

تأثیر پرتو تابی با UV-C بر کنترل پوسیدگی خاکستری و کیفیت پس از برداشت توت‌فرنگی (سلوا)

یونس مستوفی^{۱*} و ابوالفضل اصغری مرجانلو^۲
۱، ۲، دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۵ - تاریخ تصویب: ۸۸/۳/۶)

چکیده

توت‌فرنگی به عنوان یکی از میوه‌های بسیار فساد پذیر در معرض حمله عوامل قارچی به ویژه قارچ بوتریس سینرا (*Botrytis cinerea*) بوده بنابراین عمر انباری آن بسیار کوتاه می‌باشد. استفاده از ترکیبات شیمیایی مصنوعی برای کنترل پوسیدگی خاکستری توت‌فرنگی و سایر میوه‌هایی که به مصرف مستقیم انسان می‌رسند، دارای محدودیت‌هایی است. بنابراین استفاده از روش‌های غیرشیمیایی و سالم برای کنترل پوسیدگی خاکستری در محصولات باغبانی ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف کنترل قارچ بوتریس سینرا با استفاده از نور فرابنفش در طول موج ۲۵۴ نانومتر انجام گرفت. پس از آلوده سازی میوه‌ها با قارچ بوتریس سینرا، نور فرابنفش در شدت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۵ و ۵ کیلوژول بر مترمربع روی میوه‌های آلوده شده تیمار شد و میوه‌ها در دمای ۳ درجه سانتیگراد انبار شدند. سپس شاخص‌های کیفی از قبیل میزان پوسیدگی، رنگ، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص رسیدگی، ویتامین C و درصد کاهش وزن، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تیمار فرابنفش در شدت‌های بهینه، از رشد قارچ بوتریس سینرا جلوگیری کرده و در عین حال روی اکثر پارامترهای کیفی تاثیر مثبت دارد به طوری که میوه‌های تیمار شده با نور فرابنفش در شدت‌های بهینه در مقایسه با میوه‌های شاهد، میزان پوسیدگی قارچی پایین، سفتی بالا، ارزش‌های رنگی (L^* ، a^* ، b^* و زاویه هیو) بهتر، درصد کاهش وزن کمتر، میزان مواد جامد محلول بیشتر، pH بالا و اسیدیته قابل تیتراسیون پایین تری داشتند. طبق نتایج می‌توان گفت که نور فرابنفش در شدت‌های بهینه، می‌تواند جایگزین مواد شیمیایی به خصوص قارچ‌کش‌ها در انبارمانی محصولات باغبانی بشود.

واژه‌های کلیدی: نور فرابنفش، توت‌فرنگی، قارچ، شاخص‌های کیفی.

مقدمه

می‌باشد (Dris et al., 2001). طبق گزارش سازمان خواروبار جهانی (FAO) میزان تولید جهانی توت‌فرنگی در سال ۲۰۰۵ بیش از ۳/۱ میلیون تن بوده است (Dris et al., 2001; Wszelaki et al., 2003). کیفیت توت‌فرنگی به ظاهر میوه (رنگ، اندازه، شکل، بدون عیب)، سفتی و عطر و طعم و ارزش تغذیه‌ای آن بستگی دارد. قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات معطر در طعم

توت‌فرنگی (*Fragaria*, Spp) یکی از اعضای جنس (*Fragaria*) از خانواده رزاسه^۱ می‌باشد. توت‌فرنگی دارای میوه نافرارگرا^۲ بوده و میزان تنفس آن بالا

