

## 可降解包装膜的制备及在水蜜桃保鲜中的应用

李逸<sup>1a,1b</sup>, 王子鑫<sup>1a,1b</sup>, 韩延超<sup>2</sup>, 柯丽娜<sup>1a,1b</sup>, 曾梦秋<sup>1a,1b</sup>, 杨峥<sup>1a,1b</sup>, 李立<sup>1a,1b</sup>

(1.上海海洋大学 a.食品学院 b.食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306;

2.浙江省农业科学院, 杭州 310021)

**摘要:** **目的** 研究可降解材料聚乳酸(PLA)/聚丁二酸丁二醇酯-聚己二酸丁二醇酯共聚物(PBSA)制备的薄膜在添加  $\beta$ -环糊精-葡萄柚精油(GEO)包合物后的力学性能、透气性能、透湿性能、保鲜性能。**方法** 采用熔融共混和挤出流延的方法制备薄膜,在4℃保鲜条件下,通过测定和分析水蜜桃的硬度、可溶性固形物含量、pH值、丙二醛含量及感官品质,对包装膜的保鲜效果进行探讨。**结果** 添加 GEO 显著降低了 PLA/PBSA 薄膜的  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  透过率;在保鲜实验中,采用 GEO-PLA/PBSA 薄膜包装,延缓了水蜜桃硬度和可溶性固形物含量的下降,抑制了汁液 pH 值和丙二醛含量的上升,维持了水蜜桃的感官品质,将货架期从 15 d 延长至 30 d。**结论** 添加 GEO 改善了 PLA/PBSA 薄膜的透气性能,对水蜜桃具有良好的保鲜效果,有助于保持水蜜桃的生理特征和感官品质,延长其贮藏期。

**关键词:** 可降解材料;聚乳酸;果蔬;保鲜;活性包装;葡萄柚精油

**中图分类号:** TS206.4; TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)23-0023-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.004

## Preparation and Application of Degradable Film in Peach Preservation

LI Yi<sup>1a,1b</sup>, WANG Zi-xin<sup>1a,1b</sup>, HAN Yan-chao<sup>2</sup>, KE Li-na<sup>1a,1b</sup>, ZENG Meng-qiu<sup>1a,1b</sup>,  
YANG Zheng<sup>1a,1b</sup>, LI Li<sup>1a,1b</sup>

(1a.College of Food Science and Technology b.Food Thermal Processing Engineering Technology Research Center,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2.Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**ABSTRACT:** The study aims to analyze the mechanical property, moisture penetrability, gas permeability, and preservation performance of biodegradable polylactic acid (PLA)/poly(butylene succinate adipate) (PBSA) film added with grapefruit essential oil(GEO). The film was prepared through melt blending and extrusion casting method. By testing and analyzing firmness, total soluble solids content, pH, malondialdehyde content and sensory quality of peaches at 4 °C, the article discussed the preservation effect of active film. The results showed that the film added with GEO improved the  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  transmission rates significantly, delayed the decline of firmness and total soluble solids content, inhibited the increase in pH value and MDA content. Therefore, the film maintained the sensory quality of peaches, and prolonged the preservation period from 15 days to 30 days. Adding GEO improved the gas permeability of the film, and had a good preservation effect on peaches. It maintained the physiological feature and sensory quality of peaches, and extends their storage period.

**KEY WORDS:** biodegradable materials; polylactic acid; fruit; preservation; active packaging; grapefruit essential oil

收稿日期: 2019-10-19

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0401304); 上海海洋大学大学生创新创业训练项目(X201910264044); 上海市地方能力建设专项(19050502000); 广东省应用植物学重点实验室开放课题(AB2018018)

作者简介: 李逸(1999—),女,上海海洋大学在读本科生,专业方向为包装材料与果蔬保鲜。

通信作者: 李立(1977—),男,博士,上海海洋大学教授,主要研究方向为包装材料与食品贮藏保鲜。

水蜜桃含有大量如钙、磷、铁等微量元素,多种维生素、苹果酸、柠檬酸等,以及多种人体必须的氨基酸<sup>[1]</sup>,具有较高的营养价值,其口感甘甜、鲜嫩多汁,因而深受消费者的喜爱,且具有较高的商业价值。由于水蜜桃果实含水量较高,且收获期在高温夏季,因此很容易出现失水,甚至腐烂等现象<sup>[2]</sup>。另外,水蜜桃是一种典型的呼吸跃变型果实<sup>[3]</sup>,贮藏期较短,所以需要人为采取一些延长贮藏时间的措施。

据统计,发达国家中由于保鲜技术欠缺导致的水蜜桃腐烂率为20%~40%,发展中国家则高达40%~60%,可见水蜜桃的保鲜是国际上公认的技术难题<sup>[4]</sup>。我国通常利用冰柜和冷库等设备对果蔬进行低温贮藏<sup>[5]</sup>,该方法简单易行,但低温贮藏容易改变水蜜桃的质地,使其丧失风味,还会出现果肉褐变、木渣化,果皮革质化等冻害现象<sup>[6]</sup>。此外,还可以采用涂膜保鲜技术,用较多的果蜡就能有效减少果实与空气的接触面积,以延缓腐败,但也可能造成食品安全问题。

果蔬采后保鲜技术中,除低温保鲜外,薄膜包装也是一种简单易行的保鲜方式。使用具备适宜透气性的薄膜来保鲜水蜜桃,随着果实自身呼吸作用以及包装袋内外气体交换的进行,可以形成最佳的气体浓度环境,同时包装内部会形成适宜的湿度环境,能够使水蜜桃维持较高品质,从而延长其货架期<sup>[7]</sup>。

