Plant Prod., 2023, 46(1), 51-63
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 0.22055/ppd.2023.41148.2042
Received: 20 June 2022
Accepted: 9 January 2023

Plant Productions
Research Article

Pre-harvest application of chitosan and nano-chitosan on enzymatic activities, quality and sensory indicators of fresh pistachios (*Pistacia vera* L. cv 'Ahmad Aghaei')

Shirin Taghipour[1], Abdollah Ehtesham Nia*[2], Hossein Hokmabadi[3]

1. PhD student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3. Associate Professor of Agriculture and Natural Resources Research Center Semnan, Shahrood, Iran.

Citation: Taghipour, Sh., Ehtesham Nia, A., & Hokmabadi, H. (2023). Pre-harvest application of chitosan and nano-chitosan on enzymatic activities, quality and sensory indicators of fresh pistachios (*Pistacia vera* L. cv 'Ahmad Aghaei'). *Plant Productions,* 46(1), 51-63.

Abstract

Introduction

Pistachio (*Pistacia vera* L.) is one of the most important and popular tree nuts in the world. The kernels of this product are rich in oil (more than 50%) and contain linolenic, linoleic and oleic acid, which are essential for the human diet. Pistachio is also one of the important export products that is of strategic importance in the field of non-petroleum exports and currency and its role in the agricultural and national economy is significant and valuable. In addition to its economic value, pistachios are rich in essential nutrients such as phenolic compounds, anthocyanins, unsaturated and tonic fatty acids, the consumption of which has a great impact on health, well-being and community empowerment. The use of biodegradable, edible, and antimicrobial films and coatings as a suitable alternative to synthetic preservatives is important in order to maintain food security and prevent wastage of capital.

Materials and Methods

This study was performed in 2021 in the Faculty of Agriculture, Lorestan University and Green Tat Research Garden in Qazvin province. In this experiment, the effect of pre-harvest foliar application of chitosan (0, 500 and 1000 mg/l) and nano- chitosan (0, 250 and 500 mg/l) on the qualitative and sensory characteristics, activity of antioxidant enzymes and shelf life of fresh pistachios 'Ahmad Aghaei' cultivar in four different times (0, 25, 50 and 75 days after harvest) were stored in the cold storage at 4± 0.5° C and 80% RH. The studied traits

* **Corresponding Author:** Abdollah Ehtesham Nia
E-mail: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

included, fruit kernel firmness, weight loss percentage, antioxidant enzyme activity, acid value, peroxide values (PV) and sensory properties were measured at different times.

Results and Discussion

The results showed that the fruits treated with nano-chitosan 500 mg/l had the highest tissue firmness (8.13 N). The lowest percentage of weight loss was observed in nano-chitosan 250 mg/l treatment on the 25th day (0.14%). The activity of superoxide dismutase enzyme in fruits treated with nano-chitosan 500 mg/l also increased. The lowest polyphenol oxidase activity belonged to nano-chitosan 250 mg/l treatment and the highest guaiacol peroxidase activity was observed in chitosan 1000 mg/l treatment. The lowest and highest amount of peroxide values was obtained in the treatment of nano-chitosan 250 mg/l and control, respectively, on days 0 and 75 days after storage. The amount of free fatty acids increased during storage and the increase was slower in chitosan and nano-chitosan treatments, so that the lowest amount of free fatty acids in nano-chitosan treatment was 250 mg/l in day 0 and the highest amount of free fatty acid in control treatment was observed on the 75th day. Fresh pistachios coated with nano-chitosan 500 and 250 mg/liter significantly showed the highest average sensory scores in marketability index, skin appearance, smile and texture crispness compared to the control.

Conclusion

According to the results, it can be stated that the application of nano-chitosan 250 mg/l in the pre-harvest stage, due to maintaining qualitative and sensory characteristics, and increasing the shelf life of fresh pistachios up to 75 days compared to the control, and as a natural and biodegradable compound is recommended.

Keywords: Edible coating, Fresh pistachio, Nano- chitosan, Shelf life

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۲، ۴۶(۱)، ۵۱-۶۳
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 0.22055/ppd.2023.41148.2042
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و نانو کیتوسان بر فعالیت‌های آنزیمی، شاخص‌های کیفی و حسی پسته تر رقم 'احمدآقایی'

شیرین تقی‌پور[۱]، عبداله احتشام‌نیا[۲]*، حسین حکم‌آبادی[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۳. دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، شاهرود، ایران.

چکیده

این مطالعه در سال ۱۴۰۰ در دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان و باغ تحقیقاتی تات سبز استان قزوین انجام شد. در این آزمایش به بررسی اثر محلول‌پاشی‌های قبل از برداشت کیتوسان (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوکیتوسان (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر ویژگی‌های کیفی و حسی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ماندگاری پسته تر رقم 'احمدآقایی' در پنج زمان مختلف (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ روز پس از برداشت) در دمای ۴±۰/۵ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد پرداخته شد. نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بالاترین سفتی پوسته (۸/۱۳ نیوتن) بودند. کم‌ترین درصد کاهش وزن در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در ۲۵ روز پس از انبارمانی (۰/۱۴ درصد) مشاهده شد. همچنین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز متعلق به تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود و بیش‌ترین فعالیت آنزیم گایوکول پراکسیداز در تیمار کیتوسان ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان عدد پراکسید، به‌ترتیب در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد در روزهای صفر و ۷۵ روز پس از انبارمانی به‌دست آمد. میزان اسیدهای چرب آزاد در طول مدت انبارمانی روند افزایشی نشان داد و در تیمارهای کیتوسان و نانوکیتوسان این روند، کندتر بود، به طوری‌که کم‌ترین میزان اسیدهای چرب آزاد در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در روز صفر و بیش‌ترین میزان اسید چرب آزاد در تیمار شاهد در روز ۷۵ انبارمانی مشاهده شد. پسته‌های تازه پوشش‌دار شده با نانوکیتوسان ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری بالاترین میانگین نمرات حسی را در شاخص بازارپسندی، ظاهر پوست، خندانی و تردی بافت نسبت به شاهد نشان دادند. بنابراین می‌توان اظهار نمود که کاربرد نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله قبل از برداشت، با توجه به حفظ ویژگی‌های کیفی و حسی، و افزایش قابلیت ماندگاری پسته تازه تا ۷۵ روز نسبت به شاهد، و به‌عنوان یک ترکیب طبیعی و زیست تجزیه‌پذیر قابل توصیه می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پوشش خوراکی، پسته تر، نانوکیتوسان، ماندگاری

* **نویسنده مسئول:** عبداله احتشام‌نیا
رایانامه: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir

© 2023 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقدمه

درخت پسته (*Pistacia vera*) عضوی دیپلوئید از خانواده Anacardiaceae است. جنس Pistacia از ۱۱ گونه تشکیل شده است که در میان آنها *P. vera* تنها گونه مهم تجاری است (Sheikhi et al., 2019). این خشک میوه سرشار از پروتئین، ویتامین‌های گروه E و B، آهن، منیزیم، کلسیم، پتاسیم، فسفر، فیبر، کربوهیدرات و مهم‌ترین ترکیب آن اسیدهای چرب غیر اشباع اسید لینولئیک، اسید لینولنیک و اسید اولئیک است بوده که در سال‌های اخیر با افزایش تقاضای مصرف کننده، تجارت آن روبه افزایش است (Raei and Jafari., 2011). سه کشور آمریکا، ترکیه و ایران به‌ترتیب با تولید ۴۷۴۰۰۰، ۲۹۶۳۷۶ و ۱۹۰۰۰۰ تن پسته، بزرگترین تولیدکنندگان پسته هستند (FAO, 2020). پسته به علت داشتن اسیدهای چرب (۵۰ تا ۷۰ درصد وزن کل)، مستعد اکسیداسیون است. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که خشک شدن در معرض نور خورشید به‌ترتیب منجر به کاهش ۶۰٪ و ۳۸٪ آنتوسیانین و ویتامین E می‌شود. علاوه بر این، فلاونوئیدها، فنول‌ها و استیلبن‌ها به‌طور قابل توجهی در طول خشک شدن خورشید کاهش یافتند. محبوبیت پسته تازه در سال‌های اخیر به دلیل تقاضا بر اساس فواید سلامتی و بازده تولیدکنندگان رو به افزایش بوده است (Sheikhi et al., 2019).

استفاده از پوشش‌های خوراکی به‌عنوان یک مزیت بزرگ در صنعت پسته و ذخیره سازی در انبار سرد، می‌تواند عمر پس از برداشت و کیفیت را افزایش دهد، و از هدرفت مواد مغذی پسته تازه جلوگیری کند. در مراحل پس از برداشت، میوه‌ها با وجود اینکه منابع کربوهیدرات و آب آن‌ها تامین نمی‌شود اما فعالیت‌های متابولیکی خود را ادامه می‌دهند. بنابراین در این مرحله مدیریت مناسب تنش‌های پس از برداشت به نحوی که فعالیت متابولیکی بافت را کاهش دهد، امری ضروری و اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. کاهش ضایعات پس از برداشت یکی از مهم‌ترین روش‌های افزایش دسترسی مصرف کننده به فرآورده‌های باغبانی است (Tehranifar et al., 2014). بررسی‌های انجام شده نشان داده که سالیانه بیش از یک سوم محصولات باغی در ایران به‌صورت ضایعات از بین می‌رود (Nejatian et al., 2013). پوشش‌های خوراکی به‌عنوان مانعی نیمه تراوا در برابر رطوبت و گاز عمل می‌کند و با کاهش تنفس، مدت زمان ماندگاری را افزایش می‌دهد (Abdul Hag et al., 2011). پوشش‌های پلیمری به دلیل داشتن ساختار هیدروژنی منظم، مانع خوبی برای ورود اکسیژن می‌باشد. کیتوسان به‌عنوان یکی از پلیمر پروتئینی دارای کاربردهای فراوانی می‌باشد، که یکی از این کاربردها استفاده به‌عنوان پوشش خوراکی است (Baldvin, 2007). این پوشش‌ها موجب افزایش کیفیت و حفظ ثبات فیزیکی میوه با ایجاد یک غشای نیمه تراوا نسبت به آب، اکسیژن و دی اکسید کربن و در نتیجه تغییر اتمسفر درونی میوه شده و عمر پس از برداشت را افزایش می‌دهد. پوشش‌های خوراکی می‌توانند با ایجاد ساختار محافظت‌کننده در برابر آسیب‌های مکانیکی، اکسیداسیون، تخریب لیپیدها و واکنش‌های شیمیایی درون سلول، کیفیت میوه‌ها را افزایش دهند (Han et al., 2014). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کاربرد کیتوسان موجب حفظ ویژگی‌های کیفی پسته رقم اکبری شده است (Barzaman et al., 2018). Jafari and Javadi (2020) با کاربرد پوشش کیتوسان و عصاره برگ گردو بر ماندگاری پسته اظهار داشتند که پوشش کیتوسان به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی می‌تواند به‌عنوان یک پوشش برای افزایش ماندگاری و حفظ ویژگی‌های حسی پسته به‌کار رود. پوشش‌دهی پسته با کیتوسان موجب حفظ سفتی بافت، ترکیبات فنولی، ویژگی‌های حسی و افزایش عمر انبارمانی پسته شد (Molamohammadi et al., 2019). در مطالعه‌ای که به منظور ارزیابی اثر کیتوسان در شرایط بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده بر ماندگاری پسته رقم بادامی انجام شد، مشخص شد که پوشش‌دهی پسته با پلیمر کیتوسان اثر قابل توجهی بر پارامترهای ماندگاری، سفتی بافت و حسی پسته تازه دارد (Rezaian attar et al., 2021). Kaviani et al., (2015) در مطالعه‌ای به بررسی، تاثیر پوشش ژل آلوئه‌ورا و کیتوسان در پس از برداشت پسته تر به مدت یک ماه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد پرداختند. نتایج نشان داد، پسته‌های پوشش‌دار شده با کیتوسان ۰/۰۵ درصد بهتر از سایر تیمارها باعث افزایش کیفیت و عمرانبارمانی میوه پسته شدند. Hajitaghilou et al., (2012)، در مطالعه‌ای به بررسی کاربرد پس از برداشت کیتوسان بر ویژگی‌های کیفی و عمر انبارمانی میوه انگور رقم ریش بابای قرمز پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده کیتوسان با غلظت ۰/۵ درصد در حفظ کیفیت و نیز حفظ خصوصیات خوراکی میوه‌های انگور نتایج مطلوبی داشت. همچنین در پژوهشی دیگر، اثر بازدارندگی اکسید نیتریک بر فعالیت‌های آنزیمی پسته تازه، مورد بررسی قرار

گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، سدیم نیتروپروساید به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای کاهش قهوه‌ای شدن پوسته و حفظ کیفیت میوه تازه پسته بود (Gheysarbigi et al., 2020). با توجه به نقش مثبت کیتوسان و نانوکیتوسان بر کیفیت محصولات در انبار، در رابطه با اهمیت کاربرد قبل از برداشت این ترکیبات بر عمر انبارمانی پسته رقم 'احمدآقایی' مطالعاتی انجام نشده، بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و نانوکیتوسان بر فعالیت آنزیمی، حسی و شاخص‌های کیفی پسته رقم 'احمدآقایی' انجام شد.

