

食品流通与包装

硬脂酸对聚乙烯醇膜水果包装保鲜性能的影响

钟乐^{1,2}, 曾绮颖¹, 肖乃玉^{1,2}, 罗文翰^{1,2}, 何娟¹, 余倩^{1,3}, 柳建良³

(1.仲恺农业工程学院 轻工食品学院包装工程系, 广州 510225; 2.广东省食品绿色包装工程技术研发中心, 广州 510225; 3.广东省落叶果树工程技术研发中心, 广州 510225)

摘要: **目的** 研究硬脂酸改性聚乙烯醇膜对水果保鲜性能的影响。**方法** 采用溶液浇注法, 以硬脂酸为改性剂, 并辅以硬脂酸-96 为乳化剂, 聚乙二醇-400 为增塑剂, 对聚乙烯醇(PVA)膜进行改性, 利用 FT-IR 对其结构进行分析, 考察硬脂酸的添加量对膜的耐水性、拉伸强度、断裂伸长率和外观等包装性能的影响, 并以西梅为保鲜对象, 通过定期对西梅的呼吸强度、可溶性固含量和质量损失率进行测定, 进行西梅的鲜度分析, 评估改性膜的保鲜效果。**结果** 硬脂酸与聚乙烯醇之间形成了酯键, 膜的耐水性能得到明显提高, 当硬脂酸的质量分数从 0% 增大至 20% 时, 透湿度从 294.42 g/(m²·h) 降至 75.99 g/(m²·h), 降低了 74.19%, 溶解度从 26.85% 降至 12.90%, 膜的拉伸强度、断裂伸长率和透明度也略有降低; 与空白组和 PVA 膜组对照, 硬脂酸/PVA 组将西梅的呼吸跃变峰值推迟了 2 d, 明显降低了西梅的质量损失率, 延缓了可溶性固形物含量变化速率, 硬脂酸/PVA 组将西梅的货架期延长了 3.3 d。**结论** 采用硬脂酸改性聚乙烯醇, 可增强膜的耐水性能, 且提升了膜的包装强度, 增强了膜的保鲜效果。

关键词: 聚乙烯醇; 耐水性; 硬脂酸; 保鲜包装

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)15-0067-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.15.011

Effect of Stearic Acid on the Preservation of Fruit Packaging with Polyvinyl Alcohol Film

ZHONG Le^{1,2}, ZENG Qi-ying¹, XIAO Nai-yu^{1,2}, LUO Wen-han^{1,2}, HE Juan¹, YU Qian^{1,3}, LIU Jian-liang³

(1.Packaging Engineering Department of School of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agricultural and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2.Food Green Packaging Engineering Technology Research and Development Center, Guangzhou 510225, China; 3.Deciduous Fruit Tree Engineering Technology Research and Development Center, Guangzhou 510225, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of stearic acid modified polyvinyl alcohol film on fruit preservation. The solution casting method was adopted. Polyvinyl alcohol (PVA) film was modified with stearic acid as modifier, stearic acid-96 as emulsifier and polyethylene glycol-400 as plasticizer. Its structure was analyzed by FT-IR. The effects of stearic acid addition on the water resistance, tensile strength, elongation at break and appearance of the film were investigated. With prune as the preserved object, its respiration intensity, soluble solid content and weight loss rate were measured regularly, and the freshness of the prune was analyzed to evaluate the preservation effect of the modified film. Ester bond was formed between stearic acid and polyvinyl alcohol, and the water resistance of the film was improved obviously.

收稿日期: 2019-03-19

基金项目: 国家自然科学基金 (51493245); 广州市科技计划 (B41520707); 广州市科创委重大民生专项 (B31720726)

作者简介: 钟乐 (1984—), 男, 硕士, 仲恺农业工程学院讲师, 主要研究方向为包装材料与结构。

通信作者: 肖乃玉 (1981—), 女, 博士, 仲恺农业工程学院教授, 主要研究方向为功能食品包装膜。

When the content of stearic acid increased from 0% to 20%, the moisture permeability decreased from 294.42 g/(m²·h) to 75.99 g/(m²·h), which decreased by 74.19%. The solubility decreased from 26.85% to 12.90%. The tensile strength, elongation at break and transparency of the film decreased slightly. Compared with blank group and PVA film group, the stearic acid/PVA group delayed the respiratory climacteric peak of prune for 2 days, and decreased the weight loss rate of prune obviously. Stearic acid/PVA group extended the shelf life of prune by 3.3 days. Polyvinyl alcohol modified by stearic acid can enhance the water resistance, the packaging strength and the preservation effect of the film.