聚乳酸(PLA)制品可通过堆肥完全降解为二氧化碳和水,可在自然界实现良性循环。现有技术也可使PLA在较低温度下快速发生酶解,PLA是一种环境友好型材料<sup>[8]</sup>。丁二酸丁二醇酯-己二酸丁二醇酯共聚物(PBSA)也是一种热塑性脂肪族聚酯,具有可生物降解性、耐热性、可熔融加工性,2种树脂共混可以实现对材料的增韧效果<sup>[9]</sup>,获得性能优异的可降解高分子材料。葡萄柚精油成分具有毒性低,抑菌作用明显,对环境的影响较小等特性,是果蔬贮藏保鲜中实用有效的杀菌剂<sup>[10-12]</sup>。由此,文中以葡萄柚精油为天然抗菌剂,PLA/PBSA共混材料为基材,制备可降解活性抗菌保鲜膜。

国内外已有不少研究人员将天然抗菌剂植物精油添加到包装薄膜中,制备抗菌保鲜包装<sup>[13-16]</sup>,但植物精油对热不稳定,温度较高容易挥发,会导致活性物质易丧失;薄膜加工制备过程中又存在不可避免的高温过程,制备出的薄膜实际精油含量较低,保鲜效果有限。如何在保证薄膜性能的同时,增强薄膜的保鲜性能,是目前研究研究人员关注的问题。

在此背景下,笔者拟在现有技术的基础上,利用环糊精对抗菌剂的缓释性能<sup>[17]</sup>,采用包合技术将精油包合在环糊精分子的空腔中,从而保留植物精油的有效活性物质,以提高保鲜膜的抗菌性能;通过熔融共混法实现对PLA的增韧改性<sup>[18]</sup>,从而延长保

膜的保鲜周期。在温度4℃下,结合保鲜膜贮藏水蜜桃,通过测定包装膜中水蜜桃的硬度、可溶性固形物含量、pH值、丙二醛含量和感官品质,分析可降解活性抗菌保鲜膜对水蜜桃品质的影响,为寻求环境友好型、具备高抗菌活性保鲜膜提供一定理论与技术支持。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料和试剂:PLA,浙江海正生物材料股份有限公司;PBSA,昭和电工株式会社; $\beta$ -环糊精,国药集团化学试剂有限公司;香茅精油、葡萄柚精油,上海傲益生物科技有限公司;扩链剂ADR-4370F,抗氧化剂245,巴斯夫股份公司;水蜜桃,供试品种“南汇水蜜桃”于当天清晨采摘自上海市若田果蔬专业合作社,经2h货车运输至实验室。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:LSSL-20双螺杆挤出机、LYJ-流延机,上海科创橡塑机械设备有限公司;XLW智能电子拉力试验机、PERME G2/I32透气率测试仪,济南兰光机电技术有限公司;GXZGF101恒温鼓风干燥箱,上海贺德实验设备有限公司;PERMATRAN-WMODEL1/50水蒸气透过系数测试仪,MOCON;L-0305电子数显螺旋测微仪,桂林广陆数字测控有限责任公司;GBB-B型透光率/雾度测定仪,上海精科仪器公司;H2050R-1高速冷冻离心机,湘仪离心机仪器有限公司;BSM-220.3分析天平,上海卓精电子科技有限公司;UV2100分光光度计,日本岛津公司;PHSJ-4F实验室pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;GY-4型果实硬度计、LH-T32手持式糖度计,上海仪电科学仪器股份有限公司;格林斯达LTC-20H+型冰柜,广东星星制冷设备有限公司。

### 1.3 方法

1)  $\beta$ -环糊精包合物的制备参照Ayala-Zavala<sup>[19]</sup>等的方法,并稍作改动。称取10g  $\beta$ -环糊精加入100mL蒸馏水中,在恒温水浴磁力搅拌器中恒温60℃搅拌,至乳白色刚好变为澄清为止;用移液枪移取10mL葡萄柚精油,用无水乙醇在容量瓶中定容至100mL,配成体积分数为10%的精油乙醇溶液;待 $\beta$ -环糊精完全溶解至澄清溶液后,将以上体积的精油乙醇溶液逐滴滴入旋转的 $\beta$ -环糊精饱和溶液中,再进行搅拌4h,温度为60℃,转速为1200r/min,搅拌结束后,立即冰浴10~20min;最后进行真空抽滤,用无水乙醇和去离子水分别洗涤3次,洗去吸附在微胶囊表面未包合的 $\beta$ -环糊精;在温度45℃下,真空(0.08MPa)

干燥至恒定质量,即得 β-环糊精-葡萄柚精油(GEO)包合物。

2) 活性薄膜的制备参照蒋金勇<sup>[20]</sup>、许耀之<sup>[21]</sup>、沈春华<sup>[22]</sup>、杨春香<sup>[23]</sup>、陈海军<sup>[24]</sup>等方法,并稍作改动。将在 60℃干燥箱中干燥 4 h 后的 PLA 和 PBSA 树脂颗粒以质量比 9:1 的比例混合均匀,加入质量分数为 0.2%的扩链剂 ADR-4370F 和质量分数为 0.1%的抗氧化剂 245,GEO-PLA/PBSA 组在此基础上再添加质量分数为 4%的 β-环糊精-GEO 包合物,将材料共混,通过双螺杆挤出机剪切、造粒,单螺杆挤出机流延,分别得到 PLA/PBSA、葡萄柚精油微囊-PLA/PBSA(GEO-PLA/PBSA)等 2 种薄膜。双螺杆挤出机的 1—7 区温度分别为 140,160,165,170,170,150,155℃;转速为 50 r/min。

1.4 测定项目

1) 薄膜厚度采用 L-0305 电子数显螺旋测微仪进行测定。

2) 薄膜拉伸强度(TS)和断裂伸长率(EAB)根据 GB/T 1040.3—2006,采用 XLW 智能电子拉力试验机进行测定。

3) 薄膜透光率和雾度采用 GBB-B 型透光率/雾度测定仪进行测定。

4) 薄膜水蒸气透过率采用 PERMATRAN-W MODEL1/50 水蒸气透过系数测试仪进行测定。

5) CO<sub>2</sub> 透过率和 O<sub>2</sub> 透过率采用 PERME G2/132 透气率测试仪进行测定。

6) 水蜜桃保鲜试验。将制备的 2 种薄膜用热封机三面封口制成大小为 20 cm×20 cm 的包装袋,标记时间和平行编号。选取成熟度一致、大小均匀、质量为 180~200 g 的水蜜桃,装入包装袋,每个袋子中装 1 颗水蜜桃,并用热封机封口。裸露组(记为 CK)水蜜桃不采取其他保鲜措施。将 3 组水蜜桃置于 4℃冰箱中贮藏,采摘当天记为第 0 天,每隔 5 d 测定水蜜桃的硬度、可溶性固形物含量、pH 值、丙二醛含量、感官品质。

