

1-甲基环丙烯处理对‘徐香’猕猴桃储藏保鲜效果的影响

郭 叶^{1,2}, 王亚萍², 费学谦², 刘 力¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 以浙江主产‘徐香’猕猴桃 *Actinidia deliciosa* ‘Xuxiang’为试材, 研究不同体积分数 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理(0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$)对猕猴桃低温储藏期间果实品质和生理生化特性的影响。结果表明: 在冷藏条件下, 适宜体积分数的 1-甲基环丙烯处理可以延缓‘徐香’猕猴桃维生素 C 的下降以及可溶性固形物和总糖的上升; 可较好地保持果实硬度和可滴定酸; 降低果实呼吸强度和乙烯释放速率, 并推迟两者高峰期的到来, 减缓其衰老进程; 同时可抑制储藏期间丙二醛的升高; 提高果实的超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性, 较好地保持细胞膜完整性。综合考虑认为: 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 1-甲基环丙烯处理对‘徐香’猕猴桃低温储藏保鲜效果较好。图 6 参 21

关键词: 果树学; ‘徐香’猕猴桃; 1-甲基环丙烯; 储藏; 生理生化特性

中图分类号: S663.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)03-0364-08

Maintaining freshness with 1-MCP treatment for storage of *Actinidia deliciosa* ‘Xuxiang’ kiwifruit

GUO Ye^{1,2}, WANG Yaping², FEI Xueqian², LIU Li¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: To determine the effect of different 1-MCP concentrations (0 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, 0.3 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, 0.6 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$, 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ and 1.2 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$) on quality as well as physiological and bio-chemical characteristics during cold storage, a Zhejiang variety of *Actinidia deliciosa* of ‘Xuxiang’ kiwifruit was studied. Results showed that 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP was favorable for keeping of ‘Xuxiang’ kiwifruit quality. At the end of storage, in comparison with the control, the treatment of 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ can significantly improved Vc content in 0.19 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ and total sugars content in 25.0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP also helped improved titratable acidity content in 0.17%. Additionally, 0.9 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP reduced rates of respiration content in 7.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ and ethylene production content in 1.0 $\text{nL}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ and delayed time to respiration and ethylene peaks. In addition, 1-MCP significantly restrained increases of 3,4-methylenedioxymphetamine (MDA), increased superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activity and maintained integrity of the cell membrane well ($P<0.05$). [Ch, 6 fig. 21 ref.]

Key words: pomology; *Actinidia deliciosa* ‘Xuxiang’; 1-methylcyclopropene (1-MCP); storage; physiological and bio-chemical characteristics

猕猴桃 *Actinidia deliciosa* 是一种典型的呼吸跃变型果实, 采后果实对乙烯极为敏感, 用 0.1 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的外源乙烯处理就可以促进果实的成熟软化^[1]。1-甲基环丙烯(1-MCP)为近年来发现的一种新型乙烯受体抑制剂, 它能不可逆地作用于乙烯受体, 从而阻断与乙烯的正常结合, 抑制其所诱导的与果实后熟相

收稿日期: 2011-05-07; 修回日期: 2011-09-26

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项(201004008)

作者简介: 郭叶, 从事水果保鲜研究。E-mail: 1650647518@qq.com。通信作者: 费学谦, 研究员, 从事植物化学等研究。E-mail: fxq6565@163.com

关的一系列生理生化反应^[2]。1-MCP 具有稳定、高效、无毒的优点, 1-MCP 已作为保鲜剂在苹果 *Malus pumila*, 梨 *Pyrus spp.*, 草莓 *Fragaria ananassa* 和番茄 *Lycopersicon esculentum*^[3-6]等果蔬的储藏保鲜上取得了良好的效果, 但是研究表明 1-MCP 作用效果受到品种^[7]、采收时果实成熟度^[8]等因素的影响, 因此, 要明确 1-MCP 的最佳处理条件对猕猴桃的保鲜效果尤为重要。1-MCP 在猕猴桃的应用研究已有不少报道, 但是研究的猕猴桃仅局限于‘秦美’*Actinidia deliciosa* ‘Qinmei’, ‘海沃德’‘Hayward’, ‘金魁’‘Jinkui’和‘红阳’‘Hongyang’^[8-11]等品种。有关 1-MCP 在‘徐香’猕猴桃 *Actinidia deliciosa* ‘Xuxiang’储藏保鲜方面的研究报告甚少, 只有夏源苑等^[12]和辛付存等^[13]就陕西本地的‘徐香’猕猴桃进行了初步研究。当前, 浙江主产的猕猴桃品种多为美味猕猴桃和中华猕猴桃, 其中‘徐香’品种占美味猕猴桃栽培面积的 70%以上, 故以浙江主产‘徐香’猕猴桃为材料研究猕猴桃软化过程具有重要的意义。本实验采用不同体积分数 1-MCP 处理‘徐香’猕猴桃, 旨在考察在不同体积分数 1-MCP 对‘徐香’猕猴桃储藏期间的生理生化及活性物质含量的变化的影响, 为‘徐香’猕猴桃的储藏保鲜、研发深加工产品提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

