مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی - مولکولی
دوره پنجم، شماره نوزدهم - تابستان ۱۳۹۴

Research Article
مقاله تحقیقی

اثر کاربرد سیلیکون بر مقدار فنل، سیستم آنتی اکسیدانی و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز در میوه‌های آلوی شابلون انبار شده

قادر حبیبی[1*]- معصومه عابدینی[1]

۱-استادیار، گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

چکیده

سابقه و هدف: از آنجایی که در سال‌های اخیر نقش عنصر کم مصرف سیلیکون در انبارمانی مورد توجه قرار گرفته است، در این تحقیق، از سیلیکون برای افزایش طول دوره انبارمانی رقم شابلون آلو (Prunussalicina‘Shablon’) استفاده شد.

مواد و روش ها: میوه‌ها بلافاصله پس از برداشت در دو گروه آزمایشی تقسیم‌بندی و گروه اول به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۵ گرم در لیتر سیلیکات و گروه دوم (شاهد) در آب مقطر قرار گرفتند.سپس نمونه‌ها به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت حدود ۸۰ درصد انتقال یافتند.

یافته ها: نتایج نشان داد که هر چند تیمار سیلیکون فعالیت آنزیم کاتالاز را در میوه آلو متاثر نکرد ولی باعث کاهش افت وزن میوه‌ها، افزایش معنی دار غلظت فنل‌ها و هم چنین افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نسبت به شاهد شد. بحث: سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز باعث کاهش معنی دار مقدار مالون‌دی‌آلدئید وبا افزایش فعالیت فنیل‌آلانین‌آمونیالیازباعث زیادشدن غلظت فنل‌ها در میوه آلو شد و در نهایت توانست باعث بالارفتن مقاومت میوه‌ها در برابر تنش سرما شود.

نتیجه گیری: سیلیکون از یک طرف با افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیدانت باعث بالا رفتن مقاومت میوه‌ها در برابر تنش سرما شد و از طرف دیگر با افزایش غلظت فنل‌هابر کیفیت و ارزش غذایی آنها افزود.

کلمات کلیدی: فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز، آلو، سیلیکات، سوپراکسید دیسموتاز، فنل کل

مقدمه

امروزه بیشتر باغداران ایرانی بخاطر عملکرد بالای رقم شابلون، قسمت عمده ای از سطح زیر کشت باغ ها آلوی خود را به کشت این رقم اختصاص می‌دهند. یکی از مشکلات نگهداری آلو آسیب‌پذیری آن در برابر آلودگی قارچی و کاهش محتوی نسبی آب آن در طی دوره انبارمانی می باشد. از جمله راه‌کارهای مناسب برای حفظ کیفیت میوه‌ها، ذخیره آنها در دمای پایین است ولی در کنار سرمادهی افزودن مواد شیمیایی حفاظت کننده ضروری به نظر می‌رسد (۲۹). زمانی که بافت‌های گیاهی در معرض سرما قرار می‌گیرند، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های آنها افزایش می یابد. این مولکول‌ها می توانند باعث تخریب پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک سلول‌ها و در نهایت غشاهای زیستی شوند (۱۵). سلول‌های گیاهی برای کاهش اثرات تخریبی این مولکول‌ها، فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانت خود از جمله آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز (SOD) وکاتالاز (CAT) را افزایش می دهند (۲).

ارقام آلوی ژاپنی (Prunussalicina) نسبت به دما حساس هستند و دمای بهینه برای ذخیره آن‌ها در انبارداری صفر درجه سانتی گراد می‌باشد (۲۳،۸). دماهای ۵-۰ درجه و رطوبت ۹۵-۸۰ درصد باعث حفظ آب این میوه،ممانعت از افت وزن و کاهش شاخص آلودگی آن می‌شود. ولی دماهای پایین هر چند باعث حفظ آب میوه و کیفیت آن می‌شوند ولی در دراز مدت باعث بروز صدمات سرما در بافت های این میوه شده و در نهایت منجر به انباشت رنگدانه‌های سیاه و از بین رفتن طعم میوه خواهد شد(۲۰،۶). برای کاهش صدمات ناشی از تنش سرما در طی دوره انبارمانی از مواد شیمیایی مختلف از قبیل هورمون‌ها استفاده می شود که اسید سالیسیلیک یک نمونه از آنها محسوب می شود. اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۱

نویسنده مسئول : گروه زیست شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران
پست الکترونیکی: gader.habibi@gmail.com
تاریخ دریافت : ۱۳۹۳/۴/۰۹
تاریخ پذیرش : ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]
[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

تا ۲ میلی مول بر لیتر می تواند شاخص‌های آلودگی قارچی و تخریب میوه‌ها را کاهش دهد (۳).البته پاسخ میوه‌های مختلف به سرما در طول انبارداری به عوامل مختلفی از قبیل زمینه‌های ژنتیکی و دمای دوره انبارمانی بستگی دارد(۹).

