

自发气调薄膜对荷兰豆保鲜的影响

孟杰, 胡健, 孙滔, 云雪艳, 陈倩茹, 董同力嘎
(内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: **目的** 研究 PLLA/PLLA-PEG-PLLA (PLGL) 自发气调共混薄膜对采后荷兰豆贮藏品质的影响, 以期达到适宜的透气比, 来延长荷兰豆的保鲜期。 **方法** 以市场上的荷兰豆为实验材料, 分别用 PLLA/PLGL10, PLLA/PLGL20, PLLA/PLGL30, PLLA, PE 这 5 种薄膜来包装荷兰豆, 观测荷兰豆在 $(4\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 24 d 过程中气体、色差值、叶绿素含量、丙二醛含量、质量损失率的变化。 **结果** 材料为 PLLA/PLGL30 的薄膜最适用于荷兰豆的保鲜包装, 其具有良好的力学性能, 断裂伸长率高达 175.3%, 并且有效提高了 O_2 , CO_2 的气体选择透过性和透过比, 使得 CO_2/O_2 选择透过比由 2.9 提高到 6.1。在贮藏第 24 天时, 袋内气体组成为 O_2 体积分数 2.8%、 CO_2 体积分数 5%, 有效延缓了叶绿素含量和质量损失率的下降, 减少了丙二醛的积累, 延长了荷兰豆的贮藏期。 **结论** 共混薄膜处理较单独的 PLLA 薄膜和市场 PE 薄膜更环保, 对荷兰豆的保鲜效果更好。

关键词: 荷兰豆; 共混; 选择透过性; 贮藏品质; PLLA-PEG-PLLA

中图分类号: TB484 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)01-0039-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.006

Effects of Spontaneous Air Conditioning Film on Freshness Preservation of Snow Peas

MENG Jie, HU Jian, SUN Tao, YUN Xue-yan, CHEN Qian-ru, DONG Tungalag

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the effect of spontaneous air-conditioned blend films PLLA/ PLLA-PEG-PLLA (PLGL) on storage quality of postharvest snow peas and obtain the appropriate air permeability ratio to extend the fresh-keeping period of snow peas. The snow peas from the market were taken as testing materials. The five types of films including PLLA / PLGL10, PLLA / PLGL20, PLLA / PLGL30, PLLA, and PE were used to pack the snow peas to observe the changes of gas, color difference values, chlorophyll content, malondialdehyde content, and weight loss rate during 24 days of the storage of peas at $(4\pm 1)^{\circ}\text{C}$. The results showed that the film made of PLLA / PLGL 30 was the most suitable package for fresh-keeping peas which showed good mechanical properties. The elongation at break was as high as 175.3%. And it improved the selective permeability ratio of O_2 and CO_2 from 2.9 to 6.1. At the 24th day of storage, the concentration in the bag consisted of 2.8% O_2 and 5% CO_2 , which effectively delayed the decline of chlorophyll content and weight loss rate, reduced the accumulation of malondialdehyde, and extended the storage period of snow peas. The blended film processing is more environmentally friendly than PLLA film and PE film on the market, and possesses better preservation effect on snow peas.

KEY WORDS: snow peas; blending; selective permeability; storage quality; PLLA-PEG-PLLA

收稿日期: 2020-08-05

基金项目: 国家自然科学基金 (21564012)

