مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۶/ شماره ۲/سال ۱۳۹۴/ص ۹۲-۸۳

کارایی نانو ذرات اکسید تیتانیم در حذف بوی نامطلوب از فضای نگهداری گوجه‌فرنگی

فرزاد گودرزی*

نگارنده مسئول: مربی پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. ص. پ. ۸۸۷-۶۵۱۵۵، تلفن: ۳۴۳۷۳۵۹۳(۰۸۱)، پیام‌نگار: goodarzifarzad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۰

چکیده

گوجه‌فرنگی محصولی زراعی و فرازگرا با ظرفیت بالای تولید اتیلن و دیگر ترکیبات آلی فرار مانند اتانول و استالدئید است که حدود یک‌سوم میزان تولیدی آن در فاصلهٔ بین برداشت تا مصرف از بین می‌رود. در این مطالعه از دو غلظت ۰/۵ و ۵ گرم در لیتر محلول نانو دی اکسید تیتانیوم برای ایجاد تأخیر در تولید بوی نامطلوب ناشی از تجمع اتانول و استالدئید در فضای نگهداری گوجه‌فرنگی رسیده و قرمز رقم هلیل، یا کنترل آن، استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، مشخص شد که ذرات نانو دی اکسید تیتانیم در حضور پرتو فرابنفش و متناسب با غلظت محلول، قادر به کاهش ۸۵ درصد از میزان اتیلن تولیدی، و تجزیهٔ ۷۵ تا ۱۰۰ درصد از استالدئید و اتانول موجود در فضای نگهداری گوجه‌فرنگی هستند. ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان می‌دهد از روز چهارم نگهداری میوه در انبار، بوی نامطلوب در تیمار شاهد گوجه‌فرنگی قابل شناسایی و در روز دهم نگهداری این مقدار به بیشترین سطح خود می‌رسد. در حالی که تا روز هشتم نگهداری، بوی نامطلوب تجمع یافته در فضای نگهداری گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با غلظت ۵ گرم در لیتر نانو دی اکسیدتیتانیم، کمتر از آستانهٔ قابل شناسایی بود و تا پایان دوره ۱۲روزه نگهداری نیز در کمترین مقدار باقی ماند.

واژه‌های کلیدی

اتانول، اتیلن، استالدئید، دی اکسید تیتانیم، گوجه‌فرنگی

مقدمه

کاربرد ذرات فوتوکاتالیست نانو اکسید تیتانی (TiO_2) در زدودن آلاینده‌های آلی از هوا و آب، به دلیل برخورداری از ویژگی‌های خاص، در کشورهای توسعه یافته در حال توسعه است (Fujishima *et al.*, 1999; Akiyama & Taoda, 2000). هنگامی‌که ذرات فوتو کاتالیست اکسید تیتانیم در معرض پرتوهای با طول موج کمتر از ۴۰۰ نانومتر قرار می‌گیرند، انرژی فوتون‌ها باعث برانگیختگی الکترونی در سطح لایه‌های والانس این ذرات می‌شود و همین امر قطبیدگی لحظه‌ای تیتانیم را به همراه خواهد داشت. این قطبیدگی مسئول بروز خواص کاتالیستی تیتانیم است. در این حالت، تیتان در مجاورت با موادی مانند آب و اکسیژن، در سطح خود رادیکال‌های فعال هیدروکسیل و آنیون سوپر اکسید (O_2^-) را تولید می‌کند. ذرات تولید شدهٔ اخیر، بدون ایجاد آسیب در بافت محصول، آلودگی‌های آلی جذب شده در سطح دی اکسید تیتانیم را به بخار آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌کنند (Kuo & Lin, 2000; Seoun Hur *et al.*, 2005). این ویژگی، اکسید تیتانیم را قادر می‌سازد تا طیف وسیعی از آلودگی‌های آلی را در

