

邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑贮藏品质的影响

蔡智敏, 颜珲, 黄 和, 钟赛意, 何俊杰, 李映志, 刘 海

Effect of O-Phenyl Phenol Coating on Storage Quality of Postharvest Gonggan Citrus

CAI Zhimin, YAN Huilin, HUANG He, ZHONG Saiyi, HE Junjie, LI Yingzhi, and LIU Hai

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021070364>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

魔芋葡甘露聚糖-壳聚糖复合涂膜对北碚447锦橙贮藏品质的影响

Effect of Konjac Glucomannan Combined Chitosan Coating on Storage Quality of Beibei 447 (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Jinchengbeibei 447)

食品工业科技. 2019, 40(8): 241-246

百里香酚/海藻酸钠膜对茄梨贮藏品质的影响

Effect of Thymol/Sodium Alginate Coating on the Storage Quality of Clapp Favorite Pear Fruit

食品工业科技. 2020, 41(4): 229-233,241

赤霉素处理对南果梨贮藏品质的影响

Effects of gibberellic acid treatment on storage quality of Nanguo pear

食品工业科技. 2017(24): 282-286

不同脱涩处理对中田大山楂采后贮藏品质的影响

Effects of Different Deastringent Treatments on the Quality of Postharvest Zhongtian Hawthorn

食品工业科技. 2021, 42(17): 316-325

1-甲基环丙烯对蓝靛果贮藏品质的影响

Effect of 1-Methylcyclopropene on the Storage Quality of *Lonicera caerulea* L.

食品工业科技. 2021, 42(19): 321-328

1-MCP处理对花红采后常温贮藏品质的影响

Effect of 1-MCP Treatment on Postharvest Quality of *Malus asiatica* Stored at Room Temperature

食品工业科技. 2020, 41(21): 286-292



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

蔡智敏, 颜琿璘, 黄和, 等. 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 327–334. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070364

CAI Zhimin, YAN Huilin, HUANG He, et al. Effect of O-Phenyl Phenol Coating on Storage Quality of Postharvest Gonggan Citrus[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(6): 327–334. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070364

· 贮运保鲜 ·

邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑贮藏品质的影响

蔡智敏¹, 颜琿璘¹, 黄和¹, 钟赛意¹, 何俊杰¹, 李映志², 刘 海^{1,*}

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东省亚热带果蔬加工现代农业科技创新中心, 广东湛江 524088;

2. 省级现代农业(热带特色园艺)产业技术研发中心, 广东湛江 524088)

摘要:为延长贡柑贮藏期, 探究邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实的保鲜效果, 本研究以采后德庆贡柑果实为实验材料, 研究了 0.2% 浓度邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑在常温贮藏期间果实品质的影响, 观察和测定了贮藏期间果实的腐烂率、硬度、可滴定酸(TA)、可溶性固形物(TSS)、维生素 C(V_C)、细胞膜的通透性、丙二醛(MDA)以及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性。结果表明, 对照果在第 6 d 就开始腐烂, 而 0.2% 邻苯基苯酚涂膜处理果实第 12 d 才开始腐烂, 并在贮藏后期处理组腐烂率明显低于对照组, 显著延长了采后贡柑的常温贮藏时间($P < 0.05$)。与对照相比, 经 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理能有效维持贡柑果实较高的 TA、TSS 和 V_C 的含量; 同时, 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理明显减缓了果实的软化, 降低了采后贡柑果实的失水率, 保持了较高的硬度。此外, 经 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理可有效维持果实组织中 SOD 和 CAT 活性在贮藏后期保持较高水平, 并减少丙二醛(MDA)的积累, 进而延缓果实组织细胞膜透性增加, 有效抑制采后贡柑果实品质的劣变。因此, 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理可作为有效的保鲜方式用于贡柑果实的采后保鲜。

关键词: 邻苯基苯酚, 贡柑, 果蜡涂膜, 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)06-0327-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070364



本文网刊:

Effect of O-Phenyl Phenol Coating on Storage Quality of Postharvest Gonggan Citrus

CAI Zhimin¹, YAN Huilin¹, HUANG He¹, ZHONG Saiyi¹, HE Junjie¹, LI Yingzhi², LIU Hai^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Modern Agricultural Science and Technology Innovation Center for Subtropical Fruit and Vegetable Processing, Zhanjiang 524088, China;

2. Provincial Modern Agriculture (Tropical Characteristic Horticulture) Industrial Technology R & D Center, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: In order to extend the storage time of Gonggan citrus and explore the preservation effect of o-phenyl phenol (OPP) combined with wax coating on postharvest Gonggan citrus fruit, Deqing Gonggan citrus fruit was used as test material to study effects of 0.2% OPP combined with wax coating on quality of postharvest Deqing Gonggan citrus fruit stored at room temperature, and decay rate, hardness, titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS), ascorbic acid (V_C), cell membrane permeability, malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) were measured during the storage time. The results showed that controlled fruit began to rot after 6 days of storage and fruit treated with 0.2%

收稿日期: 2021-08-03

基金项目: 国家自然科学基金(31271965); 广东省公益研究与能力建设专项资金(2015A020209165); 广东省高等教育“创新强校工程”(GDOU2013050244)。

作者简介: 蔡智敏(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬采后贮藏保鲜生理生化, E-mail: 2237211171@qq.com。

* 通信作者: 刘海(1971-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬采后贮藏保鲜生理生化, E-mail: liuhai1187@163.com。

OPP combined with wax coating began to rot after 12 days of storage, and decay rate of treated group was obviously slower than the controlled group during anaphase storage, as markedly extending storage time of postharvest Gonggan citrus at ambient temperature ($P<0.05$). Compared with the controlled fruit, the fruit treated with 0.2% OPP combined with wax coating maintained higher contents of TSS, TA and V_C . The treatment with 0.2% OPP coating obviously retarded fruit softening, reduced loss of water in fruit and kept higher hardness of fruit during storage. Furthermore, the result also indicated that the treatment with 0.2% OPP effectively maintained higher SOD and CAT activities of Gonggan citrus fruit during latter stage of storage, reduced MDA accumulation and delayed increment of fruit cell membrane permeability during storage compared with the control, thus, efficiently delayed quality deterioration of postharvest Gonggan citrus fruit during storage at room temperature. Therefore, the treatment with 0.2% OPP combined with wax coating could be used as an effective way to preserve the freshness of gonggan citrus fruit after harvest.

