

朱雁青, 胡花丽, 胡博然, 等. 薄膜包装对石榴采后生理及营养物质含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5):1154-1160.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.05.033

## 薄膜包装对石榴采后生理及营养物质含量的影响

朱雁青<sup>1,2</sup>, 胡花丽<sup>2</sup>, 胡博然<sup>1</sup>, 李鹏霞<sup>2</sup>, 赵江涛<sup>2</sup>, 王贵禧<sup>3</sup>, 梁丽松<sup>3</sup>

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127; 2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 3. 中国林业科学院, 北京 100061)

**摘要:** 为研究不同薄膜包装对采后石榴生理和营养物质含量的影响, 测定了2种不同规格薄膜包装(32.70 μm 聚乙烯袋、15.55 μm 聚乙烯袋, 以12.75 μm 打孔聚乙烯袋作为对照)处理后石榴在(5±1)℃低温贮藏过程中品质及相关酶活性的变化。结果表明, 2种薄膜包装处理均可延缓石榴采后可溶性固形物(TSS)的减少和糖酸比的增加。其中, 32.70 μm 聚乙烯袋可显著维持较高的维生素C和总酚含量, 且可维持较高的超氧化物歧化酶(SOD)活性, 但对过氧化物酶(POD)活性的影响不明显。总之, 32.70 μm 聚乙烯袋包装处理总体效果优于15.55 μm 聚乙烯袋。

**关键词:** 薄膜包装; 石榴; 贮藏; 生理; 营养物质

**中图分类号:** S665.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)05-1154-07

## Effect of film packing on postharvest physiology and nutrient content of pomegranate

ZHU Yan-qing<sup>1,2</sup>, HU Hua-li<sup>2</sup>, HU Bo-ran<sup>1</sup>, LI Peng-xia<sup>2</sup>, ZHAO Jiang-tao<sup>2</sup>, WANG Gui-xi<sup>3</sup>, LIANG Li-song<sup>3</sup>

(1. School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100061, China)

**Abstract:** To investigate the influence of film packing on postharvest physiology and nutrient content of pomegranate, the quality and related enzyme activities of pomegranates packed with films of two thicknesses (32.70-μm polyethylene bag and 15.55-μm polyethylene bag, with 12.75-μm punched polyethylene bag as control) stored at (5±1) °C were determined. Two films could delay the increases of sugar/acid ratio and the decrease of soluble solid of postharvest pomegranate in comparison to CK. Pomegranate packed in 32.7 μm polyethylene bag maintained high vitamin C and total phenol content and high SOD activity. To conclude, 32.7-μm polyethylene bag outperformed 15.55 μm polyethylene bag in keeping the high quality of postharvested pomegranate.

**Key words:** film packing; pomegranate; storage; physiology; nutrient

收稿日期: 2015-03-20

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201204402-1)

作者简介: 朱雁青(1989-), 女, 广东湛江人, 硕士研究生, 主要从事农产品加工与贮藏研究。(E-mail)15705279669@163.com

通讯作者: 赵江涛, (Tel)025-84390851; (E-mail)zhjt@jaas.ac.cn

石榴(*Punica granatum* L.)是石榴科石榴属落叶灌木或小乔木植物。石榴果实富含花色苷、多酚化合物等抗氧化活性物质, 具有消炎和抗癌等生理功能<sup>[1-5]</sup>, 因而广受关注。例如 Vicinanza 等<sup>[6]</sup>研究发现石榴提取成分可以协同其他激素控制细

胞周期和凋亡,从而抑制前列腺癌细胞。但石榴果实在采后贮藏过程中极易出现果皮褐变、失水皱缩、籽粒花青素降解、异味和果实腐烂等问题,严重影响果实的商品价值,因此研究石榴的保鲜具有重要意义。

低温贮藏是目前石榴贮藏保鲜的一种常用且有效的方法。朱慧波等<sup>[7]</sup>研究了低温结合 4.5% 噻苯咪唑(TBZ)粉剂 5 g/m<sup>3</sup>熏蒸 1.5 h,并用厚度为 0.02 mm 的塑料袋单果包装,可以贮藏至 120 d。Defilippi 等<sup>[8]</sup>采用 5 kPa O<sub>2</sub>+15 kPa CO<sub>2</sub>(用 N<sub>2</sub>平衡)的气体贮藏石榴,与气体成分为 1 kPa O<sub>2</sub>、1 kPa O<sub>2</sub>+15 kPa CO<sub>2</sub>和 1-MCP 处理相比,石榴贮藏期延长至 6 个月。由于食品安全和成本问题,上述处理方法在生产中可能难以推广。薄膜包装具有经济、方便、无公害等特点,因此本试验采用不同规格的薄膜包装结合低温贮藏,研究采后石榴贮藏中品质和抗氧化指标的变化,进而筛选适用于石榴保鲜的薄膜种类,为石榴采后保鲜技术的开发和机理研究提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

