مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۵/ شماره ۲/سال ۱۳۹۳/ص ۹۸-۸۹

تأثیر ۱- متیل سیکلوپروپن بر زمان رسیدن گوجه‌فرنگی در انبار

فرزاد گودرزی* و فروغ شواخی**

* نگارنده مسئول: نشانی: همدان، کیلومتر ۷ جاده تهران، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، پیام‌نگار: goodarzifarzad@gmail.com

** به‌ترتیب: مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان؛ و استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۴

چکیده

گوجه‌فرنگی یکی از محصولات زراعی مهم ایران است. سالانه نزدیک به ۳۰ درصد گوجه تولیدی کشور در فاصلهٔ برداشت تا مصرف از بین می‌رود. ظرفیت بالای تولید اتیلن در گوجه‌فرنگی دلیل اصلی رسیدن پس از برداشت سریع این محصول و خسارات ناشی از آن است. در این مطالعه، از غلظت‌های مختلف گاز ۱- متیل سیکلوپروپن برای افزایش دورهٔ انبارداری گوجه‌فرنگی رقم "هلیل" که در مرحلهٔ آغاز تغییر رنگ برداشت شده بود، استفاده شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که این گاز قادر به کنترل اثر اتیلن موجود در هوای اطراف گوجه‌فرنگی، و ایجاد تاخیر در زمان رسیدن، نرم و قرمز شدن بافت میوه است. میزان تغییرات این ویژگی‌ها به غلظت و زمان تماس میوه با گاز بستگی دارد. با مصرف مقادیر مساوی یا بیش از ۰/۷ میکرولیتر در لیتر این گاز و زمان تماس ۲۴ ساعت، تأخیری ۱۵ تا ۱۸ روزه در روند رسیدگی گوجه‌فرنگی‌ها ایجاد می‌شود. غلظت ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر این گاز، اگرچه در کنترل و به تعویق انداختن رسیدگی میوه کاملاً موفق است، اما به‌دلیل ایجاد غیریکنواختی در قرمزی رنگ سطح گوجه‌فرنگی، می‌تواند باعث کاهش بازارپسندی محصول شود که از این رو قابل توصیه نیست.

واژه‌های کلیدی

انبارداری، زمان رسیدن، ضایعات، گوجه‌فرنگی، متیل سیکلوپروپن

مقدمه

گوجه‌فرنگی دومین محصول مهم کشاورزی در گروه سبزی‌ها و صیفی‌ها است. از حدود ۶ میلیون تن تولید سالانه گوجه‌فرنگی کشور، حدود ۱/۸ میلیون تن آن به شکل‌های مختلف تلف می‌شود (Anon, 2011). ظرفیت بالای تولید اتیلن در گوجه‌فرنگی دلیل رسیدن سریع پس از برداشت این محصول و ضایعات ناشی از آن است. اتیلن در نقش یک هورمون گیاهی، تنظیم برخی از فرایندهای گیاهی مانند تنفس، بازشدن گل‌ها، رسیدن میوه و ریزش برگ‌ها را انجام می‌دهد (Alexander & Grierson, 2002). تجمع مقداری اندک از این گاز در هوای انبار، مشکل عمدهٔ انبارداری محصولات فرازگرا است و تسریع رسیدن میوه و واکنش‌های ناخواسته مانند افزایش طعم تلخ، زرد شدن سبزی‌های برگی و افزایش حساسیت آنها را به بیماری‌های انباری به همراه دارد (Abeles & Morgan, 1992; Pesis, 2005).

تهویهٔ انبار، استفاده از پرمنگنات پتاسیم، اتمسفر هیپوبار، اکسنده‌های کاتالیتیک و گاز ازن از جمله روش‌های متداول کنترل اتیلن انبارها است. البته هر یک از این راه‌ها مشکلاتی به همراه دارد. مثلاً هوادهی قادر به خارج کردن مقادیر کم اتیلن نیست. پرمنگنات سمی است و نیازمند تعویض مداوم است. اکسنده‌های

کاتالیتیک نیازمند گرم و سپس خنک کردن دوباره هوای انبار است. انبارهای هیپوباریک بسیار گران‌اند. ازن هم اگرچه اکسنده‌ای است پرقدرت، اما به‌دلیل ایجاد آسیب در بافت گیاه و میوه، تحریک آن‌ها برای تولید مجدد اتیلن را در پی دارد (Anon, 1994; Graham *et al*., 1998; Nakajima *et al*., 2001).