در سال‌های اخیر نقش دو عنصر کم مصرف سلنیم و سیلیکون نیز در انبارمانی مورد توجه قرار گرفته است. این دو عنصر از یک طرف باعث تحریک رشد در اغلب گیاهان شده و از طرف دیگر باعث افزایش مقاومت بافت‌های گیاهی در برابر انواع تنش‌های محیطی می شوند. عنصر سیلیکون نقش بسزایی در مقاومت میوه‌ها به آلودگی قارچی ایفاء می‌کند. اولین بار Biو همکاران (۴) کاهش آلودگی قارچی در Cucumismelo را در طی دوره انبارمانی نشان دادند. افزایش مقاومت به قارچ توسط سیلیکون احتمالا بخاطر تحریک فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) توسط این عنصر می باشد (۱۳).نقش سلنیم در تخفیف تنش‌های محیطی از قبیل شوری، خشکی و سرما از طریق افزایش توان سیستم آنتی اکسیدانت و فعالیت آنزیم‌هایی از قبیل سوپراکسید دیس موتاز و پراکسیداز در گیاهان مختلف به خوبی نشان داده شده است(۲۷،۱).

درباره اثر سیلیکون در انبارمانی تحقیقات کمی انجام گرفته است (۳۰). در نتیجه سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی اثر این عنصر در افزایش طول دوره انبارمانی ناشناخته مانده است.تلاش هایی برای افزایش طول دوره انبارمانی آلو از طریق کاربرد مواد شیمیایی مختلف از قبیل ۱-متیل سیکلوپروپن (Methylcyclopropene-۱) انجام گرفته است (۲۲). از آنجایی که درباره اثر سیلیکون در انبارمانی گونه های جنس Prunus تحقیقی انجام نگرفته است، برای اولین بار در این تحقیق، از سیلیکون برای افزایش طول دوره انبارمانی آلو استفاده شد. بنابراین در تحقیق حاضر تلاش می‌شود تا اثر تیمار سیلیکون بر تحمل سرما از طریق تغییر در مقدار فنل‌ها، ظرفیت آنتی اکسیدانی، مقدار مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های SOD و CAT در طی دوره انبارمانی بررسی شود تا بتوان در کنار شناخت مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل سرما، میوه‌هایی را که در پاسخ به تیمار سیلیکون شاخص خرابی آنها کاهش می یابد را شناسایی و در انبارداری مد نظر قرار داد.

روش کار

برداشت و اعمال تیمار

میوه‌های رقم شابلون که از نظر رسیدگی، رنگ، اندازه و شکل ظاهری یکنواخت بودند، از یک باغ آلو در نزدیکی شهرستان میاندوآب در دهه آخر مردادماه ۱۳۹۱ برداشت شدند و بلافاصله پس از برداشت در دو گروه آزمایشی (هر گروه به تعداد ۴۰ عدد میوه) تقسیم بندی و در آب مقطر شستشو و در هوا خشک شدند. گروه اول به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۵ گرم در لیتر سدیم سیلیکات (Na_2SiO_3) و گروه دوم (شاهد) در آب مقطر حاوی مقدار مولی سدیم مساوی با تیمار سیلیکون به شکل سدیم کلرید، قرار گرفتند. پس از خشک شدن آب سطحی، نمونه‌ها به دمای ۴ درجه سانتی گراد و رطوبت ۹۰-۸۰ درصد انتقال یافتند. کاهش وزن میوه‌ها نسبت به وزن اولیه و تعداد میوه‌های فاسد و خراب شده نسبت به تعداد کل میوه‌ها، هر ۱۰ روز یکبار سنجش شدند. برای رعایت مدت زمان توقف میوه‌ها در بازار داخل جعبه‌ها، قبل از هر بار سنجش، میوه‌ها به مدت ۴ روز به دمای اطاق (۲۵ درجه سانتی گراد) منتقل شدند (۳۰).

