

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240226002

贮后乙烯利处理对 1-甲基环丙烯保鲜 花牛苹果催熟品质的影响

吴小华^{1,2}, 顾敏华^{1,2*}, 陈 柏^{1,2}, 王彦淳^{1,2}, 马盼盼³, 魏丽娟^{1,2}, 贾莉莉^{1,2}, 杨小峰⁴

(1. 甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃省果蔬贮藏加工技术创新中心, 兰州 730070;
3. 甘肃农业大学园艺学院, 兰州 730070; 4. 秦安雪原果品有限责任公司, 天水 741600)

摘 要: **目的** 研究乙烯利催熟对低温贮藏 10 个月、经不同浓度 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP) 处理的花牛苹果果实品质和香气成分的影响。**方法** 以天水花牛苹果为试材, 采用不同浓度 1-MCP 熏蒸处理 (0、1、2 $\mu\text{L/L}$) 后, 置(0 $\pm$ 1) $^{\circ}\text{C}$ 低温下贮藏 10 个月, 研究乙烯利催熟处理对其感官品质(果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、呼吸速率和乙烯释放量)、挥发性香气物质成分等指标的影响。**结果** 不同浓度乙烯利处理均使花牛苹果果实贮后呼吸强度、乙烯释放量增加, 果实硬度、可滴定酸含量降低; 乙烯利催熟后, 果实香气有效恢复, 贮后经 1、3、5 mL/L 乙烯利处理的果实常温货架 10 d 时, 分别检测出 70、87 和 81 种香气成分, 较同期不经乙烯利催熟果实分别增加 16.7%、45.0%和 35.0%, 且 3 mL/L 乙烯利处理对 0、1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理果实催熟效果最佳, 5 mL/L 乙烯利处理对 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理果实催熟效果最佳。**结论** 贮后乙烯利催熟处理可加快经保鲜处理花牛苹果的后熟进程, 促进果实香气成分的产生, 提高其感官品质和食用价值。

关键词: 花牛苹果; 乙烯利; 催熟复香; 香气成分; 贮藏品质

Effects of post-storage ethylene treatment on the ripening quality of 1-methylcyclopropene fresh-keeping Huanu apple

WU Xiao-Hua^{1,2}, XIE Min-Hua^{1,2*}, CHEN Bai^{1,2}, WANG Yan-Chun^{1,2},
MA Pan-Pan³, WEI Li-Juan^{1,2}, JIA Li-Li^{1,2}, YANG Xiao-Feng⁴

(1. Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Innovation Center of Fruit and Vegetable Storage and Processing, Lanzhou 730070, China;
3. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. Qin'an Xueyuan Fruit Co., Ltd., Tianshui 741600, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of ethylene on the quality and aroma components of Huanu apple stored at low temperature for 10 months and treated with different concentrations of 1-methylcyclopropene (1-MCP).

基金项目: 农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室项目(S2022KFKT-15)、甘肃省农业科学院农业科技创新专项(2023GAAS04)、甘肃省科技型中小企业技术创新基金项目(23CXGE0036)

Fund: Supported by the Open Project of the Key Laboratory of Agro-products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (S2022KFKT-15), the Agricultural Science and Technology Innovation Special Project of Gansu Academy of Agricultural Sciences (2023GAAS04), and the Gansu Science and Technology Small and Medium Sized Enterprise Technology Innovation Fund (23CXGE0036)

*通信作者: 顾敏华, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。E-mail: xieminhuags@126.com

*Corresponding author: XIE Min-Hua, Ph.D, Professor, Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China. E-mail: xieminhuags@126.com

Methods Using Huanu apple from Tianshui as the experimental materials, fumigation treatment with different concentrations of 1-MCP (0, 1, 2 $\mu\text{L/L}$), stored at low temperature of $(0\pm 1)^{\circ}\text{C}$ for 10 months, the effects of ethylene ripening treatment on the sensory quality (fruit hardness, soluble solids, titratable acid, respiration rate, and ethylene release), volatile aroma components, and other indicators of Huanu apples were studied. **Results** Different concentrations of ethylene treatment increased the respiratory intensity and ethylene release of Huanu apple after storage, decreased fruit hardness and titratable acid content; after ripening with ethylene, the aroma of the fruit was effectively restored. The 70, 87, and 81 kinds of aroma components were detected in the fruits treated with 1, 3, and 5 mL/L ethephon at room temperature for 10 days after storage. Compared with the fruits not ripened with ethylene during the same period, these components increased by 16.7%, 45.0%, and 35.0%, respectively. Moreover, 3 mL/L ethylene treatment had the best ripening effect on fruits treated with 0 $\mu\text{L/L}$ and 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP and 5 mL/L ethylene treatment had the best ripening effect on fruits treated with 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP. **Conclusion** Ethylene ripening treatment after storage can accelerate the post ripening process of fresh treated Huanu apples, promote the recovery of fruit aroma components, and improve their sensory quality and edible value.

KEY WORDS: Huanu apple; ethephon; accelerate ripening and regain fragrance; aroma components; storage quality