作者简介: 孟杰 (1994—), 女, 内蒙古农业大学硕士生, 主攻食品包装与储运。

通信作者: 董同力嘎 (1972—), 男, 博士, 内蒙古农业大学教授, 主要研究方向为食品包装与储运。

荷兰豆又名豌豆、雪豆、麦豆、毕豆、青豆、甜豆等,是蝶形花科豌豆属植物^[1],其色泽青绿,质地脆嫩,作为一种高档蔬菜深得人们的喜爱^[2]。荷兰豆营养物质丰富,含有大量高蛋白、氨基酸、碳水化合物、粗纤维、维生素和矿物质,有助于降低心脏病、中风、糖尿病和各种癌症的风险^[3]。荷兰豆又是一种高度易腐败变质的蔬菜,其嫩荚水分含量较高,采后呼吸速率强度大,含有大量糖分,处理不当易造成微生物污染或失水萎蔫,豆荚纤维增加且黄化,从而失去其商品价值和营养价值。目前自发气调保鲜包装(MAP)在果蔬的贮藏中被广泛应用。Elwan等^[4]研究MAP处理的蜜豆在温度为0℃,相对湿度为90%~95%的条件下能够很好地维持豆荚的外观、叶绿素、Vc、含糖量,降低了质量损失率,有效地将贮藏期延长至21d。Li等^[5]采用硅窗气调包装绿芦笋,货架期可达到30d,降低了呼吸速率,减缓了Vc、叶绿素含量的降低。Pariasca等^[6]将自发气调保鲜包装(MAP)与气调贮藏(CA)相结合,能够有效避免雪豌豆的外观恶化、皱缩以及Vc、糖含量的降低。在果蔬的保鲜中高分子薄膜在控制袋内CO₂、O₂的浓度也发挥着重要的作用,并且MAP包装材料应具备良好的水蒸气透过性,较好的力学性能以及适宜的CO₂/O₂透过比。聚乳酸(PLLA)是一种完全可降解的环境友好型材料,广泛应用于医药、包装等领域^[7],但是其柔韧性差,结晶度低,CO₂、O₂等气体透过性低,在一定程度上又限制了其加工应用。聚乙二醇(PEG)无毒无害,有良好的生物相容性、柔韧性、亲水性,结晶度高,CO₂选择透过性高,被广泛应用于化妆品和食品加工等领域^[8-9]。许多研究使用PEG改性PLLA,Athanasoulia等^[10]将PEG与PLLA共混,增大了PLLA的结晶温度、熔融温度、结晶度,同时使共混薄膜具有更好的柔韧性和亲水性。崔国振等^[11]成功将PEG链段引入PLLA中,增强了共聚物的亲水性。目前将PLLA和PLLA-PEG-PLLA共混制膜应用于荷兰豆的保鲜还鲜有报道,文中研究旨在为延长荷兰豆的采后贮藏期设计一种改性PLLA薄膜,通过测定顶空气体组分、色差值变化、叶绿素含量、丙二醛含量、质量损失率等指标,对比空白及单一处理,分析对荷兰豆保鲜效果的影响,以期为该共混薄膜在荷兰豆保鲜中的应用提供依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:新鲜的荷兰豆,购买于呼和浩特市东瓦窑市场,当天运回实验室。挑选的荷兰豆色泽鲜亮,大小均匀一致,无弯曲褶皱,无机械损伤,无虫害,嫩荚发育肥大扁平,籽粒饱满,色泽佳,无虫蛀。

主要试剂:L-丙交酯(纯度>99.9%,Purac Co.,

Gorinchem, the Netherlands)、PEG(数均分子量为20000,SIGMA,室温真空干燥24h)、辛酸亚锡(Sn(Oct)₂质量分数大于98%)、丙酮(分析纯)、碳酸钙粉、石英砂、三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸(TBA)。

主要仪器:Lyssy L100-5000压差法透气仪,英国希仕代-伊利诺斯公司;XLW-EC智能电子拉力试验机,东莞市星汇电子有限公司;UV-2450紫外分光光度计,日本岛津公司;TCP2-A全自动色差仪,北京新奥亿科有限公司;6600顶空气体分析仪,美国Systech instruments。

1.2 方法

1.2.1 实验处理

将挑选的荷兰豆按照每袋装(37±2)g随机分成6组,分别为PE袋、PLLA袋、PLLA/PLGL10袋、PLLA/PLGL20袋、PLLA/PLGL30袋,无包装为空白组,袋子的尺寸为20cm×14cm,膜厚度为0.0042cm,每组设计12袋平行样。在温度为(4±1)℃,相对湿度为90%的条件下贮藏,每隔一定时间取样测试指标,每组每次测试3袋平行样,每袋随机抽取,试验每个处理组均重复3次。

1.2.2 PLLA/PLLA-PEG-PLLA共混薄膜的制备

先将L-丙交酯重结晶^[12],然后合成PLLA-PEG-PLLA,L-丙交酯(30g,0.6mmol)开环与PEG(12g,0.6mmol,数均分子量为20000)共聚反应24h,120℃下。以辛酸亚锡(0.09g,0.22mmol)为催化剂,氩气的保护下进行,产物用无水乙醇纯化;最后将得到的共聚物分别按质量比为10/90,20/80,30/70的比例与母粒PLLA共混,总量称取2g溶于80mL的氯仿中,倒于定制的玻璃板上,待其晾干备用,将简记为PLLA/PLGL10,PLLA/PLGL20,PLLA/PLGL30。

1.2.3 共混薄膜的性能测试

1)薄膜的力学性能测试。采用智能拉伸机对薄膜进行测试,样品尺寸为28mm×5mm,每组8个平行样,直接读出断裂伸长率和屈服强度,再参考文献^[12]计算出弹性模量。

