



تأثیر پوشش نانومرکب بر پایه کربوکسی متیل سلولز بر کیفیت داخلی و ریخت شناسی پوسته تخم مرغ طی دوره نگهداری در شرایط محیط

علی اکبر 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

به منظور بررسی تأثیر پوشش‌های خوراکی نانومرکب زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه کربوکسی متیل سلولز بر کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی سطح پوسته تخم مرغ خوراکی آزمایشی با ۱۲۰ عدد تخم مرغ در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار و ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تخم مرغ‌های فاقد پوشش (شاهد)، تخم مرغ‌های حاوی پوشش کربوکسی متیل سلولز، تخم مرغ‌های دارای پوشش کربوکسی متیل سلولز-اسید الئیک و تخم مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب کربوکسی متیل سلولز-اسید اولئیک-نانورس بودند. پوشش دهی به روش غوطه‌وری انجام شد و تخم مرغ‌ها به مدت ۵ هفته در دمای محیط (۲۵±۱ 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؛ تخم مرغ‌های حاوی پوشش نانومرکب در پایان دوره نگهداری دارای کمترین درصد افت وزنی و کمترین مقدار عددی اندیس اسید تیوباریتوریک ($P < 0.05$) و بیشترین مقدار عددی pH سفیده، بیشترین مقادیر عددی اندیس زرده و واحد هاو ($P < 0.05$) بودند. ضمن اینکه سطح پوسته تخم مرغ‌های 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 کربوکسی متیل سلولز-اسید اولئیک-نانورس به عنوان یک بسته‌بندی زیست‌سازگار جهت انبارمانی تخم مرغ در دمای محیط به مدت ۵ هفته بدون تأثیر نامطلوب در کیفیت داخلی و پوسته استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: زیست پلیمر، پوشش نانومرکب، تخم مرغ، کربوکسی متیل سلولز، مونت‌موریلونیت

مقدمه

داخلی تخم مرغ را تعیین می‌کنند. بنابراین به منظور اطمینان از تازگی و افزایش ماندگاری، بهره‌وری مطلوب از موانع محافظت طبیعی تخم مرغ، 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 تخم مرغ کمک کند، امکان‌پذیر است و در نتیجه آن را برای مصرف انسان حتی در مدت زمان طولانی نگهداری نیز مناسب می‌سازد (۳).

اگرچه پوسته تخم مرغ به عنوان سد حفاظتی طبیعی تخم مرغ مطرح است، اما وجود منافذ ریز موجود در سطح پوسته باعث انتقال جرم عمدتاً دی‌اکسید کربن و رطوبت و همچنین نفوذ میکروبی شده که در نتیجه باعث افت

به دلیل تعادل و تنوع مواد مغذی همراه با قابلیت هضم بالا و قیمت مقرون به صرفه، تخم مرغ به عنوان یک ماده غذایی مهم و با کیفیت غذایی بالا، در رژیم غذایی افراد گنجانده شده و به طور گسترده‌ای در سراسر جهان مصرف می‌شود (۱). علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای، به دلیل پایداری امولسیون، پایداری کف و ژل‌سازی حرارتی خوب، از تخم مرغ در صنایع غذایی استفاده وسیعی می‌شود (۲). با این وجود، فسادپذیری تخم مرغ، قابلیت نگهداری آن‌ها را محدود می‌کند. عمده تفاوت بین تخم مرغ‌های 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

کاتیون‌های آلی، دارای تولناپی 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 سلولوز و تأثیر آن بر حفظ شاخص‌های کیفیت داخلی و ریخت‌شناسی پوسته تخم‌های نگهداری شده به مدت ۵ هفته در دمای محیط طراحی و اجرا شد.

مواد و روش تحقیق

تهیه مواد

کربوکسی‌متیل سلولوز 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 سویه‌های لاین 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 سلولوز، 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 (به میزان ۰/۶ گرم/گرم کربوکسی‌متیل سلولوز) اضافه شد. جهت انحلال کامل کربوکسی‌متیل سلولوز، 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، به مدت ۳ دقیقه در یک مخلوط‌کن خانگی (مولینکس، فرانسه) کاملاً مخلوط شدند.