کاربرد گاز ۱- متیل سیکلوپروپن (1-MCP)، یکی از جدیدترین روش‌ها برای کنترل اثر اتیلن است. ۱- متیل سیکلو پروپن سیکلوآلکنی با فرمول مولکولی C4H6 و مشتق از سیکلوپروپان است که به عنوان تنظیم‌کنندهٔ رشد گیاهی استفاده می‌شود. مکانیسم عمل آن ارتباطی تنگاتنگ با گیرنده‌های اتیلن در گیاه و احتمالاً بلوک کردن آنها در برابر اثر اتیلن دارد (Sisler & Serek, 2003). بسته به ویژگی‌های مداخله‌کننده در این فرایند، 1-MCP می‌تواند آثاری متفاوت بر تنفس، تولید اتیلن و ترکیبات فرار، تغییر رنگ، مادهٔ خشک، اسیدیته، سفتی بافت، و سرعت گسترش بیماری‌ها در محصول داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد 1-MCP می‌تواند به یک تکنولوژی جدید در حفظ محصولات کشاورزی تبدیل شود (Mattheis *et al*., 2002; Blankenship & Dole, 2003; Watkins *et al*., 2006).

در این مقاله اثر سطوح مختلف غلظت گاز 1-MCP و مدت زمان تماس گاز با گوجه فرنگی در کنترل سرعت رسیدن آن در فاصلهٔ زمانی برداشت تا مصرف، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مواد

برای اجرای این تحقیق از گوجه‌فرنگی رقم هلیل استفاده شد که از مزرعه‌ای در شهرستان اسدآباد و در مرحلهٔ شروع تغییر رنگ (در این مرحله بخش‌هایی به رنگ صورتی یا زرد با مرز مشخص در حداکثر ۱۰ درصد سطح گوجه‌فرنگی مشاهده می‌شود) برداشت شده بود.

قرص‌های یک گرمی ۱- متیل سیکلوپروپن مورد استفاده در آزمایش، ساخت آمریکا[1] و بر اساس ادعای شرکت سازنده دارای درجهٔ خلوص ۰/۱۲۷درصد بوده است. برای تهیهٔ گاز با غلظت مورد نظر، مقداری مشخص از پودر 1-MCP، مطابق دستورالعمل شرکت سازنده، با محلول ۱ درصد (KOH:NaOH) درون جارهای دهان گشاد پلی‌اتیلنی، حاوی میوه‌های مورد آزمایش، فعال شد. در مدت زمانی کمتر از ۲۰ ثانیه دهانه ظروف مسدود شد تا گاز متصاعد شده از واکنش، خارج نشود.

روش اجرا

توده گوجه‌فرنگی انتخاب شده پس از برداشت به ۱۸ دسته ۱/۵ کیلوگرمی تقسیم و هر یک درون یک جار دهان گشاد با ظرفیت ۵ لیتر قرار داده شد. شانزده دسته از آنها در دمای ۲۰ درجهٔ سلسیوس تحت تأثیر یکی از سطوح گاز 1-MCP با غلظت ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر قرار گرفتند. دو دسته باقی‌مانده به‌عنوان شاهد در همان شرایط و بدون اعمال تیمار نگهداری شدند. دهانهٔ همه ظرف‌ها با لایه‌ای از پلی‌پروپیلن به ضخامت ۰/۲ میلی‌متر مسدود و سپس دربندی شد. نیمی از ظرف‌های هر تیمار مدت ۱۲ ساعت و نیم دیگر برای ۲۴ ساعت در دمای ۲±۲۲ درجهٔ سلسیوس قرار داده شدند. پس از گذشت این مدت، در ظرف‌ها برداشته تا هوای داخل ظرف‌ها با هوای آزاد جایگزین شود. در ادامه، نمونه‌ها به مدت ۴ هفته در همان ظرف‌ها و در فضای کنترل شده‌ای با دمای ۲ ± ۱۲ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. در این مدت زمان، هر هفته یک‌بار نمونه‌هایی از هر یک از تیمارها به شکل تصادفی برداشت و پس از ۴ ساعت نگهداری در دمای ۲۰ تا ۲۵

1- Ethylbloc (Rohm – Haas, Spring House, PA), USA

درجه سلسیوس (شرایط آزمایشگاهی) متغیرهای زیر برای کنترل کمی و کیفی میوه‌ها اندازه‌گیری شد:

۱- برای اندازه‌گیری سفتی بافت از یک دستگاه بافت‌سنج دیجیتال قابل حمل ساخت ایتالیا (TR)، با قطر پروب ۵ میلی‌متر استفاده شد. برای هر گوجه‌فرنگی (بدون پوست‌گیری) ۴ بار اندازه‌گیری و میانگین نتایج به‌عنوان سفتی بافت بر حسب نیوتن گزارش شد (Batu, 2004).

۲- برای سنجش اتیلن تجمعی درون هر ظرف، از یک دستگاه اتیلن‌سنج دیجیتال ساخت اسپانیا[1] و دارای دقت ۰/۱ پی‌پی‌ام استفاده شد.

