

# 三种乙烯效应抑制剂对软枣猕猴桃贮藏品质的影响

王月华<sup>1</sup>, 戴慧媛<sup>1</sup>, 冯叙桥<sup>1,2</sup>, 徐方旭<sup>1</sup>, 李柯擎<sup>1</sup>, 王诗琦<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

(2. 渤海大学食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁锦州 121013)

**摘要:** 本实验研究了三种环丙烯类乙烯效应抑制剂对青熟期软枣猕猴桃果实采后生理品质的影响。实验以相应浓度的 1-MCP (1-methylcyclopropene, 1-甲基环丙烯) 处理为参照, 采用 0.4、0.8、1.2  $\mu\text{L/L}$  的 1-PentCP (1-pentylcyclopropene, 1-戊基环丙烯) 和 1-OCP (1-octylcyclopropene, 1-辛基环丙烯) 分别在室温下熏蒸处理青熟期软枣猕猴桃果实 20 h 后, 用 0.02 mm 厚的 PE 果蔬专用保鲜袋将果实包装, 常温条件[(20±1) °C, RH 85~90%]贮藏, 贮藏期间每 5 天测定一次果实的呼吸强度、硬度、好果率、Vc、可滴定酸含量、可溶性固形物、MDA 含量、SOD 及 POD 活性。结果表明, 0.4、0.8、1.2  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 均能有效推迟软枣猕猴桃果实呼吸高峰和 SOD、POD 活性高峰的出现, 抑制硬度、好果率、可滴定酸含量的下降以及 MDA 的积累和可溶性固形物含量的上升, 以 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 作用效果较佳, 其次是 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP, 再次为 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP。

**关键词:** 软枣猕猴桃; 1-甲基环丙烯; 1-戊基环丙烯; 1-辛基环丙烯; 贮藏; 品质

文章编号: 1673-9078(2014)5-136-144

## Effects of Three Ethylene-action Inhibitors on Storage Quality of *Actinidia arguta*

WANG Yue-hua<sup>1</sup>, DAI Hui-yuan<sup>1</sup>, FENG Xu-qiao<sup>1,2</sup>, XU Fang-xu<sup>1</sup>, LI Ke-qing<sup>1</sup>, WANG Shi-qi<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China) (2. Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China)

**Abstract:** Effect of treatment with 1-pentylcyclopropene (1-PentCP) and 1-octylcyclopropene (1-OCP), as ethylene action inhibitors, on post-harvest physiology and storage quality of *Actinidia arguta* was investigated, and the same concentrations of 1-methylcyclopropene (1-MCP) was as control. Fruits were respectively fumigated with 0.4, 0.8 or 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP and 1-OCP at room temperature for 20 h. After fumigation, the treated fruits were packed with 0.02 mm thickness PE fruit bags, and stored at room temperature [(20±1) °C, RH 85~90%] for ripening evaluation. Respiration intensity, firmness, Vc content, titratable acid content, soluble solids, MDA content, activity of SOD and POD were determined every five days during fruit storage. The results showed that all treatments significantly delayed the appearance of respiratory rate and SOD, POD activity peaks, suppressed fruit softening, decreased titratable acid content and good fruit rate, increased soluble solids content, and inhibited MDA accumulation during storage. Moreover, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP showed the best effect, followed by 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP and 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP.

**Key words:** *Actinidia arguta*; 1-methylcyclopropene; 1-pentylcyclopropene; 1-octylcyclopropene; storage; quality

软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta* Sieb. et Zucc.) 又名软枣子, 为猕猴桃科猕猴桃属多年生木质藤本植物。与普通猕猴桃相比, 软枣猕猴桃果实中氨基酸、Vp、

收稿日期: 2013-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30972064); 辽宁省科技厅重点项目 (2008205001); 沈阳农业大学高层次人才引进基金项目 (SYAU20090107); 渤海大学人才引进基金项目 (BHU20120301)

作者简介: 王月华 (1989-), 女, 博士研究生, 研究方向为农产品贮藏及加工工程

通讯作者: 冯叙桥 (1961-), 男, 博士, 教授, 研究方向为农产品贮藏及加工工程

类胡萝卜素及铁、钾、钠、镁等营养成分含量较高, 并且果肉味甘、性寒, 具有止泻、解烦热、利尿等功效。可见, 软枣猕猴桃具有较高的营养价值和药用价值。然而, 软枣猕猴桃属于典型的呼吸跃变型果实, 采后很容易变软腐烂, 这是软枣猕猴桃一直以来不能普遍出现在水果市场上的主要原因之一。乙烯是一种催熟剂, 可促进果实成熟。软枣猕猴桃在采后较短时间内会出现乙烯释放高峰, 从而加快果实采后成熟衰老进程, 致使果实不能长时间保留营养物质和香气成分, 贮藏品质下降速度较快, 故如何推迟软枣猕猴桃采后乙烯释放高峰的出现成为软枣猕猴桃贮藏保鲜的