سنجش فعالیت آنزیم‌ها و متابولیت‌های سیستم آنتی‌اکسیداتیو

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) بر اساس درصد ممانعت از احیاء نیتروبلوتترازولیوم (NBT) به ترکیب ارغوانی رنگ دی فورمازان بوسیلهٔ رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\bullet-}$) حاصل از فتولیز ریبوفلاوین، توسط آنزیم موجود در عصاره و بر اساس روش جیانوپولیتیس و همکاران (۱۱) مورد اندازه گیری قرار گرفت. نمونه‌ها بلافاصله پس از برداشت در ازت مایع پودر شده و عصارهٔ آنزیمی در بافر ۲۵ mM از هیدروکسی اتیل پیپرازین اتان سولفونیک اسید (HEPES) با pH=۷/۸ و حاوی اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) با غلظت ۰/۱ mM استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در g۱۵۰۰۰ سانتریفوژ شده و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی لیتر از محلول واکنشی شامل HEPES ۲۵ mM با pH=۷/۶، EDTA ۰/۱ mM، Na_2CO_3 ۵۰ mM (pH=۱۰/۲)، L-متیونین ۱۲ mM، ۷۵ µM NBT و ۱ µM ریبوفلاوین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در شدت نور تقریبا ۸۰۰۰ لوکس به منظور انجام واکنش قرار گرفت. برای تهیه نمونه‌های شاهد مخلوط فوق بدون افزودن عصارهٔ آنزیمی تهیه گردید و جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس مقدار پروتئین آنزیمی لازم برای القاء ۵۰ درصد ممانعت از احیاء NBT در مقایسه با نمونه‌های شاهد بدون عصارهٔ آنزیمی محاسبه شده و به صورت Unit mg^{-1} protein بیان گردید.

فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) مطابق روش Simon و همکاران (۲۶) و بر اساس کاهش جذب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) در ۲۴۰ nm مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. عصارهٔ آنزیمی پس از پودر شدن نمونه ها در ازت مایع، در بافر فسفات با غلظت ۵۰ mM و pH=۷ استخراج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در g۱۰۰۰۰

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

سانتریفوژ گردید. برای سنجش فعالیت آنزیم مقدار مناسبی از عصاره به محلول واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ mM (pH=۷) و ۱۰ mM از H_2O_2 افزوده شده و تغییرات جذب به مدت دو دقیقه توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت فعالیت آنزیم بر اساس ضریب خاموشی H_2O_2 (mM^{-1} cm^{-1} ۰/۰۴۱) بر حسب $\mu M\ H_2O_2\ mg^{-1}\ protein\ min^{-1}$ محاسبه گردید.

سنجش مالون‌دی‌آلدئید (MDA) به عنوان معیاری برای بررسی میزان پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس روش Boominathan و Doran (۵) صورت گرفت. عصارهٔ میوه در محلول ۰/۱٪ (w/v) تری کلرواستیک اسید (TCA) استخراج شده و به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰gسانتریفوژ گردید. نسبت ۱ به ۴ از روشناور با محلول ۲۰٪ از TCA حاوی ۰/۵٪ تیوباربیتوریک اسید در لولهٔ آزمایش با هم مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجهٔ سانتی گراد قرار گرفت. سپس لوله‌ها سریعا در یخ سرد شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شدند. همزمان با عصاره‌های انگور محلول‌های استاندارد در محدودهٔ صفر تا ۱۰۰ نانومول از ۳،۳۱،۱- تترا اتوکسی پروپان تهیه شده و جذب نمونه‌ها در ۵۳۲ nm توسط اسپکتروفتومتر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در نهایت مقدار MDA نمونه ها بر حسب واحد $nmol\ g^{-1}\ FW$ محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز

فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز (PAL) مطابق روش Zucker (۳۴) در عصاره میوه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. ابتدا عصارهٔ آنزیمی در بافر ۵۰ mM بافر سدیم فسفات با pH=۷/۸ و حاوی اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) با غلظت ۲ mM، ۱۸ mM مرکاپتواتانول و ۰/۱ درصد تریتون X-۱۰۰استخراج شد. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۵۰۰۰g سانتریفوژ شده و روشناور برای سنجش فعالیت مورد استفاده قرار گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره به یک میلی‌لیتر از محلول واکنشی شامل ۵۰ mM بافر سدیم بورات (pH=۸/۸) و ۵ mM L-فنیل آلانین اضافه شده و مخلوط حاصل به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه به منظور انجام واکنش قرار گرفت. جذب نمونه‌ها در ۲۹۰ nm توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیم بر اساس مقدار پروتئین آنزیمی لازم برای تولید یک نانومول سینامیک اسید محاسبه شد.

