تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۶ شماره ۱، بهار ۹۲

تأثیر کاربرد پس از برداشت پوترسین و پرتوتابی فرابنفش بر کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" (*Fragaria* × *ananasa* cv. Selva)

بهناز سیرویی‌نژاد[۱]، سید محمد حسن مرتضوی[۲]*، نوراله معلمی[۳] و سعید عشقی[۴]

۱و۳ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲*- **نویسنده مسؤول:** استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه شهید چمران اهواز (mortazavi_mh@scu.ac.ir)

۴- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۴

چکیده

میوه توت‌فرنگی به دلیل برخورداری از بافت نرم و متابولیسم بالا، از عمر پس از برداشت کوتاهی برخوردار است. این تحقیق در سال ۱۳۸۹ در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت و طی آن تأثیر کاربرد پلی‌آمین پوترسین در دو غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار و پرتو فرابنفش در شدت ۰/۷۲ کیلوژول بر متر مربع بر کیفیت میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی ۱۰ روز نگه‌داری در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی گردید. میوه‌های تیمار شده با هر دو غلظت پوترسین از سفتی بافت، ویتامین ث، آنتوسیانین، مواد فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری برخودار بودند و طی مدت زمان نگهداری، کاهش وزن کمتری نشان دادند. تیمار با پرتو فرابنفش بر بسیاری از صفات مورد بررسی تأثیر قابل توجهی نداشت ولی سبب حفظ بیشتر غلظت آنتوسیانین کل به خصوص در روزهای ششم تا دهم نگهداری گردید. از میان سه مؤلفه رنگی، روشنایی و زاویه هیو تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفتند ولی کروما، در میوه‌های تیمار شده با هر دو غلظت پوترسین و نیز پرتو فرابنفش از مقدار بیشتری برخوردار بود. به طور کلی غوطه‌وری در پوترسین و تیمار با پرتو فرابنفش توانست به نحو مؤثری سبب حفظ کیفیت پس از برداشت میوه توت‌فرنگی شود.

کلید واژه‌ها: توت‌فرنگی، پوترسین، پرتو فرابنفش، کیفیت میوه

مقدمه

میوه توت‌فرنگی به دلیل برخورداری از بافت نرم، درصد آب بالا و تنفس شدید به بیماری‌های قارچی و صدمات مکانیکی پس از برداشت حساس است. استفاده از انبارهای سرد (کوردنوسی و همکاران[۱]، ۲۰۰۳) و اتمسفر کنترل شده یا تغییر داده شده (لارسن و واتکینز[۲]، ۱۹۹۵) از روش‌های متداول در افزایش عمر قفسه‌ای میوه توت‌فرنگی می‌باشند. تحقیقات علمی و تجربیات عملی در بازارسانی تجاری این میوه نشان داده است که دمای پایین سردخانه نمی‌تواند به تنهایی بیماری‌های قارچی میوه توت‌فرنگی را کنترل نماید. همچنین غلظت بالای دی‌اکسید کربن (۲۰-۱۵ درصد)، سبب کاهش غلظت ترکیبات معطر، آنتوسیانین گوشت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آن می‌شود (پلایو و همکاران[۳]، ۲۰۰۳). در این راستا استفاده از ترکیباتی مانند پلی‌آمین‌ها و تیمار فیزیکی و غیر یونیزه کننده پرتو فرابنفش می‌تواند به عنوان تیمارهای مؤثر برای طولانی‌تر کردن مدت نگه‌داری میوه توت‌فرنگی در عین حفظ کیفیت و ارزش غذایی آن مورد توجه قرار گیرد. پلی‌آمین‌ها دسته‌ای از

1- Cordenunsi *et al.*
2- Larsen & Watkins
3- Pelayo *et al.*

ترکیبات طبیعی با وزن مولکولی کم و دارای گروه‌های نیتروژن‌دار خطی هستند که در طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان، جانوران و میکروارگانیسم‌ها نقش ایفا می‌کنند (فریرا و همکاران[1]، ۲۰۰۸). پلی‌آمین‌ها نقشی کلیدی در تحمل تنش‌های محیطی داشته و در تولید و اثر هورمون اتیلن اثرگذار هستند. محلول‌پاشی قبل از برداشت میوه با پلی‌آمین‌ها، تولید اتیلن را با تغییر جریان اس-آدنوزیل متیونین[2] (SAM) به مسیر سنتز پلی‌آمین‌ها در زردآلو (مارتینز-رومرو و همکاران[3]، ۲۰۰۱) کاهش داد. پرتو فرابنفش نیز به عنوان یک عامل خارجی تحریک کننده سنتز پلی‌آمین‌ها، فرآیند رسیدن و پیری را در طیف وسیعی از میوه‌ها و سبزی‌ها از قبیل گوجه‌فرنگی (ماهارج و همکاران[4]، ۱۹۹۹)، هلو (گونزالز-آگویلار و همکاران[5]، ۲۰۰۴) و کدو (آن و همکاران[6]، ۲۰۰۴) به تأخیر انداخت. به نظر می‌رسد شدت پایین و غیرکشنده پرتو فرابنفش در موجودات زنده خسارت‌های قابل ترمیمی را به DNA آن‌ها وارد می‌کند که ماحصل آن فعال شدن یکسری مکانیسم‌های تدافعی-ترمیمی و افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها به منظور جبران خسارت‌های وارد شده به ماده ژنتیکی موجود زنده می‌باشد (شاما و آلدرسون[7]، ۲۰۰۵). در این تحقیق تأثیر کاربرد پلی‌آمین پوترسین و پرتو UV-C بر ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم "سلوا" در مرحله بلوغ تجاری (با حداقل سه چهارم توسعه رنگ قرمز) برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی گروه باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۸۹ انتقال یافتند. میوه‌های دارای شکل غیر طبیعی و آسیب‌های فیزیکی حذف شده و میوه‌های سالم و یکنواخت برای اعمال تیمار آماده شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمار پلی‌آمینی در ۳ سطح (شامل آب مقطر، پوترسین ۱ میلی‌مولار و پوترسین ۲ میلی‌مولار)، فاکتور دوم شامل تیمار پرتو UV-C در ۲ سطح (شامل شدت‌های ۰ و ۰/۷۲ کیلوژول بر مترمربع) و فاکتور سوم شامل زمان آنالیز در ۶ سطح (شامل روزهای ۰، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰) بود. ترکیب پوترسین از شرکت سیگما خریداری و پس از آماده‌سازی غلظت‌های مورد نظر، میوه‌ها به مدت ۵ دقیقه در محلول‌های از پیش تهیه شده غوطه‌ور شدند. پس از اعمال تیمار و خشک شدن میوه‌ها در دمای محیط، نیمی از میوه‌های هر تیمار به طور مستقیم و نیم دیگر بعد از قرار گرفتن در معرض پرتو UV-C به سبدهای پلاستیکی (هر واحد آزمایشی شامل ۲۰ میوه) منتقل و در یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. جهت تیمار UV-C، میوه‌ها روی سینی چیده شده و درون محفظه آماده شده بدین منظور قرار داده شدند. زمان روشن نمودن لامپ UV بر اساس شدت پرتودهی مورد نیاز (۰/۷۲ کیلوژول بر مترمربع) توسط دستگاه یو-وی متر لوترون[8] تنظیم و هر سمت میوه‌ها به مدت ۳ دقیقه در زیر نور فرابنفش قرار گرفت. طی دوره نگه‌داری، میوه‌ها از نظر خصوصیات کیفی مختلف آنالیز شدند.

