

张祖姣, 刘宏辉, 沈玉平. 银杏叶提取物处理对采后南丰蜜橘果实保鲜效果和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(6): 1403-1413.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.06.017

## 银杏叶提取物处理对采后南丰蜜橘果实保鲜效果和品质的影响

张祖姣<sup>1,2</sup>, 刘宏辉<sup>3</sup>, 沈玉平<sup>1,2</sup>

(1.湖南科技学院化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199; 2.湖南省银杏工程研究中心, 湖南 永州 425199; 3.永州市永丰农林科技开发有限公司, 湖南 永州 425000)

**摘要:** 为延长南丰蜜橘的保鲜期, 研究了不同质量浓度的银杏叶提取物(GLE)对采后南丰蜜橘果实保鲜效果和品质的影响。结果表明, GLE处理可显著提升保鲜效果, 延缓果实衰老, 维持果实的品质。15 g/L GLE处理可显著降低果实的腐烂率和失重率; 5 g/L GLE处理可显著提高果实的亮度, 阻止果皮黄化; 5 g/L、10 g/L和15 g/L GLE处理可显著延缓可溶性固形物含量、可溶性糖含量、维生素C含量和可滴定酸含量的下降, 但更高质量浓度的GLE处理对果实的保鲜效果和品质无明显提升, 因此15 g/L为南丰蜜橘果实保鲜的最适GLE质量浓度。对果实呼吸作用和意大利青霉病原菌良好的抑制作用, 优良的抗氧化功能, 以及对果实抗氧化酶活性的诱导提高, 是GLE延缓南丰蜜橘果实衰老和维持品质的主要原因。本研究为南丰蜜橘的贮藏保鲜提供了新技术及理论依据, 具有重要的应用价值和理论意义。

**关键词:** 南丰蜜橘; GLE; 保鲜效果; 果实品质; 保鲜机制

**中图分类号:** S666.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)06-1403-11

## Effects of *Ginkgo biloba* leaf extract treatment on preservation and fruit quality of postharvest Nanfeng mandarin

ZHANG Zu-jiao<sup>1,2</sup>, LIU Hong-hui<sup>3</sup>, SHEN Yu-ping<sup>1,2</sup>

(1.College of Chemistry and Bioengineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou 425199, China; 2.Hunan Provincial Engineering Research Center for *Ginkgo Biloba*, Yongzhou 425199, China; 3.Yongfeng Agriculture and Forestry Technology Development Co., Ltd., Yongzhou 425000, China)

**Abstract:** In order to prolong the shelf life of Nanfeng mandarin, the effects of different concentrations of *Ginkgo biloba* leaf extract (GLE) on the preservation and quality of postharvest Nanfeng mandarin were studied. The results showed that GLE could significantly improve the preservation effect, delay fruit senescence and maintain fruit quality. The 15 g/L GLE treatment could significantly reduce the decay rate and weight loss rate of the fruits. The 5 g/L GLE treatment could significantly increase the brightness of the fruits and prevent peel yellowing. Moreover, 5 g/L, 10 g/L, and 15 g/L GLE treatments could significantly delay the decrease in soluble solids content, soluble sugar content, vitamin C content, and titratable acid content, but higher concentration of GLE treatment had no significant effect on fruit preservation and quality. Therefore,

15 g/L was optimal GLE concentration for Nanfeng mandarin fruit preservation. The good inhibition of GLE on fruit respiration and pathogens, excellent antioxidant function, and induction of antioxidant enzymes in fruits were the main reasons for delaying fruit senescence and maintaining quality. This study provides a new technology and theoretical basis for the storage and preservation of Nanfeng mandarin.

收稿日期: 2022-09-07

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2022JJ30273、2020JJ5204); 湖南省教育厅科学研究项目(18C1068)

作者简介: 张祖姣(1985-), 女, 湖南永州人, 硕士, 讲师, 主要从事天然产物研究与开发。(E-mail) zhang\_zujiao@126.com

通讯作者: 沈玉平, (E-mail) shenyup@mail3.sysu.edu.cn

rin, which has important application value and theoretical significance.

**Key words:** Nanfeng mandarin; *Ginkgo biloba* leaf extract; Preservation effect(GLE); fruit quality; preservation mechanism

南丰蜜橘原产于江西抚州市南丰县,自唐代以来即为皇室贡品,现为国家地理保护标志产品<sup>[1]</sup>。其果实金黄,皮薄核少,甜酸适口,富含多种人体必需的氨基酸、维生素、胡萝卜素和微量元素等营养物质,是一种高品质水果<sup>[2]</sup>。但是,南丰蜜橘集中于 11 月上旬和中旬成熟,短期内大量果实的集中上市常导致价格下降,未及时销售的果实往往因保藏不当而品质下降甚至腐烂,由此形成了“旺季烂、淡季断”的矛盾局面,不仅给果农造成巨大的经济损失,还损伤了果农的种植热情,影响南丰蜜橘产业的可持续发展。因此,开发高效实用的贮藏保鲜技术,延长南丰蜜橘的保鲜时间,不仅有利于平衡供求关系,还可防止果贱伤农现象的发生,具有重大的经济和社会效益。

虽然果蔬保鲜方法众多,侧重点各有不同,但均可归结为以下三个方面:一是抑制病原微生物的侵害;二是控制贮藏环境的温度、湿度等环境因子,降低果蔬自身的呼吸作用;三是降低氧化应激损伤,延缓果实衰老<sup>[3]</sup>。目前,生产中常用化学保鲜剂进行果蔬的保鲜存贮。如采用鲜果灵<sup>[4]</sup>、碳酸氢钠<sup>[5]</sup>等化学保鲜剂进行南丰蜜橘保鲜。但化学保鲜剂易破坏果蔬的生理活性物质,改变原有风味,并在果实表面形成残留,污染环境,危害人体健康<sup>[6-7]</sup>。因而,近年来利用植物天然产物进行果蔬保鲜得到了快速发展。植物天然产物是植物在生长代谢过程中形成的具有生理活性功能的物质,如生物碱、黄酮、多酚、皂苷、多糖和有机酸等。天然产物绿色健康、安全无毒,具有广谱的抗菌、杀菌和抗氧化功能,是食品加工、运输和贮藏的理想保鲜剂<sup>[8-9]</sup>。目前,桂枝<sup>[10]</sup>和凤仙透骨草<sup>[11]</sup>提取液在南丰蜜橘保鲜中的应用已有初步研究。

银杏(*Ginkgo biloba* L.)是中国最古老的珍稀树种之一,其生长过程中几乎不会或很少感染病虫害。这是由于银杏在生长过程中合成多种具有抑菌和抗氧化功能的次级代谢产物,如银杏黄酮<sup>[12-13]</sup>、内酯<sup>[13-14]</sup>和多糖<sup>[15-16]</sup>。银杏叶提取物(GLE)含有多重生理活性物质,常用于药物<sup>[17]</sup>、食品添加剂<sup>[18]</sup>和化妆品<sup>[19]</sup>的生产中。GLE 优良的抑菌和抗氧化性

