水杨酸/LDPE 薄膜的制备及其对香蕉品质的影响

刘博强，郝义，胡文清，卢亚男，李立
（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）

摘要：目的 研究添加不同浓度水杨酸（Salicylic Acid, SA）的低密度聚乙烯（Low-Density Polyethylene, LDPE）薄膜的基本性能的变化，及对香蕉保鲜效果的影响。**方法** 通过将不同质量分数的 SA、抗氧化剂 245 和 LDPE 共混挤出，采用流延工艺制备 SA–LDPE 薄膜。以空白 LDPE 薄膜为对照，在（16±1）℃保鲜条件下对香蕉进行保鲜实验，通过测定和分析香蕉的质量损失率、硬度、色差、糖度、气体成分等指标，研究 SA–LDPE 薄膜对香蕉品质的影响。**结果** 添加了 SA 的 LDPE 薄膜力学性能降低，气体阻隔性能上升，延缓了香蕉硬度的下降和色差值的上升。**结论** 添加 SA 改善了薄膜的阻隔性能，SA–LDPE 薄膜可有效抑制香蕉呼吸作用，延缓香蕉软化过程，抑制香蕉褐变，有助于保持香蕉的生理特征和感官品质。

关键词：水杨酸；低密度聚乙烯；薄膜；香蕉；保鲜
中图分类号：TS255.3；TS206.4 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2023)05-0075-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.05.010

Preparation of Salicylic Acid/LDPE Film and Its Effect on Banana Quality

LIU Bo-qiang, *HAO Yi*, *HU Wen-qing*, *LU Ya-nan*, *LI Li*
(a. College of Food Sciences and Technology b. Engineering Research Center of Food Thermal-Processing Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to study the changes in the basic properties of low-density polyethylene (LDPE) films with different concentrations of salicylic acid (SA) and its effects on the preservation of bananas. The blend of the different proportions of SA antioxidant 245 and LDPE were used to prepare SA-LDPE films by blending extrusion and flow casting process. With blank LDPE films as the control, the preservation of bananas was tested at (16±1) ℃, and the effects of SA-LDPE films on the quality of bananas were investigated by measuring and analyzing the weight loss rate, hardness, color difference, brix, gas composition and other indexes of bananas. The mechanical property of LDPE films with the addition of SA decreased, the gas barrier properties increased, the hardness decreased and the color difference value increased. The addition of SA improves the barrier properties of the films. The SA-LDPE films could effectively inhibit the respiration of bananas, delay the softening process of bananas, inhibit the browning of bananas, and help maintain the physiological characteristics and sensory quality of bananas.

KEY WORDS: salicylic acid; LDPE; film; banana; preservation

香蕉（*Musa spp.*）属芭蕉科（Musaceae），芭蕉属植物，主要产于热带地区，其果实香甜可口，富含大量的微量元素和维生素，深受广大消费者青睐[1-2]。香蕉是常见的呼吸跃变型水果，在生长和贮藏过程中会不断释放乙烯，出现呼吸高峰，随之果皮由青转黄，果肉绵软，并且出现衰老软化，黑色斑点等问题，影

收稿日期：2022–10–21
基金项目：上海市地方能力建设专项项目（19050502000）
作者简介：刘博强（1998—），男，硕士生，主攻食品加工与贮藏。
通信作者：李立（1977—），男，博士，教授，主要研究方向为食品加工与贮藏。

响了香蕉的质地、外观、香气和味道[3-6]。

水杨酸（Salicylic Acid, SA）是一种常见的天然小分子植物内源激素，与植物生长发育、成熟、衰老、呼吸等生理调控息息相关，同时在抗逆和抗病相关代谢过程中起到信号分子的作用[7-8]，SA 因其天然低毒，对人体无害等特性，已广泛应用在医药领域。此外，SA 在果蔬保鲜领域也有相关研究，且被证实对香蕉、草莓、苹果、枸杞、猕猴桃等表现出良好的保鲜效果，具体表现为果实呼吸速率明显下降，果实后熟延缓，并且果实腐烂率显著降低，货架期延长[9-13]。

低密度聚乙烯（Low-Density Polyethylene, LDPE）是无毒无臭外观呈现乳白色的颗粒或粉末。LDPE 是一种线性饱和的碳氢化合物，相对分子质量一般在 2 万以上，其阻湿性能较好，化学性能稳定，熔点较高且耐低温性能好，绝缘性能优良，常用于果蔬贮藏、运输、保鲜过程中[14]。

文中通过共混流延工艺制备 SA–LDPE 薄膜，探究添加不同质量分数的 SA 对薄膜阻气阻湿性能的影响，并进一步用于香蕉的保鲜包装。通过评价保鲜指标的变化，分析 SA–LDPE 薄膜对香蕉品质的影响，并对其保鲜机理做出了初步探索，以期为香蕉保鲜提供理论依据和技术支持。

