

## اثر پرتوتابی با UV-C بر کنترل پوسیدگی و کیفیت پس از برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم نیوتن

علیرضا خالقی<sup>۱\*</sup>، الهه دادبین<sup>۲</sup> و ابوالفضل اصغری مرجانلو<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۵)

### چکیده

گوجه‌فرنگی از مهم‌ترین محصولات باغبانی است که بسیار فسادپذیر و مستعد آلودگی‌های میکروبی است. لذا، پژوهش حاضر به منظور کنترل پوسیدگی و حفظ کیفیت پس از برداشت گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای با استفاده از نور UV-C (شدت‌های صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ کیلوژول بر مترمربع) انجام شد. میوه‌ها در مرحله قرمز رسیده از گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای رقم نیوتن تهیه شده و پس از تیمار، در سردخانه با دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد نگهداری شدند. شاخص‌های کیفی میزان پوسیدگی، سفتی میوه، محتوای ویتامین C، مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، شاخص رسیدگی، درصد کاهش وزن و رنگ میوه (L\*، a\*، b\*، هیو و کروما) در روزهای هفتم، چهاردهم، بیست و یکم و هشتم، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که طی مدت انبارداری، محتوای ویتامین C، سفتی و رنگ میوه کاهش یافته و میزان پوسیدگی و درصد کاهش وزن میوه افزایش یافت. تیمار میوه‌ها با شدت‌های مختلف نور UV-C اثر معنی‌داری بر شاخص‌های رنگ، شاخص رسیدگی، درصد کاهش وزن، سفتی و pH نداشت، اما به‌طور معنی‌داری باعث کاهش میزان پوسیدگی در شدت ۶ کیلوژول بر مترمربع، نسبت به شاهد، شد. بیشترین محتوای ویتامین C در روز بیست‌ویکم و در شدت نور ۱۲ کیلوژول بر مترمربع به‌دست آمد. شدت‌های زیاد نور UV-C نیز باعث کاهش مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون شد. با توجه به نتایج، می‌توان عنوان نمود که تیمار میوه‌های گوجه‌فرنگی در مرحله قرمز رسیده با شدت‌های بهینه از نور UV-C می‌تواند باعث کاهش میزان پوسیدگی میوه‌ها و حفظ یا افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها، از جمله ویتامین C، شود.

کلمات کلیدی: آنتی‌اکسیدان، انبارداری، قارچ، گوجه‌فرنگی، نور فرابنفش

### مقدمه

از پرمصرف‌ترین سبزی‌های میوه‌ای در دنیا (۸) و از مهم‌ترین منابع

آنتی‌اکسیدان‌ها، همچون لیکوپن، ترکیبات فنولیک، ویتامین C و E

گوجه‌فرنگی، با نام علمی *Solanum Lycopersicum* (Solanaceae)

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، تهران

۳. گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khaleghi979@gmail.com

بدین منظور پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تابش نور UV-C بر ویژگی‌ها کیفی و کنترل آلودگی‌های قارچی میوه گوجه‌فرنگی، ۱۵۰ عدد میوه هم‌اندازه و سالم گوجه‌فرنگی رقم نیوتن در مرحله قرمز رسیده از گلخانه‌ای در اراک تهیه شد و پس از انتقال به محیط سردخانه و بدون اعمال شستشو، میوه‌ها بلافاصله با نور UV-C با پنج شدت مختلف (صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ کیلوژول بر مترمربع) مورد تیمار قرار گرفتند و پس از قرار دادن در سبدهای پلاستیکی در سردخانه با دمای ۱۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵-۹۰ درصد نگهداری شدند. پرتوتابی با استفاده از دو لامپ UV-C ۳۰ وات، ساخت شرکت فیلیپس، به طول ۹۰ و قطر ۲/۵ سانتی متر با حداکثر طول موج ۲۵۴ نانومتر انجام شد و شدت نور با استفاده از یک رادیومتر UV-X مجهز به سنسور UVX-254 nm اندازه‌گیری شد. در مرحله تیمار، میوه‌ها در سینی پلاستیکی چیده شده و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از منبع نور UV-C قرار داده شدند. برای اینکه تمام سطوح میوه تحت تأثیر نور UV-C قرار گیرد، میوه‌ها حول محور اصلی چرخانده شدند. پس از تیمار، در روزهای هفتم، چهاردهم، بیست و یکم و بیست و هشتم، دو میوه از هر تیمار برای اندازه‌گیری صفات مورد نظر به آزمایشگاه انتقال داده و صفات میزان پوسیدگی، سفتی بافت میوه، رنگ میوه ( $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و Hue و Chroma)، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، مواد جامد محلول (TSS)، شاخص رسیدگی (نسبت TSS/TA)، درصد کاهش وزن و محتوای اسید آسکوربیک (ویتامین C) مورد ارزیابی قرار گرفتند.