2)O₂,CO₂透过性能测试。采用压差法对薄膜的气体透过性能进行测试,测试温度为25℃,每组2个平行样,仪器直接读出氧气透过量(OTR)和二氧化碳透过量(CTR),根据公式计算出氧气透过系数(OP),二氧化碳透过系数(CP)和CP/OP^[12]。

1.2.4 保鲜指标测试

1)包装袋内顶空气体组成测试。将进出气体针头扎入袋内,停留数秒,根据仪器数据直接读出CO₂与O₂的百分比。

2)感官评定。参考文献^[13]并略加修改,邀请

经专业培训的男女比例为 1:1 的相关研究生, 采用 5 级评分制进行评分, 分别对颜色、气味、组织形态、硬度感官进行评分。第 1 级为 9~10 分, 亮绿色有很浓的生豆香味, 很坚硬有弹性平滑有光泽, 一折即断; 第 2 级为 7~8 分, 亮绿较浓生豆香味, 较硬有弹性表面有光泽, 轻折即断; 第 3 级为 5~6 分, 深绿色有生豆香味, 较硬无弹性表面干燥光滑, 轻折可断; 第 4 级为 3~4 分, 黄绿无香气有异味, 个别发软略有萎蔫出现小瑕疵, 能够折断; 第 5 级为 1~2 分, 灰绿严重腐败变质。

3) 色度值测定。采用手持便携式色差仪对荷兰豆表面色彩的色差值进行测试, 每袋随机抽取 3 个荷兰豆, 分别取荷兰豆的上中下部位, 直接读出 L^* , a^* 和 b^* 值, 记录数据。其中 L^* 值称为明度指数, 在色泽测定中标记白度和亮度的值; a^* , b^* 值称为彩色指数, a^* 代表红绿色变化, b^* 代表黄蓝色的变化。

4) 质量损失率测定。按照式 (1) 计算。

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为质量损失率; m_1 为贮藏前质量; m_2 为贮藏后质量。

5) 叶绿素含量测定。采用丙酮提取法测定^[14]。

6) 丙二醛含量测定。采用硫代巴比妥酸法测定^[2]。

1.3 数据统计与分析软件

采用 Origin 2018, Excel, SPSS26.0 软件对数据进行分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 薄膜的力学性能分析

室温下 PLLA/PLGL 共混物薄膜的力学性能参数见表 1。PLLA 的断裂伸长率仅为 5.3%, 屈服强度及弹性模量都比较高, 分别为 54.9 MPa 和 2083.2 MPa, 无明显的屈服点, 是一种典型的脆性断裂且刚性较大的高分子材料, 不利于加工生产及包装。随着 PLGL 组分的不断增加, 其断裂伸长率达到 175.3%, 约是纯 PLLA 的 33 倍。屈服强度和弹性模量也有所降低,

分别降低到了 40 MPa 和 1183 MPa, 并且产生屈服点, 这是由于在拉伸的过程中 PLGL 的含量逐渐增加, 即 PEG 逐渐增加, 而其本身又具有非常好的韧性和弹性, 与脆性 PLLA 链段共聚有利于提高 PLLA 链段的柔韧性。PEG 作为中间链段, 在材料受拉力的作用下, 避免了单一 PLLA 链段的受力集中现象, 由此可见, PLGL 的引入改善了薄膜的力学性能, 使薄膜更适用于果蔬的包装。

表 1 PLLA/PLGL 共混物薄膜的力学性能
Tab.1 Mechanical properties of PLLA/PLGL blend films

样品	断裂伸长率/ %	屈服强度/ MPa	弹性模量/ MPa
PLLA	5.3±1.1	54.9±8.5	2083.2±177.7
PLLA/PLGL10	89.0±13.6	47.3±6.5	1565.7±83.0
PLLA/PLGL20	140.3±24.8	47.7±5.6	1423.2±156.3
PLLA/PLGL30	175.3±45.0	40.0±2.4	1183.0±128.1

