تأثیر پوشش نانومرکب بر پایه کربوکسی‌متیل‌سلولز بر کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی پوسته تخم‌مرغ طی دوره نگهداری در شرایط محیط

علی‌اکبر شریفی[۱]، داریوش خادمی شورمستی*[۲]

۱- کارشناس ارشد، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

*نویسنده مسئول: Dkhademi@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۲۸، پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۶/۵

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پوشش‌های خوراکی نانومرکب زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه کربوکسی‌متیل‌سلولز بر کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی سطح پوسته تخم‌مرغ خوراکی آزمایشی با ۱۲۰ عدد تخم‌مرغ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (شاهد)، تخم‌مرغ‌های حاوی پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز، تخم‌مرغ‌های دارای پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز- اسید الئیک و تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب کربوکسی‌متیل‌سلولز- اسید اولئیک- نانورس بودند. پوشش‌دهی به‌روش غوطه‌وری انجام شد و تخم‌مرغ‌ها به‌مدت ۵ هفته در دمای محیط (۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. فراسنجه‌های کیفیت داخلی در پایان هفته‌های ۱، ۳ و ۵ و ریخت‌شناسی سطح پوسته در آغاز و پایان دوره آزمایشی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد؛ تخم‌مرغ‌های حاوی پوشش نانومرکب در پایان دوره نگهداری دارای کمترین درصد افت وزنی و کمترین مقدار عددی اندیس اسید تیوباربیتوریک ($P<0/05$) و بیشترین مقدار عددی pH سفیده، بیشترین مقادیر عددی اندیس زرده و واحد هاو ($P<0/05$) بودند. ضمن اینکه سطح پوسته تخم‌مرغ‌های حاوی پوشش نانومرکب از یکپارچگی و پیوستگی بیشتر و خلل و فرج و شکستگی کمتری نسبت به گروه شاهد بود. لذا می‌توان از پوشش نانومرکب کربوکسی‌متیل‌سلولز- اسید اولئیک- نانورس به‌عنوان یک بسته‌بندی زیست‌سازگار جهت انبارمانی تخم‌مرغ در دمای محیط به‌مدت ۵ هفته بدون تأثیر نامطلوب در کیفیت داخلی و پوسته استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌پلیمر، پوشش نانومرکب، تخم‌مرغ، کربوکسی‌متیل‌سلولز، مونت‌موریلونیت

مقدمه

به‌دلیل تعادل و تنوع مواد مغذی همراه با قابلیت هضم بالا و قیمت مقرون به‌صرفه، تخم‌مرغ به‌عنوان یک ماده غذایی مهم و با کیفیت غذایی بالا، در رژیم غذایی افراد گنجانده شده و به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان مصرف می‌شود (۱). علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای، به‌دلیل پایداری امولسیونی، پایداری کف و ژل‌سازی حرارتی خوب، از تخم‌مرغ در صنایع غذایی استفاده وسیعی می‌شود (۲). با این وجود، فسادپذیری تخم‌مرغ، قابلیت نگهداری آن‌ها را محدود می‌کند. عمده تفاوت بین تخم‌مرغ‌های تازه و ذخیره‌شده در کیفیت داخلی آن است. معمولاً عواملی چون رطوبت، درجه حرارت و تهویه انبار، زمان نگهداری و تغذیه نامناسب طیور، کیفیت نهایی پوسته و کیفیت داخلی تخم‌مرغ را تعیین می‌کنند. بنابراین به‌منظور اطمینان از تازگی و افزایش ماندگاری، بهره‌وری مطلوب از موانع محافظت طبیعی تخم‌مرغ، پوسته و همچنین کنترل محیط نگهداری، دارای اهمیت است. دست‌یابی به این هدف با استفاده از فناوری نگهداری مناسب که هم به حفظ کیفیت پوسته و هم کیفیت داخلی تخم‌مرغ کمک کند، امکان‌پذیر است و در نتیجه آن را برای مصرف انسان حتی در مدت زمان طولانی نگهداری نیز مناسب می‌سازد (۳).

اگرچه پوسته تخم‌مرغ به‌عنوان سد حفاظتی طبیعی تخم‌مرغ مطرح است، اما وجود منافذ ریز موجود در سطح پوسته باعث انتقال جرم عمدتاً دی‌اکسیدکربن و رطوبت و همچنین نفوذ میکروبی شده که در نتیجه باعث افت کیفیت تخم‌مرغ می‌شود. علاوه بر این، پوسته تخم‌مرغ بسیار شکننده است و نمی‌تواند یکپارچگی خود را هنگام

حمل و نقل حفظ کند. حتی یک ترک‌خوردگی کوچک در پوسته تا حد زیادی خطر آلودگی میکروبی را به‌ویژه هنگامی‌که تخم‌مرغ‌ها در دمای اتاق ذخیره شوند، افزایش می‌دهد. لذا جهت جلوگیری از ضرر اقتصادی و مشکلات بهداشتی و کیفی، رهیافت‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفتند که می‌توان آن‌ها را بر اساس ساز وکار در دو دسته روش‌های غیرفعال کردن ریززنده‌ها در پوسته تخم‌مرغ و پوشاندن منافذ پوسته با استفاده از پوشش به‌عنوان لایه‌های ممانعتی برای تبادلات جرمی و ریززنده‌ها طبقه‌بندی کرد (۵،۴). بدین منظور طیف وسیعی از مواد پوشش‌دهنده مانند کیتوزان (۵، ۶)، پکتین (۷)، کربوکسی‌متیل سلولز (۱۰-۸) مورد استفاده قرار گرفتند. در این میان، کربوکسی‌متیل سلولز به‌دلیل اقتصادی بودن تولید صنعتی، رنگ شفاف، سازگاری با محیط زیست، انعطاف‌پذیری، غیرسمی بودن و حساسیت‌زا نبودن مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

