

聚乳酸薄膜处理对黄花菜保鲜效果分析

顾岩岩, 徐璐, 付正义, 程树军*, 顾金楼

(华东理工大学材料科学与工程学院, 上海 200237)

摘要: 聚乳酸 (PLA) 是一种完全生物降解材料, 为研究 PLA 薄膜对黄花菜的保鲜效果, 以聚乙烯 (PE) 薄膜为对照, 用不同厚度 PLA 薄膜对黄花菜进行了气调保鲜处理, 在 (25±1) °C 贮藏期间对黄花菜的相关品质指标进行了测定。结果表明, PLA 薄膜 O₂ 和 CO₂ 透过率低于 PE 薄膜, 贮藏期间形成低氧高二氧化碳气体环境, 抑制黄花菜呼吸作用, 明显减缓可溶性蛋白质、可溶性糖、叶绿素和抗坏血酸 (Vc) 含量的下降, 抑制细胞膜渗透率、过氧化物酶 (POD) 活性的上升, 延长黄花菜的贮藏保鲜期至 10 d, 而 PE 薄膜仅能贮藏 6 d, 厚度 25 μm 的 PLA 薄膜保鲜效果最好。

关键词: 黄花菜; 聚乳酸薄膜; 气调包装; 品质

中图分类号: S644.309.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)05-0929-07

Application of polylactic acid film packaging to daylily flower preservation

GU Yanyan, XU Lu, FU Zhengyi, CHENG Shujun, GU Jinlou

(School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237)

Abstract: Polylactic acid is a biodegradable material. In order to explore the effect of polylactic acid (PLA) film on fresh keeping of daylily flowers, an experiment was carried to determine if the PLA film thickness affected the preservation effect of daylily flowers with the polyethylene (PE) film as a control. The relevant quality indexes of daylily flowers were periodically recorded at (25±1)°C. The results showed that a gas condition with less oxygen and more carbon dioxide was formed inside the PLA film due to its lower O₂ and CO₂ penetration rate compared to the PE film. Such a gas condition inhibited the respiration of daylily flowers and obviously slowed the declining of soluble protein, soluble sugar, chlorophyll and ascorbic acid (Vc) contents in daylily flowers. The gas condition also inhibited the rising of permeability of cell-membrane and peroxidase (POD) activity during a storage period, which obviously prolonged the daylily flower storage time to 12 d, longer than 9 d of PE films. PLA film with 25 μm thickness showed the best preservation result.

Key words: daylily flower; polylactic acid film; atmosphere packaging; quality

黄花菜 (*Hemerocallis citrina* Baroni) 又称金针菜, 为百合科多年生草本植物。黄花菜鲜甜味美、菜汤皆宜, 富含糖类、蛋白质、维生素 C (Vc)、无机盐以及人体必需的氨基酸等营养物质。随着生活水平的提高, 人们对鲜黄花菜的需求日益增多, 但采后黄花菜采的呼吸强度高达 0.54~0.56 mg·h⁻¹[1], 普通薄膜包装下, 一般 2 d 后全部开花, 4 d 后开始腐烂, 严重影响其商业价值, 因此研究黄花菜贮藏保鲜技术对提高其经济效益有重要意义。很多学者研究了小包装气调保鲜[2]、硫化化钠

(NaHS) 溶液保鲜[3]、中草药提取液保鲜[4]及 CO₂ 辐射保鲜[5]等技术以改善黄花菜保鲜效果。

聚乳酸 (PLA) 薄膜具有高模量、透明性及气体选择透过性, 可作为保鲜包装材料。PLA 薄膜使用后堆肥处理, 具有完全生物降解性, 不造成包装废弃物污染, 且具有抗油性及印刷性能, 在包装材料领域有广阔应用前景[6-7]。有部分学者将 PLA 薄膜用于苹果、金针菇、草莓和菠菜等果蔬的保鲜, 研究表明 PLA 薄膜袋内可形成高 CO₂ 低 O₂ 的气体环境, 能抑制果蔬的呼吸作用[8-11], 且高浓度 CO₂