مواد و روش‌ها

روش اجرای طرح

برای انجام این آزمایش، ابتدا غلظت‌های مختلف کیتوسان و نانوکیتوسان تهیه شدند، برای این منظور ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم از پودر کیتوسان و ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم نانوکیتوسان وزن گردید و در آب مقطر حاوی استیک اسید یک درصد (حجمی/وزنی) حل شد. برای پراکندگی بهتر نانوذرات قبل از محلول‌پاشی، به مدت ۳۰ دقیقه سونیک شدند. بعد از تهیه محلول‌های مورد نظر تا مرحله آب‌چکان در اوایل شهریور سال ۱۴۰۰ (۲۰ روز قبل از برداشت) روی درختان ۲۵ ساله رقم 'احمدآقایی' محلول‌پاشی شدند. فاصله درختان ۳ در ۶ متر و سیستم آبیاری به‌صورت سطحی قطره‌ای با دور آبیاری ۲۵ روز انجام می‌شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی شامل دو فاکتور، فاکتور اول نوع تیمار در پنج سطح، شامل کیتوسان (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، نانو کیتوسان (۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و یک سطح آب مقطر (به‌عنوان شاهد)، فاکتور دوم زمان اندازه‌گیری در چهار سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵) با چهار تکرار اجرا گردید. میوه‌ها به‌صورت دستی در مرحله بلوغ تجاری از مزرعه تجاری تات سبز، استان قزوین برداشت و به آزمایشگاه پس از برداشت دانشگاه لرستان منتقل شدند. پس از نگهداری به مدت یک شب در دمای ۱±۰ درجه سانتی‌گراد، میوه‌ها برای یکنواختی در اندازه، شکل و رنگ انتخاب شدند. میوه‌هایی با علائم آسیب مکانیکی، آفتاب سوختگی، ترک خوردگی، آلودگی قارچی و پوک حذف شدند. در نهایت میوه‌ها در ظرف‌های پلاستیکی شفاف با جنس پلی‌اتیلن بسته‌بندی شده که در هر واحد آزمایشی (تکرار) حدود ۱۵۰ گرم پسته تازه قرار گرفت و در سردخانه با دمای ۴±۰/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۰ درصد قرار گرفتند.

سفتی پوسته میوه

اندازه‌گیری سفتی پوسته با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج (Lutron FG5020) انجام شد. برای اندازه‌گیری سفتی بافت، پروب مسطح (قطر ۷/۸ میلی‌متر) استفاده و پس از متصل کردن پروب مورد نظر به دستگاه، پسته‌ها را زیر آن قرار داده و با وارد آوردن فشار ثابت، میزان مقاومت بافت اندازه‌گیری شد و میزان سفتی پوسته بر حسب نیوتن بیان گردید (Shaker Ardekani and Karami Robati, 2022).

درصد کاهش وزن

برای این منظور، نمونه‌ها در ابتدای آزمایش (روز صفر) و پایان آزمایش وزن شدند و اختلاف وزن بین دو مرحله به عنوان وزن نهایی در نظر گرفته شد و در نهایت درصد کاهش وزن به کمک فرمول زیر به دست آمد (Duan et al., 2011):

رابطه ۱)

$$\text{Weight loss} = 100 \times [\text{Initial weight} - \text{final weight}]/\text{Initial weight}$$

Initial weight: وزن اولیه، Final weight: وزن نهایی

سنجش فعالیت آنزیمی

برای استخراج آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه منجمد(پوسته تر) در یک هاون سرد با نیتروژن مایع پودر و با ۱ میلی لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی مولار (pH برابر ۷) و حاوی ۰/۵ میلی مولار EDTA و ۶ درصد پلی وینیل پلی پیرولیدون (PVP) همگن شد. سپس، عصاره در ۱۴۰۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و در نهایت مایع رویی برای شناسایی فعالیت آنزیمی استفاده شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با استفاده از ارزیابی توانایی SOD برای جلوگیری از کاهش فتوشیمیایی اندازه‌گیری شد. هر یک واحد فعالیت آنزیم SOD (رابطه ۲) به‌عنوان مقداری از آنزیم یا پروتئین منظور می‌گردد که در طول موج ۵۶۰ نانومتر موجب ۵۰ درصد کاهش احیای فتوشیمیایی نیترو بلو تترازولیوم در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد (Koushesh Saba et al., 2012).

رابطه ۲)

SOD activity=A560 (Control)-A560 (Sample)/A560 (Control)

که در آن، A_{560} (control) و A_{560} (sample) به ترتیب مقادیر جذب نور محلول شاهد و نمونه مورد بررسی در طول موج ۵۶۰ نانومتر هستند.

پلی فنل اکسیداز PPO

سنجش میزان فعالیت PPO با روش (Kar and Mishra, 1976) انجام شد. میزان فعالیت آنزیم بر حسب مقادیر اکسید شده پیروگالول در طول موج ۴۲۰ نانومتر محاسبه شده و فعالیت آنزیم بر اساس وزن به عنوان واحد g^{-1} در نظر گزارش شد (رابطه ۳).

رابطه ۳) $$\text{PPO activity} = \frac{A420 \times Vt \times df}{\varepsilon \times l \times t \times Vs}$$

در این فرمول ΔA_{420}، (اختلاف مقدار جذب محلول)، V_t (حجم محلول واکنش)، df (عامل رقیق کننده)، T (طول زمان واکنش)، Vs، (حجم نمونه)، ε (ضریب خاموشی)، L (مسافت طی شده توسط نور از محلول واکنش) می‌باشد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز POD

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز بر اساس روش ارائه شده توسط Petriccione et al (2015) با کمی تغییر تعیین شد. مخلوط واکنش شامل ۲۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰۰ میلی‌مولار، ۱۵۰ میکرولیتر EDTA (pH=۷) ۱۰ میلی مولار، ۵۴ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۸۸ میلی‌مولار ، ۲۰۰ میکرولیتر محلول گایاکول ۳۲ میلی‌مولار و ۳۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فواصل ۲۰ ثانیه‌ای به مدت ۴ دقیقه برای مقدار جذب و قرائت تعیین شد. ترکیب نارنجی رنگی به نام تتراگایاکول در اثر فعالیت آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز تولید شد که برای سنجش فعالیت این آنزیم به صورت واحد در g^{-1} وزن در طول موج ۴۷۰ نانومتر مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۴).