0 引言

花牛苹果因其外观艳丽、风味独特、香气浓郁等特点,被认为是可与美国蛇果、日本富士齐名的世界三大著名苹果品牌之一^[1]。但其常温条件下不耐贮藏,果肉易发绵、保鲜质量差是制约花牛苹果产业发展的重要采后保鲜问题。1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种新型乙烯抑制剂,它能够与乙烯受体结合,阻断受体与乙烯的结合,使得乙烯的催熟生理效应无法完成,进而延迟果蔬的成熟过程,达到保鲜效果^[2-5]。苹果是典型的跃变型果实,其成熟过程和风味形成受乙烯的控制,1-MCP 对保持其贮藏品质有显著效果,但同时对其果实的香气形成有较大的影响^[2]。大量研究表明,1-MCP 在保持果实硬度、营养的同时,抑制了乙烯合成和果实的成熟进程,进而抑制果实香气物质尤其是酯香物质的合成,减少香气物质的挥发,一定程度上影响果实的正常风味^[6-8]。随着人们对果品品质要求的提高和企业品牌打造的需要,通过技术手段使 1-MCP 抑制的花牛苹果香气得到有效恢复,对提升长期贮藏花牛苹果的保鲜品质具有重要的现实意义。乙烯利作为一种植物催熟激素,能显著提高呼吸跃变型果实内源乙烯的合成^[9],加速一系列生化反应进程,从而促进果实的后熟衰老,增强果实的风味和香气,目前已经被广泛应用于采后果实的催熟^[10-14]。本课题组前期研究表明,外源乙烯利可显著促进一定浓度 1-MCP 处理花牛苹果的果实成熟和香气成分的恢复^[15],果实风味可得到明显改善。但不同浓度 1-MCP 处理果实对催熟活性物质的敏感性不同,需要针对生产上不同上市时间、不同剂量 1-MCP 保鲜处理的冷藏花牛苹果进行催熟复香技术研究,建立满足不同生产要求的乙烯利催熟技术体系和技术规范,但目前对此方面研究较少。

本研究以甘肃天水花牛苹果为试材,研究不同浓度乙烯利对低温贮藏 10 个月、经不同浓度 1-MCP 处理的花牛苹果果实感官品质及香气成分变化的影响,探讨不同浓度乙烯利对经 1-MCP 处理花牛苹果香气成分恢复的作用,确定适宜不同浓度 1-MCP 处理花牛苹果的有效催熟乙烯浓度,提高花牛苹果的保鲜品质,以期为进一步完善花牛苹果 1-MCP 贮藏保鲜技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试花牛苹果于 2023 年 9 月 26 日采自甘肃省天水市秦安县安伏镇苹果园,果实采收成熟度控制在八成熟,采收标准为盛花后 135~140 d,碘-碘化钾染色反应指数为 3 级。选取大小均匀、无损伤、无病害、成熟度一致的果实,套发泡网装入垫有厚 5 μm 的塑料薄膜内衬的瓦楞纸箱,采收后立即运至秦安雪原果品有限责任公司进行 1-MCP 熏蒸处理。

1-MCP, 0.625 g/袋,有效成分 0.014%,商品名为聪明鲜,美国罗门哈斯公司生产。

乙烯利、氢氧化钠、三羟甲基甲烷、乙二醇四乙酸(分析纯,天津市光复精细化工研究所);还原性辅酶一钠丁、醇、盐酸、甲醇(分析纯,天津志达化学试剂有限公司);焦磷酸硫胺素、2-(N-吗啡啉)乙磺酸(优级纯,上海源叶生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

SP-3420 型气相色谱仪(北京北分瑞利分析仪器有限公司);CA-10 型呼吸代谢测量系统(美国 Sable Systems 公司);Clarus 500 型气相色谱-质谱联用仪(美

国 PerkinElmer 公司); 手动 SPME 进样器(65 μm PDMS/DVB、75 μm CAR/PDMS、100 μm PDMS 萃取头)(美国 Supelco 公司); TGL-16LM 型冷冻离心机(湖南星科科学仪器有限公司); BSA2202S 型电子天平(精度 0.01 g, 北京赛多利斯集团有限公司); FT-327 型硬度计、PR-101 α 糖度计、GMK-855F 型酸度计(意大利 Fruit TestTM 公司); TG-WAX 色谱柱(60 mm $\times$ 0.25 mm, 0.5 μm , 上海希言科学仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1-MCP 设 0 (CK)、1 $\mu\text{L/L}$ 、2 $\mu\text{L/L}$ 3 个处理, 3 次重复。将采收的果实在 0.1 mm 厚塑料大帐内按 1-MCP 设计浓度在 8 $^{\circ}\text{C}$ 条件下密闭熏蒸处理 24 h, 处理后的苹果装入垫塑料薄膜的纸箱内。所有果实置于(-1.0 $\pm$ 0.5) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 85%~90% 的冷库内进行贮藏。至冷藏 10 个月将果实取出, 每处理果实随机分为 4 组, 分别用 0、1、3、5 mL/L 的乙烯利水溶液进行浸泡, 浸泡时间为 5 min, CK 果实和 1-MCP 处理对照果实用蒸馏水浸泡 5 min, 处理后在同等室温条件下放置, 10 d 后测定相关指标。

1.4 测定指标

1.4.1 果实硬度

参照吴小华等^[16]的方法, 用 FT327 型果实硬度计测定, 结果用 kg/cm^2 表示。

1.4.2 可溶性固形物含量

参照吴小华等^[16]的方法, 用 PR-101 α 糖度计测定可溶性固形物含量, 结果用%表示。

1.4.3 可定酸含量

参照吴小华等^[16]的方法, 用 GMK-855 型苹果酸度计测定, 结果用%表示。

1.4.4 呼吸速率

参照陈柏等^[17]的方法, 将样品置于密闭容器中 2 h 后, 注射器取 1 mL 气体, 于 CA-10 型呼吸代谢测量系统中测定, 采用气流法, 气体流速 600 mL/min。

1.4.5 乙烯释放速率

参照吴小华等^[13]的方法, 用 SP-3420 型气相色谱仪测定, 结果用 $\mu\text{L}/\text{kg}\cdot\text{h}$ 示。

1.4.6 香气物质的测定

参照王宝春等^[15]的方法, 采用顶空固相微萃取(head space-solid phase microextractions, HS-SPME)-气相色谱质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)进行检测。将苹果切碎, 取 8 g 置于 20 mL 的顶空样品瓶中。加入 1.5 g 氯化钠, 密封瓶口, 放置于恒温器 30 $^{\circ}\text{C}$ 恒温 30 min。将固相微萃取器的萃取头通过瓶盖的橡皮垫插入到样品瓶中, 推出纤维头, 在 30 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温吸附 30 min, 然后抽回纤维头, 从样品瓶上拔出萃取头。迅速将萃取头插入气相色谱仪, 推出纤维头, 同时启动仪器采集数据。于 240 $^{\circ}\text{C}$ 解析 8 min, 抽回纤维头后拔出萃取头。