1 实验

1.1 材料

主要材料：LDPE，中国石化有限公司；SA，国药控股股份有限公司；抗氧化剂 245，德国巴斯夫化工有限公司；香蕉，采购于上海市浦东新区水果生鲜批发市场。

主要仪器：XSS–300 转矩流变仪，上海科创橡胶塑机械设备有限公司；G2–32 压差法气体渗透测试仪，济南兰光机电技术有限公司；PERMATRAN–W MODEL 1/50 水蒸气透过系数测试仪，美国 MOCON 公司；GY–4 型果实硬度计，上海仪电科学仪器股份有限公司；CR–400 美能达色差仪，青岛科睿德仪器有限公司；LH–T 32 手持式糖度测定仪，上海浦春仪器有限公司；CheckMate 9900 顶空气体分析仪，青岛路博建业环保科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 SA－LDPE 薄膜的制备

将质量分数为 0.5%、1%、2%的 SA 分别加入到 LDPE 树脂颗粒中，再加入质量分数为 0.1%抗氧化剂 245，充分混匀后，利用转矩流变仪实现对 SA–LDPE 薄膜的制备。转矩流变仪从一区到七区温度参数为 175、180、185、185、180、180、175 ℃，螺杆转速为 60 r/min。经转矩流变仪制备得到 4 种薄膜，即 A 组为 LDPE、B 组为 0.5%SA–LDPE、C 组为 1%SA–LDPE、D 组为 2%SA–LDPE。薄膜的配方参数见表 1。

表 1 SA–LDPE 薄膜配方
Tab.1 Formula of SA-LDPE films

组别	SA 质量分数/%	LDPE 质量分数/%	抗氧化剂 245 质量分数/%
A	0	99.9	0.1
B	0.5	99.4	0.1
C	1	98.9	0.1
D	2	97.9	0.1

1.2.2 性能测试

1.2.2.1 力学性能

参考 GB/T 1040.3—2006[15]，利用拉伸试验机对薄膜的力学性能进行测定。

1.2.2.2 水蒸气透过性能

利用水蒸气透过率测试仪测定薄膜的水蒸气透过性能，相对湿度设为 100%，温度为 37.8 ℃，测定 3 次，取平均值。

1.2.2.3 氧气透过性能

参考 GB/T 1038—2000[16]，利用气体渗透仪对薄膜透氧性能进行测定，实验温度设为 23 ℃，样品为 ϕ97 mm 圆形样片，测定 3 次，取平均值。

1.2.3 样品制备

所有水果都用去离子水清洗果皮表面残留的化学物质，并用厨房纸擦干。果实没有任何疾病或缺陷的视觉症状，大小均匀、形状和成熟度一致，质量为 250~350 g。将 250 根香蕉随机分成 4 组，装入袋中（尺寸为 27 cm× 40 cm，厚度为 40 μm±3 μm），每袋放入 2 根香蕉，每组设置 3 个平行样品，在 16 ℃环境下贮藏 9 d，在第 0、1、3、5、7、9 天取样进行测试。裸露组、空白组、0.5%SA 组、1%SA 组、2%SA 组分别记为 CK、A、B、C、D。

1.2.4 保鲜实验

1.2.4.1 气体成分测定

参考郝文静等[17]的方法，对气体组成进行测定，每隔 2 d 取包装袋，利用 CheckMate 9900 顶空气体分析仪测量内部气体组成，每组样品测量 3 次，取平均值。

1.2.4.2 质量损失率测定

参考香蕉的质量损失率测定方法[18]，在低温储存期间，每 2 d 测定香蕉质量，测量 3 次，取平均值，单位为 g。

质量损失率使用以下公式计算：

$$W=\frac{m_1-m_2}{m_1}\times 100\% \tag{1}$$

式中：W 为香蕉的质量损失率，%；m_1 为香蕉贮藏前的质量，g；m_2 为香蕉贮藏后的质量，g。

1.2.4.3　硬度测定

采用果实硬度计测定香蕉的硬度变化。每组随机抽取 3 根香蕉，在 3 个不同位置进行测量，测定其果肉硬度，每组样品测量 3 次，取平均值。

1.2.4.4　糖度测定

香蕉的糖度变化通过手持式糖度测定仪进行测定。每隔 2 d 取香蕉果肉，每组随机抽取 3 根香蕉，测量糖度，每组香蕉测量 3 次，取平均值。

1.2.4.5　色差测定

参考赵松松等[19]的方法，对香蕉果皮的色差进行测定，每组测量 3 次，根据式（2）计算色差值。

$$\Delta E=\sqrt{\left(L-L_{\text{int}}\right)^2+\left(a-a_{\text{int}}\right)^2+\left(b-b_{\text{int}}\right)^2} \tag{2}$$

式中：ΔE 为亮度差值；L 为亮度值；a 为红绿亮度值；b 为黄蓝亮度值；角标 int 表示标准色差参照值。

1.2.4.6　感官评定

参考张晓虎等[20]的方法，对香蕉的感官进行评定，每隔 2 d 取香蕉，根据表 2 感官评价标准对香蕉打分。评分低于 60，失去商业价值，低于 40 分，不可食用。