石榴品种是大白皮,产自云南会理,采后用货车连夜运送到南京,置于(5±1)℃条件下预冷 24 h。挑选无机械损伤、无病虫害、大小和成熟度均一的石榴为试验样品。

### 1.2 处理方法

采用 2 种规格的聚乙烯袋对石榴进行包装处理:①32.70 μm 厚的聚乙烯袋(P1)[CO<sub>2</sub>渗透系数:31 616.57 ml/(m<sup>2</sup>·d);O<sub>2</sub>渗透系数:4 329.00 ml/(m<sup>2</sup>·d)];②15.55 μm 厚的聚乙烯袋(P2)[CO<sub>2</sub>渗透系数:92 684.12 ml/(m<sup>2</sup>·d);O<sub>2</sub>渗透系数:34 438.62 ml/(m<sup>2</sup>·d)]。渗透系数由国家农产品保鲜中心测定。以 12.75 μm 厚的带孔聚乙烯袋作为对照,打孔可以保湿和维持良好的通气性。每袋装石榴 15 个[(3 000±100)g],每个处理 12 袋,置于(5±1)℃、相对湿度 80%~90%的环境下贮藏。贮藏期间每 25 d 取样 1 次,共取 4 次样,每次每组处理随机取 3 袋,测定包装袋内 CO<sub>2</sub>和 O<sub>2</sub>浓度,观察石榴表皮褐变程度,并取其籽粒用液氮冷冻约 10 min,然后置于-20℃的冰柜中贮藏,用于相关生理生化指标的测定。3 次重复。

### 1.3 主要仪器

TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器公司生产;Agilent Technologies 7280A 气相色谱仪,安捷伦科技公司生产;CYES-II 型氧/二氧化碳气体测定仪,江苏苏州天威仪器公司生产。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 袋内 CO<sub>2</sub>和 O<sub>2</sub>浓度 用 CYES-II 氧/二氧化碳气体测定仪测定包装袋内 O<sub>2</sub>和 CO<sub>2</sub>浓度。

1.4.2 果实呼吸速率的测定 参照李鹏霞等<sup>[9]</sup>的方法。

1.4.3 果实失质量率和可溶性固形物含量 用电子天平称量样品质量,计算失质量率,失质量率=(贮藏前质量-测定时质量)/贮藏前质量×100%。可溶性固形物含量采用日本 ATAGO 爱宕数字手持折射仪(ATAGO Refractometer PAL-1)测定,重复 3 次,取平均值。

1.4.4 丙二醛(MDA)含量 参照 Dhindsa 等<sup>[10]</sup>的方法,略有改动。取 5 g 样品,加入 5% 三氯乙酸 15 ml,充分研磨后离心,取上清液 2 ml,加入 2 ml 0.67% 硫代巴比妥酸,混匀后水浴煮沸 30 min,冷却后离心,分别取上清液测定在 450 nm、532 nm、600 nm 处的吸光值,计算 MDA 含量。

1.4.5 维生素 C 含量 参照赵晓梅等<sup>[11]</sup>的方法,略有改动。称取样品 5 g,加入草酸-EDTA 溶液 10 ml,充分研磨后,在 4℃下 10 000 r/min 离心 20 min。取上清 2 ml,分别依次加入 3 ml 草酸-EDTA、0.5 ml 偏磷酸-乙酸、1.0 ml 5% 硫酸、1.0 ml 5% 钼酸铵,摇匀后置于 30℃水浴 15 min,在 760 nm 下测定其吸光度值。计算维生素 C 含量。

1.4.6 可溶性糖和可滴定酸含量 可溶性糖含量测定参考 Kafkas 等<sup>[12]</sup>的方法;可滴定酸含量(以苹果酸计)用 NaOH 溶液滴定法<sup>[13]</sup>测定。

1.4.7 总酚含量 参考 Ghasemnezhad 等<sup>[14]</sup>的方法,略有改动。称取 2 g 样品,加 10 ml 80% 乙醇充分研磨,4℃、10 000 r/min 离心 20 min。取 0.1 ml 上清液,加 0.9 ml 蒸馏水、1 ml Folin 试剂,25℃反应 3 min,再加入 2 ml 饱和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液,25℃反应 1 h,于 760 nm 测吸光值。

