

ORIGINAL RESEARCH PAPER

## Effect of Chitosan and Chitosan Nanofiber Coating on Quality and Storability of Strawberry Fruit cv. Paros

Choobtashany<sup>1</sup>, M., Sayyari<sup>2\*</sup>, M. and Karami<sup>3</sup>, M

1 and 2. MSc Graduated Student and Associate Professor, Respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3. Associate Professor, Department of Food Industries, Bahar Faculty of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\*: Corresponding Author

Email: [m.sayyari@basu.ac.ir](mailto:m.sayyari@basu.ac.ir)

This paper has been extracted from the first author's MSc thesis under the supervision of Mohammad Sayyari

Received: 2023/12/14

Accepted: 2024/06/23

### Introduction

Postharvest fungal diseases can limit the storage period and shelf life, and thus market life of fruit and vegetables, which results in serious economic losses worldwide. Despite the efficacy of synthetic fungicides in the control of postharvest decay, public concerns about chemical and toxic residues in food and the increase in drug-resistant strains of many pathogens indicate the need for development of new strategies. Coatings and packaging materials have been considered as another method for increasing the postharvest storage time of fruits and vegetables. Chitosan-based nano composites are proper alternatives to mitigate the negative impacts of conventional coatings and films on human and environmental health. Additionally, natural chitosan coatings and packaging incorporated with functional compounds decrease the postharvest losses of fruits and vegetables without changing their nutritive and sensorial properties. Therefore, the current research work was performed to investigate the effectiveness of chitosan and chitosan nanofiber on the quality and storability of strawberry fruit cv. Paros.

### Material and Methods

This study was conducted in the form of a factorial experiment based on a completely randomized design with two factors and three replications. The first factor was treatments in 5 levels including dry control, distilled water, chitosan 0.5%, chitosan nanofibers 0.2% and chitosan nanofibers 0.5% and the second factor was storage time in 5 levels including: Zero, 5, 10, 15 and 20 days. The treatments were applied as a 2-minute immersion of the fruits in the prepared solution at ambient temperature (25°C), and the samples were stored after drying in plastic disposable containers at 4°C and relative humidity of 85 to 90%. At the end of the storage periods, the values of weight loss, pH of fruit juice, total soluble solids, titratable acidity, and firmness of fruit tissue, color indexes, total anthocyanin, total phenol content, vitamin C content, antioxidant activity and percentage of decay of the aforementioned treatments were evaluated.

### Results and Discussion:

The results showed that at the end of the storage period, the 0.5% chitosan nanofiber treatment was able to maintain the TA value 77% higher than the control at same-day. Also, the TSS of 0.5% and 0.2% chitosan nanofiber treatments was lower than the control, which indicates a delay in the tissue softening of coated fruits due to a lower breakdown of sugars. On the 20th day of storage, the pH, TSS/TA, and the percentage of weight loss in the treatment of 0.5% chitosan nanofiber were lower than the control; the explanation for the rise in pH of control fruits is due to the decrease in organic acids and potential sugar conversion. The highest value of firmness between treatments was found in the 0.5% chitosan nanofiber treatment (3.11 Newton) after 20 days of storage. The semi-permeable surface of coated fruits may have contributed to fruit firmness persistence by limiting metabolic gaseous exchange (oxygen and carbon dioxide) across the coating barrier, followed by a decrease in metabolic activity and oxidizing enzyme effectiveness. The highest content of vitamin C, total phenol, and total anthocyanin were in the 0.5% chitosan nanofiber treatment, which showed a significant difference from other treatments. At the end of storage, the percentage of antioxidant activity of fruits in coating treatments including 0.5% chitosan nanofiber, 0.2% chitosan nanofiber, and 0.5% chitosan, 25%, 14%, and 5%, respectively, was higher than the dry control. Higher contents of color indexes including Lightness (L\*), Redness (a\*), yellowness (b\*) and Chroma, and lower values of Hugh angle were observed in fruit coated with chitosan nanofiber. The percentage of decay in chitosan nanofiber-treated fruits (0.5% and 0.2%) and chitosan (0.5%) decreased by 61%, 55%, and 43% more than the control, respectively.

## Choobtashany *et al.*, Effect of Chitosan and Chitosan Nanofiber Coating ...

### Conclusions:

The present study found that using a 0.5% chitosan nanofiber coating was the most effective way to maintain the quality of strawberries during storage for up to 20 days. It allowed good preservation quality such as weight loss, decay, antioxidant activity, firmness, color, Vitamin C, anthocyanin content, and total phenolic compounds. However, 20 days is a sensitive period for the commercialization of strawberries, considering the normal time of 7–14 days is generally accepted. Consequently, various storage strategies can be applied to suit the market needs.

**Keywords:** Antioxidant activity, Appearance quality, Fruit decay, Total phenolic compounds.

**Citations:** Choobtashany, M., Sayyari, M. & Karami, M (2024). Effect of Chitosan and Chitosan Nanofiber Coating on Quality and Storability of Strawberry Fruit cv. Paros. *Plant Production Technology*, 24(1), 1-18. <https://doi.org/10.22084/PPT.2024.28675.2118>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**Online ISSN:** 2476-5651

**Print ISSN:** 2476-6321

## اثر پوشش کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کیفیت و انبارمانی میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس

### Effect of Chitosan and Chitosan Nanofiber Coating on Quality and Storability of Strawberry Fruit cv. Paros

مریم چوبتاشانی<sup>۱</sup>، محمد سیاری<sup>۲\*</sup> و مصطفی کرمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

(مقاله پژوهشی)

#### چکیده

توت‌فرنگی به دلیل داشتن بافت نرم و حساسیت فراوان به پاتوزن‌ها عمر انباری کوتاهی دارد. از جمله راه‌های نامناسب برای افزایش ماندگاری آن استفاده از ترکیبات شیمیایی مصنوعی و ضدقارچی می‌باشد که اثر سوء بر سلامت مصرف‌کننده و محیط‌زیست بر جا می‌گذارد. این پژوهش جهت بررسی اثر پوشش‌دهی با کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر عمر انباری و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس طی نگهداری در انبار سرد، در قالب یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اول تیمارها (به صورت ۲ دقیقه غوطه‌وری) در ۵ سطح شامل شاهد خشک، آب مقطر، کیتوزان ۰/۵ درصد، نانوفیبر کیتوزان ۰/۲ درصد و نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد و فاکتور دوم زمان انبارداری در ۵ سطح شامل: صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز بود. نمونه‌ها پس از خشک شدن، در ظروف یک‌بار مصرف پلاستیکی بسته‌بندی و در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. نتایج نشان داد میوه‌های تیمار شده با ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان، سفتی بافت، TSS، ویتامین ث، آنتوسیانین و فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به میوه‌های شاهد طی دوره انبار داشتند. هم‌چنین درصد پوسیدگی در میوه‌های تیمار شده با ۰/۵ و ۰/۲ درصد نانوفیبر کیتوزان به ترتیب ۶۱ درصد و ۵۵ درصد کم‌تر از میوه‌های شاهد بود. براساس نتایج این مطالعه، پوشش نانوفیبر کیتوزان می‌تواند به‌عنوان یک پوشش دوست‌دار محیط‌زیست در کنترل پوسیدگی توت‌فرنگی و حفظ کیفیت آن در انبار مورد استفاده قرار بگیرد.

**واژه‌های کلیدی:** فعالیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت ظاهری، پوسیدگی میوه، محتوای فنل کل

ارجاع به مقاله: چوبتاشانی، م.، سیاری، م. و کرمی، م. (۱۴۰۳). اثر پوشش کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کیفیت و انبارمانی میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس، مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۴(۱)، ۱-۱۸. <https://doi.org/10.22084/ppt.2024.28675.2118>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در

سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

شاپا الکترونیکی: ۵۶۵۱-۲۴۷۶

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳. دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی بهار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول Email: [m.sayyari@basu.ac.ir](mailto:m.sayyari@basu.ac.ir)

مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی آقای محمد سیاری می‌باشد.

## ۱. مقدمه

زوال و فساد محصول توت‌فرنگی بلافاصله بعد از برداشت و جدا شدن از گیاه مادری شروع می‌شود. توت‌فرنگی میوه‌ی نافرآزگرا<sup>۱</sup> بوده و به دلیل تنفس، رطوبت و فعالیت متابولیکی بالا و نیز حساسیت به پوسیدگی‌های میکروبی و قارچی، به خصوص کپک خاکستری حاصل از قارچ بوتریتیس<sup>۲</sup>، بسیار فسادپذیر است (Aday et al., 2011). همچنین به دلیل بافت نرم و نداشتن پوست محافظ، به از دست دادن رطوبت، ساییدگی و صدمات مکانیکی حساس است و دارای عمر انباری کمی بوده و نمی‌توان آن را برای مدت زمان طولانی نگهداری کرد. در این راستا برای افزایش عمر محصول برداشت شده و حفظ کیفیت توت‌فرنگی از پوشش دهنده‌های خوراکی مانند کیتوزان استفاده شده است.

