DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/jift.2020.3811.1902

فصلنامه فناوری‌های جدید در صنعت غذا، دوره ۸، شماره ۴، صفحه ۴۵۶-۴۴۳، تابستان ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

بررسی اثر استفاده از پوشش خوراکی زیست فعال پروبیوتیک بر ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی تازه

دینا شهرام‌پور[۱]، مرتضی خمیری[۲*]، محبوبه کشیری[۳]، سید محمدعلی رضوی[۴]

۱. دانش آموخته دکتری، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۹، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۸/۰۹/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۴)

چکیده

زمان ماندگاری کوتاه و سرعت فساد بالای برخی از میوه‌ها مانند توت فرنگی سالانه خسارت‌های اقتصادی بسیاری را به کشورها تحمیل می‌کند؛ بنابراین به کارگیری روش‌های جدید از جمله پوشش‌های خوراکی می‌تواند در رفع این مشکل مؤثر واقع شود. در این مطالعه اثر استفاده از پوشش چندلایه آلژینات کلسیم حاوی باکتری پروبیوتیک بومی *L. plantarum* KMC45 و سوسپانسیون این باکتری در آب مقطر بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه توت فرنگی پروبیوتیک تولیدی در طی دو هفته نگهداری در دمای یخچال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش آلژینات کلسیم حاوی باکتری پروبیوتیک در مقایسه با تیمار غوطه‌وری در سوسپانسیون باکتری پروبیوتیک در حفظ ویژگی‌های کیفی توت فرنگی مؤثرتر بود. به طوری که افت وزن، نرم شدن بافت و همچنین درصد پوسیدگی توت فرنگی را به طور معناداری در طول دوره ۱۴ روزه، به ترتیب ۲/۳۸، ۱/۳۱ و ۴۰٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. همچنین در این مطالعه تغییرات شاخص‌های رنگی شامل L^*، زاویه هیو و کروما در نمونه‌های پوشش‌دار برخلاف تیمار شاهد کمتر بود. علاوه بر این نتایج شمارش جمعیت باکتری پروبیوتیک *L. plantarum* KMC45 در تیمارهای مختلف توت فرنگی در طی نگهداری در دمای $4\ ^{o}C$ نشان داد که پس از دو هفته میزان افت جمعیت باکتری در تیمار غوطه‌وری در سوسپانسیون باکتری ۲/۹۷ سیکل لگاریتمی بود در حالی که در تیمار پوشش آلژینات کلسیم تنها ۰/۹۵ سیکل لگاریتمی تعیین شد. همچنین اثر به کارگیری پوشش آلژینات کلسیم بر طعم و بو توت فرنگی بی‌تأثیر بود، اما موجب افزایش امتیاز سایر ویژگی‌های حسی مانند بافت، ظاهر و پذیرش کلی در مقایسه با دو تیمار دیگر شد؛ بنابراین پوشش آلژینات کلسیم به عنوان حاملی مناسب جهت انتقال میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک به فرم زنده بر سطح توت فرنگی تازه توصیه می‌گردد که می‌تواند ضمن افزایش ماندگاری آن، زمینه تولید و توسعه محصول پروبیوتیک جدید را فراهم نماید.

کلید واژه‌ها: توت فرنگی، پوشش خوراکی، آلژینات کلسیم، پروبیوتیک، *L. plantarum* KMC45

* نویسنده مسئول: khomeiri@gau.ac.ir

۱. مقدمه

با توجه به تغییر سبک زندگی مردم و توجه بیشتر به نوع مواد غذایی از جنبه خواص سلامتی بخشی در دهه‌های اخیر مصرف برخی از مواد غذایی گیاهی از جمله میوه‌ها، به دلیل دارا بودن ترکیبات مغذی متنوع در کشورهای مختلف افزایش یافته است. توت فرنگی با نام علمی فرگاریا آناناسا[1]، یکی از محبوب‌ترین میوه‌ها در سراسر جهان است که دارای عطر و طعم منحصر به فرد می‌باشد [۱]. میوه توت فرنگی غنی از پلی فنل‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه است. از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی توت فرنگی رسیده بافت، عطر و طعم، اسیدهای ارگانیک، محتوای قندهای محلول و رنگ است [۳]. این میوه به دلیل محتوای رطوبت و فعالیت متابولیک بالا به شدت فسادپذیر بوده و زمان ماندگاری پس از برداشت کوتاهی دارد که بازار فروش آن را با مشکل رو به رو می‌کند، در حالی که یکی از مهم‌ترین روش‌های مصرف آن به صورت تازه خوری است. افت کیفیت این میوه در طول دوره نگهداری به میزان حساسیت به آلودگی‌های قارچی، از دست رفتن آب، آسیب‌های فیزیکی و نرم شدن بافت مربوط می‌شود [۴]. میزان تولید میوه توت فرنگی در سال ۱۳۹۶ در ایران ۵۶ هزار تن گزارش شده است. همچنین ضایعات میوه در ایران سالانه بالغ بر ۳۰٪ است که خسارات اقتصادی بسیاری را به کشور تحمیل می‌کند[۲]. تاکنون روش‌های مختلفی جهت افزایش ماندگاری میوه‌ها از جمله توت فرنگی پس از برداشت مطرح شده است که از آن جمله می‌توان به نگهداری در دماهای پایین، استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی، اتمسفر کنترل شده، تیمارهای اسمزی و حرارتی و فراصوت اشاره کرد. مطالعات پیشین نشان داد که بسیاری از تیمارهای مذکور اثرات منفی بر ترکیبات مغذی و عطر و طعم این میوه دارند [۵]؛ بنابراین نیاز به ارائه روش‌های جدید به منظور حفظ کیفیت و افزایش زمان ماندگاری توت فرنگی وجود دارد.

در دهه اخیر، پوشش‌های خوراکی برای حفاظت از میوه‌ها و سبزی‌ها به عنوان یک رویکرد نوین به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. از مزایای عملکردی استفاده از پوشش‌های خوراکی می‌توان به کاهش میزان تنفس، حفظ استحکام بافت، کاهش رشد میکروبی، بهبود ویژگی‌های ظاهری و افزایش دوره نگهداری محصولات اشاره نمود. در واقع پوششی مطلوب است که علاوه بر فقدان عطر و طعم و رنگ، سرعت خروج گازهای تنفسی و رطوبت از محصول غذایی را کاهش داده و اثر نامطلوبی بر سلامت فرد مصرف کننده نداشته باشد [۶]. در میان پلیمرهای طبیعی مختلف آلژینات یک ترکیب هیدروکلوئیدی جذاب غیررسمی، زیست تخریب پذیر، سازگار با محیط زیست و با قیمت پایین است که کاربرد فراوانی در پوشش‌دهی مواد غذایی مختلف دارد [۷]. از جمله خواص عملکردی آن می‌توان به قوام دهندگی، پایدارکنندگی، قابلیت تولید ژل و قابلیت تولید فیلم اشاره نمود. از نظر ساختار شیمیایی نیز آلژینات یک هتروپلی‌ساکارید خطی آنیونی محلول در آب است که از واحدهای مونومری دی- مانورونیک اسید (M)[2] و ال- گلورونیک اسید (G)[3] تشکیل شده است. مهم‌ترین ویژگی آلژینات توانایی پیوند با کاتیون‌های دو و سه ظرفیتی و ایجاد ساختار جعبه تخم مرغی می‌باشد. یون‌های کلسیم مؤثرتر از منیزیم، منگنز، آلومینیم و آهن به عنوان عوامل تشکیل دهنده ژل عمل می‌کنند[۸]. تاکنون در مورد میوه توت فرنگی اثر پوشش‌دهی با مواد مختلف از جمله پروتئین سویا و گلوتن [۹]، آلژینات کلسیم [۴]، کیتوزان و موم زنبورعسل[۵]، پولالان و کیتوزان[۱۰] و کیتوزان و آلووئه‌را [۱۱] در مطالعات پیشین گزارش شده است.

