

付瑞敏, 杨雪, 夏铁骑, 等. 一种新型生物活性膜的制备及对鲜切苹果的保鲜效果[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 182–189.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.026

一种新型生物活性膜的制备及对鲜切苹果的保鲜效果

付瑞敏^{1,2}, 杨雪¹, 夏铁骑¹, 王丁¹, 张红¹, 陈五岭²

(1. 河南财政金融学院健康管理学院, 河南郑州 450046; 2. 陕西师范大学微生物工程与技术研究院, 陕西西安 710069)

摘要:为制备兼具抗氧化和抗菌性能的壳聚糖食品防腐保鲜膜,以壳聚糖(CH)–甘油(GLY)–茶渣提取物(TRE)为原料,制备了一种防腐保鲜活性膜。并在此基础上采用色度测量、傅里叶变换红外光谱(FTIR)、扫描电子显微镜(SEM)、抗氧化性分析、鲜切苹果保鲜效果评价和抗菌分析等方法对所得膜的光学特性和理化特征进行了研究。色度测量结果表明,不同浓度的TRE加入会增加活性膜的光泽度;FTIR结果表明,甘油的添加会增强茶渣提取物与壳聚糖之间的相互作用;电镜观察结果表明,复合膜的各组件之间具有良好的相容性;抗氧化性分析结果表明,壳聚糖复合茶渣提取物所制备的活性膜具有良好的抗氧化活性,DPPH自由基清除能力为86.6%;鲜切苹果的保鲜效果评价结果显示,与对照组相比,活性膜处理可有效维持鲜切苹果的硬度、维生素C含量及可溶性固形物的含量,延缓了MDA的上升,显示出了良好的保鲜效果;抗菌性分析结果表明,含有15%甘油和20%TRE的壳聚糖膜抑菌圈最大,抗菌性最强。本研究所制备的活性膜在鲜切水果的防腐保鲜方面有较好的应用前景。

关键词:壳聚糖;茶渣提取物;抗氧化;活性膜

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)11-0182-07

食品安全问题始终是当前社会关注的焦点,其中,由微生物原因引起的食品安全问题占了相当大的比重^[1]。为防止微生物污染,蔬菜、水果等在采摘后通常需要包被一层防腐保鲜膜,之前的保鲜膜多为聚乙烯,但大量使用会导致资源的消耗和废弃物的产生,后者会引起严重的环境污染。因此,寻找开发安全可降解的环境友好型包装材料是当前果蔬防腐保鲜领域的研究热点^[2]。鲜切苹果是将新鲜采后苹果经切分包装上市销售的新型半加工产品。与新鲜采摘后苹果相比,鲜切苹果在贮藏中更易染菌和发生褐变,从而导致其品质和商品价值下降。研究表明,水果在贮藏期间的保鲜度与其抗氧化、抗菌等性能密切相关,因而鲜切苹果贮藏保鲜的技术核心是探索一种包装设备使其能有效维

系鲜切苹果在贮藏期的保鲜度与抗氧化活性^[3]。

茶渣(tea residue, TR)作为茶饮料加工中的副产品,通常被直接废弃,这不仅造成了环境的污染,也形成了资源的浪费。研究表明,茶渣中富含茶多酚和没食子酸等生物活性物质。茶多酚作为一种天然多酚类物质,具有抗氧化、抗菌、抗诱变、抗炎和抗癌等功效,在保健品生产加工、食品包装及疾病的预防治疗等领域具有广泛的应用^[4]。

壳聚糖(CH)是一种可降解多糖,以其安全、抗菌、具有较好的延展性和成膜性等特点被广泛用于食品加工的防腐保鲜。它可作为多酚、水杨酸等生物活性化合物的载体,与这些具备抗氧化性抗菌性的活性物质共同用于食品包装防腐保鲜活性膜的制备与开发。课题组前期为增强活性膜的抗菌性,将生物拮抗菌与壳聚糖进行相应比例的复配,制备出抗真菌活性较强的活性膜^[5]。Kurek等从蓝莓或葡萄皮渣中提取多酚并将其同壳聚糖复配,以开发用于食品包装的生物活性膜,最终获得易于处理的且抗氧化活性与总酚含量成正比的膜^[6]。

在食品包装领域,茶渣中的没食子酸可通过与壳聚糖分子形成氢键等理化作用方式与壳聚糖结合,从而提高壳聚糖膜的力学特性。因此,将茶渣提取物(tea residue extract, TRE)复合壳聚糖制备防

收稿日期:2021-12-17

基金项目:国家留学基金委地方合作项目(编号:10006);河南省科技攻关项目(编号:182102110002);河南省高等学校青年骨干教师资助计划(编号:2020GGJS265);河南省高等学校重点科研项目(编号:21B180002);河南省教育厅人文社科指导项目(编号:20200040)。

作者简介:付瑞敏(1981—),女,河南郑州人,博士,副教授,主要从事农业及食品微生物研究。E-mail:angelaminmin@163.com。

通信作者:陈五岭,博士,教授,主要从事食品微生物研究。E-mail:wuling.chen@263.net。

腐保鲜膜,可同时满足环境友好和增强果蔬抗氧化活性的双重需求。既有效解决茶渣造成的环境污染,又变废为宝,提升膜的保鲜效果。

甘油(glycerinum, GLY)因具有高吸水率和低成本的优点已经在食品包装材料方面得到了广泛应用。它能够对各种物理条件、化学条件以及水、pH 值、热、紫外线、日光、静电场、磁场以及物理化学和微生物特性等刺激作出快速的可逆响应^[7-8];此外,甘油具有相似于多糖的结构和亲水性,故甘油和多糖具备良好的成键性,可与其互作形成氢键^[9]。因此,甘油在食品、伤口敷料以及再生药物的组织工程等方面均得到了广泛应用^[10]。