KEY WORDS: polyvinyl alcohol; water resistance modification; stearic acid; packaging preservation

我国是水果的生产和消费大国, 果源丰富, 但腐烂率也较高, 发达国家的水果损失率低于 5%, 而我国的损失率高达 20%~30%, 因采后处理技术的欠缺, 每年的经济损失高达 700 亿元, 提升果蔬保鲜效果刻不容缓^[1]。2018 年中央经济工作会议提出, 藏粮于地、藏粮于技、贮藏在于保鲜。涂膜保鲜技术是将高分子溶液均匀涂抹在水果表面, 通过在膜内形成气调环境来抑制果实的呼吸作用, 延缓营养物质代谢消耗, 降低腐烂率, 从而延长其保质期, 利用高分子涂膜材料还可在不损伤果体的情况下增强对外界环境的耐受力, 因而近年来备受关注^[2-4]。

聚乙烯醇薄膜 (PVA) 是一种可生物降解的高分子, 具有无毒、化学性质稳定、力学性能良好和成膜性能良好等特点, 其应用已经逐渐从工业领域延伸到食品包装领域^[5]。如章建浩课题组^[6-7]用 PVA 单膜或者复合膜保鲜新鲜鸡蛋、咸鸭蛋, 相对于传统的气调保鲜、冷藏保鲜和塑料封存保鲜, 具有操作简便、能耗小、成本低等优势, 与空白对照组相比, 可显著提高保质期。国外也一直关注于 PVA 薄膜的保鲜性能研究, El-Dein 等^[8]以 PVA 为天然可降解材料制备水果薄膜对鲜枣进行保鲜, 发现其货架期延长至 1 个月。此外, Ciumpiliac 等^[9]将抗菌剂添加至 PVA 膜中发现, 抑菌物质被聚合物包合, 可防止其过量释放, 起到持久抑菌保鲜的作用。由于 PVA 遇水后阻隔性能会下降, 因些会影响其保鲜效果^[6]。有文献报道, 硬脂酸和聚乙烯醇发生的酯化反应能减少聚乙烯醇上的羟基基团, 并且未反应完的硬脂酸也是一种难溶于水的固体结晶, 可以降低聚乙烯醇膜的亲水性, 提高遇水时的阻隔性^[10-12]。目前还未见硬脂酸对聚乙烯醇膜的物理性能、力学性能、阻隔性能、透明性、耐水性等包装性能的影响, 以及关于植物源农产品保鲜效果评价等方面的报道。

文中以聚乙烯醇为基体, 以硬脂酸为改性剂, 以期获得对植物源农产品具有良好包装保鲜性能的硬脂酸/聚乙烯醇复合膜, 实现防水、阻隔微生物及控制呼吸损耗等功能, 以最大程度维持水果的原有品质和风味, 延长水果的货架期, 提高其商品价值。文中主要考察硬脂酸添加量对聚乙烯醇复合膜物理性能、力学性能、耐水性能及透明度等的影响, 并以西梅为植物源农产品实验材料进行保鲜效果的评定。此外,

结合衰减全反射傅里叶红外光谱对复合膜的结构进行分析及表征, 探索硬脂酸与聚乙烯醇分子间的相互作用, 为以聚乙烯醇为基体的食品包装膜提供基础数据和技术支撑。

1 实验

1.1 试剂与仪器

主要试剂: 聚乙烯醇 1799 型, 醇解度为 98%~99%, 麦克林试剂网; 硬脂酸, 相对分子量为 284.48, 分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司; PEG-400, 广州博峰化工科技有限公司, 纯度为 90%; 乳化剂 AE-96, 食品级, 麦克林试剂网; 酚酞指示剂, 相对分子量为 318.33, 上海展云化工有限公司; 草酸, 相对分子量为 126.07, 分析纯, 无锡市展望化工试剂有限公司; 氯化钡, 相对分子量为 244.26, 分析纯, 无锡市展望化工试剂有限公司; 智利进口西梅, 京东果真果蔬专营店。

主要仪器: FA2004C 型电子天平, 上海佑科仪器仪表有限公司; GB-3 型数字测厚仪, 东莞市快捷量具仪器有限公司; 移液枪, 上海麦尚科学有限公司; GBH-1 电子万能材料试验机, 广州标际包装设备有限公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司; TOM-9240A 型数显电热鼓风干燥箱, TOMOS 生命科学集团; BSC-150 恒温恒湿培养箱, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 3-5 台式低速离心机, 上海托莫斯科科学仪器有限公司; 722 可见分光光度计, 上海佑科仪器仪表有限公司。

