

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90046

1-MCP 处理结合不同低温条件对水蜜桃 风味质地及生理的影响

Effect of 1-MCP combined with low temperature storage on flavor,
texture and physiology of honey peach

周慧娟^{1,2} 叶正文^{1,2} 张夏南^{1,2} 苏明申^{1,2} 杜纪红^{1,2}

ZHOU Hui-juan^{1,2} YE Zheng-wen^{1,2} ZHANG Xia-nan^{1,2} SU Ming-shen^{1,2} DU Ji-hong^{1,2}

李雄伟^{1,2} 张明昊^{1,2} 王丙纤^{1,2} 杨 璿^{1,2}

LI Xiong-wei^{1,2} ZHANG Ming-hao^{1,2} WANG Bing-xian^{1,2} YANG Yun^{1,2}

(1. 上海市农业科学院林木果树研究所, 上海 201403; 2. 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201403)

(1. Forest and Fruit Tree Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Agro-product Fresh Keeping and Processing Research Center, Shanghai 201403, China)

摘要:目的:探讨不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏对果实风味和质地的影响。方法:以软溶质湖景蜜露水蜜桃为试材,1-MCP 处理浓度分别为 3.24, 6.48, 12.96 μL/L,放置于(10±1)℃条件下贮藏;分别以不做任何处理、放置于温度为(10±1)℃和(1±1)℃冷库中贮藏的果实为对照 1(CK1)和对照 2(CK2),每隔 4 d 对冷藏期间的果实品质进行测定;将冷藏 28 d 的不同处理组果实取出于温度为(20±2)℃、相对湿度为 65%~70%的条件下放置 3 d,进行货架品质测定。结果:与 CK1 相比,不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏延缓了乙烯释放高峰的出现、抑制了果实的乙烯释放速率和呼吸强度,但仍显著高于 CK2;不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏的果实糖酸含量均显著高于 CK2。其中,浓度为 6.48 μL/L 的 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏,可使果实保持较高的可溶性固形物和糖酸含量,抑制果实甜味、酸味和鲜味的丧失,综合风味佳;可显著降低果实的乙烯释放速率和呼吸强度,较好地保持果实固有质地。结论:浓度为 6.48 μL/L 的 1-MCP 处理结合(10±1)℃既可延缓果实的软化,又可使果实次生物质正常代谢,较

好地保持果实固有风味和质地,果实安全贮藏期达 20 d,可作为代替单一低温贮藏的保鲜技术之一。

关键词:1-甲基环丙烯;低温贮藏;水蜜桃;风味;质地;采后生理

Abstract: Objective: The effects and correlations of different concentrations of 1-MCP combined with (10±1)℃ storage on flavor and texture of fruit were discussed. **Methods:** Soft solute Hujingmilu' peach was used as test material. The concentration of 1-MCP treatment was 3.24, 6.48 and 12.96 μL/L respectively, then were stored at (10±1)℃. The fruits stored at (10±1)℃ and (1±1)℃ without any treatment were used as control. The ethylene release rate, respiration intensity, fruit texture, sugar and acid content, five flavors of fruits in different treatment groups were measured every 4 days during cold storage. The fruit of different treatment groups that have been stored for 28 days were taken out and placed at a temperature of (20±2)℃ and a relative humidity of 65%~70% for 3 days, and the shelf quality was determined. **Results:** Compared with CK1, different concentrations of 1-MCP treatment stored at (10±1)℃ can delay the occurrence of ethylene release peaks, inhibit the ethylene release rate and breathing strength of the fruit, but still significantly higher than CK2; the sugar and acid content of that was significantly higher than CK2. 1-MCP treatment with a concentration of 6.48 μL/L combined with (10±1)℃ storage can keep high TSS, sugar and acid content of fruits, inhibit the loss of sweetness, sourness, umami, and have good comprehensive flavor; It can significantly reduce the ethylene release rate and respiration intensity of fruits, and keep the inherent texture of fruits well.

基金项目:上海市农业科学院攀高计划(编号:PG21221);农业农村部科技教育司:国家桃产业技术体系项目(编号:CARS-31);上海市科委重点攻关项目(编号:18391901600)

作者简介:周慧娟,女,上海市农业科学院副研究员,博士。

通信作者:叶正文(1963—),男,上海市农业科学院研究员,博士。

E-mail: yezhengwen1300@163.com

收稿日期:2021-07-09

Conclusion: 1-MCP with the concentration of 6.48 $\mu\text{L/L}$ combined with $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ can not only delay the softening of fruits, but also make the secondary substances of fruits metabolize normally, and keep the inherent flavor and texture of fruits well. It can prolong the safe storage period of 'Hujingmili' peach fruit to 20 days, which can be used as one of the fresh-keeping techniques instead of single low temperature storage.

Keywords: 1-MCP; low-temperature storage; honey peach; flavor; texture; postharvest physiology

据统计^[1],2018 年中国桃收获面积 100 万 hm^2 ,产量 1 350 万 t,居世界第一,其中 80% 以上的果实用于鲜食销售。桃果实尤其是软溶质桃质地柔软,在采后物流过程中易遭受机械伤,易被病原菌侵染,导致桃果实在采后物流过程中易发生品质劣变及腐烂损耗^[2]。低温冷藏可延长果实的保鲜期,但长期的低温($\leq 8^\circ\text{C}$)冷藏易使果实产生木质化、絮败、果肉褐变、果肉变红、糖酸比失调、固有芳香成分丧失或有害挥发性物质生成等品质劣变症状^[3],使果实丧失固有风味^[4-5]。