表 2　香蕉感官评价标准
Tab.2 Sensory evaluation criteria for bananas

分值	评分依据
81 ~ 100	果肉口感好，表皮色泽呈亮黄色，无机械损伤，无棱角，无褐变
61 ~ 80	表皮呈深黄色，出现了微小针状褐色斑点果肉口感较好，无机械损伤
41 ~ 60	表皮出现芝麻大小褐色斑点，果肉口感软
21 ~ 40	表皮局部出现大面积褐色斑点，褐黄色，果肉轻微机械损伤
1 ~ 20	表皮出现大面积褐变，果肉偏软，有难闻气味
0	表皮出现大面积褐变，果肉严重腐烂，有刺激性气味，不能食用

1.2.5　统计分析

采用 SPSS 26.0 软件分析数据，结果表示为平均值±标准差。采用单因素方差 Duncan 法检验，P <0.05 表示差异显著，使用 Origin 2019 软件绘图。

2　结果与分析

2.1　薄膜的基本性能

由表 3 可以看出，制备的 4 种薄膜的厚度基本相同，控制在 40 μm 左右，4 种薄膜的纵向抗拉强度略大于横向拉伸强度。随着 SA 的加入，SA–LDPE 薄膜的拉伸强度降低，且随着添加 SA 比例的增加，拉伸强度下降也越大，这可能是随着 SA 含量的增加，分散效果不好，容易发生团聚现象，导致应力集中加剧，力学性能有所降低。B、C、D 3 组薄膜的断裂伸长率相较于 A 组薄膜的明显降低，表明 SA 粉末的加入也降低了薄膜抵抗变形的能力。

薄膜的氧气透过率如表 4 所示。LDPE 薄膜的氧气透过率最高，随着 SA 粉末的加入，薄膜的氧气透过率均有所下降，且随着 SA 添加比例的增加，薄膜的氧气透过率逐渐下降。B、C、D 3 组薄膜的氧气透过率较 A 组薄膜的分别下降了 1.47%、3.37%、5.72%。这可能是 SA 粉末的加入，在树脂基材表面形成一层结晶层，导致树脂基质和 SA 孔隙变小，有利于抑制氧气在薄膜基质的流通，从而导致薄膜的气体透过性能降低。

薄膜的水蒸气透过率如表 4 所示。SA 的加入使 LDPE 薄膜的水蒸气透过率略有下降。添加 SA 组的 B、C、D 组薄膜的水蒸气透过率值分别为 15.62、14.61、12.59 g/(m·Pa·s)，随着 SA 加入比例的增加，薄膜的水蒸气透过率逐渐下降，阻隔性能增强。这可能是由于 SA 中含有的主体苯环基团是疏水基团，使附着在薄膜内侧的水蒸气难以透过薄膜。

表 3　不同种类的 SA–LDPE 薄膜力学性能
Tab.3 Mechanical properties of different types of SA-LDPE films

组别	厚度/μm	抗拉强度/MPa		断裂伸长率/%	
		横向	纵向	横向	纵向
A	$40±0.79^a$	$13.47±0.85^a$	$24.98±2.08^a$	$550.7±29.4^a$	$680.55±56.65^a$
B	$38±1.34^a$	$12.54±0.88^a$	$23.23±1.41^b$	$522.0±9.20^a$	$595.3±37.1^b$
C	$39±1.86^a$	$11.98±1.36^a$	$22.05±1.03^b$	$496.4±25.8^b$	$579.9±22.7^b$
D	$37±1.56^a$	$9.15±1.57^b$	$19.33±0.16^c$	$427.2±0.70^c$	$555.75±37.75^b$

注：同列之间的不同上标字母（a—c）表示显著差异（P < 0.05）。

表 4　不同种类的 SA–LDPE 薄膜的氧气透过率和水蒸气透过率

Tab.4 Oxygen transmission rate and water vapor transmission rate of different types of SA-LDPE films

组别	氧气透过率/ $[cm^3\cdot(m^2\cdot 24\ h\cdot 0.1\ MPa)^{-1}]$	水蒸气透过率/ $[g\cdot(m\cdot Pa\cdot s)^{-1}]$
A	2728.75 ± 2.78^a	17.63 ± 1.127^a
B	2688.75 ± 4.98^a	15.62 ± 1.306^b
C	2636..13±3.52^a	14.61 ± 1.607^b
D	2572.43 ± 2.36^a	12.59 ± 1.312^c