收稿日期: 2017-04-14

作者简介: 顾岩岩, 硕士研究生。E-mail: uniquegyy@163.com

* 通信作者: 程树军, 副教授。E-mail: chshj2003@126.com

及 PLA 薄膜释放的微量乳酸分子能抑制微生物的生长^[12], 起到抑菌作用, 延长保鲜期。作者通过研究不同厚度 PLA 薄膜对黄花菜贮藏期间可溶性蛋白质、可溶性糖、叶绿素、抗坏血酸 (Vc)、细胞膜渗透率及过氧化物酶 (POD) 等生理指标的影响, 探讨 PLA 薄膜对鲜黄花菜的保鲜效果。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

新鲜黄花菜, 2016年6月采摘于某黄花菜种植基地。PE 保鲜袋, 35 cm×25 cm, 单层膜厚 9.8 μm, 昊辰 (无锡) 塑业有限公司; PLA 保鲜袋, 35 cm

×25 cm, 单层膜厚分别为 15、25 和 33 μm, 实验室自制, 表 1 为 PLA 和 PE 薄膜的 O₂、CO₂ 和 H₂O 渗透系数, 委托济南兰光机电技术有限公司测试。

HS005A 型恒温恒湿箱: 上海源长实验仪器设备厂; GC900C 型气相色谱仪: 上海天普分析仪器有限公司; UV765 型紫外可见分光光度计: 上海精密科学仪器有限公司; DZ-280/2SD 型真空包装机: 香港康泰家电用品有限公司。

考马斯亮蓝 G-250、牛血清蛋白质、无水乙醇、草酸、邻苯二酚溶液、丙酮、蒽酮、乙酸乙酯、2,6-二氯酚靛酚和 H₂O₂ 等, 所有试剂均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司。

表 1 薄膜的气体渗透系数

Table 1 Gas permeability coefficient of different plastic films

气体 Gas	气体渗透系数/kg·m(m ² ·s·Pa) ⁻¹ Gas permeability coefficient			
	PE	PLA15	PLA25	PLA35
O ₂	3×10 ⁻¹⁵	6.3×10 ⁻¹⁸	5.9×10 ⁻¹⁸	5.4×10 ⁻¹⁸
CO ₂	3×10 ⁻¹⁵	2.9×10 ⁻¹⁷	2.1×10 ⁻¹⁷	1.6×10 ⁻¹⁷
H ₂ O	2×10 ⁻¹⁷	1.5×10 ⁻¹⁴	1.3×10 ⁻¹⁴	1.0×10 ⁻¹⁴

表 2 黄花菜的感官评定标准

Table 2 Sensory quality standard of daylily flower

评价项目 Assessment	评价标准 (分) Storing standard				
	9	8	7	6	5
风味 Flavor	固有香气	香气变淡	无香气	无香气	异味
色泽 Color	黄绿色、绿色为主	部分黄化	部分黄化, 少部分褐变	全部黄化, 少部分褐变	全部褐变
开花 Flowering	无	个别花蕾张嘴	大部分开花	全部开花	全部开花
腐败 Corruption	无	无	无	很少	全部

1.2 黄花菜预处理

黄花菜预处理: 黄花菜采后立即运回实验室, 于 4℃ 的冰柜中预冷 12 h。

实验设计 5 个处理 (表 1): 对照处理为无膜包装 (CK) 和聚乙烯 (PE) 薄膜包装, 聚乳酸薄膜包装的 3 个处理为单层膜厚 15、25 和 33 μm 的 PLA15、PLA25 和 PLA33, 选取大小 (10 cm 左右) 及色泽相似、无开花、无机械损伤、无病虫害和无化学药液处理的黄花菜。将黄花菜头尾排列整齐放入包装袋中, 使用真空包装机抽真空封装, 然后通过粘结在薄膜上的橡胶塞注入等量 (200 mL) 的空气, 以保证包装袋内初始气体成分含量一致。将处理好的黄花菜放入温度 (25±1)℃, 相对湿度 (70%~80%) 的恒温恒湿箱内, 之后每隔 2 d, 各处理组随机取 3 袋黄花菜, 于固定时间测试黄花菜品质指标。

1.3 指标检测

1.3.1 黄花菜感官品质评价 参照高建晓等^[13]的方

法对黄花菜进行感官评价并略作改动, 各项评分以 6 分为商品界限, 6 分以下即去商品价值。由 10 人成立评定小组, 根据表 2 的评价标准, 每隔 2 d 对黄花菜的品质指标 (风味、色泽、开花和腐败) 进行评分。

