

千春录, 朱 芹, 高 珊, 等. 外源褪黑素处理对采后水蜜桃冷藏品质及冷害发生的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 702-708.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.03.024

## 外源褪黑素处理对采后水蜜桃冷藏品质及冷害发生的影响

千春录<sup>1</sup>, 朱 芹<sup>1</sup>, 高 珊<sup>1</sup>, 陈国华<sup>1</sup>, 戚思影<sup>1</sup>, 季正捷<sup>1</sup>, 金昌海<sup>1</sup>, 陈学好<sup>2</sup>, 齐晓花<sup>2</sup>

(1.扬州大学食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127; 2.扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 以琼花露水蜜桃为试验材料, 研究不同浓度 (50  $\mu\text{mol/L}$ 、100  $\mu\text{mol/L}$ 、150  $\mu\text{mol/L}$ 、200  $\mu\text{mol/L}$ ) 褪黑素处理对桃果低温贮藏品质的影响。结果表明, 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理能有效抑制冷藏桃果硬度下降和失重率上升, 从而保持冷藏桃果感官品质, 减轻冷害症状。褪黑素处理能有效抑制冷藏桃果相对电导率上升, 丙二醛 (MDA) 积累, 蛋白质和抗坏血酸降解, 从而降低桃果氧化伤害。褪黑素处理能有效抑制多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD)、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性的上升, 维持多酚含量, 从而抑制果实褐变。总之, 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理通过抑制桃果褐变, 降低氧化伤害, 保持果实冷藏品质并抑制冷害发生。

**关键词:** 水蜜桃; 褪黑素; 冷藏品质; 冷害; 褐变

**中图分类号:** TS255.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)03-0702-07

## Effects of exogenous melatonin treatment on cold storage quality and chilling injury of postharvest peach fruit

QIAN Chun-lu<sup>1</sup>, ZHU Qin<sup>1</sup>, GAO Shan<sup>1</sup>, CHEN Guo-hua<sup>1</sup>, QI Si-ying<sup>1</sup>, JI Zheng-jie<sup>1</sup>, JIN Chang-hai<sup>1</sup>, CHEN Xue-hao<sup>2</sup>, QI Xiao-hua<sup>2</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China; 2. School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** The effects of different concentrations (50  $\mu\text{mol/L}$ , 100  $\mu\text{mol/L}$ , 150  $\mu\text{mol/L}$ , 200  $\mu\text{mol/L}$ ) of melatonin on the cold storage quality of Qionghualu peach fruits were studied. The results showed that 100  $\mu\text{mol/L}$  melatonin treatment could effectively inhibit the decrease of hardness and the increase of weight loss rate in peach fruits during cold storage, thus maintaining the sensory quality of chilled peach fruits and alleviating chilling injury symptoms. Melatonin treatment could effectively inhibit the increase of relative electrical conductivity, accumulation of malondialdehyde (MDA), degradation of protein and ascorbic acid in peach fruit during cold storage, thus reducing oxidative damage. Melatonin treatment could effectively inhibit the increase of polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD), phenylalanine ammonia lyase (PAL) activities and maintain polyphenol content, thus inhibiting fruit browning. In conclusion, 100  $\mu\text{mol/L}$  melatonin treatment can inhibit the browning of peach fruit and reduce oxidative damage, so as to maintain the cold storage quality of

fruit and inhibit the occurrence of chilling injury.

**Key words:** peach; melatonin; cold storage quality; chilling injury; browning

收稿日期: 2019-11-22

基金项目: 江苏省基础研究计划项目 (BK20140483); 中国博士后科学基金面上项目 (2014M560451)

作者简介: 千春录 (1982-), 男, 河南焦作人, 博士, 副教授, 从事食品科学研究。 (E-mail) clqian@yzu.edu.cn

通讯作者: 齐晓花, (E-mail) xhqi@yzu.edu.cn

水蜜桃营养丰富、鲜嫩多汁, 广受消费者喜爱。水蜜桃采收期恰逢夏季高温高湿, 采后常温下易发生

软化腐烂。桃果是典型的呼吸跃变型果实,采后冷藏能有效延缓其呼吸跃变和后熟软化,从而延长贮藏期<sup>[1]</sup>。桃果对低温敏感,8℃以下低温贮藏会发生冷害,表现为果肉褐变和不能正常软化后熟<sup>[2]</sup>。开发高效简便的保鲜技术,一直是桃果采后保鲜研究重点。