کیتوزان یک پلی‌ساکارید طبیعی و در واقع کیتین استیل زدایی شده است که از پوست خرچنگ‌ها و میگو، پوست حشره‌ای به نام پایگارיום<sup>۳</sup> و از انواع قارچ‌های خوراکی استخراج می‌شود (De Moura et al., 2011). کیتوزان به‌عنوان یک پوشش نیمه تراوا با تغییر دادن اتمسفر درونی مانند آب، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن و نیز کم کردن سرعت تنفس پیری را به تأخیر انداخته و کیفیت میوه‌های برداشت شده را حفظ می‌کند (Zivanovic et al., 2005). با این حال به‌عنوان یک ماده ضد میکروبی در فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. خاصیت ضد میکروبی کیتوزان گستره وسیعی از میکروارگانسیم‌ها را در بر می‌گیرد و در چند سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Vasile et al., 2013; Zahedi et al., 2017). برای حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی در پس از برداشت از پوشش کیتوزان به تنهایی (Petriccione et al., 2015) و یا در ترکیب با دیگر مواد طبیعی (Perdones et al., 2012) استفاده و مزایای زیادی از کاربرد آن گزارش شده است. کیتوزان علاوه بر کاهش تنفس و تعرق میوه توت‌فرنگی سبب کاهش بروز برخی از بیماری‌ها و جلوگیری از فعالیت عوامل بیماری‌زای قارچی در میوه توت‌فرنگی نیز گردیده است. از طرفی نانوذرات کیتوزان فواید گوناگونی در مقایسه با کیتوزان معمولی دارد چرا که ذرات نانو خواص بازدارندگی و

عملی پوشش‌های خوراکی از طریق افزایش مساحت سطحی را بهبود می‌بخشد (Eshghi et Maftoonazad et al., 2013; al., 2014). نانوذرات کیتوزان فعالیت ضد میکروبی بالاتری نسبت به کیتوزان دارد که برتری مواد در مقیاس نانو را نسبت به مواد معمولی نشان می‌دهد (Perinelli et al., 2018).

باتوجه به مطالب ذکر شده، این تحقیق برآن بود اثر کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کنترل پوسیدگی قارچی، عمر انباری و برخی شاخص‌های کمی و کیفی میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس که یکی از ارقام خوب تجاری تحت‌کشت در کشور است را بررسی نماید.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱-۲. مواد گیاهی

میوه‌های توت‌فرنگی رقم پاروس در مرحله بلوغ تجاری (زمانی که بیش از ۷۵ درصد سطح آن‌ها قرمز شده بود) از یکی از مزارع استان کردستان و مورد تأیید سازمان جهاد کشاورزی برداشت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. سپس عملیات جداسازی میوه‌های آسیب دیده و نارس و آلوده از میوه‌های سالم انجام شد. پس از اعمال تیمارهای مورد نظر، میوه‌ها در سردخانه (با دمای ۱ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۹۵ درصد) به مدت بیست روز انبار شدند.

### ۲-۲. طرح آماری

این پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲ فاکتور سطوح تیماری و زمان نگهداری در انبار، در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول تیمارها شامل ۵ سطح شاهد (شاهد خشک)، تیمار آب مقطر (شاهد تر)، کیتوزان ۰/۵ درصد، فیبر نانوکیتوزان ۰/۲ درصد و فیبر نانوکیتوزان ۰/۵ درصد بودند. فاکتور دوم زمان نگهداری میوه‌ها در انبار در ۵ سطح (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز پس از شروع انبارداری) بود. هر تکرار نیز حاوی ۱۰ عدد میوه توت‌فرنگی رقم پاروس بود.

### ۲-۳. تهیه محلول کیتوزان

کیتوزان مورد استفاده تولید شرکت سیگما و با خلوص ۱۰۰ درصد بوده و برای تهیه کیتوزان ۰/۵ درصد، ۵ گرم کیتوزان با

1. Non-climacteric
2. Botrytis
3. Pupaarium

#### ۲-۵-۲. درصد کاهش وزن

کاهش وزن میوه یا درصد تلفات آب به وسیله وزن کردن میوه‌های هر تکرار قبل از ورود به انبار (شروع انبارداری) و در فواصل زمانی انبارداری، در دوره‌های خروج از انبار (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰)، توسط ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد.

#### ۲-۵-۳. ویتامین ث

برای اندازه‌گیری ویتامین ث، از روش تیتراسیون با کلروفنل ایندوفنل<sup>۷</sup> استفاده شد. برای اندازه‌گیری ویتامین ث نمونه‌ها، ۱ گرم از بافت میوه جدا و با اضافه کردن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، عصاره‌گیری انجام گردید. پس از اضافه کردن ۵ قطره محلول متافسفریک اسید به عصاره میوه، با محلول رنگی دی کلروفنل ایندوفنل تیتراژ گردید. زمانی که رنگ عصاره به رنگ تقریباً صورتی تغییر یافت و به مدت ۳۰ ثانیه ماند حجم ماده رنگی دی کلروفنل ایندوفنل مصرف شده قرائت گردید. میزان ویتامین ث برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم آب میوه از فرمول زیر محاسبه شد.

$$C = D \times H \times 100$$

که در آن: C: ویتامین ث موجود در ۱۰۰ گرم بافت میوه (میلی‌گرم)، D: مقدار رنگ مصرفی برای تیتراسیون عصاره میوه (میلی‌لیتر)، H: مقدار ویتامین ث به ازای یک میلی‌لیتر رنگ بود.

#### ۲-۵-۴. محتوای فنل کل

اندازه‌گیری فنل کل توت‌فرنگی توسط معرف فولین سیکالنتو انجام شد. نیم گرم بافت توت‌فرنگی با سه میلی‌لیتر حلال متانول ۸۵ درصد مخلوط شد و ۳۰۰ میکرولیتر از آن با ۱۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین رفیق شده (۱۰ درصد) ترکیب گردید. پس از ۵ دقیقه، ۱۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه شد و پس از ۹۰ دقیقه قرار گرفتن روی شیکر (۱۲۰ دور در دقیقه)، جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (شیمادزو مدل UV-1280، ژاپن) اندازه‌گیری گردید و با مقایسه با منحنی استاندارد اسیدگالیک در غلظت‌های صفر، ۴، ۸، ۱۶، ۳۲، ۴۸ میلی‌گرم در لیتر،

اسید استیک ۱ درصد به حجم یک لیتر رسانده شد، پس از حل شدن کامل کیتوزان، پی اچ محلول با سود ۱ نرمال روی ۵ تنظیم و در نهایت ۲ میلی‌لیتر توپین ۸۰ به یک لیتر محلول تهیه شده اضافه شد. میوه‌ها به مدت دو دقیقه در محلول فروبرده شدند و سپس به مدت ۲ ساعت در شرایط دمای محیط خشک شدند. نمونه‌های شاهد تر به مدت ۲ دقیقه درون آب مقطر استریل فروبرده شدند و همانند نمونه‌های تیمار شده خشک و سپس به سردخانه منتقل گردیدند.

#### ۲-۴. تهیه محلول نانوفیبر کیتوزان

نانوفیبر کیتوزان از شرکت نانو پلیمر نوین ایران تهیه گردید. غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان ساخته شده و سپس محلول به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک گذاشته شد و پس از آن میوه‌ها در داخل غلظت‌های تهیه شده به مدت دو دقیقه غوطه‌ور شدند.

#### ۲-۵. صفات مورد اندازه‌گیری

##### ۲-۵-۱. اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، پی اچ

آب میوه، شاخص طعم میوه و سفتی بافت میوه اسیدیته قابل تیتراسیون<sup>۱</sup> (TA) با استفاده از روش پتانسیل سنجی تیتراسیون<sup>۲</sup> توسط سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پی اچ  $8/2 \pm 0/1$  انجام شد. مواد جامد محلول<sup>۳</sup> (TSS) با استفاده از دستگاه رفرکتومتر دستی (مدل NI)، ساخت شرکت آتاگو، ژاپن) در دمای اتاق ( $25 \pm 1$  درجه سلسیوس) تعیین گردید و عدد حاصل بر حسب (درجه بریکس) درصد بیان شد. پی اچ آب میوه با استفاده از پی اچ متر دیجیتالی (مدل ۸۲۷، متروهم<sup>۴</sup>، سوییس) قرائت گردید. از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون شاخص طعم میوه (TSS/TA) به دست آمد. سفتی میوه‌ها از طریق دستگاه سنج (واگنر مدل اف دی ک<sup>۵</sup>، ساخت کشور آمریکا) با نفوذ دادن میله (با قطر ۳ میلی‌متر) در دو نقطه مقابل هم روی هر میوه اندازه‌گیری شد و نتایج برحسب نیوتن بیان شد.

1. Titratable Acidity (TA)
2. Potentiometric titration
3. Total Soluble Solid (TSS)
4. Atago
5. Metrohm
6. Wagner F. D. K

7. 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCIP)

چوبتاشانی و همکاران: اثر پوشش کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کیفیت...  
محتوای فنل کل بر اساس میلی گرم اسیدگالیک در گرم وزن  
عصاره محاسبه گردید (Singleton & Rossi, 1965).

