

赵治兵, 黄婷婷, 吕嘉瀚, 等. 褪黑素结合丁香酚处理对红桃贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 341–346. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070080

ZHAO Zhibing, HUANG Tingting, LÜ Jiahao, et al. Effect of Melatonin Coupling with Eugenol Treatment on Storage Quality of Red *Amygdalus persica* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 341–346. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070080

· 贮藏保鲜 ·

褪黑素结合丁香酚处理对红桃 贮藏品质的影响

赵治兵, 黄婷婷, 吕嘉瀚, 杜晓吉, 张长凤, 张 雨, 曹 森*
(贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州贵阳 550005)

摘 要: 为研究褪黑素结合丁香酚处理对桃贮藏品质的影响, 本实验以镇远红桃为试验材料, 采用不同的处理 (0.5 mmol/L 褪黑素处理; 50 μ L/L 丁香酚处理; 0.5 mmol/L 的褪黑素+50 μ L/L 的丁香酚处理) 对桃浸泡 5 min, 处理后自然晾干在温度 (0.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}$ C 条件下进行贮藏, 研究贮藏期桃品质变化。结果表明: 褪黑素结合丁香酚的处理能有效地降低果实腐烂率和呼吸强度, 延缓硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和总酚含量的下降, 有效维持 SOD 活性、APX 的活性和 PPO 的活性。在贮藏期 60 d 时, 褪黑素+丁香酚组果实腐烂率仅为 14.65%, 而 CK 组、褪黑素组、丁香酚组的果实腐烂率分别为 36.72%, 25.63%, 22.49%。综上所述, 褪黑素结合丁香酚处理能够推迟桃贮藏期的衰老进程, 抑制果实品质的下降, 更好地保持贮藏品质。

关键词: 桃, 褪黑素, 丁香酚, 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)23-0341-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070080

本文网刊:



Effect of Melatonin Coupling with Eugenol Treatment on Storage Quality of Red *Amygdalus persica*

ZHAO Zhibing, HUANG Tingting, LÜ Jiahao, DU Xiaojie, ZHANG Changfeng, ZHANG Yu, CAO Sen*

(School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang College, Guiyang 550005, China)

Abstract: In order to study the changes of storage quality of red *Amygdalus persica* treated with melatonin and eugenol, the red *Amygdalus persica* was used as the experimental material in this experiment. Different treatments (0.5 mmol/L melatonin treatment; 50 μ L/L eugenol treatment; 0.5 mmol/L melatonin+50 μ L/L eugenol treatment) were used to soak the red *Amygdalus persica* for 5 min. After treatment, it was naturally dried and stored at a temperature of (0.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}$ C to study the quality changes of red *Amygdalus persica* during storage. The results showed that: Melatonin combined with eugenol treatment could effectively reduce fruit decay rate and respiratory intensity, and delay the decline of firmness, soluble solid content, titratable acid content and total phenol content, effectively maintained SOD activity, APX and PPO activity. At 60 days of storage, the fruit decay rate of melatonin combined with eugenol group was only 14.65%, while that of CK group, melatonin group and eugenol group were 36.72%, 25.63% and 22.49% respectively. In conclusion, melatonin combined with eugenol treatment could delay fruit softening, inhibit the decline of fruit quality and significantly prolong the storage period of fruits.

Key words: *Amygdalus persica*; melatonin; eugenol; storage quality

桃 (*Amygdalus persica* L.) 属于蔷薇科、桃属植物, 其营养价值高, 酸甜可口, 深受消费者的喜爱^[1-2]。

但由于桃果实皮薄、含水量高、易受机械伤和病原菌侵染, 从而导致桃采后易衰老、软化、褐变, 甚至出现

收稿日期: 2022-07-08

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2020]1Y137 号); 贵州省市场监管局 2021 年质量发展项目 (黔质量发展项目 [2021] 21 号)。

作者简介: 赵治兵 (1984-), 男, 硕士, 高级实验师, 研究方向: 农产品品质分析、贮藏, E-mail: 359833682@qq.com。

* 通信作者: 曹森 (1988-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工研究, E-mail: cs5638myself@126.com。