بر اساس مطالعات انجام شده پوشش‌های خوراکی را می‌توان به عنوان حامل ترکیبات مختلفی از جمله عوامل ضد میکروبی (اسیدهای آلی، باکتریوسین‌ها و اسانس‌ها) و عوامل زیست فعال (ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و آنزیم‌ها) و حتی پروبیوتیک‌ها و پری‌بیوتیک‌ها به کاربرد. تاکنون در مورد استفاده از پوشش‌های پروبیوتیک در سطح میوه‌ها اطلاعات محدودی منتشر شده است. برای مثال تاپیا و همکاران (۲۰۰۷) از محلول آلژینات و ژلان و روغن آفتابگردان حاوی باکتری *B. bifidum* جهت پوشش‌دهی سیب و انبه

1. *Fragaria ananassa*

2. D-mannuronic acid

3. L-guluronic acid

برش‌خورده استفاده نمودند [۱۲]. همچنین تاورا کروز و همکاران (۲۰۱۵) از پوشش متیل سلولز حاوی فروکتوالیگوساکارید و باکتری *L. plantarum* در سطح سیب خشک استفاده کردند و زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک مذکور را در طی دوره نگهداری در دمای محیط و شرایط گوارشی بررسی نمودند [۱۳]. خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی، تأثیر به کارگیری غلظت‌های مختلف باکتری پروبیوتیک در پوشش کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت فرنگی را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۴]. بر طبق اطلاعات موجود تاکنون پژوهشی در مورد مقایسه تلقیح مستقیم باکتری پروبیوتیک بر روی میوه تازه و یا از طریق به دام انداختن آن در ساختار پلیمرهای طبیعی پوشش خوراکی بر زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک در طول دوره نگهداری میوه انجام نشده است؛ بنابراین هدف از این مطالعه تولید توت‌فرنگی پروبیوتیک با بهره‌گیری از پوشش آلژینات کلسیم حاوی باکتری پروبیوتیک بومی *L. plantarum* KMC45 و یا تلقیح مستقیم باکتری به روش غوطه‌وری در سطح میوه توت فرنگی بود. علاوه بر این اثر استفاده از این پوشش‌ها بر برخی ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی در طی دوره نگهداری در دمای یخچال مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد اولیه

در این مطالعه سویه‌ای از *L. plantarum* از بانک میکروبی گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه گردید. آلژینات سدیم از شرکت سیگماآلدریچ، امریکا؛ سوربیتول از شرکت تتراکم، ایران و کلسیم کلرید از شرکت مرک، آلمان خریداری شدند. میوه توت فرنگی از بازار محلی شهر گرگان خریداری شد و با حفظ زنجیره سرما به آزمایشگاه میکروبیولوژی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. توت فرنگی‌ها براساس عدم وجود آسیب فیزیکی، فساد کپکی و یکنواختی در اندازه (وزن هر توت فرنگی حدود ۵ gr) و رنگ قرمز سطح‌شان انتخاب شدند و تا زمان انجام آزمون‌های مختلف در دمای یخچال نگهداری شدند.

۲.۲. فعال‌سازی باکتری پروبیوتیک

در این پژوهش از باکتری *L. plantarum* KMC45 جدا شده از پنیر کوزه که قبلاً صحت جنس و گونه آن از طریق شناسایی مولکولی براساس تکثیر ناحیه SrRNA۱۶ در واکنش PCR تائید شد، استفاده گردید. به منظور فعال‌سازی باکتری ابتدا ۱۰۰ µl از کشت ذخیره آن پس از خروج از فریزر ۲۰°C- به ۱۰ ml محیط کشت MRS مایع تلقیح شد و سپس در دمای ۳۷°C به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری گردید. پس از ایجاد کدورت در محیط کشت، عمل فوق یک‌بار دیگر تکرار گردید تا از فعال شدن باکتری‌ها در محیط مایع اطمینان حاصل شود [۱۵].

۳.۲. تهیه محلول پوشش‌دهی

جهت تهیه محلول پوشش‌دهی میزان ۱/۵ gr آلژینات سدیم به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس این محلول توسط همزن مغناطیسی (لابترون، ایران) تحت شرایط ثابت در دمای ۷۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه هم زده شد. همچنین نرم‌کننده سوربیتول (۶۰٪ وزن مواد جامد موجود در محلول) افزوده شد و جهت اختلاط بیشتر هم زدن محلول توسط همزن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه دیگر ادامه یافت. در ادامه جهت حذف میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، هر یک از محلول‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰° C در داخل بن‌ماری قرار گرفتند. در مرحله بعد کشت فعال ۲۴ ساعته باکتری *L. plantarum* KMC45 در محیط کشت MRS مایع تحت سانتریفوژ (۴۰۰۰× g به مدت ۱۵ دقیقه) قرار گرفت. پس از حذف روماند و دو بار شست و شو سلول‌های باکتریایی با محلول سرم فیزیولوژی استریل با غلظت حدود 10^9 cfu/ml به محلول پوشش با دمای ۳۰-۲۵°C اضافه گردید. در این مطالعه به منظور تلقیح مستقیم باکتری پروبیوتیک به سطح توت فرنگی به روش غوطه‌وری از سوسپانسیون باکتری*L. plantarum* KMC45 در آب مقطر با غلظت حدود 10^9 cfu/ml استفاده شد [۱۵].

۴.۲. پوشش دهی میوه توت فرنگی

هر یک از نمونه‌های توت فرنگی‌ها پس از ۳۰ ثانیه غوطه‌وری در الکل ۷۰٪ و سپس شستشو با آب مقطر

استریل و خشک شدن، در داخل محلول پوشش تهیه شده به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور شد. سپس به منظور تشکیل ژل پلی‌ساکاریدی مطلوب درون محلول کلرید کلسیم ۲٪ به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور گردید. به منظور تشکیل پوشش چند لایه این مرحله برای هر نمونه ۳ بار تکرار شد. همچنین در تیمار دیگر توت فرنگی‌ها تنها در داخل سوسپانسیون باکتری تهیه شده به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور شدند. در نهایت نمونه‌ها پس از خشک شدن به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط، در ظروف پلی‌اتیلنی دربدار استریل بسته‌بندی و در دمای یخچال و رطوبت نسبی ۷۵٪ به مدت ۲ هفته نگهداری شدند. در این آزمون تیمار شاهد شامل نمونه‌های توت فرنگی بود که تنها در آب مقطر استریل غوطه‌ور شدند [۱۲،۱۴].

۵.۲. بررسی زنده‌مانی باکتری *L. plantarum* KMC45 محصور در پوشش توت فرنگی

در این آزمون توت فرنگی‌ها به صورت تصادفی از هر بسته‌بندی بعد هر ۷ روز انتخاب شد. سپس ۱۰ gr توت فرنگی به کیسه استومیکر حاوی ۹۰ ml محلول سرم فیزیولوژی استریل منتقل گردید. پس از یکنواخت شدن نمونه در استومیکر به مدت ۱ دقیقه رقت سازی و شمارش باکتری *L. plantarum* KMC45 در محیط کشت MRS agar به روش کشت آمیخته انجام گرفت. سپس پلیت‌ها پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در دمای ۳۷ °C توسط کلنی‌کانتر شمارش شدند [۱۴].

۶.۲. تعیین درصد افت وزن

توت فرنگی‌های تیمار و شاهد در آغاز آزمون و در طی دوره نگهداری در یخچال پس از ۷ و ۱۴ روز با ترازو دقت ۰/۰۰۱ توزین شدند. سپس درصد افت وزن آن‌ها نسبت به وزن اولیه از رابطه (۱) محاسبه گردید [۱۱].

$$\text{افت وزن}\ (\%) = W_1 - W_2 / W_1 \times 100 \qquad (۱)$$

W_1 = وزن اولیه تیمار توت فرنگی، W_2= وزن نهایی تیمار توت فرنگی در زمان مشخص.

