

马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯对椪柑的保鲜性能

许嘉琍¹, 姚姝凤¹, 高宏^{1,2}, 张海波^{1,2}, 商士斌^{1*}

(1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 生物质化学利用国家工程实验室, 国家林业和草原局林产化学工程重点开放性实验室, 南京 210042; 2. 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘要:以椪柑为试材, 在室温贮藏条件下, 用含有不同质量分数马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯(MRPC)(5%, 10%和15%)的保鲜剂对采后果实进行了涂膜处理, 并与市售保鲜剂(果蜡)和清水处理组(CK)进行对照, 自然晾干后每6 d测定相关生理生化指标, 包括质量损失率、硬度、可溶性固形物含量、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性的变化。结果表明:与CK组相比, 不同浓度的MRPC涂膜均能有效抑制椪柑的水分流失, 减缓果实硬度和可溶性固形物含量的变化。经5%, 10%和15% MRPC保鲜剂涂膜处理的椪柑, 具有较高的POD、SOD和CAT活性, 其POD酶活分别为1.65, 1.16和1.07 U/g, 分别比CK组高70.3%, 57.8%和54.2%; SOD酶活分别比CK组高15.1%, 16.5%和9.0%; CAT酶活分别为1.31, 1.32和1.33 U/g, 显著高于CK组。综合各指标发现, 5%的MRPC保鲜剂对椪柑果实的保鲜效果最佳, 在室温下贮藏42 d后, 椪柑的质量损失率仅为10.18%, 比CK组低38.68%, 可以更有效地保持椪柑果实采后的贮藏质量。与市售保鲜剂果蜡相比, MRPC可更有效地抑制硬度和可溶性固形物含量的变化, 维持SOD、POD和CAT酶活。这说明MRPC保鲜剂在水果保鲜领域具有较好的应用潜力。

关键词:马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯; 涂膜保鲜; 椪柑; 松香基保鲜剂; 水果保鲜

中图分类号: S666.1; O629.9

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 2096-1359(2020)06-0076-06



Study on property fresh-keeping of rosin-based preservatives for ponkan

XU Jiali¹, YAO Shufeng¹, GAO Hong^{1,2}, ZHANG Haibo^{1,2}, SHANG Shibin^{1*}

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF; National Engineering Lab for Biomass Chemical Utilization;

Key and Open Lab of Forest Chemical Engineering, SFA, Nanjing 210042, China;

2. Research Institute of Forestry New Technology, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Rosin is an important natural, non-toxic and eco-friendly resource, which was obtained from pine and other conifer trees. Owing to the excellent properties of rosin, such as moisture-proof, good film forming ability, antiseptic, etc., it is extensively used in food processing, medical and health products. As a biomass resource, rosin is used in food preservation, which is in line with the trend of food safety and sustainable development. The effect of coating preservative with maleated rosin acid polyethylene glycol citrate (MRPC) as the main component on the physiological quality of postharvest citrus fruits was investigated. In this study, postharvest ponkans were coated by compound preservative with the contents of 5%, 10% and 15% at room temperature, which was compared with the commercial fresh keeping agent and untreated control (CK). Then the ponkans were air-dried and the changes in weight loss, firmness, total soluble solids content, enzyme activities of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) of ponkan were determined every 6 days. The results showed that preservatives with different concentrations of MRPC could effectively inhibit the loss of water, which can also slow down the changes of firmness and total soluble solids content of ponkan, compared to CK. Meanwhile, the activities of POD, SOD and CAT increased. The POD activities of ponkan treated with 5%, 10% and 15% MRPC antistaling agent were 1.65, 1.16 and 1.07 U/g, which were 70.3%, 57.8% and 54.2% higher than that of the control group, respectively; the enzyme activities of SOD were 15.1%, 16.5% and 9.0% higher than the control group, respectively. The CAT activities were 1.31, 1.32 and 1.33 U/g, respectively, which were significantly higher than that in the control group. Preservatives with 5% MRPC had the better effect on the storage of ponkan, and the weight loss rate was only 10.18% after 42 days at room temperature storage, which was 38.68% lower than the control group, and it was more effective in maintain-

收稿日期: 2020-01-10

修回日期: 2020-07-26

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0600804)。

作者简介: 许嘉琍, 女, 研究方向为松脂化学与利用。通信作者: 商士斌, 男, 研究员。E-mail: shangsb@163.com

ning the postharvest storage quality of ponkan fruits. Compared with the commercially available preservative, MRPC can more effectively suppress the change of firmness, soluble solids content, and maintain the enzyme activities of SOD, POD and CAT. The MRPC preservative has good application potential in the field of fruit preservation.