7) 硬度参照曹建康<sup>[25]</sup>等方法。取水蜜桃,在

围绕果实的赤道部位,间隔等距离的 3 个位置,各削去一小块果皮,使用 GY-4 型果实硬度计进行测定,选用 11 mm 探头,硬度计垂直于被削处,压头均匀压入 1 cm 刻度线处,每个果实重复测定 3 次。

8) 可溶性固形物含量参照曹建康<sup>[25]</sup>等方法,并稍作改动。打开 LH-T32 手持式糖度计棱镜盖板,先调零,用擦镜纸轻轻擦净折光镜面,滴几滴蒸馏水于折光镜镜面上,合上盖板,将仪器对向光线,由目镜观察,转动棱镜旋钮,使视野分成明暗两部分。并用专用螺丝刀旋动补偿器旋钮,使视野为黑白两色,同时使明暗分界线与标尺上的“0”位重合。然后打开盖板,擦干水分。取一定量(10 g 左右)果实样品,用纱布挤出汁液,用滴管吸取液体,进行测定,重复测定 3 次。

9) pH 值的测定。取一定量(20 g 左右)果实样品,用纱布挤出汁液,然后用 PHSJ-4F 实验室 pH 计测定汁液的 pH 值,重复测定 3 次。

10) 丙二醛含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[25]</sup>进行测定。称取 2.0 g 果蔬样品,加入 10.0 mL 100 g/L 三氯乙酸(TCA)溶液,研磨匀浆后,于 4℃、11000g 离心 30 min,收集上清液,用量筒量取,并记录上清液体积,低温保存备用;取一定体积的上清液(对照空白管中加入同样体积的 100 g/L TCA 溶液代替提取液),加入 9.0 mL 质量分数为 0.67%的硫代巴比妥酸(TBA)溶液,混合后在沸水浴中煮沸 15 min,取出冷却后再离心 1 次。分别测定上清液在 450, 532, 600 nm 波长处的吸光度值,重复测 3 次。

丙二醛浓度的计算公式:

$$c = 6.45 \times (OD_{532} - OD_{600}) - 0.56 \times OD_{450}$$

丙二醛含量计算公式(鲜质量):

$$\text{丙二醛含量}(\mu\text{mol/g}) = \frac{c \times V}{V_s \times m \times 1000}$$

式中:c 为反应混合液中丙二醛浓度(μmol/L);V 为样品提取液总体积(mL);V<sub>s</sub>为测定时所取样品提取液的体积(mL);m 为样品质量(g)。

11) 感官品质参考朱麟<sup>[26]</sup>等方法,评分标准见表 1。

表 1 水蜜桃感官评定标准  
Tab.1 Criteria for sensory evaluation of peaches

| 评分   | 新鲜程度       | 风味口感       | 色泽        | 组织与质地状态    |
|------|------------|------------|-----------|------------|
| 9~10 | 新鲜         | 香浓味醇, 鲜甜甘美 | 色泽鲜艳, 无褐变 | 鲜嫩多汁       |
| 7~8  | 较新鲜        | 香味较淡, 酸甜适中 | 色泽基本正常    | 多汁稍软       |
| 5~6  | 较不新鲜, 轻微失水 | 无香味, 甜度低   | 轻微褐变      | 组织疏松, 汁少较软 |
| 3~4  | 不新鲜, 萎蔫    | 有轻微异味      | 明显褐变      | 明显软化       |
| 1~2  | 严重萎蔫       | 有明显异味      | 严重褐变      | 组织无汁, 严重软化 |

## 1.5 数据处理

使用 SPSS 22.0 软件统计数据, 并采用 Duncan's 进行差异显著性分析,  $P < 0.05$  表示差异显著。使用 Origin2017 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 薄膜的基本性能

2 种薄膜的基本性能见表 2。PLA 具有高强度和高模量, 拥有其他聚合物所不具备的力学性能和良好的生物相容性, GEO 的加入会在一定程度上改变其性能<sup>[27]</sup>。由表 2 可知, GEO-PLA/PBSA 薄膜较厚, 这是由于 GEO 的添加增大了膜的厚度, 同时使薄膜的透光率降低, 雾度增大。

薄膜的力学性能由抗拉强度(TS)和断裂伸长率(EAB)表示。拉伸测试结果显示, 添加 GEO 的薄膜拉伸强度降低, 断裂伸长率增大。说明加入 GEO 使薄膜的抗拉能力下降, 这可能是由于其减弱了 PLA/PBSA 共混体系的分子间作用力, 使得分子链之间容易发生相对位移<sup>[28]</sup>, 导致力学性能的改变。同时, 包合物的加入也使薄膜的抵抗变形能力提高, 增强了薄膜的柔韧性<sup>[23]</sup>。

### 2.2 薄膜的透气透湿性能

薄膜的透湿性能由水蒸气透过率来表示。在采摘后, 水蜜桃质量的损失主要是由于水分散失和呼吸作用。水蜜桃的表皮特性使其水分较易散失, 且极易腐

败变质<sup>[29]</sup>。由表 3 可知, 改性的 PLA/PBSA 薄膜本身具有较高的气体透过率, 对水蒸气、氧气、二氧化碳的透过率分别达到  $26.36 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$ ,  $356.69 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ ,  $1659.52 \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot 0.1 \text{ MPa})$ 。添加 GEO 的薄膜水蒸气透过率相较于空白组下降了 16.20%, 这可能是由于葡萄柚精油中含有的醇类、酚类等的羟基基团与水缔合形成氢键, 阻止了水蒸气的进一步扩散。