رابطه ۴) $$\text{POD activity} = \frac{A470 \times L \times Vt \times df}{\varepsilon \times l \times t \times Vs}$$

در این فرمول ΔA_{470}، (اختلاف مقدار جذب محلول)، V_t (حجم محلول واکنش)، df (عامل رقیق کننده)، T (طول زمان واکنش)، Vs، (حجم نمونه)، ε (ضریب خاموشی)، L (مسافت طی شده توسط نور از محلول واکنش) می‌باشد.

استخراج چربی

جهت اندازه‌گیری درصد روغن مغز پسته، ابتدا پسته به صورت دستی پوست‌گیری شد و در آون با دمای ۶۰ درجه خشک و سپس پودر گردید. برای استخراج روغن به روش سوکسله، ۵ گرم پودر مغز پسته در دستگاه سوکسله قرار داده شد، پس از تنظیم دستگاه روی دمای مناسب، با استفاده از حلال n- هگزان به مدت ۵ ساعت روغن‌گیری شد (Mezzomo et al., 2010).

عدد اسیدی

عدد اسیدی یا اسیدیته چربی بر حسب میلی‌گرم اولئیک اسید در ۱۰۰ گرم روغن محاسبه شد (Wrolstad et al., 2001):

رابطه ۵)

۱۰۰×وزن نمونه/(۲۸/۲× نرمالیته هیدروکسیدسدیم× میزان هیدروکسید سدیم)= میزان اولئیک اسید آزاد

عدد پراکسید

برای اندازه‌گیری عدد پراکسید، به ۲ گرم نمونه روغن، ۶ میلی‌لیتر محلول استیک اسید/کلروفروم (مخلوط استیک اسید و کلروفرم به نسبت ۳ به ۲) اضافه گردید و پس از ۵ دقیقه، یک قطره یدید پتاسیم اشباع شده به آن اضافه شد و محلول در تاریکی روی شیکر قرار گرفت (به مدت ۱ دقیقه). پس از آن، ۶ میلی‌لیتر آب مقطر و یک قطره معرف چسب نشاسته به مخلوط اضافه گردید. عیارسنجی محلول تا از بین رفتن رنگ آبی با استفاده از تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال ادامه داده شد و در نهایت عدد پراکسید بر اساس رابطه زیر بر حسب میلی اکی والان در کیلوگرم به دست آمد (Wrolstad et al., 2001):

رابطه ۶)

وزن نمونه/(۱۰۰۰×نرمالیته تیوسولفات سدیم ×(میزان مصرفی تیوسولفات سدیم - حجم تیوسولفات مورد نیاز برای بلنک))= عدد پراکسید

ارزیابی حسی

برای ارزیابی کیفیت میوه از تعداد۱۰ نفر پانلیست با متوسط سن ۳۰ سال استفاده شد. پانلیست‌ها به مدت یک روز با پرسش‌نامه‌های مربوطه آموزش دیده و به‌صورت ثابت در پایان نمونه برداری کیفیت میوه‌ها را بر اساس مقیاس هدونیک برای صفات بازارپسندی، شاخص طعم، ظاهر پوست، تردی و خندانی ارزیابی نمودند (Paladines et al., 2014).

تجزیه و تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱)، رسم نمودار تست پانل با نرم‌افزار OriginPro و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تمام پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش بجز عدد اسیدی، تحت تاثیر اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی و مدت زمان انبارمانی قرار گرفتند (جدول ۱).

آنزیم سوپراکسیددیسموتاز SOD

نتایج مقایسات میانگین آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی از صفر تا ۵۰ روز، فعالیت آنزیم SOD در پسته‌های تر تیمار شده افزایش یافت و در روز ۷۵ روند کاهشی بین میوه‌های تیمار شده و شاهد مشاهده شد، به‌طوری که در تیمار شاهد کم‌ترین فعالیت این آنزیم در روز صفر (۱۵/۸۲ واحد در گرم وزن تر) و بیش‌ترین میزان مربوط به تیمار نانوکیتوسان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۳۱/۳۲ واحد در گرم وزن تر) در روز ۵۰ام بود. افزایش فعالیت SOD می‌تواند در اجتناب یا تاخیر در تجمع رادیکال‌های سوپراکسید در طول انبارمانی و سپس کاهش آسیب به بافت در میوه‌های تیمار شده نقش داشته باشد (Vicente et al., 2006). گزارش‌های قبلی نشان داد که SOD نقش مهمی در به تاخیر انداختن پیری انبه و گلابی بازی می‌کند (Adhikary et al., 2021). Gheysarbigi et al., (2020)، بیان داشتند که ترکیب اکسید نیتریک، بیشترین فعالیت سوپراکسید دیسموتاز را در پسته تر حفظ کرد.

گایاکول پراکسیداز POD و پلی فنول اکسیداز PPO

نتایج این بررسی نشان داد که فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با کاربرد تیمارهای کیتوسان و نانوکیتوسان کاهش یافت، کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۰/۳۲۰ واحد در گرم) در روز صفر وجود داشت و بیش‌ترین میزان فعالیت در تیمار شاهد (۱/۵۸ واحد در گرم) در روز ۷۵ مشاهده شد (جدول ۲). فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز نیز در میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان به‌طور معنی‌داری در تمام زمان‌های نمونه برداری کم‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۲). تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی گرم در لیتر (۰/۰۹۰ واحد در گرم) در روز صفر کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز را به خود اختصاص داد و بیش‌ترین میزان متعلق به تیمار شاهد (۰/۳۱۷ واحد در گرم) در روز ۵۰ بود. کیتوسان دارای تعداد زیادی گروه آمین و هیدروکسیل قابل دسترس در ساختار خود بوده و علاوه بر اینکه با رادیکال‌های آزاد واکنش می‌دهد، موجب افزایش فعالیت ترکیبات آنتی اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی می‌شود (Xie et al., 2001; Liu et al., 2007). کیتوسان با افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و پلی فنول اکسیداز، موجب حفظ تعادل هموستاتیک بین تولید و حذف گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و در نهایت میزان آن‌ها را کاهش داده و اثرات تنش اکسایشی ناشی از تخریب بافت را کاهش می‌دهد. در میوه‌های انبارشده، تبخیر ناشی از شیب فشار بخار آب میوه و هوای اطراف موجب کاهش وزن میوه می‌شود (Pasquariello et al., 2013).