Keywords: MRPC; coating preservation; ponkan; rosin-based preservatives; fruit storage

柑橘作为世界产量最大的水果,在我国的栽培面积和产量均居世界第一位,且富含蛋白质、矿物质、有机酸和 VC 等,受到人们的喜爱。然而柑橘在采后贮藏运输过程中极易遭受生理病害和机械损伤,致其腐败加快,造成较大的经济损失。因此为了延长柑橘的货架期,提高其价值,对其进行保鲜显得尤为重要。涂膜保鲜是柑橘保鲜应用较为广泛的一种,其在果蔬表面形成一层透明膜并有效地抑制果实呼吸强度、减少果皮蒸腾作用、减少水分蒸发,进而达到保鲜效果^[1-2]。随着消费者环境保护意识日益增强,开发高效且无毒的涂膜保鲜剂,已经成为柑橘保鲜研究与开发的热点^[3]。

松香作为一种重要的生物质资源,具有来源广泛、安全无毒等特性,被誉为“长在树上的石油”^[4]。通过利用松香酸中的共轭双键引入亲水基团并适度酯化制备的改性松香树脂,其水溶性及成膜性得到一定的改善。将其应用于水果保鲜是近年来的研究热点,且优良效果也已初露端倪^[5-6]。

椪柑是柑橘中的常见品种,有“橘中之王”之称。笔者以椪柑为研究对象,将马来海松酸聚乙二醇柠檬酸酯(MRPC)配成不同质量分数的保鲜剂,以涂膜形式用于椪柑保鲜,研究其对椪柑采后生理变化的影响及保鲜效果,从而拓展松香在果蔬保鲜方面的应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

椪柑(购于苏州),选取成熟度均匀、大小均一、无病害霉变及机械损伤的椪柑为试验对象。MRPC,实验室自制。

氢氧化钾、柠檬酸、油酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、过氧化氢、愈创木酚、核黄素、氮蓝四唑、乙二胺四乙酸二钠、聚乙烯吡咯烷酮,均为分析纯;抗坏血酸、没食子酸,均为标准品;市售保鲜剂果蜡(吗啉脂肪酸盐),武汉远程共创科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

质构仪 TMS-PRO,美国 FTC 公司;数显糖度计 PAL-1,日本 ATAGO 公司;紫外分光光度计 TU-1810,北京普析通用仪器有限责任公司;冷冻离心机 TGL-16M,湖南湘仪实验仪器开发有限公司;扫

描电子显微镜 3400-I,日本日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 果实采后处理方法

将椪柑进行如下处理:

清水组(CK):仅对果实用清水处理。室温下贮藏至 42 d,每 6 d 测定一次相关指标。

涂膜处理组:a) MRPC 组,将 MRPC 与氢氧化钾、油酸、山梨酸钾按照一定的比例配制成不同质量分数(5%,10%和 15%)的保鲜液。用海绵擦在椪柑上均匀涂抹,晾干;b) 果蜡组,将市售保鲜剂(果蜡)用海绵擦在椪柑上均匀涂抹,晾干。每 6 d 测定一次相关指标,共测 42 d。每次取样后,一部分进行质量损失率、硬度及可溶性固形物的测定;另一部分果皮剥尽,将果肉用液氮速冻,于 -75 ℃ 保存,用于酶活的测定。

1.3.2 测定指标与方法

质量损失率的测定:从每组样中取 6 个椪柑作为样品,每 6 d 对椪柑进行称量,并按以下公式进行计算:

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{果实质量} - \text{果实初始质量}}{\text{果实初始质量}} \times 100\%$$

硬度的测定:采用质构仪进行测定。选用直径 2 mm 的不锈钢探头、25 N 的感应元,在穿刺模式下,以 30 mm/s 的速度穿刺 10 mm,回程距离 75 mm。每组 6 个果实,每个果实测 3 个点,单位为 N。

