نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
سال هفتم / شماره دو / تابستان ۱۳۹۶

تأثیر کاربرد منابع مختلف کلسیمی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیمی و خصوصیات کیفی سیب (*Malus domestica*)

میرحسن رسولی صدقیانی[1*]، محمد مقدس‌گرانی[2]، ساناز اشرفی سعیدلو[3] و ابراهیم سپهر[4]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۷)

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر نمک‌های مختلف کلسیمی در بهبود فعالیت آنزیمی و خصوصیات کیفی سیب قرمز، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. درختان سیب با نمک‌های $CaCl_2$، CaO، Ca-EDTA و $Ca(NO_3)_2$ با غلظت ۰/۷ درصد در ۵ فاصله زمانی ۲۰ روزه از اواخر خرداد (فندقی شدن میوه‌ها) تا اوایل مهر ماه محلول‌پاشی شدند. میوه‌ها پس از برداشت به‌مدت ۱۵۰ روز در سردخانه در شرایط استاندارد نگهداری گردیدند. نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آسکوربیک اسید، مواد جامد محلول، سفتی میوه، اسیدیته کل، فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل در زمان برداشت، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روز پس از برداشت اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که اثر محلول‌پاشی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، آنتی اکسیدان کل، pH، مواد جامد محلول، اسیدیته کل، کلسیم، سفتی و آسکوربیک اسید معنی‌دار بود. به‌طوری‌که در پایان دوره انبارمانی، مقدار کلسیم در تیمارهای محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم، کلرید کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۷۷/۵، ۲۷/۵، ۲۲/۳ و ۱۰/۱ درصد افزایش نشان داد. فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم در پایان دوره انبارمانی نسبت به شاهد ۹۱/۸ درصد افزایش یافت. بالاترین مقدار آسکوربیک اسید نیز در پایان دوره انبارمانی ۱۵۰ روزه، در تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم، ($mg\ 100\ g\ Fw^{-1}$) ۶/۰۴ بود. به‌طورکلی چنین استنباط می‌شود که محلول‌پاشی با Ca-EDTA در مقایسه با سایر نمک‌های کلسیمی می‌تواند در بهبود و حفظ بسیاری از خواص کیفی میوه و افزایش فعالیت آنزیمی و آنتی‌اکسیدانی، در طول دوره انبارمانی تأثیر معنی‌داری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کلات کلسیم، آنزیم کاتالاز، انبارمانی، سفتی

۱، ۲، ۳ و ۴. به‌ترتیب استاد، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

مقدمه

سیب یکی از محصولات استراتژیک باغی در جهان و کشور ما می‌باشد که عوامل مختلفی نظیر اختلاف از سطح دریا، مدت تابش آفتاب، اختلاف دمای شبانه روز و رطوبت هوا در کیفیت آن تأثیر می‌گزارند. نگهداری سیب پس از برداشت و عرضه مداوم آن در بازار با همان کیفیت زمان برداشت بسیار مهم می‌باشد. یکی از مشکلات مهمی که امروزه در اکثر کشورها وجود دارد ضایعات پس از برداشت و استاندارد نبودن کیفیت آنهاست که از ارزش صادراتی و بازارپسندی آنها کاسته است. حفظ کیفیت میوه و استفاده از ترکیباتی که هم سلامت طبیعت و هم سلامت انسان را دربرداشته باشد و عاری از هر نوع مواد شیمیایی خطرناک و مضر باشد دارای اهمیت به‌سزائی است. روش‌های نگهداری میوه باید منجر به حفظ ارزش غذایی آنها شود (۲۸). بیشترین مصرف سیب پس از انبارداری طولانی‌مدت است. نقش کلسیم در طول عمر انبارداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۸). میزان کلسیم در ارقام مختلف سیب در مناطق و خاک‌های مختلف متغیر است. میوه سیب را می‌توان در مدت ۶ تا ۷ ماه در دمای ^{o}C ۴ - ۱ و رطوبت ۹۰ - ۸۵ درصد نگهداری کرد. انبارداری سیب و کیفیت آن تا حد زیادی تحت تأثیر ژنوتیپ و رقم قرار دارد. نقش تغذیه متعادل در عمر انبارمانی سیب به‌خوبی شناخته شده است (۴۱). تغذیه مناسب، تعادل ترکیبات معدنی را در میوه تضمین می‌کند. نسبت عناصر غذائی در میوه به‌خصوص عناصر ازت، فسفر و پتاسیم دارای اهمیت ویژه‌ای است. بالا بودن مقدار کل یون‌ها و نیز آمونیوم، منیزیم و سدیم باعث کاهش جذب کلسیم می‌شود (۱۹). با توجه به اینکه نیترات موجود در محلول خاک با کلسیم در تعادل است، لذا مقدار کلسیم با مقدار نیتروژن موجود در برگ‌ها و میوه‌ها همبستگی بالایی دارد (۱۵ و ۴۴). نیتروژن نیتراتی منجر به تجمع کلسیم محلول‌پاشی شده در برگ‌های پیر می‌گردد، درحالی‌که آمونیوم باعث تجمع کلسیم در برگ‌های جوان می‌شود (۳۸). پتاسیم نیز با کلسیم رابطه آنتاگونیستی داشته و جذب آن را کاهش می‌دهد (۳۹). بنابراین بین مقدار کلسیم و فراهمی پتاسیم در برگ‌ها و میوه‌ها، همبستگی منفی وجود دارد (۱۵ و ۴۴). مصرف خاکی و محلول‌پاشی منیزیم، کاهش مقدار کلسیم در برگ و اندام‌های هوایی را در پی دارد (۴۵). وقتی میزان کلسیم در میوه کم باشد اختلالات فیزیولوژیکی مانند آردی شدن (Mealy Breakdown)، آب‌گزیدگی (Water core)، چوب‌پنبه‌ای شدن (Cork spot)، لکه‌تلخی (Bitter pit) ، آفتاب‌سوختگی (Sun burn)، ترکیدگی (Cracking)، اسکالد (Scald) و لهیدگی (Breakdown Internal) به‌وجود می‌آید. استفاده از کلسیم قبل و پس از برداشت اثرات مفیدی بر روی خواص کیفی میوه از جمله یکپارچگی ساختمان دیواره سلولی در سیب‌های تیمار شده با کلسیم و افزایش تماس سلولی در مقایسه با میوه‌های شاهد داشته است. کلسیم در میوه سیب بیشتر با پکتین‌ها اتصال دارد. با این حال کلسیم به همی‌سلولز و سلولز نیز اتصال دارد. کلسیم باعث تثبیت دیواره سلولی شده و دیواره را در برابر آنزیم‌های حل کننده پلی گالاکتروناز و تولید اتیلن و رسیدن میوه محافظت می‌نماید و به‌دنبال آن ریزش میوه کاهش محسوسی پیدا می‌کند. کلسیم از ریزش سیب در آخر فصل رشد تا حد زیادی جلوگیری کرده (۲۹) و منجر به افزایش مقاومت میوه در برابر تهاجم میکروارگانیسم‌هایی که سعی می‌کنند با تخریب پکتین‌ها به درون آن نفوذ نمایند، می‌شود (۱۱). از طرف دیگر به‌علت افزایش پکتین‌ها در دیواره سلولی میوه، نفوذ سموم نیز کاهش پیدا می‌کند. استفاده از محلول‌پاشی نمک کلرور کلسیم در میوه سیب باعث سفت شدن دیواره سلولی و کاهش نفوذ سموم به میوه می‌شود (۲). تنظیم فعالیت‌های تنفسی در سیتوسول یکی از اثرات عمده و مهم یون کلسیم می‌باشد. کلسیم باعث کاهش فعالیت‌های تنفسی شده و قابلیت انبارداری میوه را افزایش می‌دهد (۱۳). پایداری دیواره سلولی و پایداری غشاهای سلولی ارتباط نزدیکی با میزان سفتی گوشت میوه دارد. وجود باندهای کلسیم به‌صورت پکتات در تیغه‌های میانی برای استحکام دیواره سلولی و بافت گیاهی ضروری است. تخریب پکتات‌ها به‌وسیله آنزیم