Table 1. Results of variance analysis for the effect Chitosan and Nano-chitosan pre-harvest application on traits of *P. vera* cv. Ahmad Aghaei

		Means of square						
Source of variation	df	Superoxide dismutase (SOD) (unit.g^{-1})	Peroxidase (unit.g^{-1})	Polyphenol oxidase (unit.g^{-1})	Firmness (N)	Weight loss (%)	Peroxide value (meqO$_2$/kg oil)	Free fatty acid (FFA) content (% oleic acid)
Treatment	4	238.341**	0.5069**	0.02701**	4.1486**	3.4061**	0.31604**	0.98930**
Days	3	795.991**	2.3225**	0.03502**	5.6527**	28.6090**	1.23449**	0.40664**
Treatment* Days	12	73.852**	0.0658**	0.00509**	0.8596**	0.8178**	0.02593**	0.02185^{ns}
Error	60	5.606	0.0088	0.00083	0.1225	0.2342	0.00913	0.01763
CV (%)	-	8.60	12.95	17.78	4.94	26.89	14.46	18.28

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

Table 2. Mean comparison for the effect Chitosan and Nano–chitosan pre-harvest application on traits of *P. vera* cv. Ahmad Aghaei

Treatment	Days	Superoxide dismutase (SOD) (unit.g^{-1})	Guaiacol peroxidase (POD) (unit.g^{-1})	Polyphenol oxidase (PPO) (unit.g^{-1})	Firmness (N)	Weight loss (%)	Peroxide value (meqO_2/kg oil)	Free fatty acid (FFA) content (Free Fatty acid as % oleic acid)
Control	0	15.82±1.28^{hj}	0.443±0.064^{il}	0.106±0.011^{hk}	6.72± 0.555^{i}	0.00± 0.000^{h}	0.531±0.099^{fg}	0.642±0.120^{fi}
	25	18.13±3.10^{fh}	0.753±0.086^{ef}	0.251±0.035^{b}	7.60± 0.219^{be}	0.98±0.104^{ef}	0.660±0.054^{ef}	0.954±0.267^{cd}
	50	14.55±2.17^{ij}	1.163± 0.160^{b}	0.317±0.048^{a}	5.69± 0.446^{k}	3.17± 1.058^{b}	0.991± 0.109^{bc}	1.051±0.243^{bc}
	75	13.02±0.86^{j}	1.582±0.222^{a}	0.210±0.047^{bd}	5.01± 0.512^{l}	4.09± 0.730^{a}	1.286± 0.229^{a}	1.270± 0.219^{a}
CTS 500	0	17.13±1.51^{gi}	0.365± 0.031^{kl}	0.103±0.014^{ik}	6.82±0.441^{hi}	0.00±0.000^{h}	0.427±0.049^{gi}	0.531± 0.084^{gk}
	25	18.65±1.99^{fh}	0.557±0.050^{gi}	0.190±0.054^{de}	7.39±0.134^{cf}	0.80± 0.050^{eg}	0.479± 0.040^{gh}	0.609±0.019^{fi}
	50	25.42±1.53^{cd}	0.932±0.079^{c}	0.141±0.015^{fi}	7.17±0.162^{ei}	2.20± 0.830^{c}	0.678±0.106^{e}	0.659±0.0592^{eh}
	75	26.88±2.26^{bc}	1.274± 0.188^{b}	0.152±0.010^{eg}	6.95±0.112^{fi}	2.24± 0.647^{c}	0.922± 0.091^{cd}	0.785± 0.056^{df}
CTS -1000	0	15.87±0.57^{hj}	0.350±0.030^{l}	0.102±0.002^{ik}	7.59± 0.419^{be}	0.00±0.000^{h}	0.427± 0.034^{gi}	0.404± 0.037^{jk}
	25	19.84±1.45^{fg}	0.514±0.012^{hj}	0.239± 0.043^{bc}	7.39±0.394^{cf}	0.73± 0.091^{eg}	0.533±0.053^{fg}	0.465± 0.067ik
	50	26.52±3.04^{bc}	0.903±0.104^{cd}	0.203±0.034^{cd}	7.039±0.433^{fi}	2.27± 0.220^{c}	0.815±0.119^{d}	0.519±0.073^{gk}
	75	27.25±3.94^{bc}	1.192±0.129^{b}	0.203±0.028^{cd}	6.83±0.442^{gi}	1.94± 0.574^{c}	1.124±0.199^{b}	0.706±0.130^{eg}
Nano-CTS 250	0	17.15±1.92^{gi}	0.320±0.012^{l}	0.090±0.008^{k}	7.87±0.164^{ac}	0.00±0.000^{h}	0.342±0.047^{i}	0.399±0.0116^{k}
	25	20.39±1.78^{ef}	0.421±0.043^{jl}	0.144±0.028^{fh}	7.32±0.298^{dg}	0.14±0.048^{gh}	0.395±0.010^{hi}	0.418±0.006^{jk}
	50	29.50±1.30^{ab}	0.669±0.055^{fg}	0.153±0.030^{eg}	7.23±0.192^{dh}	1.20±0.167^{de}	0.624±0.056^{ef}	0.511±0.025^{hk}
	75	27.42±2.61^{bc}	0.790±0.022^{f}	0.158±0.032^{ef}	6.22± 0.276^{j}	1.92±0.825^{c}	0.659±0.044^{ef}	0.590±0.051^{gj}
Nano-CTS 500	0	17.99±1.92^{fh}	0.345±0.021^{l}	0.100± 0.001^{jk}	7.97±0.262^{ab}	0.00±0.000^{h}	0.366±0.0554^{hi}	0.839±0.132^{de}
	25	23.34±3.20^{de}	0.488±0.015^{hk}	0.115±0.013^{gk}	8.13±0.206^{a}	0.41±0.158^{gh}	0.443±0.0416^{gi}	0.952±0.202^{cd}
	50	31.32±2.35^{a}	0.579±0.028^{gh}	0.125±0.009^{fk}	7.68±0.243^{ad}	1.74±0.401^{cd}	0.669±0.0916^{e}	1.046±0.177^{bc}
	75	27.64±2.37^{bc}	0.856±0.093^{ce}	0.140±0.012^{fj}	6.85±0.517^{gi}	2.32±0.781^{c}	0.832±0.0549^{d}	1.161±0.154^{ab}