برای تعیین میزان کاهش وزن، میوه‌ها در شروع آزمایش و نیز در روزهای آنالیز توزین شد. سفتی بافت با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دیجیتال لوترون و اسیدیته میوه به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال، تا رسیدن pH به ۸/۱ اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی مدل ATAGO (ژاپن) استفاده شد و ویتامین ث بر اساس

1- Ferreira *et al.*
2- S-Adenosyl methionine
3- Martinez-Romero *et al.*
4- Maharaj *et al.*
5- Gonzalez-Aguilar *et al.*
6- An *et al.*
7- Shama & Alderson
8- Lutron UV-meter

روش تیتراسیون با دی‌کلروفنل‌ایندوفنل آنالیز شدند (رامین و طباطبایی[1]، ۲۰۰۳).

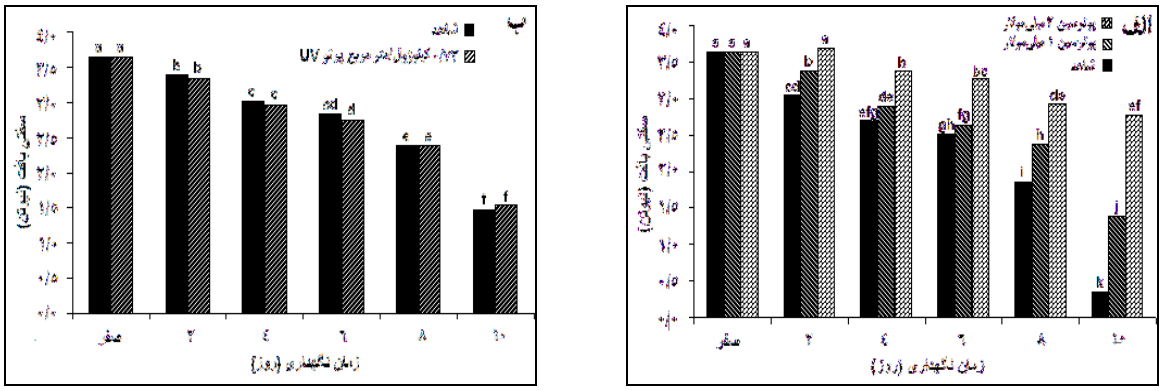
غلظت کل آنتوسیانین‌ها به روش اختلاف میزان جذب متأثر از تغییر رنگ در بافرهای با pH های ۱ (کلرید پتاسیم) و ۴/۵ (استات سدیم) اندازه‌گیری شد (ورلستاد[2]، ۱۹۷۶). مواد فنولی کل با در نظر گرفتن اسید گالیک به عنوان ترکیب فنولی استاندارد و استفاده از روش Folin-Ciocalteu توضیح داده شده توسط اسلینکارد و سینگلتون[3] (۱۹۷۷) ارزیابی گردید. همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل به روش FRAP ارائه شده توسط بنزی و استرین[4] (۱۹۹۶) تعیین شد. جهت بررسی رنگ ظاهری میوه‌ها نیز از روش توضیح داده شده توسط یام و پاپاداکیس[5] (۲۰۰۴) استفاده شد. بدین ترتیب که تغییرات رنگ ظاهری میوه‌ها بر اساس مؤلفه‌های رنگی L (درخشندگی)، a (قرمز–سبز) و b (زرد–آبی) در سه قرائت برای هر تکرار با استفاده از دستگاه اسکنر ساخت شرکت hp تعیین و از آن‌ها برای محاسبه زاویه هیو و کروما استفاده گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام شد و مقایسه میانگین‌ها بر اساس LSD در سطح ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

