

绣球菌蛋白涂膜保鲜剂的研制

马腾飞, 贾 丰

商洛学院生物医药与工程学院, 陕西 商洛

收稿日期: 2023年11月15日; 录用日期: 2024年1月28日; 发布日期: 2024年2月5日

摘 要

本研究为研制蛋白质基涂膜保鲜剂, 以绣球菌子实体为原料, 提取绣球菌蛋白, 确定绣球菌蛋白涂膜保鲜剂的配方, 并对膜的性能进行了评价; 同时以苹果为实验对象进行保鲜实验, 通过失重率、呼吸强度、可滴定酸含量等指标评价涂膜剂的保鲜效果。结果表明, 以20%绣球菌蛋白 + 2%壳聚糖 + 0.8%的甘油研制的涂膜保鲜剂保鲜效果最好, 失重率对比空白处理苹果降低2.56%、呼吸速率降低2.3 mg/(kg·h), 可滴定酸含量增加0.076%。上述涂膜剂可以有效地减少苹果的营养损失, 降低失重率, 抑制呼吸强度, 有望进一步应用于果蔬保鲜。

关键词

绣球菌, 蛋白涂膜, 果蔬保鲜, 贮藏

Preparation of Coating Preservative Made by *Sparassis crispa* Protein

Tengfei Ma, Feng Jia

School of Biomedicine and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: Nov. 15th, 2023; accepted: Jan. 28th, 2024; published: Feb. 5th, 2024

Abstract

This study is to develop a protein-based coating preservative, the protein was extracted from *Sparassis crispa*. The formulation of the preservative was determined as well as and the properties of the film were evaluated. At the same time, apple was used as the experiment object to evaluate the preservation effect of the coating agent by weight loss rate, respiratory intensity, titratable acid content and other indicators. The results showed that the preservative developed with 20% *Sparassis crispa* protein + 2% chitosan + 0.8% glycerol had the best preservation effect; compared with blank treated apples, the weight loss rate was reduced by 2.56%, the respiration

rate was reduced by 2.3 mg/(kg·h), and the titratable acid content was increased by 0.076%. The above coating agent can effectively reduce the nutritional loss, and weight loss rate of apples, while inhibiting the respiratory intensity, which is expected to be further used in fruit and vegetable preservation.

Keywords

Sparassis crispa, Protein Coating, Fruit and Vegetable Preservation, Storage

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

果蔬在采摘之后通常要贮藏一段时间才会食用, 期间的保藏显得非常关键[1]。常见的果蔬保鲜方法有臭氧保鲜技术、低温冷链保鲜技术、超声波保鲜技术、辐照杀菌保鲜技术、涂膜保鲜技术等, 其中臭氧保鲜虽然具有杀死病原菌范围广、效率高、速度快、无残留等优点, 但臭氧使用浓度过高会引起果蔬表面质膜的损害; 低温冷链保鲜虽然能够抑制果蔬酶及其它酶的活性从而实现保鲜, 但无法实现流通、贮藏、运输、销售各环节不间断保持低温; 超声波保鲜虽然能利用超声波使果蔬中的病毒失活, 从而达到保鲜效果, 但超声波会对果蔬的细胞组织产生破坏; 辐照杀菌保鲜利用辐射照射, 引起微生物新陈代谢从而达到保鲜效果, 但辐照条件苛刻, 对果蔬有一定的危害; 涂膜保鲜技术是指将制成的涂膜保鲜剂以喷涂、浸泡、包裹等方式均匀地覆盖在果蔬的表皮[2], 从而可以更好地阻止外界的空气与果蔬(或食品)的直接接触, 降低自然环境中有害因素对果蔬的威胁与危害[3], 并且在一定程度上还能够有效地抑制果蔬中水分逐渐的流失, 降低果蔬中酶促褐变的速度, 充分发挥涂膜剂对果蔬的保鲜作用[4]。

在早期, 涂膜保鲜剂的主要功能是美化果蔬的外观, 如果蜡涂层。经过不断的发展、不断地深入研究, 目前市场对涂膜保鲜剂的要求也在不断提高, 将涂膜类果蔬保鲜剂的研究逐渐融入到整个涂膜保鲜剂的研究中, 使涂膜保鲜剂的功能除美化产品外, 还具备降低营养物质的流失、保护其组织等功能[5]。通常果蔬涂膜保鲜剂主要有以下这几个方面的作用: 1) 增强保水性, 减少水果、蔬菜的失重, 有利于保持水果、蔬菜的新鲜度[6]; 2) 美化果蔬的外观, 提高果蔬的经济价值, 对果蔬外表皮的碰撞、摩擦等机械损伤有一定的保护作用[7]; 3) 调动自发气调作用, 形成有利于果蔬贮藏的微环境; 4) 可以作为某些功能成分的载体, 如防腐剂、抗氧化剂、营养强化剂等, 起到保持果蔬的色泽、风味[8], 延长果蔬的贮藏期的作用。