1.3.2 O₂、CO₂ 体积分数 用带有 TCD 检测器的气相色谱测定。检测条件设置: 载气 N₂, 进样室温度 80℃, 柱箱温度 90℃, TCD 检测其温度 180℃, 桥流 75 mA。气相色谱测得积分后的气体峰面积, 根据标定好的标准气体曲线, 计算出黄花菜贮藏过程中薄膜袋内 O₂ 和 CO₂ 体积分数。

1.3.3 失重率及营养指标 失重率通过分析天平称得; 可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定^[14]; 可溶性糖含量、叶绿素含量、Vc 含量均参照文献^[15], 稍作改动。

1.3.4 细胞膜渗透率 用自制裁刀切取重 5 g 长 1 cm 的黄花菜, 加入装有 40 mL 蒸馏水的锥形瓶内后摇匀, 立即进行电导率 P₀ 的测定, 放置 10 min

后测得 P_1 , 将黄花菜放入沸水中煮 30 min 后冷却测得 P_2 , 根据式 (1) 计算的相对电导率即为细胞膜渗透率:

$$\frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \times 100 \quad (1)$$

1.3.5 过氧化物酶 (POD) 活性 采用磷酸钠缓冲液 (pH 6.0, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 为提取液, 取 5 g 黄花菜加入 20 mL 提取液研磨后离心 ($12\ 000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 30 min), 将 3 mL 愈创木酚 ($25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 和 200 μL 黄花菜酶提取液滴入比色皿中混合, 加入 200 μL 过氧化氢 ($0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 后开始计时, 在 470 nm 处每隔相同时间连续测定其吸光度值, 至少读取 6 个数。然后根据式 (2) 计算 POD 活性:

$$U = \frac{\Delta OD_{470} \times V}{V_s \times m} \quad (2)$$

式中: U 为过氧化物酶活性; ΔOD_{470} 为每分钟混合液吸光度变化值; V 为黄花菜 POD 提取液总体积; V_s 为测定时所取提取液体积; m 为质量。

1.4 数据分析

采用 Excel 和 Origin 制图软件对实验数据进行统计和处理, 通过计算标准方差进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 感官品质变化

图 1 为贮藏期间黄花菜的感官表现, 表 3 是贮藏过程中黄花菜的感官品质变化。由图 1 和表 3 可知, CK 处理黄花菜贮藏 4 d 后, 全部开花、失水严重和完全褐变; PE 薄膜处理的黄花菜在贮藏 6 d 后, 产生异味, 花蕾全部肿胀、腐烂, 尾部发生白毛霉变; 而 PLA 薄膜处理的黄花菜可贮藏至 10 d, 仅贴近包装袋放置面的黄花菜出现开花、褐变的情况, 远离放置面的黄花菜则色泽较优、开花较少以及褐变更少, 其中 PLA25 处理的感官评分始终高于 PLA15 和 PLA33 处理, 第 10 天的感官评分为 6.49, 仍具商品价值, 效果最好。

表 3 黄花菜感官品质评分的变化

Table 3 The scores changes of daylily flowers in the sensory quality

处理方式 Process mode	贮藏时间/d Storage time					
	0	2	4	6	8	10
CK	9.36±0.04	7.17±0.03	5.71±0.01	—	—	—
PE	9.36±0.04	7.9±0.05	6.54±0.00	5.99±0.04	—	—
PLA15	9.36±0.04	9.0±0.06	8.69±0.03	8.32±0.03	7.59±0.05	6.26±0.02
PLA25	9.36±0.04	9.11±0.01	8.79±0.01	8.54±0.05	7.77±0.05	6.49±0.00
PLA33	9.36±0.04	8.93±0.04	8.71±0.03	8.44±0.02	7.47±0.02	6.12±0.01