© 2017,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

حوزه‌های مختلف صنعت حذف کند (Ku & Jung, 2001; Fukahori *et al.*, 2003). توانایی این تکنولوژی در حذف آلودگی‌های آلی، این فرضیه را تقویت کرده است که ذرات فوتو کاتالیست اکسید تیتانیم می‌توانند ترکیبات فرار آلی تولید شده در هوای انبارهای نگهداری محصولات کشاورزی را نیز به حداقل ممکن برسانند و به این ترتیب ماندگاری این محصولات را افزایش دهند. گاز اتیلن در نقش یک هورمون گیاهی می‌تواند تنفس، رسیدگی و مراحل پیری گیاهان را تنظیم کند. مطالعات مختلف نشان داده است که اندک اتیلن موجود در هوای انبار باعث تسریع رسیدن میوه‌ها و بروز واکنش‌های ناخواسته مانند افزایش طعم تلخ، زرد شدن سبزی‌های برگی و افزایش حساسیت محصول به بیماری‌های انباری می‌شود (Abeles & Morgan, 1992; Porat *et al.*, 1998). استفاده از پرمنگنات پتاسیم، اتمسفر هیپوبار، اکسنده‌های کاتالیتیک و گاز اوزون روش‌هایی هستند که برای حذف اتیلن و دیگر ترکیبات آلی انبارها عمومیت دارد. کاربرد هر یک از این راه‌ها دارای مشکلاتی است. مثلاً هوادهی، به رغم اینکه به ادوات زیاد نیاز دارد، قادر به خارج کردن مقادیر اندک اتیلن از هوای انبار نیست. پرمنگنات سمی و نیازمند تعویض مداوم است. اکسنده‌های کاتالیتیک نیازمند گرم‌کننده هستند تا اتیلن و اکسیژن را به آب و دی اکسید کربن تجزیه و هوای گرم شدهٔ انبار را دوباره سرد کند. انبارهای هیپوباریک موثر ولی بسیار گران‌اند. اوزون هم اکسنده‌ای بسیار پرقدرت است، اما به بافت گیاه و میوه آسیب می‌زند؛ و به همین دلیل بافت را مجدداً برای تولید اتیلن تحریک می‌کند (El Blidi *et al*, 1993; Graham, *et al*, 1998; Nakajima *et al.*, 2001). با ظهور نانو فناوری و امکان به‌کارگیری فناوری‌های جدید برای نگهداری بهتر و طولانی‌تر محصولات کشاورزی، تحقیقات متنوعی در این زمینه انجام شده که بیشتر آنها معطوف بوده است به حذف گاز اتیلن از انبارهای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های تازه به کمک نانو ذرات اکسید تیتانیم. غالب این تحقیقات حذف اتیلن از هوا را موفقیت آمیز گزارش کرده‌اند (Park *et al.*, 1999; Zorn *et al.*, 2000; Maneerat *et al.*, 2003). گوجه‌فرنگی از محصولات مهم زراعی فرازگرا با ظرفیت بالای تولید اتیلن است که سالانه حدود یک‌سوم تولیدات آن در فاصلهٔ بین برداشت تا مصرف، از بین می‌رود. نگهداری محصولات کشاورزی فرازگرا (مانند گوجه‌فرنگی) در شرایط بی هوازی جزئی یا تحت تنش کمبود اکسیژن و دی اکسید کربن بالا (مانند شرایط بسته‌بندی MAP) باعث می‌شود تا میوه برای تولید برخی ترکیبات آلی فرار مانند استالدئید (AA) و اتانول (EtOH) بیشتر تحریک شود (Kader, 1986; Rodov *et al.*, 2000; Porat *et al.*, 2004). تولید و تجمع اتیلن از جمله دلایل اصلی ماندگاری کوتاه مدت این قبیل محصولات کشاورزی است. تحقیقات اخیر نشان داده است که در کنار اتیلن، تجمع ترکیبات فرّار استالدئید و اتانول در هوای انبار نیز می‌تواند از طریق ایجاد بو و طعم نامطبوع در محصول در حال نگهداری، موجب کاهش کیفیت آنها شود (Muggli & Ding, 2001; Pesis, 2005). غلظت این دو فراورده که در میوه‌ها و سبزی‌ها تولید می‌شوند، طی دورهٔ رسیدن آنها افزایش شدید می‌یابد. تولید استالدئید و اتانول حتی در شرایط بی هوازی نیز ادامه پیدا می‌کند (Pesis, 2005). استالدئید در میوه‌ها حاصل اثر آنزیم پیرووات دکربوکسیلاز (PDC) بر پیرووات است. پیرووات تولید شده نیز به نوبه خود می‌تواند تحت تأثیر آنزیم الکل دهیدروژناز (ADH) به اتانول تبدیل شود (Pesis, 2005). افزایش سطح استالدئید و اتانول در میوه‌ها با افزایش فعالیت آنزیم‌های الکل دهیدروژناز و پیرووات دکربوکسیلاز به طور مستقیم ارتباط دارد (Bruemmer, 1986).