供试‘徐香’猕猴桃果实于 2011 年 9 月 5 日采自浙江江山, 采收时果实的果肉硬度为 $5.10 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 可溶性固形物为 $90.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 当天运抵实验室冷库, 并挑选大小均匀、无病虫害、成熟度相对一致的果实进行处理。1.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (0.14 %) 1-MCP 粉剂(美国 Agro-Fresh 公司); 高效液相色谱仪(Waters Alliance w2695, 美国 Waters 公司); 气相色谱仪(GC-2010 型, 日本岛津公司); 紫外分光光度计(UV-2550, 日本岛津公司); 超声波清洗器(SK1200H, 中国上海科导超声仪器有限公司); 高速冷冻离心机(Avanti J-E, 德国贝克曼公司)。

1.2 实验方法

将预冷后的猕猴桃果实随机分成 5 组, 80 个·组⁻¹。分别准确称取 0, 0.010 08, 0.020 16, 0.030 24, 0.040 32 的 1-MCP 粉剂(Ethylbloc, 有效成分 $1.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)置于 50 mL 烧杯中, 并与待处理的果分别放在体积为 21 L 的乐扣密封箱中, 然后迅速向烧杯加入 10 mL 蒸馏水, 放在温度为 $(2.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ 冷库内密闭熏蒸 24 h。经过这样处理后, 密封箱内 1-MCP 体积分数分别约为 0, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 。熏蒸结束后, 用厚度为 0.04 mm 的聚乙烯塑料薄膜保鲜袋包装, 储藏在温度为 $(2.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, 相对湿度为 70% ~80% 冷库中, 定期取样测定果实硬度、呼吸强度、乙烯释放速率、酶活性以及可溶性总糖、可滴定酸、维生素 C 等品质指标。

1.3 测定方法

1.3.1 硬度的测定 用锋利的刀片切除果实赤道附近相对两测的果皮组织, 切除面积约为 1 cm^2 , 用探头直径 11 mm, 测定深度 10 mm 的果实硬度计测定, 硬度单位为 $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 取果 8 个·处理⁻¹, 取测定平均值。

1.3.2 可溶性固形物(TSS)的测定 用数字折光仪(TD-45 型)测定。

1.3.3 总糖的测定 采用蒽酮比色法测定^[14]。

1.3.4 可滴定酸的测定 采用酸碱滴定法。

1.3.5 呼吸强度的测定 参照曹建康等^[15]的方法。

1.3.6 维生素 C(Vc)的测定 ①样品处理。取去皮果肉约 5 g, 于 $30.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (3%) 的偏磷酸中, 冰浴研磨, 并用 $30.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (3%) 的偏磷酸中定容到 25 mL, 于 $4 ^\circ\text{C}$ 下 $12\ 000 \times g$ 离心 15 min, 后取上清液待测。②高效液相色谱法, 紫外检测器, 检测波长为 254 nm, 色谱柱 C18(250.0 mm×3.9 mm×4.6 μm), 流速 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 进样量 $10 \mu\text{L}$, 流动相 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸二氢钾, pH 3.00。

1.3.7 细胞膜透性的测定 用 DDS-307 型电导仪测定, 取 8 个果, 用直径 1 cm 的打孔器切取大小一致的果皮, 放入 50 mL 三角瓶中, 用高纯水冲洗 2 次, 用干净纱布拭干水分, 加入 50 mL 高纯水封口。放置 10 min, 取出立即测电导率 P_1 , 然后煮沸 10 min 以杀死植物组织, 冷却至室温加水至原始刻度并在室温下平衡 10 min, 测其电导率 P_2 , 重复 3 次·处理⁻¹, 取其平均值。

1.3.8 丙二醛(MDA)的测定 ①提取液制备。取去皮果肉约 5 g, 于 $20 \text{ mL } 4 ^\circ\text{C}$ 下预冷的 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 酸

缓冲液 (pH 7.8), 冰浴研磨, 于 4 ℃ 下 12 000×g 离心 15 min, 取上清液测定丙二醛。②丙二醛的测定。参照陈建勋等^[17]的方法, 将 1.0 mL 粗酶提取液加入 3.0 mL 6.0 g·L⁻¹ 的硫代巴比妥酸(TBA, 用100.0 g·L⁻¹ 的三氯乙酸配成)溶液中, 混匀后在沸水域中煮沸 15 min, 迅速用自来水冷却, 并在 12 000×g 离心 15 min。取上清液分别在 450, 532 和 600 nm 波长下分别测定吸光度值。

1.3.9 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定 ①提取液制备同丙二醛。②超氧化物歧化酶活性测定。参照李合生等^[16]的方法, 用氮蓝四唑(NBT)还原法测定。