1.4.8 过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性 POD 活性测定采用愈创木酚法,取 5 g 样品,加入 10 ml 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.0,内含 0.01 g/ml PVP),研磨后所得匀浆在 4℃下

10 000 r/min离心 20 min,上清液即为 *POD* 粗提液。将 1 ml 酶粗提取液加入 2 ml 0.05 mol/L 愈创木酚中,在 30 °C 水浴中平衡 5 min,然后加入 1 ml 0.2%  $H_2O_2$  混匀,以 1 min 吸光值(470 nm)变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活性单位。*SOD* 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法<sup>[15]</sup>,取 5 g 样品,加入 15 ml 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.8,内含 1% PVP),冰浴下研磨成匀浆。于 4 °C 下 10 000 r/min 离心 20 min,上清液即为 *SOD* 粗提液。取 1 ml 上清液,加入 1.5 ml 50 mmol/L 磷酸缓冲液、0.3 ml 130 mmol/L 甲硫氨酸(Met)溶液、0.3 ml 750  $\mu$ mol/L NBT 溶液、0.3 ml 100  $\mu$ mol/L EDTA- $Na_2$  溶液、0.3 ml 20  $\mu$ mol/L 核黄素,置于 4 000 lx 日光下反应 20 min,于 560 nm 波长下测定吸光度,计算 *SOD* 活性。

### 1.5 数据处理

用 Origin 9.0 作图,用 SPSS 18.0 进行相关性

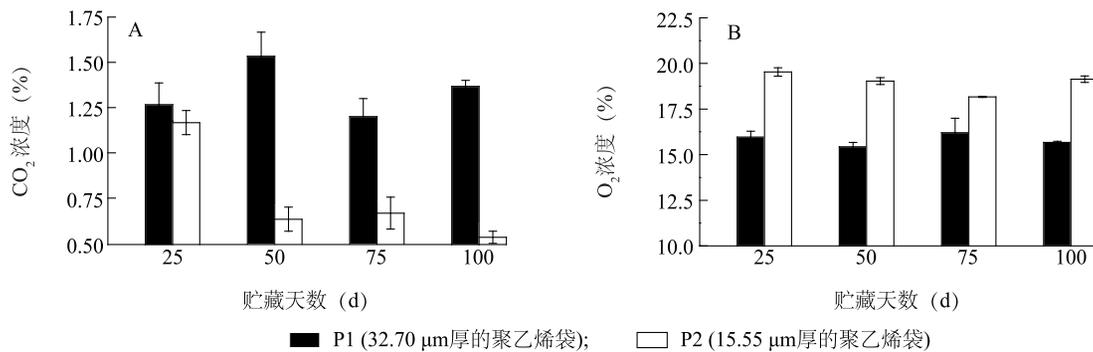


图1 石榴贮藏过程中不同薄膜包装袋内的 CO<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub> 浓度变化

Fig. 1 Changes of CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> concentrations in different film bags during storage of pomegranate fruits

### 2.2 不同薄膜包装对石榴呼吸速率的影响

呼吸速率过高会加速果实新鲜度下降,促使其营养物质消耗和品质劣变。如图 2 所示,在贮藏期间,石榴果实的呼吸速率呈下降趋势,且对照(12.75  $\mu$ m 厚带孔聚乙烯袋包装)的呼吸速率大于 P1 和 P2 处理。在贮藏第 25 d、50 d、75 d 和 100 d 时,对照的呼吸速率分别是 P1 处理的 1.38 倍、1.80 倍、2.34 倍和 2.10 倍,且 P1 的呼吸速率显著低于对照( $P < 0.05$ )。在贮藏第 75 d 和 100 d,对照的呼吸速率分别是 P2 处理的 2.13 倍和 2.0 倍,P2 的呼吸速率显著低于对照( $P < 0.05$ )。因此,薄膜包装可以有效地抑制石榴果实的呼吸速率,且 32.70  $\mu$ m 优于 15.55  $\mu$ m。