长霉、腐烂等现象^[3-5],降低了桃产业的经济效益,影响了桃产业的快速可持续发展。因此,急需探究适宜桃果实的保鲜技术,从而延长桃产业链。

近年来,生物保鲜技术因其具有天然、安全、无毒等特点,已成为果蔬保鲜研究热点^[6-7]。褪黑素,即 N-乙酰基-5-甲氧基色胺(MT),属于多功能的生物活性分子,能够参与植物的生长、后熟和衰老等生理活动^[8-10]。GAO 等^[11]研究发现用褪黑素处理桃果实,可以诱导果实总酚物质和内生性水杨酸的积累,降低桃果的冷害发生率。WANG 等^[12]研究发现,适宜浓度褪黑素处理可保持荔枝果实中较高的 ATP 和 ADP 含量,推迟了荔枝果实的衰老进程。丁香酚属于天然植物精油,具有杀菌、抗氧化等功效,也能够抑制果蔬的采后衰老^[13-15]。葛达娥^[16]研究表明,丁香酚处理能够降低蓝莓贮藏期间果实表面微生物的数量,保持果实的贮藏品质。张莉会等^[17]报道丁香酚缓释结合气调包装能保持蓝莓更好地贮藏品种,延长蓝莓的贮藏期。由于贮藏期红桃易软化、长霉^[3-4],并且前期研究发现,0.5 mmol/L 褪黑素、50 μ L/L 丁香酚对采后红桃保鲜均有较好的作用效果,而关于褪黑素联合丁香酚处理鲜有相关报道。因此,本研究以镇远红桃为试材,探究褪黑素联合丁香酚处理对桃贮藏品质的影响,为桃采后贮藏保鲜提供新思路。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

桃(品种为红桃) 采摘于镇远县新科果业有限公司基地;PE20 保鲜膜 山西省农业科学院;褪黑素、丁香酚 上海源叶生物科技有限公司;本文所使用的化学试剂均为分析纯,水为二次蒸馏水。

UV-2550 紫外分光光度计 日本 Shimadzu 公司;TGL-16A 台式高速冷冻离心机 长沙平凡仪器仪表有限公司;Check Piont II 便携式残氧仪 丹麦 Dantsensor 公司;TA.XT.PLUS 质构仪 英国 SMS 公司;PAL-1 型迷你数显折射仪 日本 ATAGO 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 果实处理 红桃于 2021 年 7 月 15 日进行采收,采收时选择 8 成熟左右的果实,采收后的果实立刻运往实验室,选择无机械损伤、无病虫害、果型基本一致的桃,分四组进行处理。对照组(CK)用蒸馏水浸泡,其他三组分别用 0.5 mmol/L 褪黑素、50 μ L/L 丁香酚、0.5 mmol/L 褪黑素+50 μ L/L 丁香酚进行浸泡处理,处理时间均为 5 min,每组处理果实 30 kg,每个处理 3 个平行,处理后自然晾干,装入 PE20 保鲜膜内,预冷 24 h 后扎袋长期贮藏,贮藏温度为(0.5 $\pm$ 0.5) $^{\circ}$ C,每隔 15 d 测定其相关指标,测定周期为 60 d。

1.2.2 测定指标及方法

1.2.2.1 腐烂率 采用计数法测定桃腐烂率^[18],以桃表面出现长霉、变黑、水渍状等现象记为腐烂,公式

记为:腐烂率(%)=腐烂桃数量 $\times$ 100/红桃总数量。

1.2.2.2 硬度 使用 P/2(直径为 2 mm)探头用质构仪对果实硬度进行测定,测定时将桃平放于操作台上,桃缝合线一侧全部向左,测定果实中间部位,测定参数为:测中速度 1 mm/s,测前及测后速度均为 2 mm/s^[19]。

1.2.2.3 呼吸强度 呼吸强度采用张鹏等^[20]报道的静置法进行测定。称取质量为(700 $\pm$ 100)g 红桃置于常温密闭容器中 3 h,然后用便携式残氧仪测定其氧气和二氧化碳浓度。

1.2.2.4 可溶性固形物含量和可滴定酸含量 可溶性固形物含量采用迷你数显折射仪进行测定,可滴定酸含量根据 GB/T 12456-2021《食品安全国家标准食品中总酸的测定》进行测定。