Nano- chitosan:Nano-CTS ،Chitosan :CTS

دلیل دیگر که می‌توان برای قهوه‌ای شدن میوه و سبزی در مرحله پس از برداشت در نظر گرفت، وجود اکسیداسیون آنزیمی قوی ترکیبات فنلی در داخل بافت‌های گیاهی است (Gao et al., 2018). به طور عمده، ترکیبات فنلی (به ویژه فنل‌های ساده) پتانسیل اکسید شدن به کینون‌ها را تحت واکنش‌های آنزیمی دارند. بنابراین، کینون با واسطه فعالیت آنزیم‌های PPO و POD به رنگدانه‌های پلیمری قهوه‌ای تبدیل می‌شود (Pristijono et al., 2006). تخریب پلی فنل‌ها همچنین با از دست دادن یکپارچگی غشاء سلولی مرتبط است (Gao et al., 2018). در مطالعه حاضر، استفاده از غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور موثری از قهوه‌ای شدن ناشی از PPO جلوگیری کرده و فعالیت این آنزیم را که سوبسترای فنلی را اکسید می‌کند، کاهش داد. کاهش فعالیت PPO از قهوه ای شدن آنزیمی پسته جلوگیری می کند. مطالعات قبلی در مورد تأثیر مثبت کیتوسان و نانوکیتوسان، گزارش نمودند اثر بازدارندگی پوشش‌های خوراکی بر فعالیت PPO، می‌تواند با در دسترس بودن کم اکسیژن مرتبط باشد (Qi et al., 2011). در همین راستا، پسته‌های پوشیده شده با نانوکیتوسان در مطالعه حاضر، فعالیت POD بالاتری نسبت به شاهد داشتند که با Xing et al., (2020) و Ehtesham Nia et al., (2021) به‌ترتیب در میوه‌های انبه و انگور تازه‌خوری مطابقت داشت.

سفتی بافت تر میوه

سفتی بافت میوه با ساختار دیواره سلول و ترکیبات سلولی در ارتباط است، همچنین تبدیل قندهای نامحلول (نشاسته) به قندهای محلول (گلوکز و فروکتوز) بر میزان سفتی بافت موثر است. کاهش همی سلولز، گالاکتوز، پکتین و افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیز کننده موجب نرم شدن بافت میوه خواهد شد (Karimi et al., 2018). اثر برهمکنش تیمارهای مورد بررسی و زمان انبارداری در جدول (۲) نشان‌دهنده روند کاهشی سفتی پوسته بیرونی پسته‌های تازه در دوره انبارداری در همه تیمارها است. کاربرد کیتوسان و نانوکیتوسان به‌طور معنی‌داری نرم شدن پوسته بیرونی پسته تازه را در طول مدت انبارداری به تاخیر انداخته است. همچنین نتایج مقایسه میانگین برای سفتی بافت نشان داد که این پارامتر در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری از روند ثابتی برخوردار نبوده، به‌طوری که در روز ۲۵ام افزایش یافته و در زمان‌های ۵۰ و ۷۵ روز از سفتی بافت کاسته شده است (جدول ۲). تیمارهای کیتوسان و نانوکیتوسان در زمان‌های صفر، ۵۰ و ۷۵ام پس از برداشت موجب افزایش سفتی بافت شد، اما در روز ۲۵ام تنها تیمار نانوکیتوسان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۸/۱۳ نیوتن)، موجب افزایش سفتی بافت شد و بیش‌ترین میزان سفتی بافت را به خود اختصاص داد. تیمار شاهد در روز ۷۵ام، دارای کم‌ترین میزان سفتی بافت (۵/۰۱ نیوتن) بود. نرم شدن بافت میوه در اثر تجزیه پروتوپکتین نامحلول، تبدیل آن‌ها به اسید پکتیک و پکتین محلول و تجزیه پکتین توسط آنزیم‌های پلی گالاکتروناز و پکتین استراز اتفاق می‌دهد که فعالیت این دو آنزیم تحت تاثیر اتیلن افزایش میابد (Valero et al., 2010). آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با تولید پراکسیدهیدروژن، موجب حذف رادیکال سوپراکسید می‌شود و پراکسیدهیدروژن به وسیله آنزیم آسکوربات پراکسیداز از بین می‌رود (Shigeoka et al., 2002).

درصد کاهش وزن

کاهش وزن میوه یکی ناهنجاری مهم است که موجب کاهش کیفیت و پژمردگی میوه‌ها می‌شود و آثار نامطلوبی بر بافت و ظاهر محصول بر جای گذاشته و از بازارپسندی آن می‌کاهد (Galindo et al., 2004). نتایج مقایسات میانگین نشان داد که از روز ۲۵ام پس از برداشت، از میزان وزن پسته کاسته شد و با افزایش مدت زمان انبارمانی، کاهش وزن روند افزایشی در همه تیمارها نشان داد، اگرچه پسته‌های پوشش‌دار شده با کیتوسان و نانوکیتوسان از این روند ممانعت به عمل آورده، اما در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر کم‌ترین کاهش وزن در روز ۲۵ام مشاهده شده است (جدول ۲) و بیش‌ترین میزان کاهش وزن در تیمار شاهد (فاقد پوشش) در روز ۷۵ام بود. کاهش وزن میوه می‌تواند به دنبال آسیب به غشای سیتوپلاسمی اتفاق بیفتد و موجب کاهش سفتی بافت و رنگ نامطلوب میوه شود (Ding, 2013). علت اصلی کاهش وزن میوه با افزایش مدت انبارمانی، از دست دهی آب بر اثر تنفس و تعرق از طریق روزنه‌ها می‌باشد که اثر مثبت پوشش‌های خوراکی، با ایجاد یک لایه برای جلوگیری از تبخیر و انتشار آب مرتبط است، پوشش‌های خوراکی سرعت عبور گازها از طریق روزنه‌های میوه را کاهش داده و از تبخیر آب و کاهش وزن میوه جلوگیری می‌کنند (Parsa et al., 2020).