薄膜的透气性能由氧气透过率、二氧化碳透过率表示。透气性过大或过小都不利于水蜜桃的贮藏<sup>[30]</sup>。薄膜包装内环境气体成分因水蜜桃的呼吸作用而达到低氧、高二氧化碳浓度的状态时, 会抑制呼吸作用的进行, 减缓水蜜桃衰老褐变, 从而达到保鲜目的, 但是当二氧化碳浓度过高、氧气浓度过低时又会使水蜜桃进行无氧呼吸, 积累有害物质, 因此具有一定透气性的薄膜在果蔬保鲜方面具有重要作用。薄膜能够使包装袋内外发生一定程度的气体交换, 使袋内氧气和二氧化碳的浓度在一定时间内维持在水蜜桃保鲜的适宜气体氛围。

添加 GEO 使得薄膜的氧气透过率有所下降, 二氧化碳透过率有大幅度下降, 可以在一定程度上促进袋内  $\text{CO}_2$  的积累, 可能有助于减缓水蜜桃的呼吸作用, 实现较长时间的贮藏。其原因在于, 一方面, 精油中的小分子填补了聚合物大分子网状结构的微小空隙<sup>[31]</sup>, 使得气体分子特别是  $\text{CO}_2$  难以通过扩散作用穿过薄膜; 另一方面, 可能由于熔融共混过程中 GEO 的存在改变了聚合物的结构, 使材料的结晶度发生变化。

表 2 薄膜的基本性能  
Tab.2 Basic properties of films

| 薄膜           | 厚度/ $\mu\text{m}$  | 透光率/%              | 雾度/%               | 拉伸强度/MPa           | 断裂伸长率/%           |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| PLA/PBSA     | $61.00 \pm 2.65^b$ | $79.83 \pm 0.35^a$ | $6.30 \pm 0.55^b$  | $38.16 \pm 0.56^a$ | $3.28 \pm 0.10^b$ |
| GEO-PLA/PBSA | $89.67 \pm 3.06^a$ | $52.47 \pm 1.45^b$ | $35.70 \pm 0.48^a$ | $21.55 \pm 1.97^b$ | $5.38 \pm 0.57^a$ |

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

表 3 薄膜的气体透过率  
Tab.3 Gas transmission rate of films

| 薄膜           | 水蒸气透过率/<br>( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (24 \text{ h})^{-1}$ ) | $\text{O}_2$ 透过率/<br>( $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot (24 \text{ h})^{-1} \cdot (0.1 \text{ MPa})^{-1}$ ) | $\text{CO}_2$ 透过率/<br>( $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot (24 \text{ h})^{-1} \cdot (0.1 \text{ MPa})^{-1}$ ) |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PLA/PBSA     | $26.36 \pm 0.06^a$                                                      | $356.69 \pm 13.85^a$                                                                                              | $1659.52 \pm 88.76^a$                                                                                              |
| GEO-PLA/PBSA | $22.09 \pm 1.40^b$                                                      | $325.79 \pm 6.54^b$                                                                                               | $40.74 \pm 6.97^b$                                                                                                 |

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 2.3 硬度

贮藏期间水蜜桃硬度的变化见图 1。随着贮藏时间的延长, 果蔬组织细胞初生细胞壁和中胶层的多糖

分解, 使细胞壁分离、变薄, 引起细胞软化<sup>[32]</sup>, 导致果实硬度下降。3 组水蜜桃硬度均呈下降趋势, 其中 CK 组下降速度最快, 其次是 PLA/PBSA 组, GEO-PLA/PBSA 组的水蜜桃硬度下降速率最慢, 可能是由

于 GEO 的添加抑制了多糖降解过程中相关反应酶的活性,从而延缓了果实的软化。

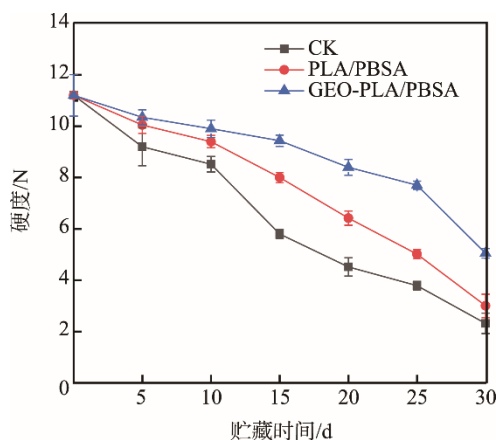


图 1 水蜜桃贮藏期间硬度的变化

Fig.1 Changes infirmness of peaches during storage

## 2.4 可溶性固形物含量

果蔬中的可溶性固形物 (TSS) (主要是可溶性糖) 含量能直接反映果蔬的成熟度、营养成分和品质状况<sup>[33—34]</sup>。水蜜桃在贮藏期间 TSS 含量的变化见图 2。随着贮藏时间的延长, CK 组和 PLA/PBSA 组的 TSS 含量呈现先上升后下降的趋势, 这是因水蜜桃采后的新陈代谢以及后熟作用, 产生的可溶性糖和可溶性果胶等物质多于呼吸作用消耗的物质, 导致 TSS 含量上升<sup>[35—37]</sup>; 在贮藏后期, 随着贮藏时间的延长, 水蜜桃的后熟期结束而呼吸作用不断消耗营养物质, 导致其含量下降<sup>[38]</sup>; CK 组和 PLA/PBSA 组约在贮藏第 15 天达到峰值, 而后 CK 组含量迅速下降至 8.80%, 表明该组水蜜桃所含的大分子物质迅速降解。