## ۲-۵-۵. میزان آنتوسیانین کل

محتوی آنتوسیانین کل با استفاده از روش اختلاف پی اچ گزارش شده توسط (Meyers et al., 2003) تعیین شد. عصاره متانولی توت‌فرنگی به‌طور هم‌زمان با نسبت ۶/۲۵ : ۰/۵ به‌ترتیب با استفاده از بافرهای ۰/۰۲۵ مولار پتاسیم کلرید (pH=۱) و ۰/۴ مولار سدیم استات (pH=۴/۵)، مخلوط شد. سپس مقادیر جذب عصاره‌ها در هر دو (pH=۱) و (pH=۴/۵) در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و محتوی آنتوسیانین کل بر اساس میلی گرم پلارگونیدین تری گلوکزاید بر گرم وزن تر و طبق فرمول زیر به‌دست آمد:

$$TA = [(A_{510nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{510nm} - A_{700nm})_{pH4.5}] \times MV \times TV \times 1000 / (\epsilon \times L \times SW)$$

که در آن: A: جذب، MW: وزن مولکولی پلارگونیدین تری گلوکزاید ۴۳۳ گرم بر مول، TV: حجم کل عصاره‌ی متانولی (۶/۲۵ میلی‌لیتر)، DF: فاکتور رقت، E: ضریب تفاوت ۲۲۴۰۰ لیتر بر مول بر سانتی‌متر، L: طول کووت ۱ سانتی‌متر، SW: وزن نمونه ۰/۵ گرم بود.

## ۲-۵-۶. فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها با استفاده از روش سنجش درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH (۲ و ۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل)<sup>۱</sup> اندازه‌گیری شد. بدین منظور مقدار ۷۵ میکرولیتر از عصاره متانولی میوه داخل لوله فالكون ریخته شد و ۲۹۲۵ میکرولیتر محلول ۶۰ میکرومولار DPPH به آن اضافه گردید. محلول حاصل به‌سرعت به‌هم زده شده و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در یک محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس میزان جذب استاندارد و نمونه با استفاده از یک دستگاه اسپکتروفتومتر (شیمادزو مدل UV-1280، ژاپن) در طول موج ۵۱۵ نانومتر تعیین گردید (Sogvar et al., 2016).

## ۲-۵-۷. شاخص‌های رنگ

برای اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ ابتدا با استفاده از دستگاه اسکنر اچ پی (مدل HP Scanjet G2410) از سطح میوه‌ها تصویربرداری شد و سپس عکس تهیه شده در نرم‌افزار Image J (Image J Software version 1/42e.USA) باز شده و شاخص‌های رنگ a\* (قرمز - سبز)، b\* (زرد - آبی) و L\* (روشنایی) اندازه‌گیری شد و سپس زاویه هیو و کروما با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (Salehi & Kashaninejad, 2018).

$$H^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

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

## ۲-۵-۸. درصد پوسیدگی

میزان پوسیدگی میوه‌ها براساس درجه‌بندی زیر محاسبه شد:

گروه اول: بدون پوسیدگی (میوه سالم).

گروه دوم: میوه‌هایی که زیر ۲۵ درصد از سطح آن‌ها علائم پوسیدگی را نشان دادند.

گروه سوم: میوه‌هایی که ۲۵-۵۰ درصد از سطح آن‌ها علائم پوسیدگی را نشان دادند.

گروه چهارم: میوه‌هایی که ۵۰-۷۵ درصد از سطح آن‌ها علائم پوسیدگی را نشان دادند.

گروه پنجم: میوه‌هایی که بالای ۷۵ درصد از سطح آن‌ها علائم پوسیدگی را نشان دادند.

سپس شاخص پوسیدگی به‌صورت درصد از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$100 \times \text{درصد پوسیدگی} = \frac{\text{تعداد میوه در هر گروه} \times \text{سطح پوسیدگی}}{\text{تعداد کل میوه در تیمار مربوطه}} \times 4$$

## ۲-۶. تجزیه آماری

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت.

## ۳. نتایج و بحث

### ۳-۱. اسیدیته قابل تیتراسیون

براساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری، در پایان دوره انبارداری (روز بیستم) کم‌ترین

هم‌چنین در روز بیستم انبارداری پوشش کیتوزان ۰/۵ درصد افزایش ۲۰ درصدی را نسبت به روز صفر نشان داد (شکل ۱-۱-B). افزایش مواد جامد محلول (قند) میوه در طول انبارداری می‌تواند در ارتباط با شکستن نشاسته به قند، کاهش سرعت تنفس و تبدیل قند به دی‌اکسیدکربن و آب (Eshghi et al., 2014)، هیدرولیز پلی‌ساکاریدهای دیواره سلول (Comabella et al., 2013) و افزایش درصد ماده‌ی خشک به دلیل از دست دادن آب باشد. کیتوزان به‌واسطه‌ی ایجاد یک مانع در مقابل عبور گازها باعث کاهش تنفس، تلفات آب میوه و تبادلات گازی شده است و تثبیت مواد جامد محلول را به‌همراه دارد.

### ۳-۳. شاخص طعم میوه (TSS/TA)

نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان شاخص طعم میوه توت فرنگی به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر برهم‌کنش تیمار و مدت انبار قرار گرفت. با افزایش زمان انبار میزان شاخص طعم میوه افزایش یافت. میزان افزایش در میوه‌های پوشش داده شده با نانوفیبر کیتوزان در مقایسه با میوه‌های گروه شاهد و کیتوزان به‌طور معنی‌داری کمتر بود. هم‌چنین تیمار کیتوزان در مقایسه با شاهد دارای شاخص طعم کمتری بود. در پایان دوره انبارداری میزان شاخص طعم نسبت به زمان صفر (موقع) در میوه‌های گروه شاهد ۱۵۶ درصد افزایش یافت اما کم‌ترین افزایش این شاخص به‌میزان ۳۳ درصد از تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد به‌دست آمد. به‌طورکلی تفاوت معنی‌داری هم بین غلظت‌های مختلف نانوفیبر کیتوزان در روز ۲۰ انبار وجود داشت. شاخص طعم یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی در ارزیابی میوه توت‌فرنگی است که تعیین‌کننده قابلیت پذیرش آن توسط مصرف‌کننده است (Petriccione et al., 2015). در این پژوهش با توجه به افزایش معنی‌دار میزان TSS و کاهش میزان TA طی مدت انبار، میزان شاخص طعم افزایش یافت که با سایر نتایج گزارش شده مبنی بر افزایش میزان شاخص طعم میوه طی انبارداری مطابقت دارد (Petriccione et al., 2012a, 2015; Perdones et al., 2015).

### ۳-۴. پی‌اچ آب میوه

نتایج نشان داد که بالاترین میزان پی‌اچ در روز بیستم به‌ترتیب در تیمارهای آب مقطر و شاهد بود که با سایر تیمارها اختلاف

میزان اسیدیته قابل تیتراسیون مربوط به تیمار شاهد و تیمار آب مقطر و بیش‌ترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در این زمان مربوط به تیمار ۰/۵ و ۰/۲ درصد نانوفیبر کیتوزان بود. بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در پایان انبارداری نسبت به روز صفر به‌ترتیب ۵۳ و ۱۷ درصد مربوط به تیمارهای شاهد و غلظت ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان بودند. هم‌چنین شاهد آب مقطر نیز نسبت به روز صفر خود در پایان انبارداری ۵۴ درصد کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون را نشان داد. به‌طورکلی هر سه نوع پوشش به‌کار رفته در پژوهش حاضر سبب حفظ اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی در مقایسه با میوه‌های شاهد شدند (شکل ۱-۱-A). در طول فرآیند رسیدن میوه با افزایش سوخت‌وساز، اسیدهای آلی میوه کاهش می‌یابد. پوشش‌های خوراکی با تغییر اتمسفر درونی و کاهش سرعت تنفس میوه، باعث حفظ بهتر اسیدهای آلی میوه می‌شوند (Galvis et al., 2003). نتایج نشان داد که در میوه‌های پوشش داده شده روند کاهش اسیدیته به آرامی صورت گرفته است که احتمالاً به‌علت کاهش تنفس در میوه‌ی پوشش داده شده توت‌فرنگی نسبت به شاهد می‌باشد. میزان اسید میوه‌ی توت‌فرنگی طی زمان نگهداری به‌ویژه نگهداری در انبار با دمای پایین کاهش می‌یابد که می‌تواند به‌علت شکسته شدن اسید به قند در طول تنفس میوه باشد. البته در برخی مطالعات به فعالیت آنزیمی طی نگهداری توت‌فرنگی اشاره شده که باعث کاهش اسیدیته میوه می‌شود (Vargas et al., 2006) در نتایج به‌دست آمده از تحقیق (Shi et al., 2013) هم روند کاهش در تغییر اسیدیته گزارش شد اما این روند در میوه‌ی لونگان پوشش داده شده با کیتوزان همراه با نانوسلیس کم‌تر دیده شد.

### ۳-۲. مواد جامد محلول کل

نتایج آزمایش روند افزایشی میزان مواد جامد محلول در میوه‌ی توت‌فرنگی را با گذشت بیست روز انبارداری نشان داد. با مقایسه اثر تیمارها در پایان انبار نسبت به زمان برداشت (روز صفر)، بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول در روز بیستم و مربوط به تیمار شاهد (۶۷ درصد) و کم‌ترین میزان مواد جامد محلول در همین روز مربوط به غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۲ درصد نانوفیبر کیتوزان (به‌ترتیب ۵/۳۳ و ۵ درصد) مشاهده شد.