عدد پراکسید و اسیدی

تغییرات مشاهده شده در عدد پراکسید در میوه پسته تازه در طول ذخیره‌سازی نشان داد که با افزایش زمان ذخیره‌سازی، عدد پراکسید افزایش یافت، اما تیمارهای کیتوسان و نانوکیتوسان موجب کاهش این شاخص نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۲)، کم‌ترین میزان عدد پراکسید در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ در روز صفر وجود داشت و بیش‌ترین میزان در تیمار شاهد در روز ۷۵ام به‌دست آمد (جدول ۲). مجموع آزمون‌های عدد اسیدی (اسیدهای چرب آزاد) و شاخص پراکسید در زمینه ویژگی‌های ارگانولپتیک روغن، قابلیت کاربرد روغن را مشخص می‌سازند. Artman (1969) بیان کرد، پراکسید توسط اکسایش (اکسیداسیون) چربی تشکیل می‌شود، در حالی که اسیدهای چرب آزاد (اسیدیته) توسط آبکافت (هیدرولیز) چربی به وجود می‌آیند. بالا بودن میزان اسیدیته یکی از نشانه‌های کاهش کیفیت روغن است و بنا بر نتایج به نظر می‌رسد کاربرد کیتوسان و نانوکیتوسان سبب حفظ کیقیت روغن شده است. مهم‌ترین واکنش تخریبی پسته که در طول دوره انبارداری منجر به افت کیفیت محصول می‌شود، سازوکار اکسایشی و تشکیل هیدرو پراکسیدها است (Tavakolipour et al., 2008). اثر محافظتی پوشش‌ها در برابر اکسیداسیون لیپیدی مربوط به خاصیت بازدارندگی آنها در برابر انتقال اکسیژن است (Bonilla et al., 2012) و مقادیر اسیدهای چرب آزاد و عدد پراکسید میوه پسته تازه در بسته‌بندی‌های کم اکسیژن یا بدون اکسیژن کمتر از بسته‌بندی‌های معمولی است (Ozturk et al., 2016). مشابه نتایج، پوشش کیتوسان باعث کاهش اکسیداسیون لیپیدی مغز گردوی تازه در طی نگهداری شد (Sabaghi et al., 2015). Molamohammadi et al., (2020) با بررسی اثر پوشش کیتوسان حاوی سالیسیلیک اسید بر ماندگاری پسته تر گزارش نمودند که کاهش وزن و همچنین مقادیر پراکسید و اسیدهای چرب آزاد میوه های تیمار شده با کیتوسان، و ترکیب کیتوسان و سالیسیلیک اسید کمتر از گروه شاهد در پایان دوره نگهداری بود. به نظر می‌رسد که پوشش سطحی کیتوسان باعث کاهش اکسیداسیون، نفوذپذیری گاز و همچنین اصلاح اتمسفر داخلی می‌شود، و این نوع پوشش به‌عنوان یک شاخص کلاسیک معمولا بر ماندگاری مواد غذایی پوشش داده شده تأثیر می‌گذارد.

ارزیابی حسی

پسته‌های پوشش‌دار شده با نانوکیتوسان ۵۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب بالاترین میانگین نمرات حسی را در شاخص بازارپسندی، ظاهر پوست، خندانی، تردی بافت و شاخص طعم نشان دادند (شکل ۱). به نظر می‌رسد تیمارهای کیتوسان و نانوکیتوسان با حفظ رطوبت و جلوگیری از هدرفت آب از سطح میوه، به حفظ ظاهر مناسب پسته تازه کمک کرده و مصرف‌کننده را به خرید آن تشویق می‌کند. اما در میوه‌های تیمار نشده، با کاهش محتوای آب و چروکیده شدن پوسته، ظاهر پوست پسته نتوانست طراوت لازم را برای تشویق مصرف‌کنندگان به خرید میوه ایجاد کند. نتایج این تحقیق با Ehtesham Nia et al., (2021) در میوه انگور مطابقت داشت.

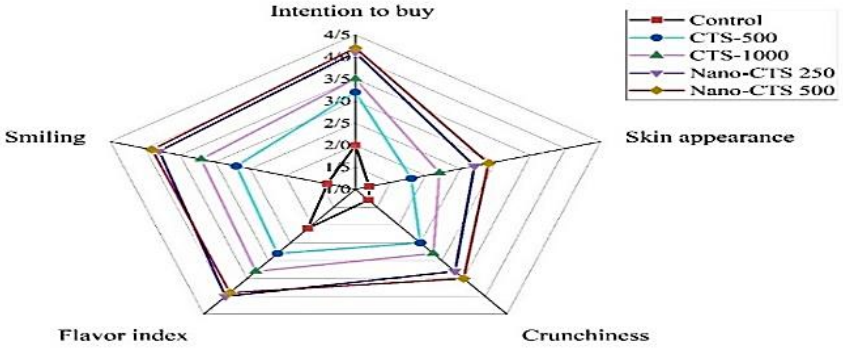

Fig 1. Average sensory evaluation of control, Chitosan and Nano-chitosan treatments after 75 days of storage in cold storage

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج و شواهد به‌دست آمده از پژوهش، پوشش‌دهی با کیتوسان و نانوکیتوسان موجب حفظ ویژگی‌های مورد مطالعه شد، به‌طوری‌که پسته‌های تیمار شده با نانوکیتوسان ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر دارای بالاترین سفتی بافت بودند. کم‌ترین درصد کاهش وزن در تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ در روز ۲۵ام مشاهده شد. همچنین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در میوه‌های تیمار شده با نانوکیتوسان ۵۰۰ افزایش یافت. کم‌ترین فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز متعلق به تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰ بود و بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار کیتوسان ۱۰۰۰ مشاهده شد. تیمار نانوکیتوسان ۲۵۰، کم‌ترین عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد را به خود اختصاص داد. بنابراین می‌توان اظهار نمود که کاربرد نانوکیتوسان ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در مرحله قبل از برداشت، باتوجه به حفظ ویژگی‌های کیفی، ظاهر و بازارپسندی و افزایش قابلیت ماندگاری پسته تازه تا ۷۵ روز نسبت به شاهد و به‌عنوان یک ترکیب طبیعی و زیست تجزیه پذیر قابل توصیه می‌باشد.

References

Abdul Hag, M., Junaid Alam, M., & Hasanain, A. 2011. Gum Cordia: A novel edible coating to increase the shelf life of Chilgoza (*Pinus geradiana*). *LWT- Food Science and Technology*, 50, 306-311.

Adhikary, T., Gill, P.P.S., Jawandha, S.K., Bhardwaj, R.D., & Anurag, R.K. 2021. Efficacy of postharvest sodium nitroprusside application to extend storability by regulating physico-chemical quality of pear fruit. *Food Chemistry*, 346, 128934.

Artman, N.R. 1969. The chemical and biological properties of heated and oxidized fats. *Adv. Lipid Res*, 7, 245 -330.

Baldvin, E.A. 2007. Surface treatments and edible coating in food preservation. Pp. 475-508. In: Rahman, M.S. editor, Handbook of Food Preservation, Florida- USA, Boca Raton, CRC Press.

Barzaman, M., Mirdehghan, S.H., & Nazori, F. 2018. Combined Pre-harvest Application of Polyamines and Chitosan Postharvest Treatments on Qualitative Parameters of Fresh Pistachio cv. Akbari. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 19(3), 353-364.

Ding, P. 2013. Physico-chemical changes in Dabai (*Canarium odontophyllum* Miq.) fruit during modified atmosphere storage. *International Food Research Journal*, 20(6), 3033-3040.

Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. 2021. Pre-harvest application of chitosan and postharvest Aloe vera gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, 347, 129-142.

Food and agriculture organization. 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): FAOSTAT database, Food and agriculture data. FAO-ESS, Rome, Italy.

Galindo, F.G., Herppich, W., Gekas, V., & Sjöholm, I. 2004. Factors affecting quality and postharvest properties of vegetables: Integration of water relations and metabolism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(3), 139-154.

Gao, H., Zeng, Q., Ren, Z., Li, P., & Xu, X. 2018. Effect of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on the enzymatic browning of fresh-cut potato during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(12), 5035–5044.