分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同薄膜包装袋内二氧化碳和氧气浓度

由图 1 可看出,在石榴贮藏过程中,2 种规格 [32.70  $\mu$ m (P1)、15.55  $\mu$ m (P2)] 聚乙烯袋处理组包装袋内的 CO<sub>2</sub> 浓度有所差异,分别维持在 1.1% ~ 1.8%、0.5% ~ 1.3%,P1 的 CO<sub>2</sub> 浓度显著高于 P2 ( $P < 0.05$ )。P1 和 P2 两种包装袋内 O<sub>2</sub> 浓度亦不同,分别维持在 15.4% ~ 16.2%、18.1% ~ 19.5%,P1 的 O<sub>2</sub> 浓度显著低于 P2 ( $P < 0.05$ )。说明低渗透性的薄膜可维持较低浓度 O<sub>2</sub> 和较高浓度 CO<sub>2</sub> 的环境。

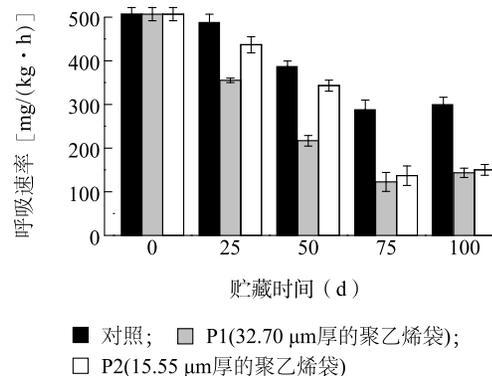
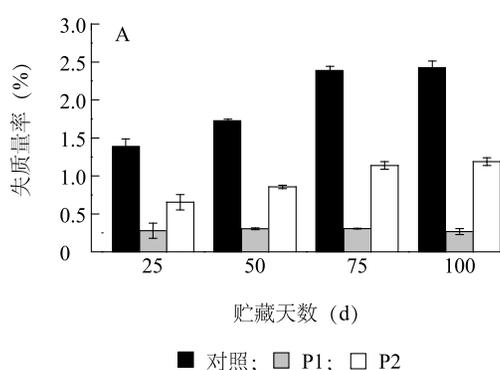


图2 石榴在贮藏期间呼吸速率的变化

Fig. 2 Changes of respiration rate of pomegranate fruits during storage

### 2.3 不同薄膜包装对石榴失质量率和可溶性固形物含量的影响

在贮藏期间,石榴果实随着贮藏时间的延长,其失质量率增大(图3)。贮藏到第100 d时,对照的失质量率为3.4%,分别是P1和P2的13.0倍和2.9倍。在整个贮藏过程中,薄膜包装石榴的失质量率一直低于对照,失质量大小依次为:对照>P2处理>P1处理;对照石榴果实在整个贮藏过程中的失质量率显著大于P1和P2处理( $P<0.05$ )。

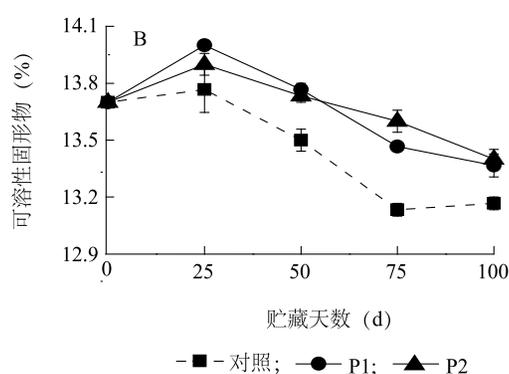


P1、P2处理和对照见图2注。

图3 石榴在贮藏期间失质量率和可溶性固形物含量的变化

Fig.3 Changes of weight loss and soluble solids content in pomegranate fruit during storage

在贮藏期间,石榴果实可溶性固形物含量先略上升后逐渐下降,下降的拐点出现在贮藏后第25 d,且对照下降较快(图3)。贮藏第100 d,P1、P2和对照石榴果实中可溶性固形物含量与贮藏初期相比,分别下降了0.9%、0.7%和2.3%。在贮藏第50 d、75 d和100 d,对照的可溶性固形物含量显著低于P1和P2处理( $P<0.05$ )。可见,薄膜包装能有效地维持石榴果实中较高的可溶性固形物含量,这可能与薄膜包装能抑制其呼吸速率有关。



### 2.4 不同薄膜包装对石榴果实糖酸比的影响

果蔬中总糖含量的高低与其品质、成熟度和贮藏性密切相关。由表1可知,在贮藏过程中,石榴总糖含量总体呈上升趋势。整个贮藏期间,对照的总糖含量高于P1和P2处理。贮藏0~75 d,P1和P2的总糖含量与对照无显著差异;贮藏100 d时对照的总糖含量比P1和P2分别高33.2%和28.1%,差异显著( $P<0.05$ )。