注：同列之间的不同上标字母（a—c）表示显著差异（$P<0.05$）。

2.2　薄膜对香蕉呼吸速率的影响

SA–LDPE 包装袋中香蕉的呼吸作用变化见图 1，可以看出，图 1a 包装袋中 CO_2 的体积分数持续增加，图 1b 包装袋中 O_2 的体积分数持续降低，且都逐渐趋于稳定。结果表明，实验初期，包装袋内 O_2 充足，香蕉呼吸速率较快，随着时间推移，CO_2 体积分数逐渐增加，O_2 体积分数逐渐下降，香蕉的呼吸作用受到抑制，呼吸速率逐渐下降。O_2 体积分数的降低和 CO_2 体积分数的增加是限制呼吸作用的主要因素之一，同时 O_2 体积分数仍保持较高水平，香蕉无氧呼吸受到抑制，导致香蕉整体的呼吸速率维持在较低的水平。图 1 中 A 组 O_2 体积分数的消耗速率相较于其他组 O_2 体积分数的消耗速率稍大，而 CO_2 生成速率没有明显差异，且随着 SA 在包装膜中占比增大，氧气消耗速率呈现下降趋势。第 5 天，D 组的氧气体积分数显著高于其余 3 组的，具有显著性差异（$P<0.05$），表明 SA–LDPE 能有效抑制香蕉的呼吸作用，同时随着 SA 在包装膜中占比增大，保鲜膜对香蕉呼吸作用的抑制效果越明显。研究表明[21]，薄膜的透气性太小或太大都不利于水果的贮藏，透过性适宜的包装材料可调节包装内环境 O_2 和 CO_2 体积分数，达到低 O_2、高 CO_2 的状态，可以有效抑制果蔬呼吸作用，减缓衰老变质，从而达到保鲜目的。CO_2 体积分数过高、O_2 体积分数过低使果蔬呼吸作用由无氧呼吸占主导，导致有毒物质积累，从而对果蔬造成伤害，气体阻隔性适宜的包装袋，塑料包装内外环境发生一定程度的气体交换，使包装袋内环境 O_2 和 CO_2 体积分数达到适合果蔬保鲜所需要的最佳体积分数。SA–LDPE 薄膜对香蕉呼吸作用的抑制效果优于 LDPE 薄膜对香蕉呼吸作用的抑制效果，有更好的保持香蕉品质的作用。

2.3　薄膜对香蕉质量损失率的影响

香蕉质量损失率指贮藏过程中损失的质量和初始质量的比值，其数值大小与营养成分氧化流失有关，是体现香蕉腐烂程度的关键指标[22]。由图 2 可以看出，贮藏期间，香蕉的质量损失率逐渐增加，其中 CK 组的质量损失率显著高于其他组的（$P<0.05$）。CK

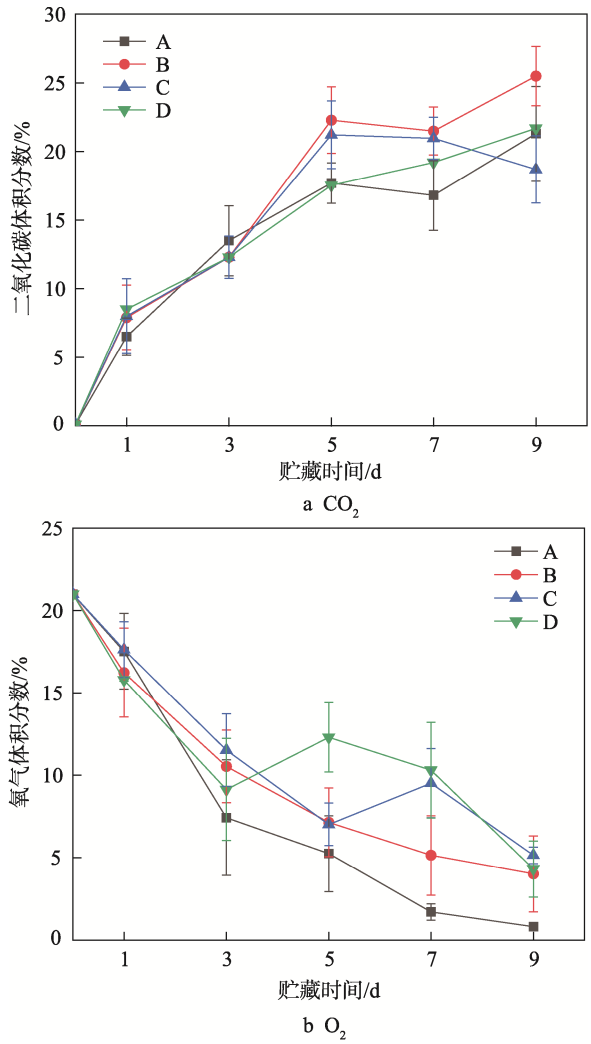

图 1　不同种类的 SA–LDPE 薄膜中香蕉呼吸作用的变化

Fig.1 Changes in respiration of bananas in different types of SA-LDPE films

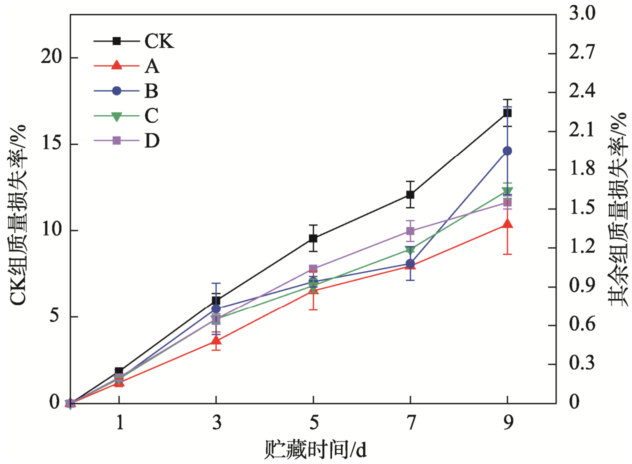

图 2　不同种类的 SA–LDPE 薄膜对香蕉质量损失率的影响

Fig.2 Effects of different kinds of SA-LDPE films on the weight loss rate of bananas