کیفیت تخم‌مرغ می‌شود. علاوه بر این، پوسته تخم‌مرغ بسیار شکننده است و نمی‌تواند یکپارچگی خود را هنگام حمل و نقل حفظ کند. حتی یک ترک خوردگی کوچک در پوسته تا حد زیادی خطر آلودگی میکروبی را به‌ویژه هنگامی که 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 و کار در دو دسته روش‌های غیرفعال کردن ریزنده‌ها در پوسته تخم‌مرغ و پوشاندن منافذ پوسته با استفاده از پوشش به‌عنوان لایه‌های ممانعتی برای تبادلات جرمی و ریزنده‌ها طبقه‌بندی کرد (۵، ۴). بدین منظور طیف وسیعی از مواد پوشش‌دهنده مانند کیتوزان (۵، ۶)، پکتین (۷)، کربوکسی‌متیل سلولوز (۱۰-۸) مورد استفاده قرار گرفتند. در این میان، کربوکسی‌متیل سلولوز 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 سلولوز یکی از مشتقات مهم سلولوز است که از طریق واکنش آن با پلی‌هیدروکسید سدیم و اسید کلرواستیک تولید می‌شود. لفاف‌های کربوکسی‌متیل سلولوز 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 سلولوز، 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

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

اندازه گیری pH سفیده (آلبومین)

حدود ۲ گرم از سفیده هر نمونه در ۲۰ میلی لیتر آب دیونیزه همگن شد و pH آن با استفاده از pH متر دیجیتال (ATAGO، ژاپن) اندازه گیری شد.

اندازه گیری شاخص زرده (YI)

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

اندازه گیری شاخص اسید تیوباربتوریک زرده (TBARS)

شاخص اسید تیوباربتوریک زرده تخم مرغ بر اساس روش پیشنهادی Draper و Hadeley (۱۹۹۰) اندازه گیری شد. به طور خلاصه ۵ گرم زرده تخم مرغ و ۵۰ میکرولیتر BHT به ۱۵ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه اضافه شد و با سرعت بالا هموزن گردید. سپس ۱ میلی لیتر از ماده هموزن به لوله آزمایش منتقل و ۲ میلی لیتر TBA-تری کلرواستیک اسید اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت دید. سپس نمونه های سرد شده در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شده، جذب سوپرناتانت با اسپکتروفتومتر (Beckman, Fullerton, CA) در ۵۳۲ نانومتر قرائت شد و اکسیداسیون چربی زرده به صورت

جداگانه، محلول ۳ درصد وزنی/وزنی نانورس از طریق انحلال مقدار مناسب مونت موریلونیت در آب مقطر تهیه شد. در مرحله بعد، جهت تهیه محلول نانو مرکب، محلول کربوکسی متیل سلولز حاوی اسید اولئیک به آرامی به محلول نانو رس اضافه شده و به مدت ۴ ساعت عمل هم زدن ادامه یافت (۱۱).

تیمارهای آزمایشی

تخم مرغ های 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. تخم مرغ ها در آزمایشگاه به طور تصادفی در ۴ گروه (هر گروه ۳۰ عدد) شامل تخم مرغ های فاقد پوشش (C، شاهد)، حاوی پوشش کربوکسی متیل سلولز (CMC)، حاوی پوشش کربوکسی متیل سلولز و اسید الئیک (CMC-OA) و حاوی پوشش نانومرکب کربوکسی متیل 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. نمونه گیری طی هفته های اول، سوم و پنجم نگهداری جهت انجام آزمون های شاخص کیفیت داخلی و در شروع و روز پایانی دوره نگهداری (روزهای صفر و ۳۵) جهت بررسی ریخت شناسی سطح پوسته انجام شد. پوشش دهی به روش غوطه وری تخم مرغ ها به مدت ۲ دقیقه در محلول پوششی صورت گرفت و سپس خشک شدند. تخم مرغ های گروه شاهد در همین مدت در آب مقطر غوطه ور شدند.

اندازه گیری افت وزنی (WL)

برای ارزیابی کاهش وزن، تخم مرغ ها بلافاصله بعد از خشک شدن 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) اندازه گیری شد. افت وزنی از تقسیم اختلاف وزن اولیه و نهایی به وزن اولیه تخم مرغ محاسبه و به صورت درصد گزارش شد (۱۷).

اندازه گیری واحد هاو (HU)

گرفته شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P < 0/05$) مقایسه شدند. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 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 ($3/87 \pm 0/08$) درصد) در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب دیده شد ($P < 0/05$).