۳- رنگ با دستگاه رنگ‌سنج قابل حمل[2] ساخت تایوان اندازه‌گیری شد. برای هرگوجه‌فرنگی (بدون پوست‌گیری) ۴ بار اندازه‌گیری و میانگین نتایج به عنوان عدد رنگ بر حسب فاکتور R (قرمزی رنگ) گزارش شد (Pesis, 2005).

در پایان، اثر تیمارهای اعمال شده بر نمونه‌ها با آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و به کمک نرم‌افزار SPSS 11.0.0 مورد تجزیهٔ آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

تجزیهٔ واریانس نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مورد مطالعه در گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر سطوح هر یک از تیمارهای غلظت گاز، زمان تماس میوه و گاز 1-MCP، زمان نگهداری و اثر متقابل برخی از آنها بر ویژگی‌های مورد مطالعه است که در زیر و به تفکیک به شرح هر یک پرداخته می‌شود.

کنترل اتیلن

میانگین نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان تجمع گاز اتیلن در ظرف‌های هر یک تیمارها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که متغیرهای مدت زمان نگهداری، غلظت گاز 1-MCP و زمان تماس آن با گوجه‌فرنگی اثر معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بر تجمع اتیلن در هر تیمار دارد. با افزایش زمان نگهداری، مقدار اتیلن تجمع یافته در ظرف‌ها نیز افزایش می‌یابد. کمترین مقدار اتیلن، به زمان برداشت مربوط می‌شود. با گذشت زمان و پیشرفت مرحلهٔ رسیدگی ظاهری میوه، تجمع اتیلن نیز افزایش می‌یابد. پس از گذشت ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته، میانگین اتیلن تجمعی در ظرف‌ها به‌ترتیب به ۱۱، ۱۷، ۲۴ و ۲۵ برابر مقدار اولیه می‌رسد. اختلاف معنی‌داری بین اتیلن تیمارها در هفتهٔ سوم و چهارم مشاهده نشد، اما در هفتهٔ چهارم نگهداری، اتیلن تجمعی به بیشترین مقدار خود رسیده است. این نتایج نشان می‌دهد که طی هفتهٔ دوم و سوم آزمایش، تولید اتیلن بالاترین سرعت را دارد و پس از این مدت، تولید اتیلن در میوه‌ها با شیب کمتری ادامه می‌یابد (جدول ۱).

جدول ۱ نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان نگهداری و غلظت گاز ۱- متیل سیکلوپروپن، تجمع اتیلن دستخوش تغییر می‌شود. به این ترتیب که اختلاف میانگین اتیلن تجمعی در هفته اول و چهارم نگهداری پس از برداشت، برای تیمار شاهد حدود ۱۹ برابر میزان اتیلن در زمان برداشت است. این مقدار برای تیمارهای ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر به‌ترتیب برابر ۱۴/۵، ۶/۵، ۴/۲ و ۴/۴ برابر اتیلن زمان برداشت است. این نتایج نشان می‌دهد که اثر کنترلی 1-MCP بر تولید اتیلن طی هفته سوم پس از مصرف به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن دوباره کاهش می‌یابد.

اثر متقابل غلظت گاز 1-MCP در این مطالعه با طول مدت زمان تماس میوه و گاز 1-MCP معنی‌دار است (جدول۲). با افزایش غلظت گاز 1-MCP، اتیلن تجمعی در ظرف‌های هر تیمار به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش برای گازهای با غلظت ۰/۳۵، ۰/۷، ۱و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۸۰،۲۸، ۲۰۰ و ۴۲۰ درصد کاهش اتیلن را نشان می‌دهد. طول مدت زمان اعمال تیمار نیز اثر معنی‌داری بر کنترل اتیلن

1 - Bioconservasion Co, LTD

2 - Color Analyser- S 5100

دارد. با افزایش زمان تماس گاز فعال و میوه‌ها، اثر بازدارندگی 1-MCP به شکل معنی‌داری افزایش می‌یابد. مستوفی و همکاران (Mostofi *et al.*, 2003) نتایج مشابهی را در این خصوص گزارش کرده‌اند. به نظر می‌رسد این ماده از اتصال اتیلن تولیدی در گیاه به گیرنده‌های اختصاصی این گاز و نیز از بیان برخی ژن‌های تنظیم‌کنندهٔ مراحل رسیدگی مانند tACS2، tACS4 و tAco جلوگیری می‌کند و به این ترتیب رسیدن میوه به تعویق می‌افتد. توقف بیان این ژن‌ها دائمی نیست و پس از چندی، بیان برخی از آن‌ها دوباره آغاز می‌شود. مدت زمان خاموشی این ژن‌ها به غلظت گاز 1-MCP مصرف شده بستگی دارد (Blankenship *et al.*, 2003). کاهش شدت بازدارندگی تجمع اتیلن در هفتهٔ پایانی دوره نگهداری نیز می‌تواند به از سرگیری فعالیت این ژن‌ها نسبت داده شود.