组质量损失率在第 9 天最高，为 16.82%，显著大于其余 LDPE 薄膜组的，而 A 组的质量损失率略低于 B、C、D 组的，特别是在第 3 天和第 9 天，A 组质量损失率分别为 0.48% 和 1.38%，其余组均在 0.65%~0.73%和 1.55%~1.95%，这可能是因为随着 SA 在薄膜中占比增大，水蒸气透过率下降，包装袋积累了少量水汽，抑制香蕉有氧呼吸，同时 SA 可有效抑制呼吸强度，延缓了香蕉的质量损失。

2.4　薄膜对香蕉硬度的影响

硬度反映了香蕉贮藏过程中的软化程度，是评价香蕉品质较为直观的指标之一[23]。从图 3 可以看出，贮藏期间，香蕉的硬度逐渐下降，其中 CK 组下降最快，其主要原因是香蕉的后熟、呼吸及蒸腾作用使香蕉软化。D 组相较于 A、B、C 组香蕉果实软化得更慢，且在第 7 天达到最低点。在贮藏第 7 天和第 9 天时，D 组和其余组之间呈显著性差异（$P<0.05$）。第 7 天，CK 组香蕉的硬度下降了 89.51%，A 组香蕉的硬度下降了 82.12%，B 组香蕉的硬度下降了 83.31%，C 组香蕉的硬度下降了 83.67%，D 组香蕉的硬度下降了 70.54%。在第 7 天和第 9 天，A、B、C 3 组的硬度相较于 D 组的分别下降 39.47%和 47.86%，47.37%和 57.95%，44.74%和 62.5%，结果表明，D 组薄膜可有效延缓香蕉软化。

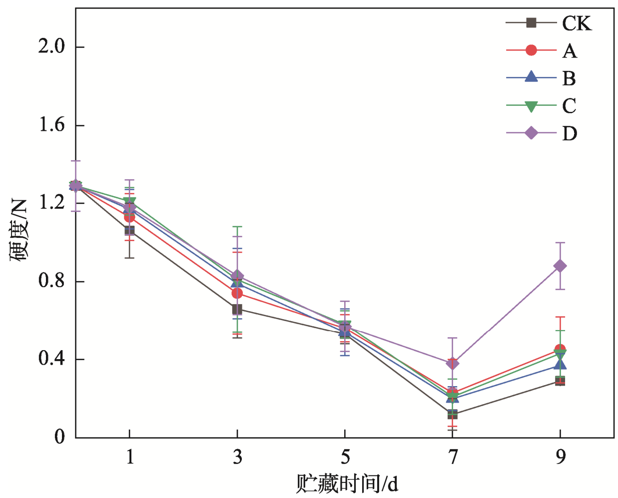

图 3　不同种类的 SA–LDPE 薄膜对香蕉硬度的影响
Fig.3 Effects of different kinds of SA-LDPE films on the hardness of bananas

2.5　薄膜对香蕉糖度的影响

从图 4 可以看出，贮藏期间，香蕉糖度含量呈上升趋势，且 CK 明显高于其余 4 组，其主要原因是香蕉的后熟导致大量淀粉转化为可溶性糖，因此，糖度含量常被看作香蕉后熟程度的指标之一[24]。贮藏过程中，各处理组之间糖度含量差异不显著（$P>0.05$）。第 7 天和第 9 天，C 组糖度含量分别为 22.6%和 23.6%，略低于 A、B、D 组包装内的香蕉糖度含量（23.3%~23.5%和 24.6%~25.1%），4 种薄膜保鲜香蕉后其糖度含量变化趋势区分不明显，说明 4 种薄膜对香蕉糖度含量影响不大。

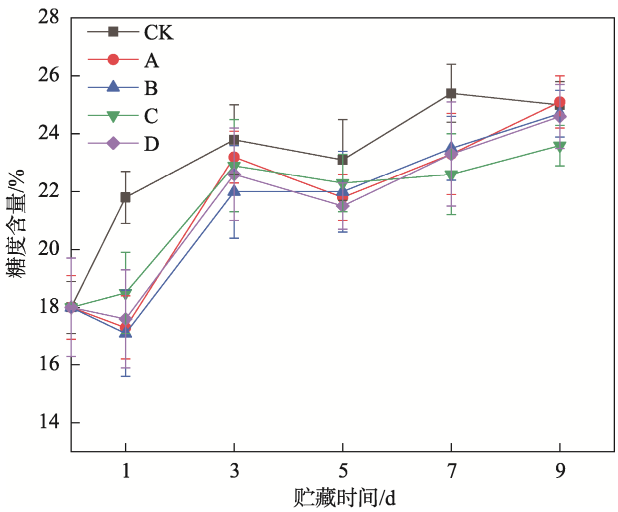

图 4　不同种类的 SA–LDPE 薄膜对香蕉糖度的影响
Fig.4 Effects of different kinds of SA-LDPE films on the brix of bananas