کربوکسی‌متیل سلولز یکی از مشتقات مهم سلولز است که از طریق واکنش آن با پلی‌هیدروکسید سدیم و اسید کلرواستیک تولید می‌شود. لفاف‌های کربوکسی‌متیل سلولز به‌دلیل خاصیت آب‌دوستی شدید، مقاومت کمی در برابر نفوذ بخار آب دارد. یکی از مؤثرترین روش‌ها برای غلبه بر این مشکل و کاهش نفوذپذیری نسبت به بخار آب، ترکیب کردن مواد لیپیدی با بیوپلیمرهاست. چربی‌ها به‌دلیل ماهیت آب‌گریز خود می‌توانند بازدارندگی در مقابل بخار آب را افزایش دهند. نشان داده شد که با افزودن اسید اولئیک تا حد معینی به فیلم کربوکسی‌متیل سلولز، میزان جذب رطوبت به‌طور مؤثری کاهش یافت (۱۱). از سوی دیگر با قرارگیری ترکیبات لیپیدی در بین زنجیره‌های بیوپلیمر و جلوگیری از پیوستگی کامل شبکه، ممکن است مقاومت مکانیکی تضعیف گردد (۱۲). بکارگیری پوشش‌های مرکب زیست‌پلیمری با پرکننده‌های نانومتری که با پراکندگی ذرات نانومتری در مواد زیست‌پلیمری موجب تقویت آن می‌شود، یکی از روش‌های مؤثر در بهبود خواص مکانیکی، کاربردی و ممانعتی پوشش‌هاست. در این بین نانو لایه‌های سیلیکاتی به‌واسطه جایگزینی یونی با کاتیون‌های آلی، دارای توانایی ویژه‌ای در اصلاح خواص مکانیکی لفاف هستند. بهبود ویژگی‌های لفاف‌ها با استفاده از نانوکامپوزیت‌های سیلیکات لایه‌ای – زیست‌پلیمرهای طبیعی، در مطالعات مختلف گزارش شد (۱۶-۱۳). لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی بکارگیری اسید اولئیک و نانو رس (مونت‌موریلونیت) بر کارایی پوشش نانومرکب بر پایه کربوکسی‌متیل سلولز و تأثیر آن بر حفظ شاخص‌های کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی پوسته تخم‌های نگهداری شده به‌مدت ۵ هفته در دمای محیط طراحی و اجرا شد.

مواد و روش تحقیق

تهیه مواد

کربوکسی‌متیل سلولز با وزن مولکولی ۴۱۰۰۰ گرم بر مول و نانو مونت‌موریلونیت (MMT, K10) محصول شرکت سیگما آلدریچ (Sigma-Aldrich Chemicals)، اسید اولئیک، گلیسرول، توئین ۸۰ و سایر مواد شیمیایی مورد نیاز با درجه خلوص تجزیه‌ای (مرک، آلمان) تهیه شدند. تخم‌مرغ‌های تولیدی مرغ‌های تخم‌گذار از سویه های‌لاین W-36 در هفته ۴۰ تولید از یک مزرعه تجاری پرورش مرغ تخم‌گذار تجاری در اطراف شهرستان ساری خریداری شد.

آماده‌سازی محلول پوششی

محلول‌های پوششی با استفاده از روش پیشنهادی Ghanbarzadeh و Almasi (۲۰۰۹) با اندکی تغییرات تهیه شد. بدین ترتیب که ابتدا محلول پایه با افزودن ۱۰ گرم کربوکسی‌متیل سلولز، توئین ۸۰ و گلیسرول (۳۰ درصد وزنی/وزنی) به ۱ لیتر حلال مناسب (۳۴۰ میلی‌لیتر اتانول و ۶۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر) آماده شد. بر حسب تیمارهای آزمایشی به محلول پایه، اسید اولئیک (به‌میزان ۰/۶ گرم/گرم کربوکسی‌متیل‌سلولز) اضافه شد. جهت انحلال کامل کربوکسی‌متیل‌سلولز، محلول پایه به مدت ۱۰ دقیقه روی گرم‌کننده مجهز به همزن مغناطیسی در دمای ۹۰°C قرار گرفت. پس از اندکی خنک‌شدن، محلول‌های حاوی اسید اولئیک، به‌مدت ۳ دقیقه در یک مخلوط‌کن خانگی (مولینکس، فرانسه) کاملاً مخلوط شدند. جداگانه، محلول ۳ درصد وزنی/وزنی نانورس از طریق انحلال مقدار مناسب مونت‌موریلونیت در آب مقطر تهیه

شد. در مرحله بعد، جهت تهیه محلول نانو مرکب، محلول کربوکسی‌متیل سلولز حاوی اسید اولئیک به‌آرامی به محلول نانو رس اضافه شده و به‌مدت ۴ ساعت عمل هم‌زدن ادامه یافت (۱۱).

تیمارهای آزمایشی

تخم‌مرغ‌های خوراکی با پوسته سفید و میانگین وزنی ۲±۵۸ گرم انتخاب و با رعایت اصول بهداشتی به آزمایشگاه منتقل شد. از سلامت پوسته با نوربینی اطمینان حاصل شده بود. تخم‌مرغ‌ها در آزمایشگاه به‌طور تصادفی در ۴ گروه (هر گروه ۳۰ عدد) شامل تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (C، شاهد)، حاوی پوشش کربوکسی‌متیل سلولز (CMC)، حاوی پوشش کربوکسی‌متیل سلولز و اسید الئیک (CMC-OA) و حاوی پوشش نانومرکب کربوکسی‌متیل سلولز و اسید الئیک – نانو رس (CMC-OA-NC) تیمار شدند و به مدت ۵ هفته در شرایط محیط (دمای ۱±۲۵°C و رطوبت نسبی ۷۵ درصد) نگهداری شدند. نمونه‌گیری طی هفته‌های اول، سوم و پنجم نگهداری جهت انجام آزمون‌های شاخص کیفیت داخلی و در شروع و روز پایانی دوره نگهداری (روزهای صفر و ۳۵) جهت بررسی ریخت‌شناسی سطح پوسته انجام شد. پوشش‌دهی به روش غوطه‌وری تخم‌مرغ‌ها به‌مدت ۲ دقیقه در محلول پوششی صورت گرفت و سپس خشک شدند. تخم‌مرغ‌های گروه شاهد در همین مدت در آب مقطر غوطه‌ور شدند.

اندازه‌گیری افت وزنی (WL)

برای ارزیابی کاهش وزن، تخم‌مرغ‌ها بلافاصله بعد از خشک‌شدن پوشش سطحی، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (AND، آمریکا) توزین شدند. وزن نهایی در فواصل زمانی مورد ارزیابی (روزهای ۷، ۲۱ و ۳۵) اندازه‌گیری شد. افت وزنی از تقسیم اختلاف وزن اولیه و نهایی به وزن اولیه تخم‌مرغ محاسبه و به‌صورت درصد گزارش شد (۱۷).