2.2 气体透过性能分析

果蔬采后仍进行呼吸作用, 包装内部适宜的气氛环境有利于延长其保鲜期, 因此对包装膜的 CO_2 , O_2 的选择透过性具有较高的要求, 低氧高二氧化碳有助于抑制果蔬的呼吸作用^[15], 因此选用适宜的 CO_2/O_2 选择透过比对果蔬的保鲜极为重要。25 °C 下 PLLA/PLGL 共混物薄膜的 CO_2 , O_2 透过量 and 透过系数以及 CO_2/O_2 选择透过比, 见表 2。表 2 中的 CDP 和 OP 的值是排除了薄膜的厚度对其测量值的影响, 室温下 PLLA 的 CDP 和 OP 值分别为 $3.5 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ 和 $1.2 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$, CDP/OP 仅为 2.9, 随着 PLGL 含量逐渐增多 CDP 值增加到 $13.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$, 增加了 $9.9 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$; OP 值增加到 $2.2 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$, CDP/OP 值增加到 6.1, 增加了 3.2。一方面 PEG 中乙氧基单元与 CO_2 存在强相互作用, 对 CO_2 具有较高的溶解和扩散能力, 使得共混薄膜具有良好的 CO_2/O_2 选择透过性^[16]; 另一方面, PLGL 与 PLLA 为不相容体系产生了微相分离, 形成了气体通道, 有利于气体通过。

表 2 PLLA/PLGL 共混物薄膜的气体透过性能
Tab.2 Gas permeability of PLLA/PLGL blend films

样品	厚度/ μm	CTR/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	CDP($\times 10^{-8}$)/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)	OTR/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	OP($\times 10^{-8}$)/ ($\text{cm}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)	CDP/OP
PLLA	42±1	2000±53	3.5	673±6.2	1.2	2.9
PLLA/PLGL10	42±1	4538±54	7.9	1072±6	1.9	4.2
PLLA/PLGL20	40±1	5721±109	9.4	1101±25	1.8	5.2
PLLA/PLGL30	41±2	7832±67	13.4	1285±1	2.2	6.1

2.3 袋内顶空气体组成分析

在(4±1)°C下,分别用PE, PLLA, PLLA/PLGL10, PLLA/PLGL20, PLLA/PLGL30 包装袋包装荷兰豆后,袋内 CO₂, O₂ 气体浓度见图 1。采后的荷兰豆同样要进行呼吸作用,分别为有氧呼吸和无氧呼吸 2 种方式,前期主要为有氧呼吸,使得袋内的 O₂ 迅速降低,CO₂ 迅速升高,但是高 CO₂ 浓度低 O₂ 浓度能够抑制荷兰豆的呼吸作用,当 CO₂ 浓度过高时就会使荷兰豆进行无氧呼吸。图 1a 中在贮藏第 18 天时,PLLA 材料袋内的 CO₂ 体积分数高达 15%左右,与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$),而图 1b 中 O₂ 的体积分数在贮藏第 24 天时为 1.2%,与 PE 处理组、PLLA/PLGL30 处理组差异显著 ($P < 0.05$),主要是因为 PLLA 本身薄膜的 CO₂, O₂ 透过性差,产生的气体不能及时排出。由于 PE 膜对 CO₂, O₂ 透过性极好,袋内的氧气充足,使得荷兰豆还进行着有氧呼吸,加速其衰老。图 1 中 PLLA/PLGL30 包装袋内贮藏后期维持着一个较稳定的气氛条件。第 24 天时袋内 CO₂, O₂ 的体积分数分别为 5%, 2.8%, 这样一个低 O₂ 高 CO₂ 的气氛使得荷兰豆贮藏 24 d 还依然保持新鲜,延长了荷兰豆的货架期,这说明高 CO₂/O₂ 透气比的 PLLA/PLGL30 的薄膜更有利于荷兰豆的保鲜。

2.4 感官分析

贮藏期间不同包装组荷兰豆的感官评分见图 2。在贮藏 24 d 时,评分最高的是 PLLA/PLGL30 共混薄膜包装袋内的荷兰豆,与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$),其豆荚无黑斑,无腐败变质,颜色为鲜绿,质地脆嫩,符合市场接受程度。空白组(CK 组)评分最低,由于暴露于空气中,严重萎蔫变质;PE 组由于袋内结露,袋内水蒸气散发不出去,造成袋内微生物污染腐败变质;PLLA 组豆荚颜色偏黄且表面有黑斑,严重的二氧化碳中毒现象;PLLA/PLGL10 组和 PLLA/PLGL20 组由于包装袋薄膜的 CO₂/O₂ 选择