میزان پوسیدگی میوه‌ها به صورت ظاهری با درجه‌بندی به شرح زیر ارزیابی شد: ۰ = میوه سالم، ۱ = کمتر از ۲۰ درصد میوه پوسیده، ۲ = ۲۱-۴۰٪، ۳ = ۴۱-۶۰٪، ۴ = ۶۱-۸۰٪ و ۵ = بیش از ۸۰ درصد میوه‌ها پوسیده شده باشند (۲۸). سفتی بافت میوه با استفاده از فروسنج (Penetrometer) دارای پیستون به قطر ۵ میلی‌متر و با سرعت نفوذ ۲ میلی‌متر در ثانیه در

است (۷). با این وجود، محتوای آنتی‌اکسیدان میوه گوجه‌فرنگی توسط بسیاری از فاکتورهای پیش و پس از برداشت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال، در واکنش به تنش‌های زنده و غیرزنده، محتوای اسید آسکوربیک (ویتامین C) کاهش می‌یابد (۱۴). از سوی دیگر، گوجه‌فرنگی از میوه‌های فرازگرا (Climacteric)، بسیار فسادپذیر و مستعد آلودگی‌های میکروبی، به‌ویژه کپک خاکستری، است (۱۴).

در دهه‌های اخیر، از تابش UV-C به دلیل عدم خطرات زیست‌محیطی و سلامتی انسان، به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان جایگزینی برای مواد شیمیایی ضدعفونی‌کننده در محصولات غذایی استفاده شده است (۲۱). از نور UV-C در محصولاتی از جمله هویج (۲۶)، فلفل سبز (۲۷)، توت‌فرنگی و گیلاس (۲۵)، کلم بروکلی (۱۲)، انبه (۱۶)، توت‌فرنگی (۳۱) و کلم پیچ (۱۹) برای حفظ کیفیت، به تأخیر انداختن پیری و کنترل پوسیدگی انباری استفاده شده است. نور UV-C علاوه‌بر خاصیت ضد میکروبی، باعث القای تنش بیولوژیک و در نتیجه تجمع ترکیبات فیتوالکسین، تحریک مکانیزم‌های دفاعی، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تغییر در دیواره سلولی بافت‌های گیاهی می‌شود که این تغییرات منجر به حفظ سلامتی بافت می‌شوند (۱۶). پژوهش‌های جدید نشان داده که واکنش میوه‌ها و سبزی‌ها به نور UV-C به نوع محصول، رقم و شدت نور بستگی دارد (۵). به‌عنوان مثال، عنوان شده که کاربرد مداوم UV-C رسیدن و پیری را تسریع می‌کند و شدت‌های زیاد باعث اختلال در رسیدن میوه می‌شود (۲۲). لذا، یک شدت بهینه برای حصول بهترین نتیجه در میوه‌ها و سبزی‌ها وجود دارد که تعیین دقیق آن برای هر محصول به پژوهش‌های جداگانه‌ای نیاز دارد. لذا، با توجه به اینکه گوجه‌فرنگی میوه‌ای فسادپذیر بوده و در شرایط طبیعی در مدت زمان کوتاهی کیفیت خود را از دست می‌دهد و مورد حمله عوامل بیماری‌زا قرار می‌گیرد، در این پژوهش، به مطالعه اثر شدت‌های کم نور UV-C در حفظ کیفیت و کنترل آلودگی‌های قارچی میوه گوجه‌فرنگی رقم نیوتن در مرحله قرمز رسیده و تعیین شدت مطلوب نور UV-C

شد:

$$WL(\%) = \left( \frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100 \quad [5]$$

که WL درصد کاهش وزن میوه،  $W_1$  وزن اندازه‌گیری شده پیش از نگهداری در انبار و  $W_2$  وزن اندازه‌گیری شده پیش از خروج از انبار است.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۱۰ عدد میوه گوجه‌فرنگی در هر تکرار انجام شد که مدت زمان انبارداری (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) فاکتور اول و شدت نور UV-C (صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ کیلوژول بر مترمربع) فاکتور دوم بود. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۱) نشان داد که اثر مدت زمان انبارداری بر تمامی صفات مورد ارزیابی، به جز زاویه هیو، در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اثر تیمار UV-C بر صفات مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و محتوای ویتامین C در سطح ۵٪ و میزان پوسیدگی میوه‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. در حالی که برهم‌کنش فاکتورهای مورد ارزیابی بر هیچیک از صفات معنی‌دار نبود.

#### ویتامین C (اسید آسکوربیک)

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محتوای ویتامین C از روز هفتم تا روز بیست‌ویکم انبارمانی تغییر معنی‌داری نداشته است. ولی در روز بیست‌وهشتم روند نزولی داشته و نسبت به روز هفتم کاهش شدیدی را نشان می‌دهد و از  $mg/100 \text{ g FW}$   $38.72$  به  $mg/100 \text{ g FW}$   $5.04$  رسید (جدول ۲). حفظ محتوای اسید آسکوربیک طی سه هفته ابتدایی انبارمانی میوه‌های گوجه‌فرنگی ممکن است به دلیل اثرهای مثبت و مفید دمای کم انبار باشد (۲۰). از سوی دیگر، تابش نور UV-C با

گوشت میوه و بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. رنگ نمونه‌ها به وسیله دستگاه رنگ‌سنج (مدل CR\_400) در سه نقطه از هر نمونه اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری سه پارامتر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  با استفاده از روابط (۱) و (۲) دو پارامتر هیو و کروما نیز محاسبه شدند (۱):

$$\text{Hue} = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad [1]$$

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [2]$$

برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، از عصاره صاف شده نمونه‌ها استفاده شد. میزان مواد جامد محلول با استفاده از رفاکتومتر دستی در دمای اتاق اندازه‌گیری شده و به صورت درجه بریکس بیان شد. برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH آن به ۸/۱ استفاده شد (۳۰). بدین منظور، ۵ سی‌سی از آب میوه صاف شده را برداشته و با آب مقطر به حجم ۵۰ سی‌سی رسانده شد و سپس با سود ۰/۱ نرمال تیترا شد تا pH آن به ۸/۱ برسد. درصد اسیدیته قابل تیتراسیون با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

$$\text{TA}(\%) = \left( \frac{N \times \text{eq} \times a}{100 \times V} \right) \times 100 \quad [3]$$

که N نرمالیه سود، eq وزن اکی‌والان اسید غالب، a حجم سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر و V حجم نمونه تیتر شده بر حسب میلی‌لیتر است.