为保证食品的安全和质量问题, 让涂膜保鲜技术可以更广地应用到日常生活中, 就需要充分发挥其优势, 弥补现在工业技术的不足, 从而延长果蔬贮藏期, 满足消费者的需求。对食品质量和安全要求的不断提高, 在运输、贮藏和加工过程中所使用的保鲜剂也起到了很大的作用, 而且涂膜保鲜剂是一种安全且高效的保鲜剂, 能被大众所普遍接受, 并且有很多的优点[9], 如不含有毒物质、生产工艺简单方便、对自然环境没有污染、不产生异味和任何有刺激性气味的气体等[9]。

Fallahi 等人研究了超敏蛋白对 4 个苹果品质的影响, 与未经处理的对照组相比, 经过超敏蛋白处理过的“红刺美味”苹果的果实(约 23%)具有更好的颜色, 有更长的贮藏期, 而它们的硬度没有受到不利影响[10]。Sui 等人根据不同膜材料对樱桃番茄保鲜性能的作用, 计算了大豆分离蛋白、以蜂蜡和芦荟为薄膜包衣材料的樱桃番茄各方面保鲜效果的测定; 结果表明, 含有一定比例的大豆分离蛋白、蜂蜡和芦

芸的复合包衣剂可有效地保持番茄果实的硬度、可溶性固形物的含量等, 具有明显的保鲜效果[11]。Luo 等人在温度 20℃~22℃、湿度为 70%~75% 下, 用燕麦 β -葡聚糖 - 大豆分离蛋白研究对黄瓜的保鲜效果; 实验表明, 采用体积比为 2:1 的燕麦 β -葡聚糖 - 大豆分离蛋白混合体系, 对黄瓜果实的保鲜效果最好, VC 含量、叶绿素含量、过氧化物酶活性和多酚氧化酶活性都有一定的提高[12]。庞凌云等人在大豆分离蛋白对红薯保鲜效果研究中以大豆分离蛋白为保鲜剂研制的涂膜保鲜剂; 实验表明, 当大豆分离蛋白浓度为 5% 时, 可以有效地减少红薯的营养损失[13]。史轲轲等人在大豆分离蛋白对桃保鲜效果的研究中以大豆分离蛋白为保鲜剂研制的涂膜保鲜剂; 实验表明, 当大豆分离蛋白浓度为 20 g/L 时, 可以有效地提高桃的贮藏品质, 减少桃的营养损失[14]。大量涂膜保鲜剂研究都是以植物蛋白为原料, 相关材料对果蔬都有很好的保鲜效果[8] [9] [10] [11]。同时以大豆蛋白为保鲜试剂也有很多不足, 对果蔬的抑菌效果、保鲜时间等和加入壳聚糖、果胶酶、甘油等增塑剂的果蔬保鲜膜保鲜效果有一定的差距, 所以加入壳聚糖等保鲜剂有利于蛋白涂膜保鲜剂的保鲜效果。

目前蛋白涂膜保鲜剂有非常高的应用价值, 对常见的果蔬, 如苹果、番茄、黄瓜、红薯等都具有良好的保鲜效果[15], 这些蛋白涂膜保鲜剂还具有良好的阻隔性[16]和气调性[17], 简单方便易操作[18]、成本低[19]、保鲜效果好、提高果蔬的经济价值等优点[20]。食用菌中蛋白质含量通常在 19%~40% [21], 其中含有人体必需氨基酸, 属于优质蛋白。蛋白质还具有成膜性、凝胶性、吸水性等优点, 是一种良好的成膜材料。

绣球菌蛋白营养价值高, 绣球菌粗蛋白的含量约为 15.58%, 与灵芝相当, 远高于一般的蔬菜水果。绣球菌蛋白中氨基酸种类齐全, 必需氨基酸总量为 3.77%, 非必需氨基酸总量为 6.16%, 氨基酸总量高于普通食用菌子实体, 如松口蘑、香菇、双孢蘑菇。绣球菌蛋白中 8 种必需氨基酸占氨基酸总量的 37.97%, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值(E/N)为 61.20%, 是一种珍贵的野生食用菌, 还具有还原糖、脂肪、维生素等营养物质[22]。在当地一家绣球菌种植企业进行技术服务时发现, 在采摘过程中, 约 10~15% 左右的子实体生长在菌包中, 并未被采摘作为可食部分进行加工和处理, 而是作为废品被直接丢弃或作为废料低价处理, 这不但造成优势资源浪费, 还会造成一定的环境污染。因此, 本项目拟以废弃绣球菌为原料获得绣球菌蛋白, 以研制蛋白质涂膜。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