پلی‌گالاکتونازها صورت می‌گیرد. زمانی که مقدار کلسیم به حد کافی وجود داشته باشد از تخریب آنها جلوگیری می‌نماید و در نتیجه هورمون اتیلن ترشح نشده و ریزش اتفاق نمی افتد (۲۹). کلسیم فرآیندهای درون سلولی و برون سلولی را تغییر داده و رسیدن میوه را به تأخیر می‌اندازد و سرعت تغییر رنگ، نرم شدن، تولید CO_2 و اتیلن نیز توسط کلسیم کمتر می‌شود. همچنین، کلسیم سبب افزایش میزان اسیدیته کل و افزایش TSS (میزان مواد قابل حل) می‌گردد (۱۱). علت شایع بودن کمبود کلسیم در منطقه آذربایجان وجود pH بالای خاک، بیکربنات فراوان در آب و خاک، وجود کلسیم فعال فراوان در خاک، تنوع خاک‌های سبک و سنگین، مصرف بیش از حد کودهای ازته (از طریق افزایش رشد رویشی و نسبت برگ به میوه منجر به افزایش جذب کلسیم موجود در آوند چوبی توسط اندام‌های رویشی شده و لذا مقدار کلسیم در دسترس برای میوه‌ها را کاهش می‌دهد، همچنین اثرات آنتاگونیستی موجود بین کلسیم و آمونیوم نیز از دیگر دلایلی است که کمبود کلسیم را در پی دارد) و آبیاری سنگین (۲۸ و ۴۳)، هرس شدید، شرایط آب و هوایی نامناسب (۱۴) و سوء مدیریت در باغات توسط کشاورز می‌باشد.

میوه ها وسبزیجات منبع بسیار عالی از مواد آنتی اکسیدانی هستند. مولکول‌های آنتی‌اکسیدانت و آنزیم‌ها، غشای سلولی و سایر بافت‌های گیاهی را در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)، که در طول متابولیسم سلولی و شرایط نامساعد زیست‌محیطی تولید می‌شوند، حفاظت می‌نمایند. آسکوربیک اسید و فلاونوئیدها از جمله آنتی‌اکسیدانت‌های غیرآنزیمی و کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز جزء آنتی‌اکسیدانت‌های آنزیمی هستند که نقش مهمی در تخریب رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایفا می‌نمایند (۲۴). قدرت آنتی‌اکسیدان موجود در پوست سیب پنج برابر قدرت آنتی‌اکسیدانی تمشک آبی، ۱۱ برابر قدرت آنتی‌اکسیدانی کلم بروکلی و ۱۴ برابر قدرت آنتی‌اکسیدانی آب انار خالص است. کلسیم با متصل کردن پروتئین‌های دارای نقش آنزیمی و غیرآنزیمی به فسفولیپیدهای غشاء سلولی ایفای نقش کرده بدین ترتیب از فعالیت آنزیم‌های تولیدکننده اتیلن که ساختار پروتئینی داشته و به غشای سلولی متصل هستند، می‌کاهد. در نهایت با تولید کمتر اتیلن، که تحریک کننده فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده دیواره یاخته‌ای است دیواره سلولی کمتر تخریب شده و میوه‌های حاوی کلسیم سفت باقی می‌مانند. بنابراین کلسیم با قرار گرفتن در دیواره بافت میوه نقش خود را ایفا می‌کند. از طرفی افزایش در میزان کلسیم میوه باعث می‌شود که فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده ترکیبات پکتینی کاهش یابد و در نتیجه فرآیند نرم شدن بافت میوه به تأخیر می‌افتد (۳۵). فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز به‌دلیل افزایش مکان‌های پیونددهی کلسیم در شبکه پکتین در میوه‌های مختلف تیمار شده با کلسیم افزایش می‌یابد (۳۱). کلرید کلسیم باعث لیگنینی شدن بیشتر دیواره سلولی و فعالیت کمتر پراکسیداز می‌گردد (۲۵). مطالعات نشان داده است که فعالیت پلی‌گالاکترونناز با غلظت‌های بالای کلسیم متوقف می‌شود (۳۱).

هدف از این مطالعه، تعیین بهترین و مؤثرترین نمک، که بیشترین تأثیر را در افزایش فعالیت آنزیمی و آنتی‌اکسیدانی و بهبود برخی از خصوصیات کیفی سیب رد (قرمز) دارد، بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شهرستان نقده و به مساحت ۲/۵ هکتار واقع شده و محدوده عرض جغرافیایی شمالی ″۵۱ ′۵۵ °۳۶ و طول جغرافیایی شرقی ″۲۹ ′۳۴ °۴۵ را پوشش داده است. به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آسکوربیک اسید، مواد جامد محلول، سفتی میوه و اسیدیته قابل تیتراسیون آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی با ۲ فاکتور در ۴ تکرار انجام گردید که فاکتور اول شامل نمک‌های مختلف کلسیمی مورد استفاده در محلول‌پاشی $CaCl_2$، CaO، Ca-EDTA، $Ca(NO_3)_2$ با غلظت ۷ در هزار (کلسیم خالص) و شاهد (محلول‌پاشی با آب) و فاکتور دوم زمان انبارداری (۰، ۵۰، ۱۰۰