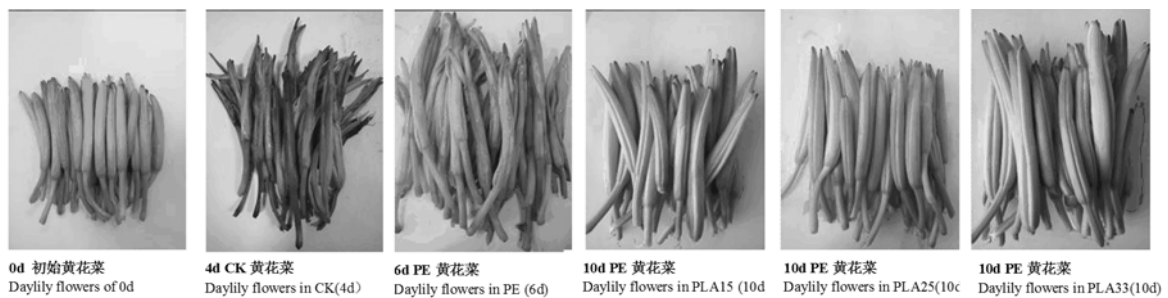


图 1 贮藏期间黄花菜的感官表现

Figure 1 The changes of daylily flowers in sensory quality during storage

2.2 薄膜袋内 O_2 和 CO_2 体积分数变化

图 2 表示 PE 和 PLA 薄膜袋贮藏期间 O_2 和 CO_2 气体体积分数变化。由图 2 可知, PE 处理在 4~6 d 内气体体积分数逐渐达到平衡 (O_2 : 16%~17%, CO_2 : 0.4%~0.8%); PLA 处理 6~10 d 内气体成分逐渐平衡: PLA15 (O_2 : 3.4%~4.6%, CO_2 : 4.9%~5.6%)、PLA25 (O_2 : 3.3%~4.4%, CO_2 : 5.2%~

5.9%)、PLA33 (O_2 : 2.3%~4.6%, CO_2 : 5.3%~6.3%)。前人研究表明低 O_2 /高 CO_2 体积分数微环境可抑制黄花菜呼吸强度, 延长保鲜期^[16], PE 薄膜 O_2 和 CO_2 透过率高于 PLA 薄膜, 贮藏期间黄花菜有氧呼吸消耗膜内 O_2 , 形成膜内外 O_2 分压差, 膜外 O_2 由于分压差渗进膜内, 保持较高 O_2 体积分数, 同理因呼吸作用产生的 CO_2 能够及时透出膜外, 保

持膜内低 CO₂ 体积分数;而 PLA 薄膜较低 O₂ 和 CO₂ 透过率,则自发形成低 O₂/高 CO₂ 微环境,有助于抑制黄花菜的呼吸作用,减缓呼吸作用对营养物质的消耗,从而延长保鲜期。

2.3 失重率变化

失重率是黄花菜品质的重要指标,是干物质损耗和失水的综合表现,其中失水占主要比重。由图 3 可知,随贮藏时间的延长,黄花菜失重率均逐渐增高。空气中的黄花菜贮藏期间失重最多,PE 薄膜

水蒸气阻隔性高^[17],阻止黄花菜水分的流失,贮藏 6~10 d 失重率仅为 1.5%~2.1%,而 PLA15、PLA25 和 PLA33 薄膜处理贮藏 6~10 d 的失重率分别为 4.24%~7.89%、3.52%~7.64%和 3.13%~7.23%。黄花菜贮藏时因蒸腾作用和呼吸作用产生的水分会在 PE 袋内积存,湿度的增加有助于微生物繁殖,引起黄花菜腐烂;而 PLA 薄膜良好的水蒸气透过性,使袋内湿度相对较低,从而有利于黄花菜感官品质保持。