为探索一条新的环境友好型食品防腐保鲜路径,本研究以富含多酚类物质的茶渣提取物(TRE)、壳聚糖(CH)以及甘油(GLY)为原材料,制备一种新型的鲜切水果保鲜膜。采用红外光谱分析、扫描电镜观察、热重分析、抗氧化性分析、抗菌性分析等方法对所制备膜的结构及特性进行表征研究,并研究该膜对于鲜切苹果在贮藏期间硬度、维生素 C 含量及可溶性固形物含量等各项指标的影响情况,以期对该活性膜在鲜切水果防腐保鲜中的应用价值做出探索和评估,从而为新型食品防腐保鲜包装材料的研发提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

1.1.1 试验材料 本研究所用的壳聚糖(分子量为 375 ku)、甘油(纯度 99.0%)、乙酸溶液(纯度 99.0%)、氢氧化钠(NaOH, 99%)和盐酸(HCl, 36.5%~38.0%)均购自郑州优吉生物科技有限公司,所有试剂纯度均为分析纯,使用前无需进行进一步纯化。试验用水均为双蒸水。本研究抑菌试验所用的假单胞菌(*Pseudomonas* sp.)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)均由陕西省微生物研究所馈赠,茶渣取自信阳恒兴茶饮品有限公司,苹果购自陕西白水。

1.1.2 试验仪器 GY-4 型数显式果实硬度计,购自北京阳光亿事达科技有限公司;ATAGO 数显式手持糖度仪,购自广州市爱宕科学仪器有限公司;UV1800 型紫外分光光度计,日本岛津生产;傅里叶红外光谱仪,购自苏州津工科技有限公司;Xrite 2600d 手持色度仪,购自上海色彩科技有限公司;S4800 扫描电子显微镜,购自日本日立科学仪器(北

京)有限公司;LS192 光泽度测试仪,购自深圳林上科技有限公司。

1.1.3 试验时间与地点 试验于 2020 年 9—12 月在陕西师范大学微生物工程与技术研究院进行。

1.2 试验方法

1.2.1 茶渣溶剂萃取 取 100 g 茶渣低温干燥,研磨粉碎,将其加入 2 000 mL 体积分数为 70% 的乙醇溶液,将溶液 pH 值调整为 2,低温避光萃取 12 h。而后将其置于 40 ℃ 水浴锅中处理 8 h,使用旋转蒸发仪除去乙醇并浓缩,然后将所得的提取物置于 4 ℃ 保存以备后用。

1.2.2 壳聚糖-甘油-茶渣提取物(CH-GLY-TRE)膜材料的制备 参照 de la Caba 等的方法^[11]进行生物活性膜的制备,并在此基础上进行了一些修改。首先,分别将 1 g 壳聚糖(CH)加入 2 个各放有 100 mL 乙酸溶液(浓度为 0.1 mol/L)的烧杯中,室温下搅拌 45 min 后制成 2 杯壳聚糖溶液;将 10 g 和 20 g 茶渣提取物(TRE)分别加入到这 2 个烧杯中并做好响应标记,室温下继续搅拌 30 min 后,再往这 2 个烧杯中分别加入 15 g 的甘油,室温下继续搅拌 30 min 直至溶液 CH-GLY(15%)-TRE(10%)和 CH-GLY(15%)-TRE(20%)完全均质化。将溶液分别倒入直径为 150 mm 的培养皿中,所得产物为膜材料 T₁ 和 T₂。依照同样的方法,制备了不含 TRE 的对照组 CH 薄膜(C₁)和 CH-GLY(15%)薄膜(C₂)。

1.2.3 活性膜的色度和光泽度检验 参考文献[12],使用色差仪测定 T₁、T₂、C₁、C₂ 的色度值及亮度(L)、红/绿(a)、黄/蓝(b)。测量前使用标准白色校准板进行校准,并按照公式(1)计算色差。

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

式中:L、a、b 分别代表薄膜的亨特系数值,L₀、a₀、b₀ 分别代表校准板的亨特系数值,L₀ = 103.98, a₀ = -5.80, b₀ = 9.25。使用光泽仪测量各个活性膜的光泽度,入射角为 60°,每个样品均测量 10 次。

1.2.4 红外光谱分析 采用傅里叶变换衰减全反射红外光谱(ATR-FTIR, 光谱范围为 4 000 ~ 1 000 cm⁻¹,分辨率为 4 cm⁻¹)法对 T₁、T₂、C₁、C₂ 红外吸收光谱进行分析测定,结合 FTIR 数据库结果分析判断各官能团之间可能存在的相互作用。

1.2.5 扫描电镜分析 本研究采用 S4800 扫描电子显微镜(SEM)对 T₁、T₂、C₁、C₂ 等各活性面膜的形貌进行了表征。扫描电压分别为 10、15、20 kV。

1.2.6 抗氧化性分析 参考卢俊宇等的方法^[13]，在避光条件下，将 DPPH 和无水甲醇制备成 100 mL 体积分数为 3% 的 DPPH - 无水甲醇溶液。将复合膜裁成边长为 50 cm 的正方形，而后将复合膜浸泡在装有 100 mL 95% 乙醇溶液的烧杯中，室温下浸泡 4 d 后，将烧杯中溶液搅拌均匀后，取 2 mL 溶液和 2 mL DPPH - 无水甲醇溶液混合，将混合液搅拌均匀并于室温下沉淀 30 min。而后以 DPPH 溶液为对照，测混合溶液在 570 nm 处的吸光度，按照公式 2 计算 DPPH 自由基清除率(I)。

$$I = \frac{D_c - D_x}{D_c} \times 100\%。$$

(2)