可溶性固形物含量的测定:每组 6 个果实,榨出果汁后,糖度计测定取平均值,单位为%。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定:参照 Chance 等^[7]的方法。具体操作如下:称取 2.5 g 冻样溶于 5 mL 磷酸缓冲液(pH 7.8)中,4 ℃、1 200 r/min 离心 30 min,上清液为酶提取液,低温保存备用。在 5 支指形玻璃管中依序加入 pH 7.8 磷酸缓冲液、氮蓝四唑溶液、蛋氨酸溶液、酶提取液(其中两只对照管中以缓冲液代替酶提取液)、EDTA-Na₂ 溶液和核黄素溶液。混匀后,将一支对照管置于暗处,其他各管于 4 000 lx 灯光下反应 15 min 后立即取出,并于暗处终止反应。以不照光管做空白参比,于 560 nm 处分别测定其他各管的吸光度值。

过氧化物酶(POD)活性的测定:参照 Chen 等^[8]的方法。具体操作如下:称取 2.5 g 冻样溶于

5 mL 磷酸缓冲液(pH 5.5)中,4 ℃、1 200 r/min 离心 30 min,上清液为酶提取液,低温保存备用。在试管中加入愈创木酚溶液和酶提取液,再加入 H₂O₂ 迅速混合开始反应,立即计时。以蒸馏水为空白参比,在反应 15 s 时开始记录反应体系在波长 470 nm 处吸光度值,记为初始值,然后每隔 1 min 记录 1 次,连续记录 6 个数据。重复 3 次。

过氧化氢酶(CAT)活性的测定:参照孙雯等^[9]的方法。具体操作如下:称取 2.5 g 椪柑冻样溶于 5 mL 磷酸缓冲液(pH 7.0)中,4 ℃、1 200 r/min 离心 30 min,上清液为酶提取液,低温保存备用。酶促反应体系由 H₂O₂ 和酶提取液组成。以蒸馏水为空白参比,在反应 15 s 时开始记录反应体系在波长 240 nm 处吸光度值,作为初始值,然后每隔 30 s 记录 1 次,连续获取 6 个数据。重复 3 次。

1.3.3 果皮的表面微观形貌测定

切下面积适当的椪柑果皮,冻干后表面喷金,采用扫描电子显微镜(SEM)观测果皮表面的微观形貌。

1.3.4 数据分析

试验结果采用 SPSS 20.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 MRPC 毒性检测

经广东华轻质量检测服务中心有限公司检测,MRPC 中铅、汞、砷及镉的含量均符合 GB 29987—2014《食品添加剂胶基及其配料》的标准。根据 GB 4789.1—2016《食品安全国家标准食品微生物学检验总则》,MRPC 中耐热大肠菌群、金黄色葡萄球菌及铜绿假单胞菌均未被检出。经宁波海关技术中心检测,MRPC 急性经口毒性为 LD₅₀>5 000 mg/kg,根据 GB 15193.3—2014《食品安全国家标准急性经口毒性实验》,属实际无毒级。

2.2 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间质量损失率的影响

果蔬采后的损耗包括自然损耗和腐烂损耗两部分,自然损耗又包括由呼吸代谢引起的干物质的损耗和由蒸腾及呼吸作用引起的水分散失。由失水导致的质量损失约占自然损耗的 75%~90%,减少果蔬在贮藏过程中的水分流失显得非常重要^[10]。

不同质量分数的 MRPC 涂膜处理对椪柑质量损失率的影响见图 1,外观形态的变化见图 2。由图 1 可知,在整个贮藏期间涂膜处理组质量损失率显著低于 CK 组。第 14 天之前涂膜处理组质量损失率与 CK 组相比差异并不显著,但贮藏第 14 天

开始,CK 组椪柑质量损失率明显比涂膜组大,并且随着 MRPC 保鲜剂质量分数的增加,质量损失率呈上升的趋势,这可能是由于保鲜剂含量越大,吸湿性越强,导致果实腐烂速度过快。贮藏第 42 天,CK 组质量损失率从 0% 增加到 16.60%,明显高于所有涂膜处理组,且此时 CK 组椪柑已出现表皮皱缩的情况(图 2)。这表明 MRPC 和果蜡涂膜均能有效减少椪柑的水分散失,且果蜡涂膜更能较好地保持椪柑水分。