1.2.2.5 总酚含量 总酚含量采用福林-酚比色法进行测定^[21]。称取 2 g 样品组织,用 70% 的乙醇研磨匀浆后转入 25 mL 容量瓶中,在 50 $^{\circ}$ C 水浴中避光震荡 1 h,4 $^{\circ}$ C 10000 r/min 离心 15 min,收集上清液。取 1 mL 上清液于 25 mL 的容量瓶,加入 3 mL 福林酚试剂,摇匀后静置 30 s。再加入 6 mL 碳酸钠溶液,并用蒸馏水定容至刻度线。于 25 $^{\circ}$ C 下静置 1 h 后在波长 765 nm 处测定吸光度。以焦性没食子酸制作标准曲线,结果以 mg/g 表示。

1.2.2.6 超氧化物歧化酶(SOD)活性 SOD 活性采用邻苯三酚自氧化法^[22]进行测定。取 2 g 样品组织,用蒸馏水研磨,于 4 $^{\circ}$ C 10000 r/min 离心 15 min,收集上清液即为酶液。向试管中加入 2.35 mL 0.1 mol/L Tris-HCl 液,0.85 mL 蒸馏水,0.7 mL 4.5 mol/L 邻苯三酚溶液和 0.6 mL 酶液,混匀。立即于 325 nm 处测定吸光度变化值,结果以 U $\cdot$ g $^{-1}$ 表示。

1.2.2.7 抗坏血酸过氧化酶(APX)活性 APX 活性采用曹建康等^[23]报道的方法进行测定。称取 3 g 果肉组织,加入 5 mL 经 4 $^{\circ}$ C 0.1 mmol/L、pH7.4 磷酸钾缓冲液(含 0.1 mmol/L EDTA、1 mmol/L 抗坏血酸和 2% PVPP),冰浴研磨匀浆,于 4 $^{\circ}$ C,10000 r/min 离心 15 min,收集上清液即为酶液。一支试管,依次加入 2.6 mL 缓冲液和 0.3 mL 酶液,最后立即加入 0.5 mL 2 mmol/L H₂O₂ 溶液,立即在波长为 290 nm 下测定吸光度变化值,其结果以 U $\cdot$ g $^{-1}$ 表示。

1.2.2.8 多酚氧化酶(PPO)活性 PPO 活性采用邻苯二酚比色法^[24]进行测定。取 2 g 果实组织,用 10 mL pH7.8 0.05 mol/L 磷酸钠缓冲溶液研磨,4 $^{\circ}$ C 10000 r/min 离心 15 min,收集上清液即酶液。将 3 mL 酶提取液加入至 3.9 mL 0.05 mol $\cdot$ L $^{-1}$ 磷酸钠缓冲溶液和 1 mL 0.1 mol $\cdot$ L $^{-1}$ 邻苯二酚溶液中。反应液于 37 $^{\circ}$ C 水浴保温 10 min 后,立即加入 2 mL 20% 三氯乙酸终止反应。在 420 nm 处测定吸光度值,结果以 U $\cdot$ g $^{-1}$ 表示。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行统计分析,采用 SPSS22.0 软件的 Duncan 法对数据进行差异显著性分析($P<0.05$ 表示显著性差异; $P>0.05$ 表示无显著性差异)。

2 结果与分析

2.1 桃果实腐烂率和硬度的变化

腐烂率能直观反映红桃的贮藏效果,而硬度是判断红桃软化的关键指标之一。图 1(A)所示,在整个贮藏期,不同组桃的腐烂率均出现上升的趋势,且 CK 组上升得最快。在贮藏期 45~60 d 时,CK 组的腐烂率均显著高于处理组($P<0.05$)。在第 60 d 时,CK 组、褪黑素组、丁香酚组和褪黑素+丁香酚组的果实腐烂率分别为 36.72%、25.63%、22.49%、14.65%,褪黑素+丁香酚组与其他处理组均有显著差异($P<0.05$)。图 1(B)所示,红桃果实在贮藏期 0~60 d 的硬度呈下降的趋势,其中褪黑素+丁香酚组硬度在整个贮藏期硬度变化最小。在贮藏期 45 d 时,褪黑素+丁香酚组的硬度显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏期 60 d 时,CK 组硬度仅为 13.63 kg·cm⁻²,而褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的硬度分别为 16.54、18.53、21.42 kg·cm⁻²,并且不同的处理组硬度均显著高于对照组($P<0.05$)。由此说明,与对照组比较,不同处理组均能够降低果实的腐烂率,推迟果实的软化,这可能由于丁香酚能够明显抑制果实的致病菌侵染^[16],褪黑素能够诱导果实内源激素的积累