透过比较低而造成感官评分较低。

2.5 色度值分析

果蔬贮藏期间内叶片的颜色变化是衡量其采后衰老程度及外观品质的重要指标之一^[17]。色差 a^* 直接反应荷兰豆的色泽变化, a^* 值为负数代表绿色。不同处理组的荷兰豆在贮藏 24 d 过程中的 a^* 值变化见图 3。贮藏第 24 天各处理组的保鲜实物图见图 4。各处理组荷兰豆在贮藏期间 a^* 值不断上升,其中 CK 组和 PLLA 处理组上升较快,绿色减弱程度大,与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$)。PLLA/PLGL30 处理组上升最为缓慢,其色泽维持得较好,这与 PLLA/PLGL30 处理组袋内的 CO₂, O₂ 的气体组成密切相关,结合保鲜实物图可以看出 CK 处理组和 PLLA 处理组荷兰豆的色泽略微偏黄。这是由于 PLLA 薄膜的透气性差,袋内 CO₂ 浓度过高,荷兰豆 CO₂ 中毒,使其快速衰老,叶绿素降解,而 CK 组长期暴露在空气中,更加速其细胞代谢,使色泽不够稳定,这与感官评分的分析结果也是一致的。

2.6 质量损失率分析

不同包装处理组荷兰豆的质量损失率变化情况见图 5。果蔬采后由于呼吸代谢和蒸腾作用,会失去大量水分,使得其表皮皱缩,严重影响商品价值,各处理组质量损失率变化还受其薄膜的水蒸气透过性的影响。据研究显示^[18],果蔬的质量损失率超过 10% 就会导致果蔬品质下降,过早老化,抗病能力差。图 5 中 CK 组由于长时间裸露在空气中,蒸腾作用使其失水较为严重,并且与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$),PE 组由于阻湿性较强,袋内结露,有效地防止了荷兰豆蒸腾作用,其质量损失率较低,这与文献[15]所得出的结论一致;其余各处理组的质量损失率都在可接受的范围,其中 PLLA/PLGL30 处理组水蒸气透过性能良好,能够及时地排出部分水分,防止袋内结露,从而避免荷兰豆腐败变质。

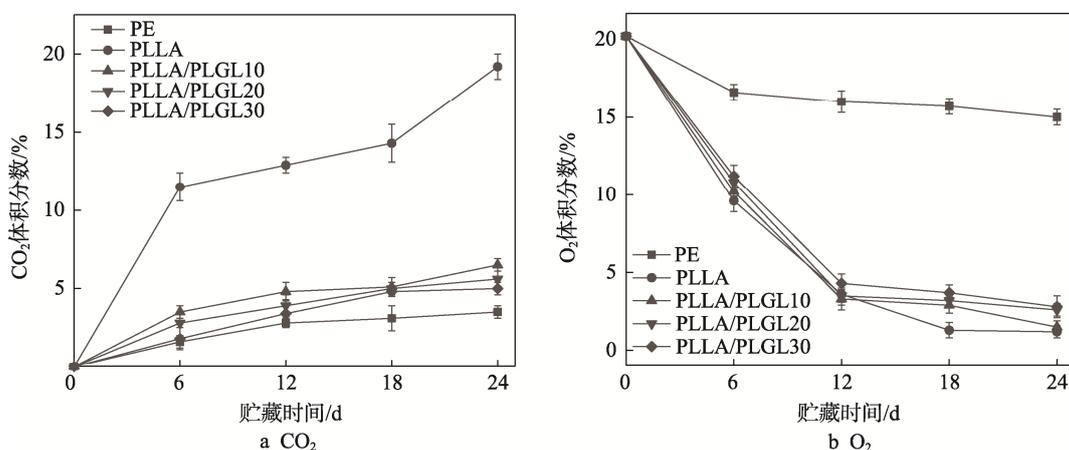


图 1 不同包装处理组袋内 CO₂ 和 O₂ 气体组成的变化

Fig.1 Changes of gas composition of CO₂ and O₂ in different packaging treatment groups

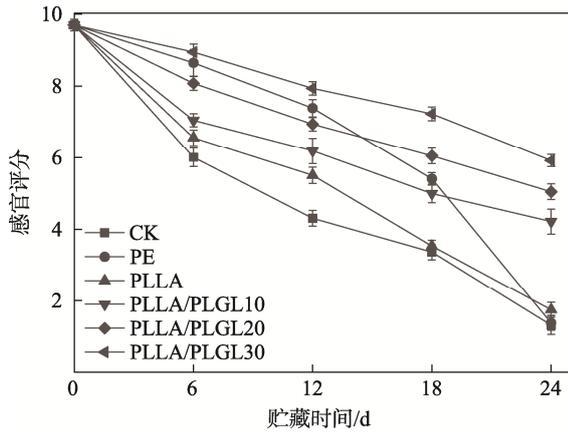


图 2 不同包装袋内荷兰豆在贮藏期的感官评分
Fig.2 Sensory scores of snow peas in different packages during storage