1.3.10 过氧化物酶 (POD)活性的测定 ①提取液制备。取去皮果肉约 5 g, 于 20 mL 4 ℃ 下预冷的 0.2 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液(pH 6.4), 冰浴研磨, 于 4 ℃ 下 12 000×g 离心 15 min, 取上清液测定超氧化物歧化酶的酶活性。②过氧化物酶活性测定。参照陈建勋等^[7]的方法, 将 0.1 mL 粗酶提取液加入 2 mL 0.05 mol·L⁻¹ 愈创木酚(用 0.2 mol·L⁻¹ pH 6.4 的磷酸缓冲液配成)中, 在 30 ℃ 水浴中平衡 5 min, 然后加 1 mL 体积分数为 0.2 %过氧化氢(用 0.2 mol·L⁻¹ pH 6.4 的磷酸缓冲液配成)混匀, 1 min 后扫描 1 min 内 470 nm 处吸光度的变化。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 软件进行分析, 并用 SPSS 13.0 对数据进行显著性分析。

2 结果分析

2.1 1-MCP 处理对猕猴桃果实硬度和可溶性固形物的影响

不同体积分数 1-MCP 处理储藏期间硬度的变化见图 1A。储藏开始至第 30 天, 果实的硬度在逐渐下降, 对照果实硬度下降了 52.3%, 1-MCP 处理明显降低了果实的硬度变化, 且处理为 0.6 μL·L⁻¹ 的硬度变化显著低于对照和其他处理($P<0.05$); 在储藏的第 60 天至第 150 天, 果实的硬度相比储藏前期变化较为缓慢, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 μL·L⁻¹ 1-MCP 处理组和对照的硬度变化率分别为 13.8%, 13.5%, 14.0%, 13.8%和 13.8%, 各处理的硬度变化和对照无明显差异。上述结果表明: 1-MCP 处理抑制了果实硬度的下降, 尤其在储藏前期对果实的硬度下降速率有明显影响, 与付永琦等^[18]研究的 1-MCP 的作用主要体现在果实前期软化的启动阶段的结论基本一致, 其中 0.6 μL·L⁻¹ 1-MCP 处理对延缓‘徐香’猕猴桃硬度下降效果较好。

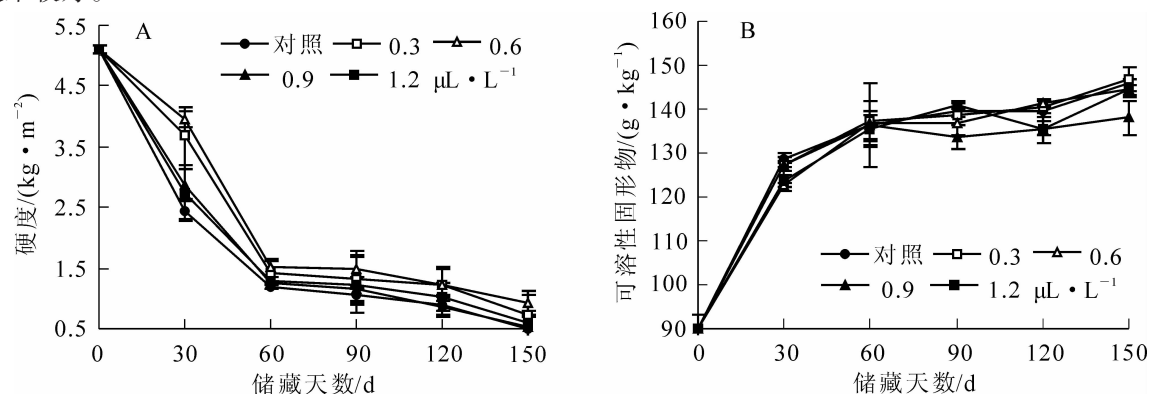


图 1 1-MCP 处理对猕猴桃果实硬度和可溶性固形物的影响

Figure 1 Effect of 1-MCP treatment on firmness and total soluble solids in kiwifruit

由图 1B 可知: 整个储藏期间, 各处理的猕猴桃果实可溶性固形物 (TSS) 均呈上升趋势, 但在储藏前期上升比较快, 后期变化比较缓慢。在储藏前 60 d, 1-MCP 处理组和对照的可溶性固形物变化几乎没有太大差异; 此后, 所有果实的可溶性固形物均呈上升趋势但是变化不大, 其中 0.3 μL·L⁻¹ 1-MCP 处理与对照变化幅度基本一致, 0.6 和 1.2 μL·L⁻¹ 的可溶性固形物略低于对照但是差异不显著, 而 0.9 μL·L⁻¹ 1-MCP 处理则明显低于对照($P<0.05$)。上述数据表明: 储藏前期 1-MCP 处理组和对照对猕猴桃果实可溶性固形物无明显影响; 而在储藏的整个过程中, 除 0.9 μL·L⁻¹ 1-MCP 的可溶性固形物变化显著外, 其他处理和对照差异不显著。目前, 有关 1-MCP 对猕猴桃果实可溶性固形物的影响的报道说法不一。陈金印等^[19]在‘金魁’猕猴桃中研究表明: 1-MCP 可以极显著抑制猕猴桃果实可溶性固形物升高; 赵迎丽等^[20]