绣球菌子实体(商洛市润科农业投资开发有限公司绣球菌加工厂提供); 苹果(市售); 壳聚糖和甘油(上海源叶生物科技有限公司食品级试剂); 其他化学试剂均为分析级。仪器包括紫外可见分光光度计、螺旋测微器、多功能粉碎机、低速冷冻离心机等。

2.2. 实验方法

2.2.1. 实验试剂的配制

1) 磷酸盐缓冲液: 称取磷酸二氢钠 38.00 g 与磷酸氢二钠 5.04 g, 加一定量的蒸馏水溶解, 再用 0.10 mol/L NaOH (或 0.10 mol/L HCl) 调节 pH, 用蒸馏水稀释定容至 1000 mL。

2) 双缩脲试剂: 称取 1.50 g 硫酸铜和 6.00 g 酒石酸钾钠, 用少量水溶解, 再加入 300 mL、2.50 mol/L NaOH 溶液, 1.00 g KI, 定容至 1 L, 棕色瓶中避光保存。若贮存瓶中有黑色沉淀出现, 则需要重新配制。

2.2.2. 绣球菌蛋白的制备

取新鲜绣球菌子实体置于 50℃~60℃ 干燥箱中 3~5 h 至烘干, 然后用多功能粉碎机粉碎绣球菌子实体, 过 80 目筛, 即可得到绣球菌粉末[23]。取 10 g 绣球菌粉, 按相应料液比加入磷酸盐缓冲溶液浸提一

定时间(0.5 h) [24], 再通过超声浸提 2 h, 过滤, 滤液于 4000 r/min 离心 10 min, 取出上清液, 在上清液中加入固体硫酸铵粉末至一定饱和度(80%) [25], 在 4℃ 条件下放置 24 h, 待沉淀析出, 将溶液放入离心机中 4000 r/min 离心 30 min 后, 得到沉淀, 将沉淀用透析袋处理过后, 放入到真空冷冻干燥器中干燥, 即可得到绣球菌蛋白(SCP) [26] [27]。

2.2.3. 蛋白质含量的测定

1) 牛血清蛋白标准曲线制作

分别取 2 mg/mL 的牛血清蛋白(BSA)标准溶液 0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、1.8 mL 于 7 支干净试管中, 各加入双缩脲试剂 2 mL, 加入蒸馏水定容到 5 mL、混匀, 避光放置 30 min 后, 在波长为 540 nm 处测定吸光度。根据蛋白质浓度和吸光度绘制牛血清蛋白质的标准曲线。

2) 绣球菌蛋白含量的测定

取提取的绣球菌蛋白质粉末 0.2 g, 溶于蒸馏水, 定容至 100 mL, 取定容的绣球菌蛋白质溶液 3 mL 置于试管中, 加入配制好的双缩脲试剂 2 mL, 摇匀, 避光放置 30 min 后, 在 540 nm 处测定吸光度 A, 带入蛋白质标准曲线计算即可得到绣球菌蛋白纯度。

2.2.4. 绣球菌蛋白涂膜保鲜剂的制备

分别按 10:1 比例称取提取出的绣球菌蛋白和壳聚糖(CTS), 将壳聚糖溶解后于 45℃ 水浴中溶胀 2 h; 将绣球菌蛋白溶解后, 将其置于 45℃ 水浴中保温。分别过滤壳聚糖溶液和绣球菌蛋白溶液, 取滤液, 将其两者混合均匀, 添加蒸馏水调节至一定的浓度。添加一定量(0.8%)的甘油, 用 0.1 mol/L HCl (或 0.1 mol/L NaOH) 调节 pH, 搅拌均匀、冷却, 在一定条件下脱气[28]。第一组为空白对照组, 标记为 Ck; 第二组为 5% 绣球菌蛋白 + 0.5% 壳聚糖 + 0.8% 甘油, 标记为 5% SCP; 第三组为 10% 绣球菌蛋白 + 1% 壳聚糖 + 0.8% 甘油, 标记为 10% SCP; 第四组为 15% 绣球菌蛋白 + 1.5% 壳聚糖 + 0.8% 甘油, 标记为 15% SCP; 第五组为 20% 绣球菌蛋白 + 2% 壳聚糖 + 0.8% 甘油, 标记为 20% SCP。

2.2.5. 膜性能的测定

1) 膜厚度的测定: 在膜上随机取 5 个点, 用螺旋测微器准确的测量这几个点的厚度, 取平均值。

2) 膜水汽阻隔性能的测定: 取干净锥形瓶, 准确称取 3 g 无水硫酸铜放入瓶中, 然后将制取的膜片准确的覆盖在锥形瓶的瓶口, 准确称其重量得 m1 并将其放置在一定条件下, 每隔 24 h 称量得 m2, 即可得到增重 W [29]。水蒸气透过速率(WVTR):

$$WVTR = W/(A \times T)$$

式中: W: 在一定时间间隔内锥形瓶的增重, 即 $W = m_2 - m_1$, g; A: 膜片面积, cm; T: 称量时间间隔, h。

3) 膜透光率的测定: 取制取的膜, 准确的修剪成 1 cm × 2 cm, 将其贴在比色皿的一侧, 在 480 nm 波长下测定其透光率[30]。多次测量求平均值。