سنجش مهار رادیکال‌های دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازین توسط عصاره میوه

برای سنجش فعالیت آنتی اکسیدانتی عصاره به روش مهار ۲، ۲-دی فنیل-۱- پیکریل هیدرازین (DPPH)، ابتدا عصاره ۱۰ گرم میوه در ۱۰۰ میلی لیتر متانول با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۸ ساعت در دمای آزمایشگاه استخراج شد. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف عصاره (رقیق شده بین ۰/۱ تا ۲ میلی گرم در میلی لیتر) با ۴۵۰ میکرولیتر بافر تریس-اسید کلریدریک (pH=۷/۴) و یک میلی‌لیتر محلول متانولی دی فنیل پیکریل هیدرازین (۰/۱ میلی مولار) مخلوط شد. نمونه‌های شاهد بجای عصاره، متانول دریافت کردند. پس از گذشت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه در تاریکی، جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری شد و فعالیت آنتی اکسیدانتی عصاره‌ها بر اساس درصد مهار رادیکال‌های دی فنیل پیکریل هیدرازین با رابطه زیر به دست آمد (۱۹):

جذب شاهد/ (جذب نمونه-جذب شاهد) × ۱۰۰ = درصد مهار (I%)

سنجش فنل کل در عصاره میوه

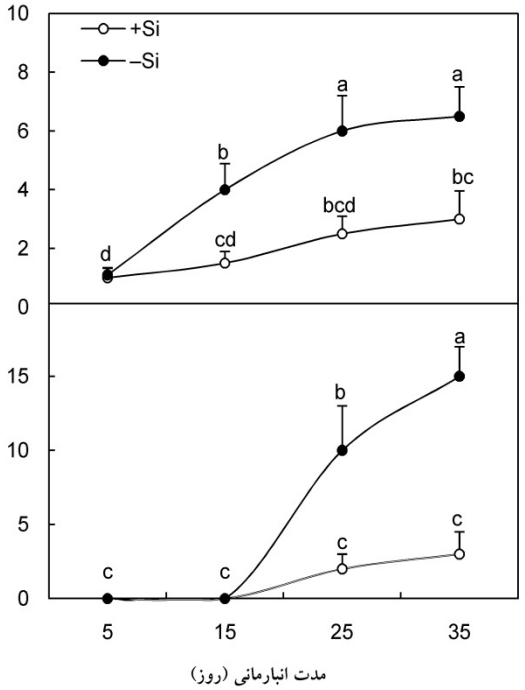
از آنجایی که بیشترین ترکیبات فنلی گیاهان از نوع پلی فنل‌ها می باشد (۱۸)، از روش معرف فنلی فولین‌سیوکالتوبرای سنجش فنل کل استفاده شد. برای این منظور ۵ گرم میوه پس از پودر شدن توسط هاون در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به مدت ۳۰ دقیقه جوشانده شد و با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید. مقدار ۲۵۰ میکرولیتر معرف فولین با ۲۵ میکرولیتر عصاره و ۵۰۰ میکرولیتر محلول آبی کربنات سدیم ۲۰ درصد مخلوط شد. نمونه‌های شاهد فاقد عصاره بودند. پس از قرار دادن نمونه‌ها در دمای آزمایشگاه به مدت ۳۰ دقیقه جذب آنها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار فنل کل بر اساس منحنی استاندارد اسیدگالیک (GAE) به دست آمد. برای هر عصاره این سنجش ۴ بار تکرار شد و میانگین فنل کل موجود در عصاره تیمارها به صورت میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره بیان شد (۲۱).

آزمایش ها به صورت طرح کاملا تصادفی طرح ریزی و به اجرا در آمد. هر تیمار دارای ۴ تکرار مستقل بود. میانگین و انحراف) داده ها و هم چنین رسم نمودارها بوسیلهٔ نرم افزار

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

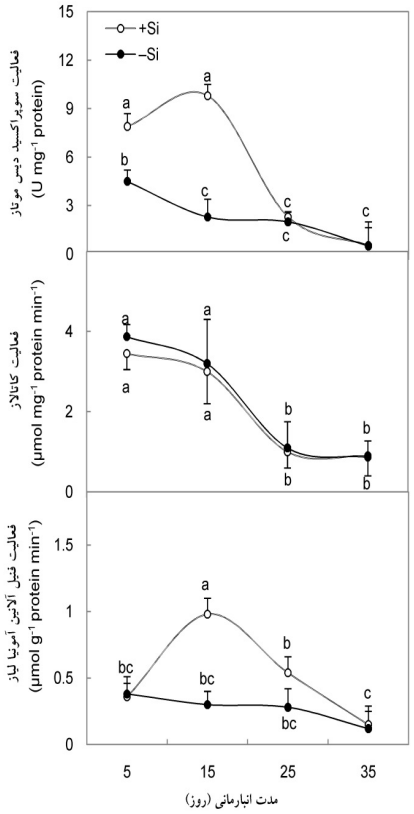
[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