1. Rosaceae
2. Non-climacteric

میوه‌ها و سبزی‌ها مثل سیب، انبه، کامکوات، هلو، پیاز، سیب زمینی و گوجه‌فرنگی، سیب زمینی شیرین و فلفل سبز کنترل می‌کند. پرتوتابی انبه^۲ با نور فرابنفش در شدت ۲/۴۶-۴/۹۳ کیلوژول بر مترمربع سبب می‌شود تا ظاهر میوه بهتر حفظ شود و پوسیدگی کاهش یافته و عمر انباری میوه افزایش یابد. این اثرات سودمند حاصل از پرتوتابی به افزایش سطوح ترکیبات فنل کل و فلاونوئیدهای کل و نیز افزایش فعالیت آنزیم‌های لیپوکسیژناز و فنیل آلانین آمونیلیاز نسبت داده می‌شود که به افزایش عمر انباری در عین حال ظاهر خوب میوه منجر می‌شود (Gonzalez-Aguilar et al., 2007). شدت‌های پایین نور فرابنفش به عنوان یک روش برای به تأخیر انداختن فرآیند پیری و رسیدن در هلو و سیب و گوجه‌فرنگی، نارنگی‌های ماندارین و پرتقال مناسب می‌باشد (Shishon et al., 1992). نور فرابنفش در شدت‌های مناسب در فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده دیواره سلولی (پلی گالاکتوناز، پکتین متیل استراز، سلولاز، زیلوناز، بتا-D گالاکتوزیداز و پروتئاز) تأثیر داشته و فعالیت این آنزیم‌ها را کاهش می‌دهد. بنابراین سفتی میوه‌های تیمار شده با نور فرابنفش بیشتر از میوه‌های تیمار نشده گزارش شده است (Barka et al., 2000). پژوهش‌های جدید روی پرتقال نشان داده که عکس‌العمل میوه به نور فرابنفش برای کنترل پوسیدگی و تجمع فیتوالکسین‌ها، به رقم، شدت نور فرابنفش و مدت زمان تیمار بستگی دارد. البته یک شدت بهینه برای ایجاد حداکثر مقاومت در میوه وجود دارد که تعیین آن برای هر میوه به پژوهش جداگانه‌ای نیاز دارد. مقاومت گریپ فروت‌های تیمار شده با نور فرابنفش در برابر قارچ پنسیلیوم^۳ به انگیزش چیتیناز و بتا-۱ و ۳- اندوگلوکاناز در پوست میوه نسبت داده می‌شود (D-hallewin et al., 2000). استفاده از ترکیبات شیمیایی مصنوعی برای کنترل بیماری‌های قارچی بر روی آن دسته از محصولاتی که به مصرف مستقیم انسان می‌رسند، دارای محدودیت‌هایی است. این پژوهش با هدف کنترل پوسیدگی خاکستری با استفاده از امواج

توت‌فرنگی که ترکیبی از مزه^۱ و بو^۲ می‌باشد، نقش دارند. توت‌فرنگی منبع خوبی از نظر ویتامین C بوده و بنابراین فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی دارد. فعالیت آنتی اکسیدانی این میوه بیشتر به دلیل حضور آنتوسیانین است که از اکسیداسیون لیپوپروتئین‌های سبک در سلول‌های بدن انسان جلوگیری کرده و در نتیجه از فعالیت رادیکال‌های آزاد و کاهش قدرت حافظه جلوگیری می‌کند (Dris et al., 2001; Meyer et al., 2003). توت‌فرنگی به دلیل میزان تنفس بالا، مقدار آب زیاد (در حدود ۹۱/۵٪)، فعالیت متابولیکی بالا و حساسیت به پوسیدگی قارچی به ویژه کپک خاکستری، یکی از میوه‌های بسیار فسادپذیر بوده و طول عمر پایینی دارد (Wright., 1997; Harker et al., 2000; Dris et al., 2001). از طرف دیگر با توجه به اینکه مدت زمان بین برداشت تا مصرف میوه بسیار کوتاه است بنابراین کاربرد مواد شیمیایی برای کنترل بیماری‌ها و حفظ کیفیت آن باید با دقت بیشتری صورت گیرد (Bautista-Banos et al., 2003). از میان بیماری‌های مهم پس از برداشت توت‌فرنگی، پوسیدگی خاکستری خیلی مهم بوده و بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است. علائم این بیماری به این صورت است که بافت‌های آلوده به رنگ صورتی تیره تا قهوه‌ای در آمده و تمام میوه ممکن است بدون از هم پاشیدگی، به طور کامل پوسیده شود. در روی بافت آلوده میوه میسیلیوم‌های سفیدی نمایان می‌شود که در زمان اسپوردهی به رنگ خاکستری در می‌آید. از جمله روش‌های غیرشیمیایی کنترل بیماری‌ها و افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌ها، استفاده از امواج نوری در طول موج‌های کوتاه مانند اشعه گاما، اشعه ایکس، امواج صوتی و نور فرابنفش است که امروزه بیش از ۴۰ کشور جهان استفاده از پرتوتابی مواد غذایی را پذیرفته‌اند (Mortazavi et al., 2002).

استفاده از نور فرابنفش در طول موج معین و در شدت پایین، می‌تواند در جلوگیری از بیماری‌های پس از برداشت محصولات باغی مفید واقع شود. نشان داده شده که نور فرابنفش پوسیدگی انباری را در تعدادی از