بر این اساس، تیمار ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر گاز ۱- متیل سیکلوپروپن قادر است تجمع گاز اتیلن را در ظرف‌های نگهداری نمونه‌های گوجه‌فرنگی تا ۳ هفته کاملاً کنترل کند. برای تیمارهای با غلظت کمتر، این مدت زمان به ۲ هفته کاهش پیدا می‌کند. نتایج این تحقیق، گزارش گوئیلن و همکاران (Guillen *et al.*, 2007) را تأیید می‌کند.

جدول ۱- میانگین اثر متقابل تیمارهای غلظت گاز 1-MCP، و مدت نگهداری بر تجمع اتیلن (پی‌پی‌ام) در ظروف حاوی نمونه‌های گوجه‌فرنگی

مدت نگهداری (هفته)	غلظت گاز 1-MCP (میکرولیتر در لیتر)				
	۰ (شاهد)	۰/۳۵	۰/۷	۱	۱/۳۵
۰ (زمان برداشت)	۱/۹۹	۱/۹۶	۱/۹۹	۱/۹۸	۱/۹۹
۱	۵۶/۱	۵۲/۲	۳۱/۱	۱۰/۵	۷/۶
۲	۸۰/۰	۶۴/۱	۳۵/۵	۱۳/۷	۹/۸
۳	۹۳/۲	۷۷/۱	۴۰/۷	۱۸/۲	۱۵/۶
۴	۹۴/۰	۸۱/۳	۴۴/۷	۱۹/۰	۱۶/۴

LSD =۷/۴۱

جدول ۲- میانگین اثر متقابل تیمارهای غلظت گاز 1- MCP و زمان تماس بر تجمع اتیلن (پی‌پی‌ام) در ظرف‌های حاوی نمونه‌های گوجه‌فرنگی

زمان تماس	غلظت گاز 1-MCP (میکرولیتر در لیتر)				
	۰ (شاهد)	۰/۳۵	۰/۷	۱	۱/۳۵
۱۲ ساعت	۶۵	۵۰	۳۱	۱۹	۱۴
۲۴ ساعت	۶۵	۴۲	۱۸	۶	۵

LSD =۶/۲۲

سفتی بافت

نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی بافت گوجه‌فرنگی‌ها (جدول‌های ۳ و ۴) نشان می‌دهد که متغیرهای مدت زمان نگهداری، غلظت گاز 1-MCP و زمان تماس آن با میوه اثر معنی‌داری بر سفتی بافت نمونه‌های تیمار شده دارد. با افزایش مدت زمان نگهداری و همزمان با توسعهٔ

فعالیت‌های آنزیمی و پیشرفت مراحل رسیدگی، سفتی بافت میوه کاهش می‌یابد. بیشترین سفتی بافت مربوط است به زمان برداشت؛ در هفته‌های دوم، سوم، و چهارم نگهداری، میانگین سفتی بافت تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی به‌ترتیب حدود ۵۰، ۳۰ و ۲۲ درصد مقدار اولیه می‌رسد. به این ترتیب در هفتهٔ چهارم نگهداری، سفتی بافت میوه به کمترین مقدار خود رسیده است. تیمار شاهد طی ۱۱ تا ۱۳ روز اول نگهداری ۷۰ درصد سفتی اولیه خود را از دست داده است. اما این کاهش برای تیمارهای ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ به شکل ملایم‌تر رخ می‌دهد و این سطح از نرم شدن بافت، از روزهای ۱۸ تا ۲۱ پس از نگهداری اتفاق می‌افتد. این نتایج نشانگر این موضوع است که تا ۲ هفتهٔ نخست پس از برداشت، سرعت کاهش سفتی بافت محصول حداکثر است و پس از آن سفتی بافت گوجه‌فرنگی با شیب کمتری کاهش می‌یابد (جدول ۳).

با افزایش زمان تماس میوه و گاز 1-MCP، مقدار سفتی بافت گوجه‌فرنگی‌ها در کلیهٔ تیمارها افزایش می‌یابد (جدول ۴). با افزایش غلظت گاز 1-MCP، اختلاف سفتی بافت بین گوجه‌هایی که ۱۲ یا ۲۴ ساعت در معرض گاز متصاعد شده از محلول 1-MCP بوده‌اند، افزایش می‌یابد.