سفتی بافت: استفاده از پوترسین ۱ و ۲ میلی‌مولار سبب حفظ بیشتر سفتی بافت میوه در طول دوره نگهداری نسبت به میوه‌های شاهد گردید به گونه‌ای که در روز دهم نگهداری، سفتی بافت میوه‌های شاهد به ۰/۳۵ نیوتن رسید ولی میوه‌های تیمار شده با ۱ و ۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب دارای سفتی بافت ۱/۳۹ و ۲/۷۷ نیوتن بودند (شکل ۱، الف). برهمکنش اثر تیمار با پرتو فرابنفش و زمان نگهداری نشان داد که با بیشتر شدن زمان نگهداری، سفتی بافت میوه به نحو چشمگیری کاهش یافت ولی در تمام روزهای آنالیز، اختلافی میان میوه‌های تیمار شده با پرتو فرابنفش و شاهد وجود نداشت (شکل ۱–ب). حفظ یا افزایش سفتی بافت تحت تأثیر پلی‌آمین‌ها و پرتو UV-C (بارکا و همکاران[6]، ۲۰۰۰) در بسیاری از میوه‌ها گزارش شده است. اثر پلی‌آمین‌ها و شدت‌های غیر کشنده پرتو UV-C در حفظ سفتی گوشت میوه را می‌توان به نقش ممانعتی آن‌ها از فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی به ویژه پکتین استراز، پلی‌گالاکتروناز، سلولاز و پروتئاز نسبت داد (والرو و همکاران[7]، ۲۰۰۲). همچنین نشان داده داده شده است که کاربرد همزمان یا جداگانه تیمارهای نام برده می‌تواند از طریق افزایش غلظت پلی‌آمین‌های داخلی از نرم شدن فرآورده‌های باغی در انبار جلوگیری کند (لیتینگ و ویکر[8]، ۱۹۹۷). پلی‌آمین‌ها در pH فیزیولوژیک سلول ماهیت پلی‌کاتیونی داشته و با ایجاد پیوند متقاطع با گروه کربوکسیل (COO^-) ترکیبات پکتینی دیواره سلولی موجبات ثبات و پایداری دیواره سلول را فراهم می‌کنند (والرو و همکاران، ۲۰۰۲).

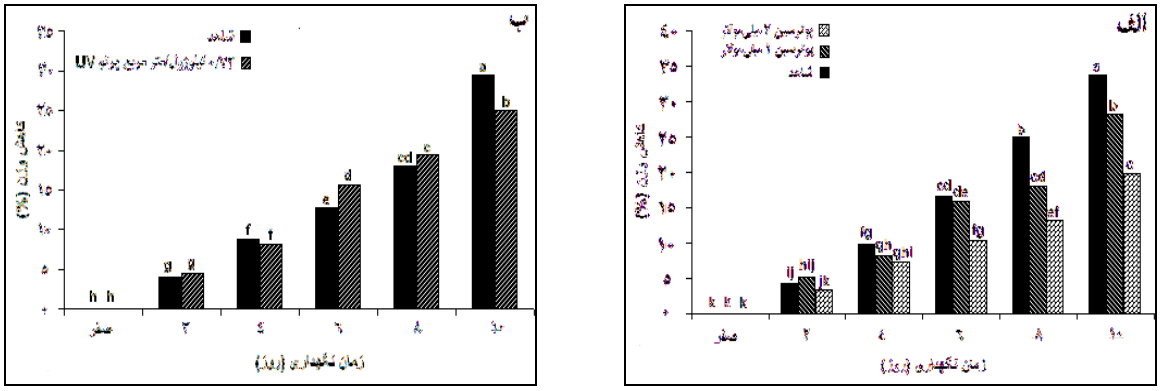
کاهش وزن: با بیشتر شدن زمان نگهداری کاهش وزن بیشتر شد. همان‌گونه که در شکل ۲–الف مشخص است، اعمال تیمار پوترسین سبب کمتر شدن درصد کاهش وزن میوه‌ها گردید که اختلاف میان میوه‌های شاهد و تیمار شده از روز ششم به بعد بتدریج بیشتر شد به طوری که در روز دهم آزمایش مقدار کاهش وزن میوه‌ها در میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های ۰ (شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار پوترسین به ترتیب ۳۳/۷۶، ۲۸/۱۵ و ۱۹/۸۲٪ بود. همچنین تیمار با پرتو فرابنفش بر درصد کاهش وزن میوه طی دوره نگهداری تأثیر مشخصی نداشت به گونه‌ای که میوه‌های پرتو دیده در روز ششم از کاهش وزن بیشتر و در پایان آزمایش از کاهش وزن کمتری نسبت به میوه‌های شاهد برخوردار بودند

1- Ramin & Tabatabaie
2- Wrolstad
3- Slinkard & Singleton
4- Benzie & Strain
5- Yam & Papadakis
6- Barka *et al.*
7- Valero *et al.*
8- Leiting & Wicker



شکل ۱- اثر غوطه‌وری در پوترسین (الف) و تیمار با پرتو فرابنفش (ب) بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند).



شکل ۲- اثر غوطه‌وری در پوترسین (الف) و تیمار با پرتو فرابنفش (ب) بر درصد کاهش وزن میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند).

(شکل ۲-ب). میردهقان و همکاران[1] (۲۰۰۷) اظهار داشتند که پلی‌آمین‌های برون‌زاد پوترسین و اسپرمیدین، از طریق اتصال به جایگاه‌های آنیونی غشاء، حفظ سیالیت و کاهش نشت الکترولیتی آن در میوه انار، کاهش وزن این میوه را به حداقل رساندند. در میوه‌های بادمجان نیز پرتو UV-C با حفظ و افزایش سطح پلی‌آمین‌ها و سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به طور مؤثری از نفوذپذیری غشاء و کاهش وزن شدید میوه در طول دوره انباری ۲۰ روزه آن جلوگیری کرد (کائور-ساونی و همکاران[2]، ۲۰۰۳).