在‘秦美’猕猴桃中研究表明: 1-MCP 对储藏过程中猕猴桃果实可溶性固形物没有影响。

2.2 1-MCP 处理对猕猴桃果实呼吸速率和乙烯释放速率的影响

猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实。由图 2A 可知: 在冷藏条件下, 猕猴桃果实出现了呼吸高峰, 之后呼吸强度迅速下降。对照的猕猴桃果实在储藏第 30 天出现呼吸高峰, 峰值为 $(\text{CO}_2) 80.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 而 1-MCP 处理组均于储藏第 60 天出现呼吸高峰, 1-MCP 明显降低了峰值, 且处理为 $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的呼吸速率显著低于对照和其他处理 ($P < 0.05$)。上述数据表明, 1-MCP 处理能显著地抑制‘徐香’猕猴桃果实的呼吸强度, 并推迟了呼吸高峰出现, 这与陈金印等^[10]对‘金魁’猕猴桃果实的研究结论基本一致, 其中以 $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理对‘徐香’猕猴桃呼吸强度的抑制效果较好。

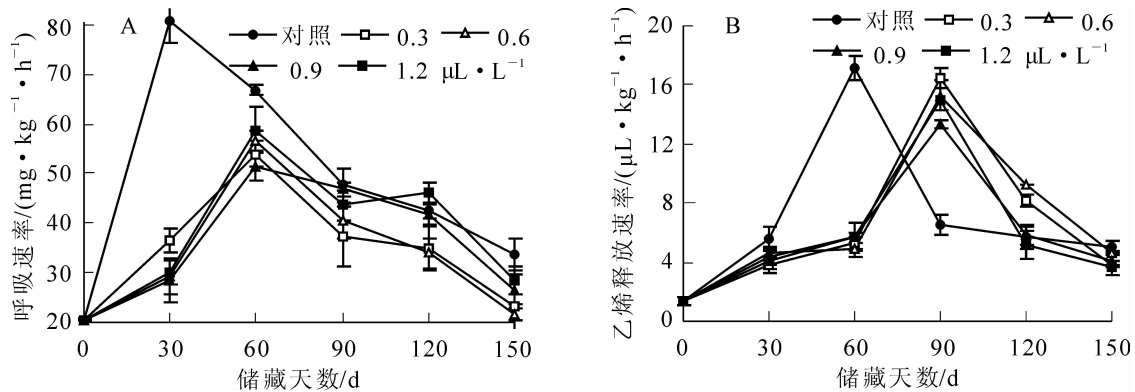


图2 1-MCP 处理对果实呼吸强度和乙烯释放速率的影响

Figure 2 Effect of 1-MCP treatment on respiration rate and ethylene production rate in kiwifruit

如图 2B 所示: 在整个储藏期间, 猕猴桃果实乙烯释放速率呈先上升后下降的趋势, 1-MCP 处理和对的乙烯释放速率变化趋势基本一致, 但乙烯释放高峰时间不一致。对照于储藏第 60 天出现乙烯释放高峰, 峰值为 $17.1 \mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$; 1-MCP 处理组于储藏第 90 天出现乙烯释放高峰, 此时 1-MCP 处理体积分数为 $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乙烯释放速率明显低于其他处理, 乙烯释放高峰处理间差异显著 ($P < 0.05$)。上述结果表明: 1-MCP 处理能够显著抑制猕猴桃果实的乙烯释放速率, 并推迟乙烯释放高峰的出现, 其中以 $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 对降低‘徐香’猕猴桃乙烯释放速率效果较好。

2.3 1-MCP 处理对猕猴桃果实总糖、可滴定酸和维生素 C(Vc)的影响

由图 3A 可知: 随着储藏时间的延长, 猕猴桃果实的总糖质量分数呈上升趋势。整个储藏过程 1-MCP 处理的猕猴桃果实总糖均低于对照, 说明 1-MCP 能够延缓‘徐香’猕猴桃果实总糖上升。在储藏前期, 总糖上升趋势较大; 储藏到第 30 天时, 对照上升最快, 1-MCP 处理明显降低了总糖, 且处理为 $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的含糖量显著低于对照和其他处理 ($P < 0.05$)。由此可见: $0.9 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理对延缓‘徐香’猕猴桃果实总糖上升效果较好。储藏后期猕猴桃果实总糖有下降趋势, 原因可能是储藏后期, 果实衰老需要消耗自身的糖来维持代谢。