اندازه‌گیری واحد هاو (HU)

برای تعیین واحد هاو، ارتفاع سفیده با استفاده از کولیس دیجیتال (Digital INSIZE، آلمان) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه مقادیر واحد هاو، رابطه لگاریتمی بین ارتفاع سفیده و وزن تخم‌مرغ در نظر گرفته شد (۱۸). با استفاده از این اطلاعات، واحد هاو از فرمول زیر استفاده شد که در آن H ارتفاع سفیده (میلی‌متر) و W وزن تخم‌مرغ (گرم) است: $HU= 100 \log (H+7.57 -1.7 W^{0.37})$

اندازه‌گیری pH سفیده (آلبومین)

حدود ۲ گرم از سفیده هر نمونه در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه همگن شد و pH آن با استفاده از pHمتر دیجیتال (ATAGO، ژاپن) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص زرده (YI)

شاخص زرده در واقع رابطه بین ارتفاع و قطر زرده است. برای اندازه‌گیری این شاخص، پس از جداسازی زرده از سفیده، با استفاده از میکرومتر دیجیتال (Guanglu، چین) ارتفاع و قطر زرده اندازه‌گیری شد. شاخص زرده با استفاده از فرمول $YI= h/d$ که در آن h ارتفاع زرده (میلی‌متر) و d قطر زرده (میلی‌متر) است، اندازه‌گیری شد (۱۹).

اندازه‌گیری شاخص اسید تیوباربیتوریک زرده (TBARS)

شاخص اسید تیوباربیتوریک زرده تخم‌مرغ بر اساس روش پیشنهادی Draper و Hadeley (۱۹۹۰) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه ۵ گرم زرده تخم‌مرغ و ۵۰ میکرولیتر BHT به ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه اضافه شد و با سرعت بالا هموژن گردید. سپس ۱ میلی‌لیتر از ماده هموژن به لوله آزمایش منتقل و ۲ میلی‌لیتر TBA-تری‌کلرواستیک اسید اضافه شد و به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت دید. سپس نمونه‌های سرد شده در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شده، جذب سوپرناتانت با اسپکتروفتومتر (Beckman, Fullorton, CA) در ۵۳۲ نانومتر قرائت شد و اکسیداسیون چربی زرده به‌صورت

میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم نمونه گزارش گردید (۲۰).

بررسی ریخت‌شناسی پوسته تخم‌مرغ با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

جهت بررسی ریخت‌شناسی سطح پوسته از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (Philips, XL 300) استفاده شد. بدین منظور ابتدا پوسته‌ها با آب شستشو و سپس در دمای ۶۰°C کاملاً خشک شدند. قطعات کوچک (حدود ۱ سانتی‌متر مربع) از پوسته تهیه، توسط چسب نقره بر روی پایه آلومینیومی چسبانده شدند. پایه‌ها در یک دستگاه پوشش‌دهنده/ پاشنده تا نقطه بحرانی خشک شدند و برای ایجاد رسانایی، با یک لایه نازک از طلا پوشش داده شدند. تصویربرداری از سطح پوسته با سرعت ۱۰ Kv انجام شد (۲۱).

تجزیه و تحلیل آماری

در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماریSPSS نسخه ۱۶ به‌روش آنالیز واریانس دو طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای محاسبه میانگین‌ها و انحراف معیارها، آزمایشات حداقل با ۳ تکرار انجام شد. تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش به‌عنوان تیمار شاهد و نوع پوشش تخم‌مرغ به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P< ۰/۰۵$) مقایسه شدند. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Execl ترسیم شدند.

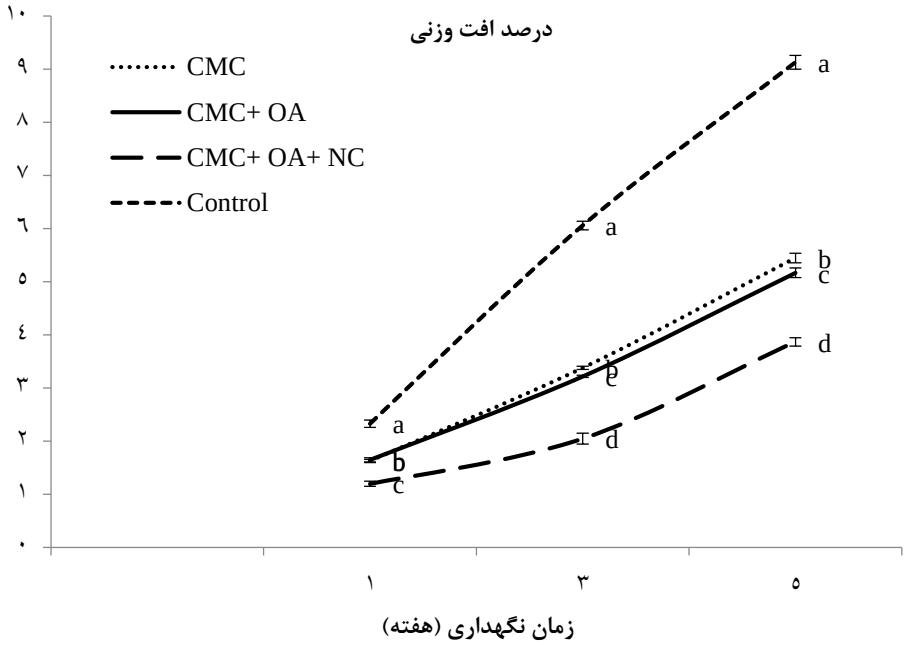
یافته‌ها

درصد افت وزنی

با افزایش زمان نگهداری، از پایان هفته اول تا انتهای دوره، درصد افت وزنی در تخم‌مرغ‌ها روند افزایشی داشت (نمودار ۱). در پایان دوره، بیشترین درصد افت وزنی در گروه شاهد (بدون پوشش) و کمترین مقدار (۳/۸۷±۰/۰۸ درصد) در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب دیده شد ($P< ۰/۰۵$).