ویتامین C با استفاده از روش تیتراسیون با یدید پتاسیم (۲) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، به ۵ سی‌سی از آب میوه صاف شده، ۲۰ سی‌سی آب مقطر اضافه شد و پس از افزودن ۲ سی‌سی نشاسته ۱٪، با محلول ید ۰/۰۱ نرمال تا ظهور رنگ خاکستری مایل به قهوه‌ای بادوام تیتر شد. سپس، مقدار ویتامین C با استفاده از رابطه (۴) بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه محاسبه شد:

$$\text{Vit C} = \frac{0.0001 \times a}{V} \quad [4]$$

که a حجم محلول ید مصرفی بر حسب میلی‌لیتر و V حجم آب میوه بر حسب میلی‌لیتر است.

درصد کاهش وزن میوه نیز با استفاده از رابطه (۵) محاسبه

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر UV-C و مدت زمان انبارمانی بر شاخص‌های کمی و کیفی گوجه‌فرنگی رقم نیوتن

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
سفتی	پوسیدگی	TSS/TA	TA	TSS	pH	ویتامین C		
۲۸/۰۴**	۷/۹۲**	۱۱۴/۸**	۰/۲۴۵**	۱۱/۷۳**	۰/۷۲**	۴۰۸۹/۱**	۳	زمان انبارداری
۲/۰۴ <sup>ns</sup>	۴/۵۵**	۱۷/۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۹۳*	۱/۱۸*	۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۲۳۳/۶*	۴	تیمار UV
۱/۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۴۷ <sup>ns</sup>	۵/۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۴۵ <sup>ns</sup>	۰/۳۸۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۲ <sup>ns</sup>	۹۶/۷ <sup>ns</sup>	۱۲	زمان × تیمار UV
۲/۰۱۵	۱/۱	۸/۹۷	۰/۰۳	۰/۴۲۳	۰/۰۳۵	۷۲/۰۷	۴۰	خطای آزمایشی
۳۰/۲۸	۴۸/۰۳	۳۲/۲۳	۴۱/۸۵	۱۸/۷۳	۳/۹۲	۲۸/۵۴		ضریب تغییرات (%)

\*\*، \* و ns به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

ادامه جدول ۱.

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
Chroma	Hue	b*	a*	L*	کاهش وزن		
۴۰/۳**	۰/۰۰۰۰۹ <sup>ns</sup>	۱۴/۴۶**	۲۶/۶۸**	۳۴/۴۹**	۴۰۴/۸**	۳	زمان انبارداری
۱/۴۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۶۶ <sup>ns</sup>	۱/۴۹ <sup>ns</sup>	۰/۸۲ <sup>ns</sup>	۶۸/۶۲ <sup>ns</sup>	۴	تیمار UV
۳/۷۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۹۷ <sup>ns</sup>	۰/۸۴ <sup>ns</sup>	۳/۵۹ <sup>ns</sup>	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	۱۱/۸۳ <sup>ns</sup>	۱۲	زمان × تیمار UV
۴/۳۷	۰/۰۰۰۰۷۹	۱/۵۱	۳/۴۴	۱/۸۵	۴۴/۴۷	۴۰	خطای آزمایشی
۷/۵۳	۳/۷۷	۶/۵۳	۹/۱۱	۳/۷	۵۵/۸		ضریب تغییرات (%)

\*\*، \* و ns به ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و بدون اثر معنی‌دار است.

جدول ۲. اثر مدت زمان انبارمانی بر صفات کمی و کیفی میوه گوجه‌فرنگی رقم نیوتن

کاهش وزن (درصد)	ویتامین C (mg/۱۰۰ g FW)	TSS/TA	TA (درصد)	TSS (بریکس)	pH	مدت زمان انبارمانی (روز)
۵/۹۴ <sup>c</sup>	۳۸/۷۲ <sup>a</sup>	۶/۸۲ <sup>b</sup>	۰/۴۶ <sup>a</sup>	۳/۰۳ <sup>b</sup>	۴/۵۶ <sup>c</sup>	۷
۹/۹۶ <sup>bc</sup>	۳۶/۲۵ <sup>a</sup>	۸/۲۵ <sup>b</sup>	۰/۵۸ <sup>a</sup>	۴/۲۳ <sup>a</sup>	۴/۶۳ <sup>c</sup>	۱۴
۱۳/۸۲ <sup>ab</sup>	۳۸/۹۵ <sup>a</sup>	۸/۸۵ <sup>b</sup>	۰/۳۱ <sup>b</sup>	۲/۴۴ <sup>c</sup>	۴/۸۴ <sup>b</sup>	۲۱
۱۸/۰۶ <sup>a</sup>	۵/۰۴ <sup>b</sup>	۱۳/۲۴ <sup>a</sup>	۰/۳۲ <sup>b</sup>	۴/۱۸ <sup>a</sup>	۵/۰۴ <sup>a</sup>	۲۸

در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح  $p \leq 0.05$  است.