在延长桃果实保鲜期的研究中,以低温($< 5^\circ\text{C}$)为基础的减压贮藏保鲜、辐照复合保鲜、气调复合保鲜、热处理复合保鲜、紫外线(UV)处理及 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理等复合保鲜技术成为国内外研究热点。适宜参数的热空气和热水处理桃果实,可在一定程度上降低贮藏期间果实的褐腐病、真菌发生率,提高果实不饱和脂肪酸和氨基酸的含量而提高果实的抗冷性^[6],从而延长果实的保鲜期^[7]。1-MCP 和热激处理在抑制桃果实的成熟衰老方面具有协同作用^[8],热水结合 1-MCP 处理通过推迟呼吸高峰、保持硬度、提高谷胱甘肽过氧化物酶(GPX)活性和 *PpaGPXs* 基因的上调表达,延缓桃果实的采后衰老^[9]。气调贮藏可延缓冷藏期间果实褐变的发生、抑制腐烂的发生、较好地保持果实固有风味。但 Dong 等^[10]发现,高压处理结合气调贮藏($3\text{ kPa O}_2 + 7\text{ kPa CO}_2$)会导致桃果实总挥发性物质和酯类含量显著降低。采收前的紫外线辐照前处理^[10]和贮藏期间紫外线 B(UV-B)^[11-12]、紫外线 C(UV-C)^[5]辐照处理可显著影响果实糖酸和酯类、内酯类及酚类物质的代谢,提高果实的贮藏质量。通过国内外研究进展发现,桃果保鲜领域的研究以机理为主,且多以果实外观为确定果实贮藏期的主因素,而适用于规模化应用推广的、以采后品质调控为目的的保鲜技术仍有待持续研发。

目前,1-MCP 结合低温($< 5^\circ\text{C}$)保鲜技术已在不同溶质桃上进行了相关研究,但以品质为主因素的评价体系报道较少。果实质地、糖酸含量及果实的综合风味评价(酸味、甜味、涩味、咸味和鲜味)是目前研究的热点^[13-14],也是评价采后品质劣变调控技术成功与否的衡量标准。适当的温度管理可以降低果实组织对机械伤的

生理反应,减少瘀伤症状的出现^[15],温度调控是重要的保鲜方法^[16],果实固有风味的丧失是传统的低温冷藏技术的瓶颈。 $0\sim 8^\circ\text{C}$ 冷藏虽然可延长果实的保鲜期,但影响了果实次生物质的正常代谢,风味降低; $> 8^\circ\text{C}$ 贮藏可使次生物质正常代谢,果实的保鲜期相对缩短。研究旨在探讨不同浓度 1-MCP 处理结合 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏对果实乙烯释放速率、呼吸强度、腐烂率、质地、糖酸含量和综合风味的影响,以期延缓贮藏期间果实糖酸含量降低、比例失调、异味产生等品质劣变症状的产生,在保证果实固有质地和风味的基础上,延长果实的安全贮藏期。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

水蜜桃:湖景蜜露,于 2020 年 7 月 12 日采摘于上海市浦东新区桃咏种植专业合作社基地,行株距 $4\text{ m} \times 5\text{ m}$,树龄 12 年,三主枝型,常规栽培管理,果实套单层黄袋。于 30 株树树冠外围高 1.5 m 处随机采摘向阳果实,每株随机采摘 60 个成熟度一致(入库果实带皮硬度为 $37\sim 48\text{ N}$,果肉硬度为 $18\sim 20\text{ N}$,可溶性固形物含量为 $11.5\%\sim 12.5\%$)、大小均一、色泽均匀、无病虫害、无机械损伤的果实,采摘后的果实立即运至基地冷库进行分装处理。

1-甲基环丙烯(1-MCP):纯度 $\geq 98\%$,美国阿格洛法士公司;

防雾保鲜袋:0.03 mm,零度包装科技有限公司;

气相色谱仪:GC7890A 型,美国安捷伦科技公司;

质构仪:TA. XT. Plus 型,英国 SMS 公司;

红外线 CO_2 气体分析仪:GXH-305 型,泰仕电子工业股份有限公司;

高效液相色谱仪:E2695 型,美国 Waters 公司;

电子舌系统:INSENT (SA402B) 型,日本 Insent 公司;

高速离心机:X-22R 型,美国 Beckman 公司;

浓缩仪:Eppendorf Concentrator plus TM 型,美国 Eppendorf 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验分组 试验分组见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Experiment design

组别	1-MCP 浓度/ $(\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1})$	温度/ $^\circ\text{C}$	相对湿度/ $\%$
对照 1(CK1)	—	10 ± 1	80~85
对照 2(CK2)	—	1 ± 1	85~90
处理 1	3.24	10 ± 1	80~85
处理 2	6.48	10 ± 1	80~85
处理 3	12.96	10 ± 1	80~85

1.2.2 试验处理 将果实放入容积为108 L的密闭箱内使用不同浓度的1-MCP熏蒸24 h,密闭箱内的温度为 $(15\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为65%~70%;之后将不同处理组果实单层摆放于内衬厚度为0.03 mm防雾保鲜袋的塑料周转筐中,于温度为 $(10\pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为80%~85%的冷库中贮藏。冷藏28 d后对果实进行货架期研究,将不同处理组果实取出于温度为 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为65%~70%的实验室内货架放置3 d,进行货架品质测定。每处理9筐,每筐24个果实,每筐果品净重9 kg,设3个平衡试验,共计试验样品45筐。

定期对贮藏期间不同处理组果实的失重率、腐烂率、乙烯释放速率、呼吸强度、果实质地、可溶性固形物含量、糖酸含量、甜味、酸味、涩味、咸味、鲜味等指标进行测定。

1.2.3 指标测定

(1) 乙烯释放速率:参照Khan^[17]的方法稍加修改。15 $^\circ\text{C}$ 条件下,将5个桃子放置于容积为4 L的密闭容器中密封1 h,用进样针吸取1 mL混合气体,并注入装有火焰离子化检测器(FID)和DB-WAX毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 mm)的气相色谱仪的入口,用气相色谱仪进行测定。