2.6　薄膜对香蕉色差的影响

香蕉的色差是评估香蕉的一个重要指标，也是香蕉在销售过程中消费者比较关注的问题[25]。由图 5 可知，随着贮藏时间延长，各组色差值逐渐增大，其中 D 组变化最小，CK 组色差值上升速率最快，且从第 7 天开始，与处理组相比，产生显著差异（$P<0.05$）。

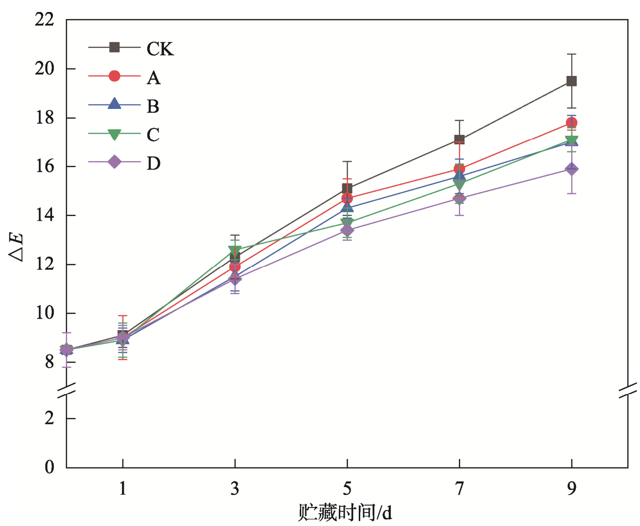

图 5　不同种类的 SA–LDPE 薄膜对香蕉色差的影响
Fig.5 Effects of different kinds of SA-LDPE films on the color difference of bananas

整个贮藏期间，D 组香蕉果皮感官最佳，其原因可能是香蕉颜色与内部物质氧化褐变有关[26]。随着 SA 在薄膜中占比增加，其 O_2 透过率少量上升，水蒸气透过率轻微下降，导致香蕉整体呼吸速率下降，氧化褐变延缓，同时 SA 是天然植物内源激素，可能参与调控植物呼吸过程和乙烯合成过程[26]，导致香蕉内部营养物质氧化减缓，果皮颜色保存效果更佳。

2.7 香蕉的感官评定

香蕉的感官评价是通过人的感觉器官（包括味觉、嗅觉和视觉）对果实进行综合考量的指标，可作为影响其商业价值最为直观的因素[27]。通过图 6 可以看出，香蕉的感官评价值随着贮藏时间的推移不断降低，结合表 2 感官评分标准，3 d 后，CK 组已失去商业价值，且后续急剧褐变，第 5 天失去食用价值，而其余组褐变较缓，A 组第 7 天失去商业价值，第 9 天无法食用，而 C 和 D 组均贮藏至第 9 天仍保有商业价值，B、C、D 3 组的色泽、香味、口感、褐变程度均优于 A 组的，且 D 组贮藏效果最优。结合图 7 可知，CK 组第 3 天出现局部褐变，失去商业价值，第 5 天出现大面积褐变，无法食用，而 A 组第 7 天出现局部褐变，第 9 天出现大批褐变，与图 6 结论相符，这说明添加了 SA 的 LDPE 薄膜能有效维持香蕉贮藏过程中的感官品质。

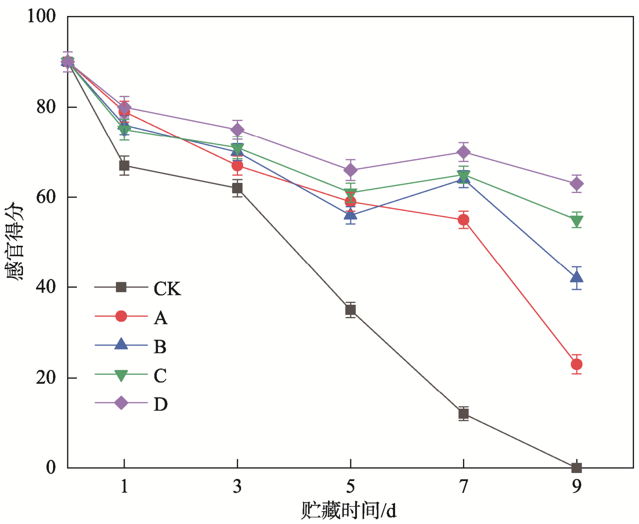

图 6 不同种类的 SA–LDPE 薄膜对香蕉感官评价的影响
Fig.6 Effects of different types of SA-LDPE films on the sensory evaluation of bananas