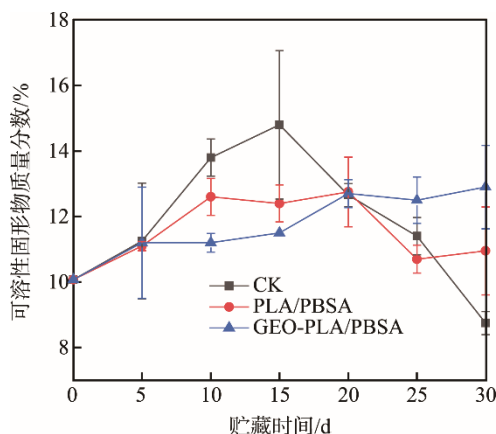


图 2 水蜜桃贮藏期间可溶性固形物含量的变化

Fig.2 Changes in soluble solids content of peaches during storage

GEO-PLA/PBSA 组 TSS 含量呈缓慢上升趋势, 在贮藏第 30 天时含量仍高达 12.90%。可能是由于

GEO 的添加延缓了水蜜桃后熟阶段的进程。说明添加 GEO 对水蜜桃 TSS 含量的下降起明显的抑制作用, 能有效延缓可溶性固形物的分解, 保持果实养分与风味。

## 2.5 pH 值

果蔬内有机酸的种类及含量是影响其口味的重要因素<sup>[39—40]</sup>。有机酸的含量可以用 pH 值来衡量, 水蜜桃内有机酸含量和 pH 值呈相反的变化规律<sup>[41]</sup>。图 3 表明在整个实验周期中, 3 组水蜜桃的 pH 值均呈现上升趋势, CK 组 pH 值增大的速率最快, 其次为 PLA/PBSA 组, 最后是 GEO-PLA/PBSA 组。在贮藏第 30 天时, CK 组、PLA/PBSA 组、GEO-PLA/PBSA 组的 pH 值分别为 4.88, 4.40, 4.20, 说明使用薄膜包装可以抑制水蜜桃 pH 值的上升。GEO-PLA/PBSA 组的 pH 值低于其他 2 组, 说明 GEO 的加入有效抑制了水蜜桃有机酸含量的降低, 保持水蜜桃的营养品质, 提升了保鲜效果。

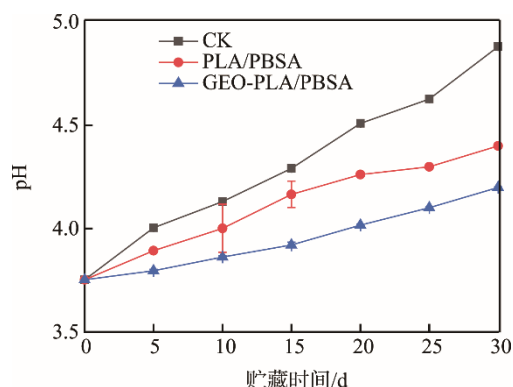


图 3 水蜜桃在贮藏期间 pH 值的变化

Fig.3 Changes in pH concentration of peaches during storage

## 2.6 丙二醛含量

果实在衰老和腐烂过程中会发生质膜过氧化作用<sup>[42]</sup>, 丙二醛是质膜过氧化的主要分解产物, 因此丙二醛含量指标能够反映果肉细胞质膜破损的程度, 进而反映果肉的衰老程度<sup>[43]</sup>。由图 4 可知, 实验前期丙二醛数值有部分为负值, 可能是由于水蜜桃果实内糖含量较高, 对吸光度的测量值造成干扰所致。在整个贮藏过程中, 3 组水蜜桃的丙二醛含量都呈现上升趋势, CK 组的丙二醛含量上升速度最快, 在贮藏第 30 天时达到  $0.538 \mu\text{mol/kg}$ , 说明质膜过氧化速度最快。保鲜袋包装对丙二醛含量上升具有一定的抑制作用, 在贮藏第 30 天时, PLA/PBSA 组、GEO-PLA/PBSA 组的丙二醛含量分别为  $0.332$ ,  $0.264 \mu\text{mol/kg}$ 。说明 GEO 的加入有效降低了质膜提取液中的丙二醛含量, 抑制了质膜过氧化速度, 延缓了质膜破损, 对水蜜桃的保鲜具有积极作用。

## 2.7 感官评定

新鲜程度、风味口感、色泽、组织与质地状态等感官指标可以反映水蜜桃所处的成熟阶段<sup>[44]</sup>,是影响水蜜桃货架期的首要因素。水蜜桃感官评定得分的变化见图5,3组水蜜桃在贮藏5,10,15,20,25,30 d后的外观状态见图6。由图5可知,感官评分呈下降趋势,PLA/PBSA组评分一直高于CK组,GEO-PLA/PBSA组评分一直高于PLA/PBSA组。结合图6所示水蜜桃的外观状态,CK组贮藏第10天时褐变明显,从第15天开始腐败,果实表面出现霉斑,后续贮藏期间近表皮处发黑,说明已经丧失了商业价值;PLA/PBSA组从贮藏第15天开始出现褐变情况,第25天时褐变严重,GEO-PLA/PBSA组到第30天仍保持较好果实色泽,无腐败现象,与图5表述一致。说明CK组由于直接和外界接触,气体交换强度大,从而快速腐败。PLA/PBSA组抑制了水蜜桃呼吸作用,但抗菌效果不明显。GEO-PLA/PBSA组薄膜包装有效抑制了水蜜桃冷藏期间的气体交换,防止了水分流失,抑制了微生物生长繁殖,延缓了水蜜桃腐败,将水蜜桃感官维持在较好状态,是保鲜效果最佳的一组。