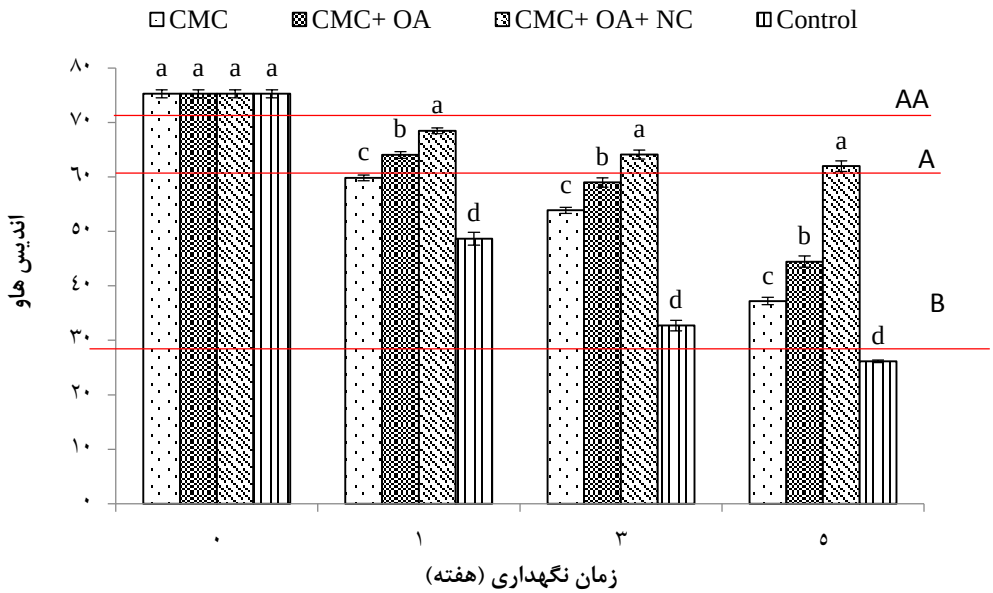
واحد هاو

مطابق با نمودار ۲ با گذشت زمان نگهداری تخم‌مرغ در دمای محیط، واحد هاو در تمامی گروه‌های آزمایشی کاهش یافت. در طی دوره نگهداری واحد هاو در تخم‌مرغ‌های گروه شاهد کمتر از سایر گروه‌های تیمار شده بود ($P< ۰/۰۵$). در پایان هفته پنجم نگهداری، کمترین مقدار در گروه شاهد (۲۶/۱۶±۰/۲۴) و بیشترین مقدار در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب (۶۱/۹۸±۰/۹۸) دیده شد.



نمودار ۱- میانگین تغییرات درصد افت وزنی تخم‌مرغ طی دوره نگهداری

Fig 1- Average changes of egg weight loss (%) during storage

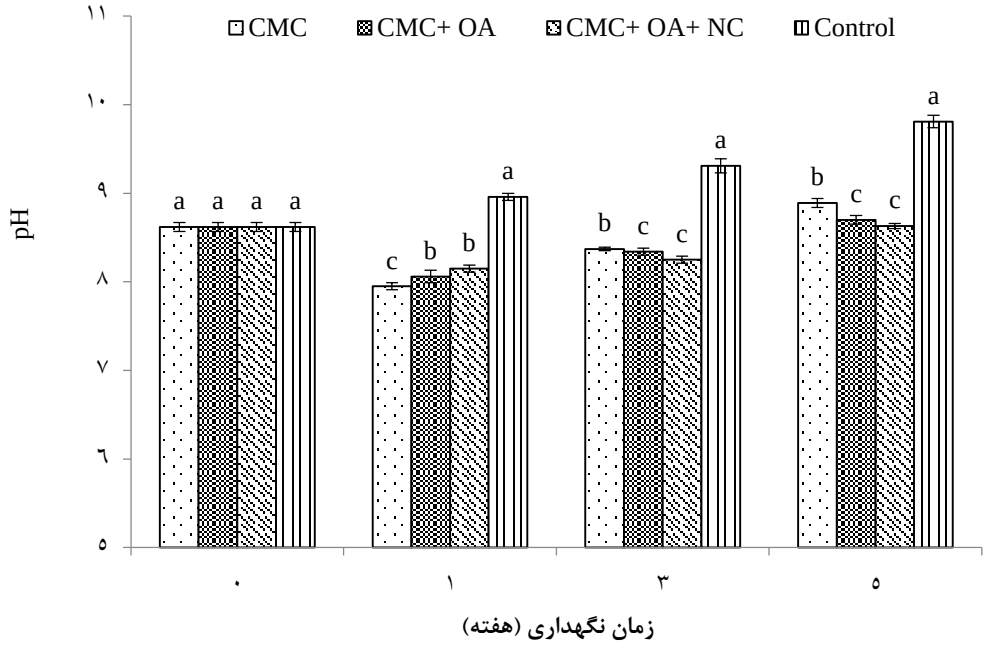


نمودار ۲- میانگین تغییرات اندیس هاو تخم‌مرغ طی دوره نگهداری

Fig 2- Average changes of egg haugh unit during storage

pH سفیده (آلبومین)

همچنانکه در نمودار ۳ آمده است؛ در تمامی گروه‌های مورد بررسی، pH آلبومین طی دوره نگهداری با افزایش مقدار مواجه بود. این مقدار در تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (شاهد) بیشتر از تخم‌مرغ‌های تیمار شده بود ($P< ۰/۰۵$). بیشترین و کمترین مقدار pH سفیده در پایان دوره نگهداری، به ترتیب در تخم‌مرغ‌های گروه شاهد و تیمارشده با پوشش نانومرکب (۹/۸۱ در برابر ۸/۶۳) دیده شد.



نمودار ۳- میانگین تغییرات pH سفیده تخم‌مرغ طی دوره نگهداری

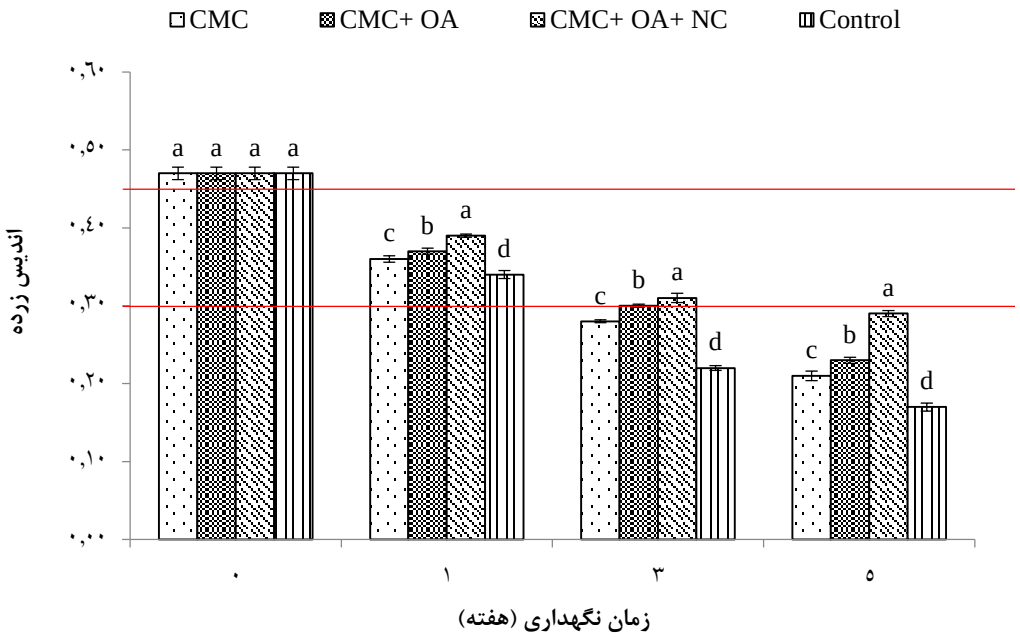
Fig 3- Average changes of egg weight pH during storage

شاخص زرده

در نمودار ۴ تغییرات میانگین اندیس (شاخص) زرده تخم‌مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط آمده است. این شاخص با افزایش زمان نگهداری تخم‌مرغ در تمامی گروه‌ها روندی کاهشی نشان داد. در پایان دوره نگهداری، اندیس زرده در تخم‌مرغ‌های گروه شاهد (فاقد پوشش) به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تخم‌مرغ‌های تیمار شده بود ($P< ۰/۰۵$). کمترین مقدار این شاخص در پایان دوره نگهداری در زرده تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (۰/۰۵±۰/۱۷) و بیشترین مقدار در زرده تخم‌مرغ‌هایی دیده شد که حاوی پوشش نانومرکب کربوکسی‌متیل‌سلولز – نانورس بودند (۰/۰۴±۰/۲۹).