(1) 色谱条件

TG-WAX 色谱柱(60 mm $\times$ 0.25 mm, 0.5 μm); 检测器: 氢火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID), 检测器温度 250 $^{\circ}\text{C}$; 进样器: 程序控制毛细管柱(分流/不分流)进样口, 进样口温度 240 $^{\circ}\text{C}$; 载气: He, 柱流量 1 mL/min, 分流比 30:1; 进样方式: Grob 无分流进样, 进样时分流阀关闭, 3 min 后分流阀打开; 程序升温: 初始温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ 以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 100 $^{\circ}\text{C}$, 再以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 180 $^{\circ}\text{C}$, 保持 8 min。

(2) 质谱条件

色谱-质谱接口温度 180 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度 240 $^{\circ}\text{C}$; 离子化方式(electronic ionization, EI): 电子能量 70 eV; 扫描质量范围 30~500 u。

1.5 数据处理

实验重复 3 次, 采用 Excel 2010 软件进行数据分析与制图, 采用 SPSS 22.0 软件进行差异性分析。

2 结果与分析

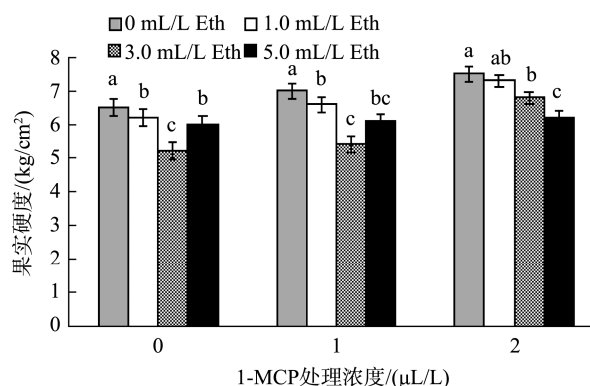
2.1 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实硬度的影响

果实的硬度是判断苹果成熟度和耐贮性的重要品质因素^[18], 同时也是评判催熟效果好坏的重要指标, 适宜浓度的乙烯利处理能降低果实的硬度, 促进果实熟化。由图 1 可知, 未经 1-MCP 处理的花牛苹果冷藏 10 个月出库后, 对其采用不同浓度的乙烯利进行催熟处理, 常温货架 10 d 时各处理组的果实硬度为 5.3~6.6 kg/cm^2 , 其中浓度为 3 mL/L 处理的果实硬度最低, 为 5.3 kg/cm^2 , 催熟效果优于其他处理($P<0.05$); 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实硬度为 5.6~7.1 kg/cm^2 , 其中浓度为 3 mL/L 的果实硬度最低, 为 5.6 kg/cm^2 , 催熟效果优于其他处理; 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实硬度为 6.3~7.6 kg/cm^2 , 其中浓度为 5 mL/L 的果实硬度最低, 为 6.3 kg/cm^2 , 催熟效果优于其他处理($P<0.05$)。

2.2 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物主要由可溶性糖组成, 而苹果果实的甜度主要由可溶性糖含量决定, 它是评价果实风味的重要指标之一。由图 2 可知, 未经 1-MCP 处理的花牛苹果冷藏 10 个月出库后, 常温货架 10 d 时各 Eth 处理组的果实可溶性固形物含量基本上都有不同程度的升高, 在 15.30%~17.60% 之间, 其中 3 mL/L Eth 处理显著加快了果实可溶性固形物含量的上升, 果实可溶性固形物含量最高, 达到 17.60%, 催熟效果优于其他处理($P<0.05$); 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实可溶性固形物含量在

15.23%~17.70%之间, 其中浓度为 3 mL/L 处理的果实可溶性固形物含量最高, 达到 17.70%, 催熟效果优于其他处理 ($P<0.05$); 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实可溶性固形物含量在 14.50%~17.37%之间, 其中浓度为 5 mL/L 的果实可溶性固形物含量最高, 为 17.37%, 催熟效果优于其他处理 ($P<0.05$)。



注: 不同字母表示同一贮藏时间组间差异显著, $P<0.05$, 下同。

图1 贮后乙烯利处理对1-MCP保鲜花牛苹果果实硬度的影响

Fig.1 Effects of post-storage ethylene treatment on the hardness of 1-MCP fresh-keeping Huanu apple

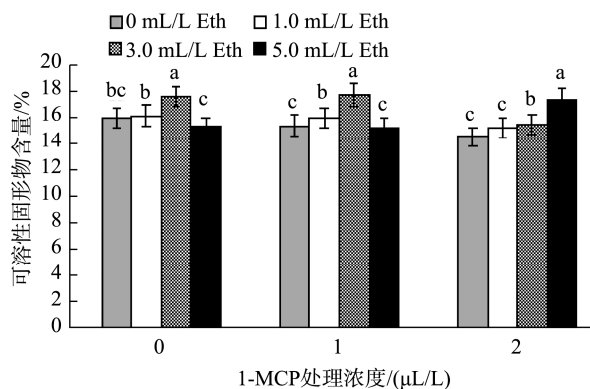


图2 贮后乙烯利处理对1-MCP保鲜花牛苹果果实可溶性固形物含量的影响

Fig.2 Effects of post-storage ethylene treatment on soluble solid content of 1-MCP fresh-keeping Huanu apple