1.2 复合膜的制备

将 5 g 聚乙烯醇均匀溶解于 95 mL, 100 °C 的去离子水中, 冷却至室温后, 向其添加 0.5 mL 聚乙烯醇-400。同时分别加入质量分数为 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 的硬脂酸和 0.025 mL 的乳化剂 AE-96, 加热温度为 95 °C, 机械搅拌 20 min, 转速为 550 r/min。取出膜液并冷却至室温, 离心 5 min, 脱气泡, 然后在玻璃板上流延, 置于 35 °C 烘箱中烘 14~16 h, 常温下冷却, 揭膜, 待用, 以纯 PVA 膜为对照。

1.3 复合膜的结构测定

膜的结构采用 Nicolet/Nexus 670 型傅里叶变换红外光谱仪进行测定,具体方法参照参考文献[13]。

1.4 膜的性能表征

膜的厚度、透湿度、溶解度、溶胀度、拉伸强度、断裂伸长率、透明度等相关指标按照参考文献[14—15]进行测定。

1.5 保鲜性能的测定

以西梅为例,将新采摘的西梅随机分为 3 组,分别标记为 A, B, C。其中, A 组为对照组,不做任何保鲜处理; B 组采用 PVA 涂膜处理; C 组采用硬脂酸/PVA 涂膜处理。在室温下放置,定时取一定量样品进行鲜度指标的测定。可溶性固含量和质量损失率的测定按照文献[16]方法进行,呼吸强度按照杨振生^[17]的方法进行测定。

1.6 数据分析

每组实验做 3 次平行测试实验,利用 Origin 8 进行数据分析及误差棒处理。

2 结果分析与讨论

2.1 硬脂酸的添加对膜结构的影响

聚乙烯醇膜和硬脂酸/聚乙烯醇复合膜的 FT-IR 谱见图 1。在图 1 中,谱线 1 对应于聚乙烯醇膜,谱线 2 为添加硬脂酸质量分数为 10% 的硬脂酸/聚乙烯醇复合膜的红外光谱。由 FT-IR 谱图可知,实验组和对照组分别在 3290 cm^{-1} , 2939 cm^{-1} , 1415 cm^{-1} , 1088 cm^{-1} , 842 cm^{-1} 等处有相同吸收峰。根据吸收峰的峰形、强度及不同基团特定的红外吸收区域,可判断出

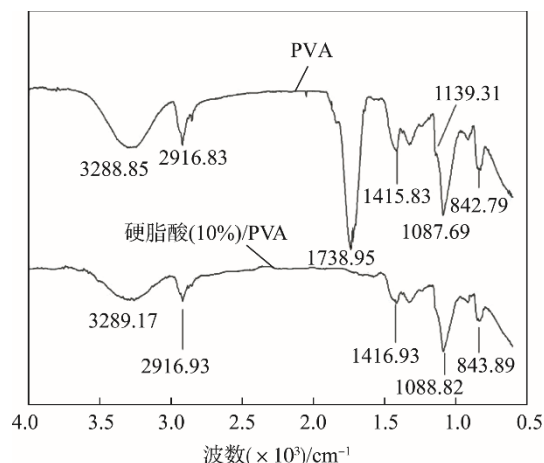


图 1 质量分数分别为 0%, 10% 的硬脂酸/PVA 膜的红外光谱

Fig.1 FT-IR spectra of 0% and 10% stearic acid/PVA films

其吸收峰分别为—OH 伸缩振动吸收峰、—CH 的伸缩振动峰、—CH₂ 的弯曲振动峰、C—O 伸缩振动引起的羟基特征吸收峰、C—C 伸缩振动引起的碳链特征峰。实验组在 1739 cm^{-1} 处出现 C=O 伸缩振动吸收峰,在 1087 cm^{-1} 处出现 C—O 吸收峰,同时在 1139 cm^{-1} 处出现了 1 个新的吸收强度较小的 C—O 吸收峰。这符合酯键 C-O-C 的伸缩振动在 $1330\sim 1030\text{ cm}^{-1}$ 区域有 2 个吸收峰的特征,表明实验组中存在酯键。这与杨峰^[18]利用硬脂酸中的—COOH 基团与纳米二氧化钛(Nano-TiO₂)/纤维素纳米纤维(CNF)复合体系表面的—OH 基团发生脱水反应,形成酯键,提高了 Nano-TiO₂ 和 CNF 复合物疏水性的原理是一致的。