褪黑素又名褪黑激素、松果腺素,是一种由哺乳动物和人类的松果体产生的胺类激素,能使一种产生黑色素的细胞发亮,因而命名为褪黑素<sup>[3]</sup>。多种植物中也发现褪黑素的存在,且其具有高效的自由基清除能力,并在调节植物应激反应、生长和发育等方面发挥重要作用<sup>[4]</sup>。辛丹丹等<sup>[5]</sup>发现外源褪黑素处理可使黄瓜保持更好的采后品质,降低细胞的氧化伤害,延缓衰老进程。Gao等<sup>[6]</sup>发现褪黑素处理能有效减缓2个品种桃果的衰老进程。目前关于褪黑素对桃果冷藏品质和冷害发生影响的报道甚少,本研究分析外源褪黑素处理对琼花露水蜜桃果实冷藏效果的影响,以期为保持桃果采后品质和延长贮藏期提供新的思路和理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

优质琼花露水蜜桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Qionghualu] 果实(八成熟),采自扬州果园,2 h内运至实验室。挑选大小均匀、无机械伤、无病虫害的果实为试验材料。

褪黑素购自合肥博美生物科技有限责任公司,三氯乙酸、牛血清蛋白、考马斯亮蓝、无水乙醇、2,6-二氯酚、2-硫代巴比妥酸、抗坏血酸(分析纯)由生工生物工程(上海)有限公司生产。

### 1.2 仪器与设备

WZ-103型手持式折光仪购自浙江托普云农科技股份有限公司,GY-3型硬度计购自浙江托普云农科技股份有限公司,DDS-308A型电导率仪购自上海仪电科学仪器有限公司,SSY型电热恒温水浴锅购自北京泰克仪器有限公司,721型分光光度计购自上海第三分析仪器厂,光电分析天平购自上海第三分析仪器厂,高速组织搅拌器购自飞利浦电子公司。

### 1.3 方法

桃果试验材料,平均分成5组,每组60个果实,分别于0 μmol/L(对照)、50 μmol/L、100 μmol/L、150 μmol/L、200 μmol/L的褪黑素溶液中浸泡30 min,充分晾干后置于温度(4±1)℃,相对湿度90%

的冷库中28 d,再移至温度(25±1)℃,相对湿度85%环境中3 d模拟货架期。冷藏期间每隔7 d及随后模拟货架期3 d后取样,测定品质及生理指标。所有试验及指标测定重复3次。

1.3.1 感官评价 10分制,采用色、香、味、形观察法<sup>[7]</sup>,由5人组成品评小组。

1.3.2 冷害指数 参照安瑞丽等<sup>[8]</sup>的测定方法测定。

1.3.3 色泽测定 使用手持式色差仪测定桃果的 $L^*$ 值,每组重复3次。 $L^*$ 表示色明度, $L^*=0$ 为黑色, $L^*=100$ 为白色。

1.3.4 硬度测定 采用硬度计测定最大直径处果实的硬度,果实硬度测定参照千春录等<sup>[9]</sup>的测定方法测定。

1.3.5 失重率测定 采用差量法计算,公式如下:失重率=(贮藏前桃果质量-贮藏后桃果质量)/贮藏前桃果质量×100%。

1.3.6 可溶性固形物含量测定 使用手持式折光仪测定,方法参照朱麟等<sup>[10]</sup>的测定方法。

1.3.7 相对电导率测定 参照千春录等<sup>[11]</sup>的测定方法测定。

1.3.8 丙二醛(MDA)含量测定 采用硫代巴比妥酸法测定<sup>[12]</sup>。

1.3.9 蛋白质含量测定 采用考马斯亮蓝法<sup>[11-12]</sup>测定。

1.3.10 多酚氧化酶(PPO)活性测定 参照Cho等<sup>[13]</sup>的方法测定,以1 min内反应体系 $A_{398}$ 增加0.001为1个多酚氧化酶活性单位。

1.3.11 过氧化物酶(POD)活性测定 参照Giménez等<sup>[14]</sup>的测定方法,以1 min内反应体系 $A_{470}$ 增加0.01为1个过氧化物酶活性单位。

1.3.12 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定 参照Dokhanieh等<sup>[15]</sup>的方法测定,以1 min内反应体系 $A_{290}$ 增加0.01为1个苯丙氨酸解氨酶活性单位。