3. *Mango. cv. Haden*
4. *Penicillium digitatum*

1. Taste
2. Odor or aroma

خصوصیات مورد اندازه گیری میوه

سفتی میوه با استفاده از پنترومتر با قطر دهانه ۴ میلی‌متر و رنگ با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج در دو نقطه مقابل هم از میوه، pH با دستگاه pH متر و مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتومتر دستی اندازه‌گیری شد. شاخص رسیدگی که نسبت مواد جامد محلول به درصد اسیدیته می‌باشد، محاسبه شد. اسیدیته قابل تیتراسیون با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن $pH = 8/1$ اندازه‌گیری شد. درصد کاهش وزن میوه‌ها در طول دوره انبارمانی محاسبه شد. ویتامین C با استفاده از روش تیتراسیون با یدور پتاسیم تعیین شد. میزان پوسیدگی میوه‌ها به صورت ظاهری با استفاده از درجه بندی به شرح زیر ارزیابی شد (۰: میوه سالم، ۱: کمتر از ۱۰٪ میوه پوسیده، ۲: ۲۰-۱۱٪، ۳: ۳۰-۲۱٪، ۴: ۴۰-۳۱٪، ۵: ۵۰-۴۱٪، ۶: ۶۵-۵۱٪، ۷: ۸۰-۶۶٪ و ۸: بیش از ۸۰٪ میوه‌ها پوسیده شده باشند (Nigro et al., 2000). آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC آنالیز شد.

نتایج و بحث

پوسیدگی خاکستری

نتایج نشان می‌دهد که تیمار فرابنفش اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر کاهش میزان پوسیدگی قارچی میوه‌ها دارد (شکل ۱). به طوری که بیشترین میزان پوسیدگی در تیمار شاهد و ۵ کیلوژول بر مترمربع و کمترین میزان پوسیدگی در تیمارهای ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ کیلوژول بر مترمربع مشاهده شد. با افزایش شدت نور فرابنفش از ۰/۲۵ تا ۲/۵ کیلوژول بر مترمربع، میزان پوسیدگی کاهش پیدا نموده ولی در تیمار ۵ کیلوژول بر مترمربع میزان پوسیدگی قارچی شدیداً افزایش می‌یابد. بین تیمارهای ۲/۵ و ۱/۵ کیلوژول بر مترمربع که کمترین میزان پوسیدگی را دارند، از نظر میزان پوسیدگی تفاوتی وجود ندارد. میوه‌های شاهد در روز ۱۲ از بین رفته در صورتی که ۱۵ روز پس از انبارمانی در تیمار ۵ کیلوژول بر مترمربع ۶۵-۵۱ درصد آلودگی مشاهده می‌شد، سایر تیمارها کمتر از ۳۰ درصد آلودگی نشان می‌دادند. نتایج فوق با نتایج آزمایش‌های پژوهشگران متعددی هم‌خوانی دارد. برای مثال

نور فرابنفش بر روی توت‌فرنگی انجام گرفت تا امکان جایگزینی آن با مواد شیمیایی مصنوعی برای کنترل بیماری‌های انباری بررسی شود.

مواد و روش‌ها

تهیه و آلوده‌سازی میوه‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی در مرحله‌ای که ۸۰-۷۵ درصد رنگ قرمز گرفته بودند برداشت شده و به آزمایشگاه منتقل شد و از لحاظ شکل، رنگ، اندازه، عاری بودن از آفات و بیماری‌ها و صدمات ظاهری جدا شدند. میوه‌های انتخاب شده با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم با غلظت ۱۰۰ میکرو لیتر بر لیتر ضد عفونی شده و پس از خشک شدن در دمای اتاق، با سوسپانسیون قارچ بوتریس سینرا که دارای 10^6 کنیدی در هر میلی‌لیتر بود، آلوده سازی شدند (Marquenie et al., 2003).

تیمار میوه‌ها با نور فرابنفش

نور فرابنفش در شدت‌های ۰، ۰/۲۵، ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۵ و ۵ کیلوژول بر مترمربع بعد از آلوده سازی میوه‌ها با قارچ بوتریس سینرا اعمال شد. برای اعمال تیمارها، بر اساس شدت نور لامپ‌های UV-C، لازم است که میوه‌ها به مدت زمان معینی در معرض نور فرابنفش قرار بگیرند که برای تیمارهای فوق به ترتیب ۵۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ثانیه می‌باشد. برای اعمال تیمارها از دو عدد لامپ UV-C (۳۰ وات ساخت شرکت فیلیپس به طول ۹۰ و به قطر ۲/۵ سانتی‌متر با حداکثر طول موج ۲۵۴ نانومتر) استفاده شد و شدت نور با استفاده از یک رادیومتر UVX مجهز به سنسور UVM-254 اندازه گیری شد. میوه‌ها در سینی پلاستیکی چیده شده و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از منبع نور فرابنفش قرار داده شد برای اینکه تمام سطوح میوه تحت تأثیر نور فرابنفش قرار گیرد میوه‌ها حول محور اصلی چرخیده شدند. بعد از تیمار، میوه‌ها در ظروف یکبار مصرف قرار داده شده و به انبار با دمای ۳ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. در تیمار شاهد میوه‌ها با قارچ آلوده شدند ولی تحت تیمار نور فرابنفش قرار نگرفتند (Marquenie et al., 2003).

معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد (جدول ۱) به طوری که بیشترین میزان pH در تیمار ۰/۲۵ و ۰/۷۵ بوده و کمترین میزان pH در تیمار ۵ کیلوژول بر مترمربع مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد کاهش pH به دلیل آسیب ناشی از شدت بالای نور فرابنفش در تیمار ۵ کیلوژول بر مترمربع می‌باشد که باعث افزایش تنفس، کاهش قندها و افزایش اسیدهای آلی (در چرخه کربس) می‌شود. این نتایج با یافته‌های Stevens et al. (1998) و Lu et al. (1991) هم‌خوانی دارد که نشان دادند در هلوهای رقم لورینگ و سیب‌های گلدن دلشیز با افزایش شدت و مدت پرتوتابی، میزان pH کاهش می‌یابد.

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

نتایج نشان می‌دهد که تیمار با نور فرابنفش اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر میزان TA دارد (جدول ۱). به طوری که بیشترین میزان TA از نظر عددی در تیمارهای ۰/۲۵، ۰/۷۵ و ۵ کیلوژول بر مترمربع بوده که با شاهد اختلاف معنی‌داری دارند. این نتایج با یافته‌های Stevens et al. (1998) و Lu et al. (1991) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که TA در هلوهای رقم لورینگ و آلبرتا و سیب گلدن دلشیز که تحت تابش نور فرابنفش با شدت‌های مختلف قرار گرفته بودند، با افزایش شدت نور فرابنفش، افزایش یافته است.

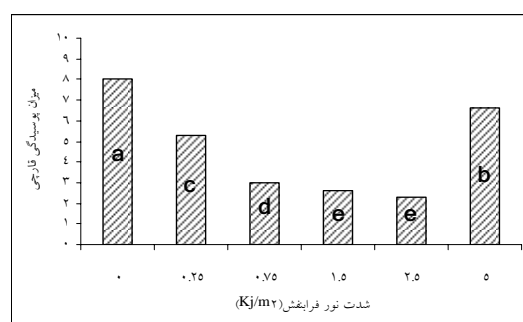
درخشندگی (L*)

نتایج نشان می‌دهد که تیمار با نور فرابنفش اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر میزان درخشندگی (L*) میوه‌های توت‌فرنگی دارد به طوری که بیشترین میزان درخشندگی در میوه‌های تیمار شده با نور فرابنفش بوده و با شاهد که کمترین درخشندگی را نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری دارند (جدول ۱).

ارزش a*

زمان انبارمانی در سطح احتمال ۱٪ روی شاخص a* اثر معنی‌داری دارند. بیشترین میزان a* تا ۶ روز بعد از انبارمانی بوده و بعد از آن کاهش می‌یابد. در زمان شروع آزمایش a* پایین بوده برای اینکه میوه‌ها در مرحله‌ای که ۷۵-۸۰ درصد رنگ گرفته بودند به آزمایشگاه آورده شدند و با گذشت زمان a* بیشتر شده چون که با پیشرفت مراحل بلوغ و رسیدگی میوه‌ها بیشتر رنگ گرفته و میزان قرمزی آن‌ها بیشتر می‌شود ولی علت

D'hallewin et al. و Fonseca & Rushing (2006) (2000) که نشان دادند، تیمار فرابنفش باعث کاهش پوسیدگی قارچی به ترتیب هندوانه و گریپ فروت می‌شود. دو تفسیر برای کاهش پوسیدگی انباری توسط نور فرابنفش مطرح است که عبارتند از اینکه اولاً نور فرابنفش خاصیت میکروب کشی داشته و از طریق صدمه به DNA میکروارگانیسم‌ها، آن‌ها را غیرفعال می‌سازد و میزان کنترل‌کنندگی به شدت نور فرابنفش و سطحی از میوه که تحت تاثیر تابش قرار می‌گیرد، بستگی دارد. سطح میوه توت‌فرنگی کاملاً مسطح نبوده بلکه با فندقه‌های زیادی که به عنوان سپری برای اسپورهای قارچ عمل می‌کند پوشیده شده است. وجود این فندقه‌ها از اثر مستقیم نور فرابنفش روی قارچ جلوگیری می‌کند. کاهش اثر بازدارندگی نور فرابنفش روی قارچ در شدت‌های بالا به دلیل صدمه‌ای است که به بافت میوه وارد می‌سازد. نقاط صدمه دیده که به رنگ قهوه‌ای در می‌آیند، نقاط مناسبی برای رشد اسپورهایی می‌باشد که در لابلای فندقه‌های توت‌فرنگی قرار گرفته و از اثر نور فرابنفش در امان مانده‌اند. علاوه بر آن نور فرابنفش از طریق فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی باعث القای مقاومت در برابر عوامل قارچی می‌شود. القای مقاومت از طریق تولید یکسری مواد ضد قارچی به نام فیتوالکسین‌ها صورت می‌گیرد که جزو متابولیت‌های ثانویه گیاهی بوده و در کنترل فساد محصولات کشاورزی نقش دارند (Gonzalez-Aguilar, 2007).