Key words: o-phenyl phenol; Gonggan citrus; wax coating; storage quality

贡柑 (*Citrus reticulata*, Gonggan) 又称“皇帝柑”、“贵妃橙”, 被中国果品流通协会授予“中华名果”荣誉称号。贡柑果实果形靓丽、色泽金黄、含有人体所需的糖类、维生素等营养物质, 具有肉质细嫩、易剥皮的双重优点。贡柑果实采后易受病菌侵染, 破坏果实组织结构, 导致腐烂变质。据不完全统计, 我国柑橘采后损失率在 20%~30%, 严重影响贡柑果实的市场供应和商品价值^[1]。因此, 针对贡柑果实的采后贮藏保鲜存在问题, 开发新型的、实用的保鲜技术, 减少贡柑果实采后的损失, 提高果农经济效益, 有利于促进贡柑产业的持续发展^[2]。

邻苯基苯酚(o-phenylphenol)又名 2-羟基联苯或 2-苯基苯酚, 为白色薄片或淡红色粉末, 微溶于水^[3]。美国环境保护局(EPA)允许美国企业将邻苯基苯酚作为生产防腐剂、保鲜剂等化工制品的成分^[4]。国际上对于果蔬中邻苯基苯酚的残留量规定不得多于 10~12 mg/kg^[5]。在农产品贮藏与加工方面, 邻苯基苯酚(OPP)主要作为高效广谱的杀菌防霉剂用于采后果蔬的防腐保鲜, 如葡萄、柠檬及番茄等果蔬的防腐保鲜^[6-9]。

果蜡涂膜保鲜技术是指利用果蜡涂膜在果实表面使其形成薄膜, 创造一个半封闭的环境, 达到减少果实内部水分蒸发、抑制果蔬成熟、延缓衰老的目的^[10-12]。为了让果蔬保鲜达到更好效果, 多方法联用是目前果蔬保鲜研究领域的研究热点^[3]。夏更寿等^[13]研究了 β -环糊精邻苯基苯酚包合物(β -CD-OPP)对瓯柑的保鲜作用, 发现 5‰的 β -CD-OPP 溶液作为缓释保鲜剂可有效减少水分和营养成分的损失, 并降低果实病变率。常虹等^[14]将壳聚糖、纳他霉素、石蜡三种保鲜液复合配比, 对皇帝柑涂膜保鲜。邻苯基苯酚结合果蜡复合涂膜法是利用邻苯基苯酚的防腐保鲜功能及果蜡可减少膜内外气体交换的作用, 从而降低果实的呼吸强度和相关酶活性, 减少营养物质损耗, 以延缓果实腐烂变质, 延长贮藏期^[15]。

目前, 利用邻苯基苯酚涂膜在果蔬保鲜方面的应用研究在国内外鲜有报道, 尤其针对贡柑果实方面。因此, 本文通过研究邻苯基苯酚涂膜处理对贡柑果实贮藏过程中品质和一些生理指标的影响, 以便于研发低成本、保鲜效果明显的新型保鲜剂, 同时有利

于促进邻苯基苯酚在其他果蔬贮藏保鲜方面的广泛应用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

德庆贡柑 采自广东省德庆县德庆果园, 采收成熟度为 7.5~8.5 分熟, 采收后立即送至实验室, 选取相对大小均匀、色泽一致的果实作为研究材料; 2, 6-二氯酚靛酚钠、PVP 西陇化工股份有限公司; 甘露醇、蔗糖 广州化学试剂厂; 氢氧化钠 分析纯, 天津科威公司; 硫代巴比妥酸 天津江天化工有限公司。其他均为国产分析纯试剂。

CF16R 高速冷冻离心机、UNIC 2800UV/VIS 紫外分光光度计 日立高新技术公司; GY-3 指针式水果硬度计 艾普计量仪器有限公司; HH-6 晶玻数显电子恒温水浴箱 上海一恒科学仪器有限公司; 手持糖度计 上海勃基仪器仪表有限公司; DDS-11A 电导仪 上海精密科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 邻苯基苯酚浓度的选择 邻苯基苯酚涂膜溶液配制按如下配比依次进行: 石蜡 200 g、巴西天然棕榈蜡 3 g、烷基磺酸钠 10 g、邻苯基苯酚(0.1%、0.2%、0.4%、0.8% 浓度)。取新鲜贡柑果实分别用 0% (只进行果蜡涂膜处理)、0.1%、0.2%、0.4% 和 0.8% 浓度(w/v)的邻苯基苯酚涂膜溶液对采后贡柑果实进行处理, 以未经任何处理的果实作为对照(CK), 每个处理设 3 个重复, 每个重复 15 个果, 一共需要 270 个果实, 晾干后于常温贮藏, 每隔 3 d 进行果实腐烂率调查和评估, 以确定最佳处理浓度。

1.2.2 贡柑的涂膜处理及贮藏实验 采用未经任何涂膜处理的果实作为对照, 以 0.2% 浓度的邻苯基苯酚涂膜对挑选好的果实进行处理, 晾干后用 0.015 mm 厚的聚乙烯薄膜保鲜袋填充, 于常温条件下(25 ℃)贮藏, 每隔 3 d 取样观察并进行指标测定, 每个处理设 3 个重复, 每个重复 15 个果, 总共需要 810 个果实。

1.2.3 测定指标

1.2.3.1 果实腐烂率的测定 参考 Cao 等^[16]的方法。依据果实腐烂部分占整个果实的表面积比例来划分腐烂的等级(如表 1)。

表 1 果实腐烂等级划分
Table 1 Grading of fruit decay

级别	分级标准
0级	无腐烂
1级	腐烂面积小于10%
2级	腐烂面积占10%~30%
3级	腐烂面积占30%~60%
4级	腐烂面积大于60%

果实腐烂率的计算公式:

$$\text{果实腐烂率}(\%) = \frac{\sum(\text{腐烂级数} \times \text{该级别果数})}{\text{最高腐烂级数} \times \text{检查果数}} \times 100$$