(2) 呼吸强度:参照Zhou等^[5]的方法,随机取8个果实,准确称重后,置于连接在红外线CO₂分析仪气路的4 L密闭容器中,15 $^\circ\text{C}$ 下用红外线CO₂气体分析仪测定,空气流量1.0 L/min。记录CO₂浓度从270~280 $\mu\text{L/L}$ 变化所用时间,以单位质量果实单位时间内生成的CO₂量表示呼吸速率。

(3) 糖酸含量:参照严娟等^[18]的方法并加以优化。取3份约0.5 g、液氮研磨的粉末于离心管中,加入5 mL提取液($V_{\text{无水乙醇}}:V_{0.4\% \text{ 偏磷酸}}=4:1$),浸提24 h,10 000 r/min离心10 min。取上清液进行浓缩,超纯水溶解后,过0.22 μm 的滤膜,待测。用高效液相色谱仪对样品进行糖酸测定。糖的检测条件为:使用10 μm 粒径、6 mm \times 250 mm的CARBOsep CHO-620CA色谱柱,柱

温80 $^\circ\text{C}$,使用示差折光检测器,进样量15 μL ,流动相为超纯水;有机酸的检测条件为:使用5 μm 粒径,4.6 mm \times 250 mm的ZORBAX Eclipse XDB-C₁₈的色谱柱,柱温25 $^\circ\text{C}$,使用紫外检测器, $\lambda=190 \text{ nm}$,流动相为0.02 mol/L的KH₂PO₄缓冲液(pH 4.1)。进样重复3次。

(4) 质构测定:质构仪搭配直径为5 mm圆柱形探头(P/5),测试参数为测前速度60 mm/min,测试速度120 mm/min,测后速度600 mm/min,触发力0.5 N。第一次下压距离为3 mm,测定参数为果皮硬度、果皮脆性;第二次下压距离为20 mm,获得参数为果肉硬度、果肉紧实度、果肉脆性。

(5) 甜味、酸味、鲜味、苦味、咸味测定:电子舌系统主要由味觉传感器、信号采集器和模式识别系统3部分组成。配有7个传感器(ZA、BB、BA、GA、HA、JB、CA),以Ag/AgCl作为参比电极,在室温下进行数据采集。数据采集前,电子舌系统经过自检、诊断和矫正等步骤,确保采集得到的数据具有可靠性和稳定性。采用体积分数为10%的酒精作为清洗溶剂,采样时间120 s,1次/s,每个样品重复采集8次,取稳定后的4次数据。

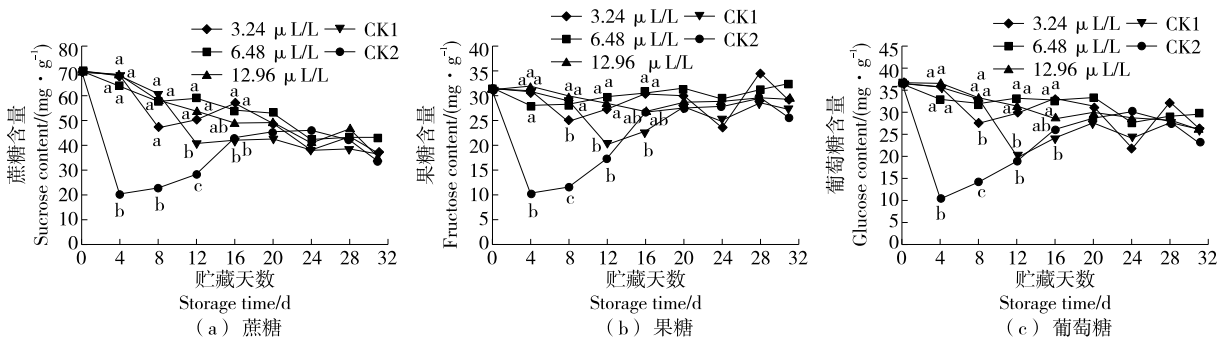
1.3 数据处理

采用SPSS 18.0、Excel 2010和Pegasus 13.0软件进行数据处理,并进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对水蜜桃风味物质的影响

2.1.1 蔗糖、果糖、葡萄糖含量 由图1可知,整个冷藏和货架期间,浓度为6.48 $\mu\text{L/L}$ 的1-MCP结合亚低温贮藏的果实蔗糖、果糖、葡萄糖含量均显著高于CK2果实,与郭香凤等^[19]报道的1-MCP处理可抑制凯特杏果实采后(26~30 $^\circ\text{C}$)可溶性糖的积累及蔗糖、果糖、葡萄糖的转化有一定差异,可能与1-MCP的处理温度及 $(10\pm 1)^\circ\text{C}$ 结合1-MCP处理可提高蔗糖合成酶的表达量而抑制的桃果实蔗糖含量的下降有关^[20]。冷藏0~8 d,CK2果实



小写字母不同代表同一时间点不同处理之间差异显著($P<0.05$)

图1 冷藏和货架期间不同处理组果实蔗糖、果糖、葡萄糖含量的变化

Figure 1 Changes of sucrose, glucose and fructose content in different treatment groups during cold storage and shelf life

蔗糖、果糖、葡萄糖含量急剧降低,显著降低了果实的固有风味。冷藏 12~20 d,浓度为 6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 结合亚低温贮藏的果实蔗糖、果糖、葡萄糖含量显著高于 CK1,说明此复合处理可缓解因长期低温冷藏导致的风味降低问题,既抑制了果实的呼吸代谢,又可使果实进行正常的次生代谢。亚低温条件下,浓度为 6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理可较好地保持水蜜桃果实固有风味,与 Khan^[17]报道的水蜜桃的 1-MCP 最适处理浓度(1 $\mu\text{L/L}$)有一定差异,可能与 1-MCP 使用效果与处理浓度和贮藏温度相关。