شکل ۱- تاثیر شدت‌های مختلف نور فرابنفش بر میزان پوسیدگی توت‌فرنگی (سلوا)

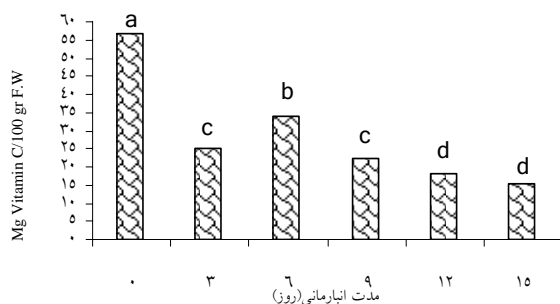
pH

نتایج نشان می‌دهد که بین میوه‌های تیمار شده با نور فرابنفش و میوه‌های شاهد از نظر pH اختلاف

افزایش فعالیت آنزیم‌های لیپوکسیژناز و فنیل‌آلانین آمونیلایز (PAL) می‌شود (D'Hallewin et al., 2000). بنابراین تأثیر مثبت نور فرابنفش بر رنگ میوه معقول به نظر می‌رسد.

اسید آسکوربیک

نتایج نشان می‌دهد که زمان انبارمانی در سطح احتمال ۱٪ اثر معنی‌داری بر میزان اسید آسکوربیک در توت‌فرنگی دارد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان ویتامین C در زمان شروع آزمایش بوده ولی ۳ روز پس از شروع آزمایش شدیداً کاهش یافته و دوباره در روز ۶ افزایش و با گذشت زمان کاهش یافته و در روز ۱۵ به پایین‌ترین میزان خود رسیده است. دلیلی که Wright & Kader (1997)، برای این امر آورده‌اند این است که اولاً ضد عفونی میوه با مواد ضد عفونی‌کننده مانند هیپوکلریت سدیم باعث اکسیداسیون اسید آسکوربیک احیا شده (RAA) می‌شود (از نظر فیزیولوژیکی فرم فعال اسید آسکوربیک است) ولی در میزان اسید آسکوربیک کل (TAA) تغییری ایجاد نمی‌کند. علاوه بر آن Grantz et al. (1995) اعلام کردند که سطح mRNA رادیکال آزاد آسکوربات ردوکتاز، با ایجاد زخم افزایش پیدا می‌کند. به احتمال زیاد پرتوتابی با نور فرابنفش نیز مکانیسمی مشابه ایجاد زخم دارد. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که واکنش تبدیل اسید آسکوربیک احیا شده (RAA) به دی هیدرو اسکوربات (DHA) یک واکنش برگشت پذیر بوده و به وسیله آنزیم آسکوربات ردوکتاز به فرم فعال تبدیل می‌شود.



شکل ۲- تغییرات میزان ویتامین C در اثر تیمار با نور فرابنفش در طول دوره انبارمانی

علاوه بر این Tolbert & Ward (1982) اعلام کردند که بعضی از واکنش‌هایی که در اثر نور فرابنفش در

اینکه بعد از مدتی دوباره a^* کم می‌شود، به دلیل ایجاد لکه‌های قهوه‌ای در شدت‌های بالای نور فرابنفش و توسعه قارچ روی میوه هست. همچنین تیمار نور فرابنفش روی شاخص a^* در سطح احتمال ۵٪ اثر معنی‌داری دارد به طوری که بیشترین میزان a^* در تیمار ۰/۲۵ و کمترین میزان a^* در تیمار شاهد مشاهده می‌شود. البته a^* در تمام سطوح نور فرابنفش نسبت به شاهد بهتر بوده است (جدول ۱).

ارزش b^*

نتایج نشان می‌دهد که زمان تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر شاخص b^* دارد به طوری که با گذشت زمان b^* کم می‌شود یعنی میوه‌ها به سمت آبی شدن پیش می‌روند و این یک امر طبیعی است چون با پیشرفت مراحل بلوغ و رسیدگی میوه‌های بیشتر رنگ گرفته و با توجه به این که آنتوسیانین رنگیزه غالب در توت‌فرنگی بوده و نیز آنتوسیانین طیف رنگی وسیعی از قرمز تا آبی را شامل می‌شود، بنابراین کاهش b^* صورت می‌گیرد. همچنین تیمار نور فرابنفش اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ روی b^* دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود کمترین میزان b^* در تیمار شاهد بوده و همه شدت‌های نور فرابنفش b^* را افزایش داده‌اند. این امر به اثر نور فرابنفش بر میزان آنتوسیانین دلالت می‌کند.