1.3.13 总酚含量测定 参照Martínez-Sánchez等<sup>[16]</sup>的方法测定。

1.3.14 抗坏血酸含量测定 参照Matias等<sup>[17]</sup>的方法测定。

### 1.4 数据分析

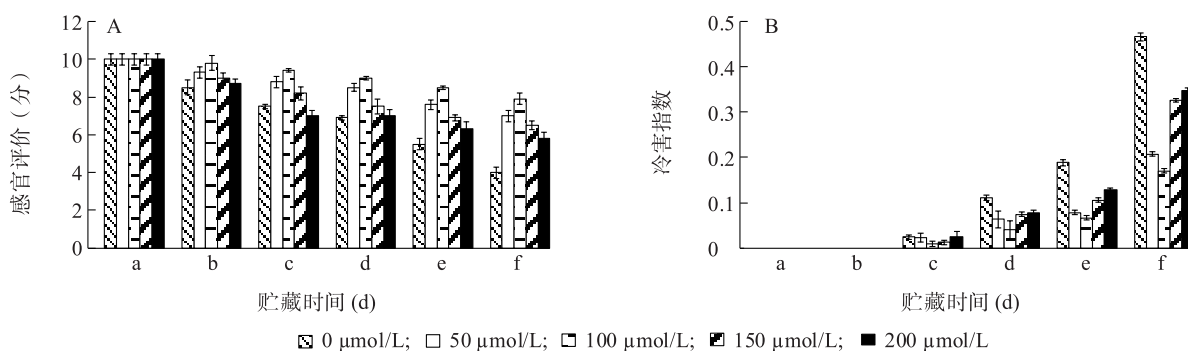
采用Excel 2010软件进行数据处理,用SPSS19.0软件的单因素方差分析进行显著性比较,检验的显著性概率临界值为0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 褪黑素处理对冷藏桃果感官评价和冷害指数的影响

感官评价和冷害指数是冷藏品质和冷害程度的直接表现统计。由图 1A 可知,冷藏桃果感官评价分值随贮藏时间的延长而降低。冷藏期间前 21 d,对照和 200  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果感官评价得分较低,且两者差异不显著( $P>0.05$ )。50  $\mu\text{mol/L}$ 、150  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果品质优于对照,而 100

$\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果品质最佳。由图 1B 可知,桃果冷害症状在冷藏 14 d 出现,然后冷害指数渐增。冷藏 21 d 后对照桃果冷害指数显著( $P<0.05$ )高于褪黑素处理果实,表明褪黑素处理能延缓桃果冷害发生。150  $\mu\text{mol/L}$ 和 200  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果的冷害指数在冷藏后期和模拟货架期显著( $P<0.05$ )高于 50  $\mu\text{mol/L}$ 、100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理,而在整个贮藏过程中 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果冷害指数最低。该结果表明 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理能有效保持桃果冷藏品质,抑制果实冷害发生。



a:贮藏 0 d;b:贮藏 7 d;c:贮藏 14 d;d:贮藏 21 d;e:贮藏 28 d;f:贮藏 28 d+货架期 3 d。

图 1 褪黑素处理对冷藏桃果感官评价(A)和冷害指数(B)的影响

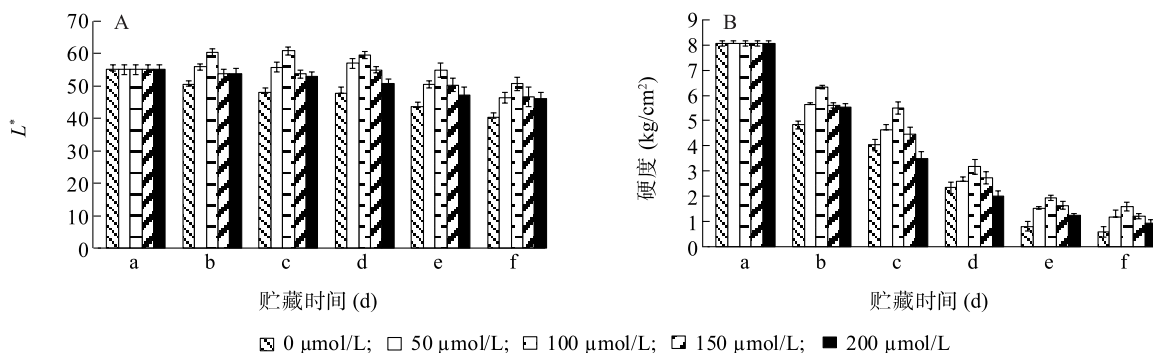
Fig.1 Effects of melatonin treatment on sensory evaluation (A) and chilling injury index (B) of peach fruit under cold storage

### 2.2 褪黑素处理对冷藏桃果颜色和硬度的影响

$L^*$  值可直观反映果实贮藏过程中果肉变暗的程度, $L^*$  值越低表明果肉越暗。由图 2A 可知,贮藏期间,对照桃果亮度呈持续下降趋势,而褪黑素处理果实呈先上升后下降的趋势。冷藏结束及货架期褪黑素处理果实  $L^*$  值显著( $P<0.05$ )高于对照,而 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理果实  $L^*$  值显著( $P<0.05$ )高于其他浓度的处理,表明褪黑素处理能显著抑制果实褐

变,而 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理效果最佳。

果实硬度是衡量其品质的重要指标。由图 2B 可知,贮藏期间所有桃果硬度呈下降趋势,200  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理和对照果实硬度下降趋势最为明显,其中对照果实硬度从冷藏起始的 8.00  $\text{kg/cm}^2$ 下降至冷藏末期的 0.57  $\text{kg/cm}^2$ 。冷藏 7 d 后所有果实硬度大幅下降,其中 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理果实硬度下降最为缓慢,且直至贮藏结束保持最高硬度。