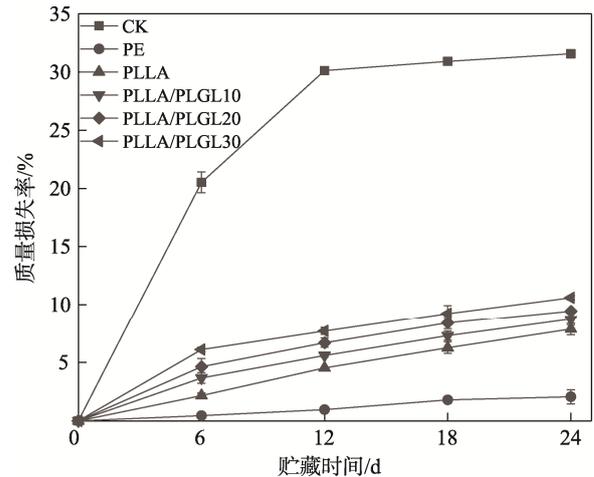


图 5 不同包装处理荷兰豆的质量损失率变化
Fig.5 Variation of weight loss rate of snow peas in different packaging treatments

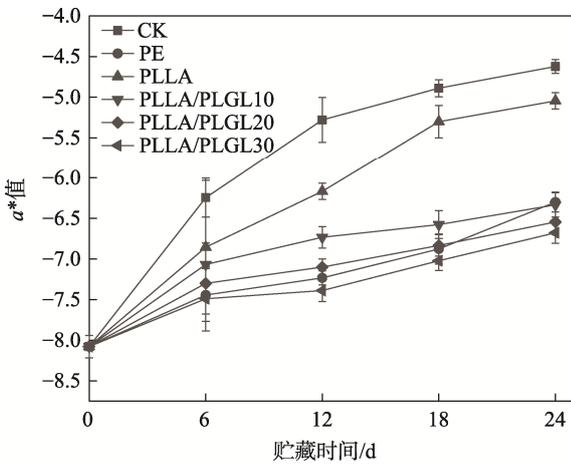


图 3 不同包装处理对荷兰豆的色差 a* 值的影响
Fig.3 Color difference a* of snow peas in different packaging treatments

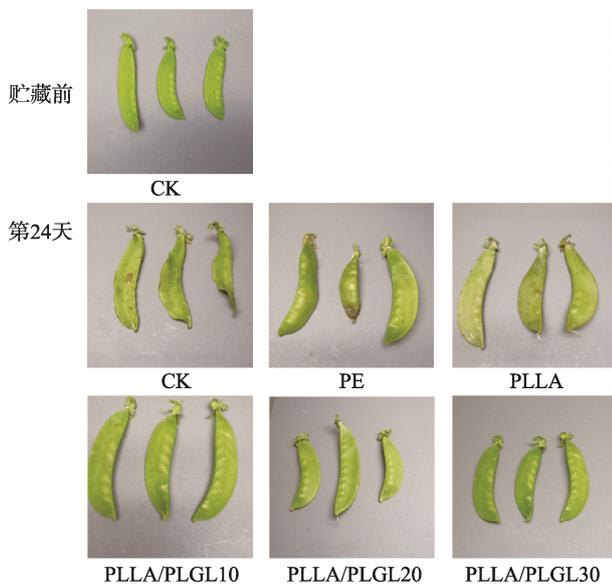


图 4 贮藏第 24 天时各处理组的保鲜实物
Fig.4 Fresh keeping pictures of each treatment group on the 24th day of storage

2.7 叶绿素含量分析

荷兰豆叶绿素含量变化见图 6。图 6 中叶绿素含量总体为下降的趋势，贮藏第 24 天各处理组叶绿素的含量分别为 0.0161, 0.0467, 0.0314, 0.0735, 0.076, 0.0878 mg/g。其中 PLLA/PLGL30 处理组叶绿素含量最高，与其他处理组差异显著 ($P < 0.05$)，而 CK 组叶绿素下降得最快，说明 PLLA/PLGL30 包装组能够有效地延缓叶绿素的降解，维持豆荚的色泽，延缓了其衰老进程。究其原因在于植物衰老后会有大量呼吸代谢出来的自由基，自由基可使叶绿素结合蛋白降解，而叶绿素的稳定性与叶绿素结合蛋白密切相关。