۷.۲. تعیین تغییر رنگ

جهت بررسی تغییر رنگ نمونه‌های توت فرنگی دارای پوشش و فاقد پوشش در طول دوره نگهداری، از دستگاه رنگ سنج (لاوی باند، تینتومتر، انگلستان) استفاده شد. شاخص‌های رنگی توت فرنگی شامل L^*، b^* و a^*، کروما و زاویه هیو در روزهای ۰، ۷ و ۱۴ براساس رابطه (۲ و ۳) تعیین شدند [۱۱].

$$\text{کروما} = \sqrt{\sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}} \qquad (۲)$$

$$\text{زاویه هیو} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \qquad (۳)$$

۸.۲. تعیین استحکام بافت

به منظور بررسی میزان استحکام بافت نمونه‌های توت فرنگی در طول دوره نگهداری در دمای یخچال از دستگاه بافت سنج (انگلستان، براکفیلد) با لود سل ۵ kgr استفاده گردید. در این آزمون پروب با قطر ۵ mm با سرعت ۱ mm/s درون بافت میوه‌ها که از وسط به دو نیم شده بودند به عمق ۳ mm نفوذ کرد و میزان نیروی وارد شده بر بافت میوه برحسب نیوتن در چند نقطه از سطح آن اندازه‌گیری شد [۵].

۹.۲. تعیین درصد پوسیدگی

جهت بررسی تأثیر پوشش‌دهی بر کاهش میزان پوسیدگی ناشی از فساد کپکی توت فرنگی‌ها در طول دوره نگهداری در دمای یخچال، تمامی بسته‌ها پس از هر ۷ روز از نظر ظهور علائم رشد کپک در سطح توت فرنگی‌ها بررسی شدند. سپس نتایج به صورت درصد میوه‌های کپک زده گزارش گردید [۱۴].

۱۰.۲. ارزیابی ویژگی‌های حسی

به منظور بررسی تأثیر پوشش‌دهی بر ویژگی‌های حسی میوه توت‌فرنگی شامل طعم، رنگ، بافت، پذیرش کلی از آزمون ارزیابی حسی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد. این آزمون توسط ۸ نفر ارزیاب آموزش دیده انجام گرفت. در این ارزیابی خیلی خوب امتیاز ۵، خوب امتیاز ۴، متوسط امتیاز ۳، ضعیف امتیاز ۲ و خیلی ضعیف امتیاز ۱ را

به خود اختصاص داد. در نهایت نتایج آزمایش به صورت میانگین هر یک از ویژگی‌ها گزارش شد [۱۶].

۱۱.۲. تجزیه و تحلیل آماری

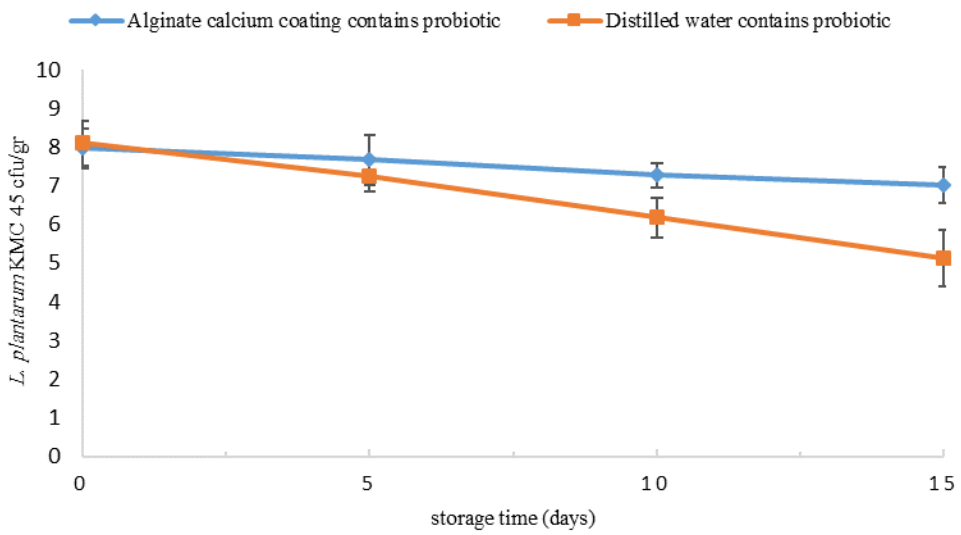
در این پژوهش تمامی آزمون‌ها در سه مرتبه تکرار شد. آنالیز و تجزیه تحلیل آماری داده‌ها از طریق طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ صورت گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد و نمودارها به کمک نرم‌افزار مایکروسافت اکسل نسخه ۲۰۱۳ رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. زنده‌مانی باکتری *L. plantarum* KMC45 محصور در پوشش توت فرنگی

در این مطالعه زنده‌مانی باکتری *L. plantarum* KMC 45 پس از پوشش‌دهی توت فرنگی‌ها با تیمارهای مختلف در طی ۱۴ روز نگهداری در دمای یخچال مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش چندلایه آلژینات کلسیم در محافظت از باکتری پروبیوتیک در طی نگهداری بهتر از آب مقطر عمل نمود به طوری که افت جمعیت زنده باکتری پروبیوتیک *L. plantarum* محصور در پوشش آلژینات و آب مقطر در سطح نمونه‌های توت فرنگی به ترتیب معادل ۰/۹۵ و ۲/۹۷ سیکل لگاریتمی بود (شکل ۱). در واقع به دام افتادن باکتری‌های پروبیوتیک در ساختار شبکه مانند آلژینات کلسیم برخلاف آب مقطر، می‌تواند در محافظت از آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی کمک شایانی نماید. با توجه به اینکه حداقل میزان جمعیت میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک پیشنهاد شده در هنگام مصرف محصولات پروبیوتیک توسط بسیاری از محققان جهت بروز اثرات سلامتی بخش در میزبان $۱۰^{۶}$cfu/gr می‌باشد [۱۷]. در این مطالعه بر طبق شکل (۱)، جمعیت باکتری پروبیوتیک بارگذاری شده در سطح توت فرنگی پوشش دهی شده با آلژینات کلسیم در پایان دوره نگهداری ($۱/۰۴\times۱۰^{۷}$cfu/gr) بیشتر از مقدار توصیه شده برای محصولات پروبیوتیک بود؛ بنابراین مصرف ۱۰۰ gr توت فرنگی پوشش‌دار می‌تواند منجر به انتقال حدود $۱۰^{۸}$ سلول باکتری پروبیوتیک پس از تحمل تنش‌های دستگاه گوارش به روده گردد. مطابق با این نتایج، در دهه اخیر مطالعات مشابه میوه‌های تازه به عنوان حامل مناسبی جهت انتقال باکتری‌های پروبیوتیک به دستگاه گوارش انسان معرفی شده‌اند. برای مثال تاپیا و همکاران (۲۰۰۷) از پوشش‌های آلژینات و ژلان حاوی آنتی‌اکسیدان و روغن آفتابگردان و باکتری *Bifidobacterium lactis* برای پوشش دهی سیب و انبه استفاده نمودند. نتایج پژوهش این محققان نشان داد که پس از ۱۰ روز نگهداری در دمای ۲ ^{o}C جمعیت باکتری در سیب و انبه پوشش دهی شده با دو نوع پوشش آلژینات و ژلان تقریباً ثابت ماند و این میزان بیش از $۱۰^{۶}$ cfu/gr تخمین زده شد [۱۲]. در پژوهشی دیگر جمعیت باکتری*Lactobacillus rhamnosus* GG پس از تلقیح در سطح برش‌های سیب به روش غوطه‌وری پس از ده روز نگهداری در یخچال تنها ۰/۵ سیکل لگاریتمی کاهش یافت[۱۸]. روسو و همکاران (۲۰۱۵) گونه باکتری پروبیوتیک تلقیح شده به روش غوطه‌وری در سطح طالبی برش خورده را در زنده‌مانی آن‌ها در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴^{o}C را مؤثر دانستند. به طوری که جمعیت زنده *Lactobacillus plantarum* B در پایان دوره نگهداری بیشتر از *Lactobacillus fermentum* PBCC شمارش شد [۱۹]. در واقع نگهداری میوه‌ها در دمای پایین با کاهش فعالیت متابولیک باکتری‌های پروبیوتیک، زنده‌مانی آن‌ها در شرایط یخچال را افزایش می‌دهد. خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) گزارش نمودند که با افزایش غلظت باکتری پروبیوتیک در محلول پوشش کربوکسی متیل سلولز زنده‌مانی باکتری در طول ۱۵ روز نگهداری سرد در سطح میوه توت فرنگی افزایش یافت [۱۴]. نتایج مطالعه اسپرانزا و همکاران (۲۰۱۸)، نیز نشان داد که نوع پوشش و نوع میوه به کار رفته در حفظ زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک مؤثر می‌باشد. این محققان پوشش آلژینات را جهت به دام انداختن باکتری پروبیوتیک در سطح میوه سیب و طالبی برش خورده بهتر از پوشش کیتوزان ارزیابی نمودند و میزان افت جمعیت باکتری *L. plantarum* را تنها ۱ سیکل لگاریتمی تخمین زدند[۲۰]. همچنین تاورا کروز و همکاران (۲۰۱۵) کاهش ۱/۵ سیکل لگاریتمی جمعیت باکتری *L. plantarum* محصور شده در پوشش متیل سلولز سیب خشک را در طی ۳۰ روز نگهداری