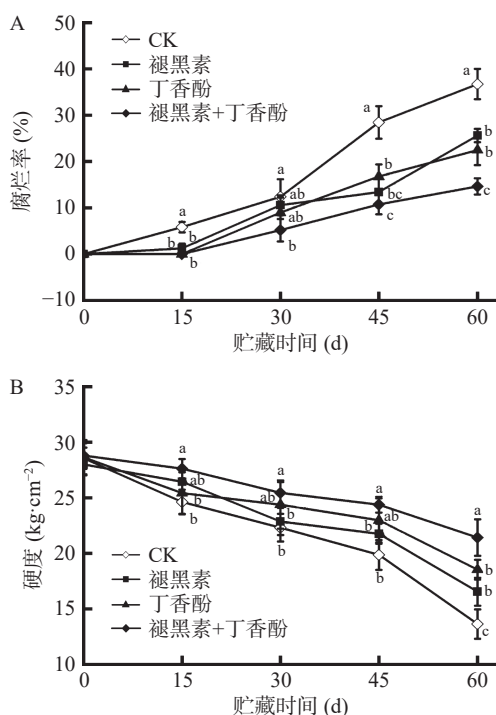


图 1 不同处理下红桃腐烂率(A)和硬度(B)的变化

Fig.1 Changes of decay rate (A) and firmness (B) of red *Amygdalus persica* under different treatments

注:不同小写字母表示同一贮藏时间不同处理组之间差异显著($P<0.05$);图 2~图 6 同。

联合作用导致的^[11],综合比较,褪黑素+丁香酚处理对抑制腐烂率的上升和硬度的下降作用效果最好。

2.2 桃果实呼吸强度的变化

呼吸强度是判断果实呼吸代谢的重要指标。贮藏期果实呼吸强度越高,反映其代谢速度快,从而降低果实贮藏品质,缩短果实贮藏期^[25-26]。图 2 所示,在整个贮藏期,不同组红桃的呼吸强度均随贮藏时间的增加出现了先上升而后下降的变化,说明桃属于跃变型果实,并且不同组均在 15 d 时出现了呼吸高峰,此时 CK 组、褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的果实呼吸强度分别为 25.76、24.15、22.95 和 22.42 mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹。在 15~60 d 时,处理组的呼吸强度均低于对照组,且褪黑素+丁香酚组显著低于对照组($P<0.05$)。在贮藏期 60 d 时,褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的呼吸强度分别比 CK 组低 8.26%、11.02%、34.78%,其中褪黑素+丁香酚组显著低于 CK 组($P<0.05$),其他处理组与 CK 组无显著差异($P>0.05$)。由此说明,与对照比较,不同处理组均能够降低采后红桃的呼吸强度,从而推迟果实的呼吸代谢,降低果实的腐烂率(图 1A),综合比较,褪黑素结合丁香酚组对果实呼吸强度的降低作用效果更好。

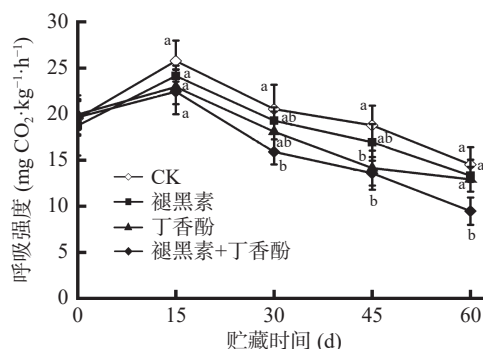


图 2 不同处理下红桃呼吸强度的变化

Fig.2 Changes of respiratory intensity of red *Amygdalus persica* under different treatments

2.3 桃果实可溶性固形物含量和可滴定酸含量的变化

可溶性固形物含量和可滴定酸的含量是评价水果口感的重要指标^[27]。图 3(A)所示,在整个贮藏期,不同组桃的可溶性固形物含量均随贮藏时间的增加出现了下降的变化。在 45~60 d 时,处理组的可溶性固形物含量均高于对照组,且褪黑素+丁香酚组显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏期 60 d 时,CK 组、褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的可溶性固形物含量的分别为 11.22%、11.34%、11.55%、11.72%。图 3(B)所示,在整个贮藏期,不同组红桃的可滴定酸均随贮藏时间的增加出现了下降的趋势。在 15~60 d 时,处理组桃的可滴定酸含量均高于对照组。在贮藏期 60 d 时,与 CK 组可滴定酸含量比较,丁香酚组、褪黑素组均无显著差异($P>0.05$),但褪黑素+丁香酚组有显著差异($P<0.05$)。由此说明,褪黑素组、丁香