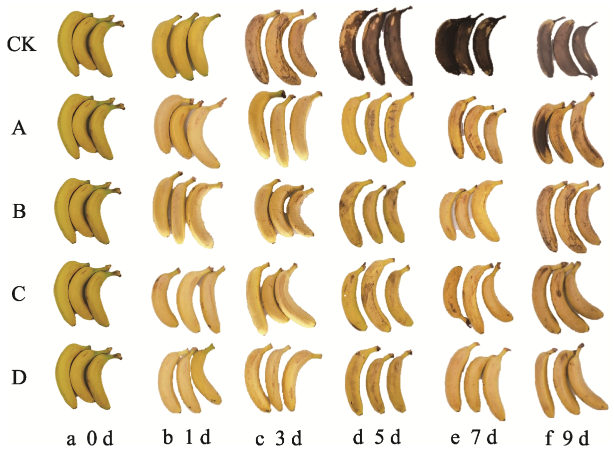

图 7 香蕉贮藏期间形貌变化
Fig.7 Morphological changes of bananas during storage

3 结语

通过向 LDPE 中添加不同质量分数的 SA 制备薄膜，并在 16 ℃下对香蕉进行保鲜，贮藏期间，对香蕉各项指标分析可知，SA–LDPE 薄膜对香蕉具有一定的保鲜效果，在 SA–LDPE 薄膜调控下能够有效抑制香蕉水分损失，提高香蕉感官品质、表皮硬度和光泽度，延缓香蕉的褐变和软化，从而保证了其商业价值。SA 通过熔融方式分散在薄膜中，改善了薄膜透气性和透湿性，并且增加了 SA 与果实接触面积，从而有效抑制了香蕉的呼吸作用，提高其抗逆性，降低内部营养物质的氧化速率，能很好地应用于食品保鲜中。结果表明，在（16±1）℃时，含质量分数为 2% SA 的 LDPE 薄膜对新鲜香蕉具有最佳的保鲜效果，极大程度地维持了香蕉的硬度，提高了香蕉的贮藏质量，降低了其营养价值的损失，可延长其货架期 6 d。

参考文献：

[1] BRAT P, BUGAUD C, GUILLERMET C et al. Review of Banana Green Life Throughout the Food Chain: From Auto-Catalytic Induction to the Optimisation of Shipping and Storage Conditions[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 262: 109054-109054.

[2] LA D D, NGUYEN T P, LE K H, et al. Effects of Antibacterial ZnO Nanoparticles on the Performance of a Chitosan/Gum Arabic Edible Coating for Post-Harvest Banana Preservation[J]. Progress in Organic Coatings, 2021, 151: 106057.

[3] MEHDI M, ASGAR A, SENTHIL R, et al. Control of Postharvest Anthracnose of Banana Using a New Edible Composite Coating[J]. Crop Protection, 2010, 29(10): 1136-1141.

[4] GANESAN S, RAMAN T, SWAMINATHAN U R. Evaluation of Plant Oils for Suppression of Crown Rot Disease and Improvement of Shelf Life of Banana (Musa spp. AAA subgroup, cv. Robusta)[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(5): 1024-1032.

[5] 邹冬梅，李敏，高兆银，等. 香蕉采收及贮运保鲜技术[J]. 农村新技术, 2020(8): 58-59.
ZOU Dong-mei, LI Min, GAO Zhao-yin, et al. Banana Harvesting, Storage and Transportation Preservation

Technology[J]. New Rural Technology, 2020(8): 58-59.

[6] 蓝嫄嫄，韦蕾，杜良伟，等. 海藻酸钠—银纳米粒子涂膜保鲜香蕉研究[J]. 南方农业学报，2020，51(7): 1584-1590.

LAN Yuan-yuan, WEI Lei, DU Liang-wei, et al. Preservation Effect of Sodium Alginate-Silver Nanoparticles Composite Coating on Banana[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020, 51(7): 1584-1590.

[7] 任俊洁，赵喜亭. 水杨酸类物质在果实贮藏保鲜上的研究进展[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(1): 125-128.

REN Jun-jie, ZHAO Xi-ting. Research Progress of Fruit Storage with Salicylic Acids[J]. Storage and Process, 2018, 18(1): 125-128.

[8] 徐聪. 水杨酸对果蔬采后贮藏保鲜和系统获得性抗性的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 450-453.

XU Cong. Effect of Salicylic Acid on Fresh Storage and Systemic Acquired Resistance of Postharvest Fruits and Vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 450-453.

[9] SRIVASTAVA M, DWIVEDI U. Delayed Ripening of Banana Fruit by Salicylic Acid[J]. Plant Science: an International Journal of Experimental Plant Biology, 2000, 158(1-2): 87-96.

[10] GACNIK S, VEBERIC R, MARINOVIC S et al. Effect of Pre-Harvest Treatments with Salicylic and Methyl Salicylic Acid on the Chemical Profile and Activity of Some Phenylpropanoid Pathway Related Enzymes in Apple Leaves[J]. Scientia Horticulturae, 2021, 277: 109794.

[11] ZHANG Yun-ting, LI Shan-lin, DENG Mei-yi, et al. Blue Light Combined with Salicylic Acid Treatment Maintained the Postharvest Quality of Strawberry Fruit during Refrigerated Storage[J]. Food Chemistry: X, 2022, 15: 100384.