در دمای ۲۰°C و رطوبت نسبی ۶۰٪ را مشاهده نمودند. این محققان شرایط خشک کردن سیب را در زنده‌مانی باکتری پروبیوتیک و حفظ جمعیت آن به میزان کافی در طی دوره نگهداری مؤثر دانستند[۱۳].



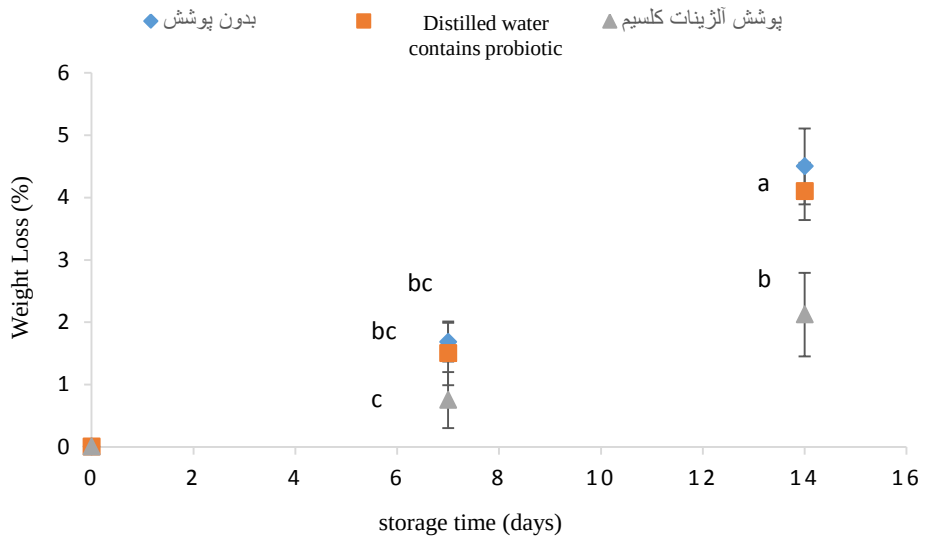
شکل (۱) جمعیت زنده باکتری پروبیوتیک *L. plantarum* KMC 45 در طی نگهداری تیمارهای مختلف توت فرنگی در ۴ ° C

Fig 1. Total viable count of *L. plantarum* KMC 45 probiotic bacteria during storage of different strawberry treatments at 4 ° C.

۲.۳. افت وزن

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، با افزایش زمان نگهداری درصد افت وزن تمامی نمونه‌های توت فرنگی مورد آزمون افزایش یافت. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی چند لایه میوه توت فرنگی با محلول آلژینات کلسیم در طول نگهداری در یخچال افت وزن را به طور معناداری نسبت به نمونه شاهد از ۴/۵٪ به ۲/۱۲٪ کاهش داد (p<۰/۰۵). این در حالی بود که اختلاف معناداری از این نظر بین نمونه‌های توت‌فرنگی پروبیوتیک غوطه‌ور شده در سوسپانسیون باکتری (۴/۱٪) و شاهد (۴/۵٪) وجود نداشت (p>۰/۰۵). در واقع پوشش‌دهی چند لایه با آلژینات کلسیم، کاهش سرعت خروج رطوبت از سطح میوه به محیط را به دنبال داشت. به طور کلی افت وزن در طول نگهداری میوه‌ها ناشی از فرایند تنفس، انتقال رطوبت و برخی فرایندهای اکسیداسیون می‌باشد [۲۱]. پوشش‌های خوراکی مانع مناسبی در برابر گازهای تنفسی شامل اکسیژن و دی اکسیدکربن معرفی شده‌اند که ضمن کاهش نرخ تنفس میوه‌ها، افت وزن آن‌ها را کاهش می‌دهند [۲۲]. نتایج مشابهی توسط خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) در استفاده از پوشش کربوکسی متیل سلولز حاوی غلظت‌های مختلف باکتری *L. plantarum* در سطح توت فرنگی گزارش شد. به طوری که پس از ۱۲ روز کمترین (۳/۲٪) و بیشترین (۵/۷٪) افت وزن به ترتیب متعلق به پوشش حاوی بیشترین غلظت باکتری پروبیوتیک و تیمار شاهد بود [۱۴]. اولیواس و همکاران (۲۰۰۷)، گزارش کردند که پوشش آلژینات کلسیم می‌تواند بر سطح برش‌های سیب به طور مؤثری از تبخیر رطوبت از سطح سیب در طی ۱۰ روز نگهداری در دمای ۵ °C جلوگیری نماید [۲۳]. همچنین در مطالعه گوویرو و همکاران (۲۰۱۵) میزان افت وزن نمونه‌های توت فرنگی پس از پوشش دهی با محلول‌های یک درصد آلژینات و پکتین در طول نگهداری در دمای ۴°C حدود ۴٪ تعیین شد و با نمونه‌های شاهد تفاوت معناداری نداشت. در حالی که افزودن اسانس دارچین به محلول پوشش توانست میزان افت وزن نمونه‌های توت فرنگی را کاهش دهد [۲۴]. مویدنیا و همکاران (۲۰۱۰) نیز پوشش‌دهی نمونه‌های توت فرنگی توسط محلول ۲٪ آلژینات کلسیم در طی دو هفته نگهداری در یخچال را در جلوگیری

از انتقال رطوبت مؤثر ندانستند و درصد افت وزن را بیشتر از مطالعه حاضر و ۱۱٪ گزارش کردند [۴]. تفاوت مشاهده شده در مورد افت وزن تیمارهای مختلف توت فرنگی در مطالعات مختلف و پژوهش حاضر احتمالاً به دلیل تفاوت نوع پوشش و یا غلظت محلول آلژینات کلسیم و تعداد لایه‌های پوشش به کار رفته و قابلیت آنها در نفوذپذیری نسبت به بخار آب و همچنین شرایط آزمون و میزان رسیدگی میوه‌های مورد بررسی می‌باشد.



شکل (۲) افت وزن تیمارهای مختلف توت فرنگی در طول نگهداری در دمای ۴ °C
Fig 2. Weight loss of different strawberry treatments during storage at 4 °C.