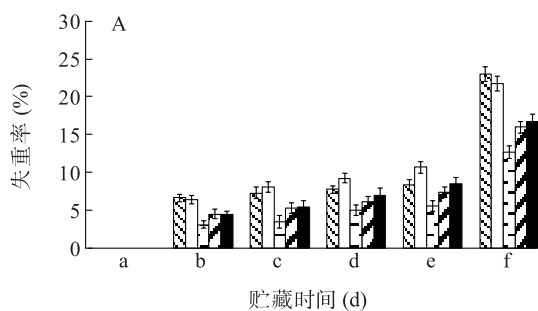
a~f 见图 1 注。

图 2 褪黑素处理对冷藏桃果颜色(A)和硬度(B)的影响

Fig.2 Effects of melatonin treatment on color (A) and firmness (B) of peach fruit under cold storage

### 2.3 褪黑素处理对冷藏桃果失重率和可溶性固形物含量的影响

桃果水分含量高,采后代谢旺盛,贮藏期间易失水和产生底物消耗。由图 3A 可知,贮藏期间桃果的失重率呈上升趋势,且货架期上升幅度最大。在冷藏期间 50  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理桃果失重率高于对照,表明低浓度的褪黑素处理不能抑制桃果水分丧失。整个贮藏期间 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理桃果的失重率显著 ( $P<0.05$ ) 低于对照和其他浓度褪黑素处理,贮藏结束时为对照桃果失重率的 58.8%。



□ 0  $\mu\text{mol/L}$ ; □ 50  $\mu\text{mol/L}$ ; □ 100  $\mu\text{mol/L}$ ; ■ 150  $\mu\text{mol/L}$ ; ■ 200  $\mu\text{mol/L}$

a~f 见图 1 注。

图 3 褪黑素处理对冷藏桃果失重率 (A) 和可溶性固形物含量 (B) 的影响

Fig.3 Effects of melatonin treatment on weight loss rate (A) and soluble solids content (B) of peach fruit under cold storage

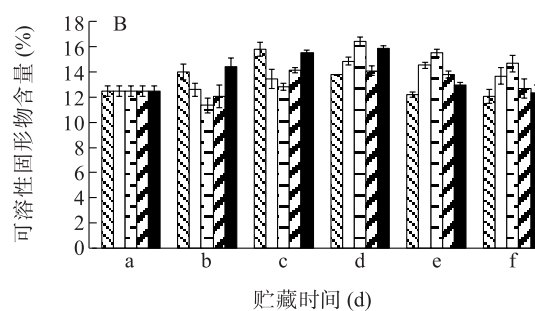
通过以上品质指标分析发现,褪黑素处理能改善冷藏桃果的冷藏品质,延缓冷害发生,其中 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理的效果最佳,所以在以下的保鲜机理分析中,选用 100  $\mu\text{mol/L}$  的浓度处理来代表褪黑素处理。

### 2.4 褪黑素处理对冷藏桃果相对电导率和 MDA 含量的影响

相对电导率反映细胞膜透性。由图 4A 可知,在整个贮藏期,桃果相对电导率呈上升趋势,褪黑素处理果实的电导率显著 ( $P<0.05$ ) 低于对照。冷藏 14 d 至 21 d,桃果相对电导率上升速率最快。结果表明,100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理能有效抑制桃果相对电导率的上升,保持细胞膜的完整性。

MDA 是膜脂过氧化产物,其含量能反映细胞膜受氧化损伤程度。由图 4B 可知,在整个贮藏期间,桃果 MDA 含量呈上升趋势,而褪黑素处理抑制 MDA 积累,冷藏 7 d 至 28 d 及货架期 3 d,对照桃果 MDA 含量显著 ( $P<0.05$ ) 高于褪黑素处理。在冷藏期间,褪黑素处理果实 MDA 含量变化幅度不明显,在模拟货架期后表现出明显的增加。该现象说明褪黑素处理能抑制桃果的膜脂过氧化进程。

可溶性固形物含量能反映桃果贮藏品质的变化,是判断其成熟和衰老的重要指标。由图 3B 可知,在贮藏过程中桃果可溶性固形物含量呈先上升后下降的趋势,对照桃果可溶性固形物含量在冷藏第 14 d 达到峰值,而褪黑素处理果实推迟高峰至 21 d。贮藏后期,褪黑素处理桃果的可溶性固形物含量显著 ( $P<0.05$ ) 高于对照,其中 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理桃果的可溶性固形物含量最高。该结果表明褪黑素处理能延缓桃果可溶性固形物含量下降,可保持品质延缓衰老,其中 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理效果最佳。