چوبتاشانی و همکاران: اثر پوشش کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کیفیت...  
معنی داری داشتند و پایین‌ترین میزان پی اچ در این روز مربوط به غلظت‌های ۰/۵ و ۰/۲ درصد نانوفیبر کیتوزان بود. تیمارهای نانوفیبر کیتوزان تا ۷ درصد نسبت به روز صفر انبار پی اچ آب میوه را افزایش دادند (شکل ۱-D). مهم‌ترین علت افزایش پی اچ میوه‌ها احتمالاً به دلیل فرآیندهای متابولیکی و عکس‌العمل به فعالیت‌های میکروبی در طی انبارداری در پس از برداشت می‌باشد (Mannozi et al., 2017). پوشش‌های خوراکی با کند کردن تغییرات پی اچ، به‌طور مؤثری رسیدن و پیری میوه را به تعویق می‌اندازند (Cong et al., 2007). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش پوشش کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان پی اچ آب میوه‌ی توت‌فرنگی داشت. تیمار میوه‌ی توت‌فرنگی با پوشش‌های کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان با کند کردن فرآیندهای مرتبط با رسیدن میوه، باعث کاهش سرعت کم شدن اسیدهای آلی در طی بیست روز نگهداری در انبار سرد شد، بنابراین میزان پی اچ در میوه‌های پوشش داده شده در مقایسه با شاهد کم‌تر بود. در بین پوشش‌ها، پوشش نانو فیبر کیتوزان مؤثرتر واقع شد.

### ۳-۵. سفتی بافت میوه

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبارداری نشان داد که بیش‌ترین میزان سفتی بافت میوه‌ی توت‌فرنگی مربوط به روز پنج انبارداری و تیمار ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان و کم‌ترین میزان سفتی بافت میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس، در روز بیستم در تیمار شاهد مشاهده گردید، البته تیمار شاهد با تیمار آب مقطر در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد و بیش‌ترین میزان سفتی بافت میوه در روز بیستم انبارداری مربوط به تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد بود. به‌طورکلی در پایان دوره نگهداری در سردخانه پوشش‌های به‌کار رفته در پژوهش حاضر اثر مثبت و معنی‌داری روی حفظ سفتی بافت میوه در مقایسه با شاهد نشان دادند (شکل ۱-E). طی دوره نگهداری در سردخانه با توجه به کاهش فشار تورژشانس سلولی و به‌تدریج شکستن دیواره و غشای سلولی، میوه شروع به نرم شدن می‌کند. حفظ بهتر سفتی بافت توسط تیمارهای مبتنی بر کیتوزان در میوه‌ی توت‌فرنگی می‌تواند به‌دلیل اثر تیمارها در کاهش از دست دادن

رطوبت و حفظ بهتر تورژشانس سلولی باشد. طی رسیدن میوه، دپلمریزه شدن پکتین (جدا شدن واحدهای سازنده پکتین از یک‌دیگر) رخ می‌دهد که سبب افزایش فعالیت پلی‌گالاکتروناز و پکتین استراز می‌شود. اتمسفر تغییر یافته با کاهش میزان اکسیژن و افزایش میزان دی‌اکسیدکربن فعالیت این آنزیم‌ها را کاهش می‌دهد و باعث حفظ سفتی میوه و سبزی‌ها در طی انبار می‌شود (Maftoonazad & Ramaswamy, 2005). پوشش کیتوزان با ایجاد اتمسفر تغییر یافته در اطراف میوه فرآیند رسیدن و پیری میوه را کند می‌کند (Chen et al., 2011) و به دلیل داشتن خاصیت میکروبی از فساد میوه می‌کاهد (Wang et al., 2013) که احتمالاً بدین طریق به حفظ سفتی بافت میوه کمک می‌کند. پوشش کیتوزان همراه نانوذرات به‌طور معنی‌داری باعث حفظ سفتی دانه‌های جینکو طی انبارداری شد (Tian et al., 2018) و هم‌چنین این پوشش توانست از کاهش سفتی بافت میوه‌ی ذغال اخته جلوگیری کند (Duan et al., 2011) و باعث حفظ سفتی میوه‌ی انبه (Jongsri et al., 2016) و آووکادو (Obianom et al., 2019) شود.

### ۳-۶. کاهش وزن

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان نشان داد که کاهش وزن در میوه‌ی توت‌فرنگی رقم پاروس با گذشت بیست روز انبارداری در هر دو نوع نمونه‌های پوشش داده شده و نمونه‌های بدون پوشش (تیمار شاهد و تیمار آب مقطر)، روند افزایشی داشت اما این روند در نمونه‌های پوشش داده شده کم‌تر بود. غلظت‌های نانوفیبر کیتوزان به‌خوبی از کاهش وزن میوه جلوگیری کردند. بیش‌ترین کاهش وزن مربوط به تیمار شاهد و تیمار آب مقطر با اختلاف معنی‌دار در روز بیستم بود. در روز آخر انبار کم‌ترین میزان کاهش وزن در میوه‌های تیمار شده با نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱-F). به‌طور معمول کاهش وزن شاخصی برای سنجش تازگی میوه می‌باشد که در طی یک دوره ذخیره‌سازی طولانی مدت به‌دلیل خروج آب از میوه‌ها به محیط اطراف (در اثر تنفس محصول) افزایش می‌یابد (Mannozi et al., 2017). کاهش وزن میوه‌ها در انبار به‌دلیل از دست دادن ناشی از



مقایسه با شاهد داشت (Eshghi et al., 2014) و همچنین این پوشش روی میوهی خیار در به تأخیر انداختن کاهش وزن مؤثر بود. اثر پوشش خوراکی کیتوزان روی کاهش وزن در میوهی آلو (Kumar et al., 2017) و گواوا (Silva et al., 2018) گزارش شده است. به نظر می‌رسد تیمارهای کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان با کاهش سرعت تنفس و از دست دادن آب سبب کاهش تغییر وزنی میوهی توت‌فرنگی می‌شوند.

فرآیندهای تنفس و تعرق در میوه‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، اثر مثبت پوشش‌های خوراکی به دلیل این است که به‌عنوان سد بین میوه و محیط اطراف آن قرار گرفته، بنابراین تبدلات خارجی را کاهش می‌دهند. کیتوزان، به‌عنوان یک پوشش خوراکی توانسته جلوی از دست دادن رطوبت را بگیرد و بر تبدلات گازی اثر بگذارد (Xu et al., 2007). پوشش کیتوزان و کیتوزان همراه با نانو سلیس روی میوه لونگان (Shi et al., 2013) و لوکوات (Song et al., 2016) به‌طور معنی‌داری در

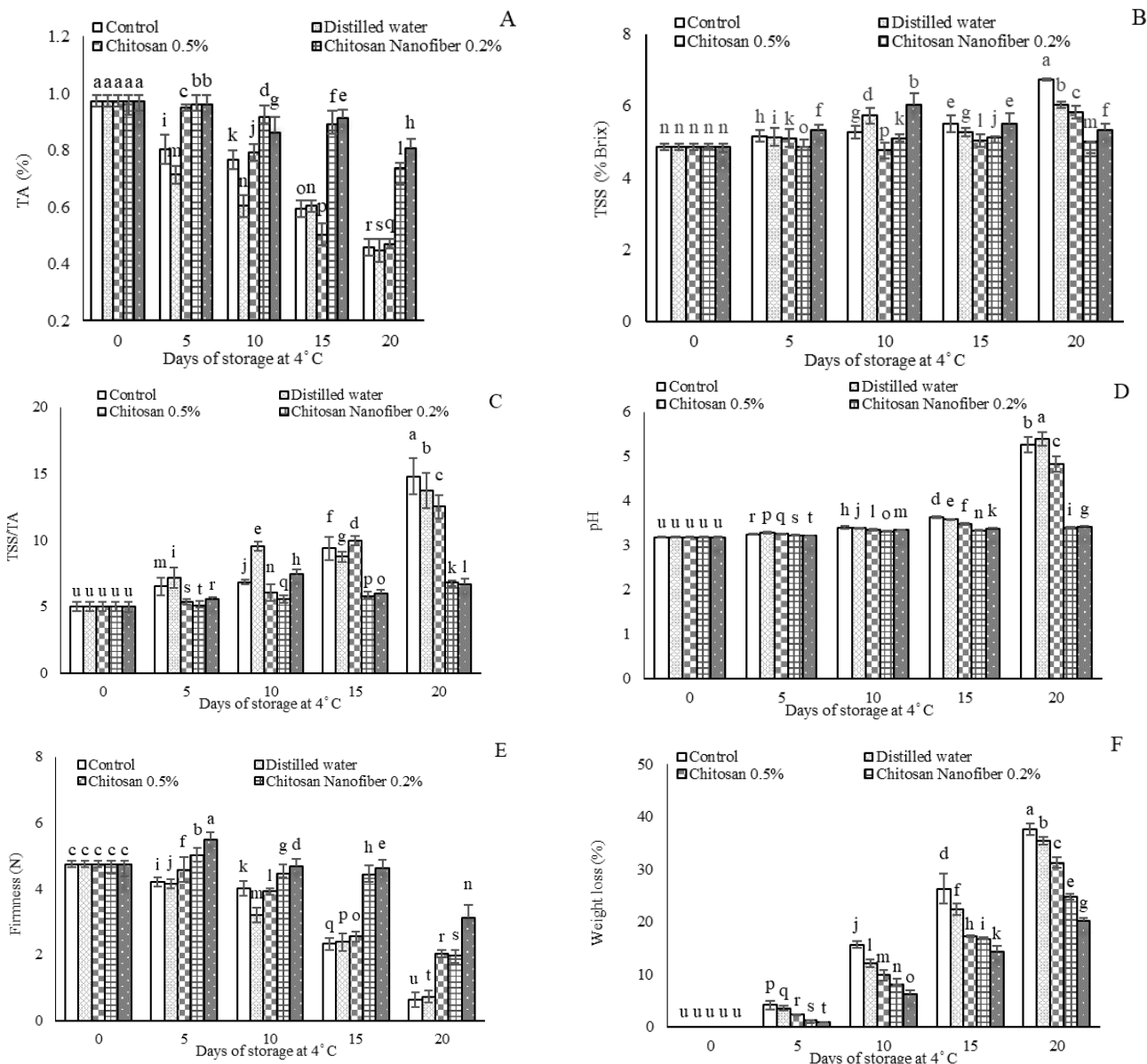


Fig. 1: Effect of different concentrations of chitosan and chitosan nano fiber coating on titratable acidity (A), total soluble solids (B), TSS/TA (C), pH (D), firmness (E) and weight loss (F) of strawberry (cv. Paros) during storage