زاویه هیو

نتایج نشان می‌دهد که تیمار نور فرابنفش در سطح احتمال ۵٪ روی زاویه هیو اثر معنی‌داری دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود زاویه هیو در تیمار شاهد کمتر از تمام سطوح تیمار نور فرابنفش بوده است. به عبارت دیگر تیمار نور فرابنفش، رنگ میوه توت‌فرنگی را نسبت به شاهد بهتر حفظ کرده است. این نتایج با یافته‌های Hagen et al. (2007) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که پرتوتابی میوه‌های سیب رقم UV-B (*Malus domestica* Borkh, cv. Aroma) در مرحله پس از برداشت، سبب تجمع آنتوسیانین و بهبود رنگ میوه می‌شود. با توجه به این که آنتوسیانین جزو ترکیبات فنلی بوده و رنگیزه غالب در توت‌فرنگی می‌باشد و نیز با توجه به این که نور فرابنفش باعث فعال شدن مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات فنلی از طریق

و کاهش وزن آن بیشتر می‌باشد.

مواد جامد محلول (TSS)

نتایج نشان می‌دهد که تیمار نور فرابنفش تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ درصد روی TSS دارد. به طوری که بیشترین میزان TSS در تیمار ۰/۲۵ کیلوژول بر مترمربع و کمترین میزان TSS در تیمار Stevens et al. (1998) مشاهده می‌باشد. این نتایج با یافته‌های Stevens et al. (1998) هم‌خوانی دارد. آنها نشان دادند که درهلوهای رقم لورینگ و آلبرتا که تحت تابش نور فرابنفش با شدت‌های مختلف قرار گرفتند، با افزایش شدت نور فرابنفش، مقدار مواد جامد محلول کاهش یافت. به احتمال زیاد کاهش میزان TSS در تیمار شاهد به دلیل رشد قارچ بوتریس سینرا روی میوه است که به عنوان یک انگل مواد غذایی موجود در میوه از جمله قندها را مصرف کرده و باعث از بین رفتن آن‌ها می‌شود (جدول ۱).

شاخص رسیدگی

شاخص رسیدگی (TSS/TA) در طول دوره انبارمانی افزایش یافته است. به عبارت دیگر میوه‌ها با گذشت زمان شیرین‌تر شده‌اند. تیمار نور فرابنفش تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ درصد روی شاخص رسیدگی دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود پایین‌ترین میزان شاخص رسیدگی در تیمار ۵ کیلوژول بر مترمربع بوده است. این نتایج با یافته‌های Stevens et al. (1998) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که سیب‌های گلدن و رد دلشیز تیمار شده با نور فرابنفش به مدت ۱۵ دقیقه pH و TSS/TA پایین‌تری در مقایسه با میوه‌های پرتوتابی شده به مدت ۵ دقیقه داشتند.

سفتی

نتایج نشان می‌دهد که زمان اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ روی سفتی میوه توت‌فرنگی دارد به طوری که سفتی توت‌فرنگی بعد از ۱۵ روز انبارمانی به حداقل رسیده است. همچنین تیمار نور فرابنفش در سطح احتمال ۵٪ روی سفتی میوه توت‌فرنگی اثر معنی‌داری دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود نور فرابنفش در همه سطوح نسبت به شاهد بهتر عمل کرده

سیستم‌های زنده ایجاد می‌شوند، در بعضی موارد کاملاً برگشت پذیر می‌باشد که با قرار گرفتن در معرض نور با طول موج بلندتر به طور مشخص در معرض نور UV-A یا نور مرئی اتفاق می‌افتد (Allende et al., 2003). به احتمال زیاد تغییرات ویتامین C هم از اینچنین روندی پیروی می‌کند.

تیمار نور فرابنفش روی میزان ویتامین C اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، تیمار ۰/۲۵ کیلوژول بر مترمربع نسبت به بقیه تیمارها ویتامین C را در سطح بالایی نگه داشت. این نتایج با یافته‌های Hagen et al. (2007) که نشان دادند پرتوتابی با نور UV-B در مرحله پس از برداشت سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تجمع ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک در میوه‌های سیب رقم (*Malus domestica* Borkh, cv. Aroma) می‌شود، هم‌خوانی دارد. همچنین با نتایج Lu et al. (1991) که نشان دادند در سیب گلدن دلشیز پرتوتابی با نور فرابنفش اسیدیت و ویتامین C را افزایش می‌دهد، هم‌خوانی دارد.