式中： D_c 为 DPPH 溶液的吸光度； D_x 为样品溶液与 DPPH 混合后的吸光度。

取等量的 C_1 、 C_2 、 T_1 、 T_2 活性膜将其分别浸泡在装有 100 mL 95% 乙醇溶液的烧杯中，称质量计为 m_0 ，室温下浸泡 4 d 后再称质量计为 m_1 ，用公式(3) 计算质量损失 M 。

$$M = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%。$$

(3)

式中： m_0 为各活性膜在浸泡乙醇之前的质量； m_1 为各活性膜在浸泡乙醇之后的质量。

1.2.7 保鲜效果分析 选择大小新鲜度一致的苹果将其清洗后，用不锈钢刀片将苹果去皮，制成边长为 6 cm 的立方体，而后将果块置于浓度为 0.1 mmol/L 的次氯酸钠水溶液中，浸泡 2 min，然后用自来水冲洗掉残留的次氯酸钠，晾干后，随机分成 5 组，每组 20 块鲜切果，各组处理方法见表 1。

表 1 鲜切苹果的处理方法

| 组别 | 处理 |
|-------|------------------------------|
| CK | 浓度为 0.1 mol/L 的乙酸溶液 |
| C_1 | CH 活性膜 |
| C_2 | CH - GLY(15%) 活性膜 |
| T_1 | CH - GLY(15%) - TRE(10%) 活性膜 |
| T_2 | CH - GLY(15%) - TRE(20%) 活性膜 |

将各组的鲜切苹果予以浸泡涂膜处理，而后再将其分装于市场购买的 PE 保鲜袋中，将其置于 15 ℃ 环境下(该环境模拟超市中鲜切水果储存的恒温库)中贮藏 6 d。其间，参考文献[14 - 17]，每天对各处理组的硬度、可溶性固形物、丙二醛(malondialdehyde, MDA)和维生素 C 含量进行测定。

1.2.8 抗菌性试验分析 将假单胞菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌从固体斜面上转接至液体培养基

中，37 ℃ 培养 12 h 后，分别取 1 mL 发酵液将其均匀涂布于平板上，采用牛津杯法^[18]测定各复合膜的抑菌性能。

1.3 数据分析

采用 SPSS 19.0 进行数据处理，数据采用“均值 ± 标准差”表示，使用 Origin Pro 9.0 和 Adobe Illustrator 5.0 作图。

2 结果与分析

2.1 各活性膜的光学特性研究

采用色差计和光泽度仪对所制备的 T_1 、 T_2 、 C_1 、 C_2 各活性膜进行色差和光泽度测量。由表 2 可知，没有添加茶渣提取物的对照组 C_1 和 C_2 的 L 值趋于一致，说明是否添加壳聚糖对亮度的影响不大，随着 TRE 添加量的增加， T_1 和 T_2 组的亮度有了明显下降，说明 TRE 含量的增加使膜材料的颜色逐渐加深。相对比不添加 TRE 的 CG - GLY 而言，添加了 TRE 的复合膜其 a 值和 b 值均为正值且随 TRE 的添加量增大而增大。 a 代表红绿指数，其正负值分别代表红和绿， b 代表黄蓝指数，其正负值分别代表黄和蓝。结果表明，TRE 的添加使膜中的红色和黄色色度增加，这与茶多酚本身所带的色素有关。此外，薄膜光泽度的高低与复合膜表面的粗糙度有关，具体表现为：光泽度越低，粗糙度越高。表 2 中所显示的各个复合膜的光泽度均低于 50，表明所制备的活性膜表面不是很光滑，且通过对比各组膜的光泽度，发现 TRE 和 GLY 的添加对膜表面的光泽度会有所提升，说明 TRE 可能同 CH 发生了一些相互交联作用，进而对膜表面结构产生了相应的影响。 C_2 膜的光泽度高于 C_1 ，说明 GLY 的加入对于 CH 膜的光泽度有所提升，这表明 GLY 作为塑化剂在 CH 成膜系统中起到了积极作用。此外，TRE 的加入使得膜光泽度有了进一步的提升，参考王博等的研究结论^[19]，推测是由于 TRE 中富含的茶多酚等物质与 GLY 和 CH 发生了相互作用，形成了结构较为均一的共聚物。

表 2 各活性膜的颜色和光泽度

| 处理组 | L 值 | a 值 | b 值 | ΔE | 光泽度 |
|-------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------|
| C_1 | 156.6 ± 0.8a | -0.13 ± 0.05a | 2.51 ± 0.28a | 11.32 ± 0.08a | 31 ± 2a |
| C_2 | 152.8 ± 0.5b | -0.16 ± 0.04b | 2.78 ± 0.12b | 12.03 ± 0.32b | 38 ± 5b |
| T_1 | 115.1 ± 0.3c | 3.19 ± 0.06c | 6.01 ± 0.71c | 16.99 ± 0.28c | 46 ± 3c |
| T_2 | 95.8 ± 0.8d | 6.67 ± 0.05d | 8.92 ± 0.16d | 18.36 ± 0.06d | 48 ± 2d |

注：同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。表 3 同。

2.2 红外光谱分析

由图 1 可见,在 $3\ 000 \sim 3\ 750\ \text{cm}^{-1}$ 之间有 1 个很宽的条带,与—OH 和 N—H 的拉伸振动有关。对比 CH 组,添加了 TRE 和 GLY 的复合膜在该处的峰强度有不同程度的增加,表明复合膜中羟基量有所增加。此外,图中 CH—GLY—TRE 复合膜在 $1\ 640$ 、 $1\ 540\ \text{cm}^{-1}$ 处出现了 O—H、C—O 的伸缩振动,说明复合膜中形成了酰胺键。此外,FTIR 中各复合膜的特征峰表明 TRE 与 CH 的反应并未改变 CH 本身的骨架结构,这与 Pasanphan 等的研究结果^[20]一致。