و ۱۵۰ روز) بود. فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان آنتی‌اکسیدان کل در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی کلسیمی در ابتدا و انتهای انبارداری (زمان ۰ و ۱۵۰ روز) تعیین گردیدند. میزان کاهش وزن میوه نیز در زمان‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ روز اندازه‌گیری شد. مرحله اول محلول‌پاشی در اواخر خرداد ماه (فندقی شدن میوه) انجام شد. در اوایل مهر ماه میوه‌ها برداشت شدند و به مدت ۱۵۰ روز در سردخانه در شرایط استاندارد نگه‌داری گردیدند. برای اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر در زمان برداشت و پس از آن در فواصل زمانی ۵۰ روز میوه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تهیه عصاره میوه از دستگاه آبمیوه‌گیری استفاده شد، ۲/۵ میلی لیتر آب میوه جدا و به آن ۶ میلی‌لیتر بافر فسفات اضافه گردید و پس از سانتریفیوژ، از محلول شفاف برای اندازه‌گیری پارامترهای موردنظر مورد استفاده قرار گرفت. نیتروژن به روش کجلدال (۷)، فسفر با روش مولیبدات–وانادات (۱۲)، پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (۹)، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری، آسکوربیک اسید به روش یدید پتاسیم، مواد جامد محلول (TSS) با دستگاه رفراکتور دستی مدل ATAGO (۲۱)، سفتی میوه با پنتومتر دستی مدل FT327، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) از طریق تیتراسیون با هیدروکسید سدیم (۲۱)، فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه‌گیری سرعت حذف پراکسید هیدروژن به روش بیزر و سیزر (۱۹۵۲) و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره میوه به روش فرپ (FRAP) (۶) اندازه‌گیری گردیدند. همچنین برخی خصوصیات خاک شامل اسیدیته و هدایت الکتریکی در گل اشباع (۳۲)، فسفر با استفاده از بی‌کربنات سدیم نیم نرمال (۳۳)، ماده آلی خاک به روش والکلی – بلاک (۳۴)، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیم (۹)، آهن، روی، مس و منگنز به روش عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار (۲۷) و بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۸) اندازه‌گیری شدند. نرمال کردن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab و تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. قلیائیت و pH بالای ناشی از بیکربنات بالای آب آبیاری و خاک، بعنوان عوامل محدود کننده جذب عناصر ریزمغذی از جمله آهن و روی عمل نموده و منجر به بروز کمبود این عناصر در گیاه می‌شوند. براساس گزارشات آیرز و وسکات (۵) محدوده قابل تحمل شوری خاک برای سیب ۸-۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر است و ماکزیمم عملکرد در EC معادل با ۱/۷ حاصل می‌شود. بر این اساس شوری خاک نسبتاً مناسب است. وجود مقدار بالای بیکربنات خاک باعث شده است که آهک خاک حالت فعال پیدا کند و کلسیم محلول خاک به کربنات کلسیم تبدیل شده و سدیم در محلول خاک افزایش یابد. میانگین ماده آلی و ازت کل خاک نیز به‌ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۲۴ درصد بودند.

محدوده قابل تحمل شوری آب آبیاری برای سیب ۳/۲-۱ دسی‌زیمنس بر متر است البته شوری بیش از ۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۲۵ درصدی عملکرد می‌شود (۵). براساس جدول ۲ میزان شوری و بیکربنات آب آبیاری باغ مورد مطالعه، نسبتاً بالا بود که این خود عامل محدود کننده اصلی می باشد.

نتایج تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی نمک‌های مختلف کلسیمی و انبارمانی بر صفات اندازه‌گیری شده در میوه سیب رد (قرمز) در جدول ۳ ارائه شده است. اثرات اصلی محلول‌پاشی و زمان و نیز اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان بر میزان اسیدهای آلی، کلسیم، pH، سفتی میوه، آسکوربیک اسید معنی‌دار شد ($p \leq$ ۰/۰۱). در ارتباط با مواد جامد محلول نیز اثرات اصلی محلول‌پاشی با نمک‌های کلسیمی و زمان معنی‌دار بود ($p \leq$ ۰/۰۱).با توجه به مقایسه میانگین اثرات متقابل محلول‌پاشی و زمان انبارداری، بیشترین میزان اسیدهای آلی در تیمار محلول پاشی شده با نمک کلات کلسیم و نیز تیمار محلول پاشی شده با نمک کلرید کلسیم در روز اول انبارمانی

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

عمق	EC	SP	TNV	T.N	Clay	O.C	Silt	Sand	Texture	pH	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
(cm)	(dS/m)	(%)									(mg/kg)					
۰–۳۰	۱/۱۰	۶۳	۱۹/۵	۰/۱۲	۳۸	۱/۴۵	۴۰	۲۲	لوم رسی	۸/۱۰	۷/۵	۳۴۵	۶/۵	۴/۴	۰/۵	۱/۱
۳۰–۶۰	۱/۱۲	۶۰	۲۲/۹	۰/۰۸	۴۰	۰/۹۲	۳۵	۲۵	رسی	۸/۲۵	۵/۵	۲۱۸	۶/۳	۴/۱	۰/۵۱	۱/۱۵
۶۰–۹۰	۱/۰۵	۶۲	۲۹/۷	۰/۰۴	۴۰	۰/۴۴	۳۷	۲۳	رسی	۸/۴۷	۱/۸	۱۰۷	۶/۰	۴/۱	۰/۴۷	۰/۱

هدایت الکتریکی (EC)، درصد اشباع (SP)، مقدار آهک (TNV)، نیتروژن کل (T.N)، کربن آلی (O.C)، فسفر (P)، پتاسیم (K)، آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)

جدول ۲. نتایج تجزیه آب مورد استفاده در آبیاری

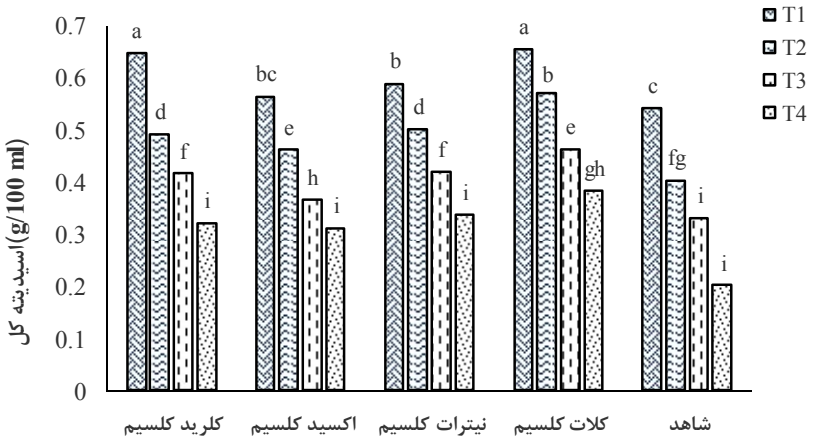
EC	pH	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	SAR	TDS	Na
(ds/m)						(meq/lit)					(mg/l)	(%)
۱/۸۵	۶/۷۸	۰	۱۷/۵	۱/۲	۰/۲۵	۱۱/۸	۳/۰	۴/۲	۰/۰۳	۱/۵۴	۱۱۸۴	۲۲/۱

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی نمک های کلسیمی و زمان و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه‌گیری شده در میوه سیب رد (قرمز)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		TSS	TA	pH	سفتی	ویتامین C	کلسیم
محلول‌پاشی	۴	۶/۵۰**	۰/۰۴۹**	۰/۹۶**	۲۵/۱۷**	۵/۹۵**	۳۷/۲۷**
زمان	۳	۲۵/۵۶**	۰/۳۰۳**	۰/۶۷**	۶۶۴/۰**	۵۴/۳۵**	۲۷/۱۶**
محلول‌پاشی × زمان	۱۲	۰/۱۲۷ns	۰/۰۰۱۵**	۰/۰۱۵۶**	۱/۶۸**	۰/۰۱**	۰/۱۹**
اشتباه آزمایشی	۶۰	۰/۲۱۵	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۲۴	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۰۰۵۸
ضریب تغییرات		۳/۵۰	۳/۷۲	۱/۲۶	۵/۳۶	۲/۳۶	۱/۴

ns ، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطح ۱ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.
TSS: مواد جامد محلول و TA: اسیدیته کل