۳.۳. رنگ

رنگ سطح میوه توت فرنگی فاکتور مهمی در کیفیت و بازارپسندی آن به شمار می‌آید. در جدول (۱)، تغییرات رنگ سطح تیمارهای مختلف توت فرنگی در طی ۱۴ روز نگهداری در دمای یخچال مشاهده می‌شود. شاخص L^* نشان‌دهنده میزان روشنایی میوه توت فرنگی است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در همه نمونه‌ها شاخص L^* در روز ۱۴ نسبت به روز ۰ به طور معناداری کاهش یافت ($p>۰/۰۵$). علاوه بر این اختلاف معناداری از نظر شاخص‌های رنگی توت‌فرنگی‌های تیمار شاهد و سوسپانسیون باکتری در آب مقطر در روز ۱۴ ام مشاهده نشد ($p>۰/۰۵$). در واقع با افزایش رطوبت سطح میوه توت‌فرنگی در دو تیمار مذکور به واسطه غوطه‌وری در آب مقطر و افزایش تنفس و فعالیت آنزیمی در طول زمان نگهداری روشنایی (L^*) سطح توت‌فرنگی نسبت به نمونه پوشش‌دار آلژینات کلسیم کاهش بیشتری نشان داد. به طوری که نمونه‌های شاهد در پایان ۱۴ روز نگهداری نسبت به نمونه‌های پوشش‌دار از روشنایی کمتری برخوردار بودند و میزان کاهش شاخص L^* برای نمونه شاهد ۲۰/۵٪ بود در حالی که برای نمونه‌های دارای پوشش آلژینات کلسیم میزان کاهش این شاخص تنها ۹/۴۴٪ مشاهده شد. در این مطالعه پوشش پروبیوتیک بر پایه آلژینات کلسیم در مقایسه با دو تیمار دیگر بر زاویه هیو و کروما یا درخشندگی رنگ سطح توت فرنگی‌ها تأثیر معناداری نداشت ($p>۰/۰۵$).

مطابق با نتایج این مطالعه آلگر و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که تلقیح باکتری پروبیوتیک *L. rhamnosus* GG به روش غوطه‌وری تأثیری بر شاخص‌های رنگی سیب برش خورده در طول زمان نگهداری ندارد [۲۵]. ولیکووا و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به تأثیر نوع ترکیب پوشش و دمای انبارمانی بر تغییر رنگ میوه توت فرنگی در طول زمان نگهداری اشاره نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که افزودن موم زنبورعسل به محلول پوشش کیتوزان منجر به افزایش شاخص L^* شد. همچنین با افزایش دمای نگهداری از ۴ °C به ۲۰°C و افزایش تنفس و فعالیت آنزیمی رنگ میوه توت فرنگی تیره‌تر شد و شاخص‌های کروما و زاویه هیو

کاهش یافتند [۵]. در سایر مطالعات نیز پوشش‌دهی توت فرنگی با مخلوط کیتوزان و اولئیک اسید و یا موم زنبور عسل ضمن اینکه منجر به افزایش روشنایی سطح توت فرنگی شد و بر زاویه هیو تأثیری نداشت [۵،۲۶]. به علاوه برخی محققان استفاده از پوشش‌های پلی‌ساکاریدی مانند پکتین، نشاسته، کیتوزان و کاراژینان بر تغییر رنگ میوه توت فرنگی را بی‌تأثیر گزارش نمودند [۲۴،۲۷]. در مطالعه نسرین و همکاران (۲۰۱۷)، پوشش آلوئه‌را در مقایسه با پوشش کیتوزان و نمونه شاهد به طور موفقیت آمیزی از تغییر رنگ نمونه توت فرنگی و کاهش شاخص‌های رنگی مانند L^* و کروما و زاویه هیو جلوگیری نمود. تغییر رنگ نمونه‌های توت‌فرنگی احتمالاً در نتیجه تبخیر رطوبت سطحی، واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی و تغییر میزان آنتوسیانین‌ها در طول دوره نگهداری رخ می‌دهد که به شرایط نگهداری وابسته است. در حالی که پوشش‌دهی به عنوان لایه‌ای محافظ تبخیر آب درون بافتی میوه را کاهش می‌دهد و از تغییر رنگ تا حد ممکن جلوگیری می‌نماید [۱۱،۲۸]. علاوه بر این اسپرانزا و همکاران (۲۰۱۸) استفاده از پوشش‌های خوراکی پروبیوتیک در سطح سیب و طالبی برش‌خوره را در بهبود شاخص‌های رنگی این میوه‌ها نسبت به تیمار شاهد مؤثر دانستند [۲۰]. در حالی که در پژوهشی دیگر خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) گزارش نمودند که رنگ میوه توت فرنگی مورد آزمون تحت تأثیر پوشش‌دهی با کربوکسی متیل سلولز و زمان نگهداری قرار نگرفت و شاخص‌های رنگی در طول آزمون تقریباً ثابت ماندند[۱۴].

جدول (۱) تغییر شاخص‌های رنگی تیمارهای مختلف توت فرنگی در طول نگهداری در دمای ۴ °C

Table 1. Changing color indexes of different strawberry treatments during storage at 4 ° C

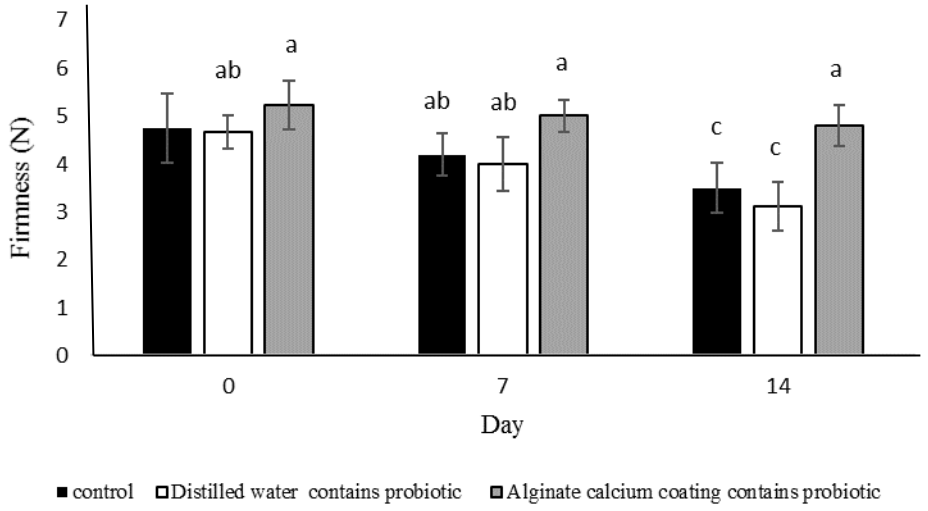
زاویه هیو (h°) Hue angle (h°)	کروما Chroma	روشنایی (L*) Lightness (L*)	روز Day	تیمار Treatment
15/91± 4/73[ab]	23/12 ± 2/28[ab]	42/6 ± 1/83[a*]	0	پوشش آلژینات کلسیم حاوی باکتری پروبیوتیک Alginate calcium coating contains probiotic
12/36 ± 2/89[bc]	22/57 ± 0/38[b]	39/1 ± 1/17[a]	7	
9/78 ± 2/41[c]	21/2 ± 1/77[b]	37/67 ± 0/39[b]	14	
21/13 ± 2/05[a]	26/31 ± 2/05[a]	39/24 ± 1/17[a]	0	آب مقطر حاوی باکتری پروبیوتیک Distilled water contains probiotic
16/71 ± 1/52[b]	22/15 ± 1/31[b]	32/65 ± 1/13[c]	7	
11/53 ± 1/21[c]	21/53 ± 1/41[b]	31/73 ± 1/23[c]	14	
20/89 ± 4/18[a]	26/25 ± 1/54[a]	40/13 ± 1/66[a]	0	شاهد Control
16/5 ± 2/14[b]	22 ± 1/22[b]	33/23 ± 1/25[c]	7	
11/81 ± 0/6[c]	21/39 ± 1/28[b]	31/9 ± 0/55[c]	14	

* حروف کوچک ناهمسان بر روی هر ستون اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۵ درصد را نشان می‌دهد.