این مطالعه امکان استفاده از محلول نانو اکسید تیتانیم را به منظور کاهش یا حذف استالدئید

و اتانول از هوای پیرامون گوجه‌فرنگی در حال نگهداری بررسی می‌کند؛ محصولی که فرازگراست و قابلیت بالایی در تولید اتیلن و دیگر ترکیبات آلی فرّار دارد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های سالم گوجه‌فرنگی رقم هلیل[1] با قطر متوسط ۴ تا ۵ سانتی‌متر در وضعیت رسیده قرمز[2] (مرحله‌ای از رسیدگی گوجه‌فرنگی که بخش‌های قرمز آن در بیش از ۹۰ درصد سطح گوجه‌فرنگی مشاهده می‌شود)، از یک مزرعه گوجه‌فرنگی در شهرستان اسدآباد انتخاب و برداشت شد. از فرم آناتاز[3] پودر دی‌اکسید تیتانیم ساخت ژاپن[4] استفاده شد؛ شرکت سازنده این ماده، قطر متوسط ذرات را ۵ میکرومتر و درجه خلوص آنها را ۹۹/۹ درصد اعلام کرده است. نور فرابنفش با طول موج ۳۲۰ تا ۳۸۵ نانومتر و شدت تابش ۵ وات بر متر مربع با به‌کارگیری ۲ عدد لامپ ۲۰ وات ساخت ژاپن[5] تأمین شد.

گوجه‌فرنگی‌ها در دسته‌های ۵ تایی درون جارهای پلاستیکی به ابعاد ۲۱×۲۱×۳۴/۵ سانتی‌متر قرار داده شدند. فنجانی حاوی ۱۰۰ سی‌سی محلول کلوئیدی نانو اکسید تیتانیم درون هر جار به شکلی قرار داده شد که میوه و محلول اکسید تیتانیم با هم تماس نداشته باشند. در پایان، دهانهٔ جارها با دو لایه پوشش پلی پروپیلن به ضخامت ۰/۰۴ میلی‌متر مسدود شد. غلظت محلول کلوئیدی نانو اکسید تیتانیم به کار رفته در تیمارهای مختلف آزمایش صفر (به عنوان شاهد)، ۰/۵ و ۵ گرم در لیتر بود. در حین آزمایش، کلیهٔ ظرف‌های تیمارها، به مدت ۱۸ ساعت در روز در معرض پرتو فرابنفش با شدت تابش ۵ وات بر متر مربع قرار داده شدند (Maneerat *et al.*, 2003). طی ۱۲ روز که آزمایش‌ها ادامه داشت، نمونه‌ها در دمای ۱±۱۸درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۳±۸۷ درصد نگهداری و مقدار اتیلن، استالدئید و اتانول تجمع یافته درون ظرف هر تیمار اندازه‌گیری شد (Wills & Ku, 2002; Batu, 2004). در پایان، داده‌ها در قالب یک طرح کامل تصادفی با سه تکرار و با نرم افزار Spss (Release 11.0.0 ©SPSS Inc., 2001) و در سطح معنی‌داری ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند.

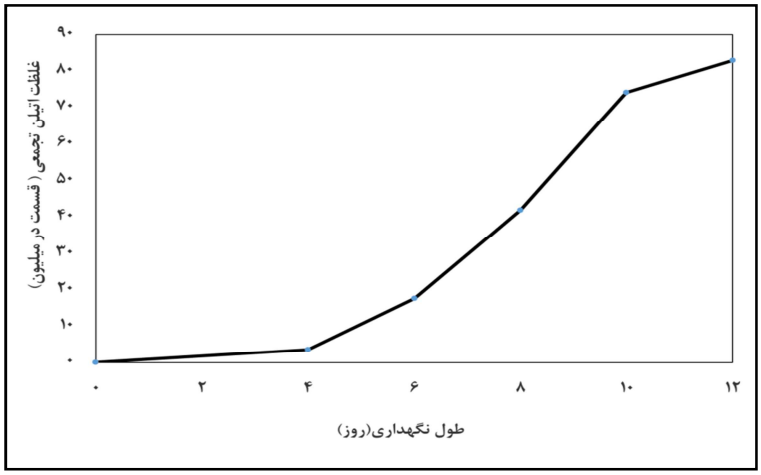
برای سنجش اتیلن تجمعی درون هر ظرف، از دستگاه اتیلن‌متر دستی ساخت کشور اسپانیا[6] استفاده شد. در بررسی وضعیت تجمع استالدئید و اتانول در هوای اطراف میوه‌های گوجه‌فرنگی، در هر نوبت نمونه برداری، یک میلی‌لیتر نمونه هوای هر تیمار با سرنگ غیر قابل نشت در برابر هوا[7] برداشت شد. نمونهٔ گاز، به یک دستگاه کروماتوگرافی گازی[8] تزریق شد. دمای بخش‌های شناسایی، تزریق نمونه، و آون دستگاه به ترتیب برابر ۲۵۰، ۲۰۰، و ۱۸۰درجه سلسیوس تنظیم شد. در پایان غلظت استالدئید و اتانول تولیدی نمونه‌ها از طریق مقایسه با مولفه‌های پیک خروجی نمونه‌های استاندارد[9] تعیین شد (Gil *et al.*, 1998; Pesis, 2005). عطر و طعم نامطلوب نمونه‌های آزمایشی گوجه‌فرنگی به کمک یک گروه ۱۴ نفره ارزیاب آموزش دیده، و با استفاده از روش آزمون درجه‌بندی هدونیک[10] مورد ارزیابی حسی قرار گرفت. در این شیوهٔ امتیاز دهی، امتیاز صفر برای نمونه‌های عاری از بوی نامطبوع حاصل از تخمیر و امتیاز ۵ برای نمونه‌های با بوی نامطبوع شدید در نظر گرفته شد. میانگین امتیازهای نمونه‌ها به روش آنالیز واریانس آنوا[11] و با آزمون "حداقل اختلاف معنی‌دار"[12] مقایسه شدند (Payan, 2003).