ادامه جدول ۲.

پوسیدگی	Chroma	b*	a*	L*	سفتی	مدت زمان انبارمانی (روز)
۱/۴۶ <sup>a</sup>	۲۹/۸۷ <sup>a</sup>	۲۰/۱۲ <sup>a</sup>	۲۲/۰۶ <sup>a</sup>	۳۷/۰۵ <sup>ab</sup>	۶/۴۲ <sup>a</sup>	۷
۱/۸ <sup>ab</sup>	۲۸/۱ <sup>b</sup>	۱۹/۰۸ <sup>b</sup>	۲۰/۶۲ <sup>b</sup>	۳۷/۷۷ <sup>a</sup>	۵/۱۲ <sup>b</sup>	۱۴
۲/۳۳ <sup>b</sup>	۲۷ <sup>bc</sup>	۱۸/۳۱ <sup>bc</sup>	۱۹/۸۳ <sup>bc</sup>	۳۵/۷۸ <sup>c</sup>	۳/۶۹ <sup>c</sup>	۲۱
۳/۱۳ <sup>c</sup>	۲۶/۰۵ <sup>c</sup>	۱۷/۸۸ <sup>c</sup>	۱۸/۹۲ <sup>c</sup>	۳۶/۲۷ <sup>bc</sup>	۳/۵ <sup>c</sup>	۲۸

در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح  $p \leq 0.05$  است.

جدول ۳. اثر تیمار UV-C بر صفات TA، TSS، ویتامین C و پوسیدگی میوه گوجه‌فرنگی رقم نیوتن

پوسیدگی	ویتامین C (mg/۱۰۰ g FW)	TA (درصد)	TSS (بریکس)	تیمار UV (kJ/m <sup>2</sup> )
۲/۹ <sup>b</sup>	۲۶/۶۹ <sup>b</sup>	۰/۵۷ <sup>a</sup>	۳/۸ <sup>a</sup>	۰
۲/۵ <sup>b</sup>	۲۸/۱۶ <sup>b</sup>	۰/۳۹ <sup>b</sup>	۳/۷۵ <sup>a</sup>	۳
۱/۲۵ <sup>a</sup>	۲۵/۸۱ <sup>b</sup>	۰/۳۷ <sup>b</sup>	۳/۵ <sup>ab</sup>	۶
۲/۱۶ <sup>b</sup>	۳۱/۳۸ <sup>ab</sup>	۰/۴ <sup>b</sup>	۳/۱۴ <sup>b</sup>	۹
۲/۰۸ <sup>ab</sup>	۳۶/۶۶ <sup>a</sup>	۰/۳۵ <sup>b</sup>	۳/۱۶ <sup>b</sup>	۱۲

در هر ستون، حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح  $p \leq 0.05$  است.

شده کاتالیز می‌کند، افزایش می‌یابد و این افزایش می‌تواند از تخریب آسکوربات در معرض تنش‌های اکسیداتیوی محافظت کند (۱۷). این احتمال وجود دارد که پرتوتابی با نور UV-C نیز مکانیسمی مشابه ایجاد زخم دارد (۱).

#### پ‌هاش (pH)

میزان pH در میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با سطوح مختلف نور UV-C اختلاف معنی‌داری نداشت. درحالی‌که با افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان pH میوه‌ها افزایش یافت. به‌گونه‌ای که کمترین pH در روز هفتم و بیشترین pH در روز بیست و هشتم پس از انبارمانی به‌دست آمد. به‌عبارتی، در طول مدت انبارمانی، pH میوه‌ها یک روند صعودی نشان داد. در میوه‌ها، از جمله نارنگی، با رسیدن میوه، اسیدهای آلی کاهش می‌یابند (۱۱). لذا، به‌نظر می‌رسد افزایش pH میوه‌های گوجه‌فرنگی طی مدت انبارداری می‌تواند ناشی از کاهش اسیدهای آلی همچون سیتریک، مالیک و اکسالیک باشد. گزارش شده که در روز پانزدهم از انبارمانی، در میوه‌های گوجه‌فرنگی رقم Makari نسبت به روز دهم محتوای اسیدهای آلی از جمله اکسالیک، مالیک، سیتریک و آسکوربیک کاهش می‌یابد (۹). با این وجود، تغییرات اسیدهای آلی در میوه گوجه‌فرنگی بسته به رقم و مرحله برداشت می‌تواند متفاوت باشد (۹).

شدت‌های زیاد باعث افزایش محتوای ویتامین C در نمونه‌ها شد. براساس جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳)، در بین شدت‌های صفر تا ۶ kJ/m<sup>2</sup> تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار ویتامین C مشاهده نشد، اما در شدت‌های ۹ و ۱۲ kJ/m<sup>2</sup> ویتامین C افزایش یافت و بیشترین ویتامین C (۳۶/۶۶ mg/100 g FW) در شدت ۱۲ kJ/m<sup>2</sup> حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد (۲۶/۶۹ mg/100 g FW) افزایش ۳۶/۹ درصدی را نشان می‌دهد. این نتایج با یافته‌های حاصل از پرتوتابی میوه‌های گوجه‌فرنگی رقم Money maker در مرحله قرمز رسیده با نور UV که محتوای اسید آسکوربیک را به‌میزان ۴۱٪ افزایش داد (۸) همخوانی دارد. همچنین، گزارش شده است که پرتوتابی میوه‌های سیب (*Malus domestica* Bork, cv. Aroma) با نور UV-B در مرحله پس از برداشت سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، تجمع ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و اسید آسکوربیک می‌شود (۱۸).