研究重点之一。

1-MCP (1-methylcyclopropene, 1-甲基环丙烯) 是一种非常有效的乙烯产生和乙烯作用的抑制剂, 可与乙烯竞争性地、不可逆地结合乙烯受体, 进而阻止乙烯信号传导, 有效抑制呼吸跃变型果实的后熟衰老进程。目前, 1-MCP应用于番茄<sup>[1]</sup>、苹果<sup>[2]</sup>和梨<sup>[3]</sup>等果实贮藏保鲜方面的研究较为普遍。近年研究发现, 1-MCP的结构类似物同1-MCP具有类似的作用。Apelbaum等<sup>[4]</sup>研究表明, 1-MCP的8种结构类似物同样可与乙烯受体结合, 抑制果实采后乙烯的产生及作用, 有效推迟呼吸高峰和乙烯释放高峰的出现; Feng等<sup>[5]</sup>研究了1-ECP (1-ethylcyclopropene, 1-乙基环丙烯) 和1-PCP (1-propylcyclopropene, 1-丙基环丙烯) 处理对番茄和鳄梨采后贮藏期间乙烯释放的影响, 发现这两种1-MCP结构类似物均能抑制乙烯的生物合成。此外, Michael等<sup>[6]</sup>研究发现, 1-MCP的结构相似物1-PentCP (1-pentylcyclopropene, 1-戊基环丙烯) 和1-OCP (1-octylcyclopropene, 1-辛基环丙烯) 与1-MCP的作用相似, 并且环丙烯类乙烯抑制剂对果蔬贮藏期间理化反应的影响可能与抑制剂侧链的长短相关。孙炳新等(2012)研究表明, 1-PentCP和1-OCP处理均可抑制苹果果实的生理代谢, 且1-MCP与其结构类似物处理对果实的影响无显著差异。然而, 1-PentCP和1-OCP作为一种新型乙烯效应抑制剂在软枣猕猴桃的贮藏保鲜方面的研究还未见报道, 1-MCP、1-PentCP和1-OCP对软枣猕猴桃贮藏保鲜效果的影响值得进一步研究。

本实验以“桓优1号”软枣猕猴桃为试材, 以1-MCP处理为参照, 研究不同浓度的1-PentCP和1-OCP处理对软枣猕猴桃贮藏期间品质变化的影响, 为寻求更有效的乙烯效应抑制剂提供理论参考, 同时为软枣猕猴桃的贮藏保鲜方法提供更多选择。

## 1 材料与方法

### 1.1 试剂与设备

质量分数为3.4%的1-MCP粉剂, 由中国农科院果树研究所提供; 1-PentCP (1-pentylcyclopropene, 1-戊基环丙烯) 和1-OCP (1-octylcyclopropene, 1-辛基环丙烯), 主要参照Dulayymi (1996, 1997) 的方法, 在沈阳农业大学食品学院实验室合成, 样品被分装成0.5 mL的小包装, 保存于-80 °C超低温冰箱中备用, 使用前用乙醚稀释。

RE-52AA型旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; AP-01P型真空泵, 天津奥特塞恩斯仪器有限公司; GY-1型硬度计, 东莞市塘厦精工仪器厂; CP-3800型

气相色谱, 瓦里安公司; WYT-1型手持折光仪, 上海精密仪器仪表公司; CR-21G型离心机, 日立工机株式会社; SHP-2500型低温生化培养箱, 上海精宏实验设备有限公司; UV-2000型紫外分光光度计, 上海龙尼克仪器有限公司; FA2004型电子天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; HH-4型数显恒温水浴锅, 国华电器有限公司。

### 1.2 材料与处理

不同品系软枣猕猴桃的贮藏性存在很大差异, 本试验所用软枣猕猴桃(桓优1号)采自本溪市桓仁满族自治县四道河子村。采收当天立即运回沈阳农业大学食品学院实验室进行分级处理, 挑选果重、大小、颜色均一致, 成熟度均为8成熟的无病虫害、机械损伤果实, 并剪留0.5 cm的果柄为实验材料, 待进一步处理。

将挑选出的果实随机分为10组, 每组60个果, 分别放入密封的塑料帐(50 cm×50 cm×50 cm)内, 并进行以下处理:

(1) 1-MCP处理: 分别量取一定量的1-MCP和蒸馏水, 置于3个塑料帐内, 将每个帐内的1-MCP溶于蒸馏水中, 同时迅速封闭塑料帐, 使1-MCP的释放体积分数分别为0.4、0.8、1.2 μL/L。

(2) 1-OCP处理: 分别量取一定体积1-OCP的乙醚溶液, 滴于事先置于塑料帐内的滤纸上, 同时迅速封闭塑料帐, 使1-OCP的释放体积分数分别为0.4、0.8、1.2 μL/L。

(3) 1-PentCP处理, 分别量取一定体积1-PentCP的乙醚溶液, 滴于事先置于塑料帐内的滤纸上, 同时迅速封闭塑料帐, 使1-PentCP的释放体积分数分别为0.4、0.8、1.2 μL/L。

(4) 对照: 果实不做任何处理, 密封于塑料帐内。各处理在(20±1) °C, RH 85~90%条件下密封20 h后, 装入0.02 mm厚的PE果蔬专用保鲜袋中, 每处理分装10袋, 每袋6个果实, 置于(20±1) °C下恒温贮藏, 每5 d测定相关理化指标。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 硬度的测定

采用便携式果实硬度计(FT-327, Fruit Test™ 意大利), 截面直径10 mm。在围绕果实的赤道部位, 间隔等距离的3个位点, 各削去一块薄皮测其硬度。单果测量3次, 取平均值。

#### 1.3.2 呼吸强度的测定

参照曹建康等<sup>[7]</sup>的方法, 采用CP-3800型气相色

谱仪(瓦里安公司)对软枣猕猴桃贮藏期间的呼吸速率进行测定。

### 1.3.3 好果率的测定

好果率(%) =  $n/N \times 100\%$

式中  $n$ -完好果数(个);  $N$ -检查果总数(个)。

### 1.3.4 Vc 含量测定

Vc 含量测定采用碘量法<sup>[8]</sup>进行。

### 1.3.5 可滴定酸含量测定

软枣猕猴桃贮藏期间可滴定酸含量的测定参照宁正祥<sup>[9]</sup>的方法进行。

### 1.3.6 可溶性固形物含量测定

可溶性固形物含量的测定,采用 WYT-1 型手持折光仪进行测定,单果重复 3 次。

### 1.3.7 MDA 含量测定

MDA (malondialdehyde, 丙二醛) 含量的测定,参照李合生<sup>[10]</sup>的硫代巴比妥酸法。

### 1.3.8 SOD 活性测定

SOD (superoxide dismutase, 超氧化物歧化酶) 活性测定,采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法<sup>[11]</sup>。

### 1.3.9 POD 活性测定

POD (peroxidase, 过氧化物酶) 活性测定,参照朱广廉<sup>[12]</sup>愈创木酚比色法。

## 1.4 数据处理与分析

实验数据采用 SPSS 16.0 软件进行数据统计与分析,  $p < 0.05$ , 采用 Origin 8.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP 及其结构相似物处理对果实硬度的影响及比较

表 1 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃硬度的影响

处理组	贮藏时间/d					
	0	5	10	15	20	25
CK	9.50±0.02 <sup>Aa</sup>	6.00±0.57 <sup>Bc</sup>	5.20±0.21 <sup>Bd</sup>	3.90±0.40 <sup>Be</sup>	2.20±0.20 <sup>Bd</sup>	-
1-MCP	0.4 μL/L	9.50±0.02 <sup>Aa</sup>	7.00±0.54 <sup>Ab</sup>	6.20±0.30 <sup>Aabc</sup>	4.50±0.50 <sup>ABd</sup>	2.30±0.30 <sup>Aab</sup>
	0.8 μL/L	9.47±0.15 <sup>Aa</sup>	7.40±0.45 <sup>Aab</sup>	6.30±0.21 <sup>Aabc</sup>	5.00±0.50 <sup>ABabcd</sup>	3.70±0.51 <sup>Aabc</sup>
	1.2 μL/L	9.50±0.15 <sup>Aa</sup>	7.60±0.60 <sup>Aa</sup>	6.70±0.30 <sup>Aa</sup>	5.40±0.45 <sup>Aa</sup>	4.00±0.19 <sup>Aa</sup>
1-PentCP	0.4 μL/L	9.52±0.03 <sup>Aa</sup>	7.10±0.17 <sup>Aab</sup>	6.10±0.45 <sup>ABbc</sup>	4.70±0.73 <sup>ABcd</sup>	3.20±0.19 <sup>Ac</sup>
	0.8 μL/L	9.50±0.03 <sup>Aa</sup>	7.20±0.25 <sup>Aab</sup>	6.30±0.70 <sup>Aabc</sup>	5.00±0.25 <sup>ABabcd</sup>	3.50±0.33 <sup>Aabc</sup>
	1.2 μL/L	9.50±0.11 <sup>Aa</sup>	7.60±0.60 <sup>Aa</sup>	6.70±0.30 <sup>Aa</sup>	5.20±0.20 <sup>Aabc</sup>	3.70±0.35 <sup>Aabc</sup>
1-OCP	0.4 μL/L	9.46±0.03 <sup>Aa</sup>	7.20±0.31 <sup>Aab</sup>	5.90±0.67 <sup>ABc</sup>	4.80±0.45 <sup>ABbcd</sup>	3.50±0.50 <sup>Aabc</sup>
	0.8 μL/L	9.50±0.02 <sup>Aa</sup>	7.60±0.31 <sup>Aa</sup>	6.50±0.45 <sup>Aab</sup>	5.30±0.20 <sup>Aab</sup>	3.90±0.24 <sup>Aab</sup>
	1.2 μL/L	9.50±0.02 <sup>Aa</sup>	7.50±0.40 <sup>Aab</sup>	6.20±0.34 <sup>Aabc</sup>	5.00±0.50 <sup>ABabcd</sup>	3.50±0.24 <sup>Aabc</sup>