水果中可滴定酸主要是有机酸,这些有机酸可以影响水果的色、香、味以及稳定性。可滴定酸与糖一样,是影响果实风味品质的重要因素。由表1可知,在贮藏期间,石榴有机酸含量总体呈下降趋势。其中在贮藏第25 d,对照的有机酸含量高于P1和P2处理;贮藏后期,对照的有机酸含量下降,而P1和P2处理的有机酸含量略有上升,贮藏至第100 d时,P1和P2有机酸含量显著高于对照( $P<0.05$ )。

由表1可看出,在贮藏过程中,石榴糖酸比呈增

加趋势。其中贮藏至100 d时P1和P2处理的糖酸比分别比对照低37.2%和29.4%,差异显著( $P<0.05$ ),且P1处理优于P2。可见,P1薄膜包装可有效延缓石榴的糖酸比变化,减慢其成熟进程。

### 2.5 不同薄膜包装对石榴丙二醛含量的影响

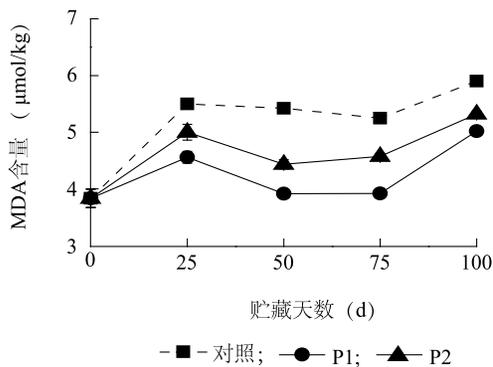
丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量可以反映植物细胞膜衰老或破坏的程度<sup>[16]</sup>。由图4可看出,贮藏期间石榴MDA含量总体呈上升趋势,且P1和P2处理的MDA含量一直低于对照。贮藏到第25 d时,对照以及P1和P2处理的丙二醛含量分别比第0 d时的显著增加了50.7%、24.9%和36.9%;第75~100 d时,处理及对照的MDA含量又出现较快上升的趋势。在整个贮藏过程中,P1的MDA含量极显著低于对照( $P<0.01$ );在贮藏中期,P2的MDA含量也显著低于对照( $P<0.05$ )。说明薄膜包装可以有效地抑制组织细胞的膜脂过氧化作用,缓解有害物质对细胞膜的伤害。

表 1 石榴在薄膜包装贮藏过程中总糖含量、可滴定酸含量和糖酸比的变化

Table 1 Changes of the contents of total sugar, titratable acid and sugar/acid ratio of pomegranate fruits during film-packed storage

测定指标	处理	贮藏 0 d	贮藏 25 d	贮藏 50 d	贮藏 75 d	贮藏 100 d
总糖含量 (%)	对照	0.508±0.010a	0.651±0.002a	0.590±0b	0.642±0.017b	0.767±0.001b
	P1	0.508±0.010a	0.614±0.019b	0.525±0.015a	0.555±0.002a	0.576±0.002a
	P2	0.508±0.010a	0.609±0.002b	0.582±0.011b	0.532±0.011a	0.599±0.001a
总酸含量 (%)	对照	0.296±0a	0.283±0.001c	0.269±0.002b	0.250±0a	0.235±0.003a
	P1	0.296±0a	0.220±0.001a	0.260±0.001a	0.283±0.002c	0.281±0.001c
	P2	0.296±0a	0.250±0b	0.270±0.002b	0.266±0.002b	0.260±0.002b
糖酸比	对照	1.716±0.010a	2.144±0.002b	2.193±0.002b	2.568±0.017b	3.264±0.001b
	P1	1.716±0.010a	2.790±0.021a	2.019±0.025a	1.961±0.003a	2.050±0.003a
	P2	1.716±0.010a	2.436±0.002c	2.156±0.031c	2.000±0.021a	2.303±0.001a

P1、P2 处理和对照见图 2 注。



P1、P2 处理和对照见图 2 注。

图 4 石榴在贮藏期间 MDA 含量的变化

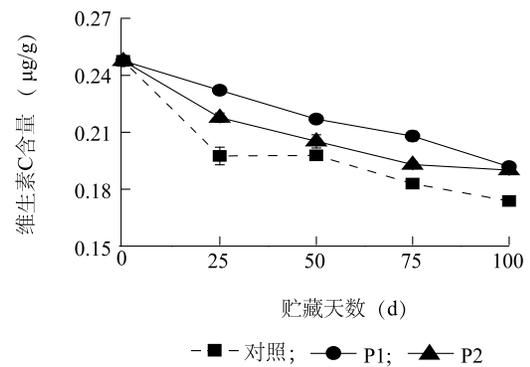
Fig. 4 Changes of MDA contents in pomegranate fruit during storage