能致使其在水果保鲜领域具有巨大的应用潜力。目前,GLE 已成功用于荔枝<sup>[20]</sup>、草莓<sup>[21]</sup>、冬枣<sup>[22]</sup>、苹果<sup>[23]</sup>等水果的保鲜。Wang 等<sup>[24]</sup>研究发现,GLE 处理有利于维持沙糖橘果实硬度,降低失重率,延缓可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可滴定酸含量和黄酮含量下降,但是 GLE 的保鲜机制尚不明晰。中国银杏资源丰富,分布广泛,几乎涵盖所有南丰蜜橘种植区域,而且银杏落叶与南丰蜜橘成熟期一致,因此,利用 GLE 进行南丰蜜橘采后保鲜,不但可以促进银杏落叶的综合利用,还为南丰蜜橘的保鲜提供新的方法。为此,本试验系统研究了不同浓度 GLE 处理对南丰蜜橘果实失重率、腐烂率、色泽、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素 C 含量的影响,并进一步对 GLE 的保鲜机制进行了解析,以期在南丰蜜橘采后贮藏保鲜提供新的技术方法和理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料和处理

银杏叶采集:于 2021 年 11 月 5 日在湖南省永州市双牌县茶林镇桐子坳村银杏林(北纬 26°06',东经 111°50')中收集的自然掉落于地表、无腐烂痕迹的落叶,清洗后 60 ℃烘干至恒质量(约需 12 h)。

GLE 溶液制备:参照魏雨等<sup>[25]</sup>的方法制备 GLE。银杏叶经 DX-30B 超微粉碎机(广州市大祥电子机械设备有限公司产品)粉碎后过 40 目筛,称取 20 g 粉末,以 65% 的乙醇为提取溶剂,80 ℃、料液比 1 g : 45 mL 条件下,索氏提取法浸提 6 h,提取液经 R-1001VN 旋转蒸发仪(郑州长城科工贸有限公司产品)60 ℃减压浓缩后,置于 60 ℃烘箱烘干成粉。随后,分别称取 5 g、10 g、15 g、20 g 银杏叶提取物粉末,用无菌水定容至 1 000 mL,即为 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L 的 GLE 溶液,备用。

南丰蜜橘果实采集及处理:南丰蜜橘果实于 2021 年 11 月 8 日采集于湖南省永州市冷水滩区伊塘镇管家冲村(北纬 26°42',东经 111°75')果园,于阴凉通风良好的场所自然放置 3 d,随后选取大小均匀、色泽一致、成熟度相仿、无机械损伤和病虫害的

果实,以 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L 的 GLE 溶液浸泡 3 min,以无菌水为对照(CK),每个处理 3 次重复,每次重复 100 个果实,自然晾干后单果分装于聚乙烯保鲜袋(25 cm×17 cm×5 μm),置于人工气候室(温度 20 ℃±1 ℃,相对湿度 85%±2%)贮藏 60 d。处理后每隔 10 d 取样测定南丰蜜橘果实保鲜效果及生理指标。

## 1.2 指标测定

1.2.1 果实保鲜效果测定 腐烂率是评价保鲜效果的一个重要指标。考察并记录每个处理发霉和腐烂果实数,按照公式(1)计算腐烂率:

$$\text{腐烂率} = \frac{\text{发霉和腐烂果实数}}{\text{总果实数}} \times 100\% \quad (1)$$

失重率是评价果实保鲜效果的另一个重要指标。每个处理固定选取贮藏期间未腐烂的 10 个果实,每 10 d 称量单果质量,按照公式(2)计算失重率:

$$\text{失重率} = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

式 2 中,  $W_0$  为果实贮藏开始时的质量,即初始质量(g);  $W_t$  为柑橘贮藏第  $t$  d 时的质量(g)。

### 1.2.2 果实品质指标测定

1.2.2.1 外观品质指标测定 每个处理选取贮藏期间未腐烂果实 3 个,按照刘德春等<sup>[26]</sup>的方法测定,即在果实上下部随机各取 4 个点,使用 Konica Minolta CR-410 色差仪(日本柯尼卡美能达控股株式会社产品)测定果皮的红绿色差( $a^*$ )、黄蓝色差( $b^*$ )、亮度( $L^*$ ),结果取平均值。 $a^*$  正值表示红色,负值表示绿色,绝对值越大则表示颜色越深; $b^*$  正值表示黄色,负值表示蓝色,绝对值越大则表示颜色越深; $L^*$  值越大,表示果皮亮度越高。每处理 3 个重复。

1.2.2.2 内在品质指标及抗氧化酶活性测定 每个处理选取 10 个果实,去皮后取一半果肉榨汁后过滤,使用 SJN-PAL-3 手持式糖度计(泉州中友仪器有限公司产品)测定滤液的可溶性固形物含量,每个样品重复测定 3 次,取平均数。参考文献[27]~[29]的方法分别测定可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素 C 含量。

将上述剩余去皮果肉进行匀浆处理,1 000 g 离心 1 min,上清液用于抗氧化酶活性测定。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性使用超氧化物歧化酶(BC0170)、过氧化

物酶(BC0095)和过氧化氢酶(BC0200)活性检测试剂盒(北京索莱宝生物科技有限公司产品),采用分光光度法测定。

1.2.2.3 果实呼吸速率测定 每次取未腐烂的果实 3 个,采用 GXH-3051H 果蔬呼吸测定仪(北京均方理化科技研究所产品),参照叶利民等<sup>[5]</sup>的方法测定南丰蜜橘果实的呼吸速率,测定呼吸速率后的果实重新用聚乙烯保鲜袋包装,继续进行用于贮藏研究。

### 1.2.3 GLE 的南丰蜜橘保鲜机制研究

1.2.3.1 GLE 对意大利青霉的抑制作用 意大利青霉是南丰蜜橘贮藏过程中果实腐烂的主要病原菌<sup>[30]</sup>。本研究用到的意大利青霉菌株 *Penicillium italicum* YN-5 是本实验室从自然发病的南丰蜜橘果实中分离获得的。试验前取保藏的菌株,接种至马铃薯葡萄糖琼脂斜面培养基(PDA,青岛海博生物技术有限公司产品),28 ℃ 恒温培养 7 d 至产生明显的孢子。随后,从活化的斜面用接种环刮取 1 环孢子,以无菌水稀释 1 000 倍后涂布于 PDA 平板,28 ℃ 恒温培养 7 d 进行菌株活化。

参照易磊等<sup>[31]</sup>的方法,通过菌丝生长速率法测定不同质量浓度 GLE 对意大利青霉的抑制效率。具体操作是将适量的 GLE 与 PDA 培养基混合,使 PDA 平板中的 GLE 质量浓度分别为 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L,用直径 6 mm 的无菌打孔器取活化的意大利青霉菌饼接种于平板中央,以不添加 GLE 的 PDA 平板为对照,28 ℃ 恒温培养箱中培养 7 d,十字交叉法测定菌落直径,按照公式 3 计算抑制率。

抑制率 =

$$\frac{\text{对照菌落直径} - \text{银杏提取物处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径} - \text{菌饼直径}(6 \text{ mm})} \times 100\% \quad (3)$$

1.2.3.2 GLE 体外抗氧化效率测定 DPPH 和羟基自由基清除率可有效地反映 GLE 对果实的抗氧化效率。参照吴冬凡等<sup>[32]</sup>的方法,测定 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L 的 GLE 对 DPPH 和羟基自由基的清除率,考察其抗氧化效率,具体操作如下:

DPPH 自由基清除率:称取 50 mg DPPH,以无水乙醇溶解,定容至 1 000 ml,获得质量浓度为 50 mg/L 的 DPPH 溶液。取 15 ml 具塞试管 4 支,每管加入 50 mg/L 的 DPPH 溶液 2 ml,然后分别加入 2 ml 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L 的 GLE 溶液,暗处静置反应 30 min,以无水乙醇调零,517 nm 处测定