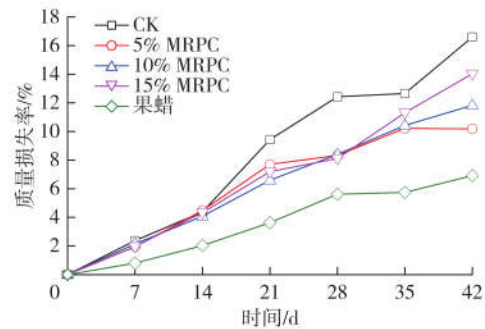


图 1 椪柑质量损失率随时间的变化

Fig. 1 Changes in weight loss of ponkan during storage

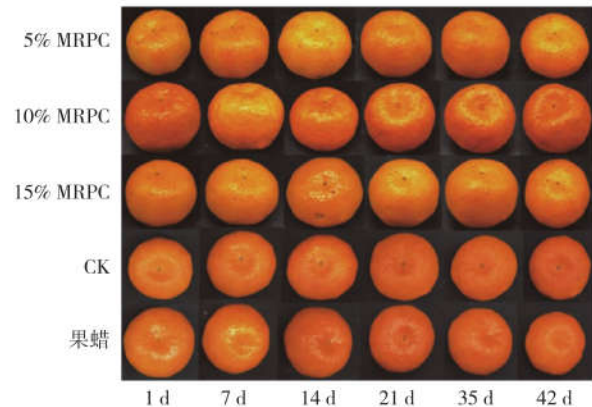


图 2 椪柑外观形态随时间的变化

Fig. 2 Changes in appearance of ponkan during storage

2.3 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间硬度的影响

硬度是影响果蔬质量的重要指标之一。在水果采后贮藏期间,果实软化是十分常见的现象。研究表明,多种细胞壁水解酶协同作用下的果胶物质降解和交联能力下降是导致果实软化的重要原因^[11],且在果实失水严重的情况下,果肉会因干瘪而造成果实硬度增大^[12]。

椪柑硬度随时间的变化见图 3。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,椪柑硬度先降低后增大。在第 7 天时,CK 组椪柑硬度急剧下降,与涂膜处理组均有显著差异($P<0.05$),而涂膜组下降缓慢;贮藏 7 d 之后,CK 组和涂膜处理组的椪柑硬度下降均

较为缓慢;贮藏时间达到 35 d 时,CK 组样因为严重失水而导致硬度急剧增加,10% 和 15% MRPC 处理的椪柑硬度也略微增大,但与 CK 组相比,幅度较小,5%MRPC 处理的椪柑硬度在 42 d 时才增大,这说明涂膜处理可抑制椪柑在贮藏期间硬度的变化。

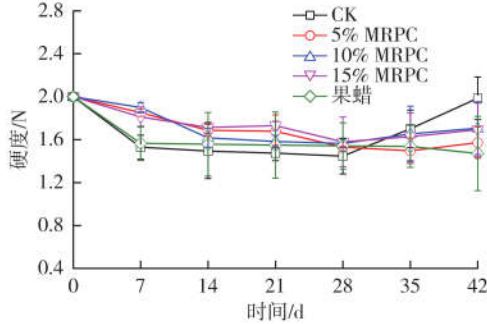


图 3 椪柑硬度随时间的变化

Fig. 3 Changes in hardness of ponkan during storage

2.4 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物主要成分是糖类,随着椪柑贮藏时间的增加,成熟度增加,糖分不断积累^[13],且可溶性固形物含量变化幅度越小,贮藏期越长。MRPC 涂膜处理对椪柑可溶性固形物含量的影响见图 4。由图 4 可知,在贮藏期间,CK 组椪柑可溶性固形物含量呈先上升后下降的趋势,于贮藏 35 d 达到峰值 11.48%,且显著高于 MRPC 涂膜处理组 ($P<0.05$),与果蜡组无明显差异 ($P>0.05$);当贮藏时间达到 35 d 时,CK 组样品的可溶性固形物含量开始下降,而不同涂膜处理组果实的可溶性固形物含量随着贮藏时间的延长均缓慢增长,说明涂膜能有效地抑制椪柑可溶性固形物的增长,延缓其成

熟,从而延长其货架期,且 5%MRPC 涂膜处理效果显著优于果蜡处理 ($P<0.05$)。

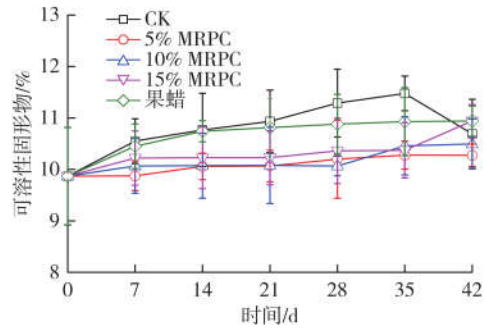


图 4 椪柑可溶性固形物含量随时间的变化
Fig. 4 Changes in soluble solid content of ponkan during storage