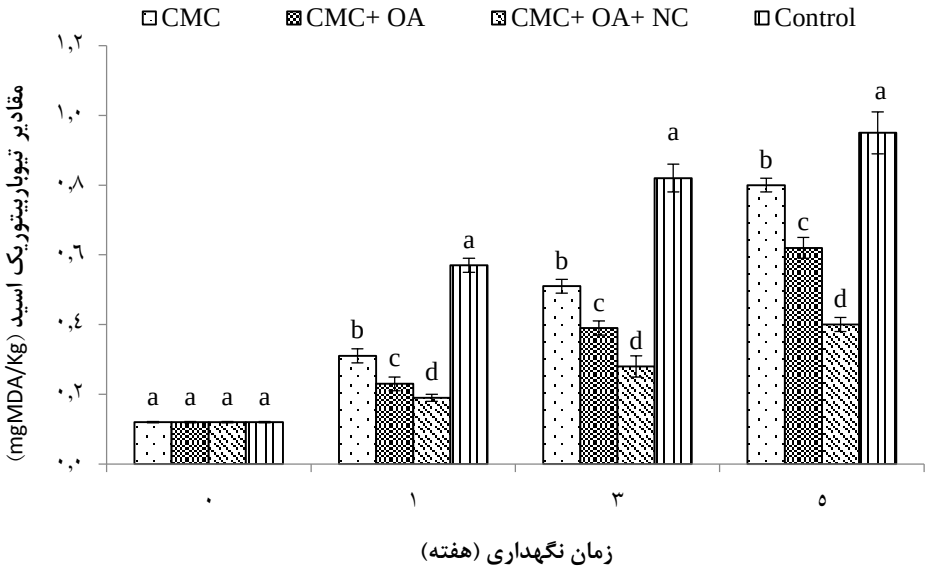
شاخص اسیدتیوباربیتوریک

میانگین تغییرات شاخص (اندیس) اسیدتیوباربیتوریک که در نمودار ۵ آمده است نشان داد؛ طی دوره نگهداری، روند افزایشی در تخم‌مرغ‌های پوشش‌دار نسبت به گروه شاهد کمتر بود. ضمن اینکه در بازه‌های زمانی مورد بررسی، مقدار عددی این شاخص در تخم‌مرغ‌های پوشش‌دار کمتر از تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش بود ($P< ۰/۰۵$). در پایان دوره کمترین و بیشترین مقدار عددی این شاخص به‌ترتیب در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب و فاقد پوشش (۰/۰۲±۰/۴۰ در مقابل ۰/۰۶±۰/۹۵ میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم) دیده شد.



نمودار ۴- میانگین تغییرات شاخص (اندیس) زرده تخم‌مرغ طی دوره نگهداری

Fig 4- Average changes of yolk index during storage

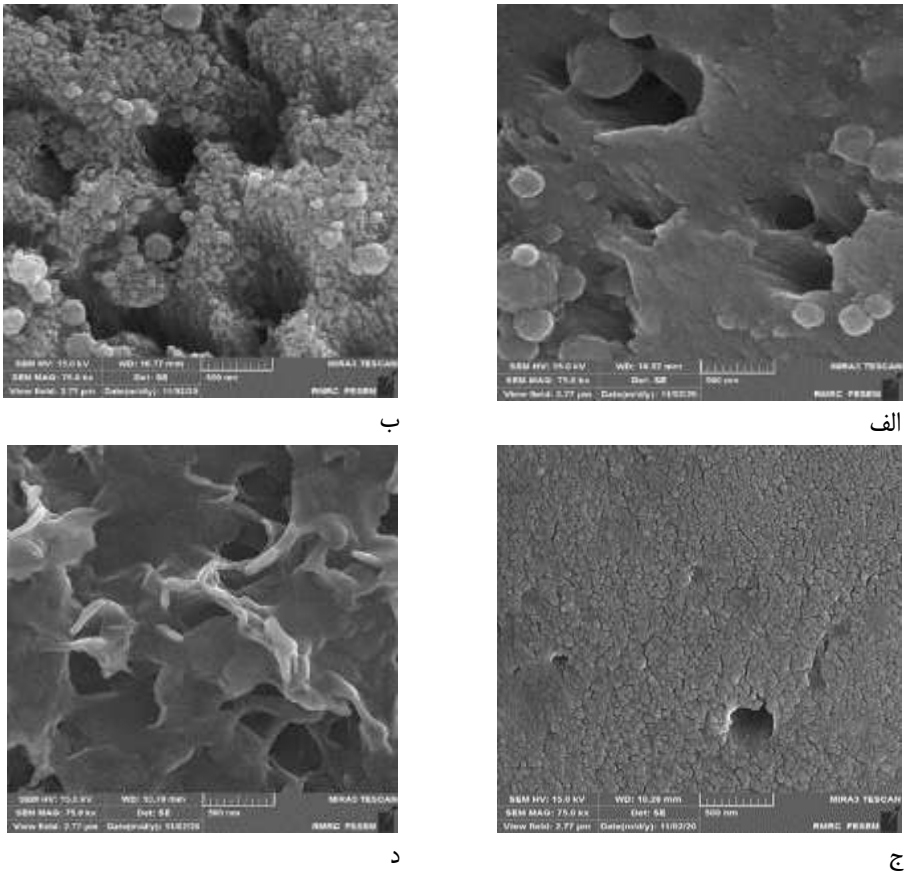


نمودار ۵- میانگین تغییرات شاخص اسید تیوباربیتوریک (میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم تخم‌مرغ طی دوره نگهداری

Fig 5- Average changes of egg TBASR (mgMDA/Kg) during storage

بررسی ریخت‌شناسی پوسته تخم‌مرغ با میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح پوسته تخم‌مرغ در شکل ۶ آمده است. همانطوری‌که در تصاویر دیده می‌شود؛ همانطور که در تصاویر مشاهده می‌شود، سطح تصاویر تهیه شده از تیمار پوشش‌دار و فاقد پوشش (شاهد) تفاوت بسیاری با یکدیگر داشتند.