مشاهده شد به‌طوری‌که مقدار اسیدهای آلی در این تیمارها، در مقایسه با تیمار شاهد در همان زمان به‌ترتیب ۴۱/۷ و ۱۹/۶ درصد بیشتر بود. کمترین مقدار اسیدهای آلی نیز مربوط به تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) در ۱۵۰ روز انبارمانی بود (شکل ۱). اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه در نتیجه تنفس و نیز تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و این کاهش رابطه مستقیم با فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به عنوان یک منبع ذخیره برای میوه عمل می‌کنند و هنگام رسیدن

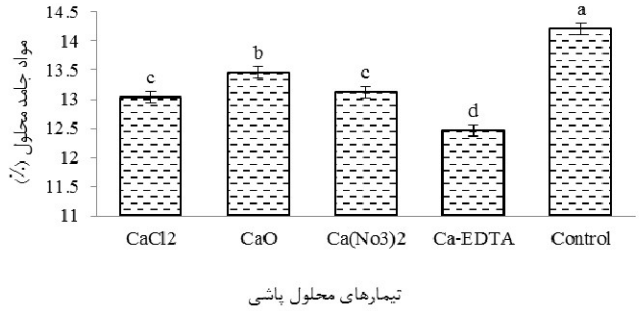


شکل ۱. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر میزان اسیدهای آلی در سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۵۰ روز انبارمانی (T_2)، ۱۰۰ روز انبارمانی (T_3) و ۱۵۰ روز انبارمانی (T_4) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

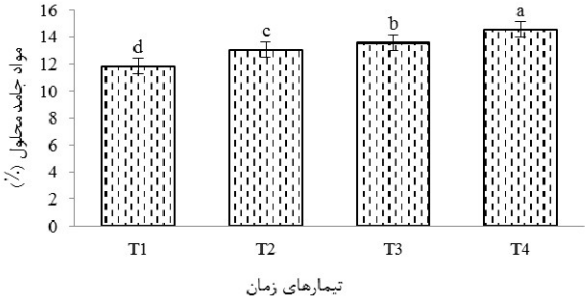
آن، با افزایش سوخت‌وساز مصرف می‌شوند (۳۷). احتمالاً در تیمار شاهد میزان تولید اتیلن افزایش یافته و در نتیجه منجر به مصرف اسید های آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی شده است، درحالی‌که در تیمارهای محلول‌پاشی شده، به‌دلیل نقش کلسیم در کاهش تنفس و تولید اتیلن، مصرف اسید های آلی در نتیجه فرایندهای تنفسی کاهش یافته است (۱۷).

محلول‌پاشی با نمک‌های کلسیمی منجر به کاهش مواد جامد محلول شد، به‌طوری‌که مقدار آن در تیمار کلات کلسیم نسبت به شاهد ۱۲/۲ درصد کاهش یافت (شکل ۲). به‌علاوه در تیمار شاهد افزایش زمان انبارمانی باعث بالا رفتن TSS (مواد جامد محلول) شد (شکل ۳). در طی رسیدن میوه، میزان قند به‌دلیل تبدیل نشاسته به ساکارز و سپس به گلوکز و فروکتوز افزایش می یابد. اصولاً افزایش مواد جامد محلول (قند) در میوه‌های کلیماکتریک (Climacteric) (مرحله‌ای از رسیدن میوه همراه با تولید اتیلن و افزایش تنفس سلولی است)، ناشی از تجزیه نشاسته است که با افزایش مقدار کلسیم در میوه‌ها میزان تجزیه نشاسته کاهش می‌یابد (۳۶). مطالعات روی میزان مواد جامد محلول نشان می‌دهد که عواملی که باعث کاهش مقدار و نیز تولید اتیلن می‌شوند، به‌واسطه کاهش مصرف قندها از افزایش مواد جامد قابل حل جلوگیری می‌کنند، لذا در تیمارهای محلول‌پاشی شده، به‌دلیل تأثیر کلسیم در کاهش تولید اتیلن و نیز نقش آن در تغییر فرآیندهای درون سلولی و برون سلولی، افزایش مواد جامد محلول به تأخیر می‌افتد. (۱۱، ۲۶ و ۳۷).

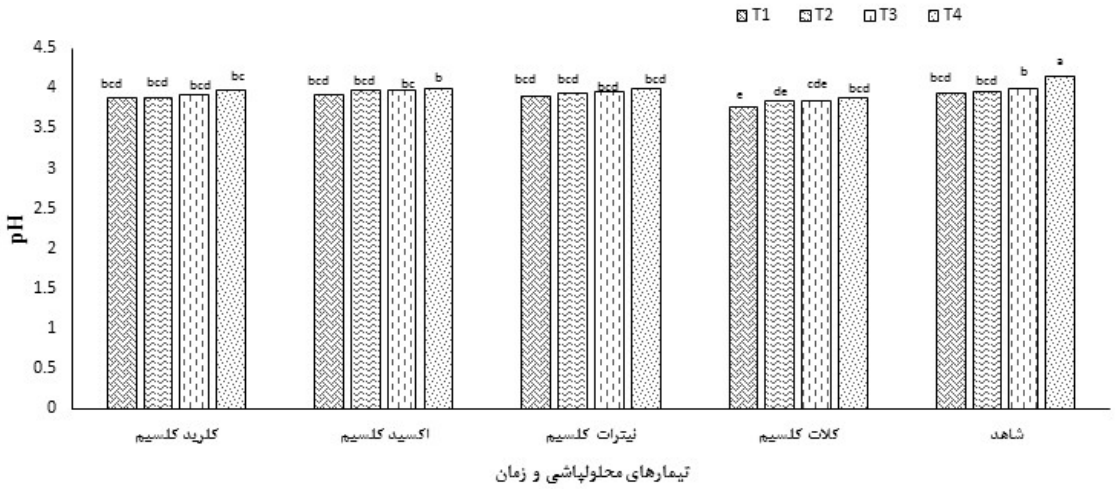
بیشترین pH در تیمار شاهد و در زمان ۱۵۰ روز انبارمانی و کمترین مقدار در روز اول انبارمانی و در تیمار محلول‌پاشی شده با نمک کلات کلسیم مشاهده شد (شکل ۴). در بیشتر میوه‌ها در طول مدت نگهداری pH میوه‌ها افزایش پیدا می‌کند و دلیل این امر، کاهش اسیدهای آلی می‌باشد. در تیمارهای محلول‌پاشی شده، کلسیم از تبدیل اسیدهای آلی به قندها جلوگیری می‌نماید در نتیجه pH در این تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (۱۷). البته ماهیت نمک‌های کلسیمی استفاده شده نیز بر pH تأثیر دارد، به‌طوری‌که در میوه‌های تیمار شده با اکسید کلسیم به‌دلیل ماهیت بازی pH در مقایسه با تیمار نیترات کلسیم با ماهیت خنثی بالاتر بود.