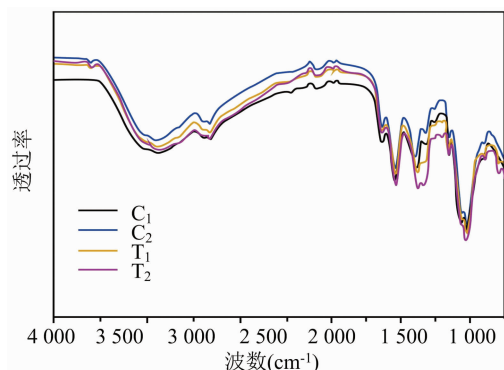


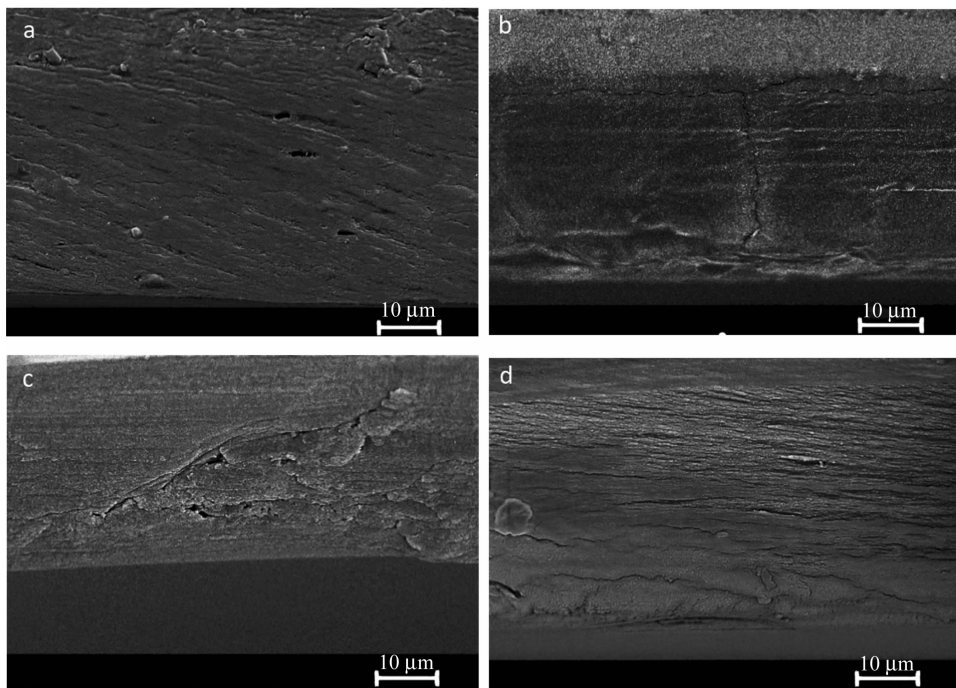
图1 各复合膜的红外光谱图

2.3 SEM 结果分析

由图 2 可见,构成复合膜的 CH、GLY 和 TRE 彼此间具有良好的相容性。由图 2-a、图 2-b 可知,当壳聚糖膜中添加甘油时,膜表面变得有些粗糙,出现一些褶皱结构,这是甘油塑化作用所致。图 2-c、图 2-d 显示,TRE 的加入引起活性膜微观结构的改变,具体表现为添加 TRE 的活性膜表面变得更光滑和平整,但仍可以清晰地观察到活性膜表面的纤维结构,推测是 TRE 中的茶多酚等物质连接到壳聚糖分子上并在干燥处理时填充到了壳聚糖分子所形成的网格间,从而使活性膜的结构更紧致^[21]。电镜结果与光泽度检测结果一致,说明添加 TRE 成分有助于提升活性膜的光泽度和平整性。

2.4 抗菌特性研究

由图 3 可见,添加了 TRE 的 CH 膜,抑菌圈较对照组明显增大,且抑菌圈直径随 TRE 添加量的增加而增加。因此,综合各复合膜的抗菌特点,CH—GLY(15%)—TRE(20%)的抑菌效果最好。研究表明,壳聚糖的抑菌机制在于它可与弱酸发生反应形成阳离子生物絮凝剂,絮凝过程中可导致微



a. C₁; b. C₂; c. T₁; d. T₂

图2 扫描电镜下各复合膜的形貌特点

生物细胞沉聚在一起,同时壳聚糖还可密集分散在细菌细胞表面从而影响菌体对营养物的吸收以及代谢废物的排出。壳聚糖与茶渣提取物复合制备的活性膜相对比壳聚糖本身而言,其抗菌性增加的原因主要在于茶叶提取物中的茶多酚可增强壳聚

糖的脱乙酰化程度,而后者可增强壳聚糖分子链上氨基的质子化程度,氨基的质子化程度增高进而会使壳聚糖在稀酸溶液中的带电基团增多,从而提升壳聚糖的抗菌性能;此外,茶渣提取物中所含的没食子酸、茶多酚等物质的羟基可与菌体蛋白的氨基