2.2 硬脂酸的添加对膜耐水性能的影响

文中分别从透湿度、溶解度和溶胀度等 3 个角度来考察硬脂酸添加对膜耐水性能的影响。不同硬脂酸添加量对硬脂酸/PVA 膜透湿度的影响见图 2。由图 2 可知,添加硬脂酸后,复合膜的透湿度呈下降趋势。当硬脂酸的质量分数从 0% 增大至 20% 时,透湿度从 $294.42\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 降至 $75.99\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,阻水性显著提高。这可能是由于硬脂酸的羧基与聚乙烯醇上的羟基发生酯化反应,减少了聚乙烯醇上的亲水基团,阻水性能提高,此外,未反应完的硬脂酸也是一种难溶于水的固体结晶,其加入能降低聚乙烯醇膜的亲水性及吸水性^[18]。

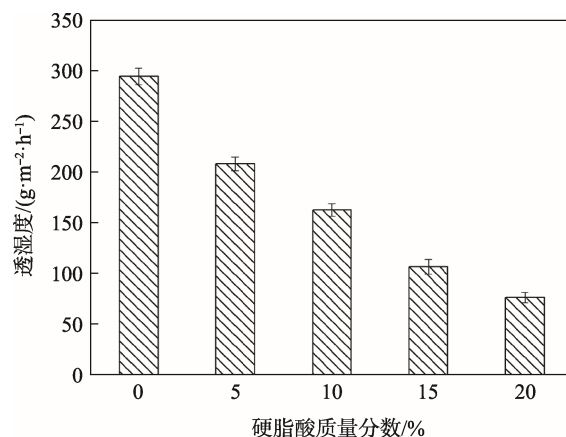


图 2 硬脂酸对 PVA 复合膜透湿度的影响

Fig.2 Influence of stearic acid on the moisture permeability of PVA composite films

不同硬脂酸添加量对硬脂酸/PVA 膜溶解度的影响见图 3。由图 3 可知,膜的溶解度随硬脂酸添加量的增加呈下降趋势,当硬脂酸的质量分数从 0% 增大至 20% 时,溶解度从 26.85% 降至 12.90%。这是因为聚乙烯醇分子含有大量亲水性的羟基,而硬脂酸含有大量醋酸根,促进了分子间的酯化反应,减少了亲水基团,导致硬脂酸聚乙烯醇复合膜的吸湿性能降低,而阻湿性能得到明显增强,有利于阻止水分的转移。

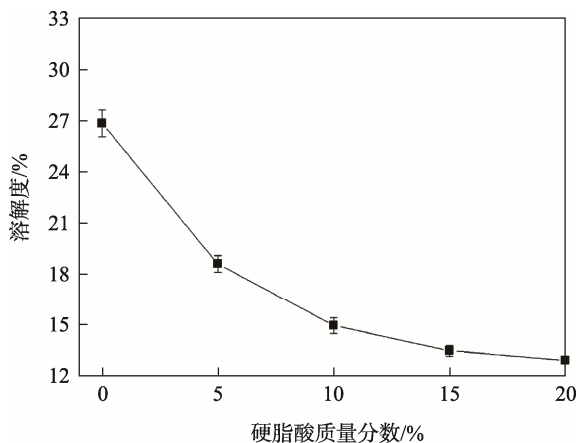


图3 硬脂酸对PVA复合膜溶解度的影响
Fig.3 Influence of stearic acid on the solubility of PVA composite films

不同硬脂酸添加量对硬脂酸/PVA膜溶胀度的影响见图4。由图4可知,当硬脂酸的质量分数从0%上升到5%时,聚乙烯醇复合膜的溶胀度从397.14%下降至206.81%,下降了190.33%。随着硬脂酸添加量的持续增加,当硬脂酸的质量分数为10%时,溶胀度达到最低点(163.17%)。之后随着硬脂酸的质量分数从10%增至20%,溶胀度呈上升趋势,硬脂酸的质量分数为20%时,PVA复合膜的溶胀度为256.62%。表明加入硬脂酸后,硬脂酸中的醋酸根与聚乙烯醇中的羟基发生了酯化反应,由此提升了复合膜的耐水性能,这一点与溶解度和透湿度的结果相互佐证。

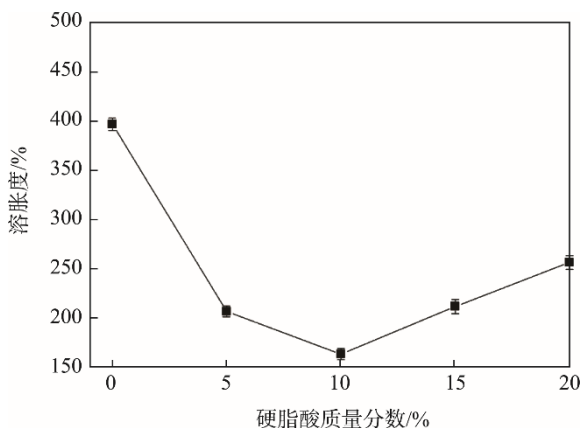


图4 硬脂酸对PVA复合膜溶胀度的影响
Fig.4 Influence of stearic acid on the degree of swelling of PVA composite films