مواد جامد محلول: تغییرات مربوط به غلظت مواد جامد محلول متأثر از تیمارهای اعمال شده از الگوی مشخصی پیروی ننمود. به طور کلی می‌توان گفت میانگین تیمارهای مختلف طی مدت زمان نگهداری با افزایش تدریجی غلظت مواد جامد محلول همراه بود و در میوه‌هایی که با پوترسین ۲ میلی‌مولار تیمار شده بودند، تغییرات مواد جامد محلول کمتر از میوه‌های شاهد بود. همچنین تیمار با پرتو UV-C نیز بر تغییرات غلظت مواد جامد محلول تأثیر معنی‌داری نداشت. میزان TSS کاهو رقم "رد اُک‌لیف" نیز تحت تأثیر تیمار UV-C با شدت‌های ۱/۱۸، ۲/۳۷ و ۷/۱۱ کیلوژول برمترمربع قرار نگرفت و بین کاهوهای تیمار

1- Mirdehghan *et al.*
2- Kaur-sawhney *et al.*

شده و شاهد هیچ گونه اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار مواد جامد محلول وجود نداشت (آلندئا و همکاران[1]، ۲۰۰۶).

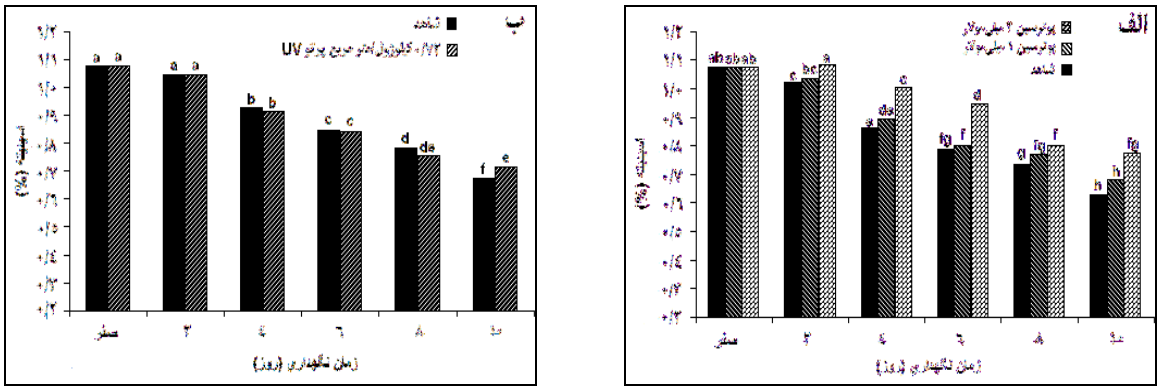
اسیدیته قابل تیتراسیون: در طول دوره انباری میوه توت‌فرنگی، اسیدیته قابل تیتر میوه به تدریج کاهش یافت. میزان کاهش اسیدیته در میوه‌های تیمار شده با پوترسین کمتر بود و از این نظر تقریباً در تمام مقاطع آنالیز میوه‌ها، اختلاف معنی‌داری میان میوه‌های شاهد و تیمار شده وجود داشت. همچنین پوترسین در غلظت ۲ میلی‌مولار به طور مؤثرتری از کاهش اسیدیته جلوگیری نمود به گونه‌ای که میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۱ و ۲ میلی‌مولار پوترسین در پایان آزمایش به ترتیب از ۰/۶۳، ۰/۶۸ و ۰/۷۷ درصد اسید قابل تیتر برخوردار بودند (شکل ۳-الف). این نتایج با گزارش تریجیانی و همکاران[2] (۲۰۰۴) در زمینه جلوگیری از کاهش سریع اسیدیته میوه هلوی تیمار شده با پوترسین و اسپرمیدین همخوانی داشت. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که پرتو فرابنفش بر مقدار اسیدیته قابل تیتر میوه‌های توت‌فرنگی تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۳-ب). در میوه‌های گوجه‌فرنگی سبز بالغ نیز اسیدیته قابل تیتر میوه بعد از قرار گرفتن در معرض پرتو UV-C با شدت ۳/۷ کیلوژول برمترمربع تغییر معنی‌داری نکرد (لیو و همکاران، ۲۰۰۹).

ویتامین ث: مقدار ویتامین ث میوه توت‌فرنگی با گذشت زمان به طور پیوسته کاهش یافت ولی میزان ویتامین ث میوه‌های تیمار شده با پوترسین، در طول دوره انبارداری، بیشتر از میوه‌های شاهد بود و تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار، نسبت به غلظت ۱ میلی‌مولار، به طور مؤثرتری از کاهش ویتامین ث در طول دوره انباری جلوگیری کرد. مقدار ویتامین ث موجود در میوه‌های شاهد و تیمار شده با پوترسین ۱ و ۲ میلی‌مولار در انتهای آزمایش به ترتیب ۴۴/۴۷، ۴۸/۳۰ و ۵۵/۹۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بود (شکل ۴-الف). مالیک و سینگ[3] (۲۰۰۵) اثر پلی‌آمین‌های پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین در حفظ ویتامین ث میوه انبه را به کاهش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات اکسیداز در حضور ترکیبات نیتروژن‌دار پلی‌آمینی نسبت دادند.

همان‌گونه که در شکل ۴-ب نشان داده شده است، تیمار با پرتو فرابنفش بر حفظ ویتامین ث میوه اثر اندکی داشت، در حالی که بارکا و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در فرآورده‌های قرار گرفته در معرض پرتو UV-C فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز کاهش و میزان ویتامین ث بیشتر است. همچنین مشخص شده است که ترکیبات فنولی سنتز شده در پاسخ به اثرات هرمتیکی پرتو UV-C سبب محافظت اسید آسکوربیک در برابر فرآیندهای اکسایشی و جلوگیری از کاهش آن در طول زمان می‌شوند (جاگادیش و همکاران[4]، ۲۰۰۹).