2.3 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实可滴定酸含量的影响

苹果中的可滴定酸主要是有机酸, 可以影响苹果的颜色、香、味, 也是评价果实风味品质的重要指标之一。果实采后可滴定酸作为呼吸基质而被逐渐消耗, 含量随之呈下降趋势。由图 3 可知, 未经 1-MCP 处理的花牛苹果冷藏 10 个月出库后, 常温货架 10 d 时各 Eth 处理组的果实可滴定酸含量均有所降低, 含量在 0.18%~0.21%之间, 其中浓度为 3 mL/L 处理的果实可滴定酸含量最低, 为 0.18%, 催熟效果优于其他处理 ($P<0.05$); 经 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实可滴定酸含量在 0.17%~0.23%之间,

其中浓度为 3 mL/L 处理的果实可滴定酸含量最低, 为 0.17%, 催熟效果优于其他处理 ($P<0.05$); 经 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 各处理组的果实可滴定酸含量在 0.19%~0.28%之间, 其中浓度为 5 mL/L 处理的果实可滴定酸含量最低, 为 0.19%, 催熟效果优于其他处理 ($P<0.05$)。

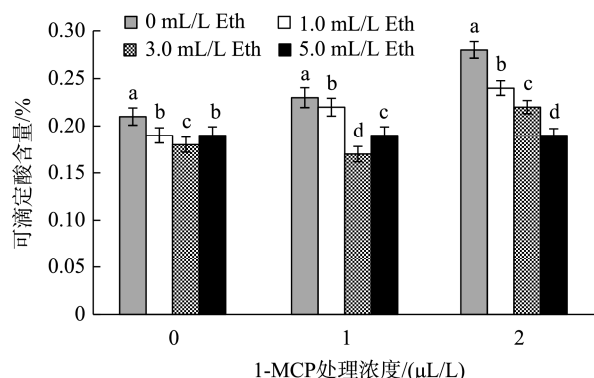


图3 贮后乙烯利处理对1-MCP保鲜花牛苹果果实可滴定酸含量的影响

Fig.3 Effects of post-storage ethylene treatment on titratable acidity of 1-MCP fresh-keeping 'Huanu' apple

2.4 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果呼吸速率和乙烯释放速率的影响

呼吸强度和乙烯释放量作为衡量植物体新陈代谢强弱的一个重要指标, 与苹果果实的成熟衰老密切相关。不同浓度乙烯利处理均可以显著促进果实呼吸、乙烯释放量加强, 由图 4 可以看出, 经 1-MCP 处理的花牛苹果贮后经不同浓度 Eth 处理, 果实货架期间的呼吸速率和乙烯释放量整体呈上升趋势。其中, 未经 1-MCP 处理和经 1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的花牛苹果常温货架 10 d 时, 3 mL/L 浓度 Eth 处理的果实呼吸强度和乙烯释放量均显著高于其他浓度的 Eth 处理组 ($P<0.05$), 说明 3 mL/L 浓度的 Eth 可以有效促进低浓度 1-MCP 处理的花牛苹果贮后货架期后熟进程, 促进果实呼吸和乙烯的释放; 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 经 5 mL/L 浓度的 Eth 处理后, 果实呼吸强度和乙烯释放量均显著高于其他浓度的 Eth 处理 ($P<0.05$), 催熟效果优于其他处理, 说明 5 mL/L 浓度的 Eth 处理更有利于经高浓度 1-MCP 处理的花牛苹果贮后的催熟, 提高果实的商品性。

2.5 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实香气成分的影响

香气成分是评价果实成熟度和品质的重要指标之一, 其含量随着果实成熟度的增加而增加^[19-20], 苹果的香气取决于挥发性成分等嗅感物质的组成和丰度^[21]。贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实香气物质含量分析结果如表 1, 经 GC-MS 分析发现(图 5A), 花牛苹果贮后转置常温货架 10 d, 香气种类为 65 种, 1-MCP 处理使花牛苹果的香气成分种类减少, 1 $\mu\text{L/L}$ 和 2 $\mu\text{L/L}$ 处理分别减少至 56 种和 58 种; 乙烯利处理能够促进苹果香气物质的产生, 贮后经

1、3、5 mL/L Eth 处理果实常温货架 10 d 时, 分别检测出 70、87 和 81 种香气成分, 比同期不经乙烯利催熟果实分别增加 16.7%、45.0%和 35.0%。其中, 1 μ L/L 1-MCP 处理的果实, 各 Eth 处理组分别检出 68、88、75 种香气成分, 较同期不经乙烯利催熟果实分别增加 21.4%、57.1%和 33.9%; 2 μ L/L 1-MCP 处理果实, 各 Eth 处理组分别检出 63、70、87 种香气成分, 较同期不经乙烯利催熟果实分别增加 8.6%、20.7%和 50.0%。可见, 3 mL/L Eth 处理对 0、1 μ L/L 1-MCP 处理果实在常温货架 10 d 时香气的恢复效果最佳, 5 mL/L Eth 处理对 2 μ L/L 1-MCP 处理果实在常温货架 10 d 时香气种类的恢复效果最佳。

冷藏后转置常温货架, 花牛苹果采后果实主要香气物质种类有酯类、醇类、酸类、醛类和其他类等(图 5B~5F), 不同浓度乙烯利处理均增加了果实香气物质的种类, 其中以酯类物质变化最大, 说明酯类是花牛苹果采后的主要呈香物质常温 10 d 时, 0、1、2 μ L/L 处理果实的酯类分别为 28、22 和 22 种, 3 mL/L Eth 处理显著提高了 0、1 μ L/L 1-MCP 处理果实酯类香气物质的数量, 较同期不处理对照分别增加 53.6%和 77.3%; 5 mL/L Eth 处理显著提高了 2 μ L/L 1-MCP 处理果实酯类物质种类的数量, 较同期不处理对照增加 63.6%, 不同处理的共有酯类成分有 11 种, 分别是丁酸乙酯、乙酸丁酯、2-甲基丁基乙酸酯、乙酸戊酯、丁酸丁酯、丁酸己酯、2-甲基丁基己酸酯、己酸己酯、十二酸丁酯、己酸丁酯、丁酸异丁酯。从香气成分相对数量来看, 不同处理果实酯类物质含量最丰富, 均在 35%以上, 0、1 μ L/L 1-MCP 处理的果实中, 经 3 mL/L Eth 处理的果实酯类物质相对含量最高, 分别为 61.75%、52.97%, 较同期保鲜处理组分别高 35.39%、21.75%、19.07%和 7.16%、50.35%、4.52%, 果实香气最浓, 2 μ L/L 1-MCP 处理的果实中, 经 5 mL/L Eth