式 (1)

1.2.3.2 硬度的测定 用 GY-3 硬度计插穿果实, 读出硬度计数值, 即为果实硬度, 单位为 kg/cm²。

1.2.3.3 失重率 采用称重法测定贡柑减重率, 以果实损失重量占鲜果重百分比表示, 取整果称重^[17], 以百分率表示。

$$\text{果实失重率}(\%) = \frac{(\text{果实始重} - \text{失水后重量})}{\text{果实始重}} \times 100$$

式 (2)

1.2.3.4 可溶性固形物(TSS)测定 从 15 个贡柑果实中取 20 g 果肉组织, 榨汁处理, 用手持蔗糖仪测定果实组织 TSS 含量, 以百分率表示^[18]。

1.2.3.5 可滴定酸(TA)含量测定 采用酸碱滴定法测定^[19]。取上述果汁, 用蒸馏水定容摇匀静置过滤, 滴加酚酞, 用已标定的氢氧化钠进行滴定, 终点为粉色且 30 s 不褪色。做三次重复。

1.2.3.6 维生素 C 含量(V_C)测定 采用 2, 6-二氯酚靛酚钠盐滴定法测定^[20]。从 15 个贡柑果实中取 20 g 果肉组织, 榨汁处理, 用草酸溶液定容摇匀, 静置过滤, 用标定好的 2, 6-二氯酚靛酚进行滴定, 终点为微红色且 15 s 不褪色。做三次重复。

1.2.3.7 果皮细胞膜通透性的测定 膜透性的测定采用相对电导率法^[21]。用 DDS-11A 型电导率仪进行测定, 将切片组织用蒸馏水冲洗, 在 0.3 mol/L 甘露醇中静置, 测定电导率; 煮沸后冷却至室温, 再测定一次电导率。相对渗透率用前后两次电导率之比来表示。

1.2.3.8 MDA、SOD、CAT 含量测定 参考阚超楠等^[22]的测定方法。MDA 含量测定: 称取贡柑果皮 5 g, 用液氮处理后加 25 mL 10% 三氯乙酸匀浆, 5000×g 下离心 10 min, 吸取 1 mL 上清液, 加入 3 mL 0.5% 硫代巴比妥酸(用 10% 三氯乙酸配制), 沸水浴 20 min, 冷却定容至 4 mL, 分别测定 532 和 600 nm 处的光吸收值。

SOD 活性测定: 取贡柑果皮 2 g, 液氮磨碎, 然后加入 5 倍量 0.05 mol/L 的磷酸缓冲液(pH7.0)及 0.4 g PVP 进行匀浆, 接着 4 ℃ 下 20000 ×g 离心 15 min。

取上清液 0.05 mL, 然后加入 3 mL 含有 39.15 μmol 甲硫氨酸 (Met)、0.3 μmol EDTA、0.225 μmol 氮蓝四唑 (NBT)、0.006 μmol 核黄素 (以上试剂均用 pH7.8 的 0.05 mol/L 磷酸缓冲液配制) 反应液, 在 4000 lx 的光下反应 10 min, 然后测定 560 nm 处光吸收值, 以缓冲液代替酶液作空白, 以抑制光还原氮蓝四唑 50% 为一个酶活力单位。

CAT 活性测定: 取贡柑果皮 2 g, 先用液氮磨碎, 然后加入 5 倍量 0.05 mol/L 的磷酸缓冲液(pH7.0)进行匀浆, 于 4 ℃ 下 20000×g 离心 15 min, 收集上清液用于酶活性测定。3 mL 反应液含有 44.25 μmol H₂O₂(以 pH7.8 的 0.05 mol/L 磷酸缓冲液配制)和 0.05 mL 粗酶液, 在 240 nm 处测定光吸收值变化。酶活力单位定义为每分钟引起光吸收值变化 0.001 所需的酶量。

1.3 数据处理

采用 Excel 数据处理、Origin 2017 绘制图形、SPSS 19.0 软件进行显著性分析(*P*<0.05 表示差异显著)。所有试验重复 3 次, 实验结果取平均值, 并以(平均值±标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 邻苯基苯酚浓度的确定

从图 1 可知, 各处理组果实腐烂率均随着贮藏时间延长而升高。第 0~6 d, 单独果蜡涂膜处理组 and 不同浓度邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理组果实均未发生腐烂, 而对照组果实从第 6 d 开始发生腐烂, 腐烂率为 10%; 在第 9~12 d, 0.1%、0.4%、0.8% 邻苯基苯酚结合果蜡组均出现轻微腐烂现象, 而 0.2% 邻苯基苯酚涂膜处理组果实在此期间未发生腐烂, 且在贮藏后期 15~24 d 腐烂率一直保持低水平, 第 24 d 的腐烂率仅为 37%。经分析, 一方面可能由于邻苯基苯酚具有高效杀菌防腐能力, 另一方面可能是由于涂膜在果表面形成的高分子膜对细菌等微生物起到物理屏障作用, 抑制微生物生长发育及其病理性失

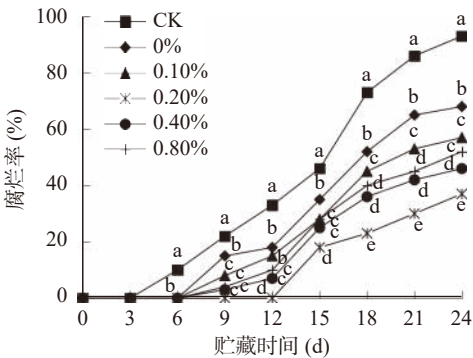


图 1 不同浓度邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实腐烂率的影响

Fig.1 Effects of wax coating treatment with different concentration of OPP on the decay rate of postharvest Gonggan citrus fruit