2.2.6. 涂膜保鲜实验

选择新鲜、成熟度大小一致、无机械损伤、无病虫害的苹果, 将其随机分成五组, 分别涂膜, 晾干后称重, 用保鲜袋分组存放于室温条件下, 每隔 1 天定期测定贮藏指标。包括失重率、呼吸强度、可滴定酸含量三个指标的测定。

1) 失重率测定

实验采用称量法, 将苹果浸入成膜液中 1 min 后取出, 测其原始重量, 将其自然放置, 每隔 1 天测一次其重量[30]。用电子天平准确称量, 精确到 0.001。失重率的计算公式为:

$$\text{失重率}(\%) = \left[\frac{(\text{贮藏前苹果的重量} - \text{贮藏期间苹果的重量})}{\text{贮藏前苹果的重量}} \right] \times 100\%$$

2) 呼吸强度测定

实验采取静止法进行测试, 具体步骤: 用量筒量取 10.0 mL、0.1 mol/L NaOH 放在培养皿中, 将培养皿放到玻璃干燥器底部、放置隔板, 装入称取好的苹果, 封盖、密封, 一定时间后取出培养皿, 将氢氧化钠溶液移入锥形瓶中; 然后再加入 25 mL 饱和氯化钡溶液和 2~3 滴酚酞指示剂, 用 0.05 mol/L 草酸溶液滴定; 最后用同样的方法作空白滴定试验[31]。实验设置 4 组, 重复 3 次。

$$\text{呼吸强度}(\text{mg}/\text{kg} \cdot \text{h}) = (V_1 - V_2) \times c \times 22 / m \times t$$

式中: V_1 : 空白滴定中草酸溶液用量, mL; V_2 : 测定滴定中草酸溶液用量, mL; c : 草酸溶液物质的量浓度, mol/L; m : 果蔬质量, kg; t : 测定时间, h; 22: 测定中 NaOH 与 CO_2 的质量转换数。

3) 可滴定酸含量测定

实验采用酸碱滴定法测定苹果中可滴定酸的含量。将苹果洗净去皮, 称取果肉 100 g, 加入 100 mL 蒸馏水, 迅速搅拌均匀, 称取 10 g 浆状物, 用蒸馏水将样品移入 100 mL 容量瓶中并定容, 随后摇匀、静置; 再吸取 20.0 mL 滤液, 转入锥形瓶中, 加入 2~3 滴 1% 酚酞指示剂; 然后用 0.1 mol/L NaOH 氢氧化钠溶液进行滴定。滴定至溶液略显粉色并在 30 s 内不褪色即为滴定终点, 记录氢氧化钠滴定液的用量[32], 重复 3 次。

$$\text{可滴定酸含量} = V \times c (V_1 - V_2) \times 0.067 / (V_s \times m) \times 100\%$$

式中: V : 样品中提取液体积, mL; V_s : 滴定时滤液体积, mL; c : NaOH 滴定液浓度, mol/L; V_1 : 滴定滤液消耗的 NaOH 溶液体积, mL; V_2 : 滴定蒸馏水消耗的 NaOH 溶液体积, mL; M : 样品的质量, g; 0.067: 折算系数, g/mmol。

3. 结果与分析

3.1. 绣球菌蛋白含量

3.1.1. 牛血清蛋白标准曲线

以牛血清蛋白浓度和所测吸光度分别为横纵坐标, 绘制牛血清蛋白质标准曲线。如图 1, 得到线性回归方程 $y = 0.5786x + 0.0086$, $R^2 = 0.998$, 表明蛋白质的质量浓度在 0~1.2 mg/mL 内线性关系良好。