تابش نور UV-C موجب تنش در بافت‌های گیاهی می‌شود که بیوستنز متابولیت‌های ثانویه دفاعی و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها را که از مهم‌ترین آنها در گوجه‌فرنگی ویتامین C است، تحریک می‌کند (۲۳). کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات اکسیداز در میوه‌های گوجه‌فرنگی (۳) و کدو (۲۴) تیمار شده با نور UV گزارش شده است. علاوه بر آن گزارش شده است که با ایجاد زخم در بافت‌های گیاهی، سطح بیان ژن آنزیم آسکوربات ردوکتاز، که تبدیل آسکوربات اکسید شده را به آسکوربات احیا

واکنش میوه گوجه‌فرنگی به نور UV-C دارد (۹). به‌طور کلی، این نتایج تأیید می‌کند که از عوامل مؤثر بر اثرگذاری تیمار نور UV-C بر بهبود ماندگاری و کیفیت پس از برداشت محصول، ژنوتیپ، مرحله بلوغ و شرایط کشت پیش از برداشت است.

### پوسیدگی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که مدت‌زمان انبارداری و همچنین تیمار با نور UV-C اثر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر میزان پوسیدگی میوه‌های گوجه‌فرنگی دارد. با افزایش مدت‌زمان انبارداری، میزان پوسیدگی میوه‌ها ناشی از رشد قارچ‌ها در سطح میوه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌گونه‌ای که سطح پوسیدگی در روز بیست‌وهشتم (۳/۱۳) نسبت به روز هفتم (۱/۴۶) افزایش ۲/۱۴ برابری را نشان داد. تفاوت معنی‌داری در سطح پوسیدگی میوه‌های تیمار شده با نور UV-C مشاهده شد. بیشترین سطح پوسیدگی و رشد قارچ‌ها (۲/۹۱) در تیمار شاهد مشاهده شد و کمترین سطح پوسیدگی (۱/۲۵) در میوه‌های تیمار شده با شدت ۶ کیلوژول بر مترمربع نور UV-C به‌دست آمد. به‌عبارتی، این تیمار میوه‌ها باعث کاهش ۵۷ درصدی پوسیدگی و رشد قارچ‌ها نسبت به تیمار شاهد شد. با این وجود، بین تیمار ۶ و ۱۲ کیلوژول بر مترمربع با کمترین میزان پوسیدگی، از نظر میزان پوسیدگی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. مطابق با این نتایج، تیمار UV-C باعث کاهش پوسیدگی قارچی در هندوانه (۱۵) و گریپ فروت (۱۳) شد.

دو تفسیر برای کاهش پوسیدگی انباری توسط نور UV-C مطرح است که عبارتند از اینکه اولاً نور UV-C خاصیت میکروب‌کشی داشته و از طریق صدمه به DNA ریزجانداران آنها را غیرفعال کرده و میزان کنترل‌کنندگی به‌شدت نور UV-C و سطحی از میوه که تحت تأثیر تابش قرار می‌گیرد بستگی دارد. علاوه بر آن، نور UV-C از طریق فعال کردن مکانیسم‌های دفاعی باعث القای مقاومت در برابر عوامل قارچی می‌شود. القای مقاومت از طریق تولید یکسری مواد ضدقارچی به‌نام

مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و شاخص رسیدگی (TSS/TA)

در طول مدت انبارداری، اسیدیته قابل تیتراسیون روند نزولی و شاخص رسیدگی روند صعودی را نشان دادند (جدول ۲). بیشینه اسیدیته قابل تیتراسیون در روز هفتم و کمینه آن در روزهای بیست‌ویکم و بیست‌وهشتم پس از انبارمانی به‌دست آمد. از سوی دیگر، کمینه شاخص رسیدگی در روز هفتم و بیشینه در روز بیست‌وهشتم حاصل شد؛ هرچند که تفاوت معنی‌داری در این شاخص در روزهای هفتم تا بیست‌ویکم وجود نداشت. همچنین، بیشینه مواد جامد محلول در روز بیست‌وهشتم پس از شروع انبارمانی به‌دست آمد. به‌طور معمول، با رسیدن میوه گوجه‌فرنگی، محتوای اسید کاهش یافته و محتوای قند افزایش می‌یابد (۹). از سوی دیگر، تیمار میوه‌ها با نور UV-C در مرحله پیش از انبارداری، باعث کاهش مواد جامد محلول و اسیدیته قابل تیتراسیون شد. محتوای قند و اسیدیته قابل تیتراسیون نقش به‌سزایی در طعم و مزه گوجه‌فرنگی دارند. لذا، هر تیماری که نسبت قند به اسید را افزایش دهد می‌تواند اثر مثبت بر عطر و طعم میوه‌ها داشته باشد (۹).