注: 不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05); 图 2~图 10 同。

水,从而降低了腐烂率。这与赵珊等^[23]在樱桃上的研究结果一致;郑福庆等^[24]研究结果表明了保持贡柑果实表面清洁是防腐保鲜的关键。由此可知,经邻苯基苯酚结合果蜡处理的果实比空白对照组和果蜡处理组更不易腐烂,其中以0.2%邻苯基苯酚涂膜处理为最佳,所以选取0.2%邻苯基苯酚涂膜处理进行后续实验。

2.2 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实硬度的影响

硬度是衡量果蔬品质变化程度的重要指标^[22]。如图2所示,整个贮藏期间,处理组果实硬度明显高于对照组果实硬度。采后3~6 d处理组果实硬度下降幅度为8.44%,高于空白对照组的10.70%。处理组果实在6到24 d中硬度指标下降平缓,硬度仅降低0.163 kg/cm²,空白对照组6到18 d下降平缓,下降幅度为17.24%,第18 d起开始大幅度下降,18到24 d下降幅度为25%,进入二次速降期,可能是因为果实达到衰老期,细胞壁中胶层的基质崩溃,果胶在果胶酶的作用下大幅度分解,细胞大量游离,因此硬度二次速降。以上表明0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理明显减缓了果实采后硬度的软化速率,有效维持了贮藏后期贡柑果实的硬度。

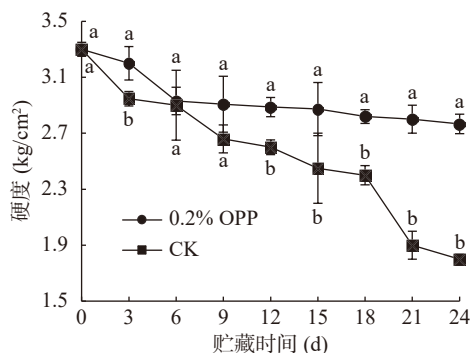


图2 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实硬度的影响

Fig.2 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the hardness of postharvest Gonggan citrus fruits

2.3 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实失重率的影响

水分蒸发是导致果实失重及品质降低的关键因素之一^[25]。从图3可知,处理组果实和对照组果实在贮藏期间果实的失重比例均不断增加,增速不同。赵珊等^[23]认为可能是果蔬自身贮存能量可维持短期呼吸所导致的。第6 d开始,对照组果实的失重率显著高于0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理组($P < 0.05$)。对照组在第3~15 d,失重率迅速增加,平均每3 d的失重率为1.42%,15~24 d失重率减缓,处于平稳状态,最终失重率为7.50%。在贮藏0~12 d内,经0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理的果实处于失重率的平缓增长期,失重率相对水平较低,这可能是由于邻苯基苯酚涂膜液在果实表面形成薄膜,减轻

果实内部蒸腾作用及水分代谢。这与徐呈祥等^[17]研究结果一致。从12 d开始,处理果的失重率逐渐增加,但显著低于对照组($P < 0.05$),因此,0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有效维持了贮藏后期贡柑果实的水分含量,保证了果实的正常代谢水平。

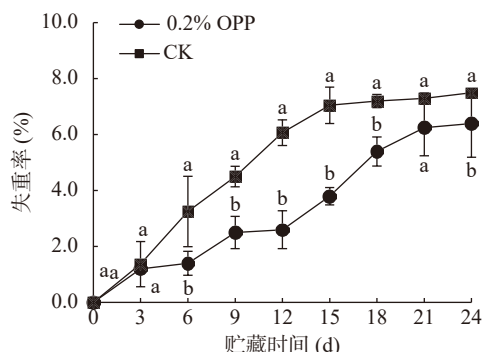


图3 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实失重率的影响

Fig.3 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the weightlessness rate of postharvest Gonggan citrus fruits

2.4 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实可溶性固形物的影响

可溶性固形物的含量是检测果蔬贮藏品质的指标之一,其含量反映着果实组织中糖和其他固形物含量的多少,决定着细胞组织的保水能力。可溶性固形物含量越高,保水力越强,因为高含量的可溶性固形物能增加细胞的渗透压,根据细胞渗透原理,可有效避免其免水分渗透至细胞壁外^[23]。如图4所示,处理组果实在贮藏过程中果实可溶性固形物含量均呈先上升后下降的趋势;对照组果实的含量在0~6 d内快速增加,说明果实在此阶段里快速成熟;在6~18 d内对照组可溶性固形物持续降低,之后趋于稳定,在18~24 d内 TSS 含量显著低于处理果($P < 0.05$)。处理组果实的可溶性固形物含量在贮藏前期上升过程比较缓慢,第3 d开始逐步增加,到第15 d达到峰值,说明其在此阶段中果实逐渐成熟,且果实经邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有效推迟了成熟时间,达到保鲜效果,并维持着 TSS 较高含量。余易琳等^[26]、

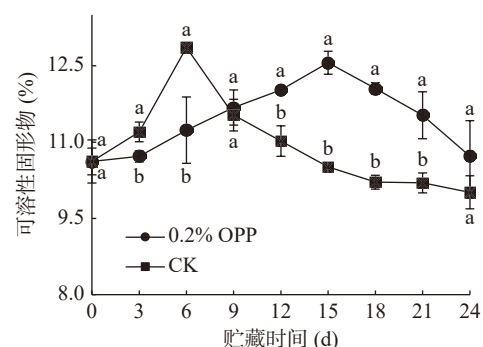


图4 0.2%邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实可溶性固形物的影响

Fig.4 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the soluble solids of postharvest Gonggan citrus fruits

杨雅景等^[25]认为是由于涂膜法阻止了果实直接与空气接触,减缓氧气的进入,在果实内部形成低 O_2 高 CO_2 的气体条件从而降低果实呼吸代谢作用,减慢物质消耗所导致。由此可知,0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有效保持了采后贡柑果实的品质,保鲜效果明显。