吸光值( $A_1$ ),另取 4 支具塞试管,以无水乙醇替代 50 mg/L 的 DPPH 溶液,测定吸光值( $A_2$ ),取 1 支具塞试管,加入 2 ml 50 mg/L 的 DPPH 溶液和 2 ml 无水乙醇溶液,测定吸光值( $A_0$ ),按照公式 4 计算 DPPH 自由基清除率。

$$\text{自由基清除率} = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\% \quad (4)$$

羟基自由基清除率:以蒸馏水溶解  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和体积分数为 30% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,分别配制 7.5 mmol/L 的  $\text{FeSO}_4$  和 7.5 mmol/L 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液,备用。取 15 ml 具塞试管 4 支,分别加入 1 ml 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L 的 GLE,然后每管加入 1 ml 7.5 mmol/L 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  和 1 ml 7.5 mmol/L 的  $\text{FeSO}_4$  溶液,振荡混匀,10 min 后,加入 1 ml 7.5 mmol/L 的水杨酸-无水乙醇溶液,37 °C 水浴 30 min 后,以蒸馏水调零,在 510 nm 处测定其吸光值( $A_1$ ),另取 4 支具塞试管,以蒸馏水替代 7.5 mmol/L 的  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,测定吸光值( $A_2$ )。取 1 支具塞试管,加入 1 ml 蒸馏水、1 ml 7.5 mmol/L 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  和 1 ml 7.5 mmol/L 的  $\text{FeSO}_4$ ,测定吸光值( $A_0$ ),按照公

式 4 计算羟基自由基清除率。

1.2.4 数据统计与分析 使用 SPSS 17.0 进行数据统计和差异显著性分析,使用 Origin 9.0 进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 GLE 处理对南丰蜜橘果实保鲜效果和品质的影响

#### 2.1.1 GLE 处理对南丰蜜橘果实保鲜效果的影响

如图 1 所示,随贮藏时间的延长,对照(CK)和 GLE 处理的南丰蜜橘果实腐烂率和失重率均呈上升趋势,至 60 d 贮藏结束时,CK 腐烂率和失重率分别为 26.33% 和 4.64%,而 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L GLE 处理腐烂率分别为 13.00%、9.33%、6.66% 和 5.33%,失重率为 3.50%、2.85%、2.16% 和 2.10%。可以看出,整个贮藏期间,4 个 GLE 处理腐烂率和失重率均显著低于 CK,5 g/L、10 g/L、15 g/L GLE 处理之间腐烂率和失重率随 GLE 质量浓度的升高而显著降低,15 g/L 和 20 g/L 处理之间无显著性差异。

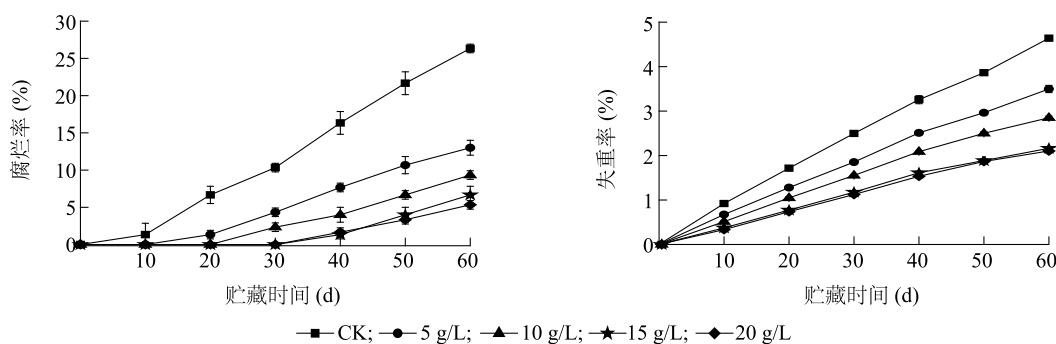


图 1 GLE 处理对南丰蜜橘果实腐烂率和失重率的影响

Fig.1 Effects of GLE treatment on decay rate and weight-loss rate of Nanfeng mandarin fruits

2.1.2 GLE 处理对果实外观品质的影响 如图 2 所示,随着贮藏时间的延长,CK 和 GLE 处理的果实  $a^*$  值的上升趋势逐渐变缓,而且 4 个 GLE 质量浓度处理与 CK 之间无显著差异,说明 GLE 处理对果实红绿色差的变化无影响。贮藏前期 GLE 处理与 CK 果实黄蓝色差  $b^*$  值无明显差异,贮藏 30 d 时,GLE 处理显著高于 CK,贮藏后期  $b^*$  值均下降,但 GLE 处理下降幅度显著高于 CK,不同质量浓度 GLE 处理之间无明显差异,说明 GLE 处理能够有效延缓果皮黄化,维持更优的色泽。整个贮藏期间,GLE 处理的亮度值( $L^*$ )均显著高于 CK,但不同质量浓度 GLE 处理之间无显著差异,说明 GLE 处理能够更好

地维持果实的亮度。

2.1.3 GLE 处理对果实内在品质的影响 如图 3 所示,随贮藏时间的延长,南丰蜜橘果实的可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素 C 含量均呈现先上升后下降的趋势。CK 的可溶性固形物含量在贮藏 30 d 时达到峰值(16.56%),而 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L GLE 处理则均在 50 d 时达到峰值,分别为 CK 的 1.05、1.06、1.08 和 1.08 倍。至 60 d 贮藏结束时,CK 的可溶性固形物含量较贮藏前下降 14.78%,较峰值下降 26.23%;而 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L GLE 处理则分别为贮藏前的 1.11、1.14、1.17 和 1.18 倍,较峰值仅下降

5.11%、4.48%、2.90%和3.14%,4个GLE质量浓度处理之间无显著差异。

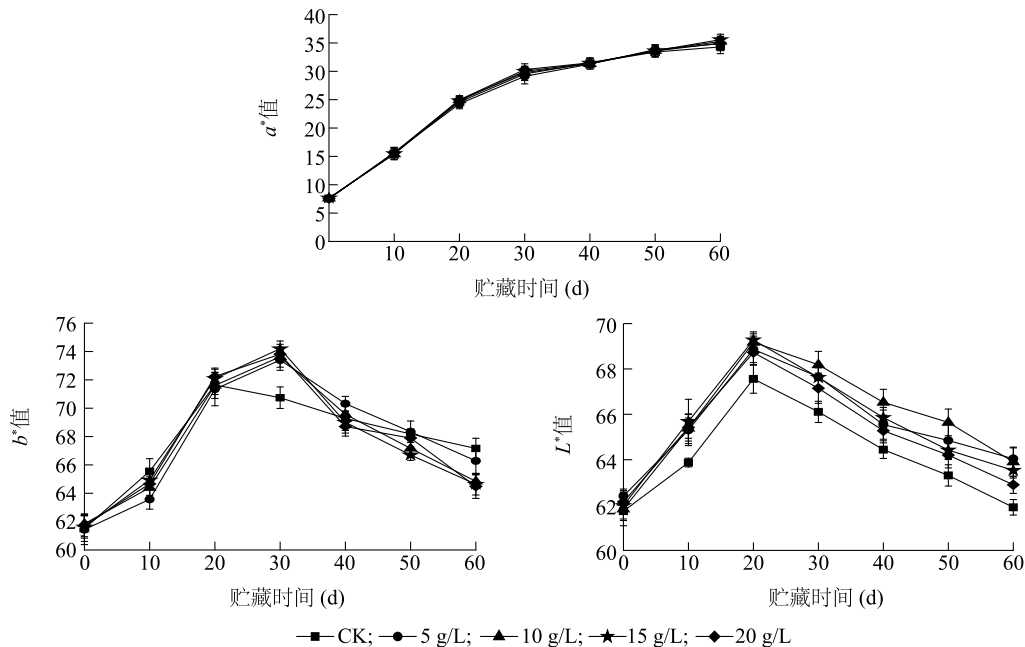


图2 GLE对南丰蜜橘果实色差的影响

Fig.2 Effects of GLE treatment on chromatism of Nanfeng mandarin fruits

CK的可溶性糖含量在贮藏30 d时达到峰值(14.56%),而5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理则在贮藏40 d时达到峰值,且分别为CK的96.29%、96.63%、97.50%和97.55%。至60 d贮藏结束时,CK的可溶性糖含量较峰值下降18.61%,较贮藏前下降5.58%;5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理的可溶性糖含量较峰值下降8.18%、6.97%、7.09%和7.54%,但仍高于贮藏前水平,4个GLE质量浓度处理之间无显著差异。