注: 同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平 ( $p=0.05$ ), 不同大写字母表示差异达到极显著水平 ( $p=0.01$ )。

由表 1 可知, 在贮藏过程中, 软枣猕猴桃果实的硬度呈下降趋势。在贮藏前 25 d, 对照组的果实硬度下降得较快, 其次是 0.4 μL/L 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理组的果实, 再次为 1.2 μL/L 1-OCP, 0.8 μL/L 1-PentCP 和 1-MCP, 而 1.2 μL/L 1-MCP, 1.2 μL/L 1-PentCP 和 0.8 μL/L 1-OCP 处理后的果实硬度均高于其他处理, 以 1.2 μL/L 1-MCP 处理组果实硬度下降最慢, 0.8 μL/L 1-OCP 稍逊色, 即与对照处理相比, 不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理均能不同程度地抑制果实硬度的下降, 1.2 μL/L 1-MCP 抑制效果最好, 其次为 0.8 μL/L 1-OCP, 再次是 1.2 μL/L 1-PentCP。此外, 未处理组果实在贮藏第 25 d 用硬度计已经测不出其硬度值, 而各处理组果实在贮藏第 30 d 无硬度。

### 2.2 1-MCP 及其结构相似物处理对果实呼吸速率的影响及比较

软枣猕猴桃是典型的呼吸跃变型果实, 采后会呈现明显的呼吸跃变高峰<sup>[13]</sup>。由图 1 可知, 在贮藏初期, 对照组果实呼吸较旺盛, 在贮藏第 10 d 达到呼吸高峰, 随后呼吸强度逐渐降低。而 0.4 μL/L 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理果实的呼吸高峰均出现在第 15 d, 较对照组推迟 5 d; 0.8 μL/L 1-MCP 和 1-PentCP, 1.2 μL/L 1-OCP 处理果实的呼吸高峰较对照组推迟 10 d; 1.2 μL/L 1-MCP, 1.2 μL/L 1-PentCP 和 0.8 μL/L 1-OCP 处理组推迟 15 d, 并且呼吸高峰值均低于其他处理组。此外, 在贮藏末期, 对照组果实已呈现完熟状态, 其

呼吸速率最低,而其他处理组果实仍维持较高的呼吸速率,说明 1-MCP 及其结构相似物推迟了果实呼吸高峰的出现,从而较好地维持软枣猕猴桃在贮藏期间的品质,不同程度地延长软枣猕猴桃的贮藏期。