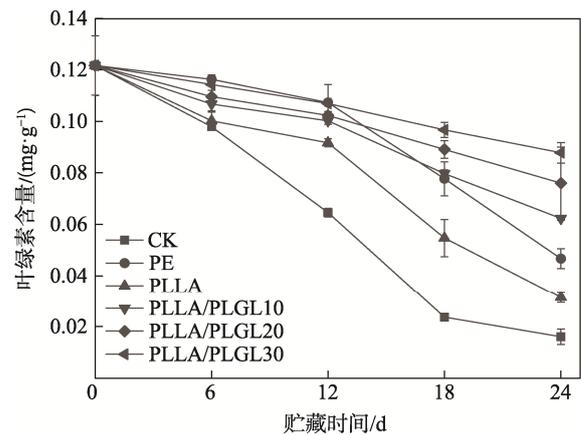


图 6 不同包装处理对荷兰豆的叶绿素含量变化影响
Fig.6 Changes in chlorophyll content of snow peas in different packaging treatments

2.8 丙二醛含量分析

不同包装处理组内荷兰豆丙二醛 (MDA) 含量变化情况见图 7。丙二醛的含量是用来表征果蔬衰老的重要指标之一，是细胞膜脂质过氧化的产物。如图 7

所示,所有处理组随着贮藏时间的延长丙二醛含量呈现上升趋势,贮藏第24天各处理组的MDA浓度分别为9.17, 8.09, 8.17, 6.01, 4.04, 3.21 nmol/g,其中 PLLA/PLGL30 处理组的MDA含量最少且增加最为缓慢,与其他处理组差异显著($P < 0.05$)。Garrido等^[19]研究小菠菜贮藏在高二氧化碳低氧的气氛条件中明显抑制MDA含量的积累,因此CO₂/O₂选择透过比较高的PLLA/PLGL30薄膜对荷兰豆的细胞膜结构损伤较小。CK组、PE组、PLLA组的MDA迅速积累,在贮藏第12天后荷兰豆已经成熟衰老了,其中CK组由于暴露在空气中,呼吸旺盛,细胞膜脂过氧化程度较高,PE组袋内气氛条件为高氧气低二氧化碳,不足以抑制MDA的积累,PLLA组荷兰豆后期进行无氧呼吸,消耗的底物较多,MDA积累较多。

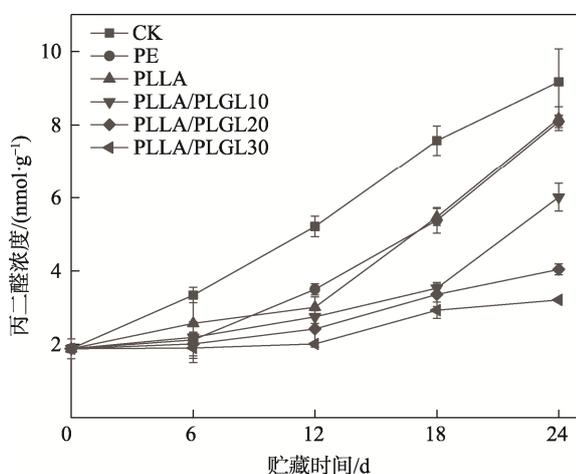


图7 不同包装处理荷兰豆的MDA含量变化
Fig.7 Changes of malondialdehyde (MDA) content of snow peas in different packaging treatments

3 结语

通过先共聚再共混得到 PLLA/PLGL 共混薄膜,改性后的薄膜具有良好柔韧性,较高的透气性使得 CO₂/O₂ 的选择透过比增大,适用于果蔬的保鲜包装。探讨不同的添加比例所得薄膜包装荷兰豆对其贮藏品质的影响,对比纯的 PLLA 袋及市场上常用的 PE 袋,发现 PLLA/PLGL30 的处理组能够得到适合荷兰豆贮藏的最佳气体条件,感官得分最高,有效延缓叶绿素的降解,抑制丙二醛的积累,使荷兰豆的保鲜期达到 24 d,有利于荷兰豆的贮藏。

参考文献:

[1] SHI Miao-miao, ZHANG Zhi-heng, YU Shu-yuan, et al. Pea Starch (*Pisum Sativum* L) with Slow Digestion Property Produced Using β -amylase and Transglucosidase[J]. Food Chemistry, 2014, 164: 317—323.