2.1.2 苹果酸和柠檬酸含量 由图 2 可知,冷藏前期,CK1 和 CK2 果实苹果酸含量呈急剧下降趋势,适宜浓度的 1-MCP 处理结合亚低温贮藏可抑制冷藏前期苹果酸含量的下降,与 Fan 等^[21]报道的 1-MCP 处理可延缓桃果实苹果酸含量的下降,维持果实糖酸比,抑制果实风味劣变的结论一致。贮藏后期和货架期间,CK1 和 CK2 果实苹果酸和柠檬酸含量呈上升的趋势,与长期冷藏导致果实呼吸代谢紊乱有关^[22];浓度为 6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理可显著抑制冷藏前期苹果酸含量的下降及后期苹果酸含量的上升,与其可调控果实的呼吸代谢和软化速率而抑制酸异常代谢有关^[19,23];1-MCP 处理对贮藏后期柠檬

酸含量的增加抑制效果不佳,具体机理需进一步研究。综合得出,浓度为 6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理结合(10 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏可缓解因长期低温冷藏导致的果实酸含量降低和异常增加导致的风味失调问题。

2.1.3 可溶性固形物含量 由图 3 可知,冷藏 0~12 d,CK2 果实可溶性固形物含量呈急剧下降趋势,次生物质不能正常代谢,整体风味降低;整个冷藏期间,CK1 和适宜的 1-MCP 处理组果实可溶性固形物显著高于 CK2,说明(10 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 的贮藏环境可使果实进行内含物的正常代谢。

2.1.4 甜味、酸味、苦味、咸味和鲜味 由图 4 可知,试验期间,水蜜桃果实酸味的变化较为剧烈,CK2 果实酸味值于第 16 天低于无味点;第 24 天,浓度为 3.24,6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理组果实的酸味值于第 24 天低于无味点,说明适宜浓度的 1-MCP 处理结合亚低温贮藏可延缓无味点的出现,较好地保持果实固有滋味,与王毓宁等^[24]对枇杷的研究结论一致。冷藏 12~24 d,CK1 和不同浓度 1-MCP 处理结合亚低温贮藏的果实甜味均显著高于 CK2 组,至第 24 天,甜味值呈急剧下降趋势;贮藏 12~28 d 及货架期期间,不同浓度 1-MCP 处理结合亚低温贮藏的果实苦味值均显著低于 CK2 组。(1 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏

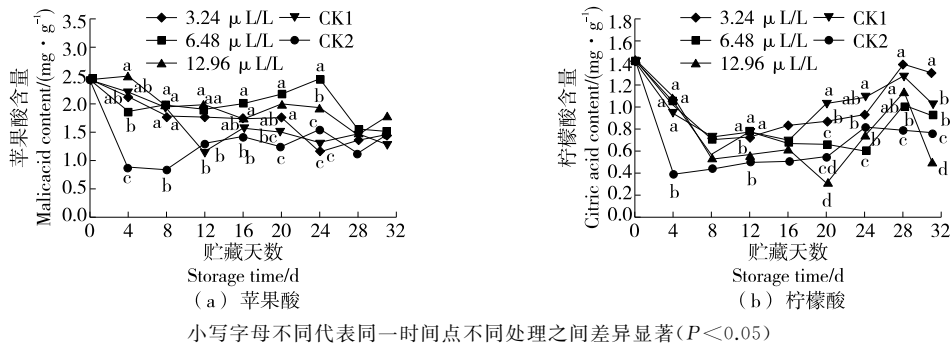
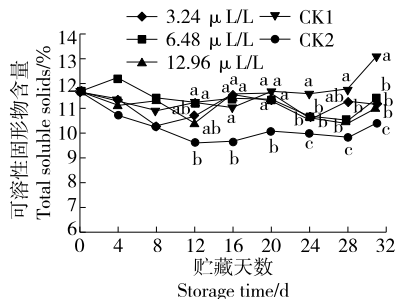


图 2 冷藏和货架期间不同处理组果实苹果酸和柠檬酸含量的变化

Figure 2 Changes of malic acid and citric acid content in different treatment groups during cold storage and shelf life