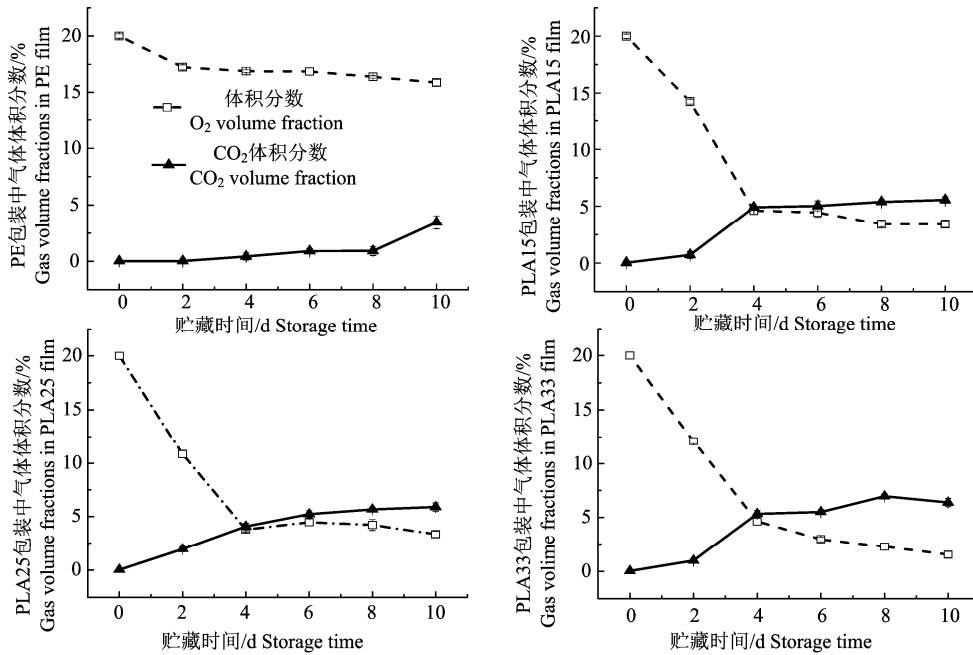


图 2 贮藏期间不同薄膜 O₂ 和 CO₂ 气体体积分数的变化
Figure 2 The changes of O₂ and CO₂ volume fractions in different films during storage

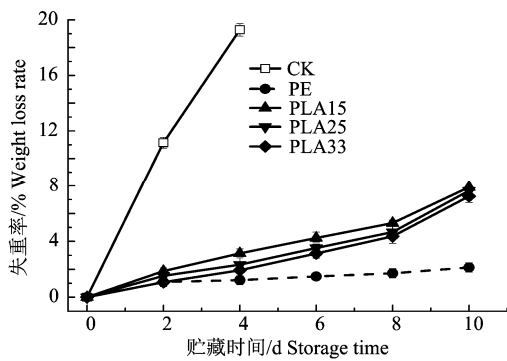


图 3 贮藏期间黄花菜失重率的变化
Figure 3 The changes of weight loss rate of daylily flowers during storage

2.4 可溶性蛋白质含量的变化

可溶性蛋白质不仅是黄花菜的营养品质指标,也是组织衰老重要标志。由图 4 可知,CK 和 PE 处理的可溶性蛋白质含量贮藏期间低于 3 个 PLA 处理,分别在第 4 天和第 6 天含量为 1.13%和 1.14%,

这可能是因为 CK 和 PE 处理的黄花菜新陈代谢旺盛,为维持正常的生命活动不断消耗有机物,同时植物组织蛋白酶和肽酶活性升高,蛋白质快速降解。而 PLA15、PLA25 和 PLA33 薄膜处理可将黄花菜贮藏保鲜期延长至 10 d,可溶性蛋白质含量分别为 1.17%、1.27%和 1.23%。这说明 PLA 薄膜能减缓组织代谢的速度,抑制内源蛋白酶和肽酶对蛋白质的分解^[18],维持较高可溶性蛋白质含量。

2.5 可溶性糖含量变化

可溶性糖是指能够溶于水 and 乙醇的糖,是黄花菜重要的营养物质。由图 5 可知,CK 和 PE 处理可溶性糖含量呈快速下降趋势,0 d 至贮藏结束为 0.58%~0.50%和 0.58%~0.51%,此过程可溶性糖作为呼吸作用的底物^[19]被快速消耗而含量下降;而 PLA15、PLA25 和 PLA33 的可溶性糖含量先缓慢下降,至第 4 天仅下降 0.02%、0.01%和 0.03%,此后快速下降至第 10 天为 0.51%、0.52%和 0.512%,这

说明 PLA 薄膜贮藏前期能抑制黄花菜呼吸作用, 使其进行缓慢的生命活动, 减缓可溶性糖的消耗, 延长黄花菜的贮藏保鲜期。

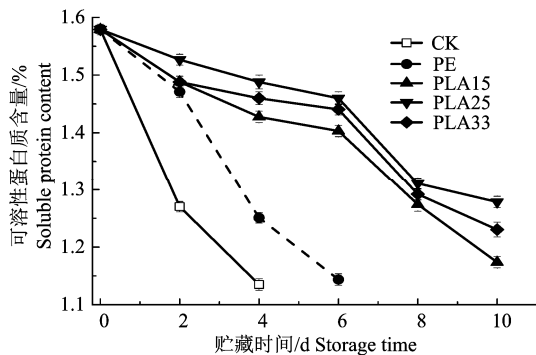


图 4 贮藏期间黄花菜可溶性蛋白质含量的变化

Figure 4 The changes of the soluble protein content of daylily flowers during storage