2.3 硬脂酸的添加对膜力学性能的影响

膜在相对湿度为75%环境下的拉伸强度和断裂伸长率随厚朴提取物含量的变化趋势见图5。由图5可知,随着硬脂酸添加量的增加,复合膜的拉伸强度和断裂伸长率均呈下降趋势。当硬脂酸的质量分数从0%增加至20%时,拉伸强度由33.47 MPa降低至16.14 MPa,下降了51.78%;断裂伸长率由418.12%降低至217.47%,下降了47.99%。

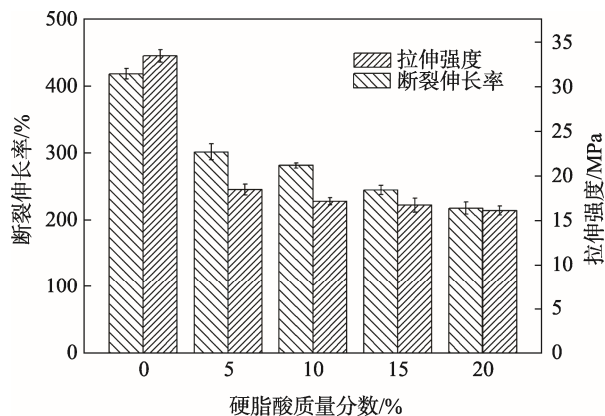


图5 硬脂酸对PVA复合膜拉伸强度和断裂伸长率的影响
Fig.5 Influence of stearic acid on the tensile strength and the elongation at break of PVA composite films

聚乙烯醇分子链在成膜时形成的聚集态结构及分子链长度会影响膜的力学性能。硬脂酸又名十八烷酸,是一种在常温下不溶于水的固体结晶,不具有成膜性。当聚乙烯醇与硬脂酸混合流延成膜时,聚乙烯醇与硬脂酸分子间的相互作用会影响聚乙烯醇分子链的聚集态结构,而使硬脂酸/聚乙烯醇复合膜中聚乙烯醇分子链的网络结构发生改变,导致硬脂酸/聚乙烯醇复合膜的力学性能下降。此外,硬脂酸作为添加剂加入到聚乙烯醇中,当硬脂酸与聚乙烯醇分子间的相互作用强度小于聚乙烯醇分子间的相互作用,使得聚乙烯醇分子链之间的应力传递能力下降,这可能是导致硬脂酸/聚乙烯醇复合膜力学性能下降的主要原因。

2.4 硬脂酸的添加对膜透明度的影响

薄膜的透明度是影响水果外观及受光照强度的重要因素之一。在一定程度下,降低水果表面的光照强度能够改善果实的色泽度,提高果实的品质。由于硬脂酸在常温下是一种白色略带光泽的蜡状晶体,反应残留的硬脂酸会降低聚乙烯醇复合膜的透明度。由图6可知,当硬脂酸添加量的质量分数为0%时,

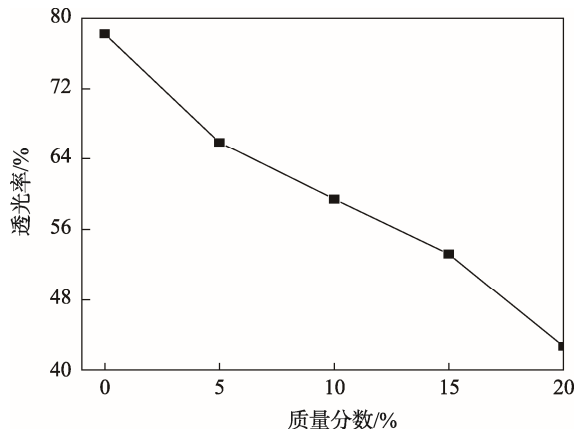


图6 硬脂酸对PVA复合膜透明度的影响
Fig.6 Influence of stearic acid on the transparency of PVA composite films

聚乙烯醇复合膜的透光率为 78.26%。硬脂酸添加量的质量分数为 10% 时, 聚乙烯醇复合膜的透光率为 65.86 %。当硬脂酸添加量的质量分数为 20 % 时, 透光率低至 42.67%, 不透明度过高, 因此硬脂酸最佳添加量为 10 %。