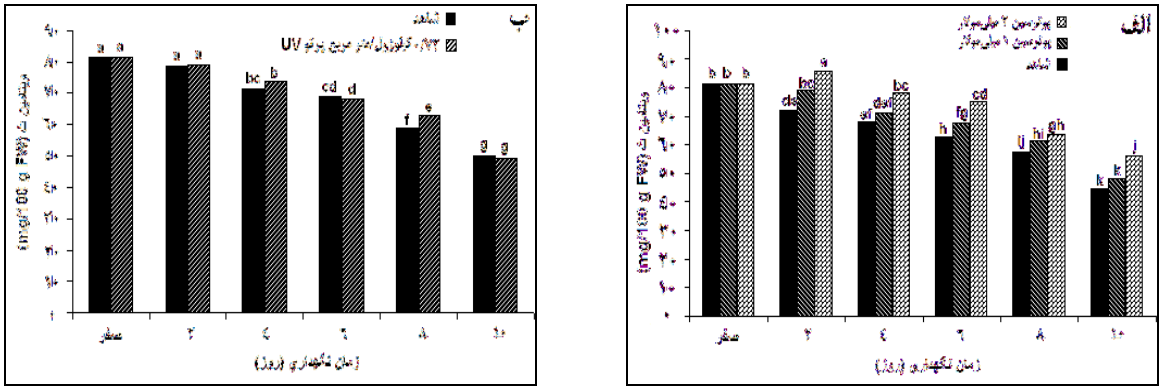
آنتوسیانین کل: نتایج مربوط به آنالیز غلظت آنتوسیانین میوه نشان داد که مقدار آن در طول آزمایش روندی کاهشی داشت ولی تیمار با پوترسین این روند را به نحو چشمگیری کُندتر نمود و پوترسین ۲ میلی‌مولار محتوی آنتوسیانینی بیشتری نسبت به تیمار پوترسین ۱ میلی‌مولار در تمام مدت آزمایش نشان داد (شکل ۵-الف). همچنین پرتو UV-C توانست در روزهای پایانی آزمایش به حفظ بیشتر غلظت آنتوسیانین کمک نماید به گونه‌ای که غلظت آنتوسیانین میوه در پایان آزمایش برای میوه‌های شاهد و تیمار شده با پرتو فرابنفش به ترتیب ۱۰/۵۲ و ۱۴/۵۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم بود (شکل ۵-ب). محققین بر این عقیده‌اند که تیمارهای پلی‌آمین خارجی و پرتو UV-C می‌توانند با اثر بر ژن‌های گیاه سنتز آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیاز و چالکون ایزومراز را افزایش و تجمع رنگیزه آنتوسیانین را در میوه تمشک (ویسنته و همکاران[5]، ۲۰۰۴) تحریک کند. همچنین

1- Allendea *et al.*
2- Torrigiani *et al.*
3- Malik & Singh
4- Jagadeesh *et al.*
5- Vicente *et al.*



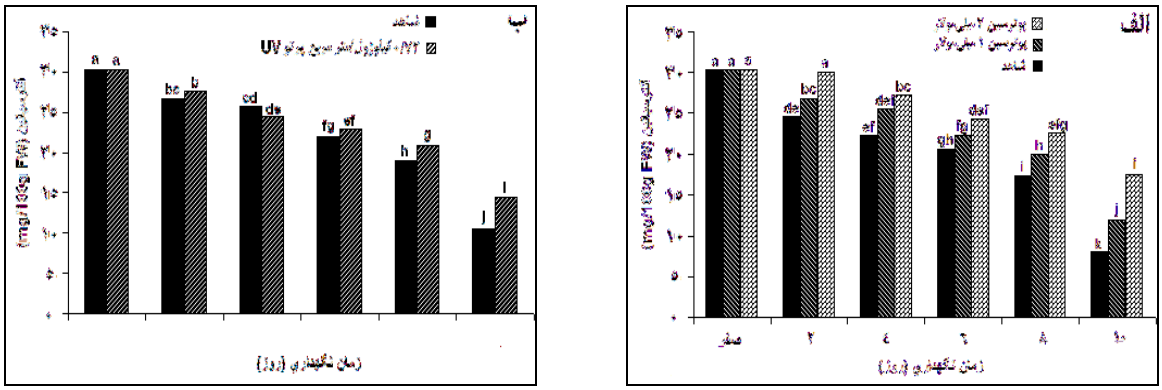
شکل ۳- اثر غوطه‌وری در پوترسین (الف) و تیمار با پرتو فرابنفش (ب) بر اسیدیته میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند).



شکل ٤- اثر غوطه‌وری در پوترسین (الف) و تیمار با پرتو فرابنفش (ب) بر ویتامین ث میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند).



شکل ٥- اثر غوطه‌وری در پوترسین (الف) و تیمار با پرتو فرابنفش (ب) بر غلظت آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری

(میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری در سطح ۵٪ می‌باشند).

افزایش غلظت پلی‌آمین‌های داخلی و سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مثل اسید آسکوربیک در میوه توت‌فرنگی می‌تواند اکسایش و تغییر ساختار آنتوسیانین را به تأخیر انداخته و سطح این رنگیزه را در بالاترین سطح ممکن حفظ نماید (سسیلان و همکاران[1]، ۲۰۰۵). این نتایج با گزارش پن و همکاران[2] (۲۰۰۴) در مورد میوه توت‌فرنگی مغایر بود. آن‌ها گزارش کردند که پرتو فرابنفش به طور معنی‌داری از تجمع آنتوسیانین در میوه توت‌فرنگی ممانعت کرد. در حالی که باکا و همکاران[3] (۱۹۹۹) با استفاده از پرتو فرابنفش، به حفظ بیشتر آنتوسیانین کل این میوه کمک کردند.