2.5 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实可滴定酸含量的影响

图 5 试验结果表明,处理组和对照组果实的可滴定酸含量在整个贮藏期间均不断上升。在贮藏期间,对照组果实的可滴定酸含量呈持续上升趋势;而 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理组的果实,其可滴定酸含量在第 0~3 d 有所下降,可能是由于贮藏前期有机酸一部分作为呼吸基质被用作呼吸底物消耗,另一部分被机体转化为糖分储存体内,因此导致其含量下降。第 6 d 后处于一个缓慢的增长过程,到 21 d,处理果实的可滴定酸含量为 14.70 mg/100 g,而对照果则在第 21 d 达到最高值,为 17.23 mg/100 g,之后有所下降。说明 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有效抑制了果实组织细胞的呼吸作用,减少了糖的降解,抑制了酸的积累,从而有效保持了贡柑果实的原有风味。

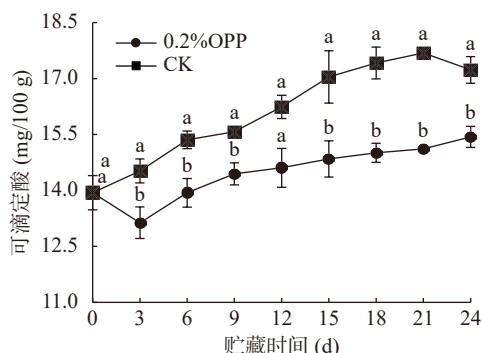


图 5 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实可滴定酸含量的影响

Fig.5 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the titratable acid content of postharvest Gonggan citrus fruits

2.6 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实维生素 C 含量的影响

维生素 C (V_C) 是一种可清除果实内活性氧的重要抗氧化剂,对延缓果实衰老具有积极作用^[27-28]。由图 6 可知,在 0~6 d,处理组果实与对照组果实的 V_C 含量虽稍有下降,但不明显,两者相差较小。但从第 6 d 开始,对照果的 V_C 含量出现一个迅速下降的过程,到第 15 d, V_C 含量共下降了 11.5 mg/100 g,下降幅度为 33.33%,第 15 d 后,对照果的 V_C 含量保持不变,在 22~23 mg/100 g 波动。然而,处理果的 V_C 含量在 0~15 d 里依然处于一个相对平稳的高水平状态,到第 15 d 后出现一个明显下降过程,可能由于随着果实成熟还原型较强的抗坏血酸被氧化所导致,但其 V_C 含量依然明显比对照高 ($P < 0.05$)。综上

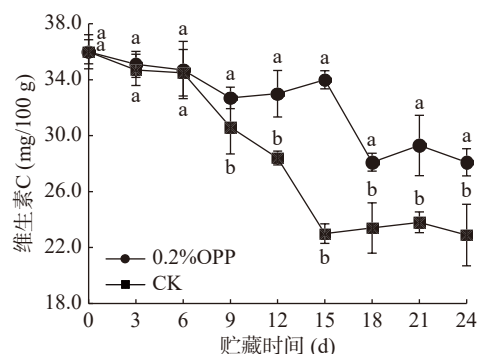


图 6 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实维生素 C 含量的影响

Fig.6 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the content of vitamin C in postharvest Gonggan citrus fruits

所述,0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理能够延缓贡柑果实中维生素 C 的损失,稳定维持果实的抗氧化能力,维护了果实的品质。

2.7 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实膜透性的影响

膜透性的增加是细胞膜损伤的重要标志。果蔬组织后熟衰老过程中,细胞质膜功能下降,膜透性增加,细胞内电解质向外渗漏,导致相对电导率上升^[29]。如图 7 所示,随着贮藏时间延长,处理果和对照果组织细胞的相对电导率变化都表现出逐步上升的趋势,但对照组上升速率明显快于处理组,这是因为对照果实细胞膜被破坏,导致膜透性增加。这与袁仲玉等^[30]研究结果一致。在 0~9 d,两组对照样品的细胞膜通透性较接近,在第 9~18 d,对照组果实的细胞膜通透性增加较快,明显高于处理组果实;而 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理过的果实膜透性在低水平内波动,呈缓慢增长趋势。说明 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理能有效延缓果实膜透性增加,维持细胞膜选择透过作用,保证细胞内部电解质水平。

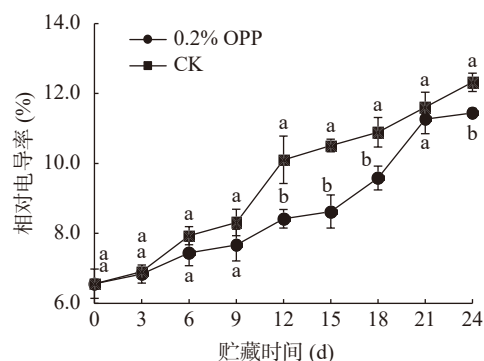


图 7 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后贡柑果实膜透性的影响

Fig.7 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on membrane permeability of postharvest Gonggan citrus fruit

2.8 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实果皮 MDA 含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的主要产物之

一,MDA 的积累会对果蔬细胞质膜和细胞器造成伤害^[31]。由图 8 可知,处理果与对照果 MDA 的含量在整个贮藏过程中均呈现持续上升状态,但 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理果实的 MDA 含量明显低于对照组。在贮藏初期,两试验组的 MDA 含量均稳定在较低水平,在贮藏前 6 d,处理组 MDA 含量呈先下降再缓慢上升的状态,而对照果实出现出一个持续往上升的趋势。第 12 d 以后处理果 MDA 含量出现一个跃升,第 21 d 接近对照果水平。而对照果 MDA 含量一直缓慢上升,在整个贮藏期间都高于处理组果实。可知贡柑果实经 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有效抑制了 MDA 的大量积累,从而减缓了细胞膜过氧化作用,维持了细胞膜正常的功能作用和结构完整性。这与袁仲玉等^[30]的研究结果相似。