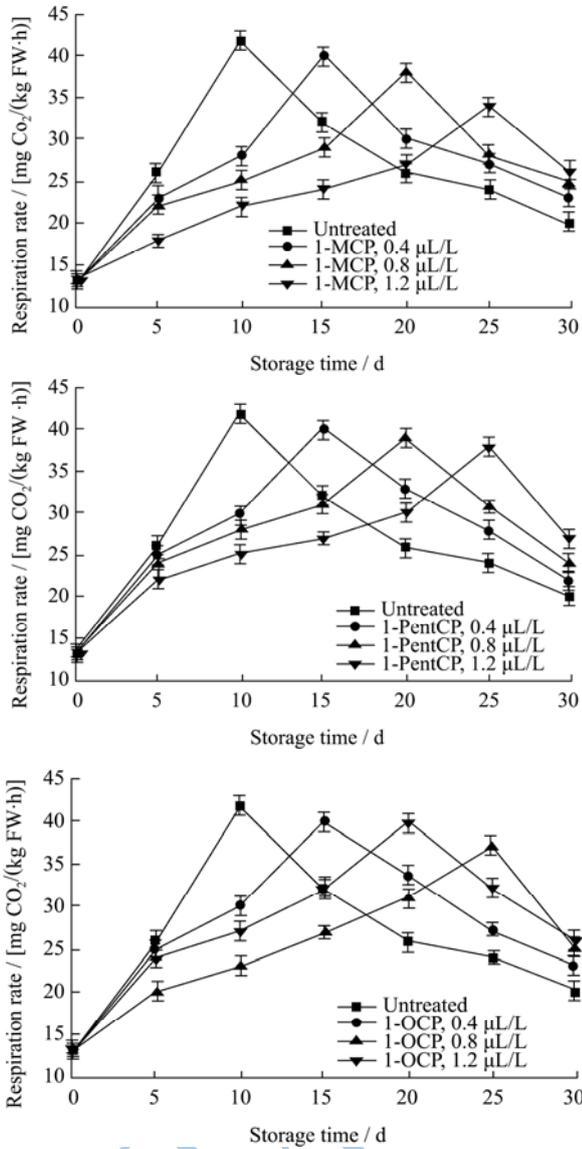


图 1 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃果实呼吸速率的影响

Fig.1 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on respiration rate of *Actinidia arguta*

### 2.3 1-MCP 及其结构相似物处理对果实好果率影响及比较

由图 2 可知,贮藏第 10 d 对照组与处理组的好果率开始不同程度下降,对照组下降幅度最大,1.2 μL/L 1-MCP 处理组下降最缓慢,且于贮藏第 15 d 开始明显下降,但仍显著高于对照组果实 ( $p < 0.05$ )。贮藏后期,各处理组果实好果率均高于对照组果实。贮藏到

30 d 时,对照组果实的好果率为 12%,而 1.2 μL/L 1-MCP, 1.2 μL/L 1-PentCP 和 0.8 μL/L 1-OCP 处理组果实的好果率较高,分别是对照组的 5.17、4.83、5 倍。说明 1.2 μL/L 1-MCP 和 0.8 μL/L 1-OCP 处理对软枣猕猴桃果实的贮藏效果较好,1.2 μL/L 1-PentCP 次之。

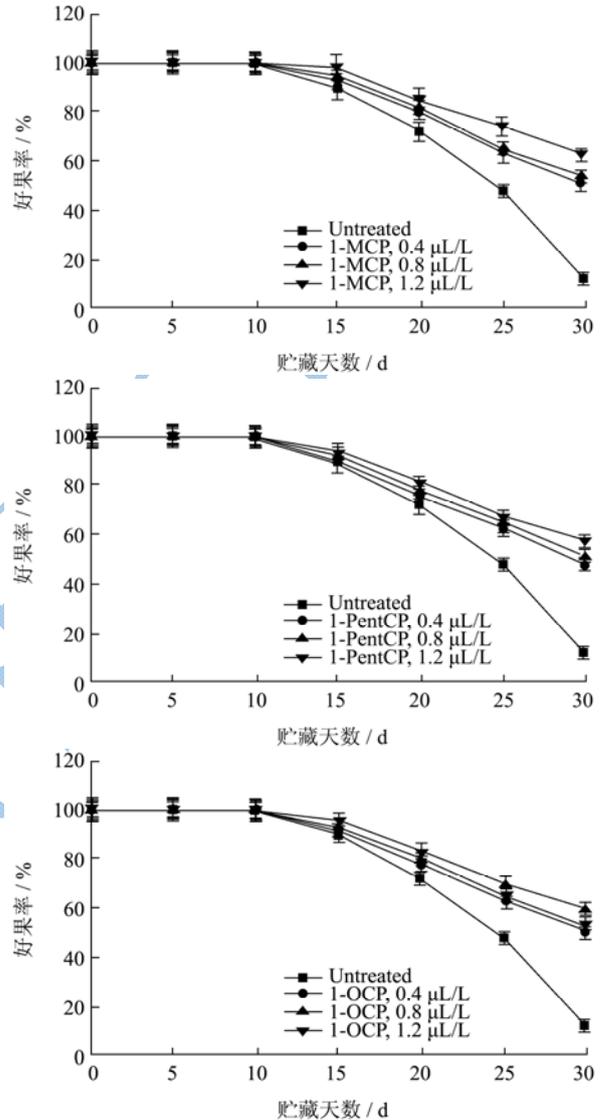


图 2 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃好果率的影响

Fig.2 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on good fruit rate of *Actinidia arguta*