酚组、褪黑素+丁香酚组均不同程度的抑制果实可溶性固形物含量和可滴定酸含量的下降,其中褪黑素+丁香酚组维持可溶性固形物含量和可滴定酸含量效果最好。

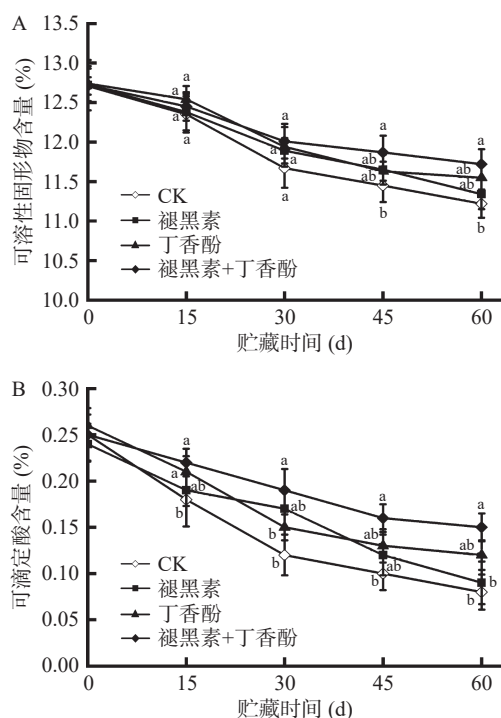


图3 不同处理下红桃可溶性固形物含量(A)和可滴定酸含量(B)的变化

Fig.3 Changes of soluble solid content (A) and titratable acid content (B) of red *Amygdalus persica* under different treatments

2.4 桃果实总酚含量的变化

酚类物质是植物中抗氧化活性成分,酚类物质的变化也反映果实的贮藏效果^[28]。图4所示,整个贮藏期,不同组的总酚均呈现下降的趋势。在贮藏期0 d时,不同组无显著性差异($P>0.05$)。在贮藏期45~60 d时,处理组的总酚含量均显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏期达到60 d时,CK组、褪黑素组、丁香酚组和褪黑素+丁香酚组的总酚含量分别为0.39、0.54、0.61、0.72 mg/g。由此得知,褪黑素+丁香酚处理能有效的抑制桃总酚含量的下降,保持其较好的抗氧化活性。

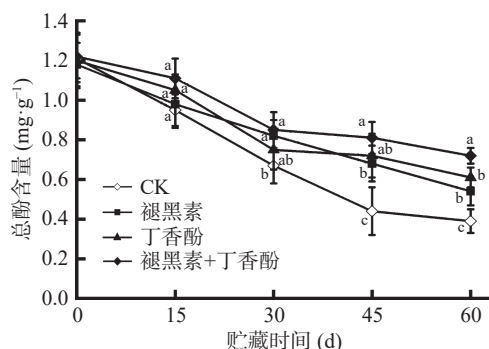


图4 不同处理下红桃总酚含量的变化

Fig.4 Changes of total phenol content of red *Amygdalus persica* under different treatments