با افزایش غلظت گاز 1-MCP، و با سپری شدن زمان نگهداری، تغییرات سفتی بافت تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی نسبت به سفتی میوه در زمان برداشت، الگوهایی متفاوت دارد. در پایان هفتهٔ سوم نگهداری، سفتی بافت میوه تیمارشده با گاز 1-MCP، در غلظت‌های ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر، نسبت به تیمار شاهد، به‌ترتیب ۱۴، ۵۷، ۱۴۲ و ۱۸۵ درصد بالاتر است. این نتایج در پایان هفتهٔ چهارم نگهداری به ۸، ۳۳، ۸۳ و ۱۱۶ درصد کاهش یافته است (جدول ۳). این نتایج با آنچه دربارهٔ میزان تجمع اتیلن در ظرف‌های تیمارهای مختلف ارائه شد، تا هفته سوم نگهداری، دارای ارتباط منطقی است و یکدیگر را تأیید می‌کنند. اما نرم شدن بیش از حد انتظار میوه در هفتهٔ پایانی با این الگو انطباق کامل ندارد. بر اساس نظریهٔ سیسلر و همکاران (Sisler *et al.*, 2009)، گیاه فعالیت خود را در هفته سوم نگهداری برای ساختن گیرنده‌های جدید تشدید می‌کند و به این ترتیب حساسیت میوه به اتیلن افزایش می‌یابد، زیرا کاهش سفتی بافت یکی از نتایج مستقیم افزایش تجمع اتیلن در محیط نگهداری میوه‌ها و تسریع روند رسیدگی آنها است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، غلظت ۰/۷ میکرولیتر در لیتر گاز 1-MCP می‌تواند از نرم شدن بافت نمونه‌های گوجه‌فرنگی تا ابتدای هفتهٔ سوم نگهداری به شکل مناسبی جلوگیری کند. اما برای نگهداری طولانی‌تر، استفاده از گاز با غلظت بالاتر (۱ یا ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر) ضروری است.

جدول ۳- میانگین اثر متقابل تیمارهای غلظت گاز 1-MCP و مدت نگهداری بر سفتی بافت (نیوتن) نمونه‌های گوجه‌فرنگی

مدت نگهداری (هفته)	غلظت گاز 1-MCP (میکرولیتر در لیتر)				
	۰ (شاهد)	۰/۳۵	۰/۷	۱	۱/۳۵
۰ (زمان برداشت)	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۱	۲۵	۲۸	۳۱	۳۳	۳۶
۲	۱۱	۱۵	۲۴	۲۹	۳۱
۳	۷	۸	۱۱	۱۷	۲۰
۴	۵	۶	۸	۱۱	۱۲

LSD =۸/۳۷

جدول ٤- میانگین اثر متقابل تیمارهای غلظت گاز 1- MCP و زمان تماس بر سفتی بافت (نیوتن) نمونه های گوجه‌فرنگی

زمان تماس	غلظت گاز 1-MCP (میکرولیتر در لیتر)				
	۰ (شاهد)	۰/۳۵	۰/۷	۱	۱/۳۵
۱۲ ساعت	۱۸	۱۸/۸	۲۱/۵	۲۴/۲	۲۶/۷
۲۴ ساعت	۱۸	۲۰/۶	۲۳/۸	۲۸/۳	۳۰/۶

LSD =۶/۲۲

با این حال، توجه به این نکته ضروری است که در هفتهٔ چهارم دورهٔ نگهداری نرم شدن بافت میوه‌ها در کلیهٔ تیمارها قابل توجه است و آسیب‌های فیزیکی ناشی از این نرم‌شدگی بافت باید مدنظر قرار گیرد. این نتایج با داده‌های حاصل از تحقیقات کو و ویلز (Ku & Wills, 2002) روی گوجه‌فرنگی همخوانی دارد.

رنگ میوه

شکل ۱ و جدول ۵ نشان می‌دهند که متغیرهای مدت نگهداری، غلظت گاز 1-MCP و زمان تماس میوه با گاز، تأثیراتی معنی‌دار بر رنگ تیمارهای گوجه‌فرنگی دارند. با افزایش مدت زمان نگهداری و همزمان با پیشرفت مراحل رسیدگی میوه، رنگ‌های نارنجی تا قرمز جایگزین رنگ سبز محصول می‌شود. این تغییرات در افزایش میزان عددی مولفهٔ R و کاهش مولفه‌های B و G (به‌ترتیب معرف رنگ‌های آبی و سبز) که از سنجش رنگ نمونه‌ها با دستگاه رنگ‌سنج دستی حاصل شد، نمایش داده شده است. متوسط سه مولفهٔ سبز، آبی و قرمز برای نمونه‌های سبز در هنگام برداشت به‌ترتیب برابر ۷۶۲، ۱۷۸ و ۱۹۴ است. کمترین مقدار قرمزی اندازه‌گیری شده، به زمان برداشت مربوط می‌شود. در هفته‌های دوم، سوم و چهارم نگهداری، میانگین مولفهٔ رنگ قرمز (R)، در تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی به‌ترتیب به ۱/۵، ۲/۳ و ۳ برابر مقدار اولیه رسیده است. به این ترتیب در هفتهٔ چهارم نگهداری، قرمزی رنگ در میوه به بیشترین مقدار خود می‌رسد (جدول ۵). طی این مدت زمان، مولفهٔ آبی به ۱۷ و مولفهٔ سبز به ۲۹ کاهش یافته است.