### ۷-۳. ویتامین ث (اسید آسکوربیک)

نتایج نشان داد که کمترین مقدار ویتامین ث در پایان دوره انبارداری، در تیمار آب مقطر و شاهد و بیشترین آن در تیمار ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان مشاهده شد. همچنین تیمارهای ۰/۲ درصد نانوفیبر کیتوزان و ۰/۵ درصد کیتوزان نیز مقدار ویتامین ث بیشتری در مقایسه با شاهد در روز بیستم داشتند. در دوره‌ی آخر انبارداری بین تیمارهای کیتوزان ۰/۵ درصد و نانوفیبر کیتوزان ۰/۲ درصد و اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۲-۲A). در پایان انبار، تیمارهای شاهد و نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد به ترتیب ۸۸ و ۵۰ درصد نسبت به روز صفر کاهش ویتامین ث را نشان دادند. اسید آسکوربیک با حذف رادیکال‌های آزاد تولید شده در میوه‌ها و جلوگیری از تخریب میوه‌ها طی رسیدن به دلیل فرآیند اکسیداسیون به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Khaliq et al., 2015). پوشش‌های خوراکی باعث کاهش اکسیژن درونی میوه و همچنین کاهش فعالیت آنزیمی می‌شوند و در نتیجه اکسیداسیون اسید آسکوربیک را کاهش می‌دهند (Wang & Gao, 2013). در این پژوهش مقدار از دست‌دهی ویتامین ث در میوه‌های تیمار شده با نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد کمترین میزان بود که ممکن است به این دلیل باشد که کیتوزان با ایجاد یک اتمسفر تغییر یافته (کاهش اکسیژن و افزایش دی‌اکسیدکربن)، تخریب ویتامین ث را در انبار کاهش می‌دهد که با نتایج (Eshghi et al., 2014) که بیان کردند پوشش نانو امولسیون کیتوزان روی میوه‌ی توت‌فرنگی توانست ویتامین ث را نسبت به شاهد بیش‌تر حفظ کند و همچنین پوشش کیتوزان در توت‌فرنگی (Wang & Gao, 2013) و در میوه‌ی پرتقال (Li et al., 2018) و قطعات تازه هویج (Song et al., 2017) و میوه‌ی ماندارین (Gao et al., 2018) طی انبار با توجه به روند نزولی کاهش اسید آسکوربیک، در میوه‌های تیمار شده کاهش ویتامین ث کم‌تر مشاهده شد و این پوشش در حفظ ویتامین ث مؤثرتر بود.

### ۸-۳. محتوای فنل کل

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان نشان داد که با گذشت زمان میزان فنل کل در میوه‌ها کاهش پیدا کرد اما این کاهش در میوه‌های پوشش داده شده در مقایسه با میوه‌های

شاهد و آب مقطر کم‌تر بود. بیش‌ترین میزان فنل در روز بیستم مربوط به تیمار ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان و کم‌ترین میزان فنل مربوط به شاهد بود. همچنین تیمار نانوفیبر کیتوزان توانست ۴۷ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد در مقایسه با روز صفر فنل کل را حفظ کند. ۶۸ درصد کاهش فنل در تیمار شاهد در پایان دوره انبار ثبت شد (شکل ۲-۲B). پوشش‌های کیتوزان می‌توانند ترکیبات فنلی را بهتر حفظ کنند از آنجایی‌که کیتوزان ژن‌هایی را فعال می‌کند که بیوستز متابولیت‌های دفاعی را فعال می‌کند (Xoca-Orozco et al., 2017) حفظ ترکیبات فنلی بر اثر پوشش کیتوزان، به تأخیر در فرآیند پیری و کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شده است (Petriccione et al., 2015). طی دوره انبار میزان فنل در همه‌ی تیمارها کاهش پیدا کرد اما در میوه‌های پوشش داده شده مخصوصاً پوشش‌دهی شده با نانوفیبر کیتوزان این میزان کم‌تر بود. کاهش ترکیبات فنلی در پایان دوره‌ی انبار ممکن است به دلیل شکستن ساختار سلول در اثر پیری باشد. میزان فنل در میوه‌ی گواوا، پوشش داده شده با کیتوزان و شاهد طی انبار روند نزولی نشان داد ولی در میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان در مقایسه با شاهد این میزان کم‌تر بود که این حاکی از تأثیر معنی‌داری پوشش کیتوزان بر میزان فنل کل می‌باشد (Nair et al., 2018).

### ۹-۳. محتوای آنتوسیانین کل

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان نشان داد که کمترین میزان آنتوسیانین در روز بیستم مربوط به تیمار شاهد آب مقطر و بیش‌ترین میزان مربوط به تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد بود. با گذشت زمان در مقایسه با روز صفر میزان آنتوسیانین میوه کاهش پیدا کرد اما بیش‌ترین کاهش در روز بیستم مشاهده شد. هر سه نوع پوشش مورد استفاده در پژوهش حاضر در طول دوره اثر مثبت و معنی‌داری روی حفظ میزان آنتوسیانین نشان دادند (شکل ۲-۲C). (Resende et al., 2018) بیان کردند پوشش کیتوزان و فیبر نانوسلولز اثر معنی‌داری در میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی داشت که این میزان در طی انبار روند نزولی داشت اما در آخر دوره انبار میزان آنتوسیانین در میوه‌های پوشش داده شده بیش‌تر از شاهد بود و همچنین

(شکل ۳-۱). (Eshghi et al., 2014) بیان کردند پوشش خوراکی نانوکیتوزان روی میوه توت‌فرنگی در حفظ میزان آنتوسیانین با وجود روند نزولی این ماده طی انبار در مقایسه با شاهد مؤثر واقع شد.

۱۰-۳. فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه

براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبار، بیش‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی در روز شروع انبار و کم‌ترین آن مربوط در روز آخر انبار (روز بیستم) بود. در روز بیستم بیش‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد بود و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت و کم‌ترین در تیمارهای شاهد مشاهده گردید. به ترتیب کاهش ۸ و ۲۷ درصدی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمارهای نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد و شاهد روز بیستم در مقایسه با روز صفر مشاهده شد (شکل ۲-۱). کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی مدت انبارداری ممکن است به دلیل فرآیند پیری، افزایش تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال آزاد و پوسیدگی باشد (Sogvar et al., 2016). یکی از دلایل کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول انبار، کاهش آنتوسیانین و ویتامین ث در طی دوره انبار می‌باشد؛ زیرا این دو ترکیب خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و با کاهش میزان آن‌ها فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز کاهش پیدا می‌کند (Kelebek et al., 2009) که در پژوهش حاضر نیز هم میزان ویتامین ث و هم آنتوسیانین کل طی انبار ۲۰ روزه کاهش پیدا کرد که احتمالاً دلیل کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های توت‌فرنگی نیز همین باشد. (Eshghi et al., 2014) بیان کردند پوشش نانوکیتوزان روی میوه فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی نتایج معنی‌داری داشته و هم‌چنین پوشش کیتوزان اثر معنی‌داری روی میوه زغال اخته (مانوزی و همکاران، 2018) و میوه گواوا (Nair et al., 2018) نشان داد و باعث حفظ آن در مقایسه با میوه‌های شاهد طی دوره انبار شد.

۱۲-۳. شاخص قرمز-سبز (a\*)

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبار نشان داد که بین شاهد و میوه‌های تیمار شده از نظر مقدار شاخص a\* میوه توت‌فرنگی اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده شد. در روز آخر انبار کم‌ترین میزان شاخص a\* مربوط به تیمار شاهد بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان داد و بیش‌ترین مربوط به هر سه غلظت پوشش به کار رفته در پژوهش حاضر بود. میزان کاهش شاخص قرمزی a\* در تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد و شاهد در روز بیستم نسبت به زمان برداشت به ترتیب ۲ و ۲۷ درصد بود (شکل ۳-۲). پوشش کیتوزان روی میوه لیچی تأثیر معنی‌داری روی میزان شاخص رنگ a\* داشت، طی زمان انبار میزان شاخص a\* کم شد ولی این کاهش در تیمارها کم‌تر بود (Jiang et al., 2018) و هم‌چنین پوشش کیتوزان باعث حفظ رنگ سبز در میوه انبه شد که نشان دهنده تأثیر قابل توجه این پوشش در شاخص رنگ a\* می‌باشد (et Cissé, 2015).