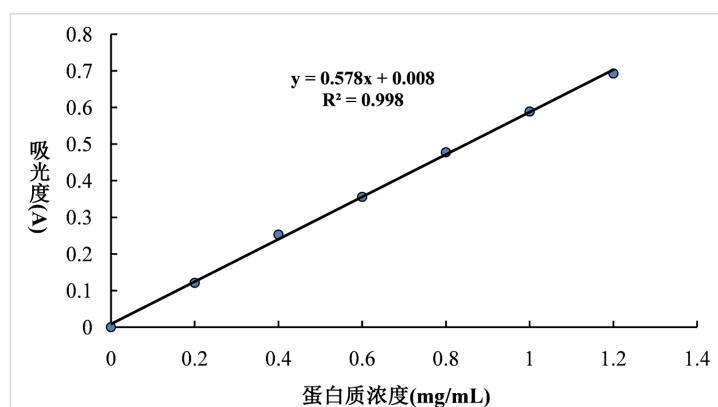


Figure 1. Standard curve made by bovine serum protein

图 1. 牛血清蛋白标准曲线图

3.1.2. 绣球菌蛋白质含量测定

根据测定结果计算得, 绣球菌蛋白纯度为 $65.2\% \pm 0.2\%$ 。

3.2. 绣球菌蛋白涂膜的性能

3.2.1. 膜厚度

固定绣球菌蛋白和壳聚糖的比例和甘油含量, 改变绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量, 膜的厚度也在随之变化。从表 1 可以看出, 随着绣球菌蛋白含量和壳聚糖含量的增加, 相关膜的厚度基本上变化不大, 可以控制在 0.008 mm 之内, 当绣球菌蛋白含量和壳聚糖含量为 5% 和 0.5% (5% SCP)、10% 和 1.0% (10% SCP) 时, 相关膜的厚度基本一致, 通过多次测量求平均值, 其厚度都为 0.049 ± 0.002 mm。绣球菌蛋白膜厚度的增加可能与绣球菌蛋白含量和壳聚糖含量的增加导致的, 绣球菌蛋白含量和壳聚糖含量越大, 成膜之后膜厚度也越大。方育等人的研究[28]也同样表明, 蛋白质含量和壳聚糖含量对相关膜的厚度有直接的影响。

Table 1. The thickness of the films with different treatments

表 1. 不同处理膜厚度

组别	配比			膜厚(mm)
	绣球菌蛋白(%)	壳聚糖(%)	甘油(%)	
1	5	0.5	0.8	0.049 ± 0.001
2	10	1.0	0.8	0.049 ± 0.003
3	15	1.5	0.8	0.052 ± 0.001
4	20	2.0	0.8	0.053 ± 0.002

3.2.2. 膜水汽阻隔性能

固定绣球菌蛋白、壳聚糖的比例和甘油含量, 改变绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量, 水蒸气透过率随着绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量的增加而减少, 呈现出了下降的趋势(表 2), 也就是绣球菌蛋白阻隔水蒸气的性能在增强。总体来说, 绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量为 20% 和 2.0% 时, 即水蒸气透过系数最低, 相关膜的阻隔性能最佳。

Table 2. The water vapor permeability of the films with different treatments

表 2. 不同处理水蒸气透过率

组别	配比			水蒸气透过率 $g/(m^2 \cdot h)$
	绣球菌蛋白(%)	壳聚糖(%)	甘油(%)	
1	5	0.5	0.8	5.42 ± 0.03
2	10	1.0	0.8	5.36 ± 0.01
3	15	1.5	0.8	5.31 ± 0.02
4	20	2.0	0.8	5.24 ± 0.01

3.2.3. 膜透光率

固定绣球菌蛋白和壳聚糖的比例和甘油含量, 改变绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量, 相关膜透光率

随着绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量的增加, 而其透光率在减小, 呈现出下降的趋势(表 3)。这可能是由于绣球菌蛋白和壳聚糖的相容性差, 所以绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量增加, 膜的透光率在减少。绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量为 5% 和 0.5% 时透光率最高为 63.2%, 绣球菌蛋白的含量和壳聚糖含量为 20% 和 2.0% 时最低为 42.6%。

Table 3. The transmittance of the films with different treatments

表 3. 不同处理膜透光率表

组号	配比			透光率(%)
	绣球菌蛋白(%)	壳聚糖(%)	甘油(%)	
1	5	0.5	0.8	63.2 ± 0.2
2	10	1.0	0.8	52.6 ± 0.3
3	15	1.5	0.8	48.5 ± 0.1
4	20	2.0	0.8	42.6 ± 0.2

3.3. 不同处理对苹果保鲜效果的影响

3.3.1. 不同处理对苹果失重率的影响

按照不同的处理对苹果进行失重率的测定, 结果如图 2。经过涂膜处理的苹果, 失重率明显低于空白对照组。在整个贮藏期, 采用不同涂膜体系处理过的苹果, 其失重率在均明显的上升。空白处理过后的苹果失重率上升最明显, 20% 绣球菌蛋白、2% 壳聚糖、0.8% 甘油(20% SCP)处理过后的苹果失重率上升对比来看上升最缓慢, 空白处理的苹果失重率在第三天就达到了 5.52%, 而 20% SCP 处理组涂膜处理后的苹果失重率在第五天才达到 5.56%, 第五天空白处理过后的苹果失重率已经高达 8.12%。

而其他涂膜处理过后的苹果失重率对比空白处理也有明显的降低; 15% SCP 处理组涂膜处理的苹果失重率在第四天有明显的增加; 5% SCP 和 10% SCP 处理组涂膜处理的苹果失重率增长比较稳定。没有涂膜处理的苹果失重率最高达到 8.12%, 涂膜处理之后苹果的失重率最高为 5.56%。余慧等人[31]研究表明失重率的降低可以更好地保持果蔬中的营养物质。在一定程度上, 苹果的失重率反映其在贮藏期间所含的营养物质含量变化。总体来看, 20% 绣球菌蛋白 + 2% 壳聚糖 + 0.8% 甘油(20% SCP)涂膜保鲜处理的苹果失重率最低, 保鲜效果最好。