شکل ۲. اثر محلول‌پاشی بر میزان مواد جامد محلول در سیب رد (قرمز). حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۳. اثر زمان پس از برداشت بر میزان مواد جامد محلول در تیمار شاهد در سیب رد (قرمز). حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



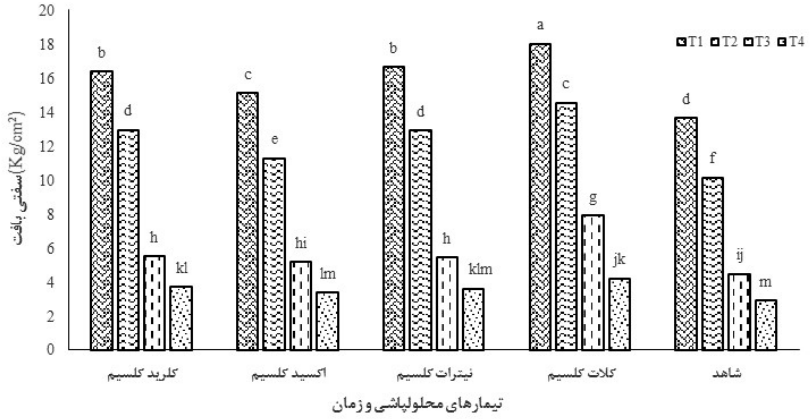
شکل ۴. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر pH سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۵۰ روز انبارمانی (T_2)، ۱۰۰ روز انبارمانی (T_3) و ۱۵۰ روز انبارمانی (T_4) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

افزایش زمان انبارمانی منجر به کاهش سفتی میوه گردید، به‌طوری‌که کمترین سفتی در تیمار شاهد پس از ۱۵۰ روز انبارمانی مشاهده شد (شکل ۵). در زمان اول انبارمانی نیز سفتی میوه در تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم در مقایسه با سایر تیمارها بیشتر بود و نسبت به شاهد ۱/۳ برابر افزایش نشان داد. با رسیدگی میوه سفتی کاهش می یابد، نرمی بافت میوه در نتیجه تغییرات در ساختار دیواره سلولی شامل کاهش همی سلولز، گالاکتوز و حل شدن و دپلیمریزه شدن پکتین صورت می‌گیرد و حاصل فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده دیواره سلولی می‌باشد. کلسیم به‌عنوان یک جزء اصلی تشکیل دهنده دیواره سلولی است و نقش مهمی در تشکیل پل‌های عرضی دیواره سلولی ایفا می‌کند و منجر به استحکام دیواره سلولی شده و به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایداری آن را افزایش می‌دهد (۱۶ و ۲۲). لذا استفاده از کلسیم به‌صورت محلول‌پاشی سبب تثبیت دیواره سلولی شده و آن را در برابر آنزیم‌های هیدرولیز کننده، به‌ویژه پلی‌گالاکتروناز که سبب نرمی دیواره سلولی و رسیدگی میوه سیب می‌شود، محافظت می‌کند. مطالعات نشان داده است که برخی نمک‌های کلسیمی به‌ویژه کلرید کلسیم از طریق کاهش تنفس، رسیدگی و پیری میوه را به تأخیر می‌اندازد (۲۳) ولی محلول‌پاشی با کلات کلسیمی به‌دلیل ظرفیت جذب بالا نسبت به نمک‌های کلسیمی دیگر تأثیر بیشتری بر سفتی میوه دارد.

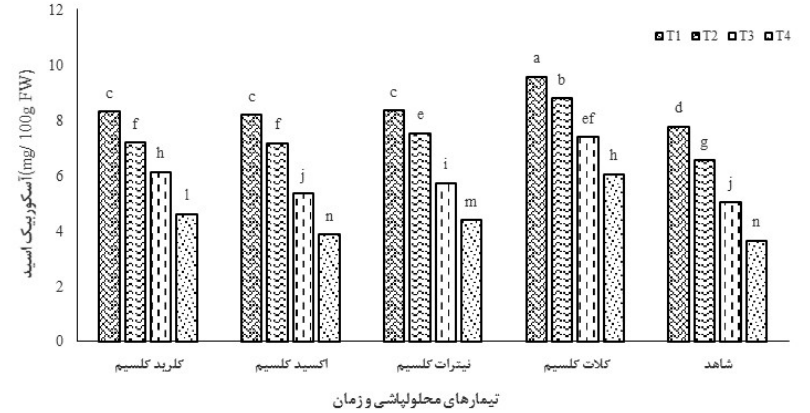
بیشترین مقدار آسکوربیک اسید مربوط به تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم در زمان اول انبارمانی و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود. با افزایش زمان انبارمانی مقدار آسکوربیک اسید در تمام تیمارها کاهش یافت (شکل ۶). در طی نگهداری میوه و سبزی‌ها در سردخانه مقدار اسید آسکوربیک روند کاهش تدریجی نشان می‌دهد (۱ و ۳). ویتامین ث به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی عمل کرده و از لیپیدهای غشاء در مقابل استرس‌های اکسیداتیو محافظت می‌نماید (۴۲). گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد در طی فرآیند رسیدن میوه‌ها، در اثر افزایش متابولیسم اکسیداتیو در میوه افزایش پیدا می‌کنند (۸). برای جلوگیری از اثرات سوء رادیکال‌های آزاد از آنتی اکسیدان‌های آنزیمی همانند آسکوربات، پراکسیداز و کاتالاز استفاده می‌شود. آنزیم آنتی‌اکسیدان آسکوربات پراکسیداز برای واکنش کاتالیزوری خود از اسید آسکوربیک به‌عنوان کوفاکتور استفاده می‌کند، از طرف دیگر این ویتامین که یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی است و به‌عنوان دهنده الکترون برای خنثی کردن رادیکال‌های آزاد عمل می‌نماید، لذا مقدار آن در طول انبارمانی کاهش می‌یابد. علت بالا بودن آسکوربیک اسید در تیمارهای محلول‌پاشی شده را نیز می‌توان به نقش کلسیم در کاهش تنفس و تولید اتیلن، به تأخیر انداختن رسیدن سیب و جلوگیری از تجزیه دیواره سلولی و در نتیجه کاهش تولید رادیکال های آزاد نسبت داد (۱۷).

مقدار کلسیم در تیمارهای محلول‌پاشی شده با کلرید کلسیم، کلات کلسیم، نیترات کلسیم و اکسید کلسیم در پایان دوره انبارمانی (۱۵۰ روز) به‌ترتیب ۲۷/۵، ۷۷/۵، ۲۲/۳ و ۱۰/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان دادند (شکل ۷). در سیب، هلو و شلیل محلول‌پاشی کلسیم باعث افزایش کلسیم دیواره سلولی گردیده و به‌دنبال آن کلسیم به همراه پکتین غیر محلول افزایش می‌یابد (۱۰ و ۳۰). از طرف دیگر مطالعات نشان دادند که محلول‌پاشی از طریق افزایش غلظت کلسیم، فعالیت آنزیم پلی‌گالاکتروناز را که از آنزیم‌های تجزیه کننده پکتات کلسیم در تیغه میانی است، کاهش می‌دهد و در نتیجه مقدار کلسیم گوشت میوه افزایش می‌یابد (۳۰).