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 ($P < 0/05$). در پایان هفته پنجم نگهداری، کمترین مقدار در گروه شاهد ($26/16 \pm 0/24$) و بیشترین مقدار در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب ($61/98 \pm 0/98$) دیده شد.

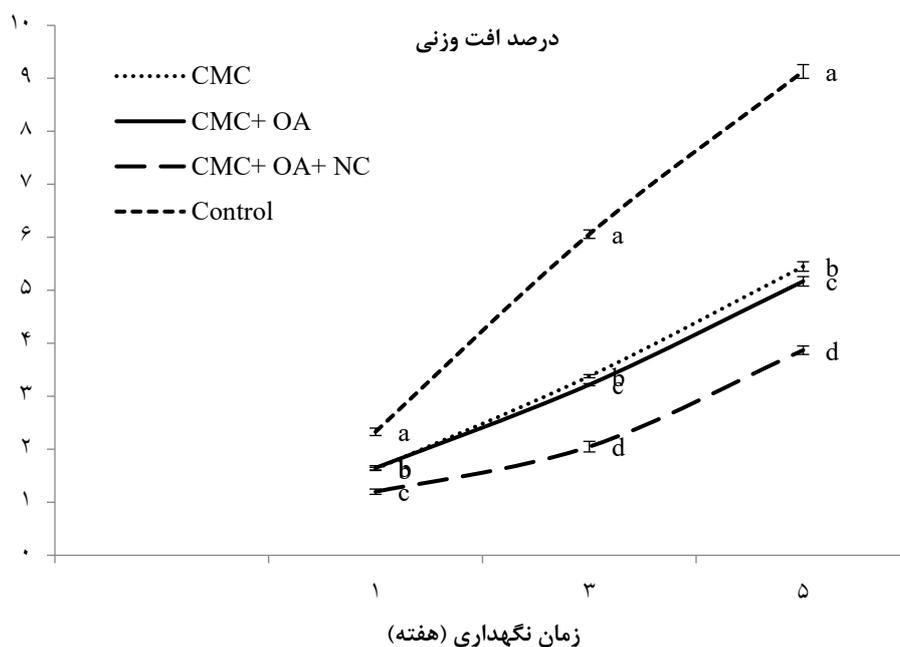
میلی گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم نمونه گزارش گردید (۲۰).

بررسی ریخت‌شناسی پوسته تخم‌مرغ با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

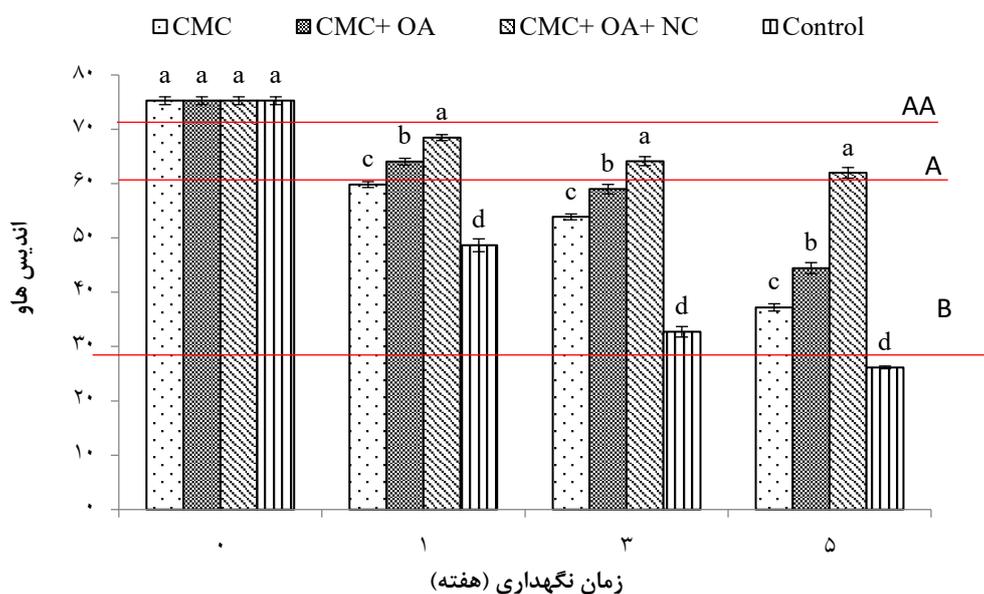
جهت بررسی ریخت‌شناسی سطح پوسته از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (Philips, XL 300) استفاده شد. بدین منظور ابتدا پوسته‌ها با آب شستشو و سپس در دمای 60°C کاملاً خشک شدند. قطعات کوچک (حدود ۱ سانتی‌متر مربع) از پوسته تهیه، توسط چسب نقره بر روی پایه آلومینیومی چسبانده شدند. پایه‌ها در یک دستگاه پوشش‌دهنده/پاشنده تا نقطه بحرانی خشک شدند و برای ایجاد رسانی، 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 آماری SPSS نسخه ۱۶ به روش 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