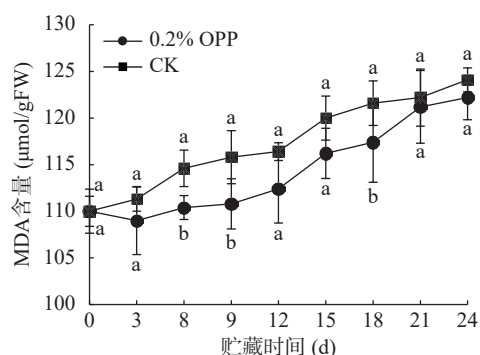


图 8 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实 MDA 含量的影响

Fig.8 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on the MDA content of postharvest Gonggan citrus fruit

2.9 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实果皮 SOD 活性的影响

超氧化物歧化物(SOD)能清除果实细胞组织衰老过程中产生的超氧自由基,维持自由基产生和清除的动态平衡,进而延缓果实组织衰老^[32-33]。从图 9 可以看出,随着贮藏时间延长,对照组果实 SOD 活性在前 6 d 快速下降,然后处于平缓下降过程;而处理果的 SOD 活性则在前 6 d 逐步下降,之后呈上升趋势。

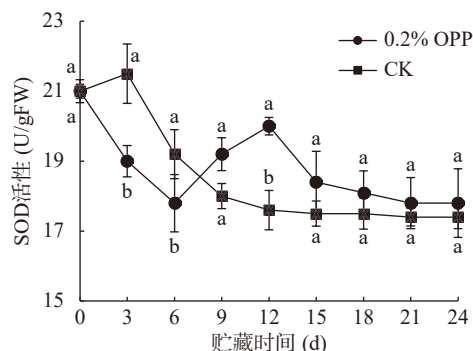


图 9 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实 SOD 活性的影响

Fig.9 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on SOD activity of postharvest Gonggan citrus fruit

趋势,在第 12 d 达到峰值,然后逐步下降,可能是由于 $O_2\cdot$ 和 H_2O_2 过量生成,超出了防御系统的抵御消除能力,导致 SOD 酶的损伤。相似现象在詹丽娟等^[34]利用壳聚糖对南湖菱果实涂膜保鲜研究中也见报道。处理果的 SOD 活性在贮藏第 12~15 d,明显高于对照组的果实。结果说明 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理有利于维持果实中 SOD 活性,SOD 酶将 $O_2\cdot$ 歧化成 H_2O_2 和 H_2O ,保证细胞内活性氧清除能力,抑制活性氧的积累从而延缓果实衰老。

2.10 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实果皮 CAT 活性的影响

CAT(过氧化氢酶)普遍存在于果蔬组织中,是植物体内的一种氧化还原酶,CAT 是果实后熟衰老过程中重要的保护酶,可有效清除自由基,保护细胞膜结构^[35]。如图 10 所示,处理组果实与对照组果实的 CAT 活性都呈先上升后下降趋势。其中,对照组果实的 CAT 活性在第 9 d 到达峰值,随后开始下降,到第 21 d 下降趋势开始减缓;而 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理果实的 CAT 活性在第 12 d 达到峰值,比对照果延缓了 3 d,然后逐步下降到 1.39 U/gFW。第 12~24 d,处理果的 CAT 活性明显高于对照果。综上所述,0.2% 苯基苯酚涂膜处理能够延缓贡柑果实 CAT 活性的降低从而提高贡柑对逆境胁迫的抵抗能力,维持果实细胞的抗氧化活性,从而有效减缓果实的衰老过程。

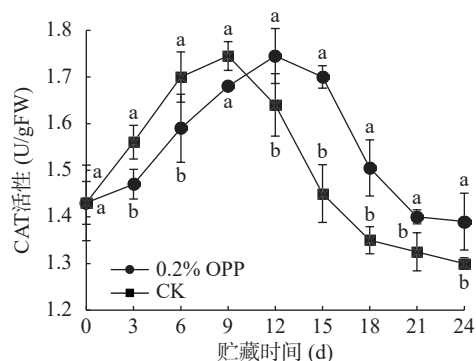


图 10 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理对采后果实 CAT 活性的影响

Fig.10 Effect of wax coating treatment with 0.2% OPP on CAT activity of postharvest Gonggan citrus fruit

3 讨论与结论

采后的贡柑果实容易受到青绿霉菌的感染,造成果实的腐烂和品质劣变。本研究发现,在常温贮藏期间,0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理的果实从第 12 d 才开始腐烂,对比于对照组果实第 6 d 出现腐烂现象,显著延长了贡柑的贮藏时间($P<0.05$)。在贮藏后期,处理果的腐烂率仅为对照组果实的 50% 左右。此外,处理果的抗坏血酸、可滴定酸、硬度、可溶性固形物等营养物质含量明显高于对照组;同时,处理果实的软化和失重率也得到较好控制,从而使贡柑果实表现出较好的新鲜度。果实内部生理生

化指标变动一方面是由于外部致病菌的作用导致; 另一方面是由于果实内部的呼吸代谢, 水分代谢作用使得果实的营养物质被消耗所导致。邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理可有效维护果实的品质, 其原因可能有两个方面, 其一邻苯基苯酚具有高效杀菌防腐能力, 可抑制微生物的生长繁殖发育, 降低腐烂率, 延长货架期; 其二涂膜果蜡可以在果实表面形成一层半透膜, 阻止果实内外气体交换, 由于果实本身的呼吸作用而造成果实处于高 CO_2 低 O_2 的环境, 适当高浓度的 CO_2 和低浓度的 O_2 可抑制果实的呼吸作用。同时, 呼吸作用的减弱, 可抑制果实的成熟和衰老, 有效地延缓果实软化, 延长贮藏期。SOD 和 CAT 是植物体内清除超氧自由基和 H_2O_2 活性氧的两种防御酶, 在正常情况下, 植物体内活性氧的产生和清除处于平衡状态, 但植物在逆境或衰老情况下, 植物组织细胞内活性氧的代谢平衡被破坏, 导致细胞内超氧自由基和 H_2O_2 积累, 从而引起细胞膜脂发生过氧化反应, 破坏细胞膜结构, 使膜透性增加, 加快细胞衰老^[36-37]。本研究发现, 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理能有效维持了贡柑果实中 SOD 和 CAT 的活性, 使处理组果实组织细胞膜过氧化产物 MDA 的含量明显下降, 减少了果实中 MDA 的积累, 防止果实组织细胞膜脂发生过氧化反应, 从而减少了细胞膜渗透性增加, 维持了果实细胞膜结构的完整性, 延缓了采后贡柑果实衰老, 降低采后果实品质的劣变。对于邻苯基苯酚在采后果蔬保鲜的残留量, 夏更寿等^[13] 研究发现经 0.5% 邻苯基苯酚溶液处理瓯柑, 其最后残留量仅为 4.20 mg/kg, 低于国内外安全标准 (10 mg/kg), 而本研究采用 0.2% 浓度的邻苯基苯酚溶液, 远低于夏更寿等的处理浓度, 所以最后残留量应低于国内外安全标准, 食用安全放心, 不会对机体造成伤害。综上所述, 0.2% 邻苯基苯酚结合果蜡涂膜处理可作为贡柑果实采后保鲜的有效措施。本研究可为邻苯基苯酚结合果蜡复合涂膜处理在贡柑果实采后贮藏保鲜的应用研究提供了理论依据。