2.5 聚乙烯醇复合膜液涂膜对西梅保鲜效果的影响

2.5.1 涂膜对西梅呼吸强度的影响

通过抑制水果的呼吸强度, 以防止水果新陈代谢过快, 从而导致水果在贮运过程中腐烂, 这是水果的保鲜方式之一。由图 7 可知, 贮藏第 1 天, 硬脂酸/PVA 组西梅的呼吸强度为 385 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 纯 PVA 组西梅的呼吸强度为 476 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 对照组西梅的呼吸强度为 583 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。贮藏第 2 天, 对照组的西梅出现呼吸跃变, 其呼吸强度达到 1322 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$; 由于涂膜保鲜降低了西梅的采后呼吸强度, 导致纯 PVA 组的呼吸跃变延迟到第 3 天, 呼吸强度为 1100 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 硬脂酸/PVA 组的呼吸跃变延迟到第 4 天, 呼吸强度为 1021 $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。之后随着贮藏时间的延长, 对照组和涂膜组的呼吸强度都开始下降, 并且涂膜组相较于对照组, 呼吸强度均较低。在贮藏至第 7 天时, 由于对照组西梅的呼吸强度过高, 内部营养物质被快速损耗, 导致西梅开始腐烂。涂膜能有效降低西梅的呼吸强度, 延迟西梅的呼吸跃变, 且由于硬脂酸/PVA 组的耐水性更好, 膜层可持续保鲜, 进而延长贮藏期。PVA 膜具有良好的物理性能、力学性能, 以及可有效阻隔外界因素的入侵途径, 并将食品内部呼吸产生的气体及时与外界交换, 形成的气调微环境, 从而有效地延缓采摘后西梅各成分的化学变化速率, 推迟呼吸跃变时间。改性后的 PVA 膜提高了耐水性, 使包装性能得到增强, 延迟生化反应的效果更好, 呼吸跃变推迟更明显。

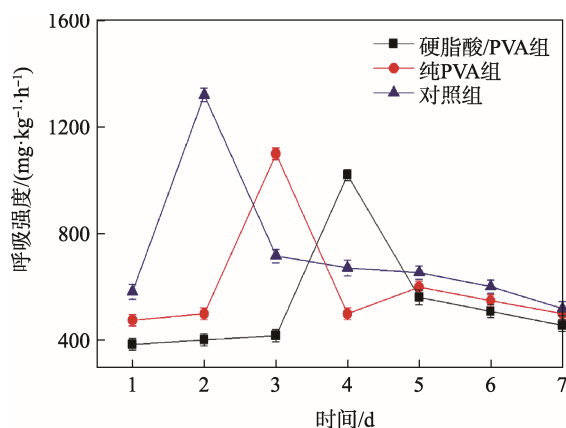


图 7 硬脂酸对西梅呼吸强度的影响
Fig.7 Influence of stearic acid on the respiration intensity of prune

2.5.2 涂膜对西梅质量损失率的影响

由图 8 可知, 常温贮藏 1 d 后, 硬脂酸/PVA 组的质量损失率为 3.56 %, 纯 PVA 组的质量损失率为 4.19%, 对照组的质量损失率为 5.49 %。涂膜组和对照组的西梅随着贮藏时间的延长, 质量损失率不断上升, 并且硬脂酸/PVA 组、纯 PVA 组和对照组的质量损失率差距不断增大。贮藏至第 6 天时, 硬脂酸/PVA 组的质量损失率为 11.58 %, 纯 PVA 组的质量损失率为 15.01%, 对照组的质量损失率为 17.93 %。这主要是由于涂膜的膜层能够有效降低西梅水分的蒸腾作用, 阻水性能越强, 效果越显著, 此外其形成的气调微环境降低了西梅的代谢消耗。

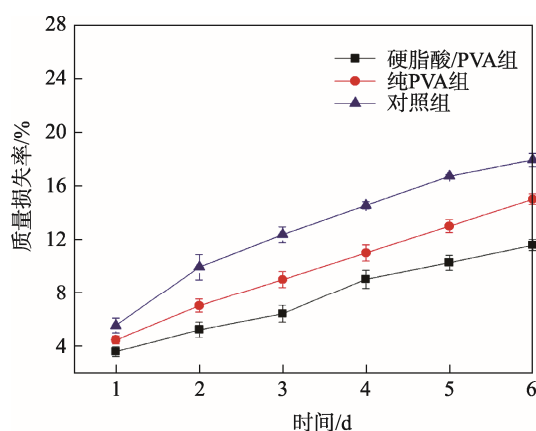


图 8 硬脂酸对西梅质量损失率的影响
Fig.8 Influence of stearic acid on the weight loss rate of prune