نمودار ۱- میانگین تغییرات درصد افت وزنی تخم مرغ طی دوره نگهداری
 Fig 1- Average changes of egg weight loss (%) during storage

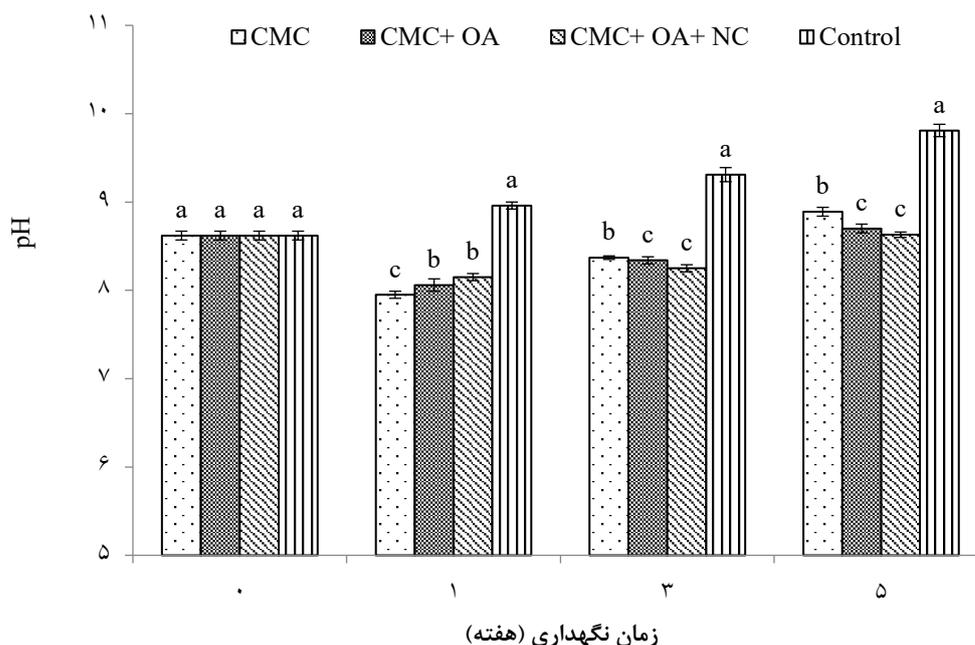


نمودار ۲- میانگین تغییرات اندیس هاو تخم مرغ طی دوره نگهداری
 Fig 2- Average changes of egg haugh unit during storage

(شاهد) بیشتر از تخم مرغ های تیمار شده بود ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین مقدار pH سفیده در پایان دوره نگهداری، به ترتیب در تخم مرغ های گروه شاهد و تیمار شده با پوشش نانومرکب (۹/۸۱ در برابر ۸/۶۳) دیده شد.

pH سفیده (آلبومین)

همچنانکه در نمودار ۳ آمده است؛ در تمامی گروه های مورد بررسی، pH آلبومین طی دوره نگهداری با افزایش مقدار مواجه بود. این مقدار در تخم مرغ های فاقد پوشش



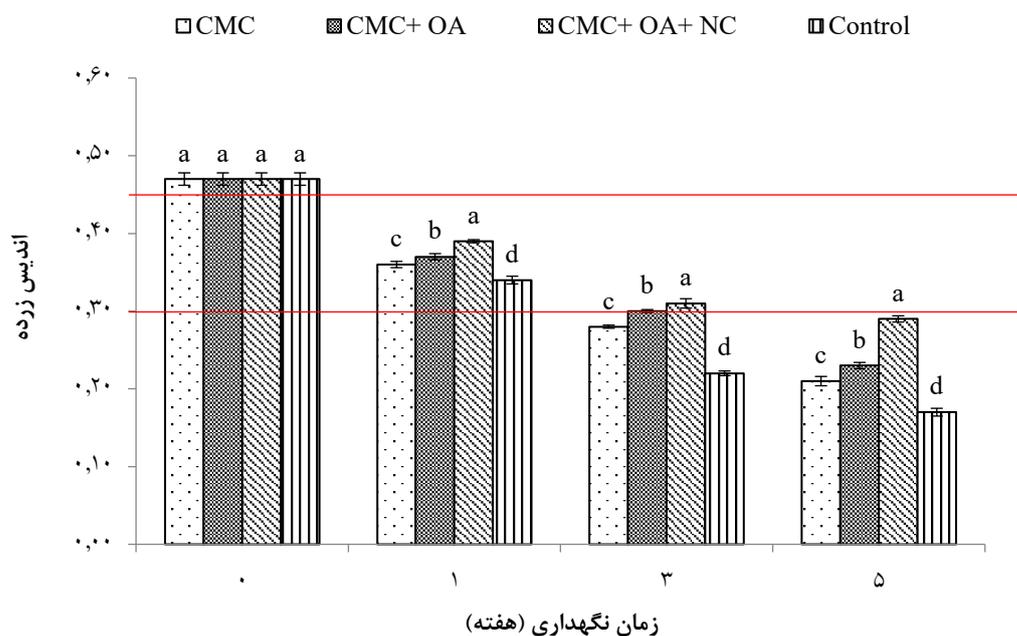
نمودار ۳- میانگین تغییرات pH سفیده تخم مرغ طی دوره نگهداری
 Fig 3- Average changes of egg weight pH during storage

شاخص زرده

در نمودار ۴ تغییرات میانگین لندیس (شاخص) زرده تخم مرغ طی دوره نگهداری در دمای محیط آمده است. این شاخص با افزایش زمان نگهداری تخم مرغ در تمامی گروه‌ها روندی کاهشی نشان داد. در پایان دوره نگهداری، لندیس زرده در تخم‌مرغ‌های گروه شاهد (فاقد پوشش) به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تخم‌مرغ‌های تیمار شده بود ($P < 0.05$). کمترین مقدار این شاخص در پایان دوره نگهداری در زرده تخم‌مرغ‌های فاقد پوشش (0.117 ± 0.05) و بیشترین مقدار در زرده تخم‌مرغ‌هایی دیده شد که حاوی پوشش نانومرکب کربوکسی‌متیل سلولز - نانورس بودند ($0.10 \pm 0.29/0.4$).

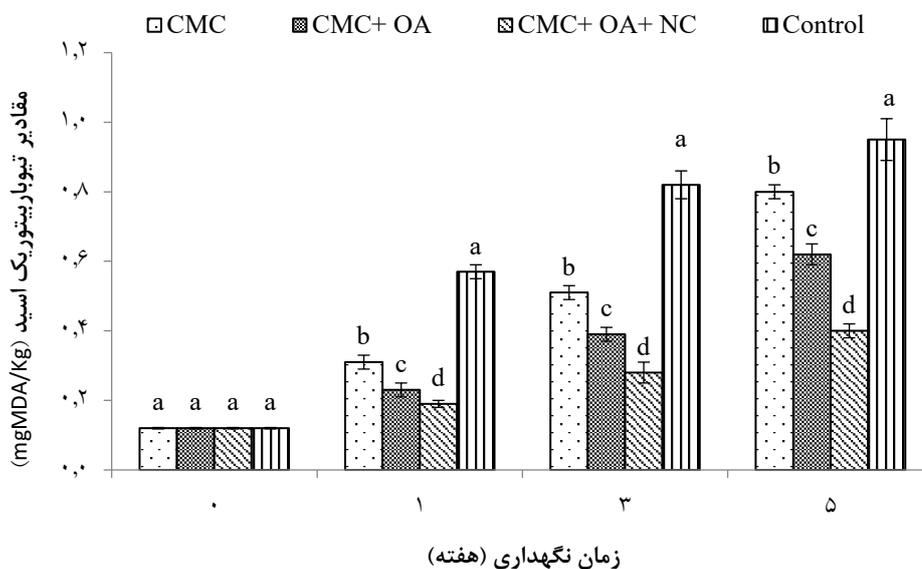
شاخص اسیدتیوباربیتوریک

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 (0.05). در پایان دوره کمترین و بیشترین مقدار عددی این شاخص به‌ترتیب در تخم‌مرغ‌های دارای پوشش نانومرکب و فاقد پوشش (0.40 ± 0.02 در مقابل 0.95 ± 0.06 میلی‌گرم مالون‌دی‌آلدئید در کیلوگرم) دیده شد.



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

Fig 4- Average changes of yolk index during storage

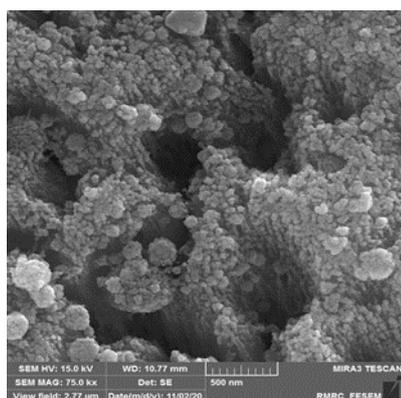


نمودار ۵- میانگین تغییرات شاخص اسید تیوباربیتوریک (میلی گرم مالون دی آلدئید در کیلوگرم تخم مرغ طی دوره نگهداری

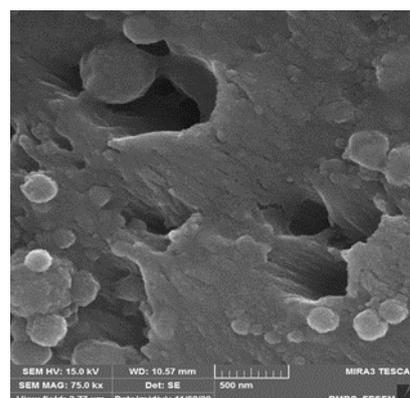
Fig 5- Average changes of egg TBASR (mgMDA/Kg) during storage

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح پوسته تخم مرغ در شکل ۶ آمده است. همانطوری که در تصاویر دیده می شود؛ همانطور که در تصاویر مشاهده می شود، سطح تصاویر تهیه شده از تیمار پوشش دار و فاقد پوشش (شاهد) تفاوت بسیاری با یکدیگر داشتند.

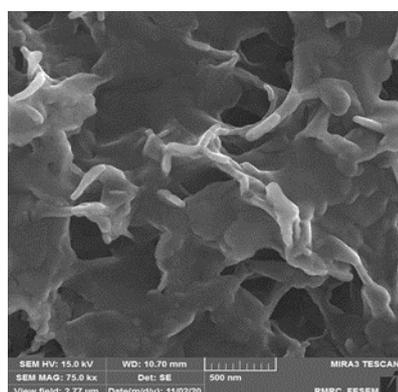
بررسی ریخت شناسی پوسته تخم مرغ با میکروسکوپ الکترونی روبشی



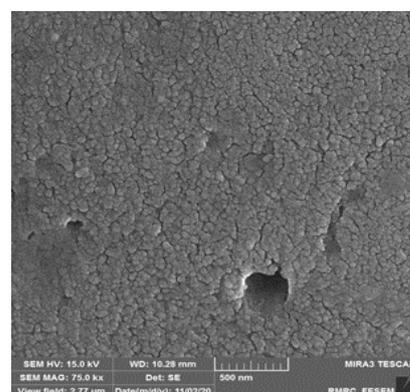
ب



الف



د



ج

شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوسته تخم مرغ: 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

کربوکسی متیل سلولوز، اسید اولئیک و نانورس، ساختاری بسیار فشرده و مستحکم ایجاد می کند که جذب و نفوذ مولکول های آب به درون این ساختار را محدود می سازد. حضور لایه های نانو رس در ماتریکس زیست پلیمری، باعث ایجاد مسیرهای پرپیچ و خمی برای نفوذ مولکول های بخار آب و در نهایت باعث کاهش میزان خروج رطوبت از سطح تخم مرغ می شود (۲۴). محمدی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی اثر پوشش های فعال خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولوز حاوی اولئیک اسید و ترکیبات ضد میکروبی اعلام نمودند، کمترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونه های پوشش داده شده با کربوکسی متیل سلولوز - اسید اولئیک ۱ و ۲ درصد بود که ناشی از حضور اسید اولئیک در ترکیب پوشش کربوکسی متیل سلولوز می باشد (۲۵).

بحث و نتیجه گیری

افت وزنی، واحد هاو، اندیس زرده و pH سفیده از جمله مهم ترین شاخص های ارزیابی کیفیت و تازگی تخم مرغ محسوب می شوند. شاخص کاهش وزن، یکی از ساده ترین روش های ارزیابی ماندگاری تخم مرغ است. تبخیر آب یک فرآیند کاملاً وابسته به شرایط نگهداری همچون دما، رطوبت و میزان تهویه محل نگهداری تخم مرغ است. معمولاً همزمان با افزایش زمان نگهداری تخم مرغ و به دلیل از دست رفتن رطوبت و دی اکسید کربن از طریق منافذ پوسته، افت وزن در تخم مرغ اتفاق می افتد (۲۲). افت وزنی کمتر در تخم مرغ های پوشش دار ممکن است با این واقعیت که پوشش دهی با مسدود کردن منافذ پوسته از خروج رطوبت و گازها جلوگیری می کند، در ارتباط باشد (۲۳). برقراری پیوندهای هیدروژنی قوی بین

از آلومین به زرده از طریق غشای ویتلینی ناشی از فشار اسمزی نسبت داده می‌شود (۲۸). فشار اسمزی بین آلومین و زرده به گرانیوی آلومین مرتبط است که با شکستن کمپلکس لیزوزیم اووموسین کاهش یافت. بنابراین، هنگامی که پوشش مرکب مورد استفاده، از دست‌دادن دی‌اکسیدکربن و بخار آب را کاهش می‌دهد و تغییرات ساختاری آلومین را کند می‌کند، افزایش فشار اسمزی بین آلومین و زرده کند شده و در نتیجه کیفیت زرده بهبود می‌یابد. اندیس زرده در تخم‌مرغ‌های حاوی پوشش کربوکسی‌متیل سلولز و اسید اولئیک تا پایان هفته سوم نگهداری در محدوده استاندارد (۰/۴۵ - ۰/۳) قرار داشتند. در حالی که 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 غیر اشباعی نسبت به اکسیداسیون بسیار مستعدتر از اسیدهای چرب اشباع می‌باشند. از ارزیابی اندیس اسیدتیوباربیتریک (TBARS) طی دوره نگهداری می‌توان به‌عنوان شاخصی جهت تعیین محصولات ثانویه اکسیداسیون لیپید زرده تخم‌مرغ استفاده کرد. همانطوری که گفته شد؛ در طول دوره نگهداری تخم‌مرغ، یک سری تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی، از جمله مایع شدن آلومین، 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 ضد اکسیدان 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).

بر اساس نتایج مطالعه حاضر با افزایش زمان نگهداری مقادیر pH در تمامی تیمارها افزایش یافت. افزایش pH سفیده به دلیل 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 کربوکسی‌متیل سلولز 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 آلومین 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 آلومین، شکسته شدن پیوند اووموسین - 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 حالی که 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 کربوکسی‌متیل سلولز به دلیل 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 به دلیل آبکی شدن و مسطح شدن زرده است که به نفوذ مداوم آب

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*

در بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی مشاهده شد که سطح پوسته تخم مرغ 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 تخم مرغ حاوی پوشش نانومرکب، منسجم‌تر و صاف‌تر بود. گرچه در انتهای دوره نگهداری در این تیمار نیز شکستگی مشاهده شد. خاصیت آمفی‌فیلی کربوکسی‌متیل سلولوز با افزودن اسید اولئیک و نانورس افزایش یافت که این امر به علت 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 کربوکسی‌متیل سلولوز 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 تبدلات گازها و جرم مرتبط است را می‌توان به حفظ نسبی یکپارچگی و پیوستگی در سطح پوسته تخم مرغ‌های حاوی پوشش نانومرکب طی دوره نگهداری نسبت داد.

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

- 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 biodegradable bionanocomposite film of CMC nanoclay starch. Journal of Innovation in Food Science and Technology. 2012;5(4):83-92.
- Nutrition. 2021; 18(2): 121-132. [In Persian]
- 9- Mohammadi Sh, Ghanbarzadeh B, Soti M, Ghasifar 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

- 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.
- 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



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

Ali Akbar Sharifi¹, 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 ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$) 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