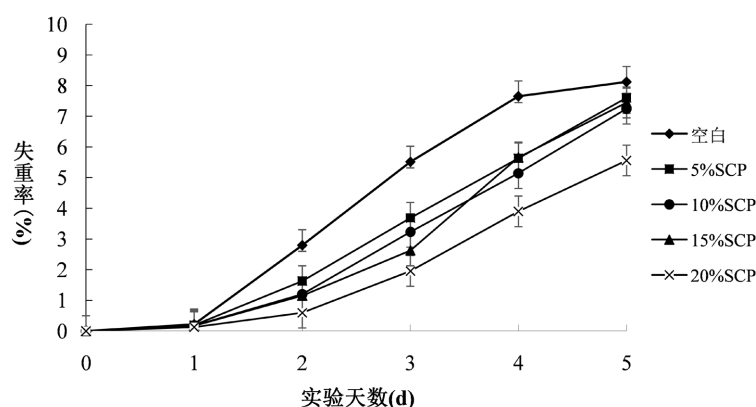


Figure 2. Weight loss rate of apples with different treatments

图 2. 不同处理的苹果失重率

3.3.2. 不同处理对苹果呼吸速率的影响

按照不同的处理对苹果的呼吸强度进行测定, 结果见图 3。通过实验可以看出, 苹果作为一种常见的呼吸跃变型果实[24], 经过涂膜处理均可以明显降低苹果在贮藏期间的呼吸速率, 并且可以有效地推迟苹果呼吸速率的高峰期。对照组苹果在贮藏的第二天左右便达到了呼吸速率高峰, 而经过涂膜后的苹果在贮藏的第四天左右才达到呼吸速率高峰, 比空白对照延迟了 2 天左右。这是因为在苹果表面的绣球菌蛋白保鲜膜阻止了外界大气与苹果表面气体的交换, 从而使苹果表面微小环境中的氧气含量降低从而使二氧化碳的浓度升高, 抑制了苹果呼吸强度的增加, 从而延缓了苹果从成熟到衰老过程, 提高了苹果的贮藏期。呼吸速率可以反映果蔬中营养物质消耗的快慢, 李雨奇等人[32]的研究表明呼吸速率越慢, 营养物质的消耗就越少, 既可以反映营养物质消耗的快慢。因此, 20% 绣球菌蛋白 + 2% 壳聚糖 + 0.8% 甘油 (20% SCP) 涂膜保鲜处理的苹果呼吸速率最慢, 保鲜效果最好。

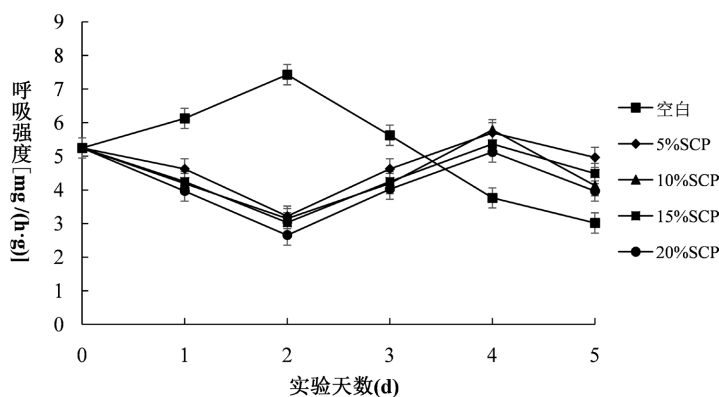


Figure 3. The effect of different treatments on respiratory rate
图 3. 不同处理对呼吸速率的影响

此外, 空白对照组的苹果在呼吸高峰呼吸速率最大为 7.425 mg/(kg·h), 经过涂膜处理的苹果在呼吸高峰呼吸速率最大为 5.786 mg/(kg·h), 最小为 5.125 mg/(kg·h), 降低了 2.3 mg/(kg·h)。20% SCP 处理组涂膜处理的苹果呼吸速率最低时为 2.654 mg/(kg·h), 最高时仅有 5.125 mg/(kg·h), 远远低于没有空白对照组 (图 3)。经过 5% SCP、10% SCP、15% SCP、20% SCP 处理组处理的苹果保鲜速率相差不多, 总体来说 20% 绣球菌蛋白 + 2% 壳聚糖 + 0.8% 甘油的保鲜效果最好, 呼吸高峰的呼吸速率最低, 乙烯释放量少, 可以有效延长贮藏期, 保证苹果质量。