در این مطالعه معلوم شد که اثر غلظت گاز 1-MCP بر قرمزی رنگ میوه‌ها معنی‌دار است. با افزایش غلظت گاز 1-MCP، اختلاف قرمزی رنگ تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی نسبت به رنگ میوه در زمان برداشت به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد. طی دوره نگهداری، اختلاف میانگین مولفه R برای محلول‌های آزمایشی با غلظت ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر نسبت به تغییرات این مولفه در نمونه شاهد، به‌ترتیب ۵، ۱۵، ۳۰ و ۳۴ درصد بالاتر است که به معنی کاهش رنگ قرمز در تیمارهای با غلظت بالاتر گاز 1-MCP است (جدول ۵). این نتایج با آنچه در مورد میزان تجمع اتیلن در ظرف‌های مختلف و سفتی بافت نمونه‌های تیمارها ارائه شد، دارای ارتباط منطقی است و یکدیگر را تأیید می‌کنند. زیرا نشان داده شده که کاهش سفتی بافت و توسعهٔ رنگ قرمز میوه گوجه‌فرنگی از نتایج اثر اتیلن موجود در محیط نگهداری میوه‌ها و پیشرفت مراحل رسیدگی محصول است. به‌عبارت دیگر هر تیماری که قادر به حذف بیشتر اتیلن محیط باشد، توان آن را نیز دارد که قرمز شدن رنگ گوجه‌فرنگی را نیز به شکل موثرتری به تعویق اندازد.

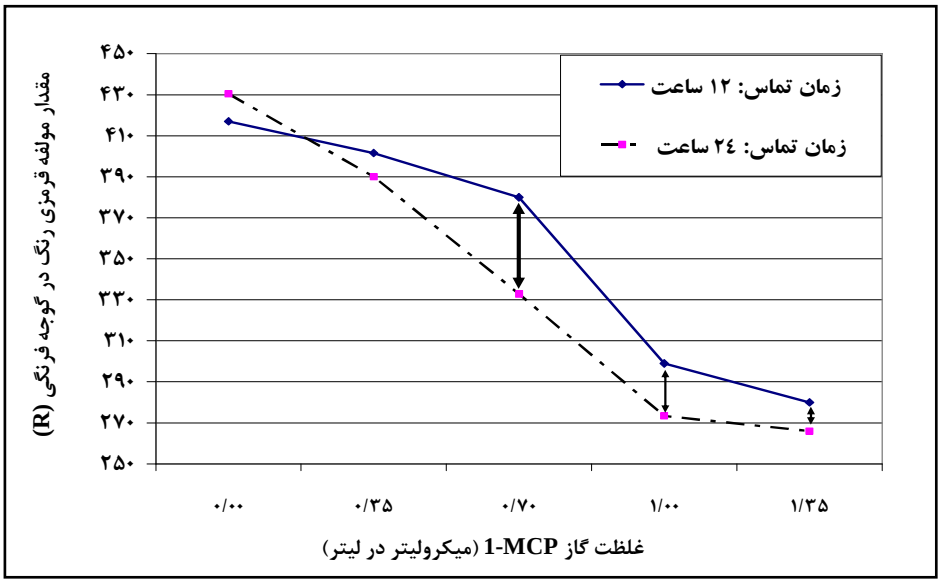
بررسی اثر متقابل دورهٔ تماس گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با گاز 1-MCP فعال شده نشان می‌دهد که میانگین مولفه قرمزی رنگ در نمونه‌هایی که ۱۲ ساعت در تماس با گاز بوده‌اند، حدود ۱۰ درصد بیشتر از تیمارهایی است که زمان تماس برای آن‌ها ۲۴ ساعت است (شکل ۱). همچنین، اختلاف مولفهٔ قرمزی برای دو سطح تماس ۱۲ و ۲۴ ساعت، در تیمارهای با غلظت ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵

میکرولیتر در لیتر به‌ترتیب برابر ۲/۷، ۱۴، ۸/۱ و ۵/۵ درصد برآورد شده است که نشان می‌دهد بیشترین اختلاف در تیمار با غلظت ۰/۷ ایجاد می‌شود و با افزایش و یا کاهش غلظت محلول تیمار، نقش زمان تماس کاهش می‌یابد. طی دورهٔ نگهداری، تغییر در رنگ قرمز تیمارهایی که تحت تأثیر مقادیر مختلف ۱- متیل سیکلوپروپن قرار می‌گیرند، روند یکسانی ندارد که ناشی از معنی‌دار بودن اثر متقابل دورهٔ نگهداری و غلظت تیمارهای مختلف 1-MCP است. با افزایش دورهٔ نگهداری و غلظت محلول تیمار، در هفته‌های سوم و چهارم نگهداری، اختلاف قرمزی رنگ بین تیمارها بیشتر می‌شود و در تیمارهای شاهد، ۰/۳۵، ۰/۷، ۱ و ۱/۳۵ به‌ترتیب به ۱۰، ۱۸، ۳۰، ۵۵ و ۵۹ درصد افزایش می‌یابد (جدول ۵).