اثر محلول‌پاشی، زمان و اثرات متقابل آنها بر فعالیت آنزیم کاتالاز و فعالیت آنتی‌اکسیدان کل ($p \leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود. همچنین زمان پس از برداشت، بر درصد کاهش وزن میوه ($p \leq ۰/۰۱$) تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان بر فعالیت این آنزیم معنی‌دار شد ($p \leq ۰/۰۱$). فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم پس از ۱۵۰ روز انبارمانی نسبت به شاهد در همان زمان ۹۱/۸ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). حضور



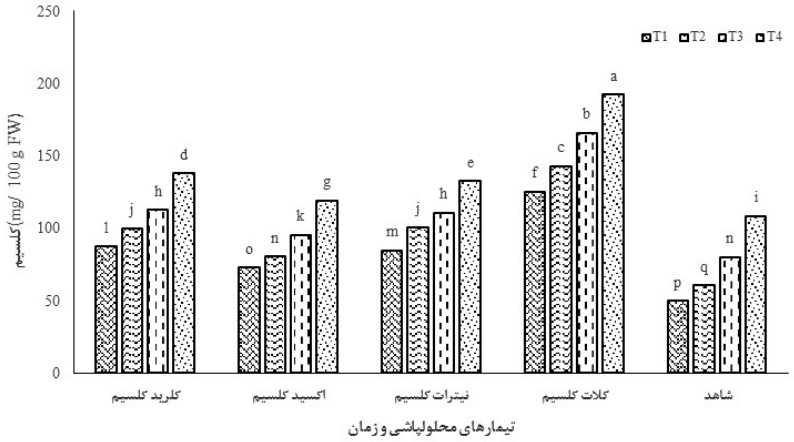
شکل ۵. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر سفتی سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۵۰ روز انبارمانی (T_2)، ۱۰۰ روز انبارمانی (T_3) و ۱۵۰ روز انبارمانی (T_4) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



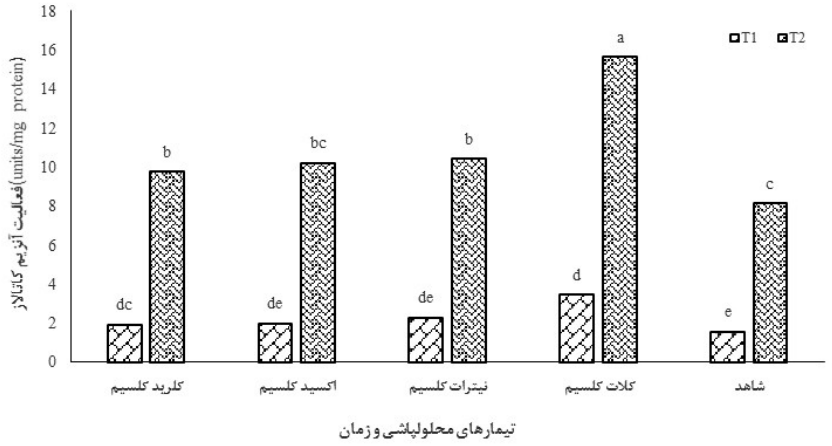
شکل ۶. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر میزان اسکوربیک اسید (ویتامین c) سیب رقم رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۵۰ روز انبارمانی (T_2)، ۱۰۰ روز انبارمانی (T_3) و ۱۵۰ روز انبارمانی (T_4) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

کاتالاز به‌عنوان آنزیم آنتی‌اکسیدانی برای فعال شدن پاسخ‌های دفاعی در مقابل تنش‌ها و حذف رادیکال‌های آزاد ضروری است. بالا بودن فعالیت این آنزیم در تیمارهای محلول‌پاشی شده را می‌توان به نقش ساختمانی کلسیم نسبت داد. کلسیم با پکتین دیواره سلولی پیوند برقرار کرده و از طریق لیگنینی شدن دیواره سلولی منجر به افزایش فعالیت کاتالاز می‌شود (۲۵). این آنزیم از طریق تبدیل پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن از خسارت‌های ناشی از آن جلوگیری می‌نماید.

مقایسه میانگین نشان داد که فعالیت آنتی اکسیدان کل در تیمار محلول‌پاشی شده با کلات کلسیم در هر دو زمان انبارمانی (روز اول و ۱۵۰ روز انبارمانی) نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود (شکل ۹). میوه ها وسبزیجات منبع مواد آنتی‌اکسیدانی



شکل ۷. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر میزان کلسیم سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۵۰ روز انبارمانی (T_2)، ۱۰۰ روز انبارمانی (T_3) و ۱۵۰ روز انبارمانی (T_4) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.



شکل ۸. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T1)، ۱۵۰ روز انبارمانی (T2) می باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

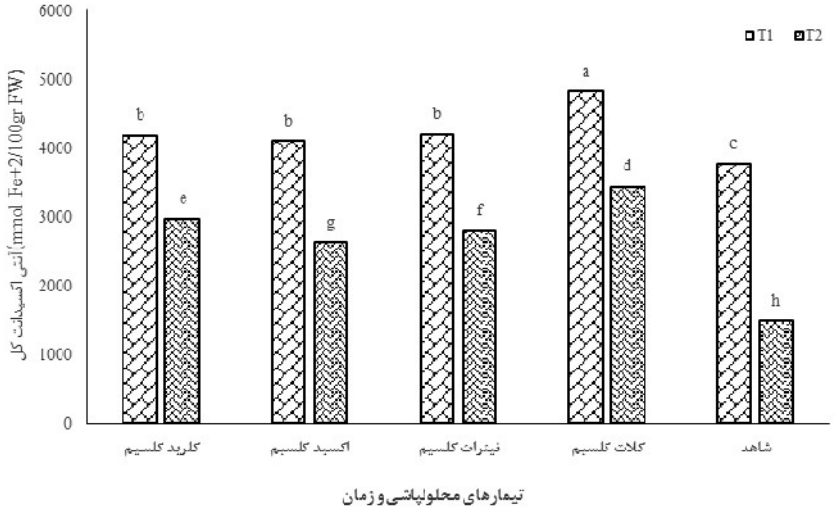
هستند. افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال های آزاد (ROS) طی فرآیند رسیدن میوه‌ها، که در اثر افزایش متابولیسم میوه صورت می‌گیرد، می‌تواند موجب ایجاد خسارت به غشاهای زیستی گردد (۴۰). برای جلوگیری از ایجاد خسارت توسط ROSها، آنتی‌اکسیدان‌ها با دادن الکترون به آنها، اکسید شده و قدرت اکسیدکنندگی و ایجاد خسارت توسط ROSها را از بین می‌برند. در تیمارهای محلول‌پاشی شده، به‌دلیل نقش کلسیم در کاهش تنفس و تولید اتیلن، به تأخیر انداختن رسیدن سیب، جلوگیری از تجزیه دیواره سلولی و کاهش تولید رادیکال‌های آزاد میزان آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابند (۱۴).