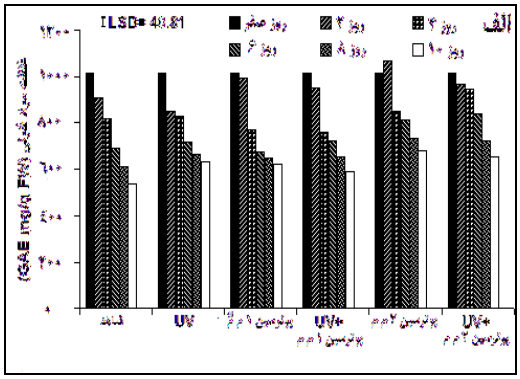
مواد فنولی کل: همان‌گونه که در شکل ۶-الف نشان داده شده است میزان ترکیبات فنولی هم در تیمارهای پلی‌آمینی و هم در میوه‌های غوطه‌ورشده در آب مقطر طی دوره انباری کاهش یافت. تیمار میوه‌ها با پلی‌آمین پوترسین توانست روند کاهشی غلظت ترکیبات فنولی را کُندتر نماید و پوترسین ۲ میلی‌مولار از این نظر بیشترین تأثیر را داشت. بر این اساس در روز پایانی آزمایش بیشترین مقدار ترکیبات فنولی مربوط به میوه‌هایی بود که با پوترسین ۲ میلی‌مولار تیمار شده بودند (به ترتیب ۶۸۱/۷۶ و ۶۵۱/۴۰ میلی‌گرم اسید گالیک بر گرم وزن تر برای میوه‌های تیمار نشده و شده با پرتو فرابنفش).

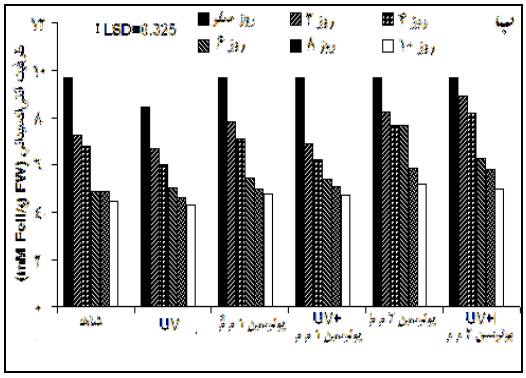
پرتوتابی با UV-C نیز سبب حفظ بیشتر غلظت مواد فنولی گردید هر چند اثر آن اندک بود و در برخی مقاطع آنالیز معنی‌دار گردید (به خصوص روز ششم نگهداری). این نتایج با گزارش ارکان و همکاران[4] (۲۰۰۸) در زمینه تأثیر مثبت پرتو فرابنفش بر غلظت ترکیبات فنولی میوه توت‌فرنگی مطابقت داشت. تجمع پلی‌آمین‌ها در بافت‌های گیاهی در معرض تنش نیز، علاوه بر تحریک سنتز ترکیبات فنولی از طریق فعال کردن آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز، با اتصال به این ترکیبات از اکسایش آن‌ها در طول زمان جلوگیری کرده و غلظتشان را در بالاترین سطح ممکن نگه می‌دارند (کوستا و همکاران[5]، ۲۰۰۶).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: بر اساس نتایج این پژوهش تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مواد فنولی و آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" روندی مشابه نشان دادند و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه با افزایش محتوی مواد فنولی و رنگیزه آنتوسیانین آن افزایش یافت، به گونه‌ای که در روز ۱۰ نگهداری، تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار با بیشترین محتوی ترکیبات فنولی، رنگیزه آنتوسیانین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مؤثرترین تیمار در حفظ ارزش غذایی میوه مورد مطالعه بود (شکل ۶-ب). همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های تیمار شده با پوترسین ۱ میلی‌مولار در روز دهم (۴/۷۶ میلی‌مول آهن II بر گرم وزن تر) به طور معنی‌داری بیشتر از میوه‌های شاهد (۴/۴۸ میلی‌مول آهن II بر گرم وزن تر) بود. استفاده از پرتو UV-C نیز ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را در تیمار پوترسین ۲ میلی‌مولار به طور معنی‌داری افزایش داد. در آزمایشات انجام شده توسط ارکان و همکاران (۲۰۰۸) نیز میوه‌های توت‌فرنگی قرار گرفته در معرض پرتو UV-C ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر و عمر قفسه‌ای بیشتری نشان دادند. یو و همکاران[6] (۲۰۰۹) نشان دادند که پلی‌آمین‌ها یا به طور مستقیم با گرفتن رادیکال‌های آزاد و یا به طور غیر مستقیم با کاهش فعالیت آنزیم‌های تولید کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن، از شدت تنش‌های اکسایشی می‌کاهند و بدین ترتیب به حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کنند.

رنگ ظاهری پوست میوه: آنالیز رنگ سطحی میوه‌های توت‌فرنگی نشان داد که زاویه هیو در میوه‌های تیمار شده با پوترسین ۱ و ۲ میلی مولار تغییر کمتری یافت و پرتو فرابنفش تأثیری بر این پارامتر نداشت. تأثیر

1- Cecilan *et al.*
2- Pan *et al.*
3- Baka *et al.*
4- Erkan *et al.*
5- Costa *et al.*
6- Yiu *et al.*





شکل ٦- اثر برهمکنش تیمار با پرتو فرابنفش با غلظت‌های مختلف پوترسین بر غلظت مواد فنولی (الف) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (ب) میوه توت‌فرنگی رقم "سلوا" طی دوره نگهداری. *: میلی‌مولار

(اختلاف آماری ستون‌ها بر اساس LSD در سطح ۵٪ قابل مقایسه می‌باشد).