## 2.6 不同薄膜包装对石榴维生素 C 含量的影响

果蔬中维生素 C 很容易被空气氧化,其含量是评价果蔬保鲜、贮藏技术优劣的一个重要指标<sup>[17]</sup>。由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,果实中维生素 C 含量下降;P1 和 P2 处理可以延缓石榴果实采后维生素 C 含量的下降,与对照相比,P1 处理显著抑制维生素 C 含量的下降( $P<0.05$ )。说明薄膜包装可显著减少石榴果实贮藏期间维生素 C 的损失。

## 2.7 不同薄膜包装对石榴总酚含量的影响

酚类物质是植物体内分布最为广泛的次生代谢物质,它不仅是参与褐变反应必要的酶促底物,还是植物防御体系的重要部分。由图 6 可看出,贮藏过程中石榴总酚含量呈下降趋势。在整个贮藏过程中,P1 处理石榴的总酚含量显著高于对照( $P<0.05$ ),在贮藏 25 d、50 d、75 d 和 100 d 时,其总酚



P1、P2 处理和对照见图 2 注。

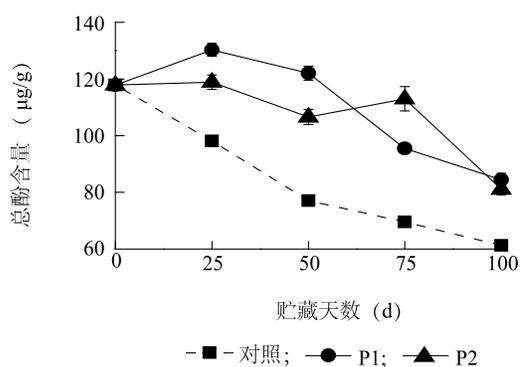
图 5 石榴在贮藏期间维生素 C 含量的变化

Fig. 5 Changes of vitamin C contents in pomegranate fruits during storage

含量分别是对照的 1.62、1.88、1.50、1.38 倍;P2 处理石榴的总酚含量在贮藏过程中也显著高于对照( $P<0.05$ )。可见,薄膜包装处理对维持石榴总酚含量具有良好的效果,而且 P1 优于 P2。

## 2.8 不同薄膜包装对石榴 POD 活性和 SOD 活性的影响

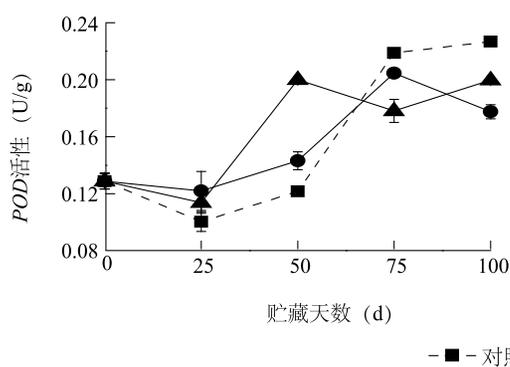
POD 活性变化是果实成熟衰老的重要标志之一,但其所表现出的伤害效应或保护作用因植物种类和品种不同而异<sup>[18]</sup>。由图 7 可知,在贮藏期间,石榴的 POD 活性总体上呈上升趋势。在贮藏前期,P1 和 P2 处理的 POD 活性都大于对照,且 P2 显著大于对照( $P<0.05$ );到贮藏后期,对照的 POD 活性快速上升,3 组石榴的 POD 活性从大到小依次为:对照>P1 处理>P2 处理。石榴 POD 活性变化较为复杂,可能与石榴呼吸峰值和乙烯峰值的出现有关。