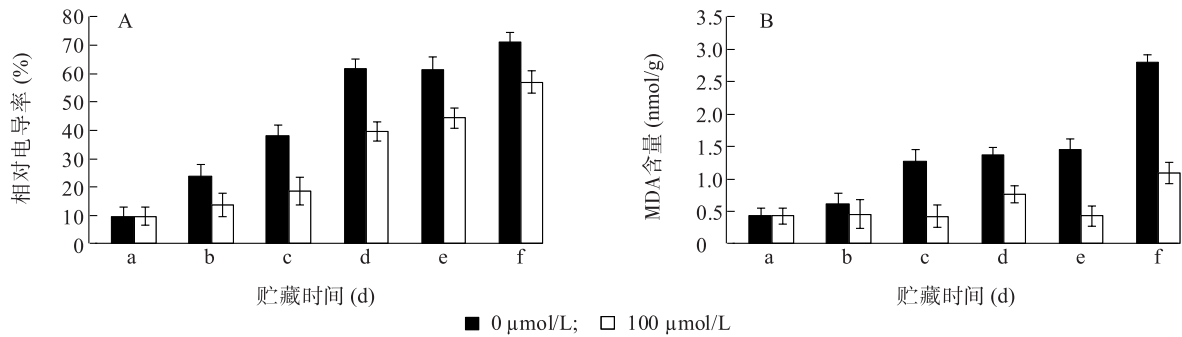


### 2.5 褪黑素处理对冷藏桃果蛋白质含量和 POD 活性的影响

蛋白质含量下降是桃果衰老的重要指标。由图 5A 可知,桃果贮藏期间蛋白质含量呈下降趋势,尤其冷藏前 14 d,蛋白质含量急剧下降,而褪黑素处理抑制桃果蛋白质降解。冷藏至 21 d 时,对照和褪黑素处理桃果的蛋白质含量差异极显著 ( $P<0.01$ )。模拟货架期后,100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理桃果的可溶性蛋白质含量是对照的 3.1 倍。该结果表明褪黑素处理能延缓桃果蛋白质降解进程。

POD 是植物逆境生理中起到酶促防御作用的关键酶之一,POD 能在  $\text{H}_2\text{O}_2$  存在下催化酚类、类黄酮的氧化和聚合,清除  $\text{H}_2\text{O}_2$  的同时导致组织褐变。由图 5B 可知,冷藏期间,桃果 POD 活性呈上升趋势,而模拟货架期后稍下降。在冷藏 14 d 以后的冷藏期,对照桃果 POD 活性显著 ( $P<0.05$ ) 高于褪黑素处理。冷藏 28 d 时,POD 活性出现高峰,此时褪黑素处理桃果的 POD 活性仅为对照的 43%,表明褪黑素处理能抑制桃果 POD 活性的升高,从而减缓桃果褐变,但清除  $\text{H}_2\text{O}_2$  能力降低。

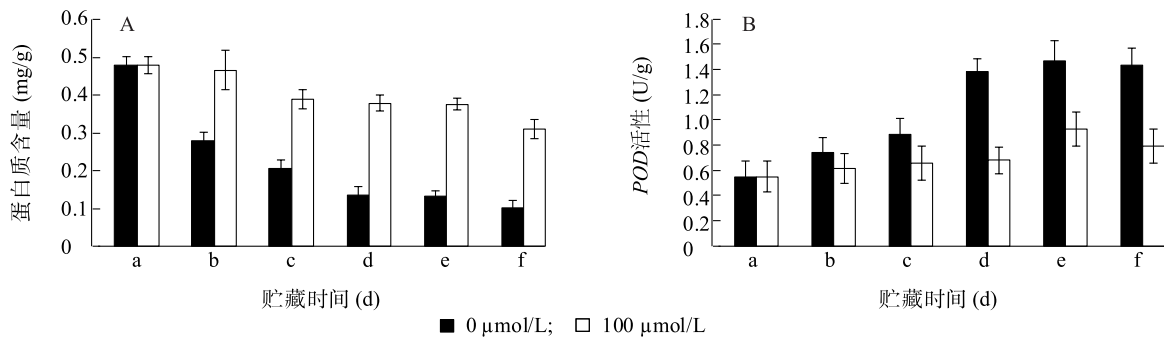




a~f 见图 1 注。

图 4 褪黑素处理对冷藏桃果相对电导率 (A) 和 MDA 含量 (B) 的影响

Fig.4 Effects of melatonin treatment on relative electrical conductivity (A) and malondialdehyde (MDA) content (B) of peach fruit under cold storage



a~f 见图 1 注。

图 5 褪黑素处理对冷藏桃果蛋白质含量 (A) 和 POD 活性 (B) 的影响

Fig.5 Effects of melatonin treatment on protein content (A) and peroxidase (POD) activity (B) of peach fruit under cold storage