2.5 桃果实 SOD 活性和 APX 活性的变

超氧化物歧化酶(SOD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)都是抗氧化酶,可以清除氧自由基^[29],APX活性的升高有利于植物体内 H_2O_2 的清除^[30]。图5(A)所示,在整个贮藏期,不同组桃的SOD活性均随贮藏时间的增加出现了先上升而后下降的趋势,并且不同组的果实SOD活性均在15 d时出现了高峰,这与桃贮藏15 d时出现呼吸高峰一致(图2),原因是由于贮藏期桃后熟导致的,此时,CK组、褪黑素组、丁香酚组和褪黑素+丁香酚组的SOD活性为2573.45、2654.38、2598.45、2743.25 $U\cdot g^{-1}$ 。在贮藏期45 d时,褪黑素+丁香酚组的SOD活性显著高于褪黑素组、丁香酚组和对照组($P<0.05$)。在贮藏期60 d时,褪黑素组、丁香酚组与对照组无显著差异($P>0.05$),但褪黑素+丁香酚组与对照组有显著差异($P<0.05$),其原因可能单独的处理作用效果不如褪黑素+丁香酚组,从而对红桃抗氧化效果的保持效果较差,这也与贮藏期红桃腐烂率偏高一致(图1A)。图5(B)所示,在0~60 d时,不同处理组间果实的APX活性均呈下降趋势。在贮藏期15~60 d时,褪黑素+丁香酚组均显著高于对照组($P<0.05$)。在贮藏期60 d时,CK组、褪黑素组、丁香酚组和褪黑素+丁香酚组的APX活性分别为5.58、5.94、6.54、7.68 $U\cdot g^{-1}$ 。由此可知,处理组均能保持桃果实SOD活性和APX活性,其中褪黑素+丁香酚组保持效果最好。

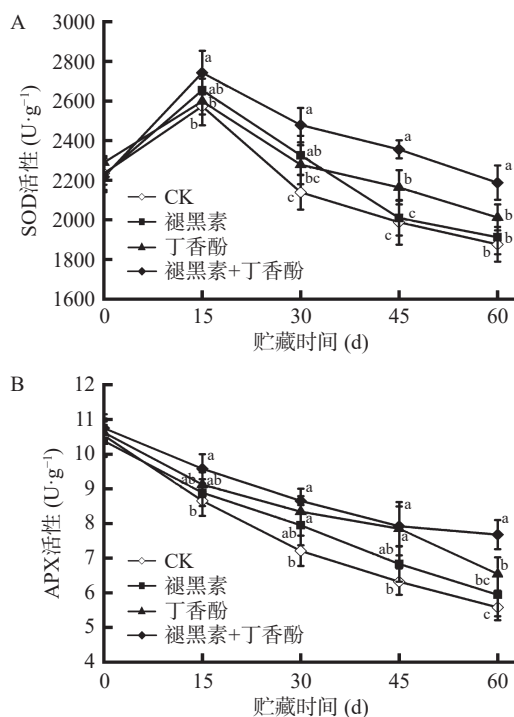


图5 不同处理下红桃SOD活性(A)和APX活性(B)的变化

Fig.5 Changes of superoxide dismutase activity (A) and ascorbic acid peroxidase activity (B) of red *Amygdalus persica* under different treatments

2.6 桃果实 PPO 活性的变化

多酚氧化酶 PPO 是氧化还原酶,能够反映果实

贮藏期间的褐变衰老情况^[31]。图 6 所示,在整个贮藏期,不同组桃的 PPO 活性随着时间的延长出现了上升趋势,并且在整个贮藏期间,处理组的桃 PPO 活性均小于对照组。在贮藏期 30 d 时,CK 组、褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的 PPO 活性分别为 14.85、13.45、12.15、11.96 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在贮藏期 60 d 时,CK 组、褪黑素组、丁香酚组、褪黑素+丁香酚组的 PPO 活性分别为 17.96、16.85、15.66、14.88 $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与 CK 组比较,丁香酚组、褪黑素+丁香酚组均有显著差异($P < 0.05$),但褪黑素组无显著差异($P > 0.05$),可能丁香酚对维持红桃 PPO 活性的作用效果好于褪黑素,具体原因还需要进一步研究。综合比较发现,褪黑素+丁香酚复合处理组效果最好。

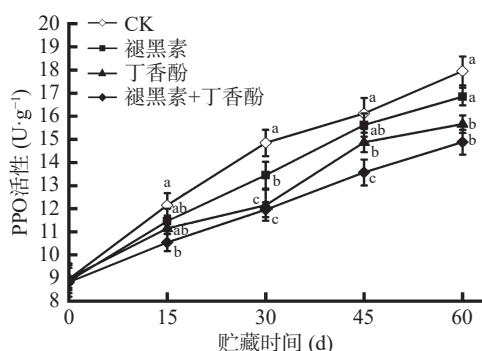


图 6 不同处理下红桃 PPO 活性的变化
Fig.6 Changes of polyphenol oxidase activity of red *Amygdalus persica* under different treatments