处理的果实酯类物质含量最高, 为 53.73%, 较同期保鲜处理组分别高 12.57%、2.11%、22.87%, 果实香气最浓。由此可见, 乙烯利处理提高了果实贮藏后挥发性香气物质的合成, 香气种类最多, 相对含量最高, 有利于花牛苹果风味的呈现, 提升苹果品质。

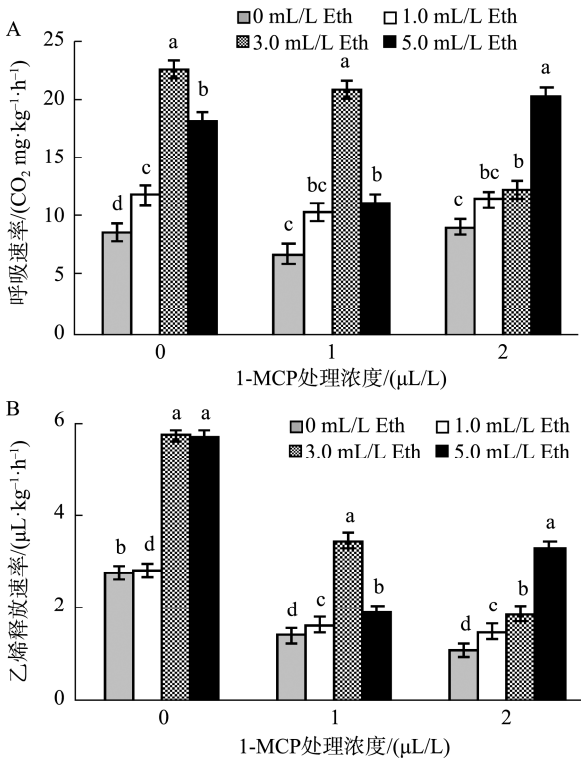


图4 贮藏后乙烯利处理对1-MCP保鲜花牛苹果呼吸速率(A)和乙烯释放速率(B)的影响

Fig.4 Effects of post-storage ethylene treatment on respiratory rate (A) and ethylene release rate (B) of 1-MCP fresh-keeping Huanium apple

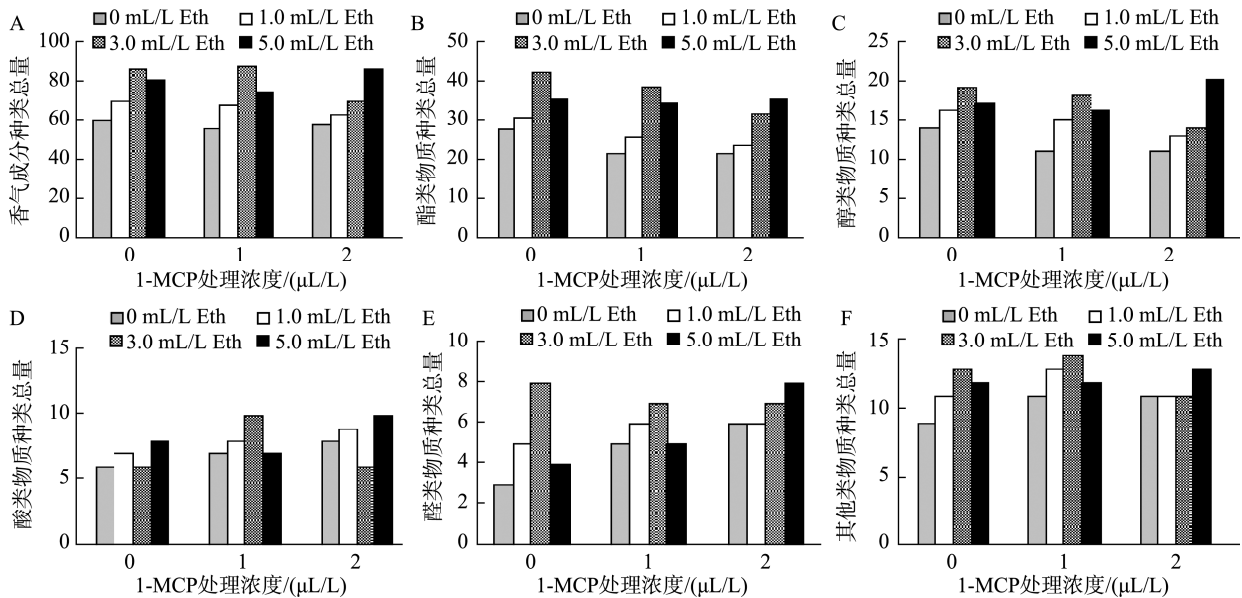


图5 贮藏后乙烯利处理对1-MCP保鲜花牛苹果果实香气成分的影响

Fig.5 Effects of post-storage ethylene treatment on aroma components of 1-MCP fresh-keeping Huanium apple

表 1 贮后乙烯利处理对 1-MCP 保鲜花牛苹果果实香气物质含量分析结果(%)

Table 1 Analysis result of the content of aroma components in 1-MCP fresh-keeping Huanium apple treated with ethylene after storage (%)