### 2.4 1-MCP 及其结构相似物处理对果实 Vc 含量影响及比较

Vc 含量是衡量果实品质的重要指标之一,软枣猕猴桃果实中含有大量 Vc<sup>[14]</sup>。

由图 3 可知,在贮藏初期,随着软枣猕猴桃后熟程度的增加,各组 Vc 含量呈上升趋势,且无显著差异 ( $p < 0.05$ )。5 d 后,各组 Vc 含量以不同速度增加,

其中对照组 Vc 含量增加较快, 到第 15 d 出现高峰, 随后以较快速度下降; 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 及 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理后果实的 Vc 含量均在第 20 d 达到峰值, 随后缓慢下降; 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实的 Vc 含量在第 25 d 达到峰值。在贮藏后期, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP、1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组 Vc 含量下降相对缓慢, 其他处理 Vc 含量下降较快, 但仍高于对照组果实 Vc 含量。贮藏末期, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP、1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理果实 Vc 含量分别高于对照组果实 0.27、0.21、0.23 mg/g, 其中 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实 Vc 含量最高, 为 1.32 mg/g, 其次是 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组, 分别为 1.27 mg/g 和 1.28 mg/g。

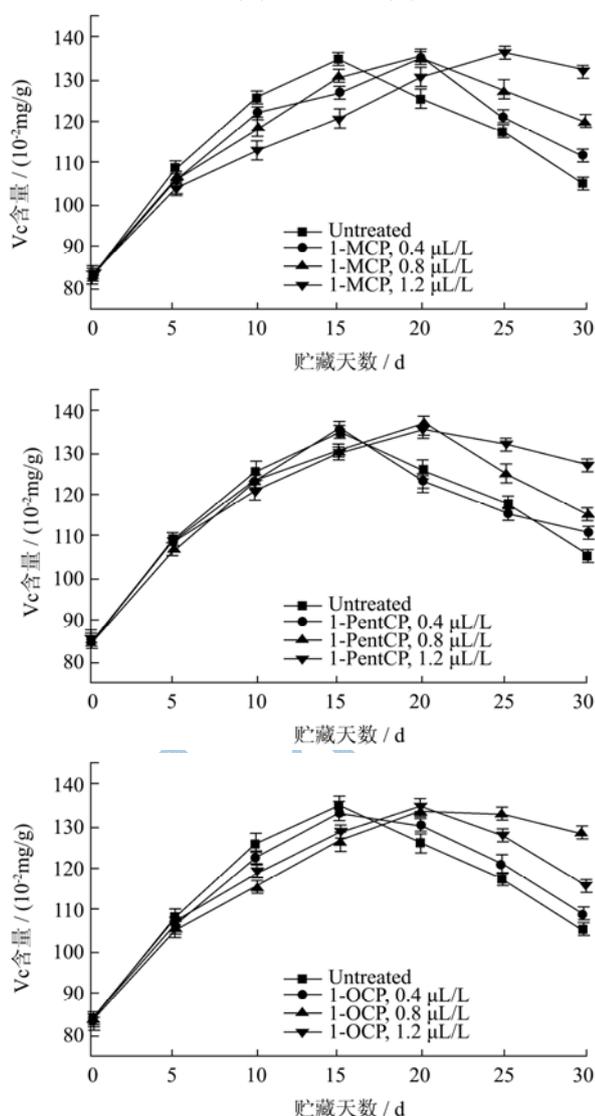


图 3 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃 Vc 含量的影响

Fig.3 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on Vc content of *Actinidia arguta*