3 结论

通过比较褪黑素结合丁香酚处理对红桃贮藏品质的影响表明,不同的处理均能够降低果实的腐烂率,保持果实的营养品质及酶活性。其中,在贮藏期 60 d 时,CK 组、褪黑素组、丁香酚组的果实腐烂率分别为 36.72%、25.63%、22.49%,而褪黑素+丁香酚组果实腐烂率仅为 14.65%。综合比较,褪黑素结合丁香酚处理对采后红桃品质的保持效果最好,能够有效地抑制桃腐烂率和呼吸强度的上升,抑制果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和总酚含量的下降,维持 SOD 活性、APX 活性、PPO 的活性。因此,褪黑素结合丁香酚处理为桃采后有效保鲜提供新思路。

参考文献

[1] ZHU Y C, WANG K, WU C, et al. Effect of ethylene on cell wall and lipid metabolism during alleviation of postharvest chilling injury in peach[J]. *Cells*, 2019, 8: 1612.
[2] ZHANG S, ZHENG Q, XU B, et al. Identification of the fungal pathogens of postharvest disease on peach fruits and the control mechanisms of *Bacillus subtilis* JK-14[J]. *Toxins*, 2019, 11(6): 322.
[3] 罗冬兰, 瞿光凡, 马超, 等. 基于高通量测序技术研究不同品种桃果实的微生物多样性[J]. *包装工程*, 2022, 43(11): 140-146.
[LUO L D, QU G F, MA C, et al. Microbial diversity of peach fruits of different varieties based on high-throughput sequencing[J]. *Major in Packaging Engineering*, 2022, 43(11): 140-146.]

[4] ZHAO Y Y, TANG J X, SONG C C, et al. Nitric oxide alleviates chilling injury by regulating the metabolism of lipid and cell wall in cold-storage peach fruit[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2021, 169: 63-69.
[5] BERNAT M, CASALS C, TORRES R, et al. Infection risk of *Monilinia fructicola* on stone fruit during cold storage and immersion in the dump tank[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 256: 108589.
[6] 薛友林, 韩双双, 张鹏, 等. 柿采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 354-358, 363. [XUE Y L, HAN S S, ZHANG P, et al. Research progress on postharvest preservation technology of persimmon[J]. *Food Industry Technology*, 2019, 40(12): 354-358, 363.]
[7] 罗冬兰, 曹森, 陈建业, 等. 火龙果采后品质劣变与保鲜研究进展[J]. *中国果树*, 2022(5): 15-20. [LUO D L, CAO S, CHEN J Y, et al. Recent advances in post-harvest quality deterioration and preservation of pitaya[J]. *Fruit Tree Specialty in China*, 2022(5): 15-20.]
[8] TAN X L, FAN Z Q, ZENG Z X, et al. Exogenous melatonin maintains leaf quality of postharvest Chinese flowering cabbage by modulating respiratory metabolism and energy status[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 177(110): 1-7.
[9] REITER R J, TAN D X, ZHOU Z, et al. Phytemelatonin: Assisting plants to survive and thrive[J]. *Molecules*, 2015, 20(4): 7396-7437.
[10] 瞿光凡, 巴良杰, 王瑞, 等. 褪黑素在果蔬采后保鲜的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(7): 45-51. [QU G F, BAL J, WANG R, et al. Application of melatonin in postharvest preservation of fruits and vegetables[J]. *Major in Packaging Engineering*, 2022, 43(7): 45-51.]
[11] GAO H, LU Z M, YANG Y, et al. Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 87-93.
[12] WANG T, HU M J, YUAN D B, et al. Melatonin alleviates pericarp browning in litchi fruit by regulating membrane lipid and energy metabolisms[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 160: 2-9.
[13] YANG R P, MIAO J Y, SHEN Y T, et al. Antifungal effect of cinnamaldehyde, eugenol and carvacrol nanoemulsion against *Penicillium digitatum* and application in postharvest preservation of citrus fruit[J]. *LWT*, 2021, 141: 110924.
[14] ZHOU D D, WEI Y Y, PENG J, et al. Carvacrol and eugenol inhibit postharvest soft rot disease by enhancing defense response in peaches during storage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, 43(9): 14086.
[15] 黄琦辉, 简凯丽, 黄琦, 等. 丁香酚熏蒸对青茄采后冷害和脯氨酸代谢的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(5): 907-915. [HUANG Q H, LIN K L, HUANG Q, et al. Effect of eugenol fumigation on chilling injury and proline metabolism in green eggplant[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2018, 32(5): 907-915.]
[16] 葛达城. 丁香酚对链格孢霉的抑制作用及其在蓝莓保鲜中的应用[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. [GE D E. The inhibitory of eugenol against *Alternaria* sp. and its application in blueberry pre-