2.5 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间 SOD 活性的影响

SOD 是含金属辅基的酶,能够清除超氧自由基 ($\cdot O_2^-$),它与 CAT、POD 等酶协同作用,可防止活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的损害,从而减少自由基对有机体的毒害^[14]。

MRPC 涂膜处理对椪柑 SOD 酶活的影响见表 1。由表 1 可知,在椪柑贮藏期间,CK 组、5% 和 10%MRPC 处理组 SOD 活性呈先上升后下降的趋势,且 5% 和 10%MRPC 处理组椪柑 SOD 活性显著高于 CK 组 ($P<0.05$);15%MRPC 和果蜡涂膜处理组 SOD 活性呈缓慢上升的趋势,在贮藏前期与 CK 组无显著差异 ($P>0.05$),但在贮藏后期 SOD 活性明显高于 CK 组。这表明,涂膜能够较好地保持 SOD 的活性,减缓 SOD 活性降低,保持细胞内有较高的活性氧清除能力,从而抑制活性氧积累,减轻膜脂过氧化作用,保持了细胞膜结构的完整性^[15]。

表 1 椪柑 SOD 酶活随时间的变化

Table 1 Changes in superoxide dismutase activity of ponkan during storage

处理	不同时间 SOD 酶活						
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d
CK	7.30±0.45	7.49±0.00	7.58±0.46	7.85±0.21	8.51±1.50	8.06±0.35	7.46±0.04
5% MRPC	7.30±0.45	8.54±0.27	9.31±0.87	9.56±0.14	9.97±0.11	8.76±0.13	8.79±0.71
10% MRPC	7.30±0.45	8.69±0.37	9.60±0.08	8.03±0.07	7.69±0.24	8.56±0.07	8.93±0.25
15% MRPC	7.30±0.45	7.59±0.23	8.00±0.24	8.01±0.24	7.68±0.04	8.01±0.04	8.28±0.22
果蜡	7.30±0.45	7.74±0.19	7.42±0.23	7.58±0.31	7.90±0.37	7.79±0.68	8.16±0.64

2.6 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间 POD 活性的影响

POD 是常见于果蔬体内的一种重要的酶,与果蔬的许多生理过程和生化代谢过程密切相关。POD 能够清除活性氧自由基,减少其对细胞膜的伤害,对椪柑起到一定的保护作用^[16]。

MRPC 涂膜处理对椪柑 POD 酶活的影响见表 2。由表 2 可知,椪柑果实的 POD 活性在贮藏期间整体呈先上升后下降的趋势,CK 组、5% 和 10%MRPC 涂膜处理组 POD 活性在贮藏 7 d 时达到最大值,分别为 1.34, 2.04 和 4.52 U/g,且 5% 和 10%MRPC 涂膜处理组 POD 活性显著高于 CK

组 ($P < 0.05$); 15% MRPC 和果蜡涂膜处理组在第 21 天时达到最大值, 分别为 2.07 和 2.41 U/g, 有

效推迟了峰值的出现, 且显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。

表 2 椪柑 POD 酶活随时间的变化

Table 2 Changes in peroxidase activity of ponkan during storage

处理	不同时间 POD 酶活						
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d
CK	$0.79 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	$1.34 \pm 9.61 \times 10^{-3}$	$1.08 \pm 6.13 \times 10^{-2}$	$1.03 \pm 2.00 \times 10^{-2}$	$0.78 \pm 9.33 \times 10^{-3}$	$0.73 \pm 1.30 \times 10^{-2}$	$0.49 \pm 6.00 \times 10^{-3}$
5% MRPC	$0.79 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	$2.04 \pm 4.44 \times 10^{-2}$	$1.49 \pm 2.27 \times 10^{-3}$	$1.54 \pm 1.27 \times 10^{-2}$	$1.98 \pm 2.00 \times 10^{-3}$	$1.27 \pm 2.30 \times 10^{-2}$	$1.65 \pm 4.67 \times 10^{-3}$
10% MRPC	$0.79 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	$4.52 \pm 1.15 \times 10^{-1}$	$3.16 \pm 7.10 \times 10^{-2}$	$3.33 \pm 6.00 \times 10^{-3}$	$0.67 \pm 7.33 \times 10^{-3}$	$0.80 \pm 5.76 \times 10^{-3}$	$1.16 \pm 4.00 \times 10^{-3}$
15% MRPC	$0.79 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	$1.27 \pm 3.33 \times 10^{-3}$	$1.76 \pm 7.72 \times 10^{-3}$	$2.07 \pm 9.00 \times 10^{-3}$	$0.97 \pm 2.61 \times 10^{-2}$	$1.26 \pm 2.05 \times 10^{-2}$	$1.07 \pm 3.53 \times 10^{-2}$
果蜡	$0.79 \pm 4.16 \times 10^{-3}$	$1.54 \pm 5.47 \times 10^{-2}$	$0.78 \pm 3.11 \times 10^{-2}$	$2.41 \pm 8.46 \times 10^{-3}$	$0.91 \pm 1.41 \times 10^{-2}$	$0.82 \pm 8.00 \times 10^{-3}$	$1.28 \pm 6.43 \times 10^{-3}$