جدول ۵- میانگین اثر متقابل تیمارهای غلظت گاز 1-MCP و دورهٔ نگهداری بر رنگ (مولفه R) نمونه‌های گوجه‌فرنگی

دورهٔ نگهداری (هفته)	غلظت گاز 1-MCP (میکرولیتر در لیتر)				
	۰ (شاهد)	۰/۳۵	۰/۷	۱	۱/۳۵
۰ (زمان برداشت)	۱۹۴	۱۹۵	۱۹۳	۱۹۳	۱۹۳
۱	۲۵۹	۲۴۸	۲۲۷	۱۹۵	۱۹۴
۲	۳۸۰	۳۵۰	۳۰۸	۲۴۸	۲۳۹
۳	۵۶۰	۵۴۳	۴۴۸	۳۱۲	۲۹۱
۴	۶۹۲	۶۴۵	۵۷۴	۴۸۶	۴۶۷

LSD =۱۹/۶۸

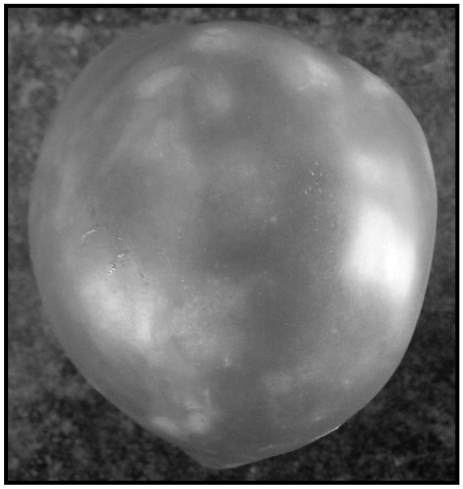


شکل ۱- اثر غلظت گاز 1-MCP بر رنگ قرمز گوجه‌فرنگی‌های تیمارشده

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهدکه غلظت‌های ۱ و ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر از گاز 1-MCP، به شکل مناسبی قرمز شدن و تکمیل دورهٔ رسیدگی میوهٔ گوجه‌فرنگی را به تعویق می‌اندازد.

این وضعیت نشان می‌دهد که تأخیر ایجاد شده در روند قرمز شدن میوه‌ها توسط تیمارهای منتخب بیش از دو هفته بوده است. مستوفی و همکاران (Mostofi *et al.*, 2003) نیز تأخیری ۱۸ روزه را در روند قرمز شدن گوجه‌فرنگی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس به کمک 1-MCP گزارش کردند.

در کاربرد محلول ۱- متیل سیکلوپروپن گفتنی است که مصرف مقادیر بالای این محلول به غیر یکنواخت شدن رنگ محصول، پس از برداشت منجر می‌شود. شکل ۲ نشان‌دهنده پدید آمدن لکه‌های نارنجی، روی گوجه‌های رسیده در تیمار 1-MCP با غلظت ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر است.



شکل ۲- وجود لکه‌های با رنگ نامناسب روی گوجه‌فرنگی رسیده و تیمار شده با گاز 1- MCP با غلظت ۱/۳۵ میکرولیتر در لیتر

نتیجه‌گیری

مجموعهٔ نتایج به‌دست آمده از اجرای این مطالعه نشان می‌دهد که تیمار ۱ و پس از آن ۰/۷ میکرولیتر در لیتر گاز 1-MCP اثر اتیلن موجود در محیط محصول گوجه‌فرنگی را به شکل مناسبی کنترل و روند رسیدگی این محصول را با تأخیری ۱۲ تا ۱۸ روزه مواجه می‌کند. این تأخیر برای طولانی کردن دورهٔ رسیدگی و تنظیم بازار مصرف محصول حائز اهمیت است و فرصت جلوگیری از اتلاف بخشی از محصول را فراهم می‌کند. افزون بر آن، با جلوگیری از بروز آلودگی‌های کپکی در سطح این محصول، امکان تولید فراورده‌های گوجه‌فرنگی را با احتمال آلودگی کمتر به سموم کپکی نیز فراهم می‌کند. با این حال، نرم شدن بافت میوه در هفتهٔ سوم و خصوصاً چهارم دورهٔ نگهداری، حتی در میوه‌هایی که رسیدگی آنها با تاخیر مواجه می‌شود و خطرهای ناشی از این نرم شدن، احتمال بروز کپک‌زدگی میوه، و قرمزی غیریکنواخت گوجه‌فرنگی‌ها، موضوع‌هایی هستند که قضاوت در کاربرد این ترکیب را در کنترل رسیدگی گوجه‌فرنگی دشوار می‌کند. با این حال، استفاده از سیستم‌های مکمل در کنترل کپک‌زدگی محصول می‌تواند به‌عنوان بخشی از راه‌حل این مشکلات مد نظر قرار گیرد.