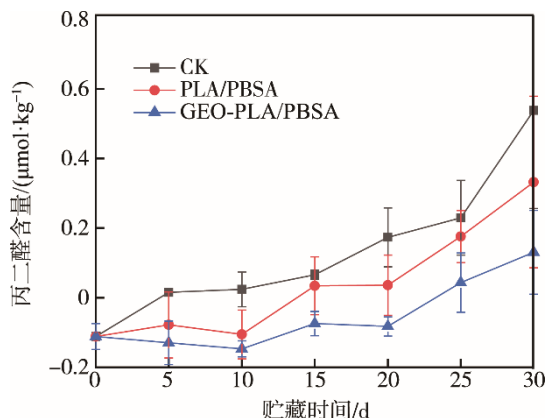


图4 水蜜桃在贮藏期间丙二醛含量的变化

Fig.4 Changes in malonaldehyde content of peaches during storage

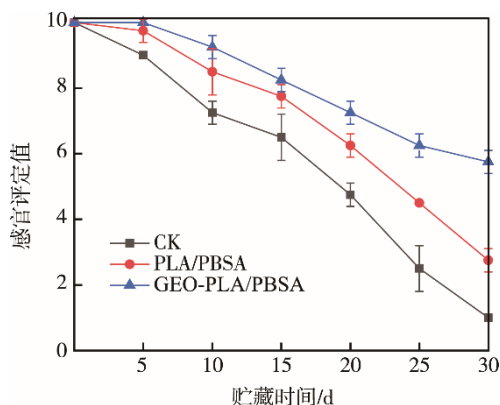


图5 水蜜桃在贮藏期间感官品质的变化

Fig.5 Changes in sensory scores of peaches during storage

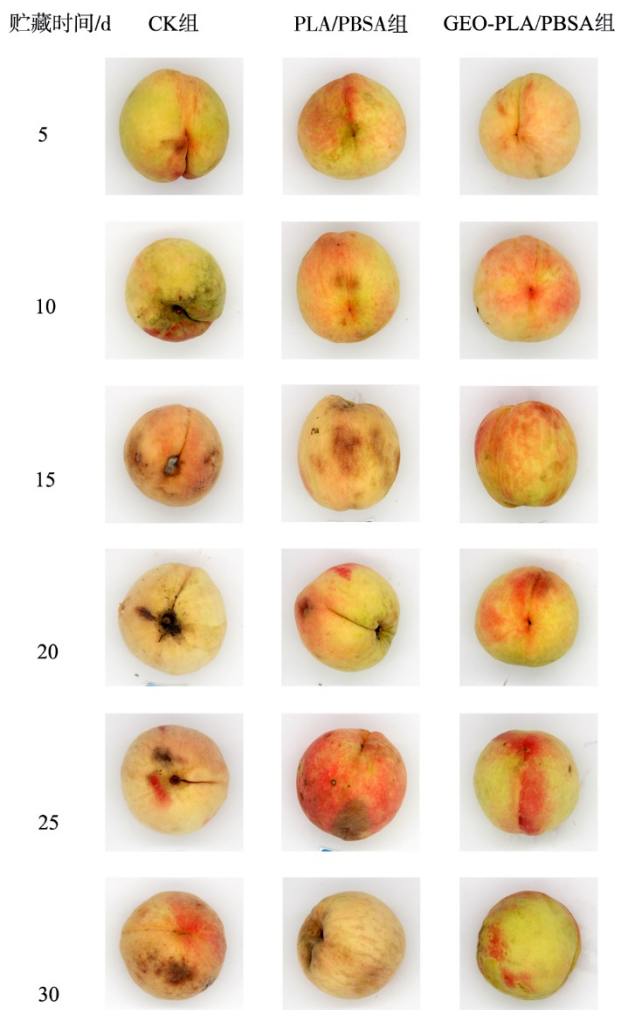


图6 水蜜桃贮藏期间拍摄照片

Fig.6 Pictures of peaches during storage

## 3 结语

添加 GEO 对薄膜的力学性能和透气透湿性都产生了显著的影响,其中,大幅度降低了薄膜的  $\text{CO}_2$  透过率,可以在一定程度上促进了  $\text{CO}_2$  的积累,可能对水蜜桃的长时间贮藏有利。

文中研究了在  $4^\circ\text{C}$  贮藏条件下,采用裸露(CK)、PLA/PBSA 薄膜包裹、GEO-PLA/PBSA 薄膜包裹等方式进行了对照实验。实验结果表明,可降解活性包装膜对水蜜桃具有良好的保鲜、防腐作用。在贮藏第30天时,GEO-PLA/PBSA 组的水蜜桃硬度仍高达 6.10 N,而 CK 组和 PLA/PBSA 组分别下降至 2.30, 3.60 N,说明该活性包装膜对延缓果实软化具有明显效果。另外,随着贮藏时间的延长,对照组的水蜜桃可溶性固形物含量得到控制,有助于维持水蜜桃的甜度,控制并延缓 pH 值和丙二醛含量的上升,抑制细胞质膜过氧化,从而保持水蜜桃的感官品质。由此可见,可降解活性包装膜可以有效提高采收水蜜桃的贮藏品质,延长货架期,从而保持了较高的商品价值。