[2] 杜传来, 罗海波, 戴云云, 等. 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 342—346.
DU Chuan-lai, LUO Hai-bo, DAI Yun-yun, et al. Effect of Precooling and Modified Atmosphere on Quality of Dutch Beans during Refrigeration[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 342—346.

[3] KUMARI J, DIKSHIT H K, SINGH B, et al. Combining Ability and Character Association of Agronomic and Biochemical Traits in Pea (*Pisum Sativum* L)[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 181: 26—33.

[4] EIWAN M W M, NASEF I N, EL-SEIFI S K, et al. Storability, Shelf-life and Quality Assurance of Sugar Snap Peas (cv Super Sugar Snap) Using Modified Atmosphere Packaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100: 205—211.

[5] LI Tie-hua, ZHANG Ming. Effects of Modified Atmosphere Package (MAP) with a Silicon Gum Film Window on the Quality of Stored Green Asparagus (*Asparagus Officinalis* L) Spears[J]. LWT-food Science and Technology, 2015, 60(2): 1046—1053.

[6] PARIASCA JAT, MIYAZAKI T, HISAKA H, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and Controlled Atmosphere (CA) Storage on the Quality of Snow Pea Pods (*Pisum Sativum* L Var Saccharatum)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 21(2): 213—223.

[7] DARENSBOURG D J. Book Review of Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications[J]. Journal of the American Chemical Society, 2011, 133(18): 7237.

[8] NAZARI T, GARMABI H. Thermo-rheological and Interfacial Properties of Poly(lactic Acid)/Polyethylene Glycol Blends toward the Melt Electrospinning Ability[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(44): 1—11.

[9] HU Y S, TOPOLKARAEV V, HILTNER A, et al. Crystallization and Phase Separation in Blends of High Stereoregular Poly(Lactide) with Poly(Ethylene Glycol)[J]. Polymer, 2003, 44(19): 5681—5689.

[10] ATHANASOULIA I G I, CHRISTOFORIDIS M N, KORRES D M, et al. The Effect of PEG Mixed with PLLA on the Crystallization Characteristics and Properties of their Blends[J]. Polymer International, 2019, 68(4): 788—804.

[11] 崔国振, 贺继东. PLLA-PEG-PLLA 三嵌段共聚物的合成及性能[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2010, 31(4): 395—399.
CUI Guo-zhen, HE Ji-dong. Synthesis and Properties of PLLA-PEG-PLLA Triblock Copolymers% PLLA-PEG-PLLA Triblock Copolymer[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2010, 31(4): 395—399.

[12] 云雪艳. 高韧性、高选择透过性聚乳酸薄膜的制备及

- 其对果蔬的气调保鲜效果[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017: 29—100.
- YUN Xue-yan. Preparation of High Toughness and High Selective Permeability Polylactic Acid Film and its Modified Atmosphere Preservation Effect on Fruits and Vegetables[D]. Huhehot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017: 29—100.
- [13] 陈颖, 刘宝林, 宋晓燕. 荷兰豆真空预冷及其对贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2013(6): 276—279.
- CHEN Ying, LIU Bao-lin, SONG Xiao-yan. Vacuum Precooling of Snow Peas and Its Effect on Storage Quality[J]. Food Science, 2013(6): 276—279.
- [14] 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: 32—34.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Physiological and Biochemical Experiments of Postharvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 32—34.
- [15] 成培芳. 聚己内酯基可降解薄膜的制备及其对果蔬保鲜机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 23—77.
- CHENG Pei-fang. Preparation of Polycaprolactone-based Degradable Film and its Effect on the Preservation of Fruits and Vegetables[D]. Huhehot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019: 23—77.
- [16] LIN H, FREEMAN B D. Materials Selection Guidelines for Membranes that Remove CO₂ from Gas Mixtures[J]. Journal of Molecular Structure, 2004, 739(1): 57—74.
- [17] OBOH G, AKINDAHUNSI A A. Change in the Ascorbic Acid, Total Phenol and Antioxidant Activity of Sun-dried Commonly Consumed Green Leafy Vegetables in Nigeria[J]. Nutr Health, 2004, 18(1): 29—36.
- [18] WARREN C R, ARANDA I, CANO F J. Responses to Water Stress of Gas Exchange and Metabolites in Eucalyptus and Acacia Spp[J]. Plant Cell & Environment, 2011, 34(10): 1609—1629.
- [19] HERNANDEZ, JOSE A, TUDELA, et al. Modified Atmosphere Generated during Storage under Light Conditions is the Main Factor Responsible for the Quality Changes of Baby Spinach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 114: 45—53.