### ۱۱-۳. شاخص روشنایی (L\*)

نتایج نشان داد که میزان شاخص روشنایی (درخشندگی) در میوه‌های پوشش‌دهی شده در مقایسه با شاهد در پایان انبار بالاتر بود و در مقایسه با روز صفر میزان این شاخص در تیمارهای کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان افزایش پیدا کرده بود

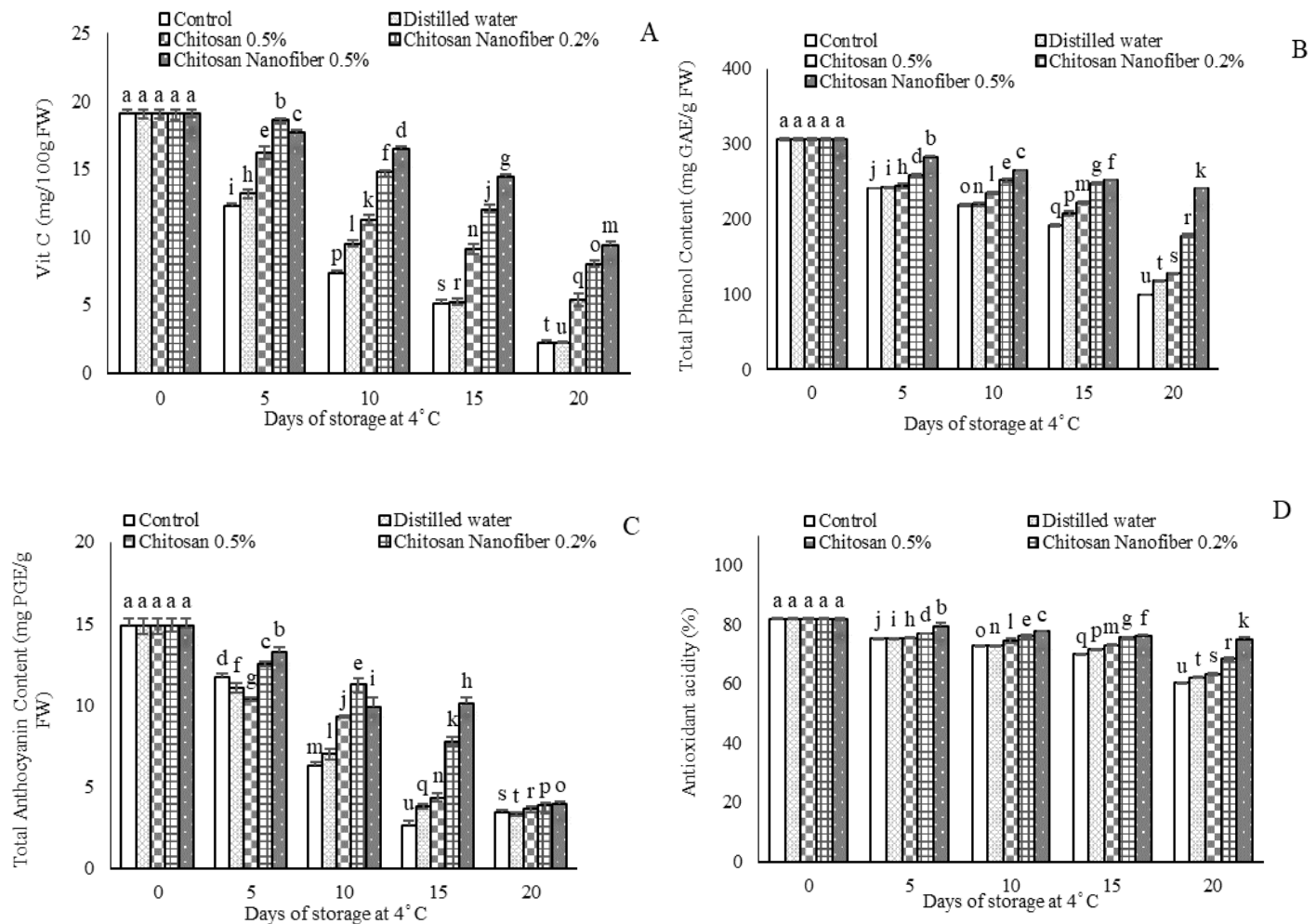


Fig. 2: Effect of different concentrations of chitosan and chitosan nano fiber coating on Vitamin C (A), Total Phenol Content (B), Total Anthocyanin Content (C), and Antioxidant Capacity (D) of strawberry (cv. Paros) during storage

### ۱۴-۳. شاخص زاویه هیو (Hue angle)

در پایان انبار بیشترین مقدار شاخص هیو (زاویه هیو) مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار مربوط به تیمار آب مقطر بود. در کل میوه‌های پوشش داده شده با نانوفیبر کیتوزان و کیتوزان میزان زاویه هیو بیشتری از تیمار آب مقطر و کم‌تر از تیمار شاهد در روز بیستم نشان دادند (شکل ۳-D). کاهش زاویه هیو می‌تواند به علت واکنش‌های اکسیداسیون بین ترکیبات پلی فنلی باشد که باعث از بین رفتن آنتوسیانین طی انبار سرد می‌شود (Reque et al., 2014) و همچنین این کاهش در زمان انبار نشان دهنده‌ی گسترش قهوه‌ای شدن بافت میوه می‌باشد (Sánchez-González et al., 2011). (Kou et al., 2019). بیان کردند پوشش اسید آسبزیک و کیتوزان همراه با نانو سلیس و سدیم آلزینات روی میوه‌ی جوجوبا، بین میوه‌های تیمار شده و شاهد در میزان شاخص رنگ زاویه هیو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

### ۱۳-۳. شاخص زرد-آبی (b\*)

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار و زمان انبار نشان داد که با گذشت زمان میزان این شاخص کاهش پیدا کرد. در روز بیستم انبار تیمارهای نانوفیبر کیتوزان (غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۵ درصد) و ۰/۵ درصد کیتوزان شاخص زردی b\* بیشتری در مقایسه با شاهد همان روز نشان دادند (شکل ۳-C). پوشش خوراکی کیتوزان روی میوه‌ی گواوا در میزان شاخص رنگ b\* تفاوت نشان داد، به گونه‌ای که بین نمونه‌های پوشش داده شده و بدون پوشش تفاوت معنی‌داری وجود داشت که در نمونه‌های پوشش‌دار این شاخص کاهش پیدا کرده بود (De Aquino et al., 2015). (Ortiz-Duarte et al., 2019). اظهار کردند پوشش خوراکی نانوکیتوزان روی برش‌های تازه خربزه اثر معنی‌داری بر میزان شاخص رنگ b\* نداشت که نتایج آزمایش ما با این پژوهش مغایرت داشت.

### ۱۵-۳. شاخص کروما (Chroma)

مختلفی از میوه‌ها، از جمله توت‌فرنگی افزایش می‌دهد (Romanazzi et al., 2013).

طبق نتایج به‌دست آمده از این آزمایش پوشش خوراکی کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بر کاهش پوسیدگی طی دوره‌ی انبارداری مؤثر عمل کردند. (Mohammadi et al., 2015) بیان کردند که پوشش نانوکیتوزان و نانوکیتوزان همراه با اسانس دارچین اثر معنی‌داری در کاهش پوسیدگی میوه‌ی خیار طی انبارداری دارد. (Xin et al., 2017). نیز بیان کردند که پوشش کیتوزان با نانوسیلیس میزان پوسیدگی را در میوه‌ی گیلاس چینی طی دوره‌ی انباری در مقایسه با شاهد کاهش داد.

هم‌چنین (González-Saucedo et al., 2019) بیان کردند کیتوزان و نانوکیتوزان با اثر ضد میکروبی که دارند توانستند حدود ۹۰ درصد رشد قارچ‌ها، باکتری‌ها و مخمرها روی میوه‌ی فلفل زرد در مقایسه با شاهد را کاهش دهند. پوشش خوراکی کیتوزان در میوه‌ی توت‌فرنگی (Ventura-Aguilar et al., 2018) و زردآلو (Roussos et al., 2011) تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان پوسیدگی داشت که نتایج پژوهش حاضر با آن‌ها مطابقت داشت.

در روز بیستم انبار کم‌ترین مقدار شاخص کروما (اشباعیت رنگ) در تیمار شاهد و بیش‌ترین مقدار این شاخص در تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد مشاهده شد. در روز آخر انبار میوه‌های پوشش داده شده میزان کروما بالاتری در مقایسه با شاهد در روز بیستم نشان دادند. درصد کاهش شاخص کروما در میوه‌های پوشش داده شده با نانوفیبر کیتوزان و کیتوزان در پایان دوره انبار در مقایسه با روز صفر بین ۳ تا ۱۰ درصد متغیر بود (شکل ۳-E).