香气成分	0 μ L/L 1-MCP				1 μ L/L 1-MCP				2 μ L/L 1-MCP			
	0 mL/L Eth	1 mL/L Eth	3 mL/L Eth	5 mL/L Eth	0 mL/L Eth	1 mL/L Eth	3 mL/L Eth	5 mL/L Eth	0 mL/L Eth	1 mL/L Eth	3 mL/L Eth	5 mL/L Eth
乙酸乙酯	0.19	0.21	0.14	0.11	-	-	-	-	-	-	-	0.07
丙酸乙酯	0.40	0.51	0.26	0.31	-	-	-	-	-	-	0.33	0.35
乙酸丙酯	3.00	2.16	0.79	1.35	1.17	0.19	0.54	0.38	0.31	-	0.51	0.62
3-羟基己酸甲酯	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.03
乙酸异丁酯	0.07	0.08	0.06	0.06	0.03	0.22	0.41	0.19	-	-	-	-
丁酸乙酯	0.01	6.85	5.77	6.65	1.67	1.36	1.34	1.50	0.54	1.02	1.14	1.39
异戊酸乙酯	-	-	3.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
乙酸丁酯	0.14	2.37	3.03	3.30	0.10	0.16	0.20	1.95	0.12	1.19	0.09	0.20
2-甲基丁基乙酸酯	16.83	9.02	21.98	14.58	22.83	14.26	25.17	22.36	20.09	12.78	14.6	15.36
2-甲基丁酸丙酯	0.98	1.23	1.48	0.67	-	-	1.32	1.22	0.02	1.05	1.18	1.46
异戊酸己酯	6.69	7.44	9.00	7.45	4.22	4.90	2.76	2.53	7.51	5.03	10.72	11.66
乙酸戊酯	1.36	1.78	1.19	1.26	0.92	0.67	1.09	0.73	0.87	0.62	0.83	1.23
己酸甲酯	0.58	0.35	0.17	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-
丁酸丁酯	0.91	0.75	0.84	0.72	0.65	0.63	0.72	0.68	0.72	0.76	0.25	0.78
乙酸己酯	0.06	2.23	-	2.81	-	0.65	0.20	0.56	0.12	0.50	0.13	0.03
己酸丙酯	0.39	0.41	0.36	0.37	0.35	-	0.97	0.67	0.29	0.29	0.28	0.31
丙酸己酯	0.64	1.01	0.40	0.68	1.01	-	0.27	0.22	0.88	0.79	0.99	1.31
丁酸己酯	2.56	3.16	1.16	2.14	3.20	1.03	4.69	4.13	3.07	6.22	4.17	5.86
辛酸己酯	0.05	0.14	0.15	0.18	0.10	0.02	0.08	0.05	-	0.04	0.10	0.01
2-甲基丁基己酸酯	0.18	0.32	0.17	0.18	0.23	0.11	0.28	0.19	0.28	0.28	0.31	0.69
辛酸丙酯	0.02	0.02	-	0.01	-	0.01	0.02	0.01	-	-	-	-
己酸己酯	3.20	4.79	6.67	5.53	3.43	1.95	2.93	1.79	2.83	4.14	0.81	6.07
辛酸己酯	0.22	0.06	-	0.06	-	0.02	0.07	0.09	-	-	0.10	1.41
正己醇	0.01	0.02	0.01	-	-	0.03	0.01	0.01	-	0.02	0.12	0.06
十二酸丁酯	1.03	1.18	1.70	0.01	1.04	1.40	0.67	1.63	1.51	2.68	0.53	1.49
异戊酸乙酯	1.22	0.69	-	1.96	3.90	2.76	6.53	5.51	5.03	10.72	1.20	1.66
己酸丁酯	3.50	2.95	2.02	1.04	3.43	3.34	1.99	1.76	2.40	3.23	3.92	1.16
丁酸异丁酯	1.37	0.95	1.37	0.18	1.15	1.52	0.71	2.52	1.14	1.26	1.41	0.52
2-甲基丁醇	2.85	4.40	4.95	3.25	2.51	1.75	2.07	1.87	0.92	0.93	1.98	1.71
丁醇	2.37	2.97	3.93	8.77	1.62	-	-	-	0.70	1.15	1.58	1.37
1-戊醇	0.24	0.84	1.20	0.62	0.16	0.14	0.18	0.16	-	0.09	0.21	0.24
2-庚醇	0.15	0.32	0.39	0.36	-	-	0.17	0.09	10.15	-	-	0.15
正己醇	8.68	6.80	7.63	7.68	-	6.79	7.32	6.54	0.15	7.96	10.67	12.03
异辛醇	-	0.49	0.45	0.66	-	-	-	-	-	-	0.01	-
1-辛醇	-	0.02	-	0.01	0.09	0.05	0.05	0.01	-	0.03	-	-
正壬酸	0.02	0.02	0.03	0.02	0.33	0.04	0.06	0.01	0.05	0.05	0.11	0.03
反式 2-己烯基己酸	0.03	0.02	0.03	0.03	0.08	0.14	0.12	0.09	0.19	0.56	0.60	0.47
己酸	0.39	0.03	0.02	0.02	0.23	0.55	0.48	0.04	0.44	0.38	0.51	0.09
庚酸	-	-	-	0.01	-	0.01	0.02	-	-	0.02	-	0.01
辛酸	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-	0.01
正己醛	4.95	5.16	3.76	5.67	6.06	6.97	5.78	5.66	2.57	1.80	2.15	2.72
戊醛	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(E)-2-己烯醛	-	-	-	10.02	14.95	17.31	8.86	8.02	7.86	13.66	9.76	14.73
2-辛烯醛	-	0.22	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09
癸醛	-	-	-	-	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.03	-
苯甲醛	0.13	0.18	0.28	0.12	0.01	0.01	0.03	-	0.12	-	-	0.12
正十九烷	0.04	0.07	0.06	0.04	-	0.06	0.05	-	0.14	0.08	0.17	0.07
正十四烷	0.09	0.16	0.09	0.08	0.12	0.10	0.22	0.09	0.15	0.07	0.20	0.08
茴香烯	-	0.25	0.13	0.29	0.24	0.14	0.09	0.16	-	0.15	-	0.10
4-烯丙基苯甲醚	0.64	1.11	0.98	0.57	0.82	0.35	0.84	1.05	0.64	0.31	1.10	0.14
乙二醇单丁醚	1.37	0.83	1.95	1.21	1.50	0.70	0.48	2.36	1.29	0.63	1.32	0.30
茴香脑	-	-	-	0.03	-	-	0.02	-	-	-	-	-
正庚烯	0.14	0.13	0.20	0.11	0.11	0.20	-	0.12	0.25	0.13	0.13	0.10
甲基庚烯酮	0.58	0.71	0.87	-	1.45	0.66	0.08	0.43	1.43	0.55	1.07	0.81
十五烷	-	-	0.08	0.08	0.08	0.08	0.11	0.09	0.21	0.11	0.21	0.13