بیشترین درصد کاهش وزن در ۱۵۰ روز انبارمانی مشاهده گردید (شکل ۱۰). کاهش وزن میوه (Fruit weight loss) در انبار به‌میزان تنفس و تبخیر از سطح میوه و گرادیان رطوبت

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی نمک های کلسیمی و زمان و اثر متقابل آنها بر صفات اندازه گیری شده در میوه سیب رد (قرمز)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		فعالیت آنزیم کاتالاز	آنتی اکسیدان کل			درصد کاهش وزن
محلولپاشی	۴	۲۵/۰۸ **	۲۳۰۷۷۰۶**	محلولپاشی	۴	۰/۰۵۴ns
زمان	۱	۷۳۷/۴۵ **	۲۴۰۴۶۷۰۵**	زمان	۲	۱/۵۱**
محلولپاشی× زمان	۴	۹/۰**	۳۶۱۳۱۴ **	محلولپاشی× زمان	۸	۰/۰۳۴ns
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱/۳۱	۳۳۱۵	اشتباه آزمایشی	۴۵	۰/۰۴۹
ضریب تغییرات		۱۷/۵	۱/۷	ضریب تغییرات		۲۹/۳

ns ، ** و * به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، معنی‌داری در سطح ۱٪ و معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.



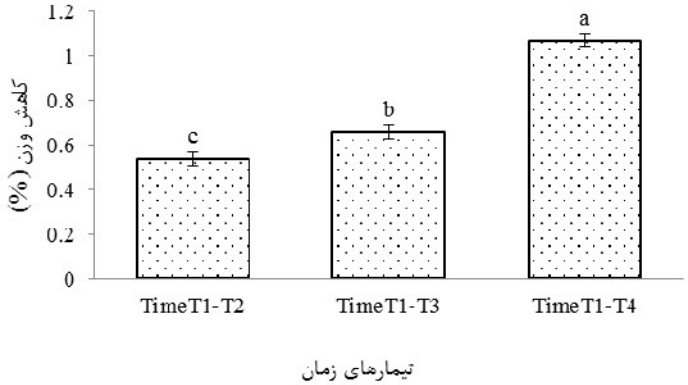
شکل ۹. اثر متقابل محلول‌پاشی و زمان پس از برداشت بر میزان آنتی‌اکسیدانی کل سیب رد (قرمز). روز اول انبارمانی (T_1)، ۱۵۰ روز انبارمانی (T_2) می‌باشد. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

نسبی محیط نگهداری، بستگی دارد (۲۰). رطوبت می‌تواند از چند مسیر از سطوح میوه خارج شود؛ ۱- عدسک‌ها ۲- روزنه ها ۳- کوتیکول.

کاربرد کلسیم قبل از برداشت، از طریق ایجاد تأخیر در پیری و نیز کاهش سرعت تنفس و تعرق منجر به استحکام و حفظ ثبات غشای سلولی شده و اتلاف وزن میوه را در طول دوره انبارمانی کاهش می‌دهد (۴).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، تیمارهای محلول‌پاشی شده با نمک‌های مختلف کلسیمی اثرات مثبتی بر صفات اندازه‌گیری شده داشتند و تغییرات بیوشیمیایی از قبیل کاهش آسکوربیک اسید، سفتی، اسیدیته قابل تیتراسیون و افزایش مواد جامد محلول را که در طی دوره انبارمانی سیب مطرح هستند، تقلیل دادند. لذا با توجه به تأثیر این مواد در کاهش نیاز به استفاده از سموم شیمیایی و



شکل ۱۰. اثر زمان بر درصد کاهش وزن سیب رد (قرمز). (T_1)زمان شروع، (T_2) ۵۰ روز پس از انبارمانی، (T_3) ۱۰۰روز پس از انبارمانی و (T_4) ۱۵۰ روز پس از انبارمانی. حروف غیر مشابه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن می‌باشد.

افزایش عمر انبارمانی استفاده از این مواد توصیه می‌شود. البته با توجه به اینکه کلات کلسیم بیشترین تأثیر را در میزان اسیدهای آلی، آنتی اکسیدان کل، آسکوربیک اسید و وزن میوه داشت به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار معرفی می‌گردد. تأثیر متفاوت نمک‌های مختلف کلسیمی در بهبود خواص کیفی میوه سیب (به‌ویژه کلات کلسیم در مقایسه با سایر ترکیبات) می‌تواند با خواص شیمیایی این نمک‌ها از قبیل حلالیت، پایداری، آنیون همراه و ... مرتبط باشد که نیاز به مطالعه و بررسی‌های بیشتری دارد.

منابع مورد استفاده

1. Adisa, V. A. 1986. The influence of molds and some storage factors on the ascorbic acid content of orange and pineapple fruit. *Food Chemistry* 22: 139-146.
2. Afkhami, M and M. J. Malakouti. 1999. The effect of foliar spray of calcium chloride in improving the quality and reducing the pesticide residue in apple fruit. MSc Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran, Iran.
3. Agar, I. T., R. Massantini, B. P. Hess and A. A. Kadar. 1999. Postharvest CO_2 and quality maintenance of fresh cut kiwi fruit slices. *Journal of Food Science* 64: 433-440.
4. Akhtar, A., N. A. Abbasi and A. Hussain. 2010. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of Loquat fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany* 42: 181-188.
5. Ayers, R. S and D. W. Westcot. 1976. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. California, USA.
6. Benzie, I. F and J. J. Strain. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power" the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239: 6-70.
7. Bremner, J. M and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen- total. Methods of soil analysis. pp. 595-624. In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
8. Cao, J., K. Zeng and W. Jiang. 2006. Enhancement of postharvest disease resistance in Ya Li pear (Pyrus bretschneideri) fruit by salicylic acid sprays on the trees during fruit growth. *European Journal of Plant Pathology* 114: 363–370.
9. Chapman, H. D and P. F. Pratt. 1978. Methods of analysis for soils, plants and waters. pp. 30-43, In: H. D. Chapman and P. F. Pratt (Eds.), Division of Agricultural Sciences. University of California, Berkeley, USA.