CK和GLE处理果实的可滴定酸含量均在贮藏10 d时达到峰值,此后下降,但GLE处理的下降速率明显缓于CK,贮藏60 d后,5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理可滴定酸含量分别为CK的1.20、1.28、1.34和1.35倍,但稍低于贮藏前水平。在5~15 g/L GLE质量浓度范围内,其下降趋势随GLE质量浓度的增加而变缓,而15 g/L和20 g/L处理之间无显著差异。

CK和GLE处理果实的维生素C含量均在贮藏20 d时达到峰值,此后持续下降,但GLE处理的下降速率明显缓于CK,至60 d贮藏结束时,5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L处理的维生素C含量分别为CK的1.32、1.44、1.45和1.47倍,但低于贮藏前水平,10

g/L、15 g/L和20 g/L处理之间无显著差异。

可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素C含量是评价果实内在品质的主要指标,其含量的下降是果实品质下降的主要表现。本研究结果表明,5 g/L GLE处理即可高效阻止可溶性固形物含量和可溶性糖含量的下降,10 g/L GLE处理可显著延缓维生素C含量的下降,15 g/L GLE处理即可最大程度地延缓可滴定酸含量的下降,说明GLE处理能有效地延缓果实衰老,维持果实的品质。

**2.1.4 GLE处理对果实呼吸作用的影响** 呼吸速率是果实采后生命活动的重要指标,反映了果实代谢活动的活跃程度。如图4所示,贮藏期间,不同处理南丰蜜橘果实呼吸速率均呈现先上升后下降的变化趋势。CK在贮藏20 d时,呼吸速率达到峰值,而GLE处理呼吸速率达到峰值的时间则为贮藏30 d,并且显著低于CK。在整个贮藏期间,GLE处理的呼吸速率均低于CK,其中10 g/L、15 g/L和20 g/L处理显著低于5 g/L处理,但10 g/L、15 g/L和20 g/L处理之间无显著差异。这说明GLE处理能有效地抑制采后南丰蜜橘果实的呼吸作用,降低果实的代谢活动,起到良好的保鲜作用。

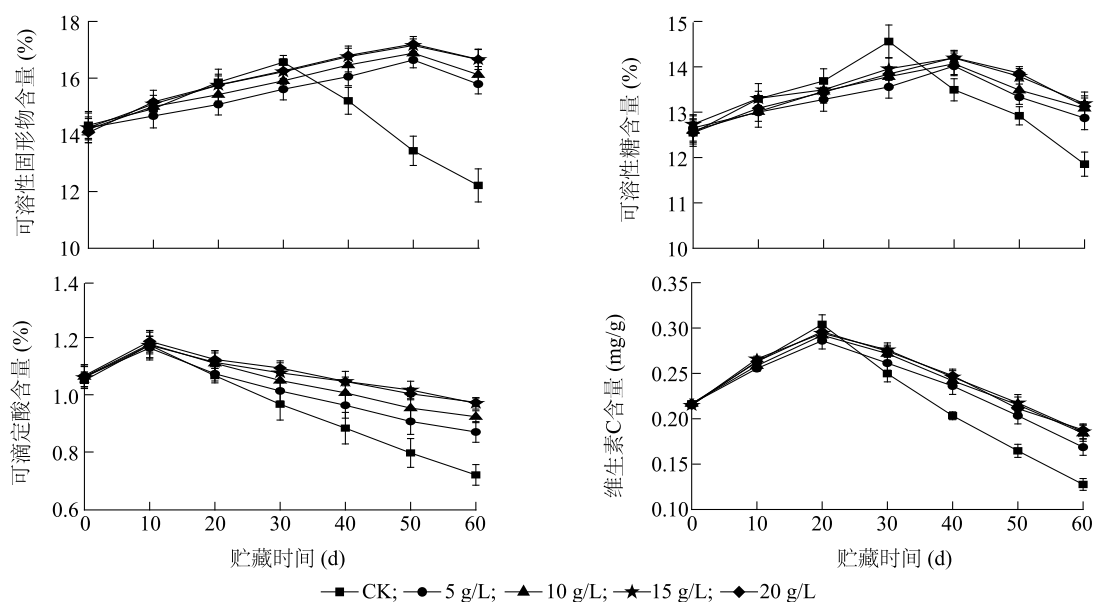


图3 GLE对南丰蜜橘果实内在品质的影响

Fig.3 Effects of GLE treatment on quality of Nanfeng mandarin fruits

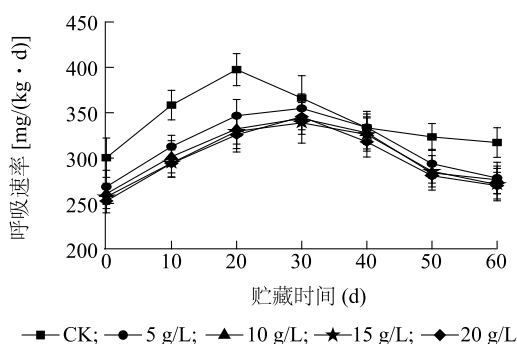


图4 GLE对南丰蜜橘果实呼吸速率的影响

Fig.4 Effects of GLE treatment on respiration rate of Nanfeng mandarin fruits

**2.1.5 GLE处理对南丰蜜橘果实抗氧化酶活性的影响** 如图5所示,随贮藏时间的延长,不同处理南丰蜜橘果实抗氧化酶SOD、POD和CAT活性均先上升后下降。CK和GLE处理的抗氧化酶活性分别在贮藏20 d和30 d时达到峰值,此后均下降,但GLE处理的下降速率显著缓于CK。整个贮藏期间,GLE处理的SOD、POD和CAT活性均显著高于CK,5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理的SOD活性峰值分别为CK的1.15、1.18、1.18和1.16倍,POD为1.23、1.28、1.30和1.27倍,CAT则为1.21、1.24、1.30和1.30倍;至60 d贮藏结束时,5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理的SOD活性分别为CK的1.68、1.71、1.70和1.68倍,POD为2.28、

2.44、2.36和2.33倍,CAT则为2.60、2.63、2.63和2.80倍。由此可知,GLE处理能显著提高抗氧化酶活性,延缓抗氧化酶活性的下降,从而延缓果实衰老,维持果实品质。

## 2.2 GLE对意大利青霉的抑制作用及抗氧化作用

**2.2.1 GLE对意大利青霉的抑制作用** 如图6A所示,*Penicillium italicum* YN-5菌株培养7 d后,对照的菌株已长满PDA平板,而不同质量浓度GLE处理的菌株虽有生长,但菌落直径均小于对照,说明GLE处理能很好地抑制意大利青霉的生长。且随GLE质量浓度的增大,GLE对意大利青霉的抑制率逐步增强;5 g/L、10 g/L、15 g/L和20 g/L GLE处理对意大利青霉的抑制率分别为49.29%、78.85%、85.63%和89.96%(图6B)。由此可知,15 g/L的GLE即可高效(>85%)抑制意大利青霉的生长。