注: -未检出, 表中数据均为相对含量。

3 讨论与结论

1-MCP 处理虽然能延长苹果保鲜期, 提高苹果保鲜效果, 但由于抑制部分果实香气物质合成, 一定程度影响了果实的风味^[22-24]。乙烯作为一种内源植物生长调节剂, 在跃变型果实成熟衰老过程中发挥着重要的作用, 被认为是果实成熟衰老的启动因子^[25-27]。本研究结果表明, 适宜浓度的乙烯利处理能够促进贮后花牛苹果果实后熟进程, 冷藏 10 个月, 经 0 $\mu\text{L/L}$ 、1 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 采用浓度为 3 mL/L Eth 催熟处理的果实常温货架 10 d 时, 果实硬度分别为 5.3 kg/cm^2 、5.6 kg/cm^2 , 显著低于其他处理 ($P<0.05$), 可溶性固形物含量、香气物质种类明显高于其他处理, 说明 3 mL/L Eth 对低浓度 1-MCP 保鲜处理果催熟效果最好; 冷藏 10 个月, 经 2 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理的果实, 采用浓度为 5 mL/L Eth 催熟处理的果实常温货架 10 d 时, 果实硬度最低、可溶性固形物含量最高、呼吸强度和乙烯释放量、香气成分种类数量均显著高于其他浓度处理, 说明 5 mL/L Eth 对高浓度 1-MCP 保鲜处理果催熟效果最好。因此, 适宜浓度的乙烯催熟能够提高贮后果实的食用品质, 缩短适宜食用期, 但乙烯催熟对果实贮藏品质的影响具有两面性, 且品种不同效果也有所差异^[28-30]。为充分发挥乙烯催熟对果实品质的有利作用, 需进一步开展其合成、代谢、基因调控等方面的研究, 深入揭示乙烯催熟对果实贮藏品质的内在机理, 为提升果实保鲜品质提供理论依据。

参考文献

- [1] 王风霞, 陆文文, 杨利侠, 等. 低温及 1-MCP 处理对天水‘花牛’苹果贮藏品质与生理变化的影响分析[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 346–349.
WANG FX, LU WW, YANG LX, *et al.* Effects of low temperature vs 1-MCP treatment on quality and physiology of ‘huanui’ apple during storage [J]. Food Sci, 2014, 35(22): 346–349.
- [2] 陈娟钦, 张芳艺, 胡宇欣, 等. 1-甲基环丙烯对草菇乙炔受体基因表达的影响[J]. 食用菌学报, 2022, 29(1): 12–19.
CHEN JQ, ZHANG FY, HU YX, *et al.* Effect of 1-methylcyclopropene on exoression of ethylene receptor genes in *Volvariella volvacea* during postharvest storage [J]. Acta Edulis Fungi, 2022, 29(1): 12–19.
- [3] 李娟. 1-MCP 处理对香水梨采后乙醇代谢调控机理研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.
LI J. Regulation mechanism of 1-MCP treatment on postharvest ethanol metabolism in Xiangshui pear [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.
- [4] LIN WY, DI JB. Effects of 1-MCP treatment on physiology and storage quality of root mustard at ambient temperature [J]. Foods, 2022, 11(19): 2978.
- [5] LI XR, PENG SJ, YU RY, *et al.* Co-Application of 1-MCP and laser microporous plastic bag packaging maintains postharvest quality and extends the shelf-life of honey peach fruit [J]. Foods, 2022, 11(12): 1733–1733.
- [6] 樊丽. 苹果果实贮藏期间香气特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [7] FAN L. Study on aroma characteristic of apple fruits during storage [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [7] 张丽萍. 冷藏及 1-MCP 处理对南果梨挥发性香气物质代谢的影响及其调控[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
ZHANG LP. Effect of refrigeration and 1-methylcyclopropene on the metabolic volatile aroma in Nanguo pear and control [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013.
- [8] 李俊俊, 李文文, 邵远志, 等. 1-MCP 对香蕉、芒果和番木瓜果实贮藏品质影响的比较研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 46–51.
LI JJ, LI WW, SHAO YZ, *et al.* Comparison on effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage quality of banana, mango and papaya fruits [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(5): 46–51.
- [9] 苗博英, 张鹏, 翟宏伟, 等. 贮后催熟处理对南果梨果实生理品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(1): 21–24.
MIAO BY, ZHANG P, ZHAI HW, *et al.* Effects of ethephon ripening treatment on physiology and quality of Nanguo pear after cold storage [J]. Storage and Process, 2013, 13(1): 21–24.
- [10] ALI AMK, GADALLAH AFI, OMEIMA AKH. Responses of some sugarcane varieties to application of ethrel ripener with respect to their on quality and productivity [J]. J Agron Crop Sci, 2023, 8(4): 571–578.
- [11] 张利伟. 高氧结合低浓度乙烯催熟对采后香蕉果实品质的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
ZHANG LW. Effect of high oxygen combined with low concentration ethylene on ripening of postharvest banana fruit quality [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.
- [12] 廖茂雯, 朱永清, 林籽汐, 等. 外源乙烯处理对金什 1 号猕猴桃熟化影响研究[J]. 四川农业科技, 2023, (3): 48–52.
LIAO MW, ZHU YQ, LIN ZX, *et al.* Study on the effect of exogenous ethylene treatment on the maturation of Jinshi 1 kiwifruit [J]. J Sichuan Agric Univ, 2023, (3): 48–52.
- [13] 吴小华, 陈柏, 李明泽, 等. 乙烯利催熟去青皮对鲜核桃冻藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 144–150.
WU XH, CHEN B, LI MZ, *et al.* Effect of ethephon ripening and peeling on quality of fresh walnut during freezing storage [J]. Food Mach, 2022, 38(6): 144–150.
- [14] 胡隆孝, 曹琳彩, 王凯, 等. 采后催熟对‘台农一号’芒果理化品质及营养特性的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 369–375.
HU LX, CAO LC, WANG K, *et al.* Effects of postharvest ripening on the physicochemical and nutraceutical properties of mango (*Mangifera indica* L. cv Tainung No.1) [J]. Sci Technol Food Ind, 2023, 44(2): 369–375.
- [15] 王宝春. 1-MCP 处理花牛苹果冷藏后香气成分恢复[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
WANG BC. Recovery of aroma components of apples pre-treated by 1-MCP and after experience of cold storage [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017.
- [16] 吴小华, 顾敏华, 王宝春, 等. 1-MCP 对冷藏花牛苹果生理活性及香气合成相关酶活性的影响[J]. 甘肃农业科技, 2018, (2): 1–5.
WU XH, XIE MH, WANG BC, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on fruit quality and aroma components of Huanui apples during cold storage [J]. J Gansu Agric Univ, 2018, (2): 1–5.
- [17] 陈柏, 顾敏华, 吴小华, 等. 不同包装材料对乌龙头贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(17): 301–308.
CHEN B, XIE MH, WU XH, *et al.* Effects of different packaging