۴.۳. بافت

سفتی بافت نیز فاکتور مهم دیگری جهت ارزیابی کیفیت میوه‌های تازه و بازارپسندی آنها است که در طول نگهداری در نتیجه فعالیت آنزیمی، تخریب دیواره سلولی و آسیب پارانشیم و حل شدن پکتین کاهش می‌یابد [۲۹]. به کارگیری پوشش‌های خوراکی در سطح میوه‌های تازه، راه‌کاری مناسب است که در حفظ سفتی بافت در طول انبارمانی مؤثر می‌باشد. شکل (۳) تغییرات سفتی بافت تیمارهای مختلف توت‌فرنگی در این مطالعه را نشان می‌دهد. کمترین سفتی بافت پس از طی زمان نگهداری به تیمار توت فرنگی غوطه ور شده در سوسپانسیون باکتری اختصاص داشت. پوشش‌دهی چند لایه با آلژینات کلسیم نرم شدن بافت توت فرنگی‌ها را پس از گذشت ۱۴ روز نسبت به دو تیمار دیگر به طور معناداری به تأخیر انداخت ($p<0/05$). همچنین اختلاف معناداری پس از غوطه‌وری در سوسپانسیون باکتری پروبیوتیک *L. plantarum KMC45* در

سطح توت فرنگی از نظر سفتی با تیمار شاهد در طول زمان نگهداری مشاهده نگردید (p>۰/۰۵). مطابق با نتایج این مطالعه در پژوهش خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) کاهش سفتی بافت تیمارهای مختلف توت فرنگی پروبیوتیک پس از گذشت ۱۴ روز نگهداری در دمای یخچال مشاهده شد. این در حالی بود که اختلاف معناداری بین تیمارهای پوشش کربوکسی متیل سلولز و شاهد وجود نداشت[۱۴]. به طور مشابه لی و همکاران (۲۰۱۷) کاهش سرعت نرم شدن بافت در نمونه‌های توت فرنگی دارای پوشش‌های پلی‌ساکاریدی را مشاهده نمودند. آن‌ها نوع پوشش پلی‌ساکاریدی را در حفظ استحکام بافت میوه مؤثر دانستند، به طوری که بیشترین سفتی بافت توت فرنگی به ترتیب پس از پوشش‌دهی با کیتوزان، آلژینات و پولالان رخ داد [۱۰]. علاوه بر این بر طبق مطالعه نسرین و همکاران (۲۰۱۷) غلظت محلول پوشش‌دهی هم نقش مهمی در کاهش نرمی بافت داشت و با افزایش غلظت محلول پوشش‌دهی کیتوزان از ۱٪ به ۲٪ سرعت نرم شدن بافت توت فرنگی در مقایسه با نمونه شاهد در طول نگهداری در یخچال کاهش یافت [۱۱]. اثر مفید استفاده از سایر پوشش‌ها از جمله پوشش کیتوزان و موم زنبورعسل[۵] و پوشش آلژینات و پکتین [۲۴] در حفظ سفتی بافت توت فرنگی در سایر مطالعات نیز گزارش شده است. این در حالی است که آلگر و همکاران (۲۰۱۱) اختلاف معناداری بین سفتی بافت برش‌های سیب پس از غوطه‌وری در سوسپانسیون باکتری *L. rhamnosus* GG و آب مقطر مشاهده نکردند [۲۵]. در مقابل در مطالعه دی اولیوریا و همکاران (۲۰۱۴) تلقیح باکتری‌های پروبیوتیک باعث نرمی بافت نمونه‌های خربزه برش خورده در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد که احتمالاً به فعالیت پکتیناز و پلی‌گالاکتورینازی ناشی از باکتری‌های اسیدلاکتیک ارتباط داشت [۳۰].



شکل (۳) بافت تیمارهای مختلف توت فرنگی در طول نگهداری در دمای ۴ °C (حروف کوچک ناهمسان بر روی هر ستون اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۵٪ را نشان می‌دهد.)

Fig 3. Firmness of different strawberry treatments during storage at 4 ° C (Different superscript lowercase letters on each column show a significant difference at 0.05% level).

۵.۳. درصد پوسیدگی

عمده پوسیدگی رایج در میوه توت فرنگی، پوسیدگی خاکستری است که در اثر رشد دو کپک *Botrytis cinerea* و *Rhizopus stolonifer* در سطح میوه ایجاد می‌گردد. در این مطالعه میزان پوسیدگی میوه‌های توت فرنگی در طی نگهداری در یخچال به صورت درصد پوسیدگی شامل کپک زدگی و لهیدگی میوه گزارش شد. بر طبق جدول (۲)، نتایج نشان داد که با گذشت زمان پوسیدگی در تمامی تیمارها به طور معناداری گسترش یافت (p<۰/۰۵). استفاده از پوشش پروبیوتیک بر پایه آلژینات کلسیم، ظهور فساد کپکی در

سطح میوه توت فرنگی را به تأخیر انداخت (p<۰/۰۵). این در حالی بود که ظهور اولین نشانه‌های پوسیدگی در سطح توت فرنگی‌های شاهد و پوشش‌دار پس از ۷ روز از نگهداری در دمای ^{o}C ۴ به ترتیب حدود ۳۵/۰۱ و ۲۲/۵٪ بود که این میزان پس از گذشت ۱۴ روز به ترتیب به ۸۷/۳ و ۴۷/۳٪ رسید. به طوری که پوشش پروبیوتیک بر پایه آلژینات کلسیم نسبت به تیمار شاهد توانست درصد گسترش پوسیدگی توت فرنگی را تا ۴۰٪ کاهش دهد. علاوه بر این بارگذاری باکتری پروبیوتیک *L. plantarum KMC45* به روش غوطه‌وری در سطح میوه توت فرنگی در مقایسه با تیمار شاهد توانست پوسیدگی را در پایان زمان نگهداری تا ۶/۱٪ کاهش دهد. این موضوع را می‌توان به فعالیت ضد کپکی باکتری*L. plantarum KMC45* که در مطالعه شهرام‌پور و همکاران (۱۳۹۸) گزارش شده، مربوط دانست [۳۱]. به طور مشابه در مطالعه خدایی و حمیدی اصفهانی (۲۰۱۹) نیز استفاده از پوشش کربوکسی متیل سلولز حاوی باکتری پروبیوتیک منجر به کاهش شمارش کپک‌ها و مخمرها در میوه توت فرنگی شد و همچنین پوسیدگی آن را کاهش داد [۱۴]. مویدنیا و همکاران (۲۰۱۰) نیز میزان پوسیدگی ناشی از فساد کپکی در توت فرنگی پوشش‌دهی شده توسط محلول آلژینات کلسیم (۳۲٪) در مقایسه با نمونه بدون پوشش (۷۸٪) را کمتر ارزیابی نمودند [۴]. در مطالعه نسرین و همکاران (۲۰۱۷) ظهور اولین نشانه‌های پوسیدگی ناشی از رشد کپک‌ها در سطح میوه توت فرنگی با افزایش غلظت محلول پوشش‌دهی کیتوزان از ۱٪ به ۲٪ از ۶ روز به ۹ روز تغییر پیدا کرد[۱۱]. در واقع پوشش‌دهی با کاهش خطر آلودگی میکروبی در به تأخیر انداختن بروز پوسیدگی و پژمردگی میوه‌ها نقش دارد. همچنین باکتری‌های اسیدلاکتیک موجود در پوشش می‌توانند از طریق تولید متابولیت‌های مختلف از جمله اسیدهای آلی، دی استیل، باکتریوسین‌ها و رقابت بر سر مواد غذایی رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را محدود نمایند [۳۲].