جدول ۲- اثر برهمکنش تیمار با پرتو فرابنفش با غلظت‌های مختلف پوترسین بر مؤلفه‌های رنگی *L، هیو و کروما

پرتو فرابنفش	پلی‌آمین	مؤلفه رنگی	روزهای انباری					
			روز ۰	روز ۲	روز ۴	روز ۶	روز ۸	روز ۱۰
شاهد	شاهد	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۵۱/۷۶±۱/۲۰	۵۱/۰۰±۱/۰۰	۴۸/۶۷±۱/۸۶	۴۸/۰۰±۱/۵۳	۴۵/۰۰±۱/۷۳
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۲۹/۸۰±۰/۹۹	۳۲/۰۶±۰/۴۹	۳۱/۲۱±۱/۲۵	۳۱/۵۱±۲/۶۳	۳۶/۹۸±۰/۱۲
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۶۵/۸۸±۱/۰۴	۶۰/۲۱±۲/۷۱	۵۲/۳۹±۳/۴۱	۴۴/۲۳±۱/۳۰	۳۵/۲۰±۱/۲۰
	پوترسین ۱ میلی‌مولار	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۵۲/۶۷±۰/۸۸	۵۳/۰۰±۱/۵۳	۴۷/۶۷±۱/۴۵	۴۷/۰۰±۲/۰۰	۴۴/۰۰±۰/۵۸
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۳۲/۶۰±۰/۸۴	۳۲/۰۶±۰/۲۷	۳۴/۵۴±۱/۵۸	۳۲/۰۲±۱/۴۷	۲۹/۳۸±۰/۵۳
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۶۱/۰۴±۲/۷۲	۵۹/۹۳±۲/۳۱	۵۳/۹۶±۱/۶۲	۵۳/۰۹±۲/۳۲	۴۹/۸۷±۱/۷۴
	پوترسین ۲ میلی‌مولار	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۴۲/۳۳±۱/۲۰	۵۲/۳۳±۲/۰۳	۵۲/۳۳±۲/۰۳	۴۸/۳۳±۲/۳۴	۴۷/۰۰±۱/۵۳
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۳۴/۰۵±۱/۲۴	۳۱/۶۲±۱/۲۴	۳۱/۶۲±۱/۲۴	۳۲/۶۰±۰/۸۵	۳۱/۶۲±۱/۳۵
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۵۵/۹۶±۰/۶۸	۵۹/۸۸±۳/۱۰	۵۹/۸۸±۳/۱۰	۵۵/۰۳±۰/۲۳	۶۰/۳۵±۲/۸۷
۰/۷۲ (کیلوژول بر متر مربع)	شاهد	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۵۱/۳۳±۲/۰۳	۵۲/۳۳±۰/۶۷	۴۷/۳۳±۲/۰۳	۴۵/۶۷±۱/۷۷	۴۱/۶۷±۲/۳۴
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۳۰/۱۰±۰/۶۵	۳۲/۴۷±۰/۳۶	۳۳/۲۳±۱/۶۶	۳۰/۶۵±۲/۷۶	۳۷/۴۶±۳/۰۰
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۶۱/۶۹±۲/۲۲	۶۳/۲۵±۲/۶۳	۵۱/۳۶±۳/۸۸	۴۵/۲۷±۲/۸۷	۴۱/۹۲±۱/۶۸
	پوترسین ۱ میلی‌مولار	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۵۳/۰۰±۲/۳۱	۴۸/۳۳±۴/۱۸	۴۹/۶۷±۲/۴۱	۵۰/۶۷±۰/۶۷	۴۶/۳۳±۱/۸۶
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۱/۱۳±۳۵/۰۸	۳۲/۲۰±۰/۴۷	۳۳/۸۱±۰/۴۶	۳۳/۸۸±۱/۷۱	۳۰/۶۷±۰/۶۱
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۵۹/۸۵±۰/۹۱	۵۸/۷۳±۳/۴۷	۶۰/۵۶±۲/۹۶	۶۰/۱۵±۴/۲۹	۵۶/۲۰±۱/۵۲
	پوترسین ۲ میلی‌مولار	*L*	۴۸/۶۷±۱/۲۰	۴۶/۶۷±۲/۰۳	۵۲/۳۳±۲/۱۹	۵۰/۶۷±۰/۳۳	۴۸/۰۰±۰/۵۸	۴۹/۶۷±۱/۴۵
		هیو	۳۴/۰۶±۰/۹۵	۳۲/۸۱±۳/۱۰	۳۳/۰۹±۱/۷۴	۳۴/۵۸±۰/۹۰	۳۲/۱۷±۱/۳۱	۳۳/۲۳±۱/۶۶
		کروما	۷۳/۴۳±۱/۳۰	۵۴/۶۲±۰/۹۲	۶۵/۳۳±۱/۱۹	۶۳/۵۳±۱/۱۵	۵۸/۷۶±۲/۳۷	۶۶/۵۳±۱/۰۱

تیمارهای اعمال شده بر درجه روشنایی نیز از وضعیت مشابهی برخوردار بود (جدول ۲). مقدار کروما باگذشت زمان کمتر شد و تیمار با پلی‌آمین توانست تغییرات آن را کمتر نماید. تیمار با پرتو فرابنفش نیز توانست تا حدود زیادی از کاهش کروما جلوگیری نماید به گونه‌ای که مقدار آن برای میوه تیمار شده با پوترسین ۲ میلی‌مولار و پرتوتابی شده در روز دهم نسبت به میوه تیمار نشده با پرتو فرابنفش به ترتیب ۶۶/۵۳ و ۶۰/۳۵ بود.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این آزمایش نشان داد که کاربرد خارجی پوترسین توانست به نحو مؤثری بر حفظ خصوصیات کیفی میوه توت‌فرنگی شامل سفتی بافت، از دست دهی آب، ویتامین ث، غلظت آنتوسیانین، مواد فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر بگذارد و از میان ۲ غلظت مورد مقایسه، در بیشتر موارد پوترسین ۲ میلی‌مولار مؤثرتر از غلظت ۱ میلی‌مولار عمل نمود. پرتوتابی با نور فرابنفش نیز توانست در حفظ آنتوسیانین کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار کروما مؤثر واقع شود. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که میوه‌های شاهد پس از روز ششم نگهداری از نظر بیشتر شاخص‌های کیفی مورد بررسی، افت قابل توجهی داشتند، در حالی که میوه‌های تیمار شده با پوترسین ۲ میلی‌مولار و قرار گرفته در معرض پرتو UV-C پس از گذشت ۱۰ روز هنوز قابل عرضه به بازار بودند.