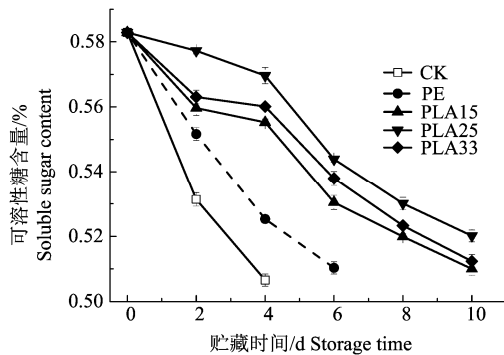


图 5 贮藏期间黄花菜可溶性糖含量的变化

Figure 5 The changes of the soluble sugar content of daylily flowers during storage

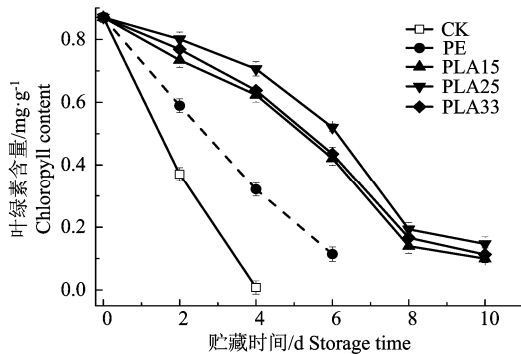


图 6 贮藏期间黄花菜叶绿素含量的变化

Figure 6 The changes of chlorophyll content of daylily flowers during storage

2.5 叶绿素含量变化

叶绿素是黄花菜呈现绿色的主要物质, 随着叶绿素损失, 黄花菜会逐渐产生黄化现象^[20]。由图 6 可知, 整个贮藏期间, 叶绿素含量均呈下降趋势。CK 处理 0~4 d 叶绿素含量为 0.87~0.008 mg·g⁻¹; PE 处理 0~6 d 叶绿素含量为 0.87~0.11 mg·g⁻¹, 高

于 CK 处理; PLA15、PLA25 和 PLA33 处理叶绿素含量高于 CK 和 PE 处理, 将贮藏期延长至 10 d 且含量为 0.09、0.17 和 0.11 mg·g⁻¹。研究表明, 增加二氧化碳分压, 降低氧分压可以有效降低叶绿素的分解速率^[21], 图 2 中 PLA 薄膜袋内气体分压证明了这一点。

2.6 V_C 含量变化

V_C 具有还原性, 能抑制氧化过程、延缓衰老, 同时也是呼吸作用底物, 在抗坏血酸氧化酶 (APX) 和过氧化物酶 (POD) 作用下极易降解^[21]。由图 7 可知, CK 和 PE 处理贮藏期间 V_C 含量降幅较快, 由初始值 13.45 mg·100 mg⁻¹ 分别降为 1.59 和 1.92 mg·100 mg⁻¹, 这是因为呼吸作用消耗了 V_C, POD 活性升高也加快了 V_C 降解, 图 9 CK 和 PE 处理 POD 活性变化与此相符; 而 PLA15、PLA25 和 PLA33 处理 V_C 含量下降缓慢, 贮藏至 10 d 为 3.12、3.80 和 3.51 mg·100 mg⁻¹, 高于 CK 和 PE 处理, PLA 薄膜减缓了 V_C 含量在贮藏过程中的损失。

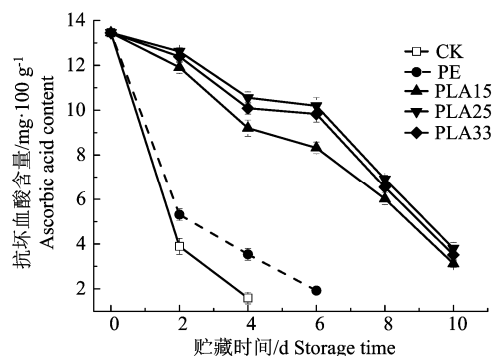


图 7 贮藏期间黄花菜抗坏血酸含量的变化

Figure 7 The changes of ascorbic acid content of daylily flowers during storage

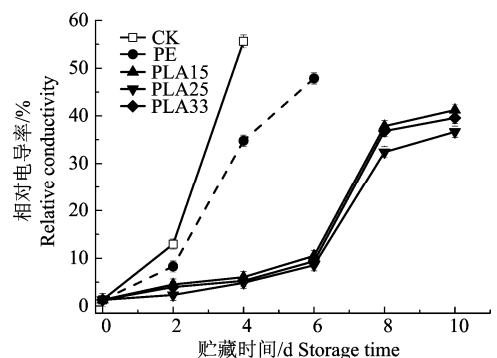


图 8 贮藏期间黄花菜相对电导率的变化

Figure 8 The changes of the relative conductivity of daylily flowers during storage