## 2.6 褪黑素处理对冷藏桃果 PPO 和 PAL 活性的影响

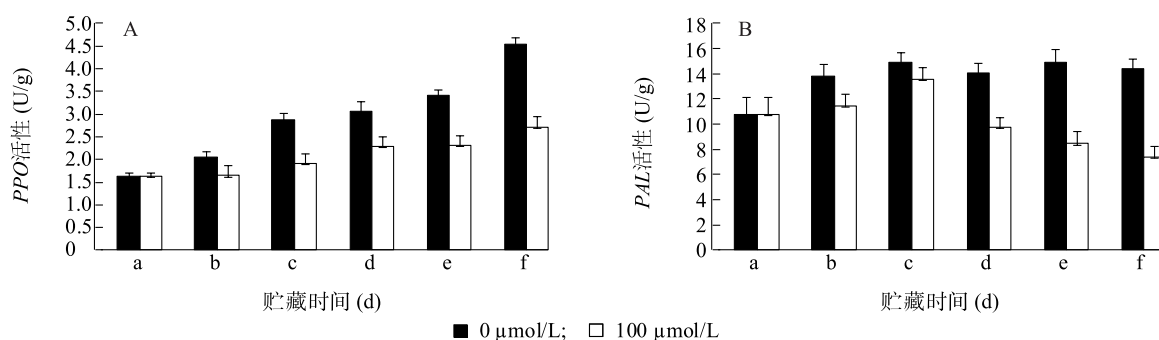
酶促褐变主要是在 PPO 作用下植物多酚类物质氧化形成醌而引起。由图 6A 可知,桃果 PPO 活性在贮藏期间呈上升趋势,冷藏期前 14 d, PPO 活性快速上升,冷藏中后期上升幅度降低,但模拟货架期急剧上升。100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果的 PPO 活性在冷藏 7 d 以后的冷藏期显著 ( $P < 0.05$ ) 低于对照。该现象说明褪黑素处理能延缓桃果 PPO 活性提高,降低果实褐变程度。

PAL 是苯丙烷代谢的关键酶,该代谢途径的中间产物及进一步转化的酚类、类黄酮物质,可被氧化形成褐色物质而导致褐变,所以 PAL 活性越高,组织褐变越快。由图 6B 可知,整个贮藏期间,桃果 PAL 活性呈上升趋势,而褪黑素处理桃果 PAL 活性先上升后下降,在冷藏第 14 d 出现一个明显峰值。100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果 PAL 活性低于对照,在模拟货架期,其 PAL 活性达最低值,而对照 PAL 活性仍为较高水平。该现象表明 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理能有效抑制 PAL 活性上升,延缓桃果褐变。

## 2.7 褪黑素处理对冷藏桃果抗坏血酸和总酚含量的影响

抗坏血酸是植物体内主要的营养和抗氧化物质之一,同时拥有多种生理活性,高含量的抗坏血酸可为植物逆境代谢提供多重保护。由图 7A 可知,在整个贮藏期,桃果抗坏血酸含量降低,冷藏期前 7 d 其含量急剧下降,而后下降趋势减缓。整个贮藏期间,对照桃果抗坏血酸含量显著 ( $P < 0.05$ ) 低于 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理果实。模拟货架期后,对照和 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果抗坏血酸含量较贮藏前分别下降了 88%、64%。该结果说明褪黑素处理可有效抑制冷藏桃果抗坏血酸含量下降。

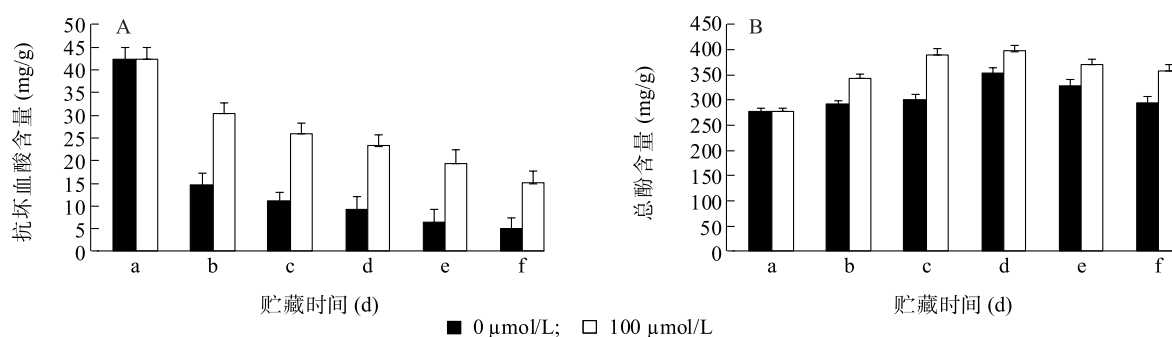
总酚是果蔬中重要的抗氧化活性物质,能提高植物的抗逆性和抗病性,同时多酚被氧化后会形成色素物质导致褐变。由图 7B 可知,在贮藏过程中,桃果多酚含量呈先上升后下降的变化趋势,在冷藏第 21 d 出现高峰,而 100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理桃果多酚含量显著 ( $P < 0.05$ ) 高于对照。该结果表明,100  $\mu\text{mol/L}$ 褪黑素处理能促进桃果多酚积累,同时抑制其冷藏后期及货架期降解。