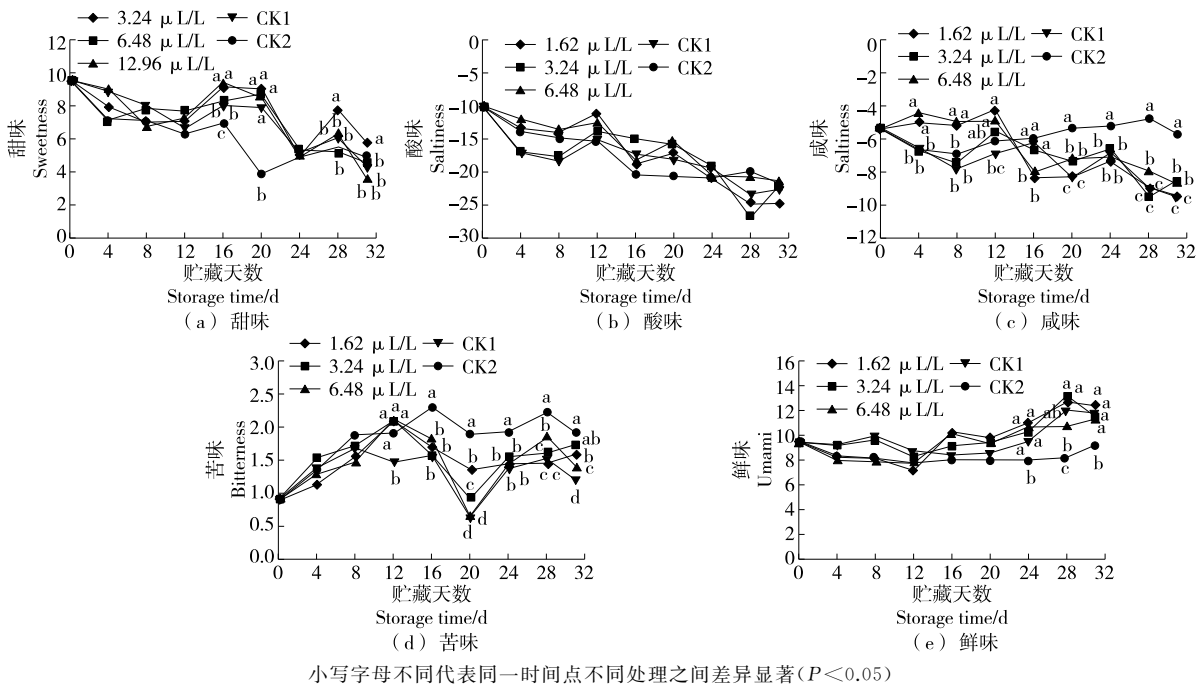


小写字母不同代表同一时间点不同处理之间差异显著($P < 0.05$)

图 3 冷藏和货架期间不同处理组果实可溶性固形物含量的变化

Figure 3 Changes of TSS content in different treatment groups during cold storage and shelf life

20~28 d,果实苦味值呈上升趋势;贮藏后期(24~28 d),不同浓度 1-MCP 处理组果实鲜味值均显著高于 CK2 组;(1 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 冷藏 20~24 d,不同浓度 1-MCP 处理组果实甜味和酸味呈急剧下降趋势,苦味呈上升趋势,说明 20~24 d 为 1-MCP 处理结合亚低温贮藏果实的滋味变化的转折点,20 d 为品质保持的关键时间点。冷藏至第 20 天,浓度为 6.48 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理组果实甜味、鲜味和酸味值显著高于 CK2,苦味值显著低于 CK2。以上结果显示,适宜浓度的 1-MCP 处理结合亚低温贮藏可抑制长期冷藏导致的苦味产生和甜酸味的降低,与 1-MCP 处理结合亚低温贮藏的果实蔗糖、果糖、葡萄糖含量均显著高于低温贮藏的现象一致。说明 1-MCP 处理结合(10 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 贮藏可抑制长期低温冷藏导致的苦味产生和甜味降低。



小写字母不同代表同一时间点不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$)
 图 4 冷藏和货架期间不同处理组果实甜味、酸味、苦味、咸味和鲜味的变化
 Figure 4 Changes of sweetness, sourness, bitterness, umami and saltiness in different treatment groups during cold storage and shelf life

2.1.5 贮藏和货架期间果实甜味、酸味、鲜味、苦味、咸味与糖酸含量相关性分析 由表 2 可知,蔗糖含量与葡萄糖、果糖、苹果酸、柠檬酸、甜味、酸味、苦味和鲜味值均呈显著性相关,苹果酸含量与蔗糖、葡萄糖、果糖、苹果酸、柠檬酸、甜味、酸味、涩味和鲜味值均呈显著性相关,说明蔗糖和苹果酸为湖景蜜露水蜜桃果实综合风味物质评价的关键性参数指标。甜味与蔗糖、果糖、苹果酸含量呈极显著正相关,酸味值与蔗糖、苹果酸含量呈极显著正相

关,苦味值与蔗糖、果糖、苹果酸和柠檬酸含量呈极显著负相关,鲜味值与蔗糖和苹果酸含量呈显著性正相关,与张浩等^[25]报道的可溶性固形物等指标与电子舌结果具有高度相关性的结论一致,与蔗糖与果实五味无相关性的结论有一定差异,长期的冷藏导致糖酸含量的下降,伴随着酸味、鲜味的降低及酸味进入无味点,综合风味变淡,适宜浓度的 1-MCP 处理结合 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 贮藏既可缓解果实综合风味变淡,又可较好地保持果实固有质地,延

表 2 贮藏和货架期间甜味、酸味、苦味、咸味、鲜味与蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸含量相关性分析[†]

Table 2 Correlation analysis of sweet and sour taste with sucrose, fructose, glucose, malic acid and citric acid content during storage and shelf

指标	蔗糖含量	葡萄糖含量	果糖含量	苹果酸含量	柠檬酸含量	甜味	酸味	苦味	咸味	鲜味
蔗糖含量	1.000									
葡萄糖含量	0.680*	1.000								
果糖含量	0.922*	0.892*	1.000							
苹果酸含量	0.848*	0.649*	0.832*	1.000						
柠檬酸含量	0.468*	0.500*	0.496*	0.334*	1.000					
甜味	0.672*	0.214	0.513*	0.588*	0.278	1.000				
酸味	0.506*	-0.118	0.246	0.495*	0.099	0.652*	1.000			
苦味	-0.372*	-0.239	-0.327*	-0.477*	-0.441*	-0.433*	-0.376*	1.000		
咸味	-0.210	0.363*	0.037	-0.193	0.374*	-0.426*	-0.784*	-0.032	1.000	
鲜味	0.406*	-0.044	0.229	0.350*	-0.079	0.245	0.701*	0.107	-0.704*	1.000

† *. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

长果实的安全贮藏期。但电子舌测定的甜味、酸味及苦味值与果实的蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸含量的相关性 & 代谢机理研究鲜有报道,需要进一步的研究和探讨。