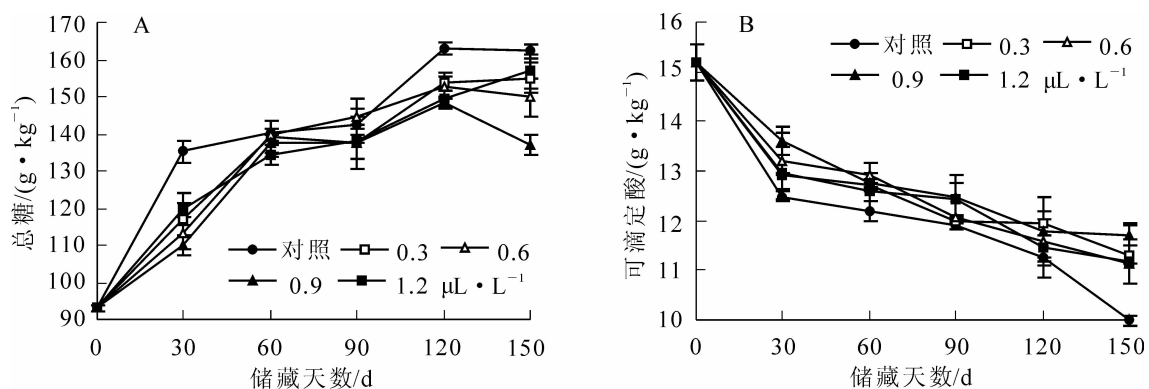


图3 1-MCP 处理对果实总糖和可滴定酸的影响

Figure 3 Effect of 1-MCP treatment on total sugar and titratable acidity in kiwifruit

整个储藏期间,各个处理的猕猴桃果实可滴定酸质量分数均呈下降趋势(图3B)。储藏开始至第30天,可滴定酸下降明显,对照的可滴定酸下降了17.9%,1-MCP处理明显延缓了可滴定酸的降低,且处理为 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的可滴定酸显著高于对照和其他处理($P<0.05$)。储藏结束时,1-MCP处理组的可滴定酸也明显高于对照。由此可见:在整个储藏过程中,1-MCP处理组和对照的可滴定酸质量分数之间差别显著,且以为 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP处理可较好的保持果实可滴定酸。整个过程中可滴定酸呈下降趋势,说明果实的衰老软化仍以消耗酸为底物。

猕猴桃的维生素C极高,是衡量其营养价值和商品价值的重要指标。由图4可知:整个储藏期间,猕猴桃果实维生素C质量分数均呈下降趋势,在储藏第30天时速率变化最快,对照维生素C下降了37.4%,1-MCP处理的维生素C明显高于对照,但各处理间维生素C变化不显著。随着储藏时间的延长,果实的维生素C在继续下降,储藏到第90天时,1-MCP处理果实的维生素C明显高于对照,且 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的维生素C显著高于对照和其他处理($P<0.05$)。结果表明1-MCP显著抑制了储藏期间维生素C的下降,尤以 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP处理对抑制“徐香”猕猴桃维生素C的降低效果较好。

2.4 1-MCP处理对猕猴桃果实超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性的影响

超氧化物歧化酶和过氧化物酶与活性氧的清除及果蔬衰老密切相关,因此是植物体内重要的活性氧清除酶。如图5A所示:储藏过程中猕猴桃果实中超氧化物歧化酶活性呈先上升后下降趋势,至第90天活性最强,第90天时对照(鲜质量)的超氧化物歧化酶活性为 $28.9 \times 16.67 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$,而1-MCP处理果实的超氧化物歧化酶活性明显高于对照,其中 $0.6 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP处理超氧化物歧化酶活性最高为 $39.0 \times 16.67 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于对照和其他处理($P<0.05$)。后期随着衰老的加剧活性下降,储藏第150天,1-MCP处理果实的超氧化物歧化酶活性分别是对照的1.39, 2.13, 1.59和1.79倍。在整个过程中,1-MCP处理果实的超氧化物歧化酶活性均明显高于对照。结果表明:1-MCP处理可提高猕猴桃果实的超氧化物歧化酶活性,并以 $0.6 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP处理对提高“徐香”猕猴桃果实超氧化物歧化酶活性效果较明显。