a~f 见图 1 注。

图 6 褪黑素处理对冷藏桃果 *PPO* (A) 和 *PAL* 活性 (B) 的影响

Fig.6 Effects of melatonin treatment on polyphenol oxidase (*PPO*) activity (A) and phenylalanine ammonia lyase (*PAL*) activity (B) of peach fruit under cold storage



a~f 见图 1 注。

图 7 褪黑素处理对冷藏桃果抗坏血酸 (A) 与总酚 (B) 含量的影响

Fig.7 Effects of melatonin treatment on ascorbic acid (A) and total phenol (B) content in peach fruit under cold storage

### 3 讨论

褪黑素是一种广泛存在于动植物体内的激素,具有很强的抗氧化性和多种生理活性<sup>[18]</sup>。褪黑素能够调节动物睡眠、情绪等,同时可以治疗炎症、肿瘤等疾病<sup>[3]</sup>。褪黑素为人体内源激素,缺失的情况下人体会出现睡眠障碍和内分泌失调等症状,通过外源补充褪黑素可改善睡眠,但大量补充外源褪黑素会降低人体内褪黑素代谢水平,破坏昼夜节律,而长期大量服用褪黑素的安全性有待进一步的研究和证实。褪黑素在植物中可增强植物的抗逆性,抵御病原体攻击<sup>[4]</sup>。植物中褪黑素含量差异较大,含水量较大的新鲜果蔬中褪黑素含量极低,比如番茄中为12~14 pg/g,樱桃中为2~13 ng/g,说明起到植物生理调节功能的褪黑素需要量极小,所以普遍认为外源褪黑素应用于植物生理调节是安全的,并且目前褪黑素已经广泛应用于黄瓜、桃子等新鲜园艺产品的采后贮藏与保鲜研究和应用中<sup>[3-6]</sup>。

桃果对低温敏感,8℃以下低温长时间贮藏易发生冷害。本研究分析外源褪黑素处理对桃果冷藏

品质和冷害发生的影响,发现100 μmol/L褪黑素处理能显著改善冷藏桃果的感官评分,抑制颜色、硬度变化和失重率增加,保持果实风味和营养物质,而低浓度(50 μmol/L)和高浓度(150 μmol/L和250 μmol/L)褪黑素处理的保鲜效果,相比100 μmol/L褪黑素处理都有所降低,说明褪黑素处理能保持桃果冷藏品质,并表现出一定的浓度差异性,该现象与Liu等<sup>[19]</sup>的研究结果类似。

褪黑素处理能提高植物抗逆性,大量研究结果表明其可提高植物耐冷性。Li等<sup>[20]</sup>发现外源褪黑素通过改善光合作用和氧化还原稳态赋予西瓜盐胁迫耐受性。Li等<sup>[21]</sup>发现褪黑素处理可保持冷害下茶树的细胞膜完整性。Ding等<sup>[22]</sup>发现100 μmol/L褪黑素处理能抑制冷害下番茄相对电导率上升,保持其细胞膜的完整性。Jannatizadeh等<sup>[23]</sup>发现100 μmol/L褪黑素处理能延缓采后石榴冷害发生,保持其细胞膜完整性,降低电解质渗漏和MDA积累。本研究发现100 μmol/L褪黑素处理能有效降低桃果冷害指数,同时降低氧化伤害,保持细胞膜的完整性,抑制蛋白质降解,说明褪黑素处理能够

有效抑制冷害发生,该结果与 Azadshahraki 等<sup>[24]</sup>、Wang 等<sup>[25]</sup>的研究结果类似。

桃果冷害一般是依靠果肉的褐变程度来判断,而果实褐变是由多酚物质氧化形成色素物质导致。本研究发现桃果 *POD* 和 *PPO* 活性受到褪黑素处理的抑制,氧化多酚能力降低。*PAL* 是生成多酚物质的关键酶之一,褪黑素处理也降低冷藏桃果 *PAL* 活性,抑制多酚物质生成,但是却保持了较高的多酚含量,认为是因为褪黑素处理保持了桃果细胞膜系统完整性,抑制多酚物质与氧化酶接触,同时 *POD* 和 *PPO* 活性受抑制,导致多酚物质氧化消耗减少并得到积累。褪黑素处理抑制抗坏血酸降解,表明其为桃果提供了抗氧化保护。