1 - Halil
2 - Red Maturity
3 - Anatase Form
4 - Wako Pure Chemical, Tokyo, Japan
5 - Black-Light Lamp (20 W), Model:FL20S-BLB-A, Toshiba, Tokyo, Japan
6 - Bioconservation, Co. Model: S1107, Madrid, Spain
7 - Hamiltin Gas-Tight Syringe, GL Science, Tokyo, Japan
8 - GC-FID, Model 390, GL Science, Tokyo, Japan
9 - Wako Pure Chemical Ind, Osaka, Japan
10 -Hedonic Scaling Test
11 - ANOVA Test
12 - LSD (Least Significant Difference Test)

نتایج و بحث

تجزیه اتیلن

با افزایش زمان نگهداری، مقدار اتیلن تجمع یافته در ظروف تیمارهای مختلف افزایش یافت. کمترین مقدار اتیلن قابل اندازه‌گیری روز چهارم نگهداری گوجه‌فرنگی به دست آمد. از روز چهارم تا روز دوازدهم نگهداری، میانگین اتیلن تجمعی در ظروف تیمارهای مختلف به ترتیب به ۱/۵، ۳ ، ۶ و ۷ برابر مقدار اولیه رسید. اتیلن تجمعی تیمارها در روزهای دهم و دوازدهم نگهداری اختلاف معنی‌داری نشان نداد، با این حال، مقدار مطلق اتیلن در روز دوازدهم نگهداری به بیشترین مقدار خود رسید. بر این اساس، تولید اتیلن در گوجه‌فرنگی رسیده تا روز دهم نگهداری، بیشترین مقدار و شیبی فزاینده داشت. پس از آن، این روند با شیب کمتری ادامه یافت (شکل۱). مقایسهٔ اتیلن تجمعی تیمارهای مختلف نانو اکسید تیتانیم نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول نانو اکسید تیتانیم، مقدار اتیلن تجمعی در ظروف تیمارها به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد (شکل۲). با توجه به نتایج به دست آمده، تیمار ۵ گرم در لیتر نانو اکسید تیتانیوم همراه با پرتو فرابنفش قادر بود تجمع گاز اتیلن در ظروف نگهداری نمونه‌های گوجه فرنگی را در دوره آزمایشی به خوبی کاهش دهد. موگلی و دیگ (Muggli & Ding, 2001) و فوجیشیما و همکاران (Fujishima *et al.*, 1999) در مطالعات خود نتایج مشابهی را گزارش داده‌اند.



شکل ۱- اثر زمان نگهداری بر میزان اتیلن تجمع‌یافته در ظروف کلیهٔ تیمارهای آزمایشی

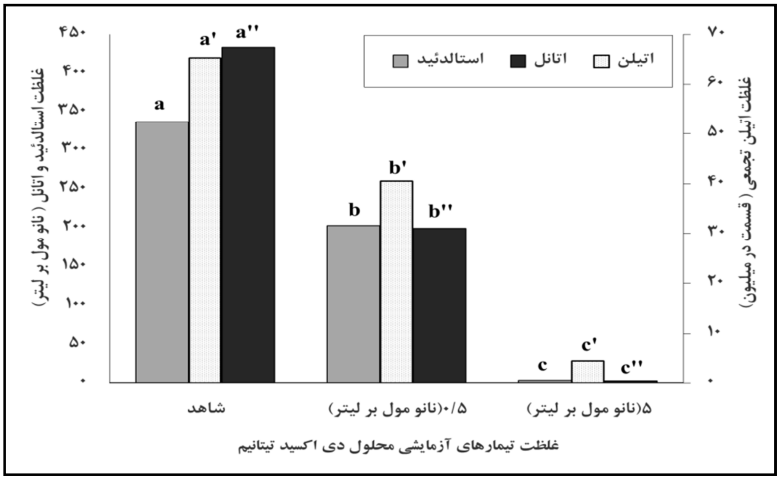
تجزیه استالدئید و اتانول

پایش غلظت استالدئید و اتانول تولیدی در تیمارهای مختلف گوجه‌فرنگی نشان می‌دهد که دی اکسید تیتانیم به شکلی معنی‌دار قادر به کاهش این دو ترکیب فرار است (شکل۲).