سیلیکون توانست تا روز ۲۵ از افت وزن میوه‌ها جلوگیری کند. با افزایش مدت زمان انبارمانی، یک افزایش در شاخص درصد خرابی میوه‌ها (تا ۱۵ درصد) در نمونه‌های که سیلیکون دریافت نکرده بودند، قابل مشاهده بود. ولی تیمار سیلیکون باعث توقف خرابی میوه‌ها در اثر سرما و گذشت زمان انبارمانی شد.

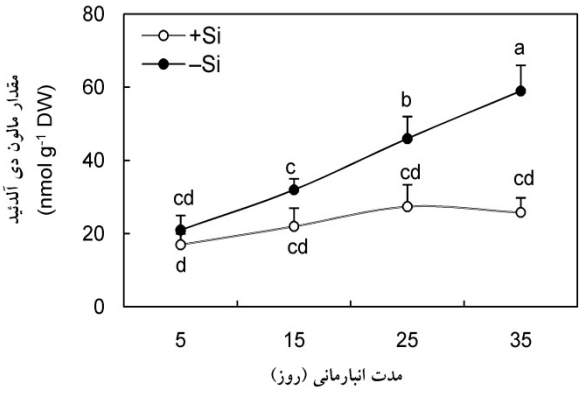


شکل ۱- اثر کاربرد سیلیکون بر درصد کاهش وزن میوه‌ها و درصد خرابی آنها در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ($p< ۰/۰۵$).

نگهداری بلند مدت (۲۵ تا ۳۵ روز) میوه‌های آلو در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد منجر به افت معنی دار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نسبت به روز ۵ و ۱۵ شد (شکل ۲). پس از گذشت ۵ و ۱۵ روز از انبارمانی، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار سیلیکون نسبت به تیمار فاقد سیلیکون یک افزایش معنی‌دار نشان داد. هر چند فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تاثیر اعمال سیلیکون قرار نگرفت. با افزایش طول دوره سرما مقدار مالون دی‌آلدئید افزایش یافت ولی در تیمار دارای سیلیکون، این عنصر توانست جلوی افزایش این متابولیت را بگیرد (شکل ۳).



شکل ۲- اثر کاربرد سیلیکون بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ($p< ۰/۰۵$).

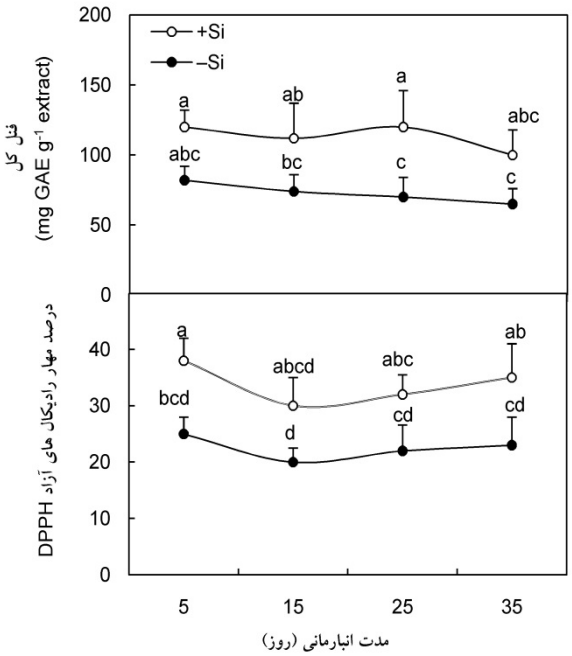


شکل ۳- اثر کاربرد سیلیکون بر مقدار مالون دی‌آلدئید در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ($p< ۰/۰۵$).

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

پس از ۱۵ و ۲۵ روز از اعمال سیلیکون، آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز در میوه‌های تیمار شده با سیلیکون بیشترین فعالیت را نشان داد (شکل ۲). ولی با افزایش مدت زمان انبارمانی فعالیت این آنزیم نیز در همه تیمارها افت کرد.



