant system. *Foods*, *13*(18), 2871.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 26 (2): 165-184 (2025)
Research article

Salicylic Acid Treatment as an Effective Approach to Address Postharvest Quality Challenges in Mexican Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle)

Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, PO Box: 74135-111, Jahrom, Iran.
*Corresponding author, Email: (Pedramassar@gmail.com, and Pedramassar@jahromu.ac.ir)

The mature green Mexican lime fruit occupies a prominent position at the international level owing to its nutritional and medicinal value. However, the rapid onset of senescence-related processes such as weight loss and peel color change represents major postharvest quality challenges for this product that warrant serious attention. The aim of the present study was to assess how the fruit quality attributes are affected by postharvest salicylic acid treatment. Fruits were immersed for 5 minutes in salicylic acid solutions (1.5, 3, and 4.5 mM) or distilled water (control), then stored at 8°C and 80 ± 5% relative humidity for 30 days. Evaluations were performed every 10 days. Fruit treatment, particularly at the concentration of 3 mM, significantly reduced weight loss and peel electrolyte leakage during the storage period. Treatments with 3 and 4.5 mM concentrations were associated with greater stability in juice total soluble solids and a marked improvement in the final flavor index. Moreover, the highest levels of ascorbic acid, titratable acidity, total phenolic content, and antioxidant activity in the juice, along with the highest chlorophyll content and the lowest carotenoid content in the peel, as well as the highest score in sensory evaluation for overall consumer acceptance, were observed in fruits treated with 3 mM salicylic acid. Therefore, treatment with 3 mM salicylic acid can be considered a safe and environmentally friendly approach to maintain quality, nutritional attributes, and desirable marketability of Mexican lime fruit.

Keywords: Citrus fruit, Peel color retention, Sensory evaluation, Storage, Weight loss.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2026-06-11]