الف ب

ج د

شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوسته تخم‌مرغ: الف) فاقد پوشش در هفته اول، ب) فاقد پوشش در هفته پنجم، ج) دارای پوشش کامپوزیتی در هفته اول، د) دارای پوشش کامپوزیتی در هفته پنجم

Fig 6- Scanning electron microscopy analysis of eggshell surface: a) uncoated in 1st W, b) uncoated in 5th W, c) nanocomposite coated in 1st W and d) nanocomposite coated in 5th w

بحث و نتیجه‌گیری

افت وزنی، واحد هاو، اندیس زرده و pH سفیده از جمله مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت و تازگی تخم‌مرغ محسوب می‌شوند. شاخص کاهش وزن، یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی ماندگاری تخم‌مرغ است. تبخیر آب یک فرآیند کاملاً وابسته به شرایط نگهداری همچون دما، رطوبت و میزان تهویه محل نگهداری تخم‌مرغ است. معمولاً همزمان با افزایش زمان نگهداری تخم‌مرغ و به‌دلیل از دست رفتن رطوبت و دی‌اکسیدکربن از طریق منافذ پوسته، افت وزن در تخم‌مرغ اتفاق می‌افتد (۲۲). افت وزنی کمتر در تخم‌مرغهای پوشش‌دار ممکن است با این واقعیت که پوشش‌دهی با مسدود کردن منافذ پوسته از خروج رطوبت و گازها جلوگیری می‌کند، در ارتباط باشد (۲۳). برقراری پیوندهای هیدروژنی قوی بین کربوکسی‌متیل‌سلولز، اسید اولئیک و نانورس، ساختاری بسیار فشرده و مستحکم ایجاد می‌کند که جذب و نفوذ مولکول‌های آب به درون این ساختار را محدود می‌سازد. حضور لایه‌های نانو رس در ماتریکس زیست‌پلیمری، باعث ایجاد مسیرهای پرپیچ و خمی برای نفوذ مولکول‌های بخار آب و در نهایت باعث کاهش میزان خروج رطوبت از سطح تخم‌مرغ می‌شود (۲۴). محمدی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر پوشش‌های فعال خوراکی بر پایه کربوکسی‌متیل‌سلولز حاوی اولئیک اسید و ترکیبات ضد میکروبی اعلام نمودند، کمترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونه‌های پوشش داده شده با کربوکسی‌متیل‌سلولز - اسید اولئیک ۱ و ۲ درصد بود که ناشی از حضور اسید اولئیک در ترکیب پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز می‌باشد (۲۵).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر با افزایش زمان نگهداری مقادیر pH در تمامی تیمارها افزایش یافت. افزایش pH سفیده به‌دلیل تفکیک اسید کربنیک و تشکیل آب و دی‌اکسیدکربن اتفاق می‌افتد. در طی دوره نگهداری مقادیر دی‌اکسیدکربن نیز کاهش می‌یابد. خروج دی‌اکسیدکربن از منافذ پوسته تخم‌مرغ منجر به آبکی شدن سفیده و افزایش pH می‌گردد (۱۰). در مطالعه حاضر نیز افزودن اسید اولئیک و نانو رس به کربوکسی‌متیل‌سلولز باعث افزایش یکپارچگی پوشش و در نتیجه کمتر شدن خروج دی‌اکسیدکربن از پوسته تخم‌مرغ شد.

اندیس هاو یکی دیگر از شاخص‌های مهم تعیین کیفیت تخم‌مرغ می‌باشد. اندیس هاو ارتفاع ضخیم‌ترین بخش آلبومین را نشان می‌دهد و هر چقدر بالاتر باشد نشان دهنده کیفیت بالاتر تخم‌مرغ است. همانطور که گفته شد؛ در طی نگهداری تخم‌مرغ، خروج دی‌اکسیدکربن از طریق منافذ پوسته، موجب افزایش pH آلبومین، شکسته‌شدن پیوند اوووموسین - لیزوزیم و آبکی شدن سفیده می‌گردد که باعث کاهش شاخص هاو می‌شود (۲۶).

تا پایان هفته اول نگهداری، تخم‌مرغهای پوشش‌دار در درجه کیفی A قرار داشتند در حالی‌که تخم‌مرغهای فاقد پوشش پس از پایان هفته اول نگهداری در درجه کیفی B قرار گرفته و در پایان دوره در درجه کیفی C قرار گرفتند. از سوی دیگر تخم‌مرغهای حاوی پوشش نانومرکب در پایان دوره نگهداری همچنان در درجه کیفی A قرار داشتند. این امر بیانگر تأثیر مثبت پوشش‌دهی در به تأخیر انداختن کاهش کیفی سفیده است که با تحقیقات مشابه مطابقت دارد (۲۷). به‌نظر می‌رسد؛ استفاده از پوشش بر پایه کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌دلیل کنترل شرایط داخلی تخم‌مرغ (همچون کنترل تبادل رطوبت، گازها و pH) که پیشتر به آنها اشاره شد و همچنین با پوشاندن بهتر منافذ تخم‌مرغ که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است، از ورود آب به داخل تخم‌مرغ جلوگیری می‌کند و در نتیجه روند کاهشی اندیس هاو را کند می‌نماید. دلایل مذکور را در مورد تأثیر پوشش نانومرکب بر اندیس زرده نیز می‌توان تعمیم داد.

کاهش شاخص زرده طی دوره نگهداری به‌دلیل آبکی‌شدن و مسطح‌شدن زرده است که به نفوذ مداوم آب از آلبومین به زرده از طریق غشای ویتلینی ناشی از فشار اسمزی نسبت داده می‌شود (۲۸). فشار اسمزی بین آلبومین و زرده به گرانروی آلبومین مرتبط است که با شکستن کمپلکس لیزوزیم اوووموسین کاهش یافت. بنابراین، هنگامی‌که پوشش مرکب مورد استفاده، از دست‌دادن دی‌اکسیدکربن و بخار آب را کاهش می‌دهد و تغییرات ساختاری آلبومین را کند می‌کند، افزایش فشار اسمزی بین آلبومین و زرده کند شده و در نتیجه کیفیت زرده بهبود می‌یابد. اندیس زرده در تخم‌مرغهای حاوی پوشش کربوکسی‌متیل‌سلولز و اسید اولئیک تا پایان هفته سوم نگهداری در محدوده استاندارد (۰/۴۵ – ۰/۳) قرار داشتند. در حالی‌که در تخم‌مرغها فاقد پوشش در زمان مشابه، این اندیس خارج از این محدوده قرار گرفت. این نتیجه بیانگر اهمیت پوشش جهت حفظ کیفیت تخم‌مرغ است.