**2.2.2 GLE的抗氧化作用** 由图7可知,GLE对羟基和DPPH自由基清除率均随GLE质量浓度的上升而增加,20 g/L GLE处理,羟基和DPPH自由基清除率分别高达93.98%和92.74%。由此可见,GLE具有强抗氧化功能,其抗氧化作用随GLE质量浓度的上升而增强。

## 3 讨论

### 3.1 GLE处理对南丰蜜橘保鲜效果的影响

腐烂率是评价果实保鲜效果的重要指标,病原

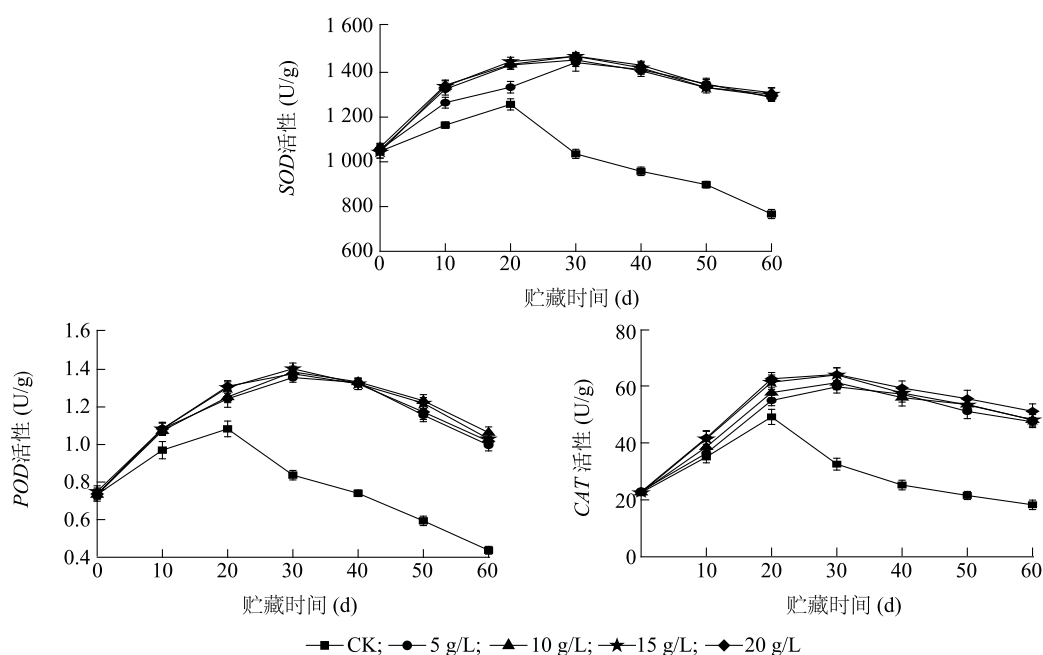


图5 GLE对南丰蜜橘果实抗氧化酶活性的影响

Fig.5 Effects of GLE treatment on antioxidant enzyme activity of Nanfeng mandarin fruits

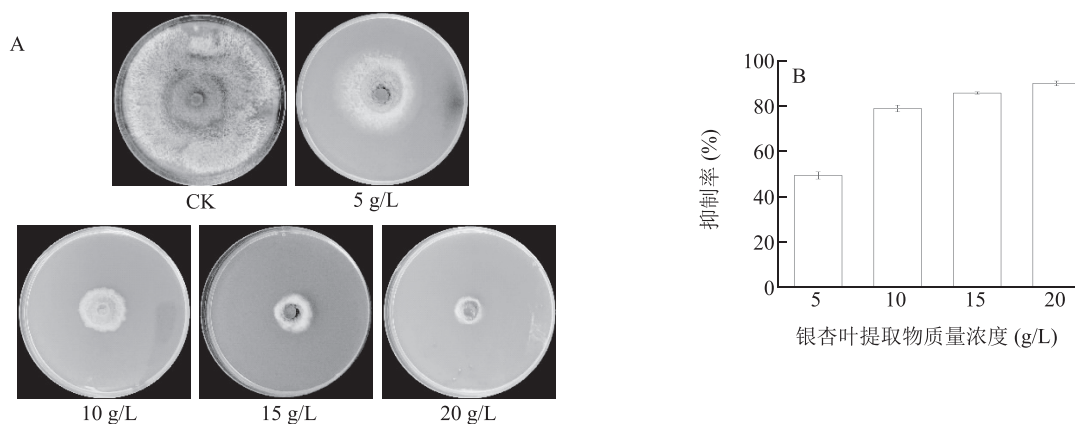


图6 GLE对意大利青霉的抑制作用

Fig.6 Inhibitory effect of GLE on *Penicillium italicum*

菌侵染和繁殖是果实腐烂的主要原因。刘志祥等<sup>[21]</sup>、李玲等<sup>[20]</sup>和梁佳豪等<sup>[33]</sup>研究发现, GLE处理可显著降低贮藏过程中草莓、荔枝和樱桃的腐烂率, 本研究利用GLE处理南丰蜜橘亦可显著降低果实腐烂率。这是由于GLE含有大量抑菌活性物质, 如银杏黄酮<sup>[12]</sup>、内酯<sup>[14]</sup>和多糖<sup>[15-16]</sup>对细菌<sup>[12, 15, 34-35]</sup>和真菌<sup>[12, 36-37]</sup>均有良好的抑制作用, 因而降低果实腐烂率。此外, 张美丽等<sup>[38]</sup>研究发现, GLE处理猕猴桃可诱导提高抗氧化酶活性, 促进具有抗菌活性的酚类和黄酮类物质积累, 增强对青霉菌的抗性, 这可能是GLE处理降低果实腐烂率的另

一原因。

水分蒸腾和自身营养物质消耗是果实失重的主要原因, 这不仅影响果实的新鲜度和口感, 还会降低果实的品质和营养价值。李玲等<sup>[20]</sup>、Wang等<sup>[24]</sup>、梁佳豪等<sup>[33]</sup>和冯金霞等<sup>[23]</sup>等研究发现, 适宜浓度的GLE处理可大幅度降低荔枝、沙糖橘、樱桃和苹果失重率, 本研究中15 g/L的GLE处理可使贮藏60 d的南丰蜜橘果实失重率降低达54.74%, 这说明GLE处理可显著抑制果实失重, 有利于维持果实新鲜和品质。GLE可抑制果实呼吸作用, 降低代谢活动, 从而减少自身营养物质的消耗<sup>[39-41]</sup>; GLE处理