مراجع

Abeles, F. B. and Morgan, P. W. 1992. Ethylene in Plant Biology. 2nd Ed. Academic Press. San Diego.

Alexander, L. and Grierson, D. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato. J. Exp. Bot. 53, 2039-2055.

Anon. 1994. Occupational Safety and Helth Administration's Regulations for Ozone (OSHA). Standard No. 1910, 1000, 1910, 1200. Washingtone, D. C.

Anon. 2011. Statistic Yearbook of Agriculture and Natural Resources, Hamadan Province. Publishing Public Relations Agriculture Organization of Hamadan Province. (in Farsi)

Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatos. J. Food. Eng. 61(3): 471-475.

Blankenship, S. M. and Dole, J. M. 2003. 1-Methylcyclopropene: a review. Postharvest Biol. Technol. 28(1): 1-25.

Graham, T. K., Veenstra, J. N. and Armstrong, P. P. 1998. Ethylene removal in fruit and vegetables storage using a plasma reactor. T. ASAE. 41(6): 1767-1773.

Guillen, F., Castillo, S., Zapata, P. J., Martinez-Romero, D., Serrano, M. and Valero, D. 2007. Efficacy of 1-MCP treatment in tomato fruit: 1. Duration and concentration of 1-MCP to gain an effective delay of postharvest ripening. Postharvest Biol. Technol. 43(1): 23-27.

Ku, V. V. and Wills, R. B. H. 2002. Use of 1-MCP to extend the time to ripen of green tomatoes and postharvest life of ripe tomatoes. Postharvest Biol. Technol. 26(1): 85-90.

Mattheis, J., Xuetong, F. and Argenta, L. 2002. Factors influencing successful use of 1-MCP. Proceeding of the Washington Tree Fruit Postharvest Conference. March 12-13. Yakima. WA. U. S.

Mostofi, Y., Toivonen, P. M. A., Lessani, H., Mesbah Babalar, M. and Changwen, L. 2003. Effects of 1-methylcyclo-propene on ripening of greenhouse tomatoes at three storage temperatures. Postharvest Biol. Technol. 27(3): 285-292 .

Nakajima, N., Ito, T., Tamaoki, M., Aono, M., Kubo, A. and Saji, H. 2001. Generation of ozone-resistant plants with an anti-sense DNA for ACC Synthase. Available at: www.nies.go.jp

Pesis, E. 2005. The role of the anaerobic metabolits, acetaldehyde, and ethanol in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. Postharvest Biol. Technol. 37(1): 1-19.

Sisler, E. C. and Serek, M. 2003. Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. Plant Biology. 5, 473-80.

Sisler, E. C., Goren, R., Apelbaum, A. and Serek, M. 2009. The effect of dialkylamine compounds and related derivatives of methylcyclopropene in counteracting ethylene responses in banana fruit. Postharvest Biol. Technol. 51(1): 43-48.

Watkins, C. B., Nocka, J. F. and Whitaker, B. D. 2006. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-MCP under air and controlled atmosphere storage conditions. Postharvest Biol. Technol. 19(1): 17-32.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.15/No.2/2014/P:89-98

Effect of 1-Methylcyclopropene on Tomato Ripening in Storage

F. Goodarzi* and F. Shavakhi

* Corresponding Author: Scientific Member, Agricultural Engineering Research Department, Agriculture & Natural Resource Research Center of Hamedan, Hamedan, Iran. Email: goodarzifarzad@gmail.com
Received: 20 January 2013, Accepted: 4 May 2013

Tomatoes are an economically important crop in Iran. Approximately 30% of the crop is lost from the consumption chain during harvest. The high production of ethylene by tomatoes is the main reason for rapid ripening and consequential loss. The present study tested various concentrations of 1-MCP gas in a tomato storage jar. The tomato cultivar Rapsona was harvested at the breaker stage of ripening for use in this study. The results demonstrated that the presence of 1-MCP in the storage atmosphere controlled the ethylene, extended the ripening time of green tomatoes, delayed softening of texture and changes the surface color of the fruit to red. The effectiveness of these parameters depended on 1-MCP concentration and length of contact of the fruit with the activated gas. Ripening of treated tomatoes was delayed for 15-18 d with the application of ≥0.7 µl/l 1-MCP and an exposure time of 24 h. Despite the success in controlling and delaying fruit ripening, the use of 1.35 µl/l 1-MCP is not recommended because of the lack of uniformity in the fully-ripened red tomatoes, which decreases utility and production of a market-friendly product.

Keywords: MCP, Ripening time, Storage, Tomato, Waste