2.5.3 涂膜对西梅可溶性固形物含量的影响

由图 9 可知, 3 组处理的可溶性固形物含量变化趋势均为先上升后下降, 相较于对照组, 涂膜组曲线的变化较缓慢; 贮藏至第 3 天时, 对照组的可溶性固形物的质量分数为 16.02%, 硬脂酸/PVA 组和纯 PVA 组分别为 15.04% 和 15.50%; 贮藏至第 7 天时, 对照组的可溶性固形物质量分数为 11.50%, 硬脂酸/PVA 组和纯 PVA 组的可溶性固形物质量分数分别为 14.50% 和 13.00%。这主要是因为西梅贮藏过程中, 果体会不同程度地发生后熟, 可溶性物质增多。贮藏后期, 果实的呼吸作用会损耗葡萄糖等可溶性成分, 可溶性固形物的含量会下降。涂膜组由于膜层阻隔作用, 使得果实后熟减缓, 呼吸损耗减少, 生化过程变慢, 因而在一定程度上可延长果实的贮藏期。与硬脂酸改性膜相比, 纯 PVA 组由于水蒸气浸润, 湿强度减低, 阻隔性能降低, 膜的包装强度减弱, 致使对果实的保护作用减弱。

3 组西梅的货架期见表 1, 综合西梅的呼吸强度、可溶性固形物和质量损失率等指标, PVA 组将货架期延长了 2 d。硬脂酸/PVA 组由于其良好的阻隔性, 减缓了腐败进程, 可将西梅的货架期延长 3.3 d。

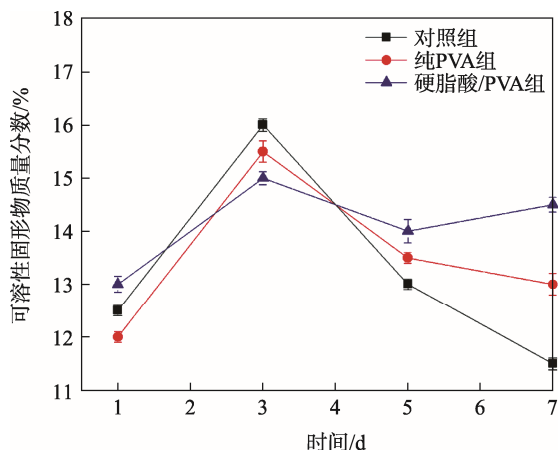


图9 硬脂酸对西梅可溶性固形物含量的影响
Fig.9 Influence of stearic acid on the soluble solid content of prune

表1 西梅货架期
Tab.1 Shelf life of prune

西梅 货架期	测试指标		
	从可溶性固 含量的角度	从质量损失 率的角度	从呼吸强 度的角度
对照组	4	4	4
PVA膜组	6	6	6
硬脂酸/ PVA膜组	8	7	7

3 结语

随着硬脂酸添加量的增加,复合膜的透湿度、溶解度和溶胀度显著降低,耐水性能明显提高;拉伸强度和断裂伸长率呈下降趋势;透明度略有下降。

通过 FT-IR 对膜进行结构分析,结果表明,随着硬脂酸添加量的增加,C-O-C 键的生成使得聚乙烯醇的分子链变长,影响了其分子链的规整性,这是造成复合膜力学性能下降的主要原因。

以西梅为例,采用涂膜处理,并综合呼吸强度、可溶性固形物和质量损失率等指标,PVA 组可将货架期延长 2 d;硬脂酸/PVA 组由于其良好的阻隔性,减缓了腐败进程,可将西梅的货架期延长 3.3 d。改性 PVA 膜可明显提高西梅的包装保鲜效果。

参考文献:

- [1] 郭鑫,崔政伟. 果蔬气调贮藏研究现状及展望[J]. 包装工程, 2012, 33(7): 122—126.
GUO X, CUI Z W. Research Status and Prospect of Controlled Atmosphere Storage of Fruits and Vegetables[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 122—126.
- [2] 张蓓. 蜂胶/纳米 SiO₂ 复合涂膜材料的制备及对圣女

果涂膜保鲜效果的研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2015.