Gheysarbigi, S., Mirdehghan, S.H., Ghasemnezhad, M., & Nazoori, F. 2020. The inhibitory effect of nitric oxide on enzymatic browning reactions of in-package fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 159, 110998.

Hajitaghilou, R., Asghari, M., Jalili Marandi, R., & Hemmati, S. 2012. Effects of postharvest chitosan treatment on of fungal growth and quality of Rishbaba table grape during cold storage (*Vitis vinifera* L. cv. Rishbaba). *Plant Productions,* 35(3), 91-101.

Han, C., Zuo, J., Wang, Q., Xu, L., Zhai, B., & Wang, Z. 2014. Effects of chitosan coating on postharvest quality and shelf life of sponge gourd (*Luffa cylindrica*) during storage. *Scientia Horticulturae*, 166-178.

Jafari, F., & Javadi, A. 2020. The effect of chitosan coating incorporated with walnut leaf extract on shelf life of pistachio. *Journal of Food Research,* 30(3), 221-232.

Karimi, M., Hoseini, M., & Zahedi, M. 2018. Effect of postharvest treatment chitosan using on quality of banana. *Journal of production and processing of agricultural and horticultural products*, 8(1), 14-1.

Kaviani, M., Ali Shariati, M., Joshevska, E., Tomovska, J., & Vanaei, M. 2015. Effects of chitosan and Aloe Vera gel coating on quality characters of pistachio. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 2(1), 17-20.

Koushesh Saba, M., Arzani, K., & Barzegar, M. 2012. Postharvest polyamine application alleviates chilling injury and affects apricot storage ability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 60, 8947–8953.

Liu, Y., Cui, Y., & Mukherjee, A. 2007. Characterization of a novel RNA regulator of Erwinia carotovora spp. Carotovora that controls production of extracellular enzymes and secondary metabolites. *Molecular Microbial*, 29(1), 219-34.

Molamohammadi, H., Pakkish, Z., Akhavan, H., & Saffari, V.R. 2019. Effect of Salicylic Acid Incorporated Chitosan Coating on Shelf Life Extension of Fresh In-Hull Pistachio Fruit. *Food and Bioprocess Technology*, https://doi.org/10.1007/s11947-019-02383-y.

Nejatian, V., Mostofi, Y., Geransaie, M., & Abdousi, V. 2013. The impact of ozone on postharvest quality and storage life of Iranian grape varieties of Fakhri. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 44(1), 1-9. [In Persian]

Ozturk, I., Sagdic, O., Yalcin, H., Capar, T.D., & Asyali, M.H. 2016. The effects of packaging type on the quality characteristics of fresh raw pistachios (*Pistacia vera* L.) during the storage. *LWT- Food Science and Technology*, 65, 457–463.

Parsa, J., Smaeel Amiri, M., Hajiloo, J., Razavi, F., & Rahnemoun, H. 2019. Effect of Aloe vera gel on physiologiacal and biochemical triats of two cultivars of Apricot in storage. *Journal of Food Industry Research*, 30(3), 203-219. [In Persian]

Pasquariello, M.S., Rega, P., Migliozzi, T., Rita Capuano, L., Scortichini, M., & Petriccione, M. 2013. Effect of cold storage and shelf life on physiological and quality traitsof early ripening pear cultivars. *Scientia Horticulturae,* 162, 341–350.

Pasquariello, M.S., Di Patre, D., Mastrobuoni, F., Zampella, L., Scortichini, M., & Petriccione, M. 2015. Influence of postharvest chitosan treatment on enzymatic browning and antioxidant enzyme activity in sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology,* 109, 45–56.

Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Nobis, E., Capriolo, G., & Scortichini, M. 2015. Effect of chitosan coating on the postharvest quality and antioxidant enzyme system response of strawberry fruit during cold storage. *Foods*, 4, 501–523.

Paladines, D., Valero, D., Valverde, J.M., Diaz-Mula, H., Serrano, M., & Martinez-Romero, D. 2014. The addition of rosehip oil improves the beneficial effect of Aloe vera gel on delaying ripening and maintaining postharvest quality of several stonefruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 23–28.

Qi, H., Hu, W., Jiang, A., Tian, M., & Li, Y. 2011. Extending shelf-life of Fresh-cut "Fuji" apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(1), 62–66.

Raei, M., & Jafari, S.M. 2011. Influence of different packaging materials and storage conditions on the quality attributes of pistachio (*Pistacia vera* l.) cv. ohadi. *Annals. Food Science and Technology*, 12(2), 179-185.

Rezaian attar, F., Sedaghat, N., Yeganehzadeh, S., Paseban, A., & Hesarinegad, M.A. 2021. Shelf life modeling of fresh pistachio cultivar Badami cultivar coated with chitosan in modified atmospheric packaging conditions. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 114(18), 181-194. [In Persian]

Sabaghi, M., Maghsoudlou, Y., Khomeiri, M., & Ziaiifar, A.M. 2015. Active edible coating from chitosan incorporating green tea extract as an antioxidant and antifungal on fresh walnut kernel. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 224–228.

Sheikhi, A., Mirdehghan, S.H., & Ferguson, L. 2019. Extending storage potential of de-hulled fresh pistachios in passive-modified atmosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 99(7), 3426-3433.

Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., & Yabuta, Y. 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany,* 53, 1305-1319.

Shaker Ardekani, A., & Karami Robati, F. 2022. Investigation of the effect of pre-dryer types (wheelchair and stacking) on quality properties of kale-ghuchi pistachio cultivar during storage. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 14(3), 1-9.

Tavakolipour, H., Bassiri, A.R., & Kalbasi Ashtari, A. 2008. *Journal of Food Science and Technology*, 5, 57-66.

Tehranifar, A., Shoor, M., Mosazadeh, R., Araghi, H., & Salahvarzi, Y. 2014. Effect of salicylic acid on strength, ahelf life, and some qualitative characteristics of grape vine (*Vitic Vivifera* L. Cv. Askary) during storage. *Journal of plant environmental physiology*, 3(35), 25-33. [In Persian].

Valero, D., & Serrano, M. 2010. *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press.

Vicente, A.R., Martinez, G.A., Chaves, A.R., & Civello, P.M. 2006. Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 40, 116-122.

Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.A., Schwartz, S.J., & Sporns, P. 2001. *Current protocols in food analytical chemistry*. Wiley, New York.

Xie, W.M., Xu, P.X., & Liu, Q. 2001. Antioxidant activity of water-soluble chitosan derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 11, 1699-1701.

Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., & Zheng, Y. 2020. Effect of chitosan/ Nano-TiO_2 composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 263, 109135.