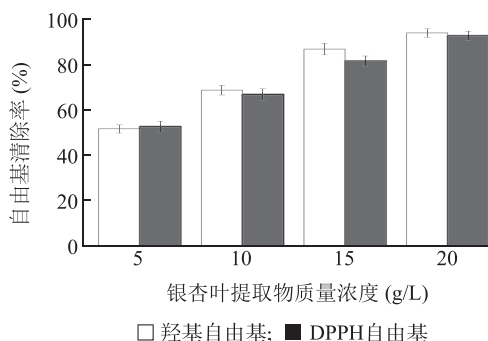


图 7 不同质量浓度 GLE 对 DPPH 和羟基自由基清除率的影响

Fig.7 Effects of GLE concentration on DPPH and hydroxyl radical scavenging rate

果实可在果皮表面形成一层保护膜,阻塞气孔,降低蒸腾作用,从而阻止水分流失<sup>[42]</sup>。

### 3.2 GLE 对采后南丰蜜橘果实品质的影响

大小、色泽和形状不仅是评价果实外观品质的重要指标,也在很大程度上影响果实的价值<sup>[27]</sup>。李玲等<sup>[20]</sup>和陈迪新等<sup>[40]</sup>进行荔枝和砀山梨的保鲜研究时发现,GLE 处理有利于维持果实外观品质。本研究中 5 g/L GLE 处理即可延缓贮藏过程中南丰蜜橘果皮的黄化,维持果实的亮度,保持更优的外观品质,这可能是 GLE 的强抗氧化特性,延缓了果皮的氧化衰老<sup>[43-45]</sup>。

可溶性固形物含量、可溶性糖含量、可滴定酸含量和维生素 C 含量是评价果实内在品质的重要指标。刘志祥等<sup>[21]</sup>、张瑾等<sup>[22]</sup>和梁佳豪等<sup>[33]</sup>等利用 GLE 进行草莓、樱桃和冬枣保鲜时发现,GLE 处理可显著延缓可溶性固形物含量的下降。本研究中南丰蜜橘果实可溶性固形物含量在贮藏期间先上升后下降,并且 GLE 处理可显著延缓可溶性固形物含量的下降。贮藏前期,果实中淀粉等多糖不断转化为可溶性糖,原果胶转化为可溶性果胶,导致可溶性固形物含量上升;贮藏后期由于果实的呼吸作用,糖等营养物质作为底物被代谢消耗,可溶性固形物含量下降<sup>[46]</sup>。GLE 可抑制果实的呼吸作用<sup>[39-41]</sup>,并在果皮表面形成保护膜降低  $O_2$  和  $CO_2$  的渗透性<sup>[47]</sup>,降低代谢活动,减少营养物质消耗,从而延缓可溶性固形物含量的下降。

南丰蜜橘的可溶性糖主要为蔗糖、果糖、葡萄糖等,糖的种类、比例和含量将决定果实的风味<sup>[48]</sup>。在本研究中,CK 在贮藏 30 d 时可溶性糖含量达到

峰值,说明此时果实已经完全成熟,此后可溶性糖含量下降,果实进入衰老期。GLE 处理可溶性糖含量则在 40 d 时达到峰值,此后缓慢下降,并且贮藏结束时可溶性糖含量仍高于贮藏前,说明 GLE 处理可阻止果实可溶性糖含量的下降,延缓果实衰老。

有机酸种类和含量是影响水果口感和风味的重要因素。柑橘中的有机酸主要为柠檬酸<sup>[49]</sup>。Wang 等<sup>[24]</sup>、李玲等<sup>[20]</sup>、梁佳豪等<sup>[33]</sup>和冯金霞等<sup>[23]</sup>研究发现,适宜浓度的 GLE 处理可显著延缓沙糖橘、荔枝、樱桃和苹果贮藏过程中可滴定酸含量的下降。本研究中可滴定酸含量先上升,后逐步下降,但 GLE 处理的下降趋势显著缓于 CK, 5 g/L、10 g/L、15 g/L 和 20 g/L GLE 处理间无明显差异,说明低质量浓度的 GLE 处理即可有效延缓可滴定酸含量下降,维持果实品质。

果实在采后贮藏过程中会产生大量的活性氧自由基,引起细胞膜脂过氧化或脱酯,破坏细胞膜结构,影响细胞功能,加速果实衰老。维生素 C 作为一种还原剂,在贮藏过程中易被活性氧自由基氧化而损失,因此维生素 C 的含量及变化是评价果实保鲜效果和衰老程度的重要指标。李玲等<sup>[20]</sup>、梁佳豪等<sup>[33]</sup>和冯金霞等<sup>[23]</sup>研究发现,适宜浓度的 GLE 处理可延缓沙糖橘、荔枝、樱桃和苹果维生素 C 含量的下降,本研究中 10 g/L GLE 处理亦可显著延缓南丰蜜橘果实维生素 C 含量的下降。GLE 中的黄酮、内酯和多糖等生理活性物质具有较强的抗氧化功能,可有效地清除活性氧自由基,抑制膜脂过氧化,从而有效地阻止维生素 C 含量的下降,延缓果实衰老,维持果实品质<sup>[50-54]</sup>。此外,由于不同水果营养成分的差异,氧化受损程度亦不同,因此有效的 GLE 处理浓度亦不尽相同。

呼吸强度是果实采后生命活动的重要标志,反映了果实代谢活动的活跃程度。陈迪新等<sup>[40]</sup>和张美芳等<sup>[41]</sup>研究发现,GLE 处理能够显著降低砀山梨和苹果贮藏保鲜时果实的呼吸速率,本研究利用 GLE 进行南丰蜜橘保鲜亦获得了类似的结果。GLE 中的黄酮可通过抑制呼吸链酶活性来降低呼吸作用<sup>[39]</sup>。此外,肖锡湘<sup>[55]</sup>和叶利民等<sup>[5]</sup>研究发现,蜂蜡涂膜和碳酸氢钠处理可降低南丰蜜橘呼吸速率,GLE 处理亦可在果皮表面形成一层保护膜,降低环境与果实之间的气体传递速率,从而降低呼吸速率<sup>[42]</sup>。

*SOD*、*POD* 和 *CAT* 是植物体内重要的抗氧化酶,对清除逆境胁迫下植物细胞内过量的活性氧自由基,维持胞内氧化应激平衡具有重要的作用<sup>[13,56-61]</sup>。张美丽等<sup>[38]</sup>等研究发现,GLE 处理可诱导猕猴桃贮藏过程中多酚氧化酶、过氧化物酶、苯丙氨酸解氨酶、几丁质酶和  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶等抗氧化酶活性的提高。GLE 可减轻大鼠乙醇诱导的氧化应激压力和流感嗜血杆菌诱导的氧化应激损伤,并能诱导抗氧化酶,如 *SOD*、*CAT* 和谷胱甘肽过氧化物酶(*GPx*)水平的升高<sup>[62-65]</sup>。此外,Chen 等<sup>[66]</sup>在构建的阿尔茨海默症模型细胞中发现,GLE 可显著降低细胞的活性氧和丙二醛水平,提高 *SOD*、*CAT* 和 *GPx* 活性,保护细胞免受氧化应激损伤。本研究中 GLE 处理南丰蜜橘果实,亦可显著诱导提高抗氧化酶 *SOD*、*POD* 和 *CAT* 活性,延缓 *SOD*、*POD* 和 *CAT* 活性的下降,这说明 GLE 处理可通过诱导提高抗氧化酶活性,减轻活性氧自由基毒害作用,延缓果实衰老,维持果实品质。

### 3.3 GLE 对意大利青霉的抑制作用及抗氧化作用

喻林华等<sup>[35]</sup>和张美丽等<sup>[38]</sup>研究结果表明,GLE 对柑橘青霉菌、猕猴桃青霉菌等具有良好的抑制作用。本研究结果表明,GLE 对引起南丰蜜橘腐烂的意大利青霉具有良好的抑制作用,这是由于 GLE 中含有多种抑菌活性成分,具有广谱的抑菌作用。此外,GLE 中的黄酮可破坏细胞膜,从而增大细胞膜通透性,促进内含物释放,进而抑制意大利青霉的生长<sup>[67]</sup>。