2.7 相对电导率变化

果蔬组织后熟衰老或受不良环境胁迫时, 细胞

质膜活性降低,膜透过性增加,细胞内电解质向外渗透,表现为相对电导率的增大^[22]。由图8可知,CK处理贮藏0~4 d相对电导率为1.29%~55.60%,PE处理贮藏0~6 d为1.29%~47.85%,这2组处理的黄花菜衰老过快,细胞膜遭到破坏,而PLA15、PLA25、PLA33薄膜处理贮藏0~6 d增幅小于CK和PE处理,保持较好的细胞透性,相对电导率为1.29%~10.50%、8.55%和9.38%,之后增幅较快,贮藏10 d增至41.24%、36.66%和39.57%。这表明PLA薄膜处理贮藏前期能够维持黄花菜细胞膜的完整性,推迟衰老。

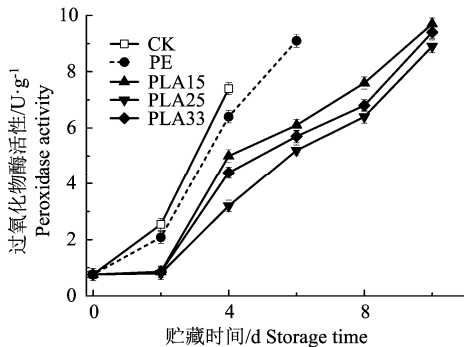


图9 贮藏期间黄花菜 POD 活性变化

Figure 9 The changes of peroxidase activity of daylily flowers during storage

2.8 POD 活性变化

自由基学说认为,果蔬成熟衰老过程中会产生大量活性自由基,其作用于细胞膜会引起膜结构及功能遭到破坏,表现为细胞膜对电解质的渗透率增大,POD作为系统保护酶表现为活性增大,清除细胞内多余自由基,维持自由基产生与清除的平衡。POD是果蔬成熟衰老的指标,在植物生命活动中有重要功能,H₂O₂的存在下,能催化IAA氧化分解、叶绿素降解、酚类物质(包括花青素苷和类黄酮)氧化和聚合、谷胱甘肽和Vc的氧化等^[23]。由图9可知,POD活性随贮藏时间延长而升高,CK处理贮藏0~4 d POD活性为0.76~7.4 U·g⁻¹,PE处理贮藏0~6 d POD活性为0.76~9.1 U·g⁻¹,这是因为随着黄花菜成熟衰老,活性氧物质不断积累,刺激POD活性增高^[24-25];而PLA15、PLA25和PLA33处理POD活性在前2 d内上升缓慢,是因为贮藏前期,黄花菜呼吸作用较低,减缓自由基等有害物质的形成及累积速率,贮藏0~6 d POD活性分别为0.76~6.1、5.2和5.7 U·g⁻¹,此后贮藏至10 d,POD活性分别为9.7、8.9和9.4 U·g⁻¹。这表明PLA薄膜处理前期能抑制黄花菜呼吸作用,阻碍活性氧产生

及对细胞的代谢活动,保持较低POD活性。

3 结论

通过研究不同厚度PLA薄膜对黄花菜气调保鲜效果,以PE薄膜为对比,研究生物可降解材料PLA薄膜对黄花菜包装贮藏的效果。黄花菜为呼吸跃变型蔬菜,PE处理贮藏第2天营养物质含量迅速降低,该时期应为黄花菜呼吸跃变期;而PLA处理贮藏至第6 d营养物质含量才开始大幅下降,这表明PLA薄膜袋低O₂/高CO₂微环境推迟了黄花菜呼吸跃变期的到来,减缓了呼吸作用对可溶性蛋白质、可溶性糖、叶绿素、Vc等有机物质的消耗,将贮藏期延长3~4 d。PLA薄膜处理细胞膜渗透率及POD活性低于PE处理,说明PLA薄膜能延缓黄花菜衰老,抑制活性氧产生,维持较好的细胞膜透性和完整性,厚度为25 μm时,保鲜效果最好。PLA是一种绿色环保材料,使用后不会造成白色污染,具有替代传统包装材料的潜力,有极大的推广意义。