[12] YU Z, CHEN K S, ZHANG S L et al. The Role of Salicylic Acid in Postharvest Ripening of Kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(1): 67-74.

[13] 李晓莺，张曦燕，闫亚美，等. 不同浓度水杨酸处理对枸杞鲜果采后生理及贮藏保鲜效果的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(2): 207-209.

LI Xiao-ying, ZHANG Xi-yan, YAN Ya-mei, et al. Effects of Different Concentrations of Salicylic Acid on Postharvest Physiology and Storage and Preservation of Fresh Lycium Barbarum Fruit[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(2): 207-209.

[14] 云雪艳，陈文锦，许兵，等. PE/PBAT 共混薄膜的性能及对迷你黄瓜的保鲜效果[J]. 包装工程，2022，43(3): 69-77.

YUN Xue-yan, CHEN Wen-jin, XU Bing, et al. Properties of PE/PBAT Film and Its Effect on Preservation of Mini Cucumber[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(3): 69-77.

[15] GB/T 1040.3—2006, 塑料拉伸性能的测定 第 3 部分：薄膜和薄片的试验条件[S].

GB/T 1040.3—2006, Determination of Tensile Properties of Plastics Part 3: Test Conditions for Films and Sheets[S].

[16] GB/T 1038—2000, 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法[S].

GB/T 1038—2000, Gas Permeability Test Method for Plastic Films and Sheets Differential Pressure Method[S].

[17] 郝文静，周伟芳. 采用顶空气体分析方法对比蛋糕气调包装和脱氧包装的脱氧效果[J].中国包装，2013，33(7): 47-49.

HAO Wen-jing, ZHOU Wei-fang. The Top Air Analysis Method was Used to Compare the Deoxidation Effects of Modified Atmosphere Packaging and Deoxidation Packaging for Cakes[J]. China Packaging, 2013, 33(7): 47-49.

[18] KIM J, CHOI J Y, KIM J et al. Effect of Edible Coating with Morus Alba Root Extract and Carboxymethyl Cellulose for Enhancing the Quality and Preventing the Browning of Banana (Musa acuminata Cavendish) During Storage[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2022, 31: 100809.

[19] 赵松松，韩馨仪，刘斌，等. 交变磁场抑制香蕉冷害的作用机理分析[J]. 江苏农业学报，2021，37(3): 739-745.

ZHAO Song-song, HAN Xin-yi, LIU Bin, et al. Mechanism Analysis on the Action of Alternating Magnetic Field in Inhibiting Chilling Injury of Bananas[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(3): 739-745.

[20] 张晓虎，白芳芳，魏夏夏，等. 黄芩苷-Nisin 复合保鲜液制备及在香蕉保鲜中的应用[J]. 陕西农业科学，2020, 66(3): 20-27.

ZHANG Xiao-hu, BAI Fang-fang, WEI Xia-xia, et al. Preparation of Baicalin -Nisin Compound Preservative and Its Application in Banana Preservation[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(3): 20-27.

[21] PERUMAL A B, HUANG Ling-xia, NAMBIAR R B, et al. Application of Essential Oils in Packaging Films for the Preservation of Fruits and Vegetables: A Review[J]. Food Chemistry, 2022, 375: 131810.

[22] CHEN J, LI Y X, LI F F et al. Effects of Procyanidin

Treatment on the Ripening and Softening of Banana Fruit During Storage[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 292: 110644.

[23] 杨菊, 程谦伟, 孟陆丽, 等. 外源抗坏血酸对香蕉保鲜和抗氧化代谢的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(15): 146-151.
YANG Ju, CHENG Qian-wei, MENG Lu-li, et al. Effects of Exogenous Ascorbic Acid on the Storage Quality and Antioxidant Metabolism of Bananas[J]. Food Research and Development, 2022, 43(15): 146-151.

[24] CÖMERT E D, MOGOL B A, GÖKMEN V. Relationship between Color and Antioxidant Capacity of Fruits and Vegetables[J]. Current Research in Food Science, 2020, 2: 1-10.

[25] ORANG K, MEYSAM A, FARHANG R. Effects of Salicylic Acid and Ultrasound Treatments on Chilling Injury Control and Quality Preservation in Banana Fruit During Cold Storage[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 249: 334-339.

[26] 刘俊围. 香蕉冷冻和贮藏过程中品质变化规律及控制研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015.
LIU Jun-wei. Study on Quality Change Law and Control of Banana During Freezing and Storage[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2015.

[27] 陈丽花, 郝德兰, 夏彬, 等. 香蕉催熟过程中生理生化指标变化分析及其品质评价模型的建立[J]. 现代食品科技, 2018, 34(10): 147-155.
CHEN Li-hua, HAO De-lan, XIA Bin, et al. Analysis of Changes of Physiological and Biochemical Parameters in Banana Ripening Process and Establishment of Banana Quality Evaluation Model[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(10): 147-155.

责任编辑：曾钰婵