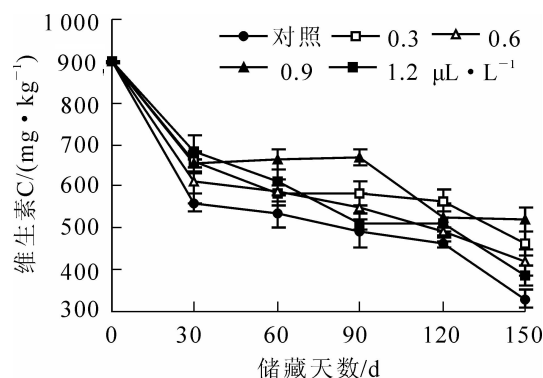


图4 1-MCP处理对果实维生素C的影响

Figure 4 Effect of 1-MCP treatment on Vc content in kiwifruit

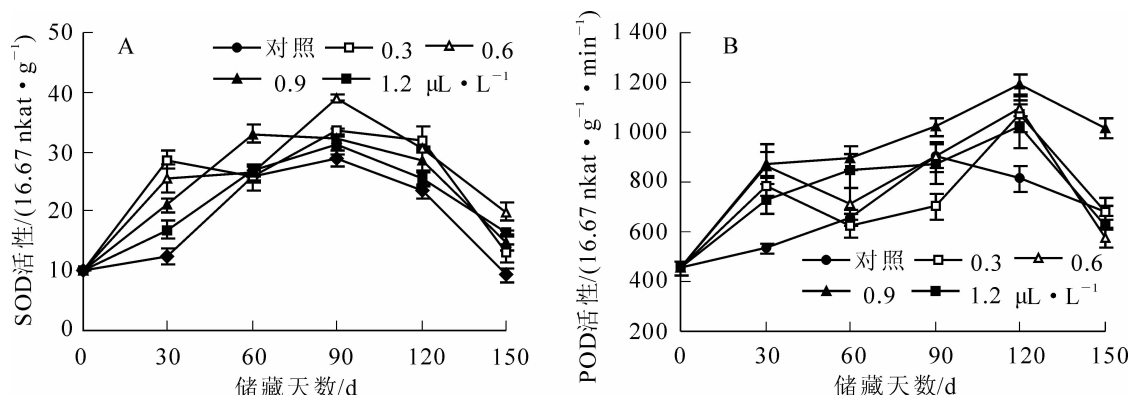


图5 1-MCP处理对果实超氧化物歧化酶活性和过氧化物酶活性的影响

Figure 5 Effect of 1-MCP treatment on SOD activity and POD activity in kiwifruit

如图5B所示:过氧化物酶活性的变化也有明显的高峰,储藏初期,活性较低,随着储藏时间的延长,活性增加后又降低,但是对照和处理组的高峰时间不一致。在本实验所测时间范围内,对照于第90天出现高峰,此时过氧化物酶活性值为 $902.8 \times 16.67 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,处理组高峰时间比对照推迟30 d,且1-MCP处理果实的过氧化物酶活性明显高于对照,其中 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP处理过氧化物酶活性最高为 $1190.3 \times 16.67 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,显著高于对照和其他处理($P<0.05$)。上述结果说明:1-MCP处理

能增加猕猴桃果实过氧化物酶活性, 且推迟过氧化物酶活性高峰的到来。在整个储藏过程中, $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理对提高‘徐香’猕猴桃果实过氧化物酶活性效果较好。

在‘徐香’猕猴桃的软化过程中, 超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性高峰出现时间有明显的阶段性。说明在清除代谢过程中产生的氧的问题上, 两者是通过相互协调来配合完成的。

2.5 1-MCP 处理对猕猴桃果实膜透性和丙二醛的影响

果肉组织膜透性可以用相对电导率来表示。由图 6A 可知: 猕猴桃果实相对电导率在整个储藏过程中均呈上升趋势。在储藏第 70 天, 对照相对渗透率已经上升为刚采收的 3.97 倍, 处理组中 $0.6 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的果实相对电导率最低, 第 70 天仅为刚采收的 2.96 倍。随着储藏时间的延长, 储藏到第 110 天, 1-MCP 处理果实的相对电导率分别比对照低 7.9 %, 25.6 %, 19.8 % 和 12.1 %, $0.6 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的果实相对电导率显著低于对照和其他处理, 且个处理间差异显著 ($P<0.05$)。上述数据表明: 1-MCP 处理能降低猕猴桃果实相对电导率, 延缓相对电导率的升高, 从而延缓果实细胞膜结构性的破坏。结果得出 $0.6 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理对延缓‘徐香’猕猴桃果实相对电导率的升高效果较好。

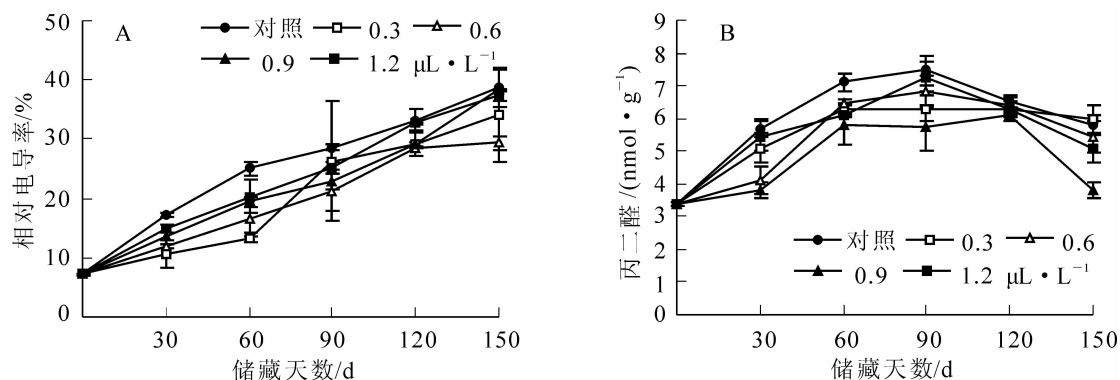


图 6 1-MCP 处理对果实相对电导率和丙二醛的影响

Figure 6 Effect of 1-MCP treatment on relative conductivity and MDA content in kiwifruit