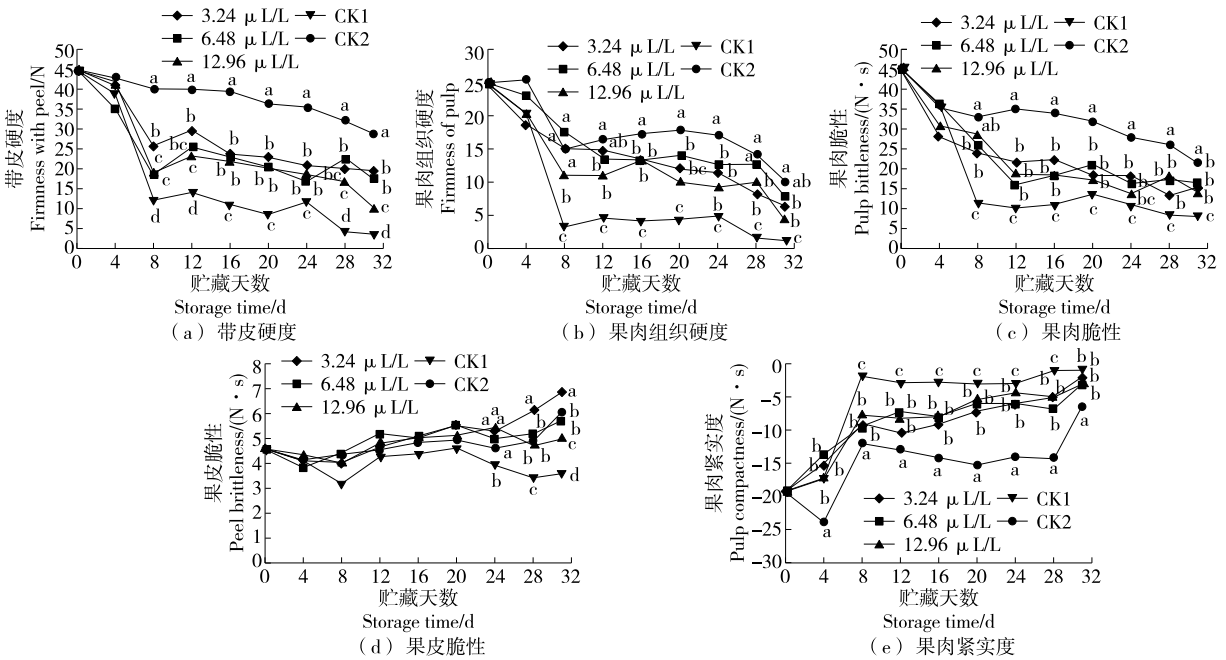
2.2 对水蜜桃质地的影响

由图 5 可知,与 CK1 相比,CK2 和不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏均显著降低了果实带皮硬度、果肉组织硬度、肉脆性和果肉紧实度的下降速率,抑制了果实的衰老和软化;整个冷藏期间,不同处理组及 CK2 果实果肉组织硬度无显著性差异,说明适宜浓度的 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏可达到低温对果肉软化的抑制效果;不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏的果肉脆性和果肉紧实度均显著低于 CK2 组果实,说明 1-MCP 处

理结合(10±1)℃贮藏对果实软化速率的抑制效果仍低于低温贮藏效果。与 CK2 相比,1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏可抑制乙烯的释放而降低果肉组织硬度和果实紧实度的下降速率,延缓果实的成熟和软化,与王雁等^[26]报道的 1-MCP 处理呼吸跃变前期桃果实抑制乙烯的释放而延缓中油 13 桃果软化的结论一致,说明此技术可作为代替单一低温贮藏的保鲜技术之一。1-MCP 处理结合(10±1)℃贮藏的果实带皮硬度和果肉脆性及果肉紧实度仍显著低于 CK2 组果实,说明 1-MCP 对果肉组织的影响较大,对果皮特性及果实咀嚼性的影响较小,具体机理需进一步研究。

2.3 对水蜜桃乙烯释放速率和呼吸强度的影响

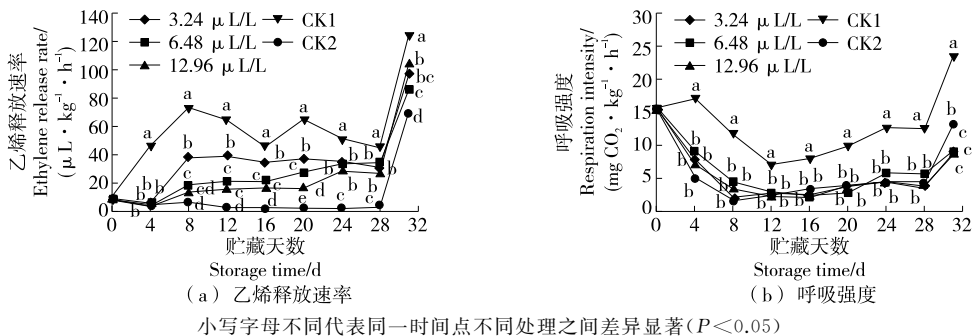
由图 6 可知,CK1 果实出现典型的双乙烯释放高峰,



小写字母不同代表同一时间点不同处理之间差异显著(P<0.05)

图 5 冷藏和货架期间不同处理组果实质地的变化

Figure 5 Changes of firmness with peel and pulp in different treatment groups during cold storage and shelf life



小写字母不同代表同一时间点不同处理之间差异显著(P<0.05)

图 6 冷藏和货架期间不同处理组果实乙烯释放速率和呼吸强度的变化

Figure 6 Changes of ethylene release rate and respiration intensity of fruits in different treatment groups during cold storage and shelf life