منابع

1. Allendea, A., McEvoyb, J.L., Luob, Y., Artesc, F., and Wang, C.Y. 2006. Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibition natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed ‘Red Oak Leaf’ lettuce. Food Microbiology, 23: 241–249.

2. An, L.Z., Liu, G.X., Zhang, M.X., Chen, T., Liu, Y.H., and Feng, H.Y. 2004. Effect of enhanced UV-B radiation on polyamine content and membrane permeability in cucumber leaves. Russian Journal of Plant Physiology, 51: 658–662.

3. Baka, M., Mercier, J., Corcuff, R., Castaigne, F., and Arul, J. 1999. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. Journal of Food Science, 64: 1068-1072.

4. Barka, E.A., Kalantari, S., Makhlouf, J., and Arul, J. 2000. Impact of UVC irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 48: 667–671.

5. Benzie, I.F.F., and Strain, J.J. 1996. Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. Annual Biochemistry, 239: 70–76.

6. Cecilan, M., Jeffrey, N.N., Brecht, K., Morais, M.M.B., and Sargent, S.A. 2005. Possible influences of water loss and polyphenol oxidase activity on anthocyanin content and discoloration in fresh ripe strawberry during storage at 1°C. Journal of Food Science, 70: 79-84.

7. Cordenunsi, B.R., Nascimento, J.R.O., Genovese, M.I. and Lajolo, F.M. 2003. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 2581–2586

8. Costa, L., Vicente, A.R., Civello, P.M., Chaves, A.R., and Mart´ınez, G.A. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. Postharvest Biology and Technology, 39: 204–210.

9. Erkan, M., Wang, S.Y., and Wang, C.Y. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. Postharvest Biology and Technology, 48: 163-171.

10. Ferreira, M.D., Sargent, S.A., Brecht, J.K., and Kellman, C. 2008. Strawberry fruit resistance to simulated handling. Scientia Agricola, 65: 490-495.

11. Gonzalez-Aguilar, G., Wang, C.Y., and Buta, G.J. 2004. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 84: 415-422.

12. Jagadeesh, S.L., Charles, M.T., Gariepy, Y., Goyette, B., Raghava, G.S.V., and Vigneault, C. 2009. Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. Food and Bioprocess Technology, 4: 1463-1472.

13. Kaur-Sawhney, R., Tiburcio, R.F., Altabella, T., and Galston, A.W. 2003. Polyamines in plants. Journal of Cell and Molecular Biology, 2: 1–12.

14. Larsen, M. and Watkins, C.B. 1995. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. Postharvest Biology and Technology, 5: 39–50.

15. Leiting, V.A., and Wicker, L. 1997. Inorganic cations and polyamines moderate pectin esterase activity. Journal of Food Science, 62: 253-255.

16. Liu, L.H., Zabaras, D., Bennett, L.E., Aguas, P., and Woonton, B.W. 2009. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. Food Chemistry, 115: 495–500.

17. Maharaj, R., Arul, J., and Nadeau, P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. Postharvest Biology and Technology, 15: 13–23.

18. Malik A.U., and Singh, Z. 2005. Pre-storage application of polyamines improves shelf-life and fruit quality of mango. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80: 363-369.

19. Martinez-Romero, D., Valero, D., Riquelme, F., Zuzunaga, M., Serrano, M., Burlo, F., and Carbonell, A. 2001. Infiltration of putrescine into apricots helps handling and storage. Acta Horticulturae, 553: 189–192.

20. Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Mart´ınez-Romero, D., Guill´en, F., Valverde, J.M., Zapata, P.J., Serrano, M., and Valero, D. 2007. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: Role of polyamines. Postharvest Biology and Technology, 44: 19–25.

21. Pan, J., Vicente, A.R., Martiinez, G.A., Chaves, A.R., and Civello, P.M. 2004. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. Journal of the Science of Food and Agriculture. 84: 1831-1838.

22. Pelayo, C., Ebeler, S.E., and Kader, A.A. 2003. Post-harvest life and flavour quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air + 20 Kpa CO_2. Postharvest Biology and Technology, 27: 171-183.

23. Ramin A.A., and Tabatabaie, F. 2003. Effect of various maturity stages at harvest on storability of persimmon fruits (*Diospyros kaki* L.). Journal of Agricultural Science and Technology, 5: 113-123.

24. Shama, G., and Alderson, P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. Trends in Food Science Technology, 16: 128–136.

25. Slinkard, K., and Singleton, V.L., 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. American Journal of Enology and Viticulture. 28: 49–55.

26. Torrigiani, P., Bregoli, A.M., Ziosi, V., Scaramagli, S., Ciriaci, T., Rasori, A., Biondi, S., and Costa, G. 2004. Pre-harvest polyamine and aminoethoxyvinylglycine (AVG) applications modulate fruit ripening in Stark Red Gold nectarines (*Prunus persica*). Postharvest Biology and Technology, 33: 293–308.

27. Valero, D., Perez-vicente, A., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Guillen F., and Serrano, M. 2002. Plum storability improved after calcium and heat postharvest treatments: role of polyamines. Journal of Food Science, 67: 2571-2575.

28. Vicente, A.R., Repice, B., Martiinez, G.A., Chaves, A.R., Civello, P.M., and Sozzi, G.O. 2004. Maintenance of fresh boysenberry fruit quality with UV-C light and heat treatments combined with low storage temperature. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 79: 246-251.

29. Wrolstad, R.E. 1976. Color and pigment analyses in fruit products. In: Agricultural Station Bulletin 624, Oregon State University, 17 p.

30. Yam, K.L., and Papadakis, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analysing color of food surfaces. Journal of Food Engineering, 61: 137-142

31. Yiu, J.C., Juang, L.D., Fang, D.Y.T., Liu, S.W., and Wua, S.J. 2009. Exogenous putrescine reduces flooding-induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. Scientia Horticulturae, 120: 306–314.