2.7 不同质量分数 MRPC 处理对椪柑贮藏期间 CAT 活性的影响

CAT 属于血红蛋白酶, 能催化植物体内积累得到过氧化氢分解为水和分子氧, 从而减少 H_2O_2 对果蔬组织可能造成的氧化伤害^[17]。

MRPC 涂膜处理对椪柑 CAT 酶活的影响见表 3。由表 3 可知, 在椪柑贮藏过程中, CAT 酶活呈先上升后下降的趋势。贮藏至 21 d 时, CK 组、10% 和 15% MRPC 和果蜡涂膜处理组均出现酶活最高峰, 贮藏至 42 d 时, CK 组椪柑酶活为 0.74 U/g, 而

10% 和 15% MRPC 及果蜡涂膜处理组酶活分别为 1.28, 1.33 和 0.96 U/g, 显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 且 10% 和 15% MRPC 处理组椪柑 CAT 活性均显著高于果蜡组 ($P < 0.05$); 5% MRPC 涂膜处理组椪柑在 35 d 时出现酶活最高峰, 在贮藏至 42 d 时, 酶活降至 1.40 U/g, 显著高于 CK 组及果蜡组 ($P < 0.05$)。不同浓度 MRPC 涂膜处理组在贮藏后期酶活性差异不显著 ($P > 0.05$), 却显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 说明 MRPC 涂膜有效地保持了较高的 CAT 酶活性, 从而减轻了自由基对果肉组织的伤害。

表 3 椪柑 CAT 酶活随时间的变化

Table 3 Changes in catalase activity of ponkan during storage

处理	不同时间 CAT 酶活						
	0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d
CK	$1.14 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$0.95 \pm 1.33 \times 10^{-2}$	$1.17 \pm 3.77 \times 10^{-2}$	$1.53 \pm 1.66 \times 10^{-2}$	$0.93 \pm 6.28 \times 10^{-2}$	$1.18 \pm 4.53 \times 10^{-2}$	$0.74 \pm 8.24 \times 10^{-2}$
5% MRPC	$1.14 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.27 \pm 5.48 \times 10^{-2}$	$1.15 \pm 2.18 \times 10^{-2}$	$1.68 \pm 4.36 \times 10^{-2}$	$1.72 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.74 \pm 6.77 \times 10^{-2}$	$1.40 \pm 9.07 \times 10^{-2}$
10% MRPC	$1.14 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.12 \pm 7.54 \times 10^{-2}$	$1.03 \pm 1.33 \times 10^{-2}$	$1.40 \pm 3.33 \times 10^{-2}$	$1.12 \pm 3.77 \times 10^{-2}$	$1.32 \pm 1.33 \times 10^{-2}$	$1.28 \pm 5.76 \times 10^{-2}$
15% MRPC	$1.14 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.21 \pm 3.33 \times 10^{-2}$	$1.53 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.58 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.33 \pm 2.17 \times 10^{-2}$	$1.27 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.33 \pm 2.18 \times 10^{-2}$
果蜡	$1.14 \pm 1.26 \times 10^{-2}$	$1.19 \pm 2.51 \times 10^{-2}$	$1.09 \pm 4.36 \times 10^{-2}$	$1.44 \pm 5.63 \times 10^{-2}$	$1.23 \pm 3.78 \times 10^{-2}$	$0.80 \pm 4.36 \times 10^{-2}$	$0.96 \pm 2.67 \times 10^{-2}$