10. Chardonnet, C. O., C. S. Charron, C. E. Sams and W. S. Conway. 2003. Chemical changes in the cortical tissue and cell walls of calcium in filtrated 'Golden Delicious' apples during storage. *Postharvest Biology and Technology* 28: 97-111.
11. Conway, W. S. and C. E. Sams. 1987. The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration and ethylene production in apples. *Journal of the American Society for Horticulture Science* 112: 300-303.
12. Cotteni, A. 1980. Methods of plant analysis. pp. 64-100, In: Soil and Plant Testing, FAO Soil Bulletin.
13. Faust, M. and C. B. Shear. 1972. Fine structure of the fruit surface of three apple cultivars. *Journal of the American Society for Horticulture Science* 97: 351–355.
14. Faust, M. 1989. Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. John Willey and Sons, Inc., New York.
15. Forsyth, F. R. and D. H. Webster. 1971. Volatiles from McIntosh apple fruits as affected by phosphorus and potassium nutrition. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 96: 259.
16. Fry, S. C. 2004. Primary cell wall metabolism tracking the careers of wall polymers in living plant cells. *New Phytologist* 161: 641-675.
17. Garcia, J. M., S. Herrera and A. Morilla. 1996. Effects of postharvest dips in calcium chloride on strawberry. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 44: 30–33.
18. Gee, G. H. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. pp. 9: 383-411, In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Physical Properties. Soil Science Society of America, Madison, WI.
19. Geraldson, C. M. 1957. Factors affecting calcium nutrition of celery, tomato, and pepper. *Soil Science Society of America Journal* 21: 621-625.
20. Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, M. J. Ocio and R. Gavara. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coating on postharvest life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Postharvest Biology and Technology* 39: 247-253.
21. Jalili Marandi, R .2004. Postharvest Physiology (Handling and Fruit Storage, Vegetables and Ornamental Plants). Jahad Daneshgahi Press, Urmia.
22. Knee, M. and I. M. Bartley. 1981. Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits. pp. 133-148, In: J. Friend and M. J. C. Rhodes (Eds.), Recent Advances in the Biochemistry of Fruit and Vegetables. Academic Press, London.
23. Knee, M. 1982. Fruit softening. III. Requirement for oxygen and pH effects. *Journal of Experimental Botany* 33: 1263-1269.
24. Lee, S. K. and A. A. Kader. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
25. Lee, S. H., J. H. W. S. Choi, Y. S. Park and H. Gemma. 2007. Effect of calcium chloride spray on peroxidase activity and stone cell development in pear fruit (*Pyrus pyrifolia, Nnitaka*). *Japanese Society for Horticulture Science* 76: 191-196.
26. Lesani, H. and M. Mojtahedi. 1995. Principles of plant physiology. Tehran University Press, Tehran.
27. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421–8.
28. Malakouti, M. J. and S. J. Tabatabei. 1997. Meeting plant nutrient requirement through foliar application. High council of policy making on the development of biological products application, optimum utilization of chemical fertilizers and pesticides in agriculture, Agricultural Publisher Center, Ministry of Agriculture, Karaj, Iran.
29. Malakouti, M. J. and S. J. Tabatabaei. 1998. The effects of calcium chloride on firmness and qualitative properties of Lebanese Red Delicious apples. *Journal of Soil and Water Research Institute* 1: 12-63. (In Farsi).
30. Manganaris, G. A., M. Vasilakakis, I. Mignani, G. Diamantidis and K. Tzavella-Klonari. 2005. The effect of postharvest calcium sprays on quality attributes physicochemical aspects of cell wall components and susceptibility to brown rot of peach fruits (Prunus persica L. cv. Andross). *Scientia Horticulture* 107: 43-50.
31. Dougall, G., I. M. Morrison, D. Stewart and J. R. Hillman. 1996. Plant cell walls as dietary fiber: range, structure, processing and function. *Journal of Science of Food and Agriculture* 70: 133-150.
32. Nelson, D. W. and L. E Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 539–580, In: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison.
33. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403–430, In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison.
34. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Jeeney. 1992. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical properties. SSSA Pub, Madison.

35. Pirmoradian, M. and M. Babalar. 1995. Effect of rootstock and postharvest application of $CaCl_2$ during storage of red delicious apple in ethylene production and some of the qualitative factors. *Iranian Journal of Agricultural Science* 26: 69-76. (In Farsi).
36. Raese, J. T. and S. R. Drake. 1993. Effects of Preharvest calcium sprays on apple and pear quality. *Journal of Plant Nutrition* 16: 1807-1819.
37. Rahemi, M. and H. Akbari. 2003. Effects of heat treatment and packaging on fruit quality and storage duration. *Journal of Horticultural Science and Technology* 3: 83-94. (In Farsi).
38. Shear, C. B. and M. Faust. 1970. Calcium transport in apple trees. *Plant Physiology* 45: 670-674.
39. Smith, R. L. and A. Wallace. 1956. Influence of cation ratio, temperature, and time on adsorption and absorption of calcium and potassium by citrus and other plant. *Soil Science* 82: 9-20.
40. Spinardi, A. M. 2005. Effect of harvest date and storage on antioxidant systems in pears. *Acta Horticulturae* 682: 655-662.
41. Terblanche, J. H., K. H. Gu 'rgen, J. J. A. Bester and W. J. Pienaar. 1979. Migration of Ca in Golden Delicious apples during storage, with special reference to bitter pit. *Deciduous Fruit Grower* 29: 46-54.
42. Thurnham, D. I. 1990. Antioxidant and pro-oxidants in malnourished population. Proceedings of the Nutrition Society 48: 247-259.
43. Trivedi, P. C. 2006. Advances in Plant Physiology. International Publishing House, New Delhi.
44. Vang-Petersen, O., E. Poulsen and P. Hansen. 1973. Nutritional state of Danish fruit orchards as shown by leaf analysis. I. Apples. Tidsskr Planteavl pp. 1963-1966.
45. Vang-Petersen, O. 1974. Magnesium til aeble. *Tidsskr Planteavl* 78: 627-634.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 7, No. 2, Summer 2017, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Different Calcium Sources Application on Antioxidant, Enzymatic Activity and Qualitative Characteristics of Apple (*Malus domestic*)

MH. Rasouli-Sadaghiani[1*], M. Moghadas Gerani[2], S. Ashrafi Saeidlou[3] and E. Sepehr[4]

(Received: May 17-2016; Accepted: November 27-2016)

Abstract

In order to determine the effect of different Ca sources, in improving enzymatic activity and some qualitative properties of red apple (*Malusdomestica*) an experiment was carried out in a completely randomized design. Apple trees were sprayed 5 times with $CaCl_2$, CaO, Ca-EDTA and $Ca(NO_3)_2$ salts with an interval of 20 days from late June until early October. After harvesting fruits were kept in cold storage at standard condition for 150 days. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, ascorbic acid, total soluble solids, firmness, total acidity, catalase enzyme activity and total antioxidant activity at harvest time, 50, 100 and 150 days after cold storage were measured. The results showed that the effect of foliar application on catalase enzyme activity, total antioxidant, pH, soluble solids, total acidity, calcium, firmness and ascorbic acid was significant. At the end of storage period, calcium amount of fruits at the presence of Ca-EDTA, $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$ and CaO treatments increased by 77.5, 27.5, 22.3 and 10.1 percent, respectively. Catalase enzyme activity in Ca-EDTA treatment increased 91.8 percent after 150 days of storage compared to control. At the end of the storage period, the highest content of ascorbic acid was found in Ca-EDTA treatment (6.04 mg per 100 g FW). It is concluded that spraying of apple fruit with Ca-EDTA can improve and maintain most fruit qualitative properties and increase enzymatic and antioxidant activity during storage time.

Keywords: Calcium chelate, Catalase enzyme, Storage, Firmness

1, 2, 3, 4.Professor, MSc and PhD Student and Associate Professor, Respectively, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Uremia University, Uremia, Iran.
*. Corresponding Author, Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir