

食品包装

壳聚糖/纳米蒙脱土涂膜对清洁鸡蛋的保鲜效果

易绍忠, 刘琴, 徐丹, 李代明

(西南大学, 重庆 400715)

摘要: **目的** 在壳聚糖基材中添加纳米蒙脱土制备纳米复合涂膜, 探究其对鸡蛋的保鲜效果。**方法** 分别添加质量分数为 1%、5%、9% 的 MMT 到壳聚糖乙酸溶液中, 超声分散后对鸡蛋进行涂膜处理。将空白对照组与各涂膜组的鸡蛋样品在 25 °C、相对湿度为 60% 的条件下贮存, 定期测定其感官指数、失重率、蛋黄指数、蛋清 pH 值、哈夫单位等理化指标。**结果** 当 MMT 的质量分数为 1% 时, 纳米复合涂膜可显著改善鸡蛋的外观品质, 降低其失重率, 并能较好地维持鸡蛋品质。综合比较各指标发现, 该处理组的鸡蛋在贮存 7 周时的品质与空白对照组贮存 3 周时的品质相当。MMT 的添加量过高时, 由于 MMT 的团聚影响了涂膜的阻隔性, 对复合涂膜保鲜效果反而有不利影响。**结论** MMT 质量分数为 1% 的壳聚糖基纳米复合涂膜可有效延长鸡蛋在常温下的货架期, 且安全可降解, 具有良好的应用前景。

关键词: 鸡蛋保鲜; 壳聚糖; 纳米蒙脱土; 涂膜

中图分类号: TS205.9; TS253.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)07-0043-06

Preservation Effects of Chitosan/Nano-montmorillonite Coating on Clean Eggs

YI Shao-zhong, LIU Qin, XU Dan, LI Dai-ming
(Southwest University, Chongqing 400715, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of nano-composite coating (prepared by adding nano-montmorillonite (MMT) to chitosan (CS) on the preservation of eggs. CS/MMT composite coating solution was prepared by addition of 1%, 5% and 9% MMT into CS solution, respectively. After ultrasonic dispersion, coating was applied on eggs. Then the egg samples of blank control group and coating group were stored at 25 °C with the relative humidity of 60%. The physicochemical indexes of eggs, including sensory index, weight loss ratio, yolk index, albumen pH value and Haugh unit were measured regularly. When MMT content was 1%, the nano-composite coating could significantly improve the exterior quality, reduce the weight loss ratio, and effectively maintain the quality of eggs. With comprehensive comparison of all indices, it was found that the quality of eggs with composite coating stored for 7 weeks was almost equivalent to that of the control group stored for 3 weeks. However, when MMT content was excessively high, the barrier property of coating was affected adversely by the aggregation of MMT, which compromised their preservation effects on eggs. CS-based nano-composite coating with 1% MMT is able to extend the shelf life of eggs considerably under ambient conditions. As a safe and biodegradable coating material, it shows great potential to be applied in fresh-keeping of eggs.

KEY WORDS: egg preservation; chitosan; nano-montmorillonite; coating

鸡蛋是我国常见的副食品种, 含有丰富的蛋白质、磷脂质、脂肪、矿物质和维生素等营养物质, 且消化吸收率可达 98% 以上^[1], 因此深受消费者喜爱。近年来, 由于不断爆发的禽流感等疾病, 鸡蛋的清洗杀菌问题受到关注, 但是清洗会破坏鸡蛋的外壳膜,

降低其保护作用, 进而影响鸡蛋在贮存期间的品质。对清洁蛋采用涂膜处理则可避免此问题, 并延长鸡蛋的货架期。目前, 用于鸡蛋涂膜的有液体石蜡^[2]、食用油^[3]、合成高分子^[4]和天然高分子^[5]等, 其中, 常用的天然高分子有壳聚糖^[6]、淀粉^[7]、乳清蛋白^[8]、

收稿日期: 2016-12-02

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (XDJK2016E115)

作者简介: 易绍忠 (1988—), 男, 西南大学硕士生, 主攻食品包装材料。

通讯作者: 徐丹 (1983—), 女, 西南大学副教授, 主要研究方向为纳米复合包装材料。

虫胶^[9]等,具有生物相容性好、可降解等特点,因此具有巨大的应用潜力。

壳聚糖(CS)具有良好的成膜性、气体阻隔性和特有的抗菌性,来源广泛,在鸡蛋的涂膜保鲜中已有广泛研究。壳聚糖在鸡蛋表面形成的半透性生物膜极薄,力学性能较差,不能较好抑制蛋内水分和 CO₂ 的外逸,且稳定性会随时间延长而降低^[10],因此,可在壳聚糖中添加纳米材料以改善其气体阻隔性、水蒸气敏感性和稳定性,达到增强保鲜效果的目的。蒙脱土(MMT)是一种成本低廉、无毒无味且来源较广的无机纳米材料,被广泛用作聚合物填料。采用蒙脱土制成的纳米复合膜,作为食品包装材料,能有效提高壳聚糖复合膜的断裂伸长率和拉伸强度,还有一定的抑菌性能^[11]。刘晓菲等^[12]研究证实了壳聚糖/纳米蒙脱土复合涂膜对枇杷保鲜效果好于单一的壳聚糖,可能也是由于纳米蒙脱土的加入改善了壳聚糖膜的力学性能和气体阻隔性。

壳聚糖/纳米蒙脱土复合涂膜对鸡蛋的涂膜保鲜效果目前尚未有报道,因此,文中以壳聚糖/纳米蒙脱土复合液对鸡蛋进行涂膜后,在常温条件下定期测定涂膜鸡蛋的感官指标和理化指标,以探究该复合涂膜对鸡蛋的保鲜作用,为纳米复合涂膜在鸡蛋保鲜中的应用提供一定的理论依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

鲜鸡蛋(当日生产)购自重庆正大农牧食品有限公司,壳聚糖(脱乙酰度为 90.1%,分子量为 20 万)购自潍坊海之源生物制品有限公司,钠基蒙脱土购自美国德克萨斯州南方黏土产品公司,其他试剂均为分析纯。扫描电镜为日本电子 JSM-6510LV。

表 1 蛋白、蛋黄及系带情况与相应的表示符号

Tab.1 Conditions of yolk, albumen, band and their symbols

表示符号	蛋白	蛋黄	系带
+++	浓蛋白很多很稠,不流散	正常,近圆球型	完整、粗白
++	浓蛋白较多较稠,不流散	弹性降低,扁球型	变细或一端脱落
+	浓蛋白较少,流散	蛋黄扁平	完全脱落或极细
-	浓蛋白极少	蛋黄膜破裂或散黄	完全消失

1.3.2 鸡蛋理化指标的测定

将样品用电子天平称量,在贮存前质量为 m_0 ,间隔一定时间后质量为 m_t ,按式(1)计算鸡蛋的失重率^[13]:

$$\text{失重率} = \left(\frac{m_t - m_0}{m_0} \right) \times 100\% \quad (1)$$

将鸡蛋内容物倒于玻璃平面,在浓蛋白最宽部分选取 3 个点,分别测出其高度值并取平均数为蛋白高

1.2 样品的制备

1.2.1 涂膜液的制备

称取 1 g 壳聚糖于烧杯中,加入体积分数为 1% 的乙酸溶液 50 mL,搅拌至完全溶解。按壳聚糖固体总质量的 1%, 5%, 9% 分别称取 MMT,溶于乙酸溶液中,搅拌均匀后超声振荡 30 min,然后分别添加到上述壳聚糖溶液中。继续搅拌均匀后制得壳聚糖/纳米蒙脱土复合涂膜液,表示为 CS-MMT- x ,其中 x 为 MMT 的质量分数。空白壳聚糖溶液在制备过程中除不加 MMT 外,其余步骤与上述相同。

1.2.2 分组与处理

对鸡蛋进行筛选,挑选出无裂缝、大小均匀的鸡蛋。在 25 ℃、相对湿度为 60% 的条件下贮藏 1 天后,随机抽出 5 枚鸡蛋进行感官指数、蛋黄指数、质量损失率、哈夫单位和蛋白 pH 值等基础数据测定,作为贮藏前的数据。除不做任何处理组(CK1)外,剩下鸡蛋用清水清洗后自然晾干,然后分为 5 组,分别为清水清洗组 CK2、壳聚糖涂膜组 CS,以及加入了 MMT 的复合涂膜组 CS-MMT-1, CS-MMT-5, CS-MMT-9(MMT 的质量分数分别为 1%, 5%, 9%),每组 40 枚。将涂膜各组分别放入配好的上述 4 种涂膜液中浸泡 5 min,再用漏勺捞出。将风干后的鸡蛋依次进行编号、称量,然后置于恒温箱内贮存,温度为 25 ℃,相对湿度为 60%。每周随机取样测定各项指标。

1.3 鸡蛋品质测定方法

1.3.1 感官评价

从鸡蛋外观、气味、蛋黄、蛋白及系带等方面进行感官评价,标准与表示方法见表 1。

度。用式(2)计算鸡蛋的哈夫单位^[14]:

$$\text{哈夫单位} = 100 \lg(h - 1.7m^{0.37} + 7.6) \quad (2)$$

式中: h 为浓蛋白高度(mm); m 为鸡蛋质量(g)。

根据美国农业部哈夫单位划分禽蛋等级与食用标准的规定^[15],哈夫单位在 72 以上的为 AA 级,55~71 为 A 级,31~54 为 B 级,30 以下为 C 级。把鸡蛋沿横向磕破,将内容物全部倒于玻璃平面,用精确度为 0.01 mm 的游标卡尺测量蛋黄直径和蛋黄高度。采用

式 3)计算蛋黄指数^[13]:

蛋黄指数=蛋黄高度/蛋黄直径 (3)

将蛋清与蛋黄分离后,把蛋清充分搅拌均匀,用 pH 计测量蛋清的 pH 值。

1.3.3 蛋壳表面和截面扫描电镜的测定

分别取小块蛋壳的表面和截面,喷铂后采用扫描电镜进行观察。

2 结果与分析

2.1 鸡蛋的感官测评分析

相较于 CK1 和 CK2 组,涂膜样品的蛋壳手感光滑,并具有更高的光泽度。贮存前期鸡蛋未腐败,气味均正常,无异味。贮存第 7 周,CK1 和 CK2 组部分鸡蛋出现腐败变质现象,散发恶臭气味。鸡蛋蛋白、蛋黄和系带在贮存期间的变化见表 2。

表 2 涂膜处理对鸡蛋感官指标的影响
Tab.2 Effects of coating treatment on sensory index of eggs

分组	贮存时间/周							
	0	1	2	3	4	5	6	7
CK1	+++	+++	++	++	+	-	-	-
CK2	+++	++	++	+	+	-	-	-
CS	+++	+++	+++	++	++	+	+	-
CS-1-MMT	+++	+++	+++	+++	++	++	+	+
CS-5-MMT	+++	+++	+++	++	++	+	+	-
CS-9-MMT	+++	+++	+++	++	+	+	-	-

由表 2 可知,贮存 7 周后,不同样品的感官指标间差异较大。CK1 和 CK2 组在第 5 周时,浓蛋白变得极少,在第 7 周系带几乎脱落并出现了散黄现象。各涂膜组中,CS 组在前 6 周都能较好地维持鸡蛋的外观品质。纳米复合涂膜组的品质则与涂膜中 MMT 的含量有关。当 MMT 质量分数为 1%时,涂膜样品可在整个贮藏期间较好地维持其外观品质,但随着 MMT 含量的增加,效果反而变差。

2.2 鸡蛋的理化指标分析

2.2.1 涂膜处理对鸡蛋失重率的影响

各样品在贮存期间的失重率见图 1。随着贮存时间的延长,由于水分的散失和 CO₂ 的逸出,各组的失重率均不断上升,但涂膜组的上升速率显著低于 CK1 和 CK2 组。贮存 7 周后,CK 组的失重率最高,达 9.8%,而失重率最小的是 CS-MMT-1 组,为 7.31%。由此说明,涂膜可增强蛋壳的阻隔性,有效抑制鸡蛋中的水分散失。对于纳米复合涂膜而言,MMT 质量分数为 1%时,涂膜对失重率的降低效果最为显著,说明涂膜的阻隔性与其中 MMT 的含量有关。

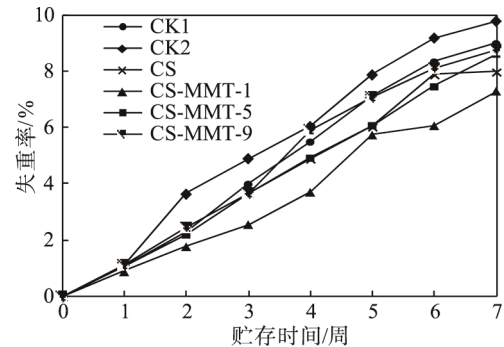


图 1 涂膜处理对鸡蛋在贮存期间的失重率的影响
Fig. 1 Effects of coating treatments on the weight loss rate of eggs

2.2.2 涂膜处理对鸡蛋哈夫单位的影响

哈夫单位是目前国际上常用的评价鸡蛋新鲜度的指标^[16]。涂膜处理对鸡蛋样品哈夫单位的影响见图 2,各组鸡蛋的哈夫单位随贮存时间延长均有所下降,而 CK2 组下降得最快。贮存 3 周时,CK2 组的哈夫单位数值已经低于 55,品质由 A 级降为 B 级,不再适合消费者食用。第 6 周时,只有 CS-1-MMT 组的哈夫单位大于 55,鸡蛋仍属 A 级可食用,其他组均降为 B 级。到第 7 周时,所有组的哈夫单位均降至 B 级,因此,根据各组样品哈夫单位的数值变化可判断,CS-1-MMT 涂膜可最有效地维持鸡蛋的食用品质。

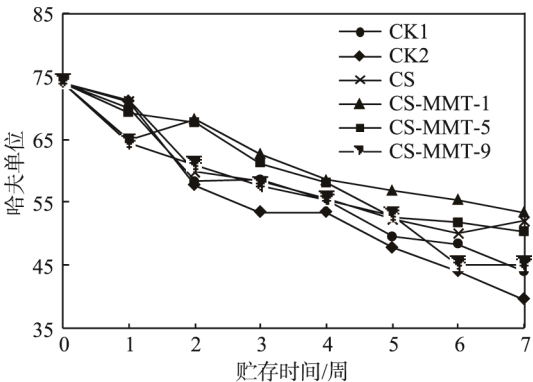


图 2 涂膜处理对鸡蛋样品哈夫单位的影响
Fig.2 Effects of coating treatment on the Haugh unit of eggs

2.2.3 涂膜处理对鸡蛋蛋黄指数的影响

鲜蛋贮存期间由于蛋白中稀蛋白增加,蛋黄中的水分含量也随之增加,因此蛋黄的高度变小,体积增大,蛋黄指数降低。涂膜处理对蛋黄指数的影响见图 3,可知,各样品的蛋黄指数在贮存期间逐渐降低。贮存 7 周时,CS 组,CS-MMT-1 组,CS-MMT-5 组和

CS-MMT-9 组的蛋黄指数分别是 0.23, 0.28, 0.24, 0.20, 而 CK1 组和 CK2 组的蛋黄指数仅为 0.15 和 0.16。根据鸡蛋分级标准^[17], 此时只有 CS-MMT-1 组的鸡蛋属于次蛋, 其他组均已属于陈旧蛋。当蛋黄指数小于 0.18 时, 易出现散黄蛋^[5], 而从感官测评结果也可知, CK1 组和 CK2 组散黄蛋较多, 因此, 从蛋黄指数的变化也可得出 CS-MMT-1 组的保鲜效果最好, 其次是 CS 组和 CS-MMT-5 组。

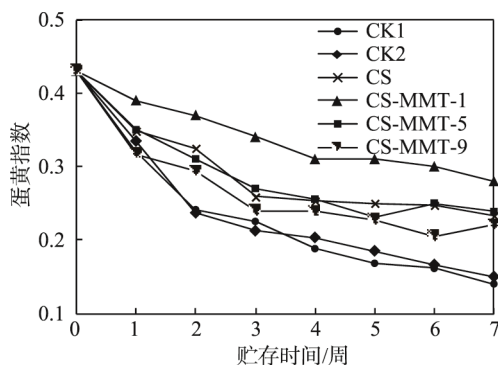


图3 涂膜处理对蛋黄指数的影响

Fig.3 Effects of coating treatment on the Yolk index of eggs

2.2.4 涂膜处理对鸡蛋蛋清 pH 值的影响

蛋清 pH 值是鸡蛋贮存过程中变化最快的品质指标, 也可明显反映出鸡蛋的品质变化。不同处理对蛋清 pH 值的影响见图 4, 可知, 鲜蛋的蛋清 pH 值为 7.9。贮存 1 周后, 各组的蛋清 pH 值均显著上升。其中, CK1 和 CK2 组的上升速度最快, 且在整个贮存期间, 其蛋清 pH 值均大于 9.0。相较而言, 涂膜组的蛋清 pH 值较低, 且在贮存第 4 周后呈下降的趋势。由于蛋内 CO_2 的逸散, 蛋清 pH 值快速上升, 但受到酶和细菌的作用, 蛋白质分解使 CO_2 的逸散会减少, 使蛋清碱性下降。随着蛋白质继续分解, 蛋清中氨的

含量逐渐增多, pH 值又会上升^[18]。涂膜组中的 CS-1-MMT 组在第 7 周时 pH 为 8.53, 说明涂膜能明显抑制蛋白 pH 值的升高, 一方面是由于涂膜的阻隔性可抑制 CO_2 的逸出, 另一方面涂膜也可有效防止蛋清中蛋白质的分解。

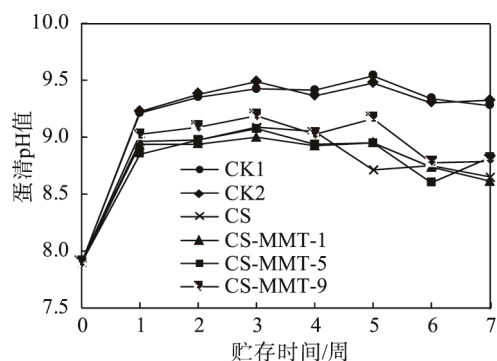


图4 不同处理对蛋清 pH 值的影响

Fig.4 Effects of different coating treatment on the pH value of egg albumen

2.3 蛋壳形貌分析

为观察蛋壳涂膜前后的形貌变化, 采用扫描电镜得到了各组样品蛋壳的截面图和表面图。CK1, CK2 和 CS 组蛋壳的横截面见图 5 (标尺长度为 $5\mu\text{m}$)。由图 5 可观察到, CK1 表面有少量纤维状和片状物质, 可能是鸡蛋外壳的角质层或沾染的杂质, 而经过清洗后的 CK2 表面则较为干净。CS 表面可明显观察到壳聚糖涂膜层, 厚度约为 $3.7\mu\text{m}$, 且涂膜与蛋壳外表面形成了良好、紧密的结合。由此说明壳聚糖与蛋壳表面具有较好的亲和力, 可在其表面形成微米级的保护层, 从而阻止鸡蛋内部水蒸气和 CO_2 的逸出, 并防止外界灰尘和细菌的侵染。

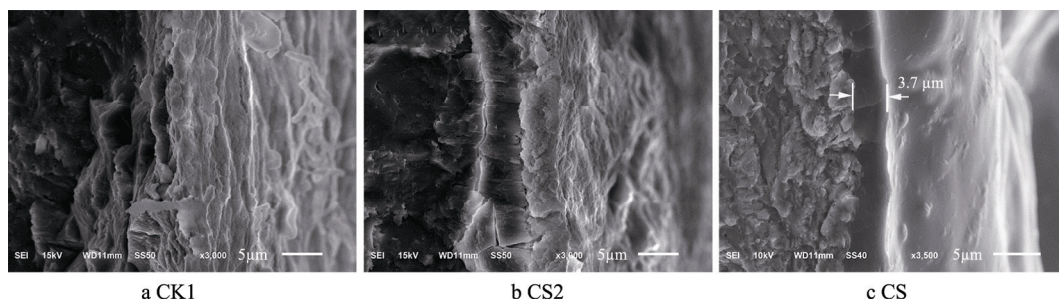


图5 蛋壳横截面的 SEM

Fig.5 SEM images of egg shell

各样品蛋壳外表面的电镜见图 6, 放大倍数为 200, 标尺长度为 $100\mu\text{m}$ 。同样可观察到, CK1 表面有纤维状物质, 而清洗后的 CK2 表面则较为干净, 但 CK1 和 CK2 表面均有很多裂纹, 导致了鸡蛋内部气体和水分的散失, 同时提供了外界细菌侵染的通道。虽然蛋壳的外表面具有由碳水化合物和脂质组成的角质层, 但该角质层很难在蛋壳表面达到 100% 的

覆盖^[19], 由图 6 可观察到 CK1 和 CK2 表面颜色深浅不一, 因此保护效果有限。经涂膜后, 蛋壳表面都覆盖上了一层致密的高分子层, 对裂缝起到了很好的填补作用, 起到了良好的阻隔作用。由此可解释涂膜后的鸡蛋样品具有较低的失重率和较为稳定的 pH 值, 同时, 由于壳聚糖本身具有一定抗菌性, 可较好地抑制细菌在蛋壳表面的生长和侵入^[20], 因此, 涂膜处理

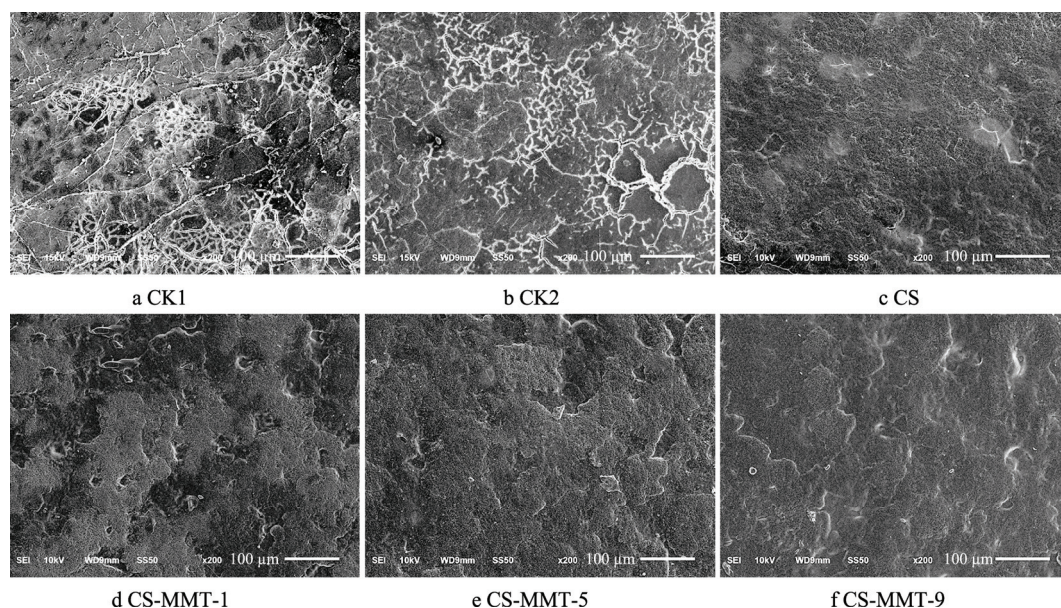


图 6 蛋壳外表面的 SEM (×200)

Fig.6 SEM images of egg shell surface (×200)

对鸡蛋具有显著的保鲜效果,主要原因在于涂膜材料可在鸡蛋表面形成致密的、具有阻隔性的薄膜^[21]。

不同涂膜组的鸡蛋品质间也存在显著差异,为探究其原因,对涂膜组的外壳膜表面形貌进行了放大观察(放大倍数为 1000,标尺为 10 μm),涂膜鸡蛋的蛋壳外表面 SEM 见图 7。与壳聚糖涂膜相比,在壳聚糖/蒙脱土复合涂膜表面可观察到少量微米级的粒子,可能是团聚的蒙脱土。当蒙脱土的质量分数为 1%时,该团聚体的粒径较小且数量较少。随着蒙脱土含量的提高,该团聚体的数量和粒径均有所增加。在 CS-MMT-9 样品的涂膜表面可观察到粒径为 10~20 μm 的大颗粒(如图 7 箭头所示)。对纳米复合膜而言,纳米粒子对复合膜阻隔性的改善程度与其在基材中的分布情况有关。当团聚严重时,纳米粒子的添

加对复合膜的阻隔性反而会起到相反的作用,因此,结合上述各组鸡蛋的品质变化情况可推测,当蒙脱土在涂膜中的含量为 5%及以上时,可能会降低复合涂膜的阻隔性,反而给涂膜的保鲜效果带来不利的影响。

3 结语

探讨了壳聚糖/纳米蒙脱土复合涂膜对鸡蛋的保鲜效果。综合比较各组鸡蛋外观和理化指标的变化情况,可得出各组鸡蛋在常温下的货架期由长到短依次为 CS-MMT-1>CS>CS-MMT-5>CS-MMT-9>CK1>CK2。其中,CS-MMT-1 组的鸡蛋在 25 °C 贮存 7 周后,质量损失率为 7.31%,蛋黄指数为 0.28,哈夫单位为 53.40,蛋清 pH 值为 8.53,与 CK1 组贮存 3 周时的品质相似,因此,质量分数为 1%MMT 的复合涂膜可将鸡蛋在常温下的货架期由不到 3 周延长至 7 周。观察蛋壳表面涂膜的形貌发现,涂膜各组蛋壳表面均有厚度为微米级的均匀致密的高分子膜层,对鸡蛋可起到良好的保护作用。质量分数为 1%的蒙脱土在壳聚糖基材中可达到良好分散,对壳聚糖涂膜的阻隔性起到了一定的改善作用,因此能有效保持鸡蛋的品质。经涂膜后,蛋壳硬度和光泽度也有所增强,对鸡蛋的商品性有一定提高,因此,该复合涂膜作为绿色安全的涂膜材料,在清洁鸡蛋的保鲜方面具有巨大应用潜力。

参考文献:

- [1] 张兰威,牟光庆,许高升. 蛋制品工艺学[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1996.
ZHANG Lan-wei, MU Guang-qing, XU Gao-sheng. Technology of Egg Product[M]. Harbin: Heilongjiang

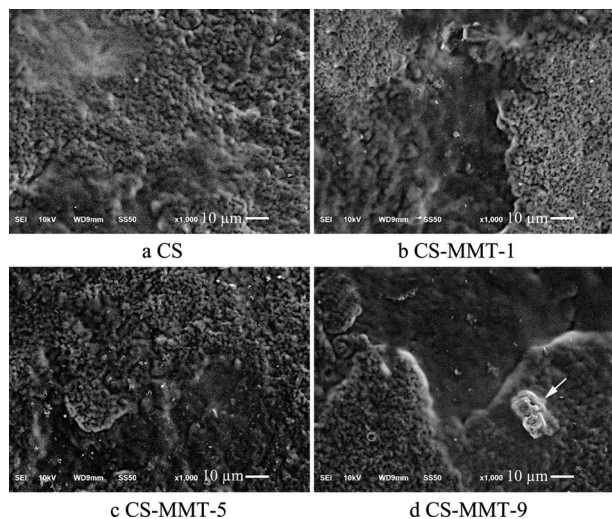


图 7 涂膜鸡蛋的蛋壳外表面 SEM(×200)

Fig.7 SEM images of egg shell surface of coated eggs (×200)

- Science and Technology Publishing House, 1996.
- [2] 赵进沛, 王育才, 李清亚. 鸡蛋涂膜保鲜法的研究与筛选[J]. 四川畜禽, 1995(6): 14—15.
ZHAO Jin-pei, WANG Yu-cai, LI Qing-ya. The Research and Selection on Egg Coating Preservation[J]. Sichuan Livestock, 1995(6): 14—15.
 - [3] 张帅, 马美湖, 蔡朝霞. 4 种复合型涂膜剂对鸡蛋的保鲜效果[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 284—288.
ZHUANG Shuai, MA Mei-hu, CAI Zhao-xia. Preservation Effect of Four Composite Natural Coatings on Eggs[J]. Food Science, 2013, 34(8): 284—288.
 - [4] 熊飞, 黄丽燕, 宋亮, 等. 不同涂膜材料对鸡蛋保鲜品质影响的研究[J]. 中国家禽, 2015, 37(19): 40—43.
XIONG Fei, HUANG Li-yan, SONG Liang, et al. Effect of Different Coating Materials on Preservation of Eggs[J]. China Poultry, 2015, 37(19): 40—43.
 - [5] 李文娟, 陈炼红. 新型可食性涂膜剂在鸡蛋保鲜技术中的应用[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(14): 4432—4435.
LI Wen-juan, CHEN Lian-hong. Application of New Edible Coating in Egg Preservation Technology[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2014, 42(14): 4432—4435.
 - [6] SURESH P V, RATHINA R K, NIDHEESH T, et al. Application of Chitosan for Improvement of Quality and Shelf Life of Table Eggs under Tropical Room Conditions[J]. Journal of Food Science Technology, 2015, 52(10): 6345—6354.
 - [7] 谢静, 傅国栋, 赵思明. 超微细化淀粉涂膜保鲜鸡蛋的研究[J]. 农产品加工, 2011(11): 55—58.
XIE Jing, FU Guo-dong, ZHAO Si-ming. Ultrafine Starch Coating Preservation on Eggs[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011(11): 55—68.
 - [8] 豆丽丽, 王建清. 浓缩乳清蛋白涂膜鸡蛋保鲜的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 6—9.
DOU Li-li, WANG Jian-qing. Research of Egg Fresh-keeping by Whey Protein Concentrated Coating[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 6—9.
 - [9] 张启如, 马涛, 王勃, 等. 虫胶涂膜对鸡保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 363—365.
ZHANG Qi-ru, MA Tao, WANG Bo, et al. Effect of Freshness of Chicken Eggs by Shell-lac Coating[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(20): 363—365.
 - [10] LEGENDRE G, VALLEE-REHEL K, LINOSSIER I, et al. Evaluation of Ionically Cross-linked Chitosan Coating Aimed at Eggs' Protection[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50: 736—743.
 - [11] RUBILAR J F, CANDIA D, COBOS A, et al. Effect of Nanoclay and Ethyl-N Alpha-dodecanoyl-L-arginate Hydrochloride (LAE) on Physico-mechanical Properties of Chitosan Films[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 206—214.
 - [12] 刘晓菲, 程春生, 覃宇悦, 等. 壳聚糖/纳米蒙脱土复合涂膜对枇杷保鲜的研究[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(4): 168—171.
LIU Xiao-fei, CHENG Chun-sheng, QIN Yu-yue, et al. Preservation of Loquat by Chitosan/nano-Montmorillonite Composite Film[J]. Food Research and Development, 2011, 32(4): 168—171.
 - [13] 洪伯铿, 张敏, 孙国勇, 等. HCF 鸡蛋保鲜剂的研制及应用研究[J]. 食品工艺科技, 2004, 25(5): 73—75.
HONG Bo-keng, ZHANG Min, SUN Guo-yong, et al. Research and Application of HCF on Keeping Eggs Fresh[J]. Science and Technology of Food Industry, 2004, 25(5): 73—75.
 - [14] 梁成云, 孟令丽, 王影, 等. 不同保鲜剂对鸡蛋保鲜效果的研究[J]. 食品工艺科技, 2008, 29(1): 265—268.
LIANG Cheng-yun, MENG Ling-li, WANG Ying, et al. Effect of Different Agents on Freshness-keeping of Eggs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(1): 265—268.
 - [15] HAUGH R R. A New Method for Determining the Quality of an Egg[J]. US Egg Poult, 1937, 39: 27—49.
 - [16] 李剑锋, 王树才. 鸡蛋贮藏期间品质特征变化的研究[J]. 湖北农机化, 2008(6): 27—28.
LI Jian-feng, WANG Shu-cai. The Change of Egg Quality Characters during the Period of Study[J]. Hubei Nong Ji Hua, 2008(6): 27—28.
 - [17] 刘会珍. 鸡蛋涂膜保鲜工艺的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
LIU Hui-zhen. Study on the Preservation Techniques of Eggs with Film[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
 - [18] YÜCEER M, SEÇKİN ADAYB M, CANER C. Ozone Treatment of Shell Eggs to Preserve Functional Quality and Enhance Shelf Life during Storage[J]. Journal of Food Agriculture, 2016, 96: 2755—2763.
 - [19] SAMIULLAH S, ROBERTS J. R. The Eggshell Cuticle of the Laying Hen[J]. Worlds Poultry Science Journal, 2014, 70(4): 693—707.
 - [20] TORRICO D D, WARDY W, CARABANTE K. M. et al. Quality of Eggs Coated with Oil Chitosan Emulsion: Combined Effects of Emulsifier Types, Initial Albumen Quality, and Storage[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 35—41.
 - [21] MUHAMMED Y, CENGİZ C. Antimicrobial Lysozyme-chitosan Coatings Affect Functional Properties and Shelf Life of Chicken Eggs during Storage[J]. Journal of Food Agriculture, 2014, 94: 153—162.