丙二醛是具有细胞毒性的脂质过氧化物, 反应机体内脂质过氧化的程度, 也间接反映出细胞损伤的程度。由图 6B 可知: 整个储藏期间, 猕猴桃果实的丙二醛均呈先上升后下降的趋势, 在储藏到第 90 天时, 1-MCP 处理显著降低猕猴桃果实丙二醛, 1-MCP 处理果实丙二醛分别比对照低 16.0 %, 13.8 %, 22.8 % 和 18.1 %, 且各处理间差异显著 ($P<0.05$)。与‘金魁’猕猴桃^[21]研究的 1-MCP 处理可降低猕猴桃果实丙二醛, 延缓丙二醛的升高结论基本一致。结果得出 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理对延缓‘徐香’猕猴桃果实丙二醛的升高效果较好。

3 结论

猕猴桃采后迅速软化是其显著变化之一。本实验中, ‘徐香’猕猴桃的软化可分为前期的快速下降和后期的缓慢下降 2 个阶段。1-MCP 处理的作用主要体现在‘徐香’猕猴桃前期软化阶段; 同时, 1-MCP 处理对延缓‘徐香’猕猴桃可溶性固形物的上升也有较好的作用, 不过目前 1-MCP 处理对猕猴桃可溶性固形物的影响报道不一致, 可能与猕猴桃品种存在差异的原因有关。

猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实。1-MCP 处理显著降低‘徐香’猕猴桃果实乙烯释放速率和呼吸强度, 并推迟了两者高峰期的到来, 减缓了其衰老进程。同时, 总糖、可滴定酸和维生素 C 衡量猕猴桃果实品质的重要指标。1-MCP 处理有效地延缓了‘徐香’猕猴桃果实总糖的上升和维生素 C 的下降, 并保持了较高的可滴定酸, 尤其在储藏前期对总糖, 可滴定酸和维生素 C 影响较大。

果实采后成熟和衰老往往伴随着一系列酶活性和相应指标的变化, 超氧化物歧化酶和过氧化物酶的活性常被用来反应细胞衰老的程度, 而果肉组织膜透性和丙二醛常被用来反应细胞损伤的程度。本实验中, 超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性呈先上升后下降的趋势。1-MCP 处理提高了超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性, 同时超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性高峰的出现时间不同, 超氧化物歧化酶先出峰过氧化物酶后出峰, 说明两者相互协调来清除代谢过程中产生的氧。随着储藏时间的延长, 果肉组织膜透

性不断增大,说明猕猴桃果实衰老和细胞膜透性上升有关,细胞内膜结构破坏,则透性增大,1-MCP处理较好的保持了‘徐香’猕猴桃果实细胞膜的完整性;而丙二醛则呈先上升后下降的趋势,1-MCP降低了猕猴桃果实丙二醛质量摩尔浓度,延缓了丙二醛的上升,从而延缓了猕猴桃的衰老进程。