جدول (۲) درصد فساد تیمارهای توت فرنگی در طول نگهداری در دمای C ° ۴

Table 2. Percentage of decay of strawberry treatments during storage at 4 °C

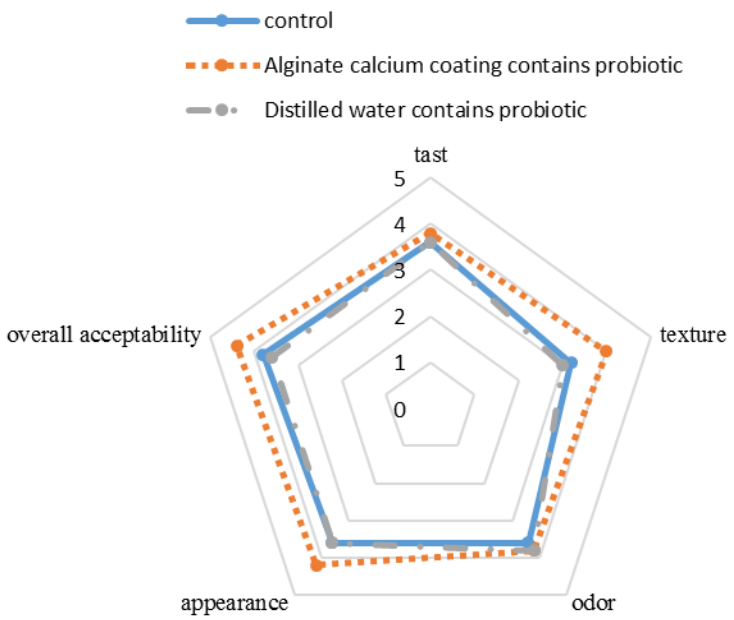
تیمار **Treatment**	درصد پوسیدگی **Decay percent**	
	روز هفتم **Day 7**	روز چهاردهم **Day 14**
پوشش آلژینات کلسیم حاوی باکتری پروبیوتیک Alginate calcium coating contain probiotic	22/5 ± 1/31 ^{Bb}	47/3 ± 0/73 ^{Ac}
آب مقطر حاوی باکتری پروبیوتیک Distilled water contains probiotic	34 ±1/21 ^{Ba}	81/2 ± 0/57 ^{Ab}
شاهد Control	35/01 ± 0/83 ^{Ba}	87/3 ± 0/65 ^{Aa}

* حروف کوچک ناهمسان بر روی هر ستون و حروف بزرگ در هر ردیف اختلاف معنادار در سطح ۰/۰۵ درصد را نشان می‌دهد.

۶.۳. ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی یک محصول غذایی در پذیرش یا رد آن نقش به سزایی دارد. نتایج ارزیابی ویژگی‌های حسی (ظاهر، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی) تیمارهای مختلف توت فرنگی توسط ارزیاب‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس بارگذاری باکتری*L. plantarum KMC45* به روش غوطه‌وری تأثیری بر ویژگی‌های حسی مانند طعم و بو توت فرنگی نداشت و بین تیمارها از این حیث تفاوتی مشاهده نشد. این در حالی بود که بیشترین امتیاز ظاهر، بافت و پذیرش کلی در هفتمین روز نگهداری سرد به نمونه‌های توت فرنگی دارای پوشش آلژینات کلسیم اختصاص داشت؛ بنابراین می‌توان دریافت که پوشش آلژینات کلسیم پروبیوتیک برخلاف اینکه تأثیری بر طعم و بو میوه توت فرنگی ندارد، اما می‌تواند در حفظ ظاهر و بافت میوه در طول دوره نگهداری مؤثر باشد. مطابق نتایج این پژوهش روبله و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که تلقیح باکتری

پروبیوتیک *L. rhamnosus* GG در سطح سیب برش خورده بر ویژگی‌های حسی آن در طول زمان نگهداری تأثیری نداشت [۱۸]. روسو و همکاران (۲۰۱۵) بیان نمودند که به غیر از بو (ناشی از تولید متابولیت‌های باکتری)، سایر ویژگی‌های حسی طالبی برش خورده پس از تلقیح باکتری‌های پروبیوتیک *Lactobacillus plantarum B2* و *Lactobacillus fermentum* طی ده روز نگهداری سرد تغییر نکرد[۱۹]. در پژوهشی دیگر با افزایش غلظت ژل آلوئه‌را در محلول پوشش امتیاز ویژگی‌های حسی مانند طعم و بافت توت فرنگی در هفتمین روز نگهداری سرد در مقایسه با نمونه شاهد فاقد پوشش افزایش یافت. در حالی که از نظر رنگ بین نمونه‌های توت‌فرنگی پوشش‌دار و فاقد پوشش اختلاف معناداری مشاهده نشد [۳۳].



شکل (۴) تأثیر تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های حسی توت‌فرنگی در طول نگهداری در ۴ °C

Fig 4. The effect of different treatments on the sensory properties of strawberry during storage at 4 ° C

۴. نتیجه‌گیری

میوه‌های تازه به دلیل داشتن انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی و آنتی‌اکسیدان‌ها جزء مواد غذایی سالم دسته‌بندی می‌شوند که از بازار مصرف خوبی در کشور ما برخوردار هستند. یکی از این میوه‌های پرطرفدار توت فرنگی است که ضمن داشتن خواص تغذیه‌ای مطلوب، ماندگاری کوتاهی دارد؛ بنابراین ارائه راه‌کاری جهت افزایش زمان نگهداری این محصول ضمن حفظ ارزش تغذیه آن ارزشمند است. نتایج این مطالعه نشان داد که پوشش‌دهی توت فرنگی با پوشش خوراکی حاوی باکتری پروبیوتیک بر پایه آلژینات کلسیم ضمن اینکه ماندگاری این میوه را افزایش می‌دهد، می‌تواند ارزش سلامتی بخش آن را نیز بهبود بخشد. نتایج شمارش جمعیت باکتری پروبیوتیک *L. plantarum* KMC45 در طی نگهداری نمونه‌های توت فرنگی پوشش‌دار در دمای ۴ °C نشان داد که پس از ۱۴ روز جمعیت مؤثر باکتری همچنان بالاتر از $۱۰^{۶}$ cfu/g بود. در واقع پوشش آلژینات کلسیم با تشکیل شبکه جعبه تخم مرغی ضمن به دام انداختن باکتری پروبیوتیک *L. plantarum* KMC45 از آن در برابر استرس‌های محیطی به خوبی محافظت می‌نماید. علاوه بر این پوشش پروبیوتیک رشد عوامل میکروبی از جمله کپک‌ها را نیز به تأخیر انداخت، ضمن اینکه تأثیر منفی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت فرنگی نداشت. همچنین

استفاده از پوشش پروبیوتیک بر پایه آلژینات در طول نگهداری سرد ویژگی‌های حسی مانند طعم و بو را تحت تأثیر قرار نداد و باعث بهبود ظاهر و بافت میوه شد؛ بنابراین پوشش آلژینات کلسیم به عنوان حاملی مناسب جهت انتقال میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک به فرم زنده بر سطح توت فرنگی تازه پیشنهاد می‌شود که این رویکرد می‌تواند زمینه تولید و توسعه محصولات پروبیوتیک جدید غیر لبنی را فراهم سازد.

منابع:

[1] Dris, R., Niskanen, R., & Jain, S. M. (2003). *Crop management and postharvest handling of horticultural products. Volume II: Fruits and vegetables*, 4th ed, Science Publishers, Inc, USA, pp 390-440.

[2] Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Hassanpour, R., Abdolshah, H. (2017). Agricultural Statistics of Iran in 2016. Ministry of Agricultural, Assistance of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center. Volume III, page 4.[In Persian]

[3] Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badie, F., Hosseini, Z. M., Ahmadi, K., & Ghanati, K. (2013). Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking. *Iran. J Nutr Sci Food Technol., 8(2),* 9-19. [In Persian]

[4] Moayednia, N., Ehsani, M. R., Emamdjomeh, Z., Asadi, M. M., Mizani, M., & Mazaheri, A. F. (2010). A note on the effect of calcium alginate coating on quality of refrigerated strawberries. *Ir. J. Agric. Food Res., 2*, 165-170.