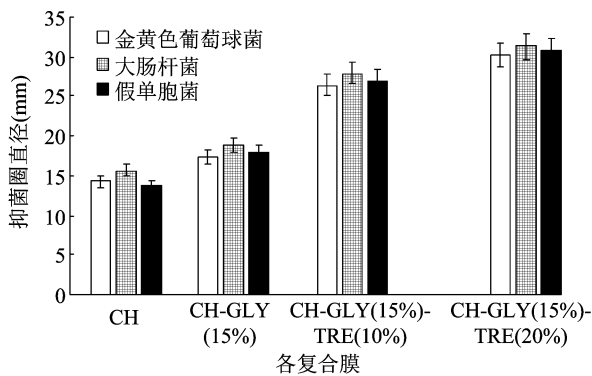


图3 各复合膜的抗菌效果分析

或者羧基发生反应进而发挥抑菌性能^[22]。

2.5 抗氧化特性研究

由表 3 可见,含 GLY 的薄膜 CH-GLY 和 CH-GLY-TRE 其质量损失值均高于不含 GLY 的薄膜 CH,根据相似相溶原理,推测是由于 GLY 和 TRE 中的茶多酚等物质发生溶解,进而导致质量明显下降。

表 3 各复合膜的质量损失率

| 处理组 | 质量损失率 (%) |
|----------------|-------------|
| C ₁ | 19.6 ± 0.8a |
| C ₂ | 25.8 ± 0.6b |
| T ₁ | 27.1 ± 0.3c |
| T ₂ | 28.8 ± 0.7d |

由图 4 可见,在抗氧化能力方面,添加 TRE 复合膜 T₁ 和 T₂ 组的 DPPH 自由基清除率很高,而没有添加 TRE 活性膜的 C₁ 和 C₂ 组不超过 50%。通过对比 4 组活性膜的抗氧化活性,发现 GLY 的添加对活性膜抗氧化能力的提升帮助不大,该结果与 Choque 等的结果^[23]一致,甘油的主要作用是提升壳聚糖的弹性,自身不具备清除自由基的能力。

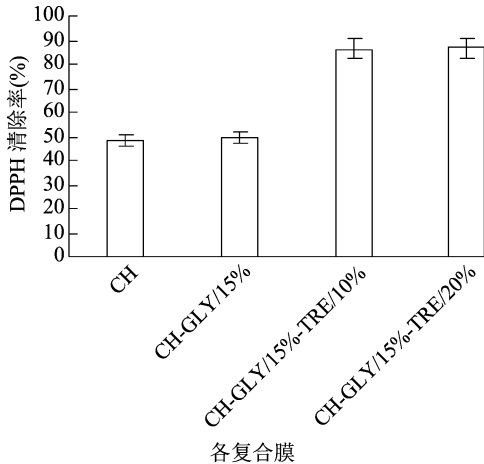


图4 各复合膜的 DPPH 自由基清除率

2.6 CH-GLY-TRE 对鲜切水果的保鲜效果研究

由图 5-a 可以看出,没经过任何涂膜处理的对照组中鲜切苹果的硬度下降极其明显,而与之相对的是,经过茶渣提取复合壳聚糖及甘油涂膜处理的 T₁ 组和 T₂ 组的鲜切苹果在为期 6 d 的储藏期内维持了较好的硬度。说明本试验中所制备的保鲜膜可有效延缓鲜切苹果硬度的下降趋势。

丙二醛是果实细胞膜脂受超氧阴离子和羟基自由基的作用所形成的过氧化产物,其含量的升高暗示着果实细胞衰老的加剧。由图 5-b 可见,随着处理时间的不断延长,各处理组鲜切苹果的 MDA 含量均呈现上升趋势,其中,尤以对照组 (CK) 上升最为明显。添加了 TRE 的处理组 (T₁、T₂) 上升相对更为平缓,且 TRE 含量高的 T₂ 组 MDA 含量较 T₁ 组低,说明茶渣提取物可通过有效降低果实的过氧化程度来延缓果实衰老。

本试验中各组鲜切果实的维生素 C 含量如图 5-c 所示,由图 5-c 可知,随着贮藏时间的延长,各处理组的维生素 C 含量均呈现下降趋势,推测其原因可能是在机械损伤的环境胁迫作用下,果实细胞的生理代谢代偿性增强,氧化作用增强进而导致维生素 C 被氧化分解。对比未经涂膜处理的 CK 组,所有涂膜处理的果实其维生素 C 含量均高于 CK,且添加了 TRE 的 T₁ 组和 T₂ 组显示了较高的维生素 C 含量,说明茶渣提取物可较好地延缓鲜切苹果中维生素 C 含量的下降。可溶性固形物主要是指果实中所含的可溶性糖类,其含量反映了果实的成熟程度。本研究测量了储藏期间各组处理鲜切果中的可溶性固形物含量,所得结果如图 5-d 所示。由图 5-d 可知,各处理组的可溶性固形物含量均随着贮藏时间的延长而呈现不同程度的下降趋势,其中尤以未经处理的对照组下降最快,而以经 CH-GLY(15%)-TRE(20%) 活性膜处理的 T₂ 组下降最慢。结果表明,对鲜切苹果进行涂膜处理可有效延缓储藏期间果实的硬度、维生素 C 含量和可溶性固形物含量的下降以及 MDA 含量的上升。

3 讨论与结论

本研究以壳聚糖 (CH)、甘油 (GLY) 和茶渣提取物 (TRE) 为原料,制备了用于鲜切水果包装的生物活性膜,并对活性膜的光学特性、抗菌特性和抗氧化特性进行了分析研究,并对鲜切苹果的保鲜效果做出评价。光学特性检测结果发现在 CH 中加入