- servation[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University Major, 2020.]
- [17] 张莉会, 李志航, 廖李, 等. 不同保鲜剂对蓝莓保鲜效果的比较[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(11): 121-129. [ZHANG L H, LI Z H, LIAO L, et al. Comparison of fresh-keeping effects of different preservatives on blueberries[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(11): 121-129.]
- [18] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 265-271. [CAO S, MA C, LONG X B, et al. Effects of 1-MCP combined with ethylene adsorbent on storage quality and physiology of blueberry[J]. *Food Industry Technology*, 2017, 38(19): 265-271.]
- [19] 曹森, 何贵红, 王瑞, 等. 臭氧结合 1-MCP 对桃子货架期品质的影响[J]. *食品工业*, 2021, 42(2): 6-10. [CAO S, HE G H, WANG R, et al. Effect of combined treatment of O₃ and 1-MCP on the quality of peach fruits during shelf life[J]. *Food Industry*, 2021, 42(2): 6-10.]
- [20] 张鹏, 李天元, 李江阔, 等. 环境气体调控对精准相温贮藏期间柿果保鲜效果的影响[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(3): 180-187. [ZHANG P, LI T Y, LI J K, et al. Effect of microenvironment gas controlled on fresh-keeping effect of persimmon fruits during accurate phase temperature storage[J]. *Chinese Journal of Food*, 2018, 18(3): 180-187.]
- [21] 谢丽源, 彭卫红, 唐杰, 等. 基于主成分分析法的不同包装膜对双孢蘑菇品质影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(16): 286-291. [XIE L Y, PENG W H, TANG J, et al. Principal component analysis to evaluate the effect of different packaging films on the quality of *Agaricus bisporus*[J]. *Food Science*, 2016, 37(16): 286-291.]
- [22] CAO S, QU G F, MA C, et al. Effects of melatonin treatment on the physiological quality and cell wall metabolites in kiwifruit[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 42: e64820.
- [23] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruit and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.]
- [24] 曹森, 吉宁, 马超, 等. 1-MCP 结合哈茨木霉菌对樱桃番茄贮藏的保鲜效果[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 262-268. [CAO S, JI N, MA C, et al. Effects of 1-MCP combined with *Trichoderma harzianum* on preservation of cherry tomato[J]. *Food Industry Technology*, 2019, 40(1): 262-268.]
- [25] NAVARRO J M, FLORES P, GARRIDO C, et al. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity[J]. *Food Chemistry*, 2006, 96(1): 66-73.
- [26] 曹森, 马超, 吉宁, 等. ⁶⁰Co- γ 辐照结合 1-MCP 处理对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *核农学报*, 2019, 33(8): 1519-1526. [CAO S, MA C, JI N, et al. Effects of ⁶⁰Co- γ irradiation combined with 1-MCP on storage quality of blueberry[J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2019, 33(8): 1519-1526.]
- [27] 普红梅, 李雪瑞, 杨芳, 等. 不同采后处理对云南油桃和水蜜桃的贮藏保鲜效果对比[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(3): 120-126. [PU H M, MA C, YANG F, et al. Comparison of storage and preservation effects of different post harvest treatments on nectarine and honey peach in Yunnan[J]. *Modern Food Technology*, 2020, 36(3): 120-126.]
- [28] DUAN W H, NGAFFO M F, LI W, et al. Alleviation of postharvest rib-edge darkening and chilling injury of carambola fruit by brassinolide under low temperature storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 299: 111015.
- [29] CHEN L L, WEI S, CAI D L, et al. Postharvest application of glycine betaine ameliorates chilling injury in cold-stored banana fruit by enhancing antioxidant system[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 287: 110264.
- [30] LI W, SHAO S, MILLION P M, et al. Effect of nano-SiO₂ packing on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit under ambient temperature storage[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315: 126295.
- [31] JIANG Y M, DUAN X W, JOYCE D, et al. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit[J]. *Food Chemistry*, 2004, 88(3): 443-446.