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در تیمار شاهد، تجمع اتانول و استالدئید پس از ۴ روز نگهداری، به سطح قابل تشخیص رسیده است، حال آنکه در نمونه‌های تیمار شده با دی اکسید تیتانیم با غلظت ۵ گرم در لیتر حتی پس از ۱۰ روز نگهداری، غلظت استالدئید و اتانول تولیدی به سطح قابل شناسایی نرسید. مطابق نتایج این مطالعه، افزایش غلظت دی اکسید تیتانیم از ۰/۵ به ۵ گرم در لیتر، در حضور پرتو فرابنفش با شدت تابش ۵ وات بر متر مربع، تاخیر معنی‌دار در زمان لازم را برای رسیدگی بیش از حد میوه‌ها و کاهش معنی‌دار سطح ترکیبات استالدئید و اتانول تولیدی از آنها به دنبال دارد. این تاخیر به طور معنی‌دار با کاهش غلظت اتیلن تولید شده از نمونه‌های آزمایشی - که ناشی از اثر قدرت تجزیه‌کنندگی اتیلن

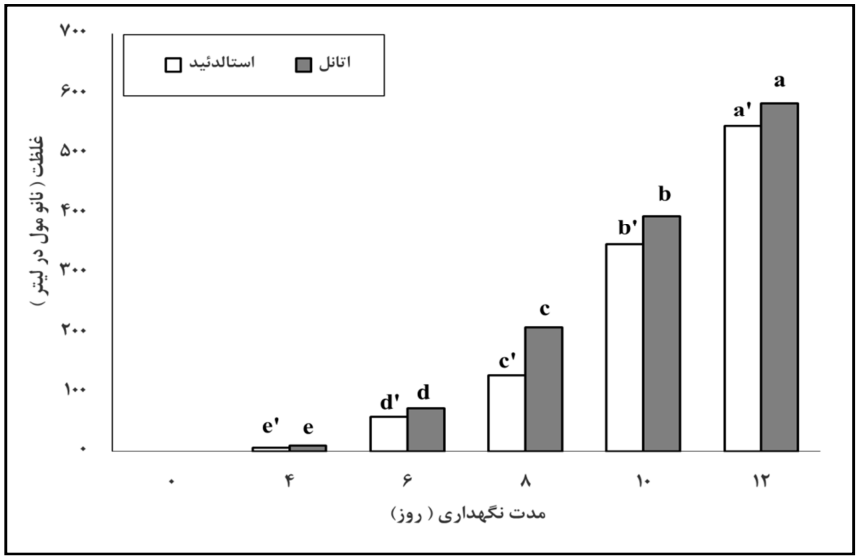
توسط دی اکسید تیتانیم است - در انطباق بوده و قابل توجیه است. با این حال کارایی این نانوذرات در حذف متابولیت‌های استالدئید و اتانول در مراحل مختلف رشد متابولیکی میوه متفاوت است. تیمار غلظت ۰/۵ گرم در لیتر در مراحل اولیهٔ نگهداری اثر بازدارندگی بر افزایش غلظت استالدئید و اتانول را به شکل موثر اعمال کرد؛ اما پیری میوه و رسیدگی بیش از حد (از روز دهم نگهداری به بعد) کارایی این ذرات برای تداوم تأثیر بازدارندگی تضعیف شد. مطالعات مشابه نیز بر این موضوع دلالت دارد که طولانی شدن مدت زمان نگهداری برخی میوه‌ها مانند سیب، گلابی و گوجه‌فرنگی و ورود آنها به مرحلهٔ پیری و رسیدگی بیش از حد، سبب تجمع بیشتر استالدئید و اتانول و به دنبال آن تشدید بوی نامطبوع در آنها می‌شود (Nichols & Petterson, 1987). نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان نگهداری میوهٔ گوجه‌فرنگی، غلظت دو ترکیب استالدئید و اتانول تولید شده در آن به میزانی معنی‌دار افزایش می‌یابد، به طوری که در روز دوازدهم نگهداری، مقدار استالدئید و اتانول تجمعی در ظروف تیمارهای مختلف به ترتیب به ۹/۲ و ۸ برابر مقدار آنها در روز چهارم رسید. به عبارت دیگر، رسیدن بیش از حد گوجه‌فرنگی، به دنبال یک دوره نگهداری ۱۲ روزه، منجر به افزایش قابل توجه و معنی‌دار تولید استالدئید و اتانول در میوه شده است (شکل ۳). این پدیده می‌تواند به تشدید مقدار و سطح فعالیت آنزیم‌های الکل دهیدروژناز و پیرووات دکربوکسیلاز و به موازات آن شکل‌گیری و تشدید بو و طعم نامطبوع در میوه مربوط باشد (Longhurt *et al.*, 1990).