درصد کاهش وزن

نتایج نشان می‌دهد که تیمار نور فرابنفش روی درصد کاهش وزن تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ دارد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین درصد کاهش وزن میوه در تیمار شاهد و ۵ کیلوژول بر مترمربع بوده و در بقیه تیمارها (۰/۲۵، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۲/۵ کیلوژول بر مترمربع) که همه تقریباً در یک سطح قرار دارند، درصد کاهش وزن پایین بود. این نتایج با یافته‌های Hagen et al. (2007) هم‌خوانی دارد که نشان دادند درصد کاهش وزن در سیب‌های تیمار شده با نور فرابنفش کمتر بوده و رطوبت آنها بیشتر حفظ می‌شود و علت آن را تحریک فعالیت آنزیم‌های لیگنینی کننده در اثر نور فرابنفش می‌دانند. علت این که در تیمار شاهد و تیمار UV-C در شدت ۵ کیلوژول بر مترمربع بالا است می‌تواند به این دلیل باشد که در تیمارهای فوق قارچ بوتریس سینرا به شدت در حال رشد در روی میوه بوده و مواد غذایی موجود در روی میوه را مصرف نموده و میوه را به سمت اضمحلال می‌برد و میوه در حال اضمحلال متابولیسم بالایی داشته

جدول ۱- تأثیر پرتوتابی با نور فرابنفش بر برخی از پارامترهای کیفی توت‌فرنگی (سلوا)

شدت نور UV-C						شاخص‌های کیفی
$\Delta KJ/m^2$	$2/5 KJ/m^2$	$1/5 KJ/m^2$	$0/75 KJ/m^2$	$0/25 KJ/m^2$	$0 KJ/m^2$	
۴۱/۰۳ ^{ab}	۳۹/۹۴ ^{bc}	۴۲/۰۳ ^a	۴۱/۶ ^{ab}	۴۲/۶ ^a	۳۸/۹۶ ^c	L*
۲۸/۲۹ ^a	۲۸/۰۲ ^a	۲۷/۷۹ ^a	۲۷/۲۴ ^{ab}	۲۹/۲ ^a	۲۵/۸۹ ^b	a*
۲۶/۲۴ ^{ab}	۲۴/۳۵ ^b	۲۶/۳ ^{ab}	۲۴/۸ ^b	۲۷/۶ ^a	۲۱/۵۶ ^c	b*
۴۲/۸ ^a	۴۰/۷ ^{ab}	۴۳/۵ ^a	۴۲/۲۹ ^{ab}	۴۲/۹۶ ^a	۳۹/۸ ^b	Hue°
۳/۵۸ ^c	۳/۶۴ ^b	۳/۶ ^c	۳/۷ ^{ab}	۳/۷۴ ^a	۳/۶ ^c	pH
۰/۸۹ ^a	۰/۸۹ ^a	۰/۸۵ ^{ab}	۰/۸۳ ^{ab}	۰/۸۸ ^a	۰/۸ ^b	اسیدیته قابل تیتراسیون (%)
۱۱/۷ ^{bc}	۱۱/۹ ^{bc}	۱۱/۸ ^{bc}	۱۲/۳ ^{ab}	۱۲/۷ ^a	۱۱/۵ ^c	مواد جامد محلول (%)
۱۳/۲۶ ^d	۱۳/۳۷ ^{cd}	۱۴/۰۹ ^{bc}	۱۵/۱۷ ^a	۱۴/۵۳ ^{ab}	۱۴/۲۸ ^b	شاخص طعم
۵/۱۸ ^a	۳/۳۸ ^b	۳ ^b	۲/۲۷ ^b	۲/۶۶ ^b	۵/۷ ^a	کاهش وزن (%)
۰/۹۴ ^a	۰/۸۹ ^{ab}	۰/۹۴ ^a	۱ ^a	۰/۸۸ ^{ab}	۰/۳۳ ^c	سفتی بافت (Kg/cm ²)
۲۶/۸ ^b	۲۷/۱۸ ^b	۲۷/۹ ^b	۲۸/۹ ^b	۳۲/۴ ^a	۲۸/۲ ^b	میزان ویتامین C (Mg.100g FW)

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

بیماری‌ها و حفظ کیفیت آن‌ها چندان قابل توصیه نیست. بنابراین علم فیزیولوژی پس از برداشت به دنبال یافتن روش‌های جدید و سالم برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات بوده تا از این طریق در تامین غذای جمعیت در حال افزایش دنیا قدمی بردارد. از جمله روش‌های غیرشیمیایی که اخیراً در دنیا جهت افزایش ماندگاری و کنترل بیماری‌های انباری میوه‌ها و سبزی‌ها استفاده می‌شود، استفاده از امواج نوری در طول موج‌های کوتاه مانند نور فرابنفش است. نتایج این آزمایش و آزمایش‌های مشابه بر روی محصولات دیگر پیشنهاد می‌کند که در نور فرابنفش در شدت‌های بهینه پتانسیل جایگزین شدن به جای مواد شیمیایی به خصوص قارچ‌کش‌ها در انبارمانی محصولات باغبانی را دارد ولی برای تجاری شدن این فرآیند به آزمایش‌های زیادی نیاز می‌باشد.