شکل ۴- اثر سیلیکون بر مقدار فنل کل و درصد مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازین (DPPH) در طی دوره انبارمانی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد. تفاوت بین اعداد مربوط به میانگین‌ها که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند معنی‌دار می‌باشد ($p< ۰/۰۵$).

مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازین به عنوان معیاری برای فعالیت و ظرفیت آنتی اکسیدانی عصاره میوه محسوب می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش درصد مهار رادیکال‌های آزاد دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازین از طریق افزایش میزان فنل‌ها انجام گرفته است و تا روز ۳۵ انبارمانی نیز حفظ شده است (شکل ۴).

بحث

اثر سیلیکون در جلوگیری از افت وزن میوه‌ها احتمالا به خاطر حفظ ذخیره آب میوه‌هاست. سیلیکون با رسوب در دیواره سلول‌ها از تبخیر و تعرق آب جلوگیری می کند و باعث حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول‌ها می شود. افزایش حفظ آب از طریق حفظ تمامیت ساختاری غشاء و دیواره سلول‌ها توسط سیلیکون در طی تنش‌ها توسط Gong و همکاران (۱۲) و هم چنین Sonobe و همکاران (۲۷) به خوبی نشان داده شده است.

اثر سیلیکون در کاهش شاخص درصد خرابی میوه‌ها به علت نقش موثر سیلیکون در کاستن از آلودگی میکروبی میوه‌ها بود. این یافته با یافته‌های Epstein و همکاران (۱۰) و یافته‌های Cooke و Lishman (۷) در تطابق است. آنها نشان دادند که رسوب سیلیکون بین غشاء و دیواره سلول‌های گیاهی باعث استحکام آنها در برابر حمله‌های میکروبی می شود. بر اساس نتایج Tesfay و همکاران (۳۰) سیلیکون موجود در محلول سیلیکون پیش تیمار به راحتی از طریق مزوکارپ میوه جذب می شود و با رسوب بین غشاء و دیواره باعث افزایش تمامیت غشاء شده و از خروج محتویات سلول‌ها در شرایط تنش سرما ممانعت می‌کند.

نتایج ما نشان داد که سیلیکون در شرایط تنش باعث افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز می شود ولی بر فعالیت کاتالاز بی اثر است. این نتایج با یافته های Zhu و همکاران (۳۳) در تطابق است. آنها نشان دادند که اعمال سیلیکوندر شرایط تنش باعث افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در خیار میشود ولی بر فعالیت کاتالاز بی اثر است. هم چنین در پژوهش اخیر ما (۱۴) نیز کاربرد سیلیکون در شرایط خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در گیاه پسته شد. در این تحقیق سیلیکون از طریق افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیدانت به ویژه سوپراکسید دیسموتاز در نمونه های دارای سیلیکون باعث حذف رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش سرما و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و مقدار مالون دی‌آلدئید نسبت به میوه‌های تیمار نشده با سیلیکون شد. این امر با اندازه‌گیری مقدار مالون دی‌آلدئید که شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء محسوب می‌شود، به خوبی نشان داده شد (شکل ۳).کاهش شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء یعنی مقدار مالون دی آلدئید در شرایط تنش توسط Shen و همکاران (۲۵) نیز گزارش شده است.

ترکیبات فنلی در سیستم آنتی‌اکسیداتیو گیاهان دخیل هستند. این ترکیبات فیتوشیمیایی با تغییر در بیان ژنها و فعالیت پروتئین‌ها بر فعالیت آنزیم‌های سیستم آنتی اکسیداتیو اثرگذار هستند (۳۲). نتایج این تحقیق نشان داد که سیلیکون در افزایش غلظت فنل‌ها دخیل است. این یافته با یافته‌های Tesfay و همکاران (۳۱،۳۰) که افزایش غلظت فنل‌ها را تحت‌تاثیر سیلیکون در میوه‌های اوکادو در طی دوره انبارمانی نشان داده بودند در انطباق است.افزایش ترکیبات فنلی علاوه بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانت میوه‌ها (۲۸،۱۷) که باعث افزایش کیفیت آن می‌شود، در بهبود پاسخ‌های سلول‌ها در برابر آلودگی‌های میکروبی نیز نقش دارد (۳۰).

آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نقش مهمی در بیوسنتز مواد

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

شیمیایی دفاعی مسیر فنیل پروپانوئیدی دارد. افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیا لیاز در این تحقیق با افزایش مقدار فنل‌ها که در سیستم دفاعی میوه‌ها موثرند، مرتبط می‌باشد. به عبارت دیگر افزایش فعالیت فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز با افزایش ترکیبات فنلی و تحریک سیستم دفاعی میوه‌ها باعث کاهش خرابی میوه‌ها در تیمار سیلیکون شد (۱۶ و ۲۴).