[5] Velickova, E., E. Winkelhausen, S. Kuzmanova, V. D. Alves and M. Moldão-Martins.(2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (Fragaria ananassa cv Camarosa) under commercial storage conditions. *LWT-Food Sci and Technol., 52(2),* 80-92.

[6] Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M., 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.

[7] Vu, C. H. T., & Won, K. (2013). Novel water-resistant UV-activated oxygen indicator for intelligent food packaging. *Food chem., 140(1-2)*: 52-56.

[8] Pawar, S. N., & Edgar, K. J. (2012). Alginate derivatization: a review of chemistry, properties and applications. *Biomater., 33(11),* 3279-3305.

[9] Amal, S. H., El-Mogy, M. M., Aboul-Anean, H. E., & Alsanius, B. W. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *J Hortic Sci Ornamental Plants, 2(2),* 88-97.

[10] Li, L., Sun, J., Gao, H., Shen, Y., Li, C., Yi, P., He, X., Ling, D., Sheng, J., Li, J. and Liu, G. (2017). Effects of polysaccharide-based edible coatings on quality and antioxidant enzyme system of strawberry during cold storage. *Int J Polym Sci., 7(2),* 38-46.

[11] Nasrin, T., M. Rahman, M. Hossain, M. Islam and M. Arfin. (2017). Postharvest quality response of strawberries with aloe vera coating during refrigerated storage. *J Hortic Sci Biotechnol. 92(6),* 598-605.

[12] Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Rodríguez, F. J., Ramírez, J., Carmona, A., and Martin-Belloso, O. (2007). Alginate-and gellan-based edible films for probiotic coatings on fresh-cut fruits. *J food sci. 72(4),* 190-196.

[13] Tavera-Quiroz, M. J., Romano, N., Mobili, P., Pinotti, A., Gómez-Zavaglia, A., & Bertola, N. (2015). Green apple baked snacks functionalized with edible coatings of methylcellulose containing Lactobacillus plantarum. *J Funct Foods. 16,* 164-173.

[14] Khodaei, D., and Hamidi-Esfahani, Z. (2019). Influence of bioactive edible coatings loaded with Lactobacillus plantarum on physicochemical properties of fresh strawberries. *Postharvest Biol Technol*, 156, 110944.

[15] Shahrampour, D., Khomeiri, M., Razavi, S. M. A., & Kashiri, M. (2020). Development and characterization of alginate/pectin edible films containing Lactobacillus plantarum KMC 45. *LWT-Food sci technol, 118*, 108758.

[16] Emamifar, A. (2015). Evaluation of Aloe vera gel effect as an edible coating on microbial, physicochemical and sensorial characteristics of fresh strawberry during storage. *Innovative Food Technol, 2(2),* 15-29. [In Persian]

[17] Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *J funct foods, 9,* 225-241.

[18] Rößle, C., Auty, M. A., Brunton, N., Gormley, R. T., & Butler, F. (2010). Evaluation of fresh-cut apple slices enriched with probiotic bacteria. *Innovative Food Sci Emerging Technol, 11(1),* 203-209.

[19] Russo, P., Peña, N., de Chiara, M. L. V., Amodio, M. L., Colelli, G., & Spano, G. (2015). Probiotic lactic acid bacteria for the production of

multifunctional fresh-cut cantaloupe. *Food Res Int*, *77*, 762-772.

[20] Speranza, B., Campaniello, D., Bevilacqua, A., Altieri, C., Sinigaglia, M., & Corbo, M. R. (2018). Viability of Lactobacillus plantarum on Fresh-Cut Chitosan and Alginate-Coated Apple and Melon Pieces. *Frontiers in microbiol*, *9*, 2538.

[21] Ayranci, E., & Tunc, S. (2003). A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chem*, *80(3)*, 423-431.

[22] Debeaufort, F.J.A. Quezada-Gallo and A. Voilley. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Food Sci*, *38*, 299-313.

[23] Olivas, G. I., Mattinson, D. S., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala'apples. *Postharvest biol Technol*, *45(1)*, 89-96.

[24] Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Faleiro, M. L., Miguel, M. G., & Antunes, M. D. (2015). The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries. *Postharvest Biol Technol*, *110*, 51-60.

[25] Alegre, I., Viñas, I., Usall, J., Anguera, M., & Abadias, M. (2011). Microbiological and physicochemical quality of fresh-cut apple enriched with the probiotic strain Lactobacillus rhamnosus GG. *Food Microbiol*, *28(1)*, 59-66.

[26] Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan–oleic acid edible coatings. *Postharvest Biol.Technol*, *41*, 164–171.

[27] Ribeiro, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A. & Miranda, C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol. Technol*, *44*, 63–70.

[28] Nunes, M. C. N., Brecht, J. K., Morais, A. M., & Sargent, S. A. (2006). Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. *J Sci Food Agri*, *86(2)*, 180-190.

[29] Koh, T.H., & Melton, L.D. 2002. Ripening-related changes in cell wall polysaccharides of strawberry cortical and pith tissues. *Postharvest Biol Technol*, *26*: 23–33.

[30] de Oliveira, P. M., Júnior, B. R. D. C. L., Martins, M. L., Martins, E. M. F., & Ramos, A. M. (2014). Minimally processed yellow melon enriched with probiotic bacteria. *Semina: Ciências Agrárias*, *35(5)*, 2415-2425.

[31] Shahrampour, D., Khomeiri, M., Kashiri, M., Razavi, S. A. (2019). Evaluation of antibacterial and antifungal activity of indigenous *Lactobacillus plantarum* strains isolated from various foods. *JFST*, *85(15)*, 327-336. [In Persian]

[32] Tanada-Palmu, P. S., & Grosso, C. R. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (Fragaria ananassa) quality. *Postharvest biol Technol*, 36(2), 199-208.

[33] Emamifar, A. (2015). Evaluation of Aloe vera gel effect as an edible coating on microbial, physicochemical and sensorial characteristics of fresh strawberry during storage. *Innovative Food Technol*, 2(2), 15-29.

Research Article

Evaluation of probiotic bioactive edible coating application on qualitative properties of fresh strawberry

Dina Shahrampour[1], Morteza Khomeiri[2*], Mahbobeh Kashiri[2], Seyed Mohhamad Ali Razavi[3]

1. PhD graguate of Food Microbiology, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Dept of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural esources
3.Dept of Food Science and Technology, Ferdowsi University Of Mashhad

Abstract

Low storage time and high spoilage rate of some fruits, such as strawberries, can cause many economic losses to countries every year. Therefore, the application of new methods such as edible coatings can be effective in resolving this problem. In this study, the effects of calcium alginate coating contain native probiotic bacterium *L. plantarum KMC45* and bacterial suspension in distilled water on the qualitative characteristics of produced probiotic strawberry during two weeks storage in refrigerated were investigated. The results showed that the application of calcium alginate containing probiotic bacteria was more effective in preserving the strawberry quality characteristics than the treatment of immersion in the probiotic bacterial suspension. This treatment compared to control treatment decreased the weight loss, texture softening as well as the decay percentage of strawberries during the 14-days by 2.38, 1.31 and 40%, respectively. Also in this study, changes in color indexes such as L *, Hugh angle and chromium in the coated samples were less than the control treatment. In addition, the results of total viable count of *L. plantarum* KMC45 in different strawberry treatments during storage at 4 ° C showed that after two weeks, the decline of population in bacterial suspension coating treatment was 2.97 log, while in the calcium alginate coating treatment was only 0.95 log. The calcium alginate coating was not affected on the taste and odor of strawberry, but it increased the score of other sensory characteristics such as texture, appearance, and overall acceptance compared to the other two treatments. Therefore, calcium alginate coating is recommended as a suitable carrier for the transfer of probiotic microorganisms to fresh strawberry, which can increase the shelf life of them and promote the production and development of new probiotic products.

Keywords: Strawberry, Edible coating, Calcium alginate, Probiotic, *L. plantarum* KMC45.

[*] Corresponding author: khomeiri@gau.ac.ir