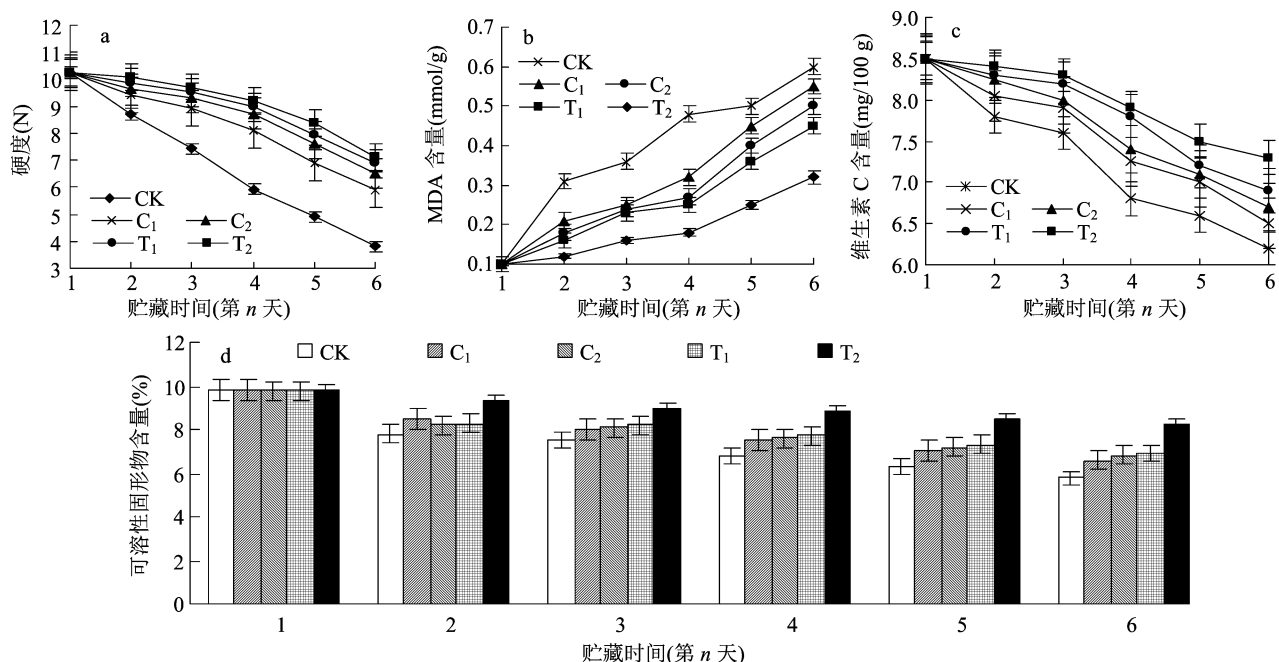


图5 鲜切苹果在贮藏过程中硬度(a)、丙二醛(b)、维生素(c)和可溶性固形物(d)的变化

GLY 和 TRE 可提升活性膜的光泽度, FTIR 和 SEM 检测结果显示 TRE 可通过分子间的相互作用与 CH 和 GLY 形成的复合膜相连接; 抗菌性能和抗氧化性能试验结果表明, TRE 的添加有助于活性膜抗菌性能和抗氧化活性的提升。评价各处理组对鲜切苹果的保鲜效果, 结果显示, 添加 TRE 的活性膜对维持鲜切苹果的硬度、维生素 C 含量和可溶性固形物含量和硬度均具有较好的效果。

在苹果贮藏期间, 果实中的纤维素和果胶等物质的分解和果实中水分的蒸发均会导致果实硬度的下降, 因此, 可通过测量果实的硬度来反映果实的衰老程度。通过测定各处理下鲜切苹果的硬度指标发现, 不经任何涂膜处理的对照组中苹果的硬度下降很快, 储藏至第 6 天其硬度就已经降至 6 N 以下。Harker 等报道, 果实硬度低于 6 N, 则该果实就不再具备商业价值, 对鲜切果予以壳聚糖处理 (C_1 组) 后等到第 6 天果实硬度才低于 6 N, 说明壳聚糖处理对延缓果实衰老具有一定的功效^[24], 这与笔者所在课题组前期所得结果一致。壳聚糖结合甘油处理组 (C_2 组) 对于鲜切果的硬度影响与单独壳聚糖处理趋于一致, 但硬度维系效果优于 C_1 组, 说明壳聚糖与甘油相互交联形成的物理屏障有助于延缓鲜切果衰老。其中, 添加了茶渣提取物 (TRE) 的处理组 T_1 和 T_2 的果实硬度下降最小, 说明茶渣提取物中的活性成分能有效延缓果实的软化速度。造成鲜切果实软化的原因大致有果实自身生理代

谢和微生物感染 2 类^[25]。其中, 鲜切苹果因切分处理所致的机械损伤而引发果实内部呼吸作用及酶促褐变等生理代谢过程出现代偿性增加, 这会增加果胶的液化和细胞壁的破坏, 进而导致果实软化。茶渣中有茶多酚、没食子酸等抗氧化活性成分, 它们可通过降低鲜切果实酶促褐变、抑制腐败菌繁殖等方式降低果胶及纤维素等成分的水解和液化, 从而维持果实硬度^[26]。

丙二醛是果实细胞膜脂受超氧阴离子和羟基自由基的作用所形成的过氧化产物, 通常在果实受到冻伤、病害或机械损伤等胁迫时产生。对于带有机械伤口的鲜切苹果, 其 MDA 的积累量可作为果实衰老度的重要指标, 其含量的升高暗示着果实细胞膜脂过氧化程度以及细胞膜损伤程度的升高, 即暗示着果实细胞的衰老加剧。丙二醛含量测定试验中, 发现各处理组中鲜切苹果的 MDA 值的增势是随 TRE 添加量的增加而递减的, 推测其原因一方面是由于茶渣提取中含有的多酚抗氧化物质降低了果实膜脂的过氧化作用^[27]; 另一方面是由于活性膜中的壳聚糖通过与甘油的交联阻碍了鲜切果实与氧气的接触, 进而通过降低鲜切果实的呼吸而减弱果实脂质的过氧化作用^[28]。