افزایش ترکیبات فرّار در میوه‌های تیمار شده با دی اکسید تیتانیم در دورهٔ نگهداری به شکلی معنی‌دار و متناسب با غلظت نانو ذرات به کار رفته، کمتر از مقدار همین ترکیبات در نمونه‌های شاهد است. هر چند از روز دهم نگهداری به بعد افزایش معنی‌دار ترکیبات فرار در نمونه‌های تیمار شده با اکسید تیتانیم نیز قابل مشاهده است. در این مرحله از رشد متابولیکی میوه، مقدار استالدئید و اتانول آزاد شده از گوجه‌فرنگی احتمالاً از ظرفیت دی اکسید تیتانیم مورد استفاده در آزمایش برای تجزیه و تخریب ترکیبات آلی فرار تولیدی بیشتر است. بر این اساس لازم است متناسب با دورهٔ رسیدن و پیری میوه و مدت زمان نگهداری آنها در انبار، مقدار دی اکسید تیتانیم مورد استفاده تنظیم شود. با این حال، نتایج این مطالعه توانایی دی اکسید تیتانیم را در حذف ترکیبات آلی استالدئید و اتانول اثبات می‌کند.



شکل ۲- اثر غلظت محلول دی اکسید تیتانیم بر مقدار اتیلن، استالدئید و اتانول[1] تولیدی در نمونه‌های تیمار شده با دی اکسید تیتانیم

۱- در این مقاله، مقادیر استالدئید (با حروف a، b و c)، اتیلن (با حروف a′، b′ و c′)، و اتانول (با حروف a″، b″ و c″)، به صورت مستقل از یکدیگر مورد مقایسه آماری قرار گرفته‌اند. در ستون‌های دارای الگوی رنگ یکسان، میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۳- اثر مدت زمان نگهداری میوه بر مقدار استالدئید و اتانول تجمع یافته در تیمارهای گوجه‌فرنگی

ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی تیمارهای گوجه‌فرنگی نیز نشان می‌دهد که چگونگی تغییرات شدت طعم و بوی نامطبوع در نمونه‌های تیمار شده با بر روند تجمع اتیلن، استالدئید و اتانول در آنها منطبق است (جدول ۱ و شکل‌های ۱ و ۲). به این ترتیب تا روز هشتم نگهداری گوجه‌فرنگی، گروه ارزیاب طعم و بوی نامطبوعی را در نمونه‌های تیمار شده با بالاترین غلظت دی اکسید تیتانیم، شناسایی نکرد. در حقیقت اکسایش استالدئید و اتانول تحت اثر ذرات فوتوکاتالیک دی اکسید تیتانیم موجب شده است بو و طعم نامطبوع در میوه‌ها شکل نگیرد یا اگر گرفته باشد تخلیه شود. طعم و بوی ناخوشایند از روز چهارم نگهداری، در نمونه‌های شاهد قابل شناسایی بود و در روز دهم نگهداری این مقدار به بیشترین سطح خود رسید. در همین زمان، مقدار این ترکیبات برای تیمار ۵ گرم در لیتر در کمترین مقدار بود. این نتایج با گزارش پسیس (Pesis, 2005) تشابه دارد.

جدول ۱- مقایسهٔ میانگین امتیاز ارزیابی* حسی گوجه‌فرنگی‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف دی اکسید تیتانیم طی دورهٔ نگهداری

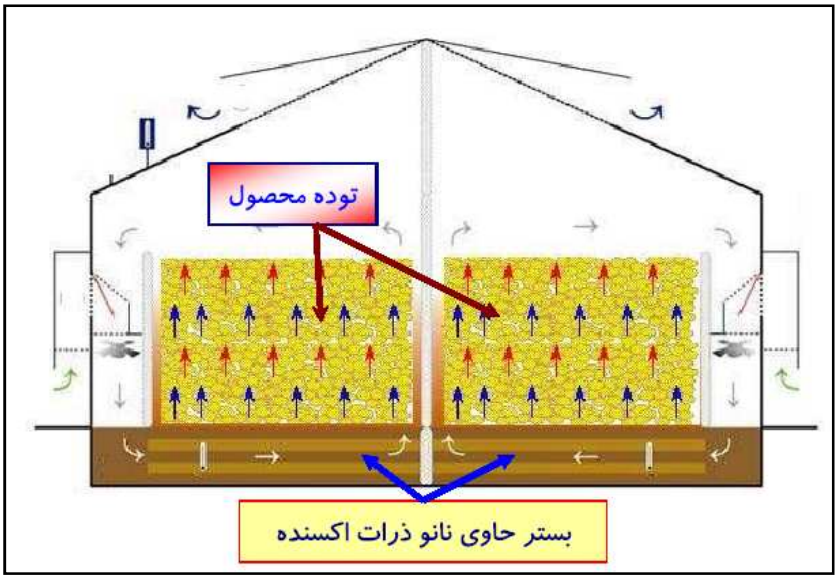
مدت زمان نگهداری	غلظت دی اکسید تیتانیم آزمایشی		
(روز)	صفر (شاهد)	۰/۵ گرم در لیتر	۵ گرم در لیتر
۰	۰ f	۰ f	۰ f
۴	۱ e	۰ f	۰ f
۶	۲ d	۰ f	۰ f
۸	۴ b	۱ e	۰ f
۱۰	۵ a	۳ c	۱ e
۱۲	۵ a	۴ b	۱ e