参考文献:

- [1] 龚吉军. 黄花菜贮藏保鲜研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2003.
- [2] 龚吉军, 谭兴和. 鲜黄花菜小袋包装气调保藏技术[J]. 湖南农业大学学报, 2003, 29(1): 57-60.
- [3] LIU D, XU S, HU H, et al. Endogenous hydrogen sulfide homeostasis is responsible for the alleviation of senescence of postharvest daylily flower via increasing antioxidant capacity and maintained energy status[J]. J Agr Food Chem, 2017, 65(4): 718-726.
- [4] 杨大伟, 张海容. 中草药提取液保鲜黄花菜的效果[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2010, 28(4): 380-382.
- [5] YANG M S, CHYAU C C, HORNG D T, et al. Effects of irradiation on epidermis ultrastructure of fresh day-lily flowers[J]. Radiat Phys Chem, 2002, 63(3): 249-251.
- [6] 杨斌. 绿色塑料聚乳酸[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 233-242.
- [7] MCMILLIN K W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat[J]. Meat Sci, 2008, 80(1): 43-65.
- [8] 吴艳, 程春生, 覃宇悦, 等. 肉桂醛聚乳酸复合膜对苹果保鲜的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(9): 215-217.
- [9] 陈晓东, 张伟阳, 张琪, 等. 生物可降解聚乳酸薄膜对金针菇保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 306-310.
- [10] 魏静, 万玉芹, 王鸿博, 等. 甲壳素纳米晶须/聚乳酸纳米纤维膜对草莓保鲜效果的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(11): 1184-1188.
- [11] BOTONDI R, BARTOLONI S, BACCELLONI S, et al. Biodegradable PLA (polylactic acid) hinged trays keep quality of fresh-cut and cooked spinach[J]. J Sci Food Agr, 2015, 52(9): 5938-5945.

- [12] 童茂彬, 李岩, 董晓欢, 等. 不同储藏方式对籼糙米储藏品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 96-102.
- [13] 高建晓, 古荣鑫, 胡花丽, 等. 不同薄膜包装对黄花菜贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 255-259.
- [14] 曲春香, 沈颂东, 王雪峰, 等. 用考马斯亮蓝测定植物粗提液中可溶性蛋白质含量方法的研究[J]. 苏州大学学报(自然科学版), 2006, 22(2): 82-85.
- [15] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 21-173.
- [16] GORRIS L G M, PEPPELENBOS H W. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products[J]. HortTechnology, 1992, 2(3): 303-309.
- [17] MANGARAJ S, GOSWAMI T K, PANDA D K. Modeling of gas transmission properties of polymeric films used for MA packaging of fruits[J]. J Sci Food Agr, 2015, 52(9): 5456-5469.
- [18] SOTHORNVIT R, KIATCHANAPAIBUL P. Quality and shelf-life of washed fresh-cut asparagus in modified atmosphere packaging[J]. LWT-Food Sci Technol, 2009, 42(9): 1484-1490.
- [19] 韩志平, 张春业, 马樱芳. 黄花菜采后生理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 山西农业科学, 2013, 41(1): 103-106.
- [20] 孙志文, 吕凤艳, 郭衍银. O₂/CO₂气调中 CO₂对西兰花叶绿素降解及保鲜作用[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 313-317.
- [21] 张秀玲. 果蔬采后生理与贮运学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 8-47.
- [22] GEORGE D S, RAZALI Z, SANTHIRASEGARAM V, et al. Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh - cut *Chokanan mango* and *Josephine pineapple*[J]. J Sci Food Agr, 2015, 80(2): 426-432.
- [23] 杨大伟, 夏延斌, 谭兴和, 等. 黄花菜中过氧化物酶活性的测定及褐变控制[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(3): 258-261.
- [24] 胡新宇. 荔枝采后生理与常温保鲜的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2001.
- [25] 田平平, 王杰, 秦晓艺. 采后处理对杏鲍菇贮藏品质及抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(5): 941-951.
- [26] MANGARAJ S, GOSWAMI T K, MAHAJAN P V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review[J]. Food Eng Rev, 2009, 1(2): 133-158.
- [27] 李富军, 张新华, 孙希生, 等. 包装厚度对长把梨货架期间 CO₂ 伤害的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 290-292.