نتایج حاصل از اثر نور UV-C بر محتوای قند و اسیدیته قابل تیتراسیون در این آزمایش مغایر با نتایج حاصل از اثر نور UV بر گوجه‌فرنگی رقم Trust (۱۰) است. اما مطابق با این نتایج، یک روند نزولی در اسیدیته قابل تیتراسیون در پنج رقم گوجه‌فرنگی مورد آزمایش گزارش شده است (۹). این مغایرت در نتایج گزارش شده می‌تواند ناشی از اختلاف در مرحله بلوغ میوه‌های مورد آزمایش در هنگام تیمار و شرایط پیش از برداشت از جمله چگونگی کشت و شرایط رشدی گیاه باشد. به‌عنوان مثال در پرتوتابی نور UV روی گوجه‌فرنگی رقم Trust (۱۰) از میوه‌های سبز بالغ استفاده شد، ولی در ارقام Balzamoth, Clermont, Lorenzo, Makari و Trust (۹) از میوه‌های قرمز رسیده برای تیمار با نور UV-C استفاده شده است. ثابت شده که مرحله بلوغ در زمان تیمار اثر معنی‌داری بر

فعالیت آنزیم‌های لیگنینی کننده در اثر نور UV-C عنوان شده است (۱۸). گزارش شده که در ابتدای مراحل نرم‌شدن میوه، فعالیت پکتین متیل استراز و سلولاز به بیشینه میزان خود می‌رسد که با اوج تولید اتیلن همزمان است و باعث کاهش بیشتر نرمی میوه می‌شود. پیشنهاد شده که جلوگیری از تولید اتیلن، که در بیان ژن‌های کدکننده آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی نقش دارد، از مکانیزم‌های احتمالی نور UV-C در به تأخیر انداختن نرمی میوه است (۶). در این مطالعه، با توجه به این که از میوه‌های قرمز رسیده استفاده شد که در این مرحله احتمالاً تولید اتیلن به اوج خود رسیده و فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی، از جمله پلی‌گالاکتروناز و پکتین متیل استراز افزایش یافته است، تیمار نور UV-C اثربخش نبوده است.

#### ارزش‌های مختلف رنگ

نتایج نشان داد که از تیمارهای مورد بررسی، تنها مدت‌زمان انبارداری بر صفات درخشندگی ( $L^*$ )، ارزش  $a^*$  و  $b^*$  و کروما اثر معنی‌داری دارد. اما تیمار UV-C و برهم‌کنش آن با مدت‌زمان انبارداری بر هیچ‌یک از ارزش‌های رنگ معنی‌دار نشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان درخشندگی ( $L^*$ )، ارزش  $a^*$  و  $b^*$  و کروما میوه‌های گوجه‌فرنگی با گذشت زمان کاهش می‌یابد (جدول ۲). بیشترین میزان پارامترهای مذکور در روز هفتم بوده و با افزایش مدت‌زمان انبارداری با یک روند منظم کاهش یافتند. مطابق با این نتایج گزارش شده که تیمار پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی ارقام Money maker و High pigment-1 با نور UV اثر کمی در تغییر رنگ میوه‌ها دارد و این موضوع بیشتر بستگی به مرحله برداشت دارد (۸). همچنین، کاهش پارامترهای درخشندگی ( $L^*$ ) و ارزش  $a^*$  و  $b^*$  نیز طی مدت‌زمان انبارداری میوه‌های توت‌فرنگی گزارش شده است (۱). به‌خوبی نشان داده شده که رنگ گوجه‌فرنگی بستگی به کاروتنوئیدها، به‌ویژه لیکوپن، دارد. گزارش شده که طی بلوغ، سطح لیکوپن میوه‌ها با کاهش  $L^*$

فیتوالکسین‌ها صورت می‌گیرد که جزو متابولیت‌های ثانویه گیاهی بوده و در کنترل فساد محصولات کشاورزی نقش دارند (۱ و ۱۶).

#### سفتی و درصد کاهش وزن میوه

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲)، با افزایش مدت‌زمان انبارداری، سفتی میوه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. سفتی میوه از ۶/۴۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در روز هفتم به ۳/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در روز بیست و هشتم رسید. از سوی دیگر، با کاهش سفتی میوه‌ها، درصد کاهش وزن روند صعودی نشان داد (جدول ۲). به‌گونه‌ای که از ۵/۹۴ درصد کاهش وزن در روز هفتم به ۹/۹۶، ۱۳/۸۲ و ۱۸/۰۶ درصد کاهش وزن به‌ترتیب در روزهای چهاردهم، بیست‌ویکم و بیست‌وهشتم رسید. کاهش سفتی میوه نتیجه تجزیه اجزای دیواره سلولی است. پکتین یکی از فراوان‌ترین اجزای دیواره سلولی گیاهان است که تقریباً یک‌سوم از اجزای دیواره سلولی را تشکیل می‌دهد. پکتین در میوه نارس به‌صورت پروتوپکتین غیرمحلول در آب است که طی بلوغ به پکتین قابل حل در آب تجزیه می‌شود (۶). آنزیم‌های پلی‌گالاکتروناز، پکتین متیل استراز و سلولاز از آنزیم‌های اولیه هیدرولیزکننده هستند که در فرآیند نرم‌شدن میوه نقش دارند (۲۹). همچنین، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف بر سفتی و درصد کاهش وزن اثر معنی‌داری نداشتند. مغایر با این نتایج، حفظ سفتی میوه در گوجه‌فرنگی (۴) و سیب (۱۸) تیمار شده با نور UV-C نسبت به نمونه‌های شاهد گزارش شده است.