* امتیاز صفر به نمونه‌های فاقد بوی نامطلوب و امتیاز ۵ به نمونه‌های محتوی بیشترین بوی نامطلوب اختصاص یافت.

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تیمار ۵ گرم در لیتر محلول نانو اکسید تیتانیوم درحضور پرتو فرابنفش با شدت تابش حداقل ۵ وات بر متر مربع توانست علاوه بر حذف اتیلن، استالدئید و اتانول موجود در هوای ظروف نگهداری، گوجه‌فرنگی‌های رسیده را به شکل مناسبی حفظ و تولید ترکیبات عامل بو و طعم نامطلوب در فضای نگهداری میوه‌های رسیده را به مدت حداقل ۸ روز (بدون ایجاد آسیب در بافت محصول) با کندی مواجه و یا کاملاً متوقف کند. با این همه، تنوع در سطح کارایی این ذرات، در دوره‌های مختلف رسیدگی و در محصولات مختلف متفاوت است. این تفاوت عمدتاً به سطح توانایی میوه‌ها در تولید اتیلن، استالدئید و اتانول وابسته است. تاخیر ایجاد شده ۸ روزه، برای تنظیم بازار مصرف گوجه‌فرنگی با اهمیت است و فرصتی برای جلوگیری از اتلاف بخشی از این محصول را فراهم می‌کند. بر این اساس توصیه می‌شود که این ترکیبات همراه با رعایت اصول ایمنی و در اولویت قرار دادن سلامت مصرف کنندگان، از طریق ایجاد اصلاحات در سیستم تهویه و گردش هوای انبارها به کار گرفته شوند تا احتمال هرگونه تماس محصول با مواد نانو ساختار کاملاً منتفی شود. به این منظور، با الهام از ساختار پیشنهادی راشینگ و همکاران (Rushing *et al.*, 2011) برای نگهداری محصولات کشاورزی، طرح پیشنهادی ارائه شده در شکل ۴ می‌تواند برای عملیاتی کردن اثر تجزیه‌کنندگی نانو اکسید تیتانیوم بر ترکیبات عامل بو و طعم نامطلوب انبارها، مبنای عمل قرار گیرد.



شکل ٤- طرح پیشنهادی برای استفاده از نانو ذرات اکسندهٔ دی اکسید تیتانیم در انبارهای محصولات کشاورزی (Rushing *et al* ., 2011)

مراجع

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

Akiyama, S. and Taoda, H. 2000. Hikari shokubai to kanrengijutsu: 21 seikikigyo no technology, Tokyo, Japan: Nikkankogyo Shimbunsha. (in Japanese)

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

Bruemmer, J. H. 1986. Regulation of acetaldehyde and ethanol accumulation in citrus fruit. In: Parliament, T. H. (Eds.) Biogeneration of Aromas. ACS Symposium Series. Washington D. C. American Chemical Society. 276-285.

El Blidi, A., Rigal, L. Malmary, G., Mlinier, J. and Toress, L. 1993. Ethylene removal for long- term conservation of fruits and vegetables. Food Quality. Pref. 4(3):199-126.

Fujishima, A., Hashimoto, K. and Watanabe, T. 1999. TiO_2 Photo catalysis: Fundamentals and Applications. Tokyo, Japan: BKC.

Fukahori, S., Ichiura, H., Kitaoka, T. and Tanaka, H. 2003. Photocatalytic decomposition of bisphenol A in water using composite TiO_2-zeolite sheets prepared by a papermaking technique. Environ. Sci. Tech. 7(5):1048-1051.

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

Gil, M. I., Gorny, J. R. and Kader, A. A. 1998. Response of 'Fuji' apple slices to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmosphere. Hort. Sci. 33(2): 305-309.

Kader, A. A. 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Tech. 40(5): 99-100, 102-104.

Kuo, W. S. and Lin, Y. T. 2000. Photocatalytic oxidation of xenobiotics in water with immobilized TiO_2 on agitator. J. Environ. Sci. Health B. 5(1): 61-75.