此外, 由图可知, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实从成熟到贮藏

末期 Vc 含量下降缓慢, 在贮藏末期仍保持较高的 Vc 含量, 具有较好的处理效果。

## 2.5 1-MCP 及其结构相似物处理对果实可滴

### 定酸含量影响及比较

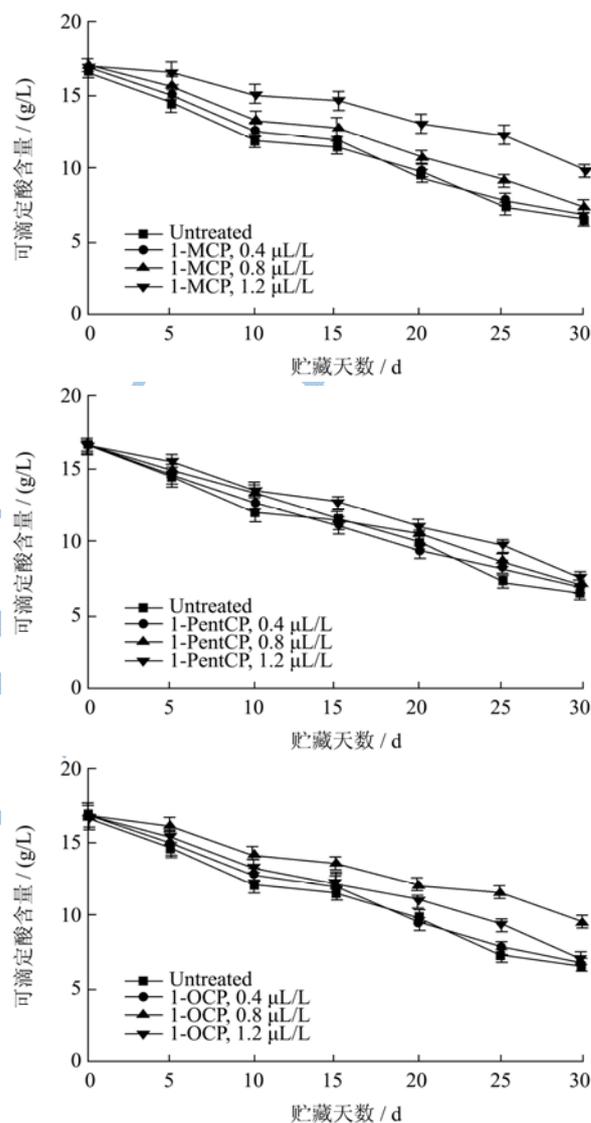


图 4 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃可滴定酸含量的影响

Fig.4 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on titratable acid content of *Actinidia arguta*

可滴定酸含量可较好地反应果实成熟过程中的风味品质。由图 4 可知, 在整个贮藏过程中, 各处理组果实的可滴定酸含量均呈下降趋势, 其中 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实可滴定酸含量下降较缓慢, 且一直保持较高的可滴定酸含量。贮藏前期, 各浓度 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理果实的可滴定酸含量均高于对照组果实; 致贮藏后期, 0.4  $\mu\text{L/L}$  1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理组果实的可滴

定酸含量在对照组果实的上下浮动, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实的可滴定酸含量最高, 为 10.00 g/L, 其次 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实可滴定酸含量为 9.50 g/L, 显著高于 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 处理组果实 (7.50 g/L)。

## 2.6 1-MCP 及其结构相似物处理对果实可溶性固形物含量影响及比较

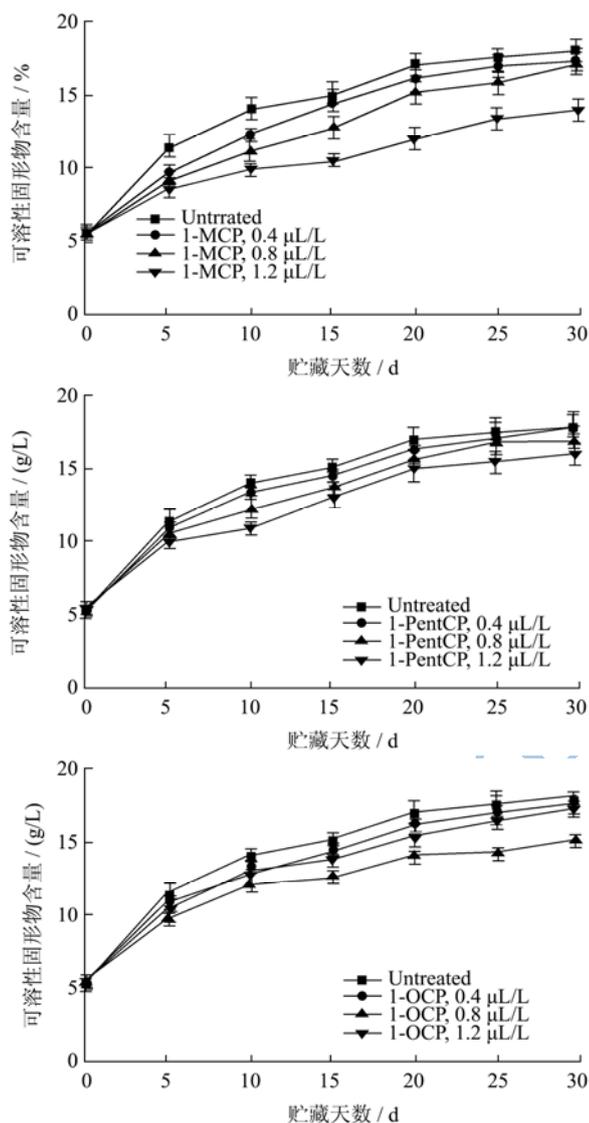


图5 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃可溶性固形物含量的影响

Fig.5 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on SSC content of *Actinidia arguta*