- ZHANG B. Preparation of Propolis/nano-SiO₂ Composite Film Material and Study on the Preservation of Sacred Fruit Film[D]. Jinzhou: Bohai University, 2015.
- [3] 张冠楠. 涂膜处理对灵武长枣低温贮藏期间抗氧化物质和抗氧化能力的影响[D]. 银川: 北方民族大学, 2017.
ZHANG G N. Effects of Film Treatment on Antioxidant Substances and Antioxidant Capacity of Lingwu Long Jujube During Low Temperature Storage[D]. Yinchuan: Northern University for Nationalities, 2017.
- [4] 王丽岩. 壳聚糖基活性包装膜的性能及其在食品贮藏中应用的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
WANG L Y. Study on the Properties of Chitosan-based Active Packaging Film And Its Application in Food Storage[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [5] 顾瑾, 李俊俊, 孙余凭, 等. 聚乙烯醇膜的改性及应用研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32: 1074—1080.
GU J, LI J J, SUN Y P, et al. Progress in Modification And Application of Polyvinyl Alcohol Membranes[J]. Progress in Chemical Industry, 2013, 32: 1074—1080.
- [6] 梁花兰. 聚乙烯醇基涂膜材料及其对咸鸭蛋涂膜保鲜包装效果的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
LIANG L H. Study on Polyvinyl Alcohol-based Coating Material and Its Effect on Fresh-keeping Packaging of Salted Duck Egg Film[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [7] 顾凤兰. 纳米 α -Fe₂O₃ 改性聚乙烯醇基复合涂膜包装材料制备及其对清洁鸡蛋保鲜效果研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
GU F L. Preparation of Nano- α -Fe₂O₃ Modified Polyvinyl Alcohol-based Composite Film Packaging Material and Its Effect on Keeping Clean Eggs Fresh[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [8] EL-Dein AE, KHOZEMY EE, FARAG SA, et al. Effect of Edible Co-polymers Coatings Using Gamma-irradiation on Hyani Date Fruit Behavior During Marketing[J]. International Journal of Biological Macro-molecules, 2018, 117: 851—857.
- [9] CIUMPILAC S, STROESCU M, STOICA-GUZUN, A, et al. Antimicrobial Agar Particles for Food Preservation[J]. Revista De Chimie, 2010, 61(11): 1076—1079.
- [10] PENG W Y, GOU X L, QIN H L, et al. Robust Mg(OH)(2)/Epoxy Resin Superhydrophobic Coating Applied to Composite Insulators[J]. Applied Surface Science. 2018, 466: 126—132.
- [11] LO'AY A A, EL-KHATEEB A Y. Impact of Chitosan/PVA with Salicylic Acid, Cell Wall Degrading Enzyme Activities And Berries Shattering of 'Thompson Seedless' Grape Vines During Shelf Life[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 238: 281—287.
- [12] LO'AY A A, DAWOOD H D. Minimize Browning Incidence of Banana by Postharvest Active Chitosan/PVA Combines with Oxalic Acid Treatment to During

- Shelf-life[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 226: 208—215.
- [13] 何娟, 钟乐, 李湘銮, 等. 厚朴提取物对甲基纤维素复合膜结构及性能的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2018, 34(8): 67—73.
- HE J, ZHONG L, LI X L, et al. Effect of Magnolia Officinalis Extract on Structure And Properties of Methylcellulose Composite Membrane[J]. *Polymer Material Science And Engineering*, 2018, 34(8): 67—73.
- [14] 肖乃玉, 吴文毅, 刘丹, 等. 纳米蒙脱土对羧甲基纤维素包装膜结构和性能的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2015, 31: 72—76.
- XIAO N Y, WU W Y, LIU D, et al. Effect of Nano-montmorillonite on the Structure And Properties of Carboxymethyl Cellulose Packaging Film[J]. *Polymer Materials Science And Engineering*. 2015, 31: 72—76.
- [15] SRINIVASA P C, RAMESH M N, THARANATHAN R N. Effect of Plasticizers And Fatty Acids on Mechanical And Permeability Characteristics of Chitosan Films[J]. *Food Hydrocolloids*. 2007, 21: 1113—1122.
- [16] 武晓红, 赵习平, 李立颖, 等. 成熟期杏果实可溶性固形物、酸含量和硬度的变化规律及相关性分析[J]. *河北农业科学*, 2017, 21(5): 35—37.
- WU X H, ZHAO X P, LI L Y, et al. Variation and Correlation Analysis of Soluble Solid Acid Content and Hardness in Apricot Fruit at Ripening Stage[J]. *Hebei Agricultural Science*, 2017, 21 (5): 35—37.
- [17] 杨振生, 袁唯. 果蔬呼吸强度测定方法[J]. *保鲜与加工*, 2003(2): 24—25.
- YANG Z S, YUAN W. Method for Determination of Respiratory Intensity of Fruits And Vegetables[J]. *Preservation And Processing*, 2003(2): 24—25.
- [18] 杨峰, 曹坤丽, 徐颖异. 硬脂酸/TiO₂/CNF 超疏水复合材料的制备与表征[J]. *林产工业*, 2019, 46(1): 43—47.
- YANG F, CAO K L, XU Y Y. Preparation and Characterization of Stearic Acid/TiO₂/CNF Superhydrophobic Composites[J]. *Forest Industry*, 2019, 46 (1): 43—47.