Ku, Y. and Jung, I. L. 2001. Photocatalytic reduction of Cr (VI) in aqueous solutions by UV irradiation with the presence of titanium dioxide. Water Res. 35(1): 135-142.

Longhurt, T. J., Tung, H. F. and Brady, C. J. 1990. Development regulation of the expression of alcohol dehydrogenase in ripening tomato fruits. J. Food Biochem. 14(6): 421-433.

Maneerat, C., Hayata, Y., Egashira, N., Sakamoto, K., Hamai, Z. and Kuroyanagi, M. 2003. Photo catalytic reaction of tio2 to decompose ethylene in fruit and vegetable storage. Trans. ASAE. 46(3): 725-730.

Muggli, D. S. and Ding, L. 2001. Photo catalytic performance of sulfated TiO_2 and degussa P-25 TiO_2 during oxidation of organics. Applied Catalysis B: Environ. 32(3):181-194.

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/kenko/biotech/ito/ito.html. Accessed on 10 July 2012.

Nichols, W. C. and Patterson, M. E. 1987. Ethanol accumulation and poststorage quality of 'Delicious' apples during short-term, low-O_2, CA storage. Hort. Sci. 22(1): 89-92.

Park, D. R., Zhang, J., Ikeue, K., Yamashita, H. and Anpo, M. 1999. Photo catalytic oxidation of ethylene to CO_2 and H_2O on ultrafine powdered TiO_2 photo catalysts in the presence of O_2 and H_2O. J. Catalysis. 185(1): 114-119.

Payan, R. 2003. Principles of Quality Control in the Food Industry. Tehran, Iran. (in Farsi)

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

Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A. and Aharoni, N. 2004. Reduction of postharvest rind disorders in citrus fruit by modified atmosphere packaging. Postharvest Biol. Tech. 33(1): 35-43.

Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Goren, R. and Droby, S. 1998. Effects of ethylene and 1-methylcyclopane on the postharvest qualities of 'Shamouti' oranges. Postharvest Biol. Tech. 15(2): 155-163.

Rodov, V., Copel, A., Aharoni, N., Aharoni, Y., Wiseblum, A., Horev, B. and Vinokur, Y. 2000. Nested modified atmosphere packages maintain quality of trimmed sweet corn during cold storage and the shelf life period. Postharvest Biol. Tech. 18(3): 259-266.

Rushing, J. W., Bihn, E. A., Brown, A. E., Martin, L. Y. and Suslow, T. V. 2011. Improving the Safety and Quality of Fresh Fruits and Vegetables: A training manual for trainers. Extension Service. University of Maryland, College Park 20740, Maryland, USA.

Seoun Hur, J., Mi Lim, K. and Ok Oh, S. 2005. Novel effects of TiO_2 photo catalytic ozonation on control of postharvest fungal spoilage of kiwifruit. Postharvest Biol. Tech. 35(1):109-113.

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

Zorn, M. E., Tompkins, D. T., Zeltern, W. A. and Anderson, M. A. 2000. Catalytic and photo catalytic oxidation of ethylene on titanium-based thin films. Environment. Sci. Tech. 34(24):5206-5210.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.16/No.2/2015/P:83-92

Efficiency of Tio_2 Photocatalytic Reaction for Removal of Off-Flavor from Tomato Storage

F. Goodarzi*

*Corresponding Author: Academic Member, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Research and Educational Center of Agriculture and Natural Resources, AREEO, P. O. Box: 65155-887. Hamedan, Iran. Email: goodarzifarzad@gmail.com
Received: 2 August 2014, Accepted: 10 January 2015

The tomato is a climacteric vegetable crop with high capacity for production of ethylene. Approximately 30% of the crop is lost in the consumption chain during harvest. In this study, two concentrations of nano-TiO_2 in the form of TiO_2 slurry were applied to tomato containers to evaluate ethanol, acetaldehyde and off-flavor decomposition in the storage atmosphere of tomatoes. The Halil tomato cultivar was harvested at the red stage of ripening for use in this study. The results showed that the TiO_2 in the presence of UV light and proportional to the concentration can remove up to 85% of ethylene gas and 100% of ethanol and acetaldehyde from the tomato storage atmosphere. The extent of ethylene, ethanol and acetaldehyde removal caused by TiO_2 photo catalytic reactions depended on the TiO_2 concentration. A test panel determined that off-flavors were present in the storage atmosphere of the control treatment at 4 d after storage and was highest at 10 d. Off-flavors were not present in the storage atmosphere treated with 5g/l TiO_2 at 8 d. At the end of 12 d of storage, the lowest level for off-flavor was detected in this treatment.

Keywords: Acetaldehyde, Ethanol, Storage, TiO2, Tomato