货架期间乙烯释放速率急剧上升;与 CK1 相比,CK2 和不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1) °C 贮藏在一定程度上延缓了乙烯释放高峰的出现、抑制了果实的乙烯释放速率和呼吸强度;浓度为 6.48 μL/L 的 1-MCP 处理组果实乙烯释放速率显著低于 CK1,但仍显著高于 CK2。与(10±1) °C 贮藏相比,不同浓度 1-MCP 处理结合(10±1) °C 贮藏可显著降低果实的乙烯释放速率和呼吸强度,与 1-MCP 处理在软溶质桃青州蜜桃^[26]、中华寿桃^[27]和蟠桃^[28]及硬溶质桃八月脆^[29]和艳红水蜜桃^[30]上的效果一致,均可以抑制果实内源乙烯的合成和呼吸强度,推迟呼吸高峰出现,并且延缓果实软化。但 1-MCP 处理结合亚低温贮藏对乙烯释放速率的抑制效果仍低于 CK2 贮藏的效果,呼吸强度二者无显著性差异,1-MCP 对果实呼吸强度的抑制效果高于乙烯释放速率,具体机理需进一步研究。

3 结论

试验表明,浓度为 6.48 μL/L 的 1-MCP 密闭熏蒸 24 h,于温度为(10±1) °C、相对湿度为 80%~85% 的冷库中贮藏,果实安全贮藏期达 20 d;可显著降低湖景蜜露水蜜桃果实的乙烯释放速率和呼吸强度,延缓果实软化速率;使果实保持较高的蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸风味物质含量,抑制苦味的产生,保持较高的甜度和鲜度,综合风味佳;可作为代替单一低温贮藏的保鲜技术之一。贮藏和货架期间,果实糖酸含量的下降及比例失调可导致果实苦味的产生,可通过研究果实蔗糖、果糖和苹果酸的含量和比例变化,进行果实采后品质劣变调控技术的研究。水蜜桃果实的甜味、酸味、鲜味、咸味和苦味值均大于无味点,可作为桃果实的有效味觉评价指标。电子舌测定的甜味、酸味及苦味值与果实的蔗糖、果糖、葡萄糖、苹果酸、柠檬酸含量密切相关,大数据分析及代谢机理研究需要进一步的研究和探讨。

参考文献

- [1] 周慧娟, 杜纪红, 张夏南, 等. UVC 预处理对冷藏和货架期间‘锦香’黄桃挥发性物质组分及含量的影响[J]. 上海农业学报, 2021, 37(3): 91-99.
ZHOU Hui-juan, DU Ji-hong, ZHANG Xia-nan, et al. Effects of UVC pretreatment on composition and content of volatile substances of ‘Jinxiang’ yellow peach during cold storage and shelf-life[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(3): 91-99.
- [2] 周慧娟, 叶正文, 苏明申, 等. 不同品种桃果实冷链物流特性差异性研究[J]. 经济林研究, 2016, 34(1): 99-106.
ZHOU Hui-juan, YE Zheng-wen, SU Ming-shen, et al. Differences of characteristics of different peach cultivars in cold-chain logistics[J]. Nonwood Forest Research, 2016, 34(1): 99-106.
- [3] 陈伟, 苏新国, 郜海燕, 等. 低温对桃果实采后冷害及其内源激素的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(8): 1 173-1 178.
CHEN Wei, SU Xin-guo, GAO Hai-yan, et al. Effect of low temperature storage on chilling injury and endogenous hormones of post-harvest peach fruit[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(8): 1 173-1 178.
- [4] YANG A P, CAO S F, YANG Z F, et al. γ -Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit[J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1 619-1 622.
- [5] ZHOU H J, ZHANG X N, SU M S, et al. Effects of ultraviolet-C pretreatment on sugar metabolism in yellow peaches during shelf life[J]. Hort Science, 2020, 55(4): 416-423.
- [6] LAUXMANN M A, BORSANI J, OSORIO S, et al. Deciphering the metabolic pathways influencing heat and cold responses during post-harvest physiology of peach fruit[J]. Plant Cell and Environment, 2013, 37(3): 1-16.
- [7] WANG K, SHAO X F, GONG Y F, et al. The metabolism of soluble carbohydrates related to chilling injury in peach fruit exposed to cold stress[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 86: 53-61.
- [8] JIANG L, ZHANG L, SHI Y, et al. Proteomic analysis of peach fruit during ripening upon post-harvest heat combined with 1-MCP treatment[J]. Journal of Proteomic, 2014, 98: 31-43.
- [9] HUAN C, AN X J, YU M L, et al. Effect of combined heat and 1-MCP treatment on the quality and antioxidant level of peach fruit during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 145: 193-202.
- [10] DONG S Y, RENE R B, CARLOS F R, et al. Effect of hyperbaric, controlled atmosphere, and UV treatments on peach volatiles[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51: 334-341.
- [11] SANTIN M, LUCINI L, CASTAGNA A, et al. Postharvest UV-B radiation modulates metabolite profile in peach fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 139: 127-134.
- [12] SCATTINO C, CASTAGNA A, NEUGART S, et al. Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines[J]. Food Chemistry, 2014, 163: 51-60.
- [13] 周然, 闫丽萍, 李云飞, 等. 不同内包装的黄花梨运输震动分析和损伤检测[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(18): 133-137.
ZHOU Ran, YAN Li-ping, LI Yun-fei, et al. Analysis of transport vibration and mechanical damage of Huanghua pears with different inner packages[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010, 32(18): 133-137.
- [14] 李春飞, 卢立新, 宋妹妹. 缓冲包装结构对箱装苹果震动损伤与动力学特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26(3): 1-10.
LI Chun-fei, LU Li-xin, SONG Shu-mei. Effect of cushion packaging construction on vibration bruising and dynamic property of apples[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2007, 26(3): 1-10.
- [15] 陈华君, 马焕普, 刘志民, 等. 两种温度条件下早熟桃果实中挥发性物质成分分析[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(4): 525-527.
CHENG Hua-jun, MA Huan-pu, LIU Zhi-jun, et al. Analysis of

volatile compounds in fruit of early cultivar of peach (*Prunus persica* Batsch) under different temperatures [J]. *Plant Physiology Communications*, 2005, 41(4): 525-527.