3.3.3. 不同处理对苹果可滴定酸的影响

不同处理对苹果可滴定酸度影响的结果见图 4。不同处理苹果的可滴定酸度都随着贮藏时间不断延长呈现下降趋势。在贮藏 1~5 天的时间中, 5% SCP、10% SCP、15% SCP、20% SCP 处理组涂膜处理过后的苹果的可滴定酸度均比空白对照组的苹果的可滴定酸度的下降速率慢, 苹果中可滴定酸含量的改变可以反映苹果中所含营养物质被消耗的程度, 是评判苹果风味的重要指标之一[32]。因此, 可滴定酸度可以明显反映出苹果保鲜程度的差异。

20% SCP 处理组涂膜处理的苹果的可滴定酸度的下降的趋势最缓慢, 而且可滴定酸比其余四组都大, 含量最高。未经涂膜处理的苹果的可滴定酸含量最低, 这可能是因为涂膜保鲜剂可以有效的隔绝外界气体, 降低了呼吸损耗, 从而使可滴定酸的消耗减少。潘旭琳等人[33]的研究也证明了由于呼吸速率降低导致果蔬中可滴定酸消耗降低。由此可以说明, 20% 绣球菌蛋白 + 2% 壳聚糖 + 0.8% 甘油 (20% SCP) 涂膜处理的苹果在呼吸中的消耗最小, 保鲜效果最好。

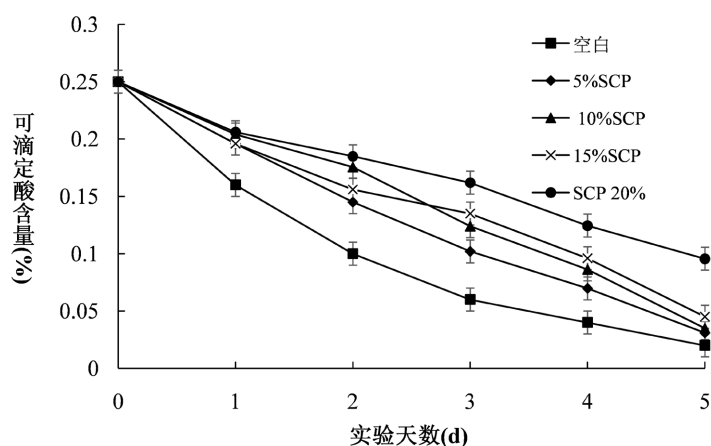


Figure 4. The effect of different treatments on titratable acidity
图 4. 不同处理对可滴定酸度的影响

4. 结论

本研究从膜性能和涂膜保鲜作用方面评价, 确定了最优秀球菌蛋白涂膜的制备配方: 20%绣球菌蛋白 + 2.0%壳聚糖 + 0.8%甘油, 在最佳配方下相关膜厚度为 $0.053\% \pm 0.002\%$ 、水蒸气透过率为 $5.24 \pm 0.01 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、透光率为 $42.6\% \pm 0.1\%$ 。通过苹果的保鲜实验发现, 在最佳配方下苹果的失重率为 5.56%、呼吸速率降低 $2.3 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 、可滴定酸含量增加了 2.56%。相关研究为开发蛋白质基保鲜剂提供了理论依据, 有望应用于果蔬保鲜相关领域。后续的研究可以改变绣球菌蛋白和壳聚糖的含量, 通过对比膜的性能和对多种水果的保鲜效果从而确定更好的涂膜保鲜剂的配方。

致 谢

本研究感谢以下基金项目的经费支持: 陕西省重点产业创新链(群) - 农业领域项目(2023-ZDLNY-16); 陕西省科技厅自然科学基金青年项目(2023-JC-QN-0270); 陕西省教育厅自然科学基金一般专项项目(22JK0361); 商洛学院重点培育项目(22KYPY08)、博士启动基金项目(22SKY101)、自然科学基金合作项目(22HKY248, 22HKY249, 23HKY051, 23HKY055)。