作为新型包装材料,文中提供的 GEO-PLA/PBSA 薄膜在添加天然植物精油的方式上进行了创新性研究,保持了其抗菌活性并发挥缓释作用,其绿色环保、便捷、安全无毒及生物可降解等特性也符合当前及未来的主流趋势,具有广阔的应用前景。随着科技的进步与消费水平的提高,食品包装朝着抗菌、可降解、纯天然及多种材料复配的新方向推进,但新型包装的性质如何调控,如抗菌剂的稳定性、单种抗菌剂的局限性、多种抗菌剂的协同作用、精油的独特气味、材料的成本控制等问题都值得进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 王光亚. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002: 110—118.  
WANG Guang-ya. Chinese Food Ingredients[M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002: 110—118.
- [2] 贾丽, 朱学亮. 桃贮藏保鲜研究进展[J]. 山西果树, 2014, 9(5): 49—51.  
JIA Li, ZHU Xue-liang. Advances in Peach Storage and Preservation[J]. Shanxi Fruits, 2014, 9(5): 49—51.
- [3] 周慧娟, 叶正文, 乔勇进. 不同成熟度水蜜桃果实软化的影响因素[J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 67—72.  
ZHOU Hui-juan, YE Zheng-wen, QIAO Yong-jin. Related Factors of Soften of Honey Peach at Different Maturity[J]. Non-wood Forest Research, 2012, 30(1): 67—72.
- [4] TWORKOSKI T J, GLENN D M. The Peach: Botany, Production and Uses[M]. Elsevier: CABI Publishing, 2008: 224—226.
- [5] 张洁. 不同处理对杨梅果实保鲜效果的研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2012: 1—2.  
ZHANG Jie. Study on the Preservation Effects of Different Treatment on Myrica Rubra Biebet Zucc[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2012: 1—2.
- [6] 杜小龙, 李建龙, 刘影, 等. 水蜜桃采后防腐、保鲜与贮藏研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3295—3303.  
DU Xiao-long, LI Jian-long, LIU Ying, et al. Research Progress of Antisepsis, Preservation and Storage of Postharvest Juicy Peach[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(9): 3295—3303.
- [7] 饶先军, 刘升, 颜丽萍. 聚乙烯袋包装和 0℃冷藏对结球生菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2012(2): 177—179.  
RAO Xian-jun, LIU Sheng, YAN Li-ping. Effect of Polyethylene Bag Package and Cold Storage at 0℃ on the Quality of Lettuce[J]. Food and Machinery, 2012(2): 177—179.
- [8] MAJID J, ELMIRA A T, MUHAMMAD I. Poly-lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites and Release Studies[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010, 9: 552—571.
- [9] 宋存江, 陶剑, 胡丹. 生物降解聚酯 PLA/PBSA 共混体系的制备与结构性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2009, 25(7): 137—140.  
SONG Cun-jiang, TAO Jian, HU Dan. Structure and Properties of Biodegradable Poly(Lactic Acid)/Poly(Butylene Succinate Adipate) Blends[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2009, 25(7): 137—140.
- [10] ISMAN B M. Plant Essential Oils for Pest and Disease Management[J]. Crop Protection, 2000(19): 603—608.
- [11] KALEMBA D, KUNICKA A. Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils[J]. Current Medicinal Chemistry, 2003(10): 813—829.
- [12] BURT S. Essential Oils: Their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods—a Review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94: 223—253.
- [13] AZIZ M, KARBOUNE S. Natural Antimicrobial/antioxidant Agents in Meat and Poultry Products as Well as Fruits and Vegetables: a Review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018, 58 (3): 486—511.
- [14] KHEZRIAN A, SHAHBAZI Y. Application of Nanocomposite Chitosan and Carboxymethyl Cellulose Films Containing Natural Preservative Compounds in Minced Camel's Meat[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106: 1146—1158.
- [15] ORSUWAN A, SOTHORNVIT R. Active Banana Flour Nanocomposite Films Incorporated with Garlic Essential Oil as Multifunctional Packaging Material for Food Application[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(6): 1199—1210.
- [16] 吉鹏. 百里香精油对马铃薯净菜保鲜效果的影响及活性包装的制备[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019: 2—7.  
JI Peng. Effects of Plant Essential Oil on Fresh-cut Potatoes Preservation and Preparation of Active Packaging[D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture & Forestry University, 2019: 2—7.
- [17] AMPARO L, AIMENAR A E, PILAF H M. Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications[J]. Food Reviews International, 2004, 20(4): 357—387.
- [18] 丁正, 林强, 彭少贤, 等. 完全降解聚乳酸共混增韧的研究进展[J]. 塑料, 2016, 45(2): 95—97.  
DING Zheng, LIN Qiang, PENG Shao-xian, et al. Toughening Research Progress in Completely Biodegradable Polylactide by Blending[J]. Plastics, 2016, 45(2): 95—97.
- [19] AYALA-ZAVALA JF, SOTO-VALDEZ H, GONZÁLEZ-LEÓN A, et al. J Incl Phenom Macrocycl Chem, 2008, 60: 359.
- [20] 蒋金勇, 唐海兵, 栾东磊, 等. 聚乳酸/聚丁二酸-己二酸丁二酯可降解抗氧化薄膜对鲜切西兰花的保鲜