[16] 周慧娟, 叶正文, 苏明申, 等. 低温和差压式预冷对不同品种桃果实预冷性能的影响[J]. *保鲜与加工*, 2015, 15(1): 16-19. ZHOU Hui-juan, YE Zheng-wen, SU Ming-shen, et al. Effects of low temperature and forced-air precooling on precooling performance of different varieties of peach fruits[J]. *Storage and Process*, 2015, 15(1): 16-19.

[17] KHAN A S. 1-Methylcyclopropene application and modified atmosphere packaging affect ethylene biosynthesis, fruit softening, and quality of 'Tegan Blue' Japanese plum during cold storage[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 2008, 133: 290-299.

[18] 严娟, 蔡志翔, 马瑞娟, 等. 高效液相色谱搭载可变波长检测器测定桃果肉中糖组分[J]. *江苏农业学报*, 2015, 31(4): 887-892. YAN Juan, CAI Zhi-xiang, MA Rui-juan, et al. Determination of sugars in peaches by high-performance liquid chromatography with variable wavelength detector [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(4): 887-892.

[19] 郭香凤, 梁华, 赵胜娟, 等. 1-MCP 对杏果实采后贮藏品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(8): 107-110. GUO Xiang-feng, LIANG Hua, ZHAO Sheng-juan, et al. Effects of 1-MCP on Post-harvest storage quality of Katy apricot fruits[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(8): 107-110.

[20] 谢斯雯, 桑倩姿, 姜航, 等. 1-MCP 处理对不同肉质桃果实糖、酸含量及相关基因表达水平的影响[J/OL]. *分子植物育种*. (2021-01-06)[2021-11-17]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210106.1716.005.html>. XIE Si-wen, SANG Qian-zi, JIANG Hang, et al. Effects of 1-MCP treatment on sugar acid content and related genes expression in different flesh texture peaches[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*. (2021-01-06)[2021-11-17]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210106.1716.005.html>.

[21] FAN X, MATTHEIS J P. Reduction of ethylene-induced physiological disorders of carrots and iceberg lettuce by 1-methylcyclopropene[J]. *HortScience*, 2000, 35: 1 312-1 314.

[22] 周慧娟, 叶正文, 苏明申, 等. 预冷与冷链运输和货架期间桃果热传导性能及品质差异[J]. *经济林研究*, 2013, 31(3): 116-120. ZHOU Hui-juan, YE Zheng-wen, SU Ming-shen, et al. Difference of peach heat conduction and quality during precooling, cold chain transportation and shelf periods[J]. *Nonwood Forest Research*, 2013, 31(3): 116-120.

[23] 苗红霞, 金志强, 刘伟鑫, 等. 香蕉果实中抗性淀粉代谢与可溶性糖含量变化的相关性[J]. *植物生理学报*, 2013, 49(8): 743-748. MIAO Hong-xia, JIN Zhi-qi, LIU Wei-xin, et al. Correlation between resistant starch metabolism and soluble sugar content of banana fruit[J]. *Plant Physiology Journal*, 2013, 49(8): 743-748.

[24] 王毓宁, 马佳佳, 张鹏, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 与电子舌分析冷藏冠玉枇杷的风味特性[J]. *包装工程*, 2020, 41(23): 11-18. WANG Yu-ning, MA Jia-jia, ZHANG Peng, et al. Flavor characteristics of guanyu loquat based on HS-SPME-GC-MS and electronic tongue during cold storage[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(23): 11-18.

[25] 张浩, 安可婧, 徐玉娟, 等. 基于电子舌与 SPME-GC-MS 技术的芒果风味物质的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(10): 214-224. ZHANG Hao, AN Ke-jing, XU Yu-juan, et al. The characteristic flavor compounds analysis of different cultivars of mango by electronic tongue and SPME-GC-MS[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(10): 214-224.

[26] 王雁, 王小贝, 邓丽, 等. 1-MCP 处理采后不同成熟度桃果实生理效应及转录组分析[J]. *果树学报*, 2020, 37(12): 1 798-1 810. WANG Yan, WANG Xiao-bei, DENG Li, et al. Physiological effects and transcriptome analysis of peach fruit with different maturity after 1-MCP treatment[J]. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(12): 1 798-1 810.

[27] 梁丽雅, 王娜, 马照春, 等. 1-MCP 结合降温处理对中华寿桃采后生理及品质的影响[J]. *食品与机械*, 2013, 29(1): 195-198. LIANG Li-ya, WANG Na, MA Zhao-chun, et al. Effect of 1-MCP combined with different cooling treatment on physiology and quality of Zhonghuashoutao peach after harvest[J]. *Food & Machinery*, 2013, 29(1): 195-198.

[28] 李学文, 韩江, 滕康宁. 1-MCP 对蟠桃采后生理效应的影响[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(11): 185-188. LI Xue-wen, HAN Jiang, TENG Kang-ning. Effects of 1-MCP on postharvest physiological effects of peach[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(11): 185-188.

[29] 郭艳萍, 王贵禧, 梁丽松, 等. 不同处理对桃果实 MA 贮藏期和货架期挥发性芳香物质含量的影响[J]. *西北林学院学报*, 2008, 23(3): 163-167. GUO Yan-ping, WANG Gui-xi, LIANG li-song, et al. Effects of different treatments on the content of volatile aroma components in peach fruit during storage and shelf life[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(3): 163-167.

[30] 任艳芳, 何俊瑜, 刘国琴, 等. 1-甲基环丙烯对艳红桃采后果实软化和活性氧代谢的影响[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(6): 2 471-2 475. REN Yan-fang, HE Jun-yu, LIU Guo-qin, et al. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest fruit softening and active oxygen metabolism in Yanhong [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2013, 26(6): 2 471-2 475.