GLE 具有很强的抗氧化作用,高浓度的 GLE 具有极强的 DPPH 自由基和羟基自由基清除能力,这与 GLE 中含有银杏黄酮、内酯、多糖等多种强抗氧化生理活性成分有关<sup>[13,16,24,68]</sup>。此外,GLE 中的银杏黄酮和有机酸具有优良的协同抗氧化作用<sup>[44]</sup>。果实在采后贮藏过程中,会产生大量的自由基,导致细胞膜脂过氧化,进而加速果实衰老。但是,GLE 中的黄酮可催化脂质过氧化物分解,从而降低氧化应激水平;金属离子是多种氧化酶的激活剂,可加速氧化反应的进行,而银杏黄酮可与金属离子结合,抑制氧化反应<sup>[13,50-54]</sup>,因而延缓果实衰老,维持果实品质。

## 4 结论

在南丰蜜橘的贮藏过程中,GLE 处理能显著提

高果实的保鲜效果,延缓果实衰老,维持果实品质。其中,15 g/L GLE 处理可显著降低南丰蜜橘果实的腐烂率和失重率;5 g/L GLE 处理可显著提高南丰蜜橘果实的亮度,阻止果皮的黄化,同时还可以高效延缓可溶性固形物含量和可溶性糖含量的下降;10 g/L GLE 处理可显著延缓南丰蜜橘果实维生素 C 含量下降,而 15 g/L GLE 处理能最大限度地延缓可滴定酸含量下降,更高质量浓度的 GLE 对保鲜效果和品质无显著提升效果。综合考虑,本研究认为 15 g/L GLE 处理最适合采后南丰蜜橘果实的贮藏保鲜。GLE 处理的南丰蜜橘保鲜机制在于对果实呼吸作用和病原菌的抑制,自身的强抗氧化特性和诱导提高抗氧化酶活性。

本研究的贮藏保鲜方法的原材料来源广泛,操作简单,仪器设备要求低,不仅可促进银杏落叶的综合利用,还为果农提供了一种简便有效的南丰蜜橘保鲜方法,有利于缓解南丰蜜橘“旺季烂、淡季断”的矛盾局面,提高果农经济收入。此外,本研究结果还为进一步开展南丰蜜橘分子保鲜机制提供基础。

### 参考文献:

- [1] 赵玉山. 江西:“南丰蜜桔”成为一张享誉海外的“中国名片”[J]. 中国果业信息, 2021, 38(6): 46.
- [2] 魏远隆,徐玉娥,李如坤,等. 低温富集/GC-MS 分析南丰蜜桔果肉成分的方法研究[J]. 分析测试学报, 2014, 33(2): 185-191.
- [3] 吴秀兰,任诗欣,何俊杰,等. 果蔬保鲜技术现状及展望[J]. 山东化工, 2022, 51(12): 111-114.
- [4] 陈建明. 50%鲜果灵贮藏保鲜南丰蜜桔试验初报[J]. 江西园艺, 2005(4): 22.
- [5] 叶利民,赵静,韩金多. 碳酸氢钠对南丰蜜桔采后的防腐保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(11): 152-154.
- [6] ZHANG S H, LUO L, SUN X Y, et al. Bioactive peptides: a promising alternative to chemical preservatives for food preservation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(42): 12369-12384.
- [7] MOGOSANU G D, GRUMEZESCU A M, BEJENARU C, et al. Natural products used for food preservation[M]//GRUMEZESCU A M. Food preservation. England: Academic Press, 2017, 365-411.
- [8] 李元政,胡文忠,萨仁高娃,等. 天然植物提取物的抑菌机理及其在果蔬保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(14): 239-244.
- [9] THIELMANN J, KOHNEN S, HAUSER C. Antimicrobial activity of *Olea europaea* Linne extracts and their applicability as natural food preservative agents[J]. International Journal of Food Micro-

- biology, 2017, 251: 48-66.
- [10] 高 阳,陈楚英,陈 明,等. 桂枝提取液复合涂膜对南丰蜜桔冷藏保鲜效果的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(6): 46-49.
- [11] 曾 荣,张阿珊,陈金印. CMC 与抑菌草剂复合涂膜对冷藏南丰蜜桔的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 281-287.
- [12] SATI P, DHYANI P, BHATT I D, et al. *Ginkgo biloba* flavonoid glycosides in antimicrobial perspective with reference to extraction method [J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2019, 9(1): 15-23.
- [13] BRIDI R, CROSSETTI F P, STEFFEN V M, et al. The antioxidant activity of standardized extract of *Ginkgo biloba* (EGb 761) in rats [J]. Phytotherapy Research, 2001, 15(5): 449-451.
- [14] CHEN G, ZHANG M, ZHAO J R, et al. Investigation of *Ginkgo biloba* leave extracts as corrosion and oil field microorganism inhibitors [J]. Chemistry Central Journal, 2013, 7: 83.
- [15] 吴海霞,田志芳. 银杏果实(白果)多糖提取工艺优化及其抑菌活性分析[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1551-1558.
- [16] WANG F F, YE S H, DING Y, et al. Research on structure and antioxidant activity of polysaccharides from *Ginkgo biloba* leaves [J]. Journal of Molecular Structure, 2022, 1252:132185.
- [17] SINGH S K, SRIVASTAV S, CASTELLANI R J, et al. Neuroprotective and antioxidant effect of *Ginkgo biloba* extract against AD and other neurological disorders [J]. Neurotherapeutics, 2019, 16(3): 666-674.
- [18] CZIGLE S, TÓTH J, JEDLINSZKI N, et al. *Ginkgo biloba* food supplements on the european market-adulteration patterns revealed by quality control of selected samples [J]. Planta Medica, 2018, 84(6/7): 475-482.
- [19] BOATENG I D. Potentialities of *Ginkgo* extract on toxicants, toxins, and radiation: a critical review [J]. Food & Function, 2022, 13(15): 7960-7983.
- [20] 李 玲,闫旭宇,陈铁壁,等. 银杏叶粗提物对荔枝的防腐保鲜效果[J]. 食品与机械, 2017, 33(12): 125-128,185.
- [21] 刘志祥,韩 磊. 植物提取物对草莓保鲜的效果[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1220-1222.
- [22] 张 瑾,文 婷,王国霞. 银杏外种皮及银杏叶提取液对冬枣保鲜的影响研究[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(7): 55-57.
- [23] 冯金霞,何 玲,张美芳,等. 银杏叶提取液浸泡处理对鲜切苹果的保鲜效果[J]. 西北农业学报, 2013, 22(6): 92-97.
- [24] WANG G X, CHEN G, LI Q, et al. Effect of *Ginkgo biloba* leaf extract on preservation of 'Shatang' Orange [J]. Journal of Environmental Biology, 2019, 40(3): 434-440.
- [25] 魏 雨,张景迅,张玉忠,等. 银杏黄酮提取工艺及纯化研究[J]. 化学世界, 2018, 59(12): 795-800.
- [26] 刘德春,曾 琼,刘 勇,等. '纽荷尔'脐橙及其光泽型突变体果皮色差指数变化规律的研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 914-917.
- [27] 高贯威,匡立学,李银萍,等. 基于 3,5-二硝基水杨酸比色法探究苹果中可溶性糖测定方法及其含量[J]. 中国果树, 2021(7): 74-77.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定:GB/T 12456-2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准. 食品中抗坏血酸的测定:GB 5009.86-2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
- [30] KANASHIRO A M, AKIYAMA D Y, KUPPER K C, et al. *Penicillium italicum*: An underexplored postharvest pathogen [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 606852.
- [31] 易 磊,霍光华,韩启灿,等. 木荷皂甙对稻瘟病菌细胞形态及生理生化指标的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(5): 450-456.
- [32] 吴冬凡,庞杜贤,林清盛. 火龙果果皮总黄酮和多糖的提取工艺及抗氧化研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2021, 53(5): 68-75.
- [33] 梁佳豪,周 婷,程 芸,等. 银杏叶提取物对樱桃果实的保鲜效果研究[J]. 食品界, 2022(2): 105-107.
- [34] 曲 莉,李咏梅,宋铁晶,等. 银杏叶提取物体外抑菌作用研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2014, 15(2): 204-206.
- [35] SATI P, PANDEY A, PALNI L M S. Antimicrobial potential of leaf extracts of *Ginkgo biloba* L., growing in Uttarakhand, India [J]. National Academy Science Letters, 2012, 35(3): 201-206.
- [36] 喻林华,李晓烈,蓝 华,等. 银杏叶提取物对柑橘青霉菌的抑菌效果[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 60-62.
- [37] 豁银强,尹 杰,陈 雪,等. 银杏叶黄酮的超声波提取及其抗菌研究[J]. 食品工业, 2012, 33(5): 47-49.
- [38] 张美丽,何 玲,苑希蕊,等. 银杏叶提取液诱导采后猕猴桃对青霉病的抗性机制[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 242-247.
- [39] VALDAMERI G, HERRERIAS T, CARNIERI E G S, et al. Importance of the core structure of flavones in promoting inhibition of the mitochondrial respiratory chain [J]. Chemico-Biological Interactions, 2010, 188(1): 52-58.
- [40] 陈迪新,赵梁怡,杨英军,等. 银杏叶提取液结合异抗坏血酸钠对鲜切砀山梨贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 243-248.
- [41] 张美芳,何 玲,冯金霞,等. 银杏叶提取液复合涂膜对鲜切苹果品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 263-267.
- [42] BRASIL I M, GOMES C, PUERTA-GOMEZ A, et al. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(1): 39-45.
- [43] ZAHRAĐNÍKOVÁ L, SCHMIDT Š, SEKRETÁR S, et al. Determination of the antioxidant activity of *Ginkgo biloba* leaves extract [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2007, 46(1): 15-19.
- [44] ZHANG L H, ZHU C Y, LIU X Q, et al. Study on synergistic antioxidant effect of typical functional components of hydroethanolic leaf extract from *Ginkgo Biloba* in vitro [J]. Molecules, 2022, 27