### ۱۶-۳. درصد پوسیدگی

میزان پوسیدگی در میوه‌ی توت‌فرنگی با افزایش دوره انبار یک روند صعودی داشت. بیش‌ترین میزان پوسیدگی در روز آخر انبار مربوط به تیمار شاهد و تیمار آب مقطر بدون اختلاف معنی‌دار و کم‌ترین میزان پوسیدگی مربوط به میوه‌های پوشش داده با کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان بوده است که در تیمارهای نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد، نانوفیبر کیتوزان ۰/۲ درصد و کیتوزان ۰/۵ درصد کم‌ترین میزان پوسیدگی مشاهده شد که بیانگر تأثیر تیمارها در کنترل فعالیت عوامل بیماری‌زا است.

به‌طور کلی در هر چهار دوره انبار کم‌ترین درصد پوسیدگی در تیمار نانوفیبر کیتوزان ۰/۵ درصد مشاهده گردید که در مقایسه با شاهد در روز آخر انبار این تیمار توانست ۶۱ درصد پوسیدگی را در میوه کاهش دهد (شکل ۴). فعالیت ضد میکروبی و ضد قارچی کیتوزان از طبیعت پلی‌کاتیونی آن منشأ می‌گیرد (Elsabee & Abdou, 2013). مطالعات مختلف نشان داده است که کیتوزان توان بالقوه‌ای برای جلوگیری از پوسیدگی‌های قارچی دارد و در نتیجه عمر انباری را در انواع

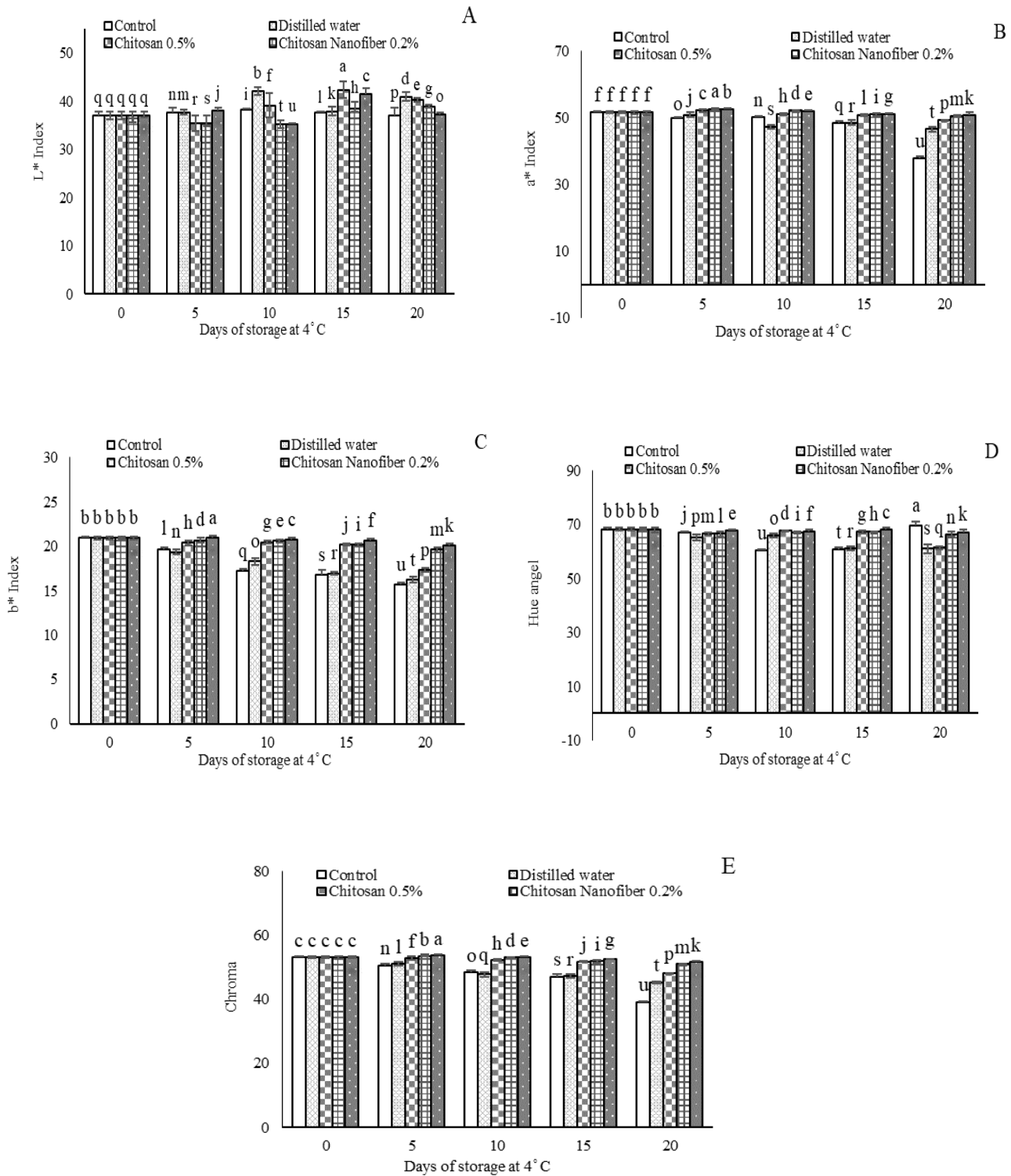


Fig. 3: Effect of different concentrations of chitosan and chitosan nano fiber coating on L\* (A), a\* (B), b\* (C), Hue Angle (D) and Chroma (E) of strawberry (cv. Paros) during storage



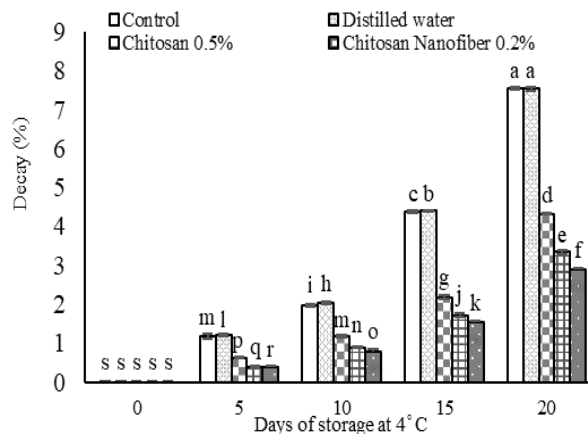


Fig. 4: Effect of different concentrations of chitosan and chitosan nano fiber coating on Decay Percentage of strawberry (cv. Paros) during storage

هیو و پوسیدگی بیش‌تر از پوشش کیتوزان به‌تنهایی بود. به‌طوری‌که در پایان دوره نگهداری میوه بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای ویتامین ث، فنل و آنتوسیانین کل، سفیدی و شاخص کروما و هم‌چنین کم‌ترین درصد پوسیدگی و کاهش وزن در نمونه‌های پوشش داده شده با نانوفیبر کیتوزان مشاهده شد که البته غلظت ۰/۵ درصد نانوفیبر کیتوزان بهتر از غلظت ۰/۲ درصد آن عمل کرد.

#### ۴. نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که پوشش‌های خوراکی کیتوزان و نانوفیبر کیتوزان می‌توانند باعث افزایش عمر انباری و حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کاهش پوسیدگی میوه توت‌فرنگی شوند. با این وجود اثر پوشش نانوفیبر کیتوزان در حفظ ویژگی‌های کیفی میوه از جمله اسیدیته قابل تیتراسیون، سفیدی، محتوای فنل کل، آنتوسیانین کل، ویتامین ث، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، شاخص کروما، زاویه

#### ۵. منابع

- Aday, M. S., & Caner, C. (2011). The applications of active packaging and chlorine dioxide for extended shelf life of fresh strawberries. *Packaging Technology and Science*, 24(3), 123-136 <https://doi.org/10.1002/pts.918>.
- Brasil, I. M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M. E., & Moreira, R. G. (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1), 39-45. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.005>
- Chen, F., Liu, H., Yang, H., Lai, S., Cheng, X., Xin, Y., & Bu, G. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126(2), 450-459. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.009>
- Cissé, M., Polidori, J., Montet, D., Loiseau, G., & Ducamp-Collin, M. N. (2015). Preservation of mango quality by using functional chitosan-lactoperoxidase systems coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 101, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.11.003>
- Comabella, E., and Lara Ayala, I. (2013). Cell wall disassembly and post-harvest deterioration of Sweetheart sweet cherry fruit: involvement of enzymic and non-enzymic factors. *Pure and Applied Chemical Sciences*, 1, 1-18. <https://doi.org/10.12988/pacs.2013.321>
- Cong, F., Zhang, Y., & Dong, W. (2007). Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 46(1), 71-75. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.04.005>
- De Aquino, A. B., Blank, A. F., & de Aquino Santana, L. C. L. (2015). Impact of edible chitosan-cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperature. *Food Chemistry*, 171, 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.077>
- De Moura, C. M., de Moura, J. M., Soares, N. M., & de Almeida Pinto, L. A. (2011). Evaluation of molar weight and deacetylation degree of chitosan during chitin deacetylation reaction: used to produce biofilm. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(4), 351-355. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.03.003>
- Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.08.006>



- Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). "Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C*. 33(4), 1819-1841. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>
- Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badii, F., Mohammadhoseini, Z., & Ahmadi, K. (2014). Effect of nanochitosan-based coating with and without copper loaded on physicochemical and bioactive components of fresh strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne) during storage. *Food and Bioprocess Technology*. 7(8), 2397-2409. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1281-2>
- Galvis-Sánchez, A. C., Fonseca, S. C., Morais, A. M. M. B., & Malcata, F. X. (2003). Physicochemical and sensory evaluation of 'Rocha'pear following controlled atmosphere storage. *Journal of Food Science*. 68(1), 318-327. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14159.x>
- Gao, Y., Kan, C., Chen, M., Chen, C., Chen, Y., Fu, Y., Wan, C. & Chen, J. (2018). Effects of chitosan-based coatings enriched with cinnamaldehyde on Mandarin fruit cv. Ponkan during room-temperature storage. *Coatings*, 8(10), 372. <https://doi.org/10.3390/coatings8100372>
- González-Saucedo, A., Barrera-Necha, L. L., Ventura-Aguilar, R. I., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., & Hernández-López, M. (2019). Extension of the postharvest quality of bell pepper by applying nanostructured coatings of chitosan with *Byrsonima crassifolia* extract (L.) Kunth. *Postharvest Biology and Technology*, 149, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.11.019>
- Jiang, X., Lin, H., Shi, J., Neethirajan, S., Lin, Y., Chen, Y., Wang, H. & Lin, Y. (2018). Effects of a novel chitosan formulation treatment on quality attributes and storage behavior of harvested litchi fruit. *Food Chemistry*. 252, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.095>
- Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., & Seraypheap, K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *LWT-Food Science and Technology*. 73, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038>
- Kelebek, H., Selli, S., Canbas, A., & Cabaroglu, T. (2009). HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal*. 91(2), 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.10.008>
- Khalik, G., Mohamed, M. T. M., Ali, A., Ding, P., & Ghazali, H. M. (2015). Effect of gum arabic coating combined with calcium chloride on physico-chemical and qualitative properties of mango (*Mangifera indica* L.) fruit during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*. 190, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.04.020>
- Kou, X., He, Y., Li, Y., Chen, X., Feng, Y., & Xue, Z. (2019). Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao). *Food Chemistry*. 270, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.151>
- Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R. R., Srivastav, M., & Varghese, E. (2017). Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature *Scientia Horticulturae*. 226, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.037>
- Li, Y. N., Ye, Q. Q., Hou, W. F., & Zhang, G. Q. (2018). Development of antibacterial ε-polylysine/chitosan hybrid films and the effect on citrus. *International journal of Biological Macromolecules*. 118, 2051-2056. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.074>
- Maftoonzad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT-Food Science and Technology*. 38(6), 617-624. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.007>
- Maftoonzad, N., Badii, F., & Shahamirian, M. (2013). Recent innovations in the area of edible films and coatings. *Recent Patents on Food, Nutrition and Agriculture*. 5(3), 201-213. <https://doi.org/10.2174/2212798405666131129151640>
- Mannozi, C., Cecchini, J. P., Tylewicz, U., Siroli, L., Patrignani, F., Lanciotti, R., & Romani, S. (2017). Study on the efficacy of edible coatings on quality of blueberry fruits during shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*. 85, 440-444. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.056>
- Mannozi, C., Tylewicz, U., Chinnici, F., Siroli, L., Rocculi, P., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2018). Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage. *Food chemistry*. 251, 18-24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.015>
- Melo, N.F.C.B., de MendonçaSoares, B.L., Diniz, K.M., Leal, C.F., Canto, D., Flores, M.A., da Costa Tavares-Filho, J.H., Galembeck, A., Stamford, T.L.M., Stamford-Arnaud, T.M. & Stamford, T.C.M. (2018). Effects of fungal chitosan nanoparticles as eco-friendly edible coatings on the quality of postharvest table grapes. *Postharvest Biology and Technology*. 139, 56-66. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.01.014>
- Meyers, K. J., Watkins, C. B., Pritts, M. P., and Liu, R. H. (2003). Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(23), 6887-6892. <https://doi.org/10.1021/jf034506n>
- Mohammadi, A., Hashemi, M., & Hosseini, S. M. (2015). Chitosan nanoparticles loaded with Cinnamomum zeylanicum essential oil enhance the shelf life of cucumber during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 110, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.019>
- Nair, M. S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*. 240, 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.122>
- Obianom, C., Romanazzi, G., & Sivakumar, D. (2019). Effects of chitosan treatment on avocado postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxygenase genes. *Postharvest Biology and Technology*. 147, 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.10.004>

- Ortiz-Duarte, G., Pérez-Cabrera, L. E., Artés-Hernández, F., & Martínez-Hernández, G. B. (2019). Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.021>
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A., & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest biology and technology*, 70, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.002>
- Perinelli, D.R., Fagioli, L., Campana, R., Lam, J.K., Baffone, W., Palmieri, G.F., Casettari, L. & Bonacucina, G. (2018). Chitosan-based nanosystems and their exploited antimicrobial activity. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 117, 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2018.01.046>
- 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(4), 501-523. <https://doi.org/10.3390/foods4040501>
- Reque, P. M., Steffens, R. S., Jablonski, A., Flôres, S. H., Rios, A. D. O., & de Jong, E. V. (2014). Cold storage of blueberry (*Vaccinium* spp.) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. *Journal of Food Composition and Analysis*. 33(1), 111-116. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.11.007>
- Resende, N. S., Gonçalves, G. A. S., Reis, K. C., Tonoli, G. H. D., & Boas, E. V. B. V. (2018). Chitosan/Cellulose Nanofibril Nanocomposite and Its Effect on Quality of Coated Strawberries. *Journal of Food Quality*. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/1727426>
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Santini, M., & Landi, L. (2013). Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. *Postharvest biology and technology*, 75, 24-27. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.07.007>
- Roussos, P. A., Sefferou, V., Denaxa, N. K., Tsantili, E., & Stathis, V. (2011). Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load. *Scientia Horticulturae*. 129(3), 472-478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.021>
- Salehi, F., & Kashaninejad, M. (2018). Mass transfer and color changes kinetics of infrared-vacuum drying of grapefruit slices. *International Journal of Fruit Science*, 18(4), 394-409. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1458266>
- Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings: a review. *Food Engineering Reviews*. 3(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9031-3>
- Shi, S., Wang, W., Liu, L., Wu, S., Wei, Y., & Li, W. (2013). Effect of chitosan/nano-silica coating on the physicochemical characteristics of longan fruit under ambient temperature. *Journal of Food Engineering*. 118(1): 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.03.029>
- Silva, W.B., Silva, G.M.C., Santana, D.B., Salvador, A.R., Medeiros, D.B., Belghith, I., da Silva, N.M., Cordeiro, M.H.M. & Misobutsi, G.P. (2018). Chitosan delays ripening and ROS production in guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Food chemistry*. 242, 232-238. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.052>
- Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Sogvar, O. B., Saba, M. K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 114, 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>
- Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L., & Zhang, Y. (2016). Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 119, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015>
- Song, Z., Li, F., Guan, H., Xu, Y., Fu, Q., and Li, D. (2017). Combination of nisin and ε-polylysine with chitosan coating inhibits the white blush of fresh-cut carrots. *Food Control*. 74, 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.026>
- Tian, F., Chen, W., Cai, E. W., Kou, X., Fan, G., Li, T., and Wu, Z. (2018). Preservation of ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) seeds by coating with chitosan/nano-TiO<sub>2</sub> and chitosan/nano-SiO<sub>2</sub> films. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.177>
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*. 41(2), 164-171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>
- Vasile, C., Darie, R.N., Cheaburu-Yilmaz, C.N., Pricope, G.M., Bračić, M., Pamfil, D., Hitruc, G.E. & Duraccio, D. (2013). Low density polyethylene-chitosan composites. Composites Part B: *Engineering*. 55, 314-323. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.06.008>
- Ventura-Aguilar, R. I., Bautista-Baños, S., Flores-García, G., & Zavaleta-Avejar, L. (2018). Impact of chitosan based edible coatings functionalized with natural compounds on *Colletotrichum fragariae* development and the quality of strawberries. *Food Chemistry*. 262, 142-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.063>
- Wang, S. Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x aranassa* Duch.). *LWT-Food Science and Technology*. 52 (2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.003>

- Xin, Y., Chen, F., Lai, S., & Yang, H. (2017). Influence of chitosan-based coatings on the physicochemical properties and pectin nanostructure of Chinese cherry. *Postharvest Biology and Technology*. 133, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.06.010>
- Xoca-Orozco, L.Á., Cuellar-Torres, E.A., González-Morales, S., Gutiérrez-Martínez, P., López-García, U., Herrera-Estrella, L., Vega-Arreguín, J. & Chacón-López, A. (2017). Transcriptomic analysis of avocado hass (*Persea americana* Mill) in the interaction system fruit-chitosan-Colletotrichum. *Frontiers in Plant Science*. 8, 956. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00956>
- Xu, W. T., Huang, K. L., Guo, F., Qu, W., Yang, J. J., Liang, Z. H., & Luo, Y. B. (2007). Postharvest grapefruit seed extract and chitosan treatments of table grapes to control *Botrytis cinerea*. *Postharvest Biology and Technology*. 46 (1), 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.03.019>
- Zahedi, S. M., Ehteshami, S., and Aazami, M. A. (2017). Effect of Edible Chitosan Coating on some Qualitative Characteristics and Storage Life of Mango. *Plant Production Technology*. 9(1), 143-154. <https://doi.org/10.22084/ppt.2017.2241>
- Zivanovic, S., Chi, S., and Draughon, A. F. (2005). Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science*. 70(1), M45-M51. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09045.x>