维生素 C 是苹果中富含的一种营养成分, 作为一种抗氧化剂, 它可有效清除果实内活性氧, 进而帮助果实延缓衰老。故维生素 C 含量的测定通常也是衡量苹果果实衰老程度的指标。本研究中通

过对比各处理组鲜切苹果的维生素 C 含量,发现添加了 TRE 的 T₁ 组和 T₂ 组显示了较高的维生素 C 含量,说明茶渣提取物可较好地延缓鲜切苹果中维生素 C 含量的下降,推测其原因是由于茶渣提取物中富含较多的酚羟基,这些酚羟基可减弱果实的氧化作用从而对维生素 C 起到了保护作用^[29]。

可溶性固形物主要是指果实中所含的可溶性糖类,其含量反映果实的成熟程度。本研究对比各处理组果实中的可溶性固形物含量,发现随着储藏时间的延长,各处理组果实中可溶性固形物均呈不同程度的下降趋势,从高到低依次为 CK > C₁ > C₂ > T₁ > T₂。这是由于鲜切苹果的加工过程会给苹果果实造成一定程度的机械损伤,后者会导致苹果果实内部的呼吸作用急速增强,进而导致可溶性糖类大量消耗,故造成各处理组鲜切果实内部可溶性固形物含量均呈下降趋势。此外,在各处理组中添加了 TRE 的 T₁ 组和 T₂ 组的果实可溶性固形物含量下降趋势最为缓慢,可能是因为茶渣提取物中的没食子酸等物质一定程度上抑制了果实的呼吸作用及生理代谢,使其糖消耗量下降。因此,添加 TRE 的活性膜可有效延缓鲜切苹果贮藏期间可溶性固形物的损耗,使其在贮藏期间保持良好品质^[30]。总之,本研究所制备的活性膜具有成本低廉、操作简便、保鲜效果显著等优点,该方法在食品活性膜的加工制备以及果蔬的防腐保鲜等方面具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Kou S, Peters L M, Mucalo M R. Chitosan: a review of sources and preparation methods [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 169: 85–94.
- [2] Turner E R, Luo Y G, Buchanan R L. Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: a review [J]. Journal of Food Science, 2020, 85 (4): 870–882.
- [3] Alpaslan D, Ersen D T, Aktas N. Synthesis of smart food packaging from poly (gelatin – co – dimethyl acrylamide)/citric acid – red apple peel extract [J]. Soft Materials, 2021, 19 (1): 64–77.
- [4] Bhargava N, Sharanagat V S, Mor R S, et al. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste – derived bioactive compounds: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 105: 385–401.
- [5] 付瑞敏, 常慧萍, 陈五岭. 壳聚糖复合解淀粉芽孢杆菌对扩展青霉生长的控制效果研究 [J]. 食品科技, 2017, 42 (8): 31–38.
- [6] Kurek M, Hlupić L, Elez Garofulić I, et al. Comparison of protective supports and antioxidative capacity of two bio – based films with revalorised fruit pomaces extracted from blueberry and red grape skin [J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019, 20: 100315.
- [7] Ashraf S A, Siddiqui A J, Elkhailifa A E O, et al. Innovations in nanoscience for the sustainable development of food and agriculture with implications on health and environment [J]. Science of the Total Environment, 2021, 768: 144990.
- [8] Qu P, Zhang M, Fan K, et al. Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: a review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62 (1): 51–65.
- [9] Anderson C E, Crespi C M, Wang M C, et al. The neighborhood food environment modifies the effect of the 2009 WIC food package change on childhood obesity in Los Angeles County, California [J]. BMC Public Health, 2020, 20 (1): 678.
- [10] Zhang Y, Zhan J B, Wang H, et al. Study on the difference of moisture – keeping performance between fresh – keeping packaging and conventional packaging [J]. IOP Conference Series (Earth and Environmental Science), 2020, 461 (1): 012098.
- [11] de la Caba K, Guerrero P, Trung T S, et al. From seafood waste to active seafood packaging: an emerging opportunity of the circular economy [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 208: 86–98.
- [12] 贾晓云, 张顺亮, 刘文营, 等. 乳酸链球菌素 – 普鲁兰多糖 – 海藻酸钠可食用抗菌共混膜的制备及其在生鲜肉保鲜中的应用 [J]. 肉类研究, 2017, 31 (4): 17–22.
- [13] 卢俊宇, 朱 芮, 吴贺君, 等. 茶多酚对可食性马铃薯淀粉/海藻酸钠复合膜性能影响及表征 [J]. 核农学报, 2020, 34 (10): 2226–2234.
- [14] 裴健翔, 李燕青, 程存刚, 等. 不同钙制剂对‘寒富’苹果果实硬度及相关细胞壁代谢物质的影响 [J]. 果树学报, 2018, 35 (9): 1059–1066.
- [15] Dai F, Cai B, Hong T S, et al. Non – destructive measurement of soluble solid content in litchi by visible/near – infrared transmission spectroscopy [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28 (15): 287–292.
- [16] 杨金凤, 黄玉琴, 呼丽萍. 钼蓝比色法测定甜樱桃中还原型 VC 含量的条件优化 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54 (1): 181–184.
- [17] 王彩霞, 陈晓林, 李保华. 腐烂病菌侵染对苹果愈伤组织防御酶活性及丙二醛含量的影响 [J]. 植物生理学报, 2014, 50 (7): 909–916.
- [18] 付瑞敏, 邢文会, 张 红, 等. 扩展青霉拮抗菌的选育及抑菌机制初探 [J]. 食品工业科技, 2016, 37 (5): 154–158.
- [19] 王 博, 巩 涵, 畅 鹏, 等. 细菌纤维素 – 茶多酚复合膜的特性及结构 [J]. 食品科学, 2018, 39 (17): 229–235.
- [20] Pasanphan W, Buettner G R, Chirachanchai S. Chitosan conjugated with deoxycholic acid and gallic acid: a novel biopolymer – based additive antioxidant for polyethylene [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 109 (1): 38–46.
- [21] Zhang W L, Li X X, Jiang W B. Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 154: 1205–1214.
- [22] Zhang W L, Jiang W B. Antioxidant and antibacterial chitosan film with tea polyphenols – mediated green synthesis silver nanoparticle via a novel one – pot method [J]. International Journal of Biological