2.8 椪柑果皮表面微观形态

不同质量分数 MRPC 处理和 CK 组椪柑的果皮表面微观形态见图 5。椪柑表皮的气孔是果实与外界环境进行气体交换以及果实蒸腾作用的途径, 也

是微生物的侵入位点^[18]。图中显示 CK 组椪柑的果皮表面有较为明显的气孔存在, 且表面较皱; 而涂膜处理组椪柑的表面较为平滑且无明显气孔。这表明不同质量分数的 MRPC 涂膜均可抑制果实的蒸腾作用, 阻止外界微生物侵入, 同时能够维持椪柑自身的代谢活动, 延缓其成熟速度, 从而达到贮藏保鲜的效果。这与秦海容等^[19]的研究结果一致。

3 结 论

1) MRPC 的重金属含量合格, 耐热大肠菌群、金黄色葡萄球菌及铜绿假单胞菌均未被检出; 急性经口毒性属实际无毒级。

2) 与 CK 组相比, MRPC 涂膜处理的椪柑能够显著减少质量损失率。当贮藏至 42 d 时, 经 5%、10% 和 15% 处理后的椪柑质量损失率分别比 CK 组低 38.67%、28.73% 和 15.48%; 且不同质量分数

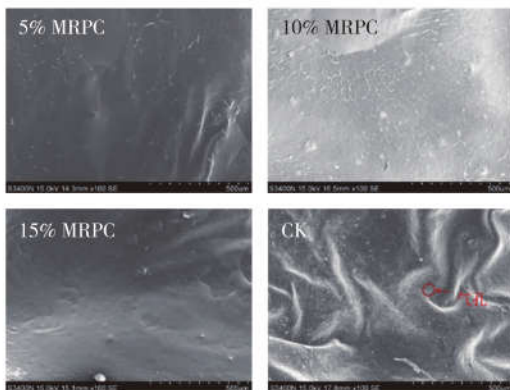


图 5 椪柑果皮表面微观形态

Fig. 5 SEM images of ponkan with different treatments during storage

MRPC 涂膜保鲜剂均可保持果皮硬度以及减少可溶性固形物的生成。

3) 经 5%、10% 和 15% MRPC 保鲜剂涂膜处理的椪柑,具有较高的 POD、SOD 和 CAT 活性。当贮藏至 42 d 时,其 SOD 酶活分别为 8.79、8.93 和 8.28 U/g,POD 酶活分别为 1.65、1.16 和 1.07 U/g,CAT 酶活分别为 1.40、1.28 和 1.33 U/g,均显著高于 CK 组,说明 MRPC 保鲜剂涂膜处理的椪柑可有效减少代谢产物的危害。

4) 与市售保鲜剂果蜡相比,MRPC 涂膜处理的椪柑可有效抑制硬度和可溶性固形物含量的变化,维持 SOD、POD 和 CAT 酶活。这说明 MRPC 在水果保鲜领域具有较好的应用潜力。

参考文献(References):