گزارش شده که نور UV-C در شدت مناسب، فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی (پلی‌گالاکتروناز، پکتین متیل استراز، سلولاز، زیلوناز، D-گالاکتوزیداز و پروتئاز) را کاهش می‌دهد (۴). از سوی دیگر، گزارش شده که درصد کاهش وزن میوه در سیب‌های تیمار شده با نور UV-C کمتر بوده و رطوبت آنها بیشتر حفظ می‌شود و علت آن تحریک



همراه است (۸).

### نتیجه گیری

با توجه به اینکه بسیاری از محصولات باغبانی، از جمله گوجه‌فرنگی، به‌طور عمده به‌صورت تازه‌خوری مصرف می‌شوند، استفاده از مواد شیمیایی برای حفظ کیفیت و به تأخیر انداختن پیری و فساد قابل توصیه نیست. از جمله روش‌های غیرشیمیایی کنترل بیماری‌ها و افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه و سبزی‌ها استفاده از امواج نوری در طول موج‌های کوتاه، از جمله نور UV-C، است. نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از نور UV-C با شدت‌های ۶ و ۱۲ کیلوژول بر مترمربع

باعث کاهش میزان پوسیدگی می‌شود و از طرفی در شدت ۱۲ کیلوژول بر مترمربع، بیشینه ویتامین C، که از آنتی‌اکسیدان‌های مهم در گوجه‌فرنگی است، حاصل شد. لذا، برای حفظ و یا افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدان و همچنین کاهش میزان پوسیدگی، شدت‌های مذکور از نور UV-C قابل توصیه است. اما در سایر صفات کیفی، از جمله شاخص رسیدگی و رنگ میوه، شدت‌های نور مورد استفاده اثر معنی‌داری نداشتند. از آنجایی که میوه‌های مورد تیمار در مرحله قرمز رسیده بودند، به‌نظر می‌رسد به‌منظور اثربخشی نور UV-C بایستی از مراحل پیش از قرمز رسیده، از جمله سبز بالغ، مورد بررسی و استفاده قرار گیرد.

### منابع مورد استفاده

- اصغری‌مرجانلو، ا. ۱۳۸۶. مقایسه اثر نور UV-C و برخی اسانس‌های گیاهی بر کیفیت پس از برداشت و کنترل پوسیدگی خاکستری توت‌فرنگی رقم (سلوا). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15<sup>th</sup> ed., Helrich, K. (Ed.), Arlington, VA, 703 p.
- Barka, E.A. 2001. Protective enzymes against oxygen species during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits in response to low amounts of UV-C. Aust. J. Plant Physiol. 28: 785–791.
- Barka, E.A., S. Kalantari, J. Makhlof and J.M. Arul. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. Agric. Food Chem. 48: 667–671.
- Bravo, S., J. García-Alonso, G. Martín-Pozuelo, V. Gómez, M. Santaella, I. Navarro-González and M.J. Periago. 2012. The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene,  $\beta$ -carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. Food Res. Int. 49: 296–302.
- Bu, J., Y. Yu, G. Aisikaer and T. Yinga. 2013. Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 86: 337–345.
- Canene-Adams, K., J.K. Campbell, S. Zaripheh, E.H. Jeffery and J.W. Erdman. 2005. The tomato as a functional food. J. Nutr. 135: 1226–1230.
- Castagna, A., E. Chiavaro, C. Dall'Asta, M. Rinaldi, G. Galaverna and A. Ranieri. 2013. Effect of postharvest UV-B irradiation on nutraceutical quality and physical properties of tomato fruits. Food Chem. 137: 151–158.
- Charles, M.T., J. Arul, D. Charlebois, E. Yaganza, D. Rolland, D. Roussel and M.J. Merisier. 2016. Postharvest UV-C treatment of tomato fruits: Changes in simple sugars and organic acids contents during storage. Food Sci. Technol. 65: 557–564.
- Charles, M.T., S. Kalantari, R. Corcuff and J. Arul. 2005. Postharvest quality and sensory evaluation of UV-treated tomato fruit. Acta Hort. 682: 537–542.
- Chen, M., Q. Jiang, X.R. Yin, Q. Lin, J.Y. Chen, A.C. Allan, C.J. Xu and K.S. Chen. 2012. Effect of hot air treatment on organic acid- and sugar-metabolism in Ponkan (*Citrus reticulata*) fruit. Sci. Hort. 147: 118–125.
- Costa, L., R.A. Vicente, P.M. Civello, A.R. Chaves and G.A. Martinez. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. Postharvest Biol. Technol. 39: 204–210.
- D'hallewin, G., M. Schira, M. Pala and S. Ben-Yehoshua. 2000. Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ.m<sup>-2</sup> reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of star ruby grapefruit (*C. paradisi* Macf.). Agric. Food Chem. 48:4571–4575.
- Dominguez, I., F. Ferreres, F. P. Riquelme, R. Font, M.I. Gil. 2012. Influence of preharvest application of fungicides on the postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Postharvest Biol. Technol. 72: 1–10.