نتیجه گیری

این تحقیق مشخص کرد که سیلیکون حداقل از دو طریق باعث حفظ کیفیت میوهها شده و از خرابی آنها کاسته است: (الف) سیلیکون از طریق افزایش توان سیستم آنتی‌اکسیدانت به ویژه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در نمونه‌های دارای سیلیکون باعث حذف رادیکال‌های آزاد حاصل از تنش سرما و در نتیجه کاهش مقدار مالون دی‌آلدئید و پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء نسبت به میوه‌های تیمار نشده با سیلیکون شد، (ب) افزایش فنل‌ها از طریق فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیازدر میوه‌های تیمار شده با سیلیکون منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانت عصاره میوه و در نتیجه افزایش کیفیت و ارزش غذایی میوه‌ها گردید. تاکنون گزارشی درباره اثرات مضر سیلیکون بر سلامتی انسان ارایه نشده است و از آنجایی که کاربرد این عنصر از نظر اقتصادی به صرفه‌تر و ارزان‌تر می باشد و علاوه بر افزایش طول دوره انبارمانی باعث افزایش کیفیت میوه‌ها از طریق افزایش غلظت فنل‌ها می گردد، توصیه می‌شود درکنار کاربرد مواد معمول مثل اسید سالیسیلیک، سیلیکون نیز برای افزایش طول دوره انبارمانی مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

منابع

1. Ahmed M, Hassen F, Khurshid Y. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism ofsorghum?Agric Water Manage, 2011. 98 (12): p. 1808-1812.
2. Apel K, Hirt H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Ann Rev Plant Biol,** 2004.**55 (1): p. 373-399.**
3. Asghari M, Aghdam MS. Impact of salicylicacid on post-harvestphysiology ofhorticultural crops. Trends Food SciTechnol, 2010. 21 (10): p. 502-509.
4. Bi Y, Tian SP, Guo YR, Ge YH, Qin GZ. Sodium silicate reduces postharvest decay on Hamimelons: induced resistance and fungistatic effects. Plant Dis, 2006. 90 (3): p. 279-283.
5. Boominathan R, Doran PM. Ni induced oxidative stress in roots of the Ni hyperaccumlator, Alyssum bertoloni. New phytol, 2002. 156 (24): p. 202-205.
6. Candan AP, Graell J, Larrigaudiere C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. Postharvest BiolTechnol, 2008. 47 (1): p. 107-112.
7. Cooke J, Leishman MR. Is plant ecology more siliceous than we realise? Trends Plant Sci, 2011; 16 (2): 61-68.
8. Crisosto CH, Garner D, Crisosto GM, Bowerman E. Increasing 'Blackamber' plum (PrunussalicinaLindell) consumer acceptance. Postharvest BiolTechnol, 2004. 34 (2): p. 237-244.
9. Crisosto CH, Crisosto GM, Day KR. Market life update for peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. AdvHortSci, 2008. 22 (3): p. 201-204.
10. Epstein E. Silicon: its manifold roles in plants. Ann ApplBiol, 2009. 155 (10): p. 155-160.
11. Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide dismutase: occurrence in higher plants. Plant Physiol, 1977. 59 (2): p. 309-314.
12. Gong H, Zhu X, Chen K, Wang S, Zhang C. Silicon alleviates oxidativedamage of wheat plants in pots under drought. Plant Sci, 2005. 169 (28): p. 313-321.
13. Guo Y, Liu L, Zhao J, Bi Y. Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling Trichotheciumroseum postharvest rot in Chinese cantaloupe (Cucumismelo L.). Int J Food SciTechnol, 2007. 42 (2): p. 1012-1018.
14. Habibi G, Hajiboland R. Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (Pistaciavera L.) plants. Folia Hort, 2013. 25 (1): p. 21-29.
15. Habibi G.Hydrogen Peroxide (H_2O_2) Generation, Scavenging and Signaling in Plants. In Ahmad, P., ed., Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling. Elsevier, USA, 2014.P. 557-574.
16. Kalt W, Lawand C, Ryan DAJ, MacDonald JE, Donner H, Forney CF. Oxygen radical absorbing capacity, anthocyanin and phenolic content of high bush blue berries (Vacciniumcorymbosum L.) during ripening and storage. J AmerSocHortSci, 2003. 128 (3): p. 917-923.
17. Kang KW, Oh SJ, Ryu SY, Song GY, Kim BH, Kang JS, Kim SK. Evaluation of the total oxy-radical scavenging capacity of catechins isolated from green tea. Food Chem, 2010. 121 (11): p. 1089-1094.
18. Kogure K, Yamauchi I,Tokumura A. Novel antioxidants isolated from plants of the genera Ferula, Inula, Prangos and Rheum collected in Uzbekistan. Phytomed, 2004. 11 (8): p. 645-651.
19. Lee SK, Mbwambo ZH, Chung HS. Evaluation of theantioxidant potential of natural products. Comb Chem High ThrougputScreen, 1998. 1 (2): p. 35-46.
20. Manganaris GA, Vicente AR, Crisosto CH, Labavitch JM. Cell wall modifications in chilling-injured plum fruit (Prunussalicina). Postharvest BiolTechnol, 2008. 48 (1): p. 77-83.
21. Mavi A, Terzi Z, Ozgen U. Antioxidant properties of some medicinal plants: Prangosferulacea (Apiaceae), Sedum sempervivoides (Crassulaceae), Malvaneglecta (Malvaceae), Cruciatataurica (Rubiaceae), Rosa pimpinellifolia (Rosaceae), Galiumverum subsp. Verum (Rubiaceae), Urticadioica (Urticaceae). BiolPharmc Bulletin, 2004. 27 (1): p. 702-705.
22. Minas IS, Crisosto GM, Holcroft D, Vasilakakis M, Crisosto CH. Postharvest handling of plums (PrunussalicinaLindl.) at 10◦C to save energy and preserve fruit quality using an innovative ap-