王 钊,李 欣,张 乾,等. 羧甲基纤维素钠复合天然抗氧化剂对冷鲜鸡肉的抗氧化及保水效果[J]. 江苏农业科学,2022,50(11):189-195.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.11.027

羧甲基纤维素钠复合天然抗氧化剂 对冷鲜鸡肉的抗氧化及保水效果

王 钊¹,李 欣¹,张 乾¹,郝修振¹,张晓静¹,李玉江²,张本尚³,邹 建¹

(1. 河南牧业经济学院食品与生物工程学院,河南郑州 450046; 2. 河南省科学院高新技术研究中心,河南郑州 450002;
3. 河南省科学院同位素研究所有限责任公司,河南郑州 450015)

摘要:为提升冷鲜鸡肉品质和降低经济损失,以冷鲜鸡肉的硫代巴比妥酸值(TBARS)、失质量率和亮度值(L^*)为评价指标,考察天然抗氧化剂复合涂膜对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水能力。将冷鲜鸡肉浸泡于不同浓度的羧甲基纤维素钠(CMC)涂膜剂中 3 min,在 4 ℃ 条件下分别测定冷鲜鸡肉在 2、4、6、8 d 失质量率,筛选出 CMC 最佳浓度。添加生姜提取物、茶多酚等天然抗氧化剂构建复合涂膜,浸泡 3 min 后在 4 ℃ 条件下分别测定不同涂膜在 2、4、6、8 d 对冷鲜鸡肉的抗氧化和保水能力。结果表明,以浓度为 0.4% CMC 为涂膜剂,添加生姜提取物浓度 0.4%、茶多酚浓度 0.01%、没食子酸浓度 0.02% 和 D-异抗坏血酸钠浓度 0.004% 复合涂膜具有优秀的抗氧化和保水效果。通过本试验研究发现,CMC 涂膜具有良好的保水能力,在添加天然抗氧化剂后复合涂膜的抗氧化能力得到较明显提升,同时具有良好保水能力,对提升冷鲜鸡肉品质具有重要意义。

关键词:冷鲜鸡肉;CMC;天然抗氧化剂;抗氧化;失质量率

中图分类号:TS205.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)11-0189-07

冷鲜鸡肉是指对屠宰后的胴体在 24 h 内迅速冷却至 0~4 ℃,并在后续储运过程中保持在 0~

4 ℃ 的生鲜鸡肉,不但品质较好,且易于存储。然而,冷鲜鸡肉在储运期间随着时间延长,会逐渐发生氧化,其系水力也会缓慢下降,导致游离氨基酸等营养物质的流失和肉质劣变^[1]。此外,因脂肪氧化而产生的大量自由基、过氧化物和小分子醛酮等有害物质会导致肉品酸败,降低肉品品质,并对消费者的人身安全造成潜在危害^[2]。

近年来,对于可食性涂膜的研究逐渐受到人们重视。可食性涂膜为可食用的天然多糖、蛋白质和

收稿日期:2021-08-18

基金项目:河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(编号:212102110192、192102110075);河南牧业经济学院科研创新团队项目(编号:2018KYTD17)。

作者简介:王 钊(1982—),男,河南新乡人,博士,讲师,研究方向为天然产物化学、功能性食品。Email:hnxwz2005@163.com。

通信作者:邹 建,河南周口人,博士,副教授,研究方向为农产品加工。Email:zoujianzz@126.com。

Macromolecules,2020,155:1252-1261.

[23] Choque E, Rezzani G, Salvay A G, et al. Impact of fungal extracts on the physical and antioxidant properties of bioactive films based on enzymatically hydrolyzed yeast cell wall[J]. Journal of Polymers and the Environment,2021,29(6):1954-1962.

[24] Harker F R, Gunson F A, Brookfield P L, et al. An apple a day: the influence of memory on consumer judgment of quality [J]. Food Quality and Preference,2002,13(3):173-179.

[25] Najafi - Marghmaleki S, Mortazavi S M H, Saei H, et al. The effect of alginate - based edible coating enriched with citric acid and ascorbic acid on texture, appearance and eating quality of apple fresh - cut[J]. International Journal of Fruit Science,2021,21(1):40-51.

[26] Yilmaz F M, Ersus B S. Ultrasound - assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh - cut apple with calcium and black carrot

phenolics[J]. Ultrasonics Sonochemistry,2018,48:509-516.

[27] Liu X, Yang Q, Lu Y Z, et al. Effect of purslane (*Portulaca oleracea* L.) extract on anti - browning of fresh - cut potato slices during storage[J]. Food Chemistry,2019,283:445-453.

[28] Qiao L P, Gao M, Zheng J X, et al. Novel browning alleviation technology for fresh - cut products: preservation effect of the combination of *Sonchus oleraceus* L. extract and ultrasound in fresh - cut potatoes[J]. Food Chemistry,2021,348:129132.

[29] Li S, Chen G, Zhang C, et al. Research progress of natural antioxidants in foods for the treatment of diseases[J]. Food Science and Human Wellness,2014,3(3/4):110-116.

[30] Yang H M, Cheng S S, Lin R, et al. Investigation on moisture migration, microstructure and quality changes of fresh - cut apple during storage [J]. International Journal of Food Science & Technology,2021,56(1):293-301.