综上所述,100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素处理桃果 30 min,能提高桃果的耐冷性,保持桃果冷藏品质,缓解桃果冷害发生,延长货架期。

#### 参考文献:

- [1] WU X, YU M, HUAN C, et al. Regulation of the protein and gene expressions of ethylene biosynthesis enzymes under different temperature during peach fruit ripening [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2018, 40(3): 52.
- [2] SHI J, ZUO J, ZHOU F, et al. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 141: 33-38.
- [3] CAO S, SHAO J, SHI L, et al. Melatonin increases chilling tolerance in postharvest peach fruit by alleviating oxidative damage [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 806.
- [4] CAO S, SONG C, SHAO J, et al. Exogenous melatonin treatment increases chilling tolerance and induces defense response in harvested peach fruit during cold storage [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64: 5215-5222.
- [5] 辛丹丹, 司金金, 寇莉萍. 黄瓜采后外源褪黑素处理提高品质和延缓衰老的研究 [J]. *园艺学报*, 2017, 44(5): 891-901.
- [6] GAO H, ZHANG Z K, CHAI H K, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit [J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 118: 103-110.
- [7] 朱麟, 凌建刚, 张平, 等. 不同保鲜膜包装对“玉露”水蜜桃保鲜效果的影响 [J]. *保鲜与加工*, 2011(4): 12-15.
- [8] 安瑞丽, 王斌, 魏长庆, 等. 不同贮藏温度对采后伽师瓜果实冷害及品质的影响 [J]. *食品科学*, 2018, 39(9): 196-201.
- [9] 千春录, 陶蓓佩, 陈方霞, 等. 1-MCP 对猕猴桃果实品质和细胞氧化还原水平的影响 [J]. *保鲜与加工*, 2012, 12(2): 9-13.
- [10] 朱麟, 凌建刚, 南海涛, 等. 因子分析法综合评价冰温结合 1-MCP 处理对“玉露”水蜜桃贮藏品质的影响 [J]. *果树学报*, 2016, 33(9): 1164-1172.
- [11] 千春录, 何志平, 林菊, 等. 1-MCP 对黄花岗梨冷藏品质和抗氧化特性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21): 326-329.
- [12] 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.
- [13] CHO J S, LEE H J, PARK J H, et al. Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa* spp.) peel [J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 1028-1033.
- [14] GIMÉNEZ M J, SERRANO M, VALVERDE J M, et al. Preharvest salicylic acid and acetylsalicylic acid treatments preserve quality and enhance antioxidant systems during postharvest storage of sweet cherry cultivars [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(4): 1220-1228.
- [15] DOKHANIEH A Y, AGHDAM M S, SARCHESHMEH M A A. Impact of postharvest hot salicylic acid treatment on aril browning and nutritional quality in fresh-cut pomegranate [J]. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 2016, 57(4): 378-384.
- [16] MARTÍNEZ-SÁNCHEZ A, LOZANO-PASTOR P, ARTÉS-HERNÁNDEZ F, et al. Preharvest UV-C treatment improves the quality of spinach primary production and postharvest storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 155: 130-139.
- [17] MATIAS R G P, SILVA D F P, MIRANDA P M D, et al. Relationship between fruit traits and contents of ascorbic acid and carotenoids in peach [J]. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2016, 16(4): 348-354.
- [18] 徐利伟, 岑啸, 李林香, 等. 外源褪黑素对低温胁迫下桃果实蔗糖代谢的影响 [J]. *核农学报*, 2017, 31(10): 1963-1971.
- [19] LIU C, ZHENG H, SHENG K, et al. Effects of melatonin treatment on the postharvest quality of strawberry fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 139: 47-55.
- [20] LI H, CHANG J, CHEN H, et al. Exogenous melatonin confers salt stress tolerance to watermelon by improving photosynthesis and redox homeostasis [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 295.
- [21] LI X, WEI J P, SCOTT E, et al. Exogenous melatonin alleviates cold stress by promoting antioxidant defense and redox homeostasis in *Camellia sinensis* L. [J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 165.
- [22] DING F, LIU B, ZHANG S. Exogenous melatonin ameliorates cold-induced damage in tomato plants [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 219: 264-271.
- [23] JANNATIZADEH A. Exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in pomegranate fruit during cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 246: 544-549.
- [24] AZADSHAHRAKI F, JAMSHIDI B, MOHEBBI S. Postharvest melatonin treatment reduces chilling injury and enhances antioxidant capacity of tomato fruit during cold storage [J]. *Advances in Horticultural Science*, 2018, 32(3): 299-309.
- [25] WANG F, ZHANG X P, YANG Q Z, et al. Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries [J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125311.

(责任编辑: 陈海霞)