- (2): 437.
- [45] 冯 靖,彭效明,李翠清,等. 银杏叶黄酮的抗氧化性及其稳定性研究[J]. 食品科技, 2019, 44(4): 244-249.
- [46] 成 臣,王志雯,王雅青,等. 南丰蜜桔芽变优株“ZZL-03”果实品质及其采后主要变化规律的研究[J]. 江西农业大学学报, 2021, 43(4): 750-758.
- [47] VALERO D, DIAZ-MULA H M, ZAPATA P J, et al. Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77: 1-6.
- [48] 林 娟,姚周麟,王天玉,等. 8个杂交柑橘品种的糖酸组分含量及特征研究[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 202-211.
- [49] 卢晓鹏,李菲菲,谢深喜. 柑橘果实柠檬酸积累调控基因研究进展[J]. 果树学报, 2018, 35(1): 118-127.
- [50] BOVERIS A D, GALLEANO M, PUNTARULO S. *In vivo* supplementation with *Ginkgo biloba* protects membranes against lipid peroxidation [J]. Phytotherapy Research, 2007, 21(8): 735-740.
- [51] ZHANG S L, YI X L, SU X, et al. *Ginkgo biloba* extract protects human melanocytes from H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced oxidative stress by activating Nrf2 [J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2019, 23(8): 5193-5199.
- [52] KOBUS-CISOWSKA J, FLACZYK E, RUDZINSKA M, et al. Antioxidant properties of extracts from *Ginkgo biloba* leaves in meatballs [J]. Meat Science, 2014, 97(2): 174-180.
- [53] HORAKOVA L, LICHT A, SANDIG G, et al. Standardized extracts of flavonoids increase the viability of PC12 cells treated with hydrogen peroxide: effects on oxidative injury [J]. Archives of Toxicology, 2003, 77(1): 22-29.
- [54] LI H T, ZHOU X Q, GAO P, et al. Inhibition of lipid oxidation in foods and feeds and hydroxyl radical-treated fish erythrocytes: A comparative study of *Ginkgo biloba* leaves extracts and synthetic antioxidants [J]. Animal Nutrition, 2016, 2(3): 234-241.
- [55] 肖锡湘. 蜂蜡涂膜剂保鲜南丰蜜桔的研究初探[J]. 蜜蜂杂志, 2009, 29(2): 11-13.
- [56] 薛志慧,周 喆,商 虎,等.不同浓度铜对茶树根系抗氧化酶活性及根细胞超微结构的影响[J].南方农业学报,2022,53(2):324-333.
- [57] 朱志铭,任朝兴,马 博. 桃叶珊瑚苷药理作用及分子机制研究进展[J].生物加工过程,2021,19(5):482-490.
- [58] 唐 敏,杨开宇,张赛男,等. 硒对核桃种仁抗氧化酶活性及果实品质的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2022,46(5): 127-134.
- [59] 李佳琦,薛晓明,高捍东. 桉楠种子脱水过程中的生理响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(3):130-136.
- [60] 张 磊,童 龙,谢锦忠,等. 不同灌水时间下毛竹伐桩根系化学计量及生理特性变化[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(5):25-30.
- [61] 石 鹏,王 永,张大鹏. 油棕果实发育及中果皮内含物含量和抗氧化酶活性的变化规律[J].南方农业学报,2021,52(4): 1050-1057.
- [62] YAO P, LI K, JIN Y, et al. Oxidative damage after chronic ethanol intake in rat tissues: Prophylaxis of *Ginkgo biloba* extract [J]. Food Chemistry, 2006, 99(2): 305-314.
- [63] SONG W, ZHAO J, YAN X S, et al. Mechanisms associated with protective effects of *Ginkgo biloba* leaf extract on rat cerebral ischemia reperfusion injury [J]. Journal of Toxicology and Environmental Health, 2019, 82(19): 1045-1051.
- [64] YAN M, LI M, GU S L, et al. *Ginkgo biloba* extract protects diabetic rats against cerebral ischemia-reperfusion injury by suppressing oxidative stress and upregulating the expression of glutamate transporter 1 [J]. Molecular Medicine Reports, 2020, 21(4): 1809-1818.
- [65] ZHAO J D, SU Y, CHEN A T, et al. Effect of *Ginkgo* leaf parenteral solution on blood and cochlea antioxidant and immunity indexes in OM rats [J]. Molecules, 2011, 16(12): 10433-10442.
- [65] CHEN L, ZHANG C H, HAN Y, et al. *Ginkgo biloba* extract (EGb) inhibits oxidative stress in Neuro 2A cells overexpressing APP<sup>sw</sup> [J]. Biomed Research International, 2019, 2019: 7034983.
- [67] 罗 洁,王鸿飞,许 凤,等. 费菜黄酮对柑橘意大利青霉菌抑制作用的研究[J]. 核农学报, 2020, 34(8): 1737-1745.
- [68] 周晓辉,王 瑱,邱立娟,等. 银杏白果提取物抗氧化及抗菌研究[J]. 时珍国药, 2018, 29(3): 577-580.

(责任编辑:石春林)