P1、P2 处理和对照见图 2 注。

图 6 石榴在贮藏期间总酚含量的变化

Fig. 6 Changes of total phenols contents in pomegranate fruits during storage

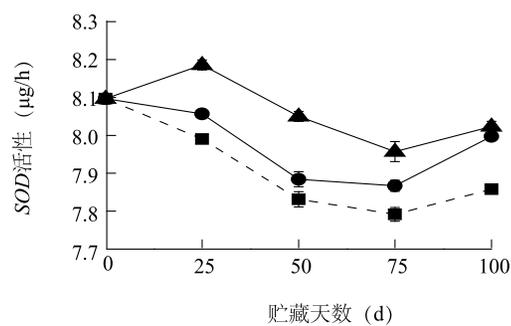


P1、P2 处理和对照见图 2 注。

图 7 石榴在贮藏期间 POD 活性和 SOD 活性的变化

Fig. 7 Changes of SOD activities and POD activities in pomegranate fruits during storage

SOD 是活性氧清除过程中的重要酶,能够有效清除超氧阴离子自由基,避免果蔬中的活性氧对细胞膜系统的伤害。如图 7 所示,在贮藏期间,石榴 SOD 活性整体呈下降趋势。P2 处理的 SOD 活性先上升后下降,再上升;而 P1 处理和对照在贮藏前期一直都呈下降趋势,贮藏 75 d 后呈上升趋势。贮藏 100 d, P1 和 P2 处理的 SOD 活性均显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。在整个贮藏期间, P1 和 P2 处理的 SOD 活性均高于对照,且 P2 显著高于对照 ( $P < 0.05$ )。说明薄膜包装能有效地保持石榴 SOD 活性。



### 3 讨论

#### 3.1 薄膜包装对石榴呼吸速率、失质量率、可溶性固形物含量和糖酸比的影响

利用果实的呼吸和包装袋的透气性之间的动态平衡,薄膜包装可在包装袋内形成高  $\text{CO}_2$ 、低  $\text{O}_2$  的微环境,进而抑制果蔬的呼吸强度,影响其生理代谢<sup>[19]</sup>。在本试验中,与对照相比较,两种规格薄膜包装处理均有效降低了石榴果实的呼吸速率和石榴水分散失,且保持了较高的可溶性固形物含量。这可能是由于薄膜包装袋内形成的高  $\text{CO}_2$ 、低  $\text{O}_2$  微环境,抑制了石榴果实的代谢,进而延缓石榴的成熟与衰老。Caleb 等的研究结果<sup>[20]</sup>也表明,气调包装可延缓石榴可溶性固形物含量的下降,延长石榴果实的贮藏期。

在薄膜包装贮藏过程中,石榴果实可滴定酸含量总体呈下降趋势,而总糖含量增加,从而糖酸比是增加的,这与韩晓旭等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。有机酸作

为果实代谢中间产物可转变成糖,另一方面在果实代谢过程中,有些糖类发酵产生醇类物质,与果实中的酸发生反应,生成芳香酯类,使得酸含量下降<sup>[22]</sup>。果实中糖酸比对果实及其制品的口感、色泽及风味有重要影响。由糖酸比可判定果实的成熟度,果实的成熟伴随着糖酸比的不断增大<sup>[23]</sup>。本试验中,与对照相比,32.70  $\mu\text{m}$  聚乙烯袋处理的糖酸比增加最为缓慢,表明该组石榴衰老程度最轻,贮藏效果最好。

#### 3.2 薄膜包装对石榴丙二醛、维生素 C 和总酚含量以及抗氧化酶活性的影响

植物在逆境或衰老过程中,细胞内活性氧代谢平衡被破坏,从而有利于自由基产生,过剩自由基的积累会促进细胞膜脂过氧化,对细胞产生伤害,而对于采后果实来说,由于不存在光合作用,氧自由基主要产生于呼吸作用过程中<sup>[24]</sup>。MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量的高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱的重要指标,同时 MDA 含量也与果蔬

的衰老程度呈正相关。在本试验中,2种规格(32.70  $\mu\text{m}$ 、15.55  $\mu\text{m}$ )薄膜包装处理的石榴膜脂过氧化产物MDA含量均低于对照,且32.70  $\mu\text{m}$ 薄膜包装效果更明显,说明薄膜包装可以有效延缓石榴果实的衰老。

在正常情况下,植物体内的清除系统可有效清除生理活动产生的活性氧自由基,维持自由基的平衡。但是当植物处于干旱、高盐分、低温、衰老等情况下,植物细胞内自由基的产生和清除的平衡会遭到破坏,导致自由基的增加从而诱导植物细胞的衰老<sup>[25]</sup>。在脂质过氧化过程中,有2大类物质能阻抑这种作用:一类称作保护酶系,主要有SOD、POD、CAT等;另一类是抗氧化性物质,主要有维生素C、维生素E等<sup>[18]</sup>。王亚楠等<sup>[26]</sup>认为薄膜包装可以延缓采后桑葚果实总酚的下降,并维持较高的SOD活性。本试验结果表明,2种规格(32.70  $\mu\text{m}$ 、15.55  $\mu\text{m}$ )薄膜包装处理的维生素C、总酚含量和SOD、POD活性均高于对照,且32.70  $\mu\text{m}$ 优于15.55  $\mu\text{m}$ ,说明薄膜包装可维持采后石榴果实内自由基水平的平衡。