综上所述,1-MCP可以延缓储藏期间‘徐香’猕猴桃品质的下降,并抑制乙烯释放速率和呼吸强度,其中以 $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 对‘徐香’猕猴桃储藏保鲜较好,但关于该过程的机制还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] MCDONALD B. Controlled atmosphere storage of kiwifruit(I) Effect on fruit firmness and storage life [J]. *Sci Hort*, 1982, **17** (2): 113 – 123.
- [2] SISLER E C, SEREK M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development [J]. *Physiol Plant*, 1997, **100** (3): 577 – 582.
- [3] MIR N A, CURELL E, KHAN N, *et al.* Harvest maturity, storage temperature and 1-MCP application frequency alter firmness retention and chlorophyll fluorescence of red chief delicious apples [J]. *Amer Soc Hort Sci*, 2001, **126** (5): 618 – 624.
- [4] 王文辉, 孙希生, 李志强, 等. 1-MCP 对梨采后某些生理生化指标的影响[J]. 植物生理学通讯, 2004, **40** (2): 175 – 177.
WANG Wenhui, SUN Xisheng, LI Zhiqiang, *et al.* Effects of 1-MCP on some postharvest physiological and biochemical indexes of pears [J]. *Plant Physiol Commun*, 2004, **40** (2): 175 – 177.
- [5] 李志强, 汪良驹, 巩文红, 等. 1-MCP 对草莓果实采后生理及品质的影响[J]. 果树学报, 2006, **23** (1): 125 – 128.
LI Zhiqiang, WANG Liangju, GONG Wenhong, *et al.* Effect of 1-MCP on senescence and quality of strawberry fruit [J]. *J Fruit Sci*, 2006, **23** (1): 125 – 128.
- [6] 孙希生, 王文辉, 李志强, 等. 1-MCP 对番茄采后生理效应的影响[J]. 中国农业科学, 2003, **12** (6): 663 – 669.
SUN Xisheng, WANG Wenhui, LI Zhiqiang, *et al.* Effects of 1-MCP on post-harvest physiology of tomato [J]. *Sci Agric Sin*, 2003, **12** (6): 663 – 669.
- [7] 郭燕, 马书尚, 朱玉涵, 等. 1-MCP 对不同成熟度粉红女士苹果储藏生理和品质的影响[J]. 果树学报, 2007, **24** (4): 415 – 420.
GUO Yan, MA Shushang, ZHU Yuhang, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on postharvest physiology and storage quality of pink lady apple with different maturity [J]. *J Fruit Sci*, 2007, **24** (4): 415 – 420.
- [8] 侯大光, 马书尚, 胡芳. ‘秦美’和‘海沃德’猕猴桃采后对 1-MCP 处理的反应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, **34** (4): 43 – 47.
HOU Daguang, MA Shushang, HU Fang. Responses of postharvest ‘Qinmei’ and ‘Hayward’ to 1-MCP [J]. *J Northwest A & F Univ Nat Sci Ed*, 2006, **34** (4): 43 – 47.
- [9] 唐燕, 杜光源, 马书尚, 等. 1-MCP 对室温储藏下不同成熟度猕猴桃的生理效应[J]. 西北植物学报, 2010, **30** (3): 564 – 568.
TANG Yan, DU Guangyuan, MA Shushang, *et al.* Effect of 1-MCP on physiological biochemistry indexes of kiwifruit with different maturity [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2010, **30** (3): 564 – 568.
- [10] 陈金印, 陈明, 甘霖. 1-MCP 处理对冷藏‘金魁’猕猴桃果实采后生理和品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2005, **27** (1): 1 – 5.
CHEN Jinyin, CHEN Ming, GAN Lin. Effects of 1-MCP treatment on postharvest physiology and quality of ‘Jinkui’ kiwifruit in cold storage [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2005, **27** (1): 1 – 5.
- [11] 叶昕, 李昆同. ‘红阳’猕猴桃采收成熟度及 1-MCP 对果实保鲜的效果[J]. 四川农业大学学报, 2011, **29** (3): 373 – 377.
YE Xin, LI Kuntong. Harvest maturity of ‘Hongyang’ kiwifruit and preservation effect of 1-MCP on its fruits [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2011, **29** (3): 373 – 377.
- [12] 夏源苑, 饶景萍, 辛付存, 等. 1-MCP 处理对“红阳”和“徐香”猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2010 (24): 180 – 183.
XIA Yuanyuan, RAO Jingping, XIN Fucun, *et al.* Effects of 1-MCP on storage of ‘Hongyang’ and ‘Xuxiang’

- kiwifruit [J]. *Northern Hort*, 2010 (24): 180 – 183.
- [13] 辛付存, 饶景萍, 赵明慧, 等. 1-MCP 处理对不同采收成熟度‘徐香’猕猴桃保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2011 (7): 141 – 144.
- XIN Fucun, RAO Jingping, ZHAO Minghui, *et al.* Effects of 1-MCP treatment on preservation of ‘Xuxiang’ kiwifruit with different maturity [J]. *Northern Hort*, 2011 (7): 141 – 144.
- [14] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [15] 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: 46 – 49.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验研究与技术[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2000.
- [17] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002.
- [18] 付永琦, 陈明, 刘康, 等. 1-MCP 二次处理对猕猴桃果实采后生理生化及储藏效果的影响[J]. 果树学报, 2007, **24** (1): 43 – 48.
- FU Yongqi, CHEN Ming, LIU Kang, *et al.* Effects of the second treatment with 1-MCP on post-harvest physiological and bio-chemical characteristics of kiwifruit [J]. *J Fruit Sci*, 2007, **24** (1): 43 – 48.
- [19] 陈金印, 付永琦, 刘康. 1-MCP 处理对美味猕猴桃果实采后生理生化变化的影响[J]. 江西农业大学学报, 2007, **29** (6): 940 – 947.
- CHEN Jinyin, FU Yongqi, LIU Kang. Effects of 1-MCP treatment on post-harvest physiology and bio-chemistry of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2007, **29** (6): 940 – 947.
- [20] 赵迎丽, 李建华, 石建新, 等. 不同温度下 1-MCP 处理对猕猴桃果实储藏的影响[J]. 山西农业大学学报, 2010, **26** (6): 153 – 156.
- ZHAO Yingli, LI Jianhua, SHI Jianxin, *et al.* Effect of 1-MCP treatment on post-harvest life of kiwifruit at different temperature [J]. *J Shanxi Agric Univ*, 2010, **26** (6): 153 – 156.
- [21] 余文琴, 赵晓玲, 林河通. 安喜布处理对冷藏猕猴桃果实衰老生理的影响[J]. 农业工程学报, 2009, **25** (9): 333 – 338.
- SHE Wenqin, ZHAO Xiaoling, LIN Hetong. Effects of AnsiP-S (1-MCP) treatment on physiology of postharvest senescence in kiwifruit during cold storage [J]. *Trans CSAE*, 2009, **25** (9): 333 – 338.