参考文献

- [1] 孙婕, 尹国友, 王博文, 等. 3 种精油与壳聚糖复合涂膜对贡柑保鲜效果[J]. 食品工业, 2020, 41(11): 157-161. [SUN J, YIN G Y, WANG B W, et al. The effect of three essential oils and chitosan on the preservation of tribute tangerine[J]. Food Industry, 2020, 41(11): 157-161.]
- [2] 徐呈祥. 基于 CNKI 我国贡柑研究进展分析[J]. 广东农业科学, 2015, 42(23): 86-90. [XU C X. Bibliometric analysis on progress in research of 'Gonggan' (*Citrus reticulata* Blanco) based on CNKI[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(23): 86-90.]
- [3] KOLBE N, ANDERSSON J T. Simple and sensitive determination of o-phenylphenol in citrus fruits using gas chromatography with atomic emission or mass spectrometric detection[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(16): 5736-5741.
- [4] ADAMS R E, BRICKEL J A, BHAT V S. Chemical-specific maximum allowable levels for pesticide residues in dietary supplements[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 123: 511-519.
- [5] 艾尔肯·依不拉音, 李明, 李兴, 等. 乌鲁木齐市市场水果、蔬菜中防腐剂联苯、邻苯基苯酚和噻苯咪唑的残留分析[J]. 食品与发酵工业, 2007(2): 128-132. [AI E K, LI M, LI X, et al. The residue analysis of preservatives diphenyl, 2-phenylphenol and thiabendazole in fruits and vegetables in urumqi market[J]. Food and Fermentation Industry, 2007(2): 128-132.]
- [6] 李世艳, 鲁佳, 郭庆. 全自动凝胶净化-气相色谱质谱联用法测定水果中邻苯基苯酚和增效醚的残留量[J]. 现代农业科技, 2019(5): 103-105. [LI S Y, LU J, GUO Q. Simultaneous determination of o-phenylphenol and piperonyl butoxide in fruits by automatic gel purification-gas chromatography-mass spectrometry[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(5): 103-105.]
- [7] ITO Y, GOTO T, OKA H, et al. Simple and rapid determination of thiabendazole, imazalil, and o-phenylphenol in citrus fruit using flow-injection electrospray ionization tandem mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2003, 51(4): 861-866.
- [8] LAN Y, AKIRA K, HIDEKI H, et al. Determination of ortho-phenylphenol residues in lemon rind by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection using a microbore column; original papers[J]. Analytical Sciences, 2004, 20(1): 199-203.
- [9] NATSUMI H, KYOKO M, EMIKO T, et al. Effects of the fungicide ortho-phenylphenol (OPP) on the early development of sea urchin eggs[J]. Marine Environmental Research, 2019, 143: 24-29.
- [10] 张丹丹, 杨绍兰, 吴昊, 等. 壳聚糖涂膜对鲜切南瓜贮藏品质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 38(22): 209-213. [ZHANG D D, YANG S L, WU H, et al. Effect of chitosan coating on storage quality of fresh cut pumpkin[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 38(22): 209-213.]
- [11] 马亚琴, 贾蒙, 周心智. 柑橘采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 290-297. [MA Y Q, JIA M, ZHOU X Z. Research advances in postharvest preservation techniques of citrus fruits[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(22): 290-297.]
- [12] TALIBI I, BOUBAKE R H, BOUDYACHE H, et al. Alternative methods for the control of postharvest citrus diseases[J]. Journal of Applied Microbiology, 2014, 117(1): 1-17.
- [13] 夏更寿, 郭圣荣. β -环糊精邻苯基苯酚包合物对瓯柑缓释保鲜研究[J]. 核农学报, 2012, 26(9): 1265-1270. [XIA G S, GUO S R. Slow-releasing preservation effect of β -cd-opp clathrate compounds on citrus fruits[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(9): 1265-1270.]
- [14] 常虹, 吴毓炜, 唐明, 等. 贡柑的复合涂膜保鲜效果研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(6): 163-169. [CHANG H, WU Y W, TANG M. Preservation effects of compound coating on the tribute citrus[J]. Anhui Agricultural Science, 2020, 48(6): 163-169.]
- [15] KENJI I, SHUSAKU T, TADAO W. Simultaneous determination of diphenyl and o-phenylphenol in citrus fruits[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 2014, 42(12): 2375-2379.
- [16] CAO J P, WANG C Y, XU S T, et al. The effects of transportation temperature on the decay rate and quality of postharvest

- Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) fruit in different storage periods [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247(15): 42–48.
- [17] 徐呈祥, 郑福庆, 马艳萍, 等. 二氧化氯处理对贡柑采后贮藏品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 201–206. [XU C X, ZHENG F Q, MA Y P, et al. Effect of chlorine dioxide on the quality of Gonggan mandarin fruits during postharvest storage[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(3): 201–206.]
- [18] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 等. 苹果风味评价指标的筛选研究[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(14): 2796–2805. [ZHENG L J, NIE J Y, LI M Q, et al. Study on screening of taste evaluation indexes for apple[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(14): 2796–2805.]
- [19] 马琳. 壳寡糖复合其他保鲜剂对杏果贮藏品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015. [MA L. Effect of chitosan oligosaccharides in combined with other preservative agents on post-harvest quality of apricot fruits [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.]
- [20] 时宽芹. 草莓品种对其发酵酒理化性质与感官品质的影响研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020. [SHI K Q. Effect of strawberry breeds on the physicochemical properties and sensory quality of wine [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2020.]
- [21] 张佰清, 公谱, 郝义. 成熟度对冷藏晚香蕉李果肉褐变的影响[J]. *食品科技*, 2010, 35(6): 67–70. [ZHANG B Q, GONG P, HAO Y. Effects of maturity on browning of *Prunus salicina* Lindl during cold storage[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(6): 67–70.]
- [22] 阙超楠, 高阳, 陈明, 等. 不同采后处理对翠冠梨果实品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(3): 518–529. [KAN C N, GAO Y, CHEN M, et al. Effect of different postharvest treatments on the quality of Cuiguan pear[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(3): 518–529.]
- [23] 赵珊, 贡汉生, 田亚晨, 等. 苯乳酸-海藻酸钠涂膜保鲜剂的制备及其在甜樱桃保鲜中的应用[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 221–226. [ZHAO S, GONG H S, TIAN Y C, et al. Preparation of pla/sa composite coating and its application in quality preservation of sweet cherries[J]. *Food Science*, 2018, 39(11): 221–226.]
- [24] 郑福庆, 徐呈祥, 马艳萍, 等. 咪鲜胺锰盐对贡柑果实保鲜作用[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(1): 103–106. [ZHENG F Q, XU C X, MA Y P, et al. Fresh keeping effect of prochloraz manganese salt on gonggan fruit[J]. *Agricultural Science of Zhejiang Province*, 2017, 58(1): 103–106.]
- [25] 杨雅景, 韩玉竹, 孟醒, 等. 肉桂醛抗菌复合保鲜剂涂膜对采后荔枝的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2019, 40(23): 253–261. [YANG Y J, HAN Y Z, MENG X, et al. Effect of composite antimicrobial coating containing cinnamaldehyde on postharvest preservation of litchi fruit[J]. *Food Science*, 2019, 40(23): 253–261.]
- [26] 余易琳, 徐丹, 任丹, 等. 纳米纤维素/壳聚糖复合涂膜在红桔保鲜中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 135–141. [YU Y L, XU D, REN D, et al. Effect of nanocrystal cellulose/chitosan composite coatings on red tangerine preservation[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(2): 135–141.]
- [27] 谢玉花, 农广律, 宋慕波, 等. 海藻酸钠复合涂膜对贡柑保鲜效果的影响[J]. *食品工业*, 2021, 42(2): 43–47. [XIE Y H, NONG G L, SONG M B, et al. Effect of sodium alginate compound filming on preservation of gonggan[J]. *Food Industry*, 2021, 42(2): 43–47.]
- [28] 谭福能, 金梦飞. 羧甲基壳聚糖/海藻酸钠/纳米二氧化硅涂膜保鲜草莓[J]. *食品工业*, 2020, 41(2): 155–158. [TAN F N, JIN M F. Carboxymethyl chitosan with different degree of substitution/sodium alginate/nano SiO₂ composite coating on strawberry preservation[J]. *Food Industry*, 2020, 41(2): 155–158.]
- [29] 徐三勤. 异常气候条件衢州槿柑贮藏期主要病害及防治措施研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007. [XU S Q. Study on main diseases and control measures of Quzhou Ponkan during storage under abnormal climate conditions[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.]
- [30] 袁仲玉, 周会玲, 张晓晓, 等. 芦荟粗提液对红富士苹果常温贮藏保鲜的影响[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(11): 104–110. [YUAN Z Y, ZHOU H L, ZHANG X X, et al. Effect of aloe flavone extracts coating on qualities and physiology of red fuji apples during ambient temperature storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(11): 104–110.]
- [31] POSMYK M M, BAILLY C, KATARZYNA S, et al. Antioxidant enzymes and isoflavonoids in chilled soybean seedlings[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2005, 162(4): 403–412.
- [32] ZHANG Z, ZHANG Y, HUBER D J, et al. Changes in prooxidant and antioxidant enzymes and reduction of chilling injury symptoms during low-temperature storage of 'Fuyu' persimmon treated with 1-methylcyclopropene[J]. *Hortscience a Publication of the American Society for Horticultural Science*, 2010, 45(11): 1713–1718.
- [33] CHEN Y H, LIN H T, SHI J, et al. Effects of a feasible 1-methylcyclopropene postharvest treatment on senescence and quality maintenance of harvested Huanghua pears during storage at ambient temperature[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(1): 6–13.
- [34] 詹丽娟, 庞凌云, 胡金强. 壳聚糖涂膜对南湖菱果实贮藏生理及品质的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(16): 308–313. [ZHAN L J, PANG L Y, HU J Q. Effect of chitosan coating on physiology and quality of water caltrop (*Trapa acornis* Nakano) fruits during storage[J]. *Food Science*, 2012, 33(16): 308–313.]
- [35] 陈国刚, 郭璟瑜, 于译, 等. 1-MCP和壳聚糖处理保持红枣贮藏品质及其机理研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(22): 338–344. [CHEN G G, GUO J Y, YU Z, et al. 1-methylcyclopropene (1-mcp) and chitosan maintaining quality and its mechanization of postharvest jujube fruit[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(22): 338–344.]
- [36] 刘慧. 桃果实酚类物质及其抗氧化功能研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015. [LIU H. Study on phenolic compounds and their antioxidant activities from peach fruit [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.]
- [37] TANG R F, ZHOU Y J, CHEN Z S, et al. Regulation of browning and senescence of litchi fruit mediated by phenolics and energy status: A postharvest comparison on three different cultivars [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020(168): 111280.