- [1] 杨焱. 多种糖分处理对柑橘果实品质的影响[D]. 湘潭:湘潭大学, 2014.
YANG Y. Effects of several sugar coating on quality of citrus fruit [D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2014.
- [2] DUAN J L. Application of chitosan based coating in fruit and vegetable preservation: a review[J]. Journal of Food Processing & Technology, 2013, 4(5): 1-5. DOI: 10.4172/2157-7110.1000227.
- [3] YUE T T, LI X, WANG X X, et al. Electrospinning of carboxymethyl chitosan/polyoxyethylene nanofibers for fruit fresh-keeping[J]. Nanoscale Research Letters, 2018, 13(1): 239. DOI:10.1186/s11671-018-2642-y.
- [4] 王琳琳, 陈小鹏, 刘幽燕, 等. 松香树脂酸的单离与应用[J]. 化工进展, 2005, 24(11): 1301-1305. DOI:10.3321/j.issn:1000-6613.2005.11.022.
WANG L L, CHEN X P, LIU Y Y, et al. Isolation and application of rosin acids[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2005, 24(11): 1301-1305.
- [5] 高宏, 许嘉琳, 姚姝凤, 等. 一种松香基被膜剂的制备及果蔬保鲜性能初探[J]. 化学研究与应用, 2018, 30(11): 37-43. DOI:10.3969/j.issn.1004-1656.2018-11-007.
GAO H, XU J L, YAO S F, et al. Preparation and fresh-keeping properties to fruit and vegetable of rosin-based coating agent[J]. Chemical Research and Application, 2018, 30(11): 37-43.
- [6] NIU X, LIU Y T, SONG Y, et al. Rosin modified cellulose nanofiber as a reinforcing and co-antimicrobial agents in poly(lactic acid)/chitosan composite film for food packaging[J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 183: 102-109. DOI:10.1016/j.carbpol.2017.11.079.
- [7] CHANCE B, MAEHLY A C. Assay of catalases and peroxidases [M]//Methods in Enzymology. Amsterdam: Elsevier, 1955: 764-775. DOI:10.1016/s0076-6879(55)02300-8.
- [8] CHEN C, HU W Z, HE Y B, et al. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 126-131. DOI:10.1016/j.postharvbio.2016.01.001.
- [9] 孙雯, 宋淑亚, 罗仁仙, 等. 采收期对青皮核桃抗氧化特性及耐贮性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 290-296. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201410054.
SUN W, SONG S Y, LUO R X, et al. Effects of harvest stage on antioxidant property and storability of green walnut fruits[J]. Food Science, 2014, 35(10): 290-296.
- [10] 王莉, 张平, 王世军. 微型减压设施对大枣贮藏失重率的影响[J]. 保鲜与加工, 2004, 4(2): 26-28. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2004.02.012.
WANG L, ZHANG P, WANG S J. Effect of mini-hypobaric facility on storage weight loss from dongzao jujube[J]. Preservation and Processing, 2004, 4(2): 26-28.
- [11] 杨松夏, 吕恩利, 陆华忠, 等. 不同保鲜运输方式对荔枝果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 225-232. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.10.028.
YANG S X, LYU E L, LU H Z, et al. Effects of different fresh-keeping transportation modes on quality of litchi fruit[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 225-232.
- [12] 马佳佳, 隋思瑶, 丁青青, 等. 低 O₂ 高 CO₂ 对常温贮藏白玉石榴品质及活性氧代谢的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(5): 1089-1096. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2018.05.023.
MA J J, SUI S Y, DING Q Q, et al. Effects of lower O₂ higher CO₂ gas component on qualities and active oxygen metabolism of Baiyu loquat stored at room temperature [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(5): 1089-1096.
- [13] 宫阔, 何梦雪, 于希良, 等. 羧甲基壳聚糖涂膜对山竹保鲜的研究[J]. 现代食品, 2018(5): 43-45. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2018.05.016.
GONG G, HE M X, YU X L, et al. Study on the preservation of mangosteen by carboxymethyl chitosan coating[J]. Modern Food, 2018(5): 43-45.
- [14] 张蓓, 冯叙桥, 韩鹏祥, 等. 蜂胶/纳米 SiO₂ 复合涂膜对圣女果成熟与衰老过程中相关酶活性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(2): 159-165. DOI:10.16429/j.1009-7848.2016.02.023.
ZHANG B, FENG X Q, HAN P X, et al. Effect of propolis/nano-silica composite coating on activities of ripening and senescence related enzymes in cherry tomato fruits[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(2): 159-165.
- [15] 王丽霞, 钟海雁, 赵红梅, 等. 天草果实壳聚糖涂膜保鲜贮藏效果的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 757-760. DOI: 10.3321/j.issn:1002-6630.2006.12.199.
WANG L X, ZHONG H Y, ZHAO H M, et al. Study on the effect of citrus Tian-cao coated by chitosan on fresh-keeping[J]. Food Science, 2006, 27(12): 757-760.
- [16] 田春莲, 黄荣芳. 红地球葡萄壳聚糖保鲜处理的生理活性研究[J]. 食品科学, 2005, 26(8): 425-430. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2005.08.111.
TIAN C L, HUANG R F. Study on physiological activities of red globe grape by chitsoan [J]. Food Science, 2005, 26(8): 425-430.
- [17] 熊亚波, 颜静, 刘继, 等. 不同涂膜剂处理对汉源蜜橘贮藏效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(4): 21-25. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2015.04.005
XIONG Y B, YAN J, LIU J, et al. Research of different coating treatments on storage effect of Hanyuan mandarin [J]. Preservation & Processing, 2015, 15(4): 21-25.
- [18] 马巧利. 2,4-二氯苯氧乙酸保鲜柑橘果实采后品质机理[D]. 武汉:华中农业大学, 2014.
MA Q L. Mechanism underlying 2,4-dichlorophenoxyacetic acid maintaining citrus fruit postharvest quality[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [19] 秦海容, 徐丹, 刘琴. 壳聚糖复合涂膜的微形貌变化及其对红桔的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(2): 233-239. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.014823.
QIN H R, XU D, LIU Q. Morphologies changes of chitosan composite coating and effects on preservation of tangerine[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(2): 233-239.

(责任编辑 梁辉)