زرده تخم‌مرغ حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب چند غیر اشباعی می‌باشد. این اسیدهای چرب چند غیراشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار مستعدتر از اسیدهای چرب اشباع می‌باشند. از ارزیابی اندیس اسیدتیوباربیتوریک (TBARS) طی دوره نگهداری می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت تعیین محصولات ثانویه اکسیداسیون لیپید زرده تخم‌مرغ استفاده کرد. همانطوری‌که گفته شد؛ در طول دوره نگهداری تخم‌مرغ، یک سری تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی، از جمله مایع شدن آلبومین، افزایش pH، کاهش شاخص زرده تخم‌مرغ و افزایش سلول‌های هوا، ممکن است اتفاق بیفتد، این تغییرات ممکن است باعث افزایش حساسیت اسیدهای آمینه آزاد و اسیدهای چرب به اکسیداسیون چربی شود، که ممکن است ظرفیت ضداکسیدان تخم‌مرغ را کاهش دهد (۲۹). نتایج تحقیق حاضر نشان داد بکارگیری پوشش نانومرکب علاوه بر فراسنجه‌ها کیفیت داخلی تخم‌مرغ که به آنها اشاره شد، توانست روند اکسیداسیون چربی‌ها در زرده را نیز به تعویق بیندازد. مطالعات نشان داد که کنترل تبادلات گازها با محیط منجر به کمبود اکسیژن موجود جهت تنفس و در نتیجه مهار فرآیندهای متابولیک و در نهایت تأخیر در اکسیداسیون چربی می‌شود (۳۰).

در بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد که سطح پوسته تخم‌مرغ فاقد پوشش در آغاز دوره دارای شکستگی‌ها و حفراتی بود که در انتهای دوره نگهداری این حفرات از نظر کمی و کیفی بیشتر شد. سطح پوسته تخم‌مرغ حاوی پوشش نانومرکب، منسجم‌تر و صاف‌تر بود. گرچه در انتهای دروه نگهداری در این تیمار نیز شکستگی مشاهد شد. خاصیت آمفی‌فیلی کربوکسی‌متیل‌سلولز با افزودن اسید اولئیک و نانو رس افزایش یافت که این امر به‌علت ماهیت اسید اولئیک و ترکیبات آب‌گریزی است که مانع از انتقال رطوبت می‌شود. جذب رطوبت یک پوشش، در درجه اول به ویژگی آبدوستی آن پلیمر یا زیست‌پلیمر و سپس به وجود حفرات و فضاهای خالی در بین زنجیره‌ها بستگی دارد. حضور نانورس و برقراری پیوند هیدروژنی با کربوکسی‌متیل‌سلولز و اسید اولئیک، هر چند که به کاهش گروه‌های OH آزاد منجر می‌شود، اما خود مولکول‌های نانورس نیز دارای گروه‌های OH بوده و بنابراین نمی‌توانند تأثیری بر روی کاهش آبدوستی زیست‌پلیمر داشته باشند. اما قرارگیری لایه‌های نانورس در بین زنجیره‌های زیست‌پلیمر به کاهش فضاهای آزاد بین زنجیره‌ها کمک می‌کند که در این حالت، دیگر فضایی برای جذب و نفوذ مولکول‌های بخار آب باقی نمی‌ماند (۲۴). لذا حصول نتایج مطلوب در بسیاری از فراسنجه‌های مورد مطالعه که به تبادلات گازها و جرم مرتبط است را می‌توان به حفظ نسبی یکپارچگی و پیوستگی در سطح پوسته تخم‌مرغ‌های حاوی پوشش نانومرکب طی دوره نگهداری نسبت داد.

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به‌طور کلی پوشش‌دهی سطح تخم‌مرغ با کربوکسی‌متیل‌سلولز می‌تواند باعث بهبود کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی سطح آن شود. در عین حال بکارگیری اسید اولئیک و نانو رس در قالب یک پوشش نانومرکب کارایی پوشش زیست‌پلیمری را از طریق حفظ یکپارچگی و پیوستگی سطح پوسته تخم‌مرغ بهبود بخشید. لذا با ممانعت یا کاهش سرعت تبادلات گازی، جرمی و ریززنده‌ها موجب بهبود فراسنجه‌های ارزیابی کیفیت داخلی تخم‌مرغ شامل افت وزن، واحد هاو، اندیس زرده، pH سفیده و اندیس اسید تیوباربیتوریک چربی زرده طی و در پایان دوره نگهداری تخم‌مرغ شد.

References

1- Rehault-Godbert S, Guyot N, Nys Y. The Golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. Nutrients. 2019;11:684.
DOI: 10.3390/nu11030684.

2- Miranda JM, Anton X, Redondo-Valbuena C, Roca-Saavedra P, Rodriguez JA, Lamas A, Cepeda A. Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. Nutrients. 2015;7:706-729. DOI: 10.3390/nu7010706.

3- Dada TO, Raji AO, Akinoso R, Aruna TE. Comparative evaluation of some properties of chicken and Japanese quail eggs subjected to different storage methods. Poultry Science Journal. 2018;6(2):155-164. DOI: 10.22069/psj.2018.14403.1308.

4- Shittu TA, Ogunjinmi O. Effect of low cost shell coatings and storage conditions on the raw and cooked qualities of shell egg. CyTA-Journal of Food. 2011;9(1):1-7. DOI: 10.1080/19476330903450423.

5- Xu D, Wang J, Ren D, Wu X. Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance. Coatings. 2018;8:317.
DOI: 10.3390/coatings8090317.

6- Koseman A, Akdemir F, Seker I. Effects of chitosan coating and different storage periods of broiler breeder eggs on growth performance and carcass characteristics. Brazilian Journal of Animal Science. 2020; 49: e20190282.
DOI.org/10.37496/rbz4920190282.

7- Oliveira GS, dos Santos VM, Rodrigues JC, Santana AP. Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating. Poultry Science. 2020; 99:7207-7213.
DOI:10.1016/j.psj.2020.09.057.