- materials on the storage quality of *Aralia chinensis* [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(17): 301–308.
- [18] 孙阔子, 张坤, 吴光斌, 等. 采前调节剂处理对采后果实保鲜效应的研究进展[J]. *果树学报*, 2022, 39(6): 1111–1120.
- SUN MZ, ZHANG S, WU GB, *et al*. Advances in the effects of preharvest treatments on fresh-keeping of postharvest fruits [J]. *J Fruit Sci*, 2022, 39(6): 1111–1120.
- [19] 范洁琼. ‘翠香’和‘海沃德’猕猴桃采后乙烯催熟技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- FAN JQ. Study on ethylene ripening technology in postharvest kiwifruits of ‘cuixiang’ and ‘hwyward’ [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [20] 张钰敏, 魏珊杉, 林积红, 等. 天水地区花牛苹果主栽品种香气成分研究[J]. *中国果菜*, 2024, 44(1): 15–20, 79.
- ZHANG YM, WEI SS, LIN JH, *et al*. Study on aroma components of main cultivars of huaniu apple in tianshui area [J]. *China Fruit Veg*, 2024, 44(1): 15–20, 79.
- [21] 林炎娟, 叶新福, 方智振, 等. 福红李三个成熟阶段果实营养品质与香气特征分析[J]. *核农学报*, 2024, 38(4): 725–735.
- LIN YJ, YE XF, FANG ZZ, *et al*. Nutritional quality and aroma characteristics of fuhong plum (*Prunus salicina* Lindl.) during three different mature stages [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2024, 38(4): 725–735.
- [22] 马婷, 任亚梅, 张艳宜, 等. 1-MCP 处理对‘亚特’猕猴桃果实香气的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(2): 276–281.
- MA T, REN YM, ZHANG YY, *et al*. Effect of 1-MCP treatment on the aroma of ‘Yate’ kiwifruit [J]. *Food Sci*, 2016, 37(2): 276–281.
- [23] MARIN AB, COLONNA AE, KUDO K, *et al*. Measuring consumer response to ‘Gala’ apples treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) [J]. *Postharvest Bio Technol*, 2009, 51: 73–79.
- [24] CAI H, AN X, HAN S, *et al*. Effect of 1-MCP on the production of volatiles and biosynthesis-related gene expression in peach fruit during cold storage [J]. *Postharvest Bio Technol*, 2018, 141: 50–57.
- [25] 孟祥春, 黄泽鹏, 凡超, 等. 1-MCP 对黄金百香果贮藏品质及风味变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 48(2): 277–281.
- MENG XC, HUANG ZP, FAN C, *et al*. Effect of 1-MCP on storage quality and volatiles variations in gold passion fruit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 48(2): 277–281.
- [26] 王建军, 周雅涵, 曾凯芳. 乙烯催熟对采后果实贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(21): 361–364.
- WANG JJ, ZHOU YH, ZENG KF. Effects of ethylene treatment on storage quality of postharvest fruit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(21): 361–364.
- [27] 贾晓辉, 王文辉, 佟伟, 等. 温度和乙烯对京白梨后熟进程及其品质的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(10): 282–285.
- JIA XH, WANG WH, TONG W, *et al*. Effects of storage temperature and exogenous ethylene on postharvest ripening of Jingbai pear [J]. *Food Sci*, 2010, 31(10): 282–285.
- [28] MAO LC, KARAKURT Y, HUBER DJ. Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit: Induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene [J]. *Postharvest Bio Technol*, 2004, 33: 1–9.
- [29] PECH JC, BOUZAYEN M, LATCHE A. Climacteric fruit ripening: Ethylene-dependent and independent regulation of ripening pathways in melon fruit [J]. *Plant Sci*, 2008, 175: 114–120.
- [30] MARTINEZ RD, GUILLEN F, CASTILLO S, *et al*. Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber [J]. *Postharvest Bio Technol*, 2009, 51: 206–211.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



吴小华, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。

E-mail: wuxiaohua.84@163.com



颜敏华, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬贮藏保鲜。

E-mail: xieminhuags@126.com