参考文献

- [1] 韩佳琳, 陈小宇, 李晓磊, 等. 涂膜保鲜在果蔬贮藏中的应用[J]. 现代食品, 2021, 27(9): 9-10, 13.
- [2] 崔慧, 李佳文, 陈美思. 蛋白质类可食性涂膜保鲜果蔬技术的研究进展[J]. 食品安全导刊, 2016, 12(1): 1-2.
- [3] Geyer, M. (2022) Impact of Biodegradable Materials on the Quality of Plums. *Coatings*, **12**, 24-29. <https://doi.org/10.3390/coatings12020226>
- [4] Bentley, N., Scherag, F., Brandstetter, T., et al. (2022) Protein Repellent, Surface-Attached Hydrogels through Spray Coating. *Advanced Materials Interfaces*, **6**, 9-11. <https://doi.org/10.1002/admi.202102359>
- [5] 李小琴, 陈霞, 龙飞, 等. 果蔬涂膜保鲜剂研究进展[J]. 南方农业, 2009, 3(1): 61-63.
- [6] 凌静. 淀粉基果蔬涂膜保鲜剂的研制[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [7] 李晨, 李娇, 崔晓东. 酒糟醇溶蛋白复合涂膜在葡萄常温保鲜中的应用[J]. 食品工业科技, 2022, 22(12): 15-18.
- [8] 龙娅, 胡文忠, 萨仁高娃, 等. 蛋白类可食性膜在鲜切果蔬包装中的应用[C]//中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集. 2018: 603-604.
- [9] 吴子龙, 张浩, 王泽熙, 等. 壳聚糖-姜精油涂膜对草莓贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 169-174.
- [10] Fallahi, E. (2021) Harpin Protein Influence on Fruit Quality Attributes, Ethylene, Respiration, and Minerals in Apples.

American Journal of Plant Sciences, **12**, 1236-1245. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.128086>

- [11] Sui, S., Ma, J., Li, H., *et al.* (2019) Effect of Different Coating Treatments on the Preservation Effect of Cherry Tomato. *Storage and Process*, **40**, 14-18.
- [12] Luo, S. and Liu, C. (2018) Effect on Preservation of Coating with Oat β -Glucan-Soybean Protein Isolate on Mini-Cucumber. *Food Research and Development*, **13**, 24-25.
- [13] 庞凌云, 祝美云, 李瑜, 等. 大豆分离蛋白对红薯保鲜效果研究[J]. 浙江农业科学, 2008(6): 777-779.
- [14] 史轲轲, 朱树华. 大豆分离蛋白对鲜切桃的保鲜效果[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 222-229.
- [15] 丁捷, 刘春燕, 黄彭, 等. 果蔬可食性保鲜涂膜技术应用及机理最新研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 318-327.
- [16] 张庆钢, 余善鸣, 姚旭, 等. 壳聚糖涂膜保鲜剂的研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(4): 156-158.
- [17] 戴脚印, 周鑫, 黄茜, 等. 大豆分离蛋白-壳聚糖可食用性抗菌膜的制备与性能评价[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(6): 89-95.
- [18] Karaka, Z. and Tontul, I. (2020) Influence of Whey Protein Isolate-Wax Composite Edible Coating on the Quality of Fruit Bars. *GIDA: The Journal of Food*, **46**, 21-31. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20116>
- [19] Grosso, A. and Asensio, C. (2020) Increase of Walnuts' Shelf Life Using a Walnut Flour Protein-Based Edible Coating. *LWT-Food Science & Technology*, **118**, Article ID: 108712. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108712>
- [20] 宋慧, 钟志春, 马利华, 等. 番茄涂膜保鲜效果评价[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2020, 35(2): 11-16.
- [21] 菇菇世界. 万菇之王——绣球菌[J]. 农家之友, 2017(5): 58.
- [22] 马传贵, 张志秀, 孙思胜, 等. 食用菌的活性成分及其物理提取技术研究[J]. 中国果菜, 2021, 41(6): 94-100.
- [23] 王余, 赵佩月, 雷时成, 等. 茶黄素-大豆分离蛋白复合物涂膜对香菇贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 366-373.
- [24] 李雨奇. UVC 结合大豆分离蛋白涂膜对鲜切苹果保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(1): 42-49.
- [25] 商立超. 一种双胞菇复合生物保鲜剂的研制及保鲜效果研究[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [26] 于有伟. 壳聚糖复合果蔬保鲜涂膜的制备及应用效果研究[D]: [硕士学位论文]. 临汾: 山西师范大学, 2012.
- [27] 李波, 朱静, 程静, 等. 香菇蛋白的提取制备方法研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 226-228, 231.
- [28] 方育. 可食性魔芋葡甘聚糖-壳聚糖-大豆分离蛋白复合膜的研究[D]: [硕士学位论文]. 深圳: 四川大学, 2006.
- [29] 张莹丽, 张妍, 戚家慧. 壳聚糖—柑橘精油复合保鲜剂对圣女果保鲜效果的研究[J]. 许昌学院学报, 2021, 40(5): 75-78.
- [30] 冯学梅, 王春良, 梁玉文, 等. 壳聚糖涂膜对金冠苹果保鲜效果研究[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(12): 115-116, 118.
- [31] 余慧, 吴唯可, 范楚宏, 等. 丝素-壳聚糖复合涂膜对鲜切苹果保鲜性能的研究[J]. 中国食品添加剂, 2018, 29(6): 125-129.
- [32] 李雨奇. 大豆分离蛋白对鲜切苹果保鲜效果的研究[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(8): 58-61.
- [33] 潘旭琳, 张春芝, 胡亚光. 可食性复合膜在鲜切苹果块保鲜中的应用研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(8): 21-27.