8- Roudashtian R, Shabani Sh, Asadi GH. Effect of active coating with carboxymethyl cellulose and tragacanth containing cloves extract on some quality and shelf life of eggs during storage. Food Technology and

Nutrition. 2021; 18(2): 121-132. [In Persian]
9- Mohammadi Sh, Ghanbarzadeh B, Soti M, Ghiasifar Sh, Jalali SH. Application of carboxymethyl cellulose-based edible active coatings containing oleic acid and antimicrobial compounds to improve the quality and increase egg shelf life. Iranian Journal of Food Science and Technology. 2012; 8(2): 235-244. [In Persian]
10- Nasehi B, Barzegar H, Nori M, Jeldani Sh. Evaluation of the effect of carboxymethyl cellulose coating containing nanoclay and peppermint essential oil on egg storage properties. Iranian Journal of Biosystem Engineering. 2017; 48(2): 229-239. [In Persian]
11- Ghanbarzadeh B, Almasi H. Investigating of physical properties of carboxymethyl cellulose-oleic acid composite biodegradable edible films. Iranian Journal of Food Science and Technology. 2009; 6(2): 35-42 [In Persian].
12- Gontard N, Duchez, C, Cuq, J, Guilbert, S. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. International Journal of Food Science and Technology. 1994;29:39-50.
13- Alboofetileh M, Rezaei M, Hosseini H, Abdollahi M. Antimicrobial activity of alginate/clay nanocomposite films enriched with essential oils against three common foodborne pathogens. Food Control. 2014; 36:1-7.
DOI:10.1016/j.foodcont.2013.07.037.
14- Mardani Kiasari M, Khademi Shurmasti D. Effect of lemon grass (*Cymbopogon citratus*) extract and nanoclay in nanocomposite coating on the physicochemical and microbial properties of chicken fillets during refrigerated storage. Iranian Journal of Food Science and Technology. 2020; 106(17): 13-21. [In Persian]
15- Hashemi J, Neves M, Nakajima M. Effects of chitosan/nanoclay bentonite on the mechanical properties, water permeability and microstructure of nanocomposite film. Journal of Food Processing and Preservation. 2018; 10(1): 33-46.
DOI: 10.22069/EJFPP.2018.7517.1175. [In Persian]
16- Lesani S, Rostam zad H, zakipour E, Salimi A. Strengthening the physical and mechanical properties of biodegradable film of carrageenans using nanoclay. Journal of Innovation in Food Science and Technology. 2020; 12(3): 137-149. [In Persian]
17- Suppakul P, Jutakorn K, Bangchokedee Y. Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs. Journal of Food Engineering. 2010;98(2): 207-213.
18- Haugh RR. A new method for determining the quality of an egg. US Egg Poultry. 1937;39:27-49.
19- Funk EM. Egg science and technology. In: Egg Science and Technology. W.J. Stadelman and O.J. Cotterill, eds. AVI Publishing Company, Inc., Westport, CT. 1973.
20- Draper HH, Hadeley M. Malondialdehyde determination as index of lipid peroxidation. Methods Enzym. 1990;186:421-431.
21- Koga O, Fujihara N, Yoshimura Y. Scanning electron micrograph of surface structures of soft-shelled eggs laid by regularly laying hens. Poultry Science. 1982; 61:403-406.
22- Eddin AS, Tahergorabi R. Efficacy of sweet potato starch based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage. Food and Nutritional Sciences Program. 2019;25(5):25-42.
23- Park YS, Yoo IJ, Jeon KH, Kim HK, Chang EJ, Oh, HI. Effects of various eggshell treatments on the egg quality during storage. Asian-Australasian Journal of Animal Science. 2003;16(8):1224-1229.
24- Ghanbarzadeh B, Almasi H, Entezami AK. Study of morphology and inhibitory properties against moisture of biodegradeable bionanocomposite film of CMC nanoclay starch. Journal of Innovation in Food Science and Technology. 2012;5(4):83-92.

25- Mohammadi S, Ghanbarzadeh B, Soti M, Ghiyasifar S, Jalai S. Application of carboxymethyl cellulose based coatings containing oleic acid and antimicrobial compounds for improving quality and extending shelf-life of egg. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 2012;8(2), 235-244. [In Persian]
26- Didar Z. Effects of coatings with pectin and *cinnamomum verum* hydrosol included pectin on physical characteristics and shelf life of chicken eggs stored at 30°C. Nutrition and Food Science Research. 2019; 6 (4): 39-45.
27- Ehsan M, Khademi Shurmasti D. Effect of washing and active nanocomposite coating of carboxymethyl cellulose-nanoclay containing marjoram extract (*Origanum vulgare* L) on egg quality during storage at ambient temperature. Iranian Journal of Food Science and Technology. 2021; 118 (18):107-118.
DOI: 10.52547/fsct.18.09.09. [In Persian]
28- Caner C, Yuceer M. Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage. Poultry Science. 2015; 94: 1665-1677.
29- Liang K, Zu H, Wang X. Effect of storage on n-3 PUFA-enriched eggs. CyTA -Journal of Food. 2020; 18(1): 102-107. DOI: 10.1080/19476337.2020.1713896.
30- Bonilla J, Atares L, Vargas M, Chiralt A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: possibilities and limitations. Journal of Food Engineering. 2012; 110(2): 208- 213. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2011.05.034.

Vol.2/No.1/Summer 2022/Pages 1-13 https://www.qafj.iauk.ac.ir

Effect of Ccarboxymethyl Cellulose-based Nanocomposite Coating on Internal Quality and Eggshell Morphology During Storage at Ambient Temperature

Ali Akbar Sharifi[1], Dariush Khademi Shurmasti[*2]
1-M.Sc., Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran
2-Assistant Professor, Department of Agriculture, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran
*Corresponding Author: Dkhademi@gmail.com
Received: 17/2/2022, Accepted: 27/8/2022

Abstract
In order to investigate the effect of biodegradable nanocomposite edible coatings carboxymethylcellulose-based on the internal quality and morphology of the table eggshell surface an experimental with 120 eggs in a completely randomized design with 4 treatments and 3 replicates were performed. Treatments included uncoated eggs (control), eggs containing carboxymethylcellulose coating, eggs containing carboxymethylcellulose-oleic acid coating and eggs containing carboxymethylcellulose-oleic acid-nanoclay nanocomposite coating. Coating was done by immersion method and the eggs were stored at ambient temperature (25 ± 1^{oc}) for 5 weeks. Internal quality parameters were evaluated at the end of weeks 1, 3 and 5 and eggshell surface morphology at the beginning and end of the experimental period. The results showed that eggs containing nanocomposite coating at the end of storage period have the lowest percentage of weight loss and the lowest numerical value of thiobarbituric acid index ($P<0.05$) and the highest numerical value of albumen pH, the highest numerical values of yolk index and haugh units ($P<0.05$). In addition, the surface of the eggshell containing nanocomposite coating was more integrated and less porous and fractured than the control group. Therefore, the nanocomposite coating of carboxymethylcellulose-oleic acid-nanoclay can be used as a biocompatible packaging for storage eggs at ambient temperature for 5 weeks without adversely affecting the internal quality and eggshell.

Keywords: Biopolymer, Nanocomposite Coating, Egg, Carboxymethylcellulose, Montemorillonite