است. هرچند از نظر عددی بین سطوح مختلف نور فرابنفش از نظر تأثیر بر سفتی میوه اختلاف وجود دارد ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیست. این نتایج با یافته‌های Barka et al. (2000) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که نور فرابنفش در شدت‌های مناسب فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی (پلی گالاکتروناز، پکتین متیل استراز، سلولاز، زیلوناز، $D-\beta$ گالاکتوزیداز و پروتاز) را کاهش می‌دهد. بنابراین سفتی گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با نور فرابنفش بیشتر از شاهد گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اینکه محصولات باغبانی به ویژه میوه‌جات مستقیماً به مصرف می‌رسند و در بعضی محصولات مثل توت‌فرنگی فاصله زمانی بین برداشت تا مصرف بسیار کوتاه است بنابراین کاربرد مواد شیمیایی برای کنترل

REFERENCES

- Allende, A., Padilla, E. & Artes, F. (2003). Change in microbial and sensory quality of fresh processed UV-C treated Lollo Rosso lettuce. *Acta Horticulturae*, 628, 753-760.
- Barka, E. A., Kalantari, S., Makhlof, J. & Arul, J. M. (2000). Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Fruit. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 48, 667-671.
- Bautista-Banos, S., Garcia-Dominguez, E., Barrera-Necha, L. L., Reyes-Chilpa, R. & Wilson, C. L. (2003). Seasonal evaluation of the postharvest fungicidal activity of powders and extracts of huamuchil (*pithecellobium dulce*): action against *botrytis cinerea*, *penicillium digitatum* and *rhizopus stolonifer* of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 81-92.
- D'hallewin, G., Schira, M., Pala, M. & Ben-Yehoshua, S. (2000). Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ/m² reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of star ruby grapefruit (*C. paradise* Macf.). *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 48, 4571-4575.

5. Dris, R., Niskanen, R. & Jain, S. M. (2001). *Crop management and postharvest handling of horticultural products*. Science Publishers, Inc. Vol, 1. 363pp.
6. Fonseca, J. M. & Rushing, J. W. (2006). Effect of Ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 256-261.
7. Gonzalez-Aguilar, G. A., Zavaleta-Gatica, R. & Tiznado-Hernandez, M. E. (2007). Improving postharvest quality of mango Haden by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 108-116.
8. Grantz, A. A., Brummell, D. A. & Bennett, A. B. (1995). Ascorbate free radical reductase mRNA levels are induced by wounding. *Journal of Plant Pathology*. 108, 411-418.
9. Hagen, S. F., Borge, G. I. A., Bentsen, G. B., Bilger, W., Berge, A., Heffner, K. & Solhaug, K. A. (2007). Phenol contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 1-10.
10. Harker, F. R., Elgar, H. J., Watkins, C. B., Jakson, P. J. & Hallett, I. C. (2000). Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 19, 139-146.
11. Lu, J. Y., Stevens, C., Khan, V. A., Kabwe, M. & Wilson, C. L. (1991). The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *Journal of Food Quality*, 14, 299-305.
12. Marquenie, D., Michiels, C. W., Van Impe, J. F., Schreyens, E. & Nicolai, B. N. (2003). Pulsed white light in combination with UV-C and heat to reduce storage rot of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 28, 455-461.
13. Meyers, K., Watkins, C. B., Pritts, M. P. & Liu, R. H. (2003). Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6887-6892.
14. Mortazavi, A., Motamedzadegan, A. & Ziaolhagh, H. (2002). *Nonthermal Preservation of Food*. Ferdowsi University Press. 387pp. (In Farsi).
15. Nigro, F., Ippolito, A., Lattanzio, V., Di-Venere, D. & Salerno, M. (2000). Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry. *Journal of Plant Pathology*, 82(1), 29-37.
16. Shishon, B. Y., Rodov, V., Jin Kim, J. & Carmeli, Sh. (1992). Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 1217-1221.
17. Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, L. P., Kabwe, M. K., Lgwegbe, E. C. K., Chalutz, E. & Droby, S. (1998). The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast micro flora of peaches. *Crop Protection*, 17, 75-84.
18. Tolbert, B. M. & Ward, J. B. (1982). Dehydroascorbic acid. In: *Ascorbic Acid: Chemistry, Metabolism and Uses*. P. A. Seib and B. M. Tolbert (Editors), Advances in Chemistry Series. Vol. 200, American Chemistry Society, Washington, DC. pp. 101-124.
19. Wright, K. P. & Kader, A. A. (1997). Effect of slicing and controlled- atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology*, 10, 39-48.
20. Wszelaki, A. L. & Mitcham, E. J. (2003). Effect of combinations of hot water dips biological control and controlled atmospheres for control of gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 27, 255-264.