#### 参考文献:

- [1] 赵丽华. 中国石榴(*Punica granatum* L.)居群遗传多样性[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(3): 637-641.
- [2] 陈成, 汪洪涛. 山楂石榴复合果酒发酵工艺的研究[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 248-249.
- [3] 王东方, 王庆忠, 谷鹏, 等. 石榴叶提取物的抑菌杀虫活性[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 95-96.
- [4] LEE C J, CHEN L G, LIANG W L, et al. Anti-inflammatory effects of *Punica granatum* Linne invitro and in vivo[J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 315-322.
- [5] SYED D N. Pomegranate derived products for cancer chemoprevention[J]. Seminars in Cancer Biology, 2007, 17(5): 377-385.
- [6] VICINANZA R. Pomegranate juice metabolites, ellagic acid and urolithin A, synergistically inhibit androgen-independent prostate cancer cell growth via distinct effects on cell cycle control and apoptosis[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2013, 1: 70-75.
- [7] 朱慧波, 张有林, 官文学, 等. 新疆喀什甜石榴采后生理与贮藏保鲜技术[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 339-344.
- [8] DEFILIPPI B G, WHITAKER B D, HESS-PIERCE B M, et al. Development and control of scald on wonderful pomegranates during long-term storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(3): 234-243.
- [9] 李鹏霞, 王贵禧, 梁丽松, 等. 高氧处理对冬枣货架期呼吸强度及品质变化的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 180-183.
- [10] DHINDSA R S, PLUMB D P, THORPE T A. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J]. Journal of Experimental Botany, 1981, 32(1): 93-101.
- [11] 赵晓梅, 江英, 吴玉鹏, 等. 果蔬中V<sub>C</sub>含量测定方法的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(3): 197-199.
- [12] KAFKAS E, KOSAR M, PAYDAS S, et al. Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages [J]. Food Chemistry, 2007, 100(3): 1229-1236.
- [13] MARSH K, ATTANAYAKE S, WALKER S, et al. Acidity and taste in kiwifruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(2): 159-168.
- [14] GHASEMNEZHAD M, SHERAFATI M, PAYVAST G A. Variation in phenolic compounds ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times [J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(1): 44-49.
- [15] JIANG T, JAHANGIR M M, JIANG Z, et al. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 56(3): 209-215.
- [16] 王进, 马艳萍, 陈金海, 等. 自发气调方式对核桃鲜贮及核桃仁品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 169-176.
- [17] 王宏, 董大远. 清洗剂对生菜贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(8): 153-156.
- [18] 魏云潇, 叶兴乾. 果蔬采后成熟衰老酶与保护酶类系统的研究进展[J]. 食品工业科技, 2009(12): 427-431.
- [19] 霍宪起. 正己醇处理对桑葚采后生理与抗氧化酶的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 252-255.
- [20] CALEB O J, OPARA U L, MAHAJAN P V, et al. Effect of modified atmosphere packaging and storage temperature on volatile composition and postharvest life of minimally-processed pomegranate arils (cvs. 'Acco' and 'Herskowitz') [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 79: 54-61.
- [21] 韩晓旭, 刘长虹, 蔡路响, 等. 采后UV-C照射对芦柑抗病性和品质的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(7): 127-133.
- [22] LEE S K, KADER A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(3): 207-220.
- [23] MONTERO T M, MOLLÁ E M, ESTEBAN R M, et al. Quality attributes of strawberry during ripening [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 65(4): 239-250.
- [24] 毛桂莲, 许兴, 田叶, 等. 外源钙对枸杞采后成熟衰老的影响研究[J]. 农业科学研究, 2011, 32(1): 35-38.
- [25] 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 水分胁迫与植物膜脂过氧化[J]. 西北农业大学学报, 1991, 19(2): 88-94.
- [26] 王亚楠, 胡花丽, 古荣鑫, 等. 不同薄膜包装对桑葚采后品质的影响[J]. 食品科学, 2014(18): 43.

(责任编辑:张震林)