- 效果[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 274—280.
- JIANG Jin-yong, TANG Hai-bing, LUAN Dong-lei, et al. Effect of Polylactic Acid/Poly(butylene succinate-co-adipate) Biodegradable Film Containing Different Essential Oils in Preserving Quality and Extending Shelf-life of Fresh-Cut Broccoli[J]. Food Science, 2019, 40(13): 274—280.
- [21] 许耀之, 李硕, 林肯, 等. PLA/PBSA 纳米活性包装薄膜的性能研究[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 76—81.
- XU Yao-zhi, LI Shuo, LIN Ken, et al. Properties of PLA/PBSA Active Packaging Nanofilm[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 76—81.
- [22] 沈春华, 李立, 杜云飞. PLA/PHA 活性抗菌薄膜对蓝莓低温保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2018(7): 121—126.
- SHEN Chun-hua, LI Li, DU Yun-fei. Effect of PLA/PHA Active Films on Preservation of Blueberries During Cold Storage [J]. Food & Machinery, 2018(7): 121—126.
- [23] 杨春香, 王易芬, 雷桥, 等. 聚乳酸改性树脂活性包装薄膜中活性成分的释放及在三文鱼冷藏保鲜中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3047—3052.
- YANG Chun-xiang, WANG Yi-fen, LEI Qiao, et al. Release of Active Components in Polylactic Acid-modified Resin Active Packaging Film and Its Application in Cold Storage of Salmon[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(12): 3047—3052.
- [24] CHEN Hai-jun, LI Li, MA Yi-chao, et al. Development of Active Packaging Film Containing Bioactive Components Encapsulated in  $\beta$ -cyclodextrin and Its Application[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 360—366.
- [25] 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: 22—27, 154—156.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance of Post-harvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 22—27, 154—156.
- [26] 朱麟, 凌建刚, 张平, 等. 不同保鲜膜包装对“玉露”水蜜桃保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(4): 12—15.
- ZHU Lin, LING Jian-gang, ZHANG Ping, et al. Effect of Different Film Packaging on Quality of "Yulu" Juicy Peaches during Cold Storage[J]. Storage and Process, 2011, 11(4): 12—15.
- [27] TSUJI H. Poly (lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications[M]. Wiley, 2011.
- [28] 秦晓芳, 王建清, 马修钰. GTA 改性的 PLA/PHB 复合包装膜性能研究[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 89—93.
- QIN Xiao-fang, WANG Jian-qing, MA Xiu-yu. Properties of GTA Modified PLA/PHB Composite Packaging Film[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 89—93.
- [29] LI Xiao-yu, DU Xiao-long, LIU Ying, et al. Rhubarb Extract incorporated into an Alginate-based Edible Coating for Peach Preservation[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 257: 108685.
- [30] 刘静波, 殷涌光. 塑料包装袋透气性对保鲜蔬菜颜色的影响[J]. 中国食品学报, 2003, 3(1): 48—52.
- LIU Jing-bo, YIN Yong-guang. Effect of the Gas Permeability of Plastic Packing Bag on the Fresh-preservation Vegetable Color[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2003, 3(1): 48—52.
- [31] 陆漓, 刘鸿, 梁俊, 等. 丁香精油等改性 PE 膜及其对抑菌保鲜性能的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 31—35.
- LU Li, LIU Hong, LIANG Jun, et al. PE Film Modified by Clove Essential Oil and Its Effects on Antibacterial and Preservation Performances[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 31—35.
- [32] BELÉN S, ÁNGEL L A, YOLANDA D G, et al. Phenolic Profiles, Antioxidant Activity and in Vitro Antiviral Properties of Apple Pomace[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 339—342.
- [33] 李奕星, 李芬芳, 陈娇, 等. 3 种植物精油对采后红毛丹的保鲜作用[J]. 热带作物学报, 2018, 39(1): 168—173.
- LI Yi-xing, LI Fen-fang, CHEN Jiao, et al. Preservation Effects of Three Essential Oils on Postharvest Rambutan(Nephelium lappaceum Linn) Fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(1): 168—173.
- [34] 刘影, 李晓宇, 杜小龙, 等. 不同涂膜处理对水蜜桃常温贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 1—5.
- LIU Ying, LI Xiao-yu, DU Xiao-long, et al. Effects of Different Coating Treatments on the Storage of Honey Peach[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 1—5.
- [35] 高慧, 饶景萍. 自发气调贮藏对油桃采后生理及相关酶活性变化的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 91—93.
- GAO Hui, RAO Jing-ping. Effect of MA Storage on Post-harvest Physiology and Enzymatic Activity of Nectarines[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(1): 91—93.
- [36] 姜燕, 柳佳齐, 尤婷婷. 壳聚糖-甲氧基果胶涂膜在蓝莓冷藏保鲜中的应用[J]. 食品工业, 2015(7): 151—155.
- JIANG Yan, LIU Jia-qi, YOU Ting-ting. Chitosan-cothxy Pectin Coating to Improve the Physiological Characteristics of Cold Storage Blueberry [J]. The Food Industry, 2015(7): 151—155.
- [37] PETRICCIONE M, De SANCTIS F, PASQUARIELLO M S, et al. The Effect of Chitosan Coating on the Quality and Nutraceutical Traits of Sweet Cherry during Postharvest Life[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(2): 394—408.
- [38] 韩斯, 孟宪军, 汪艳群, 等. 氯化钙处理对速冻蓝莓

- 冻藏期品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 310—314.
- HAN Si, MENG Xian-jun, WANG Yan-qun, et al. Effect of Calcium Chloride Treatment on Quality of Quick Frozen Blueberry during Frozen Storage[J]. Food Science, 2014, 35(22): 310—314.
- [39] 何仁, 李军生, 程谦伟. 芥菜、苦苣菜的活体蔬菜保鲜研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(10): 2452—2455.
- HE Ren, LI Jun-sheng, CHENG Qian-wei. Preservation of Brassica juncea and Ixeris Dentate in Vitro[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(10): 2452—2455.
- [40] 李春海, 郭风军, 张长峰, 等. 蓄冷式保温集装箱在蔬菜流通中的保鲜效果研究[J]. 中国果菜, 2019, 39(3): 1—6.
- LI Chun-hai, GUO Feng-jun, ZHANG Chang-feng, et al. Study on Preservation Effect of Cold Storage Thermal Container on Vegetable Circulation[J]. China Fruit & Vegetable, 2019, 39(3): 1—6.
- [41] 张方明, 胡红艳. 涂膜处理对桃形李保鲜的影响[J]. 包装工程, 2010, 31(17): 84—86.
- ZHANG Fang-ming, HU Hong-yan. Impact of Surface Coating on Fresh Keeping of Nane Fruit[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(17): 84—86.
- [42] 崔志宽, 李阳, 李建龙, 等. 不同组合保鲜剂对水蜜桃的保鲜效果[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(12): 270—273.
- CUI Zhi-kuan, LI Yang, LI Jian-long, et al. Effect of Different Preservatives on the Fresh-keeping of Peach[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(12): 270—273.
- [43] 贺军民. GA<sub>3</sub>和钙处理对草莓采后硬度变化、细胞膜透性及丙二醛含量的影响[J]. 陕西农业科学, 1998(3): 27—28.
- HE Jun-min. Effects of GA<sub>3</sub> and Calcium Treatment on Postharvest Hardness, Membrane Permeability and Malondialdehyde Content in Strawberry[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 1998(3): 27—28.
- [44] 张倩, 王建清, 王玉峰, 等. 新型复合保鲜纸对油桃保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2017(10): 117—121.
- ZHANG Qian, WANG Jian-qing, WANG Yu-feng, et al. Effects of Composite Preservative Paper on Fresh-keeping of Nectarine Fruits[J]. Northern Horticulture, 2017(10): 117—121.