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]

plication system of 1-MCP. Postharvest BiolTechnol, 2013. 76 (3): p. 1-9.
23. Mitchell FG, Thompson JF, Crisosto CH, Kasmire RF. The commodity. In: Thompson, J.F., Mitchell, F.G., Rumsey, T.R., Kasmire, R.F. &Crisosto, C.H., Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. University of California Press, CA, USA, 2008.p. 1-7.
24. Rekika D, Khanizadeh S, Deschênes M, Levasseur A, Charles MT, Tsao R, Yang R. Antioxidant capacity and phenolic content of selected strawberry genotypes. HortSci, 2005. 40 (6): p. 1777-1781.
25. Shen X, Zhou Y, Duan L, Li Z, Eneji AE, Li J. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. J Plant Physiol, 2010. 167 (5): p. 1248-1252.
26. Simon LM, Fatrai Z, Jonas DE, Matkovics B. Study of peroxide metabolism enzymes during the development of Phaseolus vulgaris. BiochPhysiolPflanzen, 1974. 166 (17): p. 387-392.
27. Sonobe K, Hattori T, An P, Tsuji W, Eneji AE, Kobayashi S, Kawamura Y, Tanaka K, Inanaga S. Effect of silicon application on sorghum root responses to water stress. J Plant Nutr, 2011. 34 (1): p. 71-82.
28. Sun B, Spranger I, Yang J, Leandro C, Guo L, Canario S, Zhao Y, Wu C. Red wine phenolics complexes and their in vitro antioxidant activity. J Agric Food Chem, 2009. 57 (18): p. 8623-8627.
29. Tao L, Hong F, Xin S, Lin DQ, Fan Z, Guo LH,Hui LH. The alternative pathway in cucumber seedlings under low temperature stress was enhanced by salicylic acid. Plant Growth Regul, 2010. 60(1): p. 35-42.
30. Tesfay SZ, Bertling I,Bower JP. Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and otherantioxidant systems aligned to avocado fruit quality. Postharvest BiolTechnol, 2011. 60 (2): p. 92-99.
31. Tesfay SZ, Bertling I, Bower JP. Levels of antioxidants in various tissues during maturation of 'Hass' avocado (Perseaamericana Mill.). J HortSci Biotech, 2010. 85 (2): p. 106-112.
32. Vattem DA, Ghaedian R, Shetty K. Review article: enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry. AsiaPacific J ClinNutr, 2005. 14 (2): p. 120-130.
33. Zhu Z, Wei G, Li J, Qian Q, Yu J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (Cucumissativus L.). Plant Sci, 2004. 167 (7): p. 527-533.
34. Zucker M. Induction of phenylalanine deaminase by light, its relation to chlorogenic acid synthesis in potato tuber tissue. PhysiologiaPlantarum, 1965. 40 (1): p. 779-784.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-05-31]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1394.5.19.10.2]