15. Fonseca, J.M. and J.W. Rushing. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol. Technol.* 40:256–261.
16. Gonzalez-Aguilar, G.A., R. Zavaleta-Gatica and M.E. Tiznado-Hernandez. 2007. Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biol. Technol.* 45: 108–116.
17. Grantz, A.A., D.A. Brummell and A.B. Bennett. 1995. Ascorbate free radical reductase mRNA levels are induced by wounding. *Plant Physiol.* 108: 411–418.
18. Hagen, S.F., G.I.A. Borge, G.B. Bengtsson, W. Bilger, A. Berge, K. Haffner and K.A. Solhaug. 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh. Cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biol. Technol.* 45: 1–10.
19. Harbaum-Piayda, B., K. Palani and K. Schwarz. 2016. Influence of postharvest UV-B treatment and fermentation on secondary plant compounds in white cabbage leaves. *Food Chem.* 197(15): 47–56.
20. Jagadeesh, S.L., M.T. Charles, Y. Garipey, B. Goyette, G.S.V. Raghavan and C. Vigneault. 2009. Influence of postharvest UV-C hormesis on the bioactive components of tomato during post-treatment handling. *Food Bioprocess Technol.* 4(8): 1463–1472.
21. Liu, C., L. Cai, X. Han and T. Ying. 2011. Temporary effect of postharvest UV-C irradiation on gene expression profile in tomato fruit. *Gene* 486: 56–64.
22. Liu, J., C. Stevens, V.A. Khan, J.Y. Lu, C.L. Wilson, O. Adeyeye, M.K. Kabwe, P.L. Pusey, E. Chalutz, T. Sultana and S. Droby. 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *J. Food Protect.* 56: 868–873.
23. Liu, L.H., D. Zabaraz, L.E. Bennett, P. Aguas and B.W. Woonton. 2009. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chem.* 115: 495–500.
24. Maccarrone, M., G. D'Andrea, M.L. Salucci, L. Avigliano and A. Finazzi-Agro. 1993. Temperature, pH, and UV irradiation effects on ascorbate oxidase. *Phytochem.* 32: 795–798.
25. Marquenie, D., C.W. Michiels, A.H. Geeraerd, A. Schek, C. Soontjens, J.F. Van Impe and B.M. Nicolai. 2002. Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *Food Microbiol.* 73: 187–196.
26. Mercier, J., D. Roussel, M.T. Charle and J. Arul. 2000. Systemic and local response associated with UV-C and pathogen –induced resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrot. *Phytopathol.* 90(9): 981–986.
27. Mercier, J., M. Baka, B. Reddy, R. Corcuff and J. Arul. 2001. Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in bell pepper: Induced resistance and germicidal effects. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126: 128–133.
28. Nigro, F., A. Ippolito, V. Lattanzio, D. Di Venere and M. Salerno. 2000. Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry. *Plant Pathol.* 82(1): 29–33.
29. Pirrello, J., F. Regad, A. Latché, J. Pech and C.M. Bouzayen. 2009. Regulation of tomato fruit ripening. *CAB Rev.* 4: 1–14.
30. Roussos, P.A., V. Sefferou, N.K. Denaxa, E. Tsantili and V. Stathis. 2011. Apricot (*Prunus arm eniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Sci. Hort.* 129: 472–478.
31. Severo, J., I.R. Oliveira, A. Tiecher, F.C. Chaves and C.V. Rombaldi. 2015. Postharvest UV-C treatment increases bioactive, ester volatile compounds and a putative allergenic protein in strawberry. *Food Sci. Technol.* 64(2): 685–692.

## The Effect of UV-C Irradiation on Rot Control and Postharvest Quality of Greenhouse Tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Newton)

A. Khaleghi<sup>1\*</sup>, E. Dadbin<sup>2</sup> and A. Asghari Marjanlou<sup>3</sup>

(Received: 23 August 2017 ; Accepted: 16 November 2018)

### Abstract

Tomato is one of the most important horticultural crops that is corruptible and susceptible to microbial contamination. In this study, the effect of UV-C at five different irradiation intensities (0, 3, 6, 9 and 12 kJ/m<sup>2</sup>) on rot control and postharvest quality of greenhouse tomato was investigated. Tomato (cv. Newton) fruits were harvested from a commercial greenhouse at vine-ripe stage and after treatment, were stored at 10 °C and relative humidity of 85-90%. Qualitative characteristics of the fruits such as decay rate, firmness, vitamin C, total soluble solids, titratable acidity, ripening index, weight loss and color (L\*, a\*, b\*, Hue and Chroma) were evaluated after 7, 14, 21 and 28 days of cold storage. Results showed that vitamin C, firmness and color values were decreased; while weight loss percentage and decay rate were increased during the storage period. UV-C treatments did not have significant effect on traits of color, ripening index, weight loss percentage, firmness and pH. But the fruits treated with UV-C at 6 kJ/m<sup>2</sup> dose had low decay rate as compared to control. The highest vitamin C content was obtained in treated fruits with 12 kJ/m<sup>2</sup> of UV-C on twenty-first day of storage. Total soluble solids and titratable acidity were decreased in high doses of UV-C treatment. According to the results, it can be concluded that UV-C treatment of tomato fruits at vine-ripe stage, at its optimal doses, can reduce fruit decay and maintain or increase its antioxidant capacity, including vitamin C.

**Keywords:** Antioxidant, Storage, Fungus, Tomato, UV-C light.

1. Dept. of Hort. Sci., College of Agric. and Nat. Resour., Arak Univ., Arak, Iran.

2. Dept. of Hort. Sci., College of Agric. and Nat. Resour., Islamic Azad Univ., Sci. and Res. Branch, Tehran, Iran.

3. Dept. of Hort. Sci., Agric. and Nat. Resour. Campus, Univ. of Tehran, Karaj, Iran.

\* Corresponding Author, Email: khaleghi979@gmail.com