由图5可以看出, 随着贮藏期的延长, 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理组果实可溶性固形物含量均呈上升趋势, 但均较未处理组果实增加缓慢。贮藏前期, 未处理组果实可溶性固形物含量增加显著高于其他处理组果实, 至贮藏末期, 仍保持较高的可溶性固形物含量。在整个贮藏过程中, 各浓度的 1-MCP、1-PentCP

和 1-OCP 处理组果实可溶性固形物含量始终低于对照组果实, 其中 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理的果实可溶性固形物含量始终最低, 即各处理组果实的可溶性固形物的增加均得到了不同程度的抑制, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 的处理效果最好。

## 2.7 1-MCP 及其结构相似物处理对果实 MDA 含量影响及比较

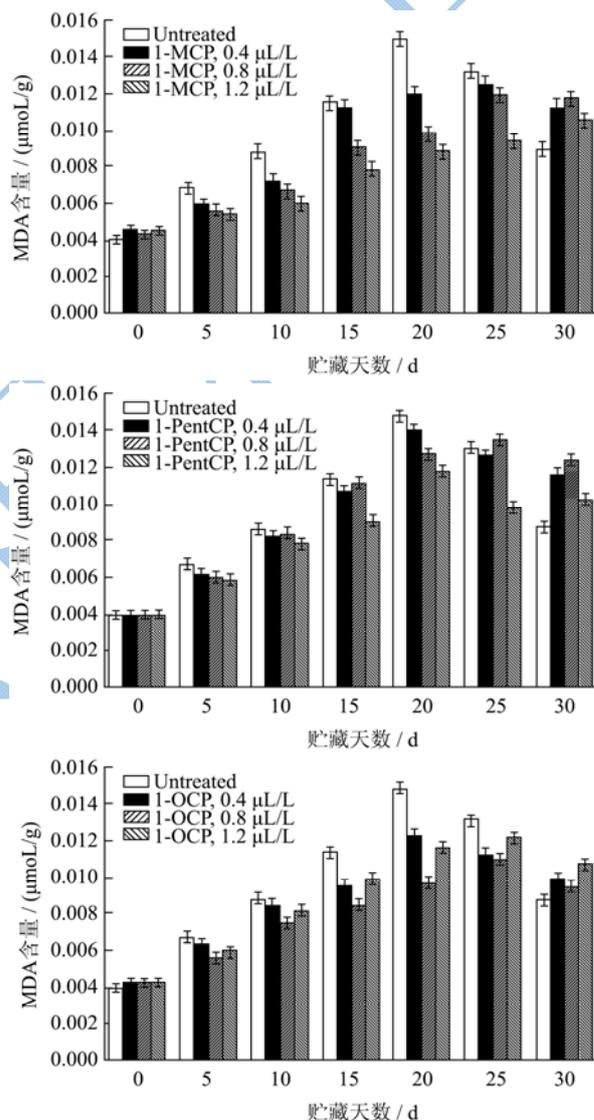


图6 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃 MDA 含量的影响

Fig.6 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on MDA content of *Actinidia arguta*

果蔬贮藏过程中产生的 MDA 会破坏细胞膜系统, 增加细胞膜通透性, 进而加速果实衰老进程。由图6可知, 1-MCP 及其结构相似物处理均不同程度地抑制果实贮藏过程中 MDA 的积累。在整个贮藏过程中, 对照组果实 MDA 含量呈先上升再下降趋势, 并

且在贮藏前 20 d, MDA 含量显著高于其他处理组 ( $p < 0.05$ ), 且上升幅度最大(275.00%); 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实 MDA 含量呈缓慢上升趋势, 且含量相对较低, 上升幅度为 133.30%。在 1-PentCP 处理组中, 最有效的处理浓度为 1.2  $\mu\text{L/L}$ , 与 0.4  $\mu\text{L/L}$  和 0.8  $\mu\text{L/L}$  处理果实相比, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 处理果实的 MDA 含量峰值较低, 为 0.012  $\mu\text{mol/g}$ , 上升幅度为 200.00%。在 1-OCP 处理组中, 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实 MDA 含量上升较缓慢, 上升幅度最小, 为 155.80%。说明 1-MCP 及其结构相似物处理可延缓软枣猕猴桃果实衰老变质。

## 2.8 1-MCP 及其结构相似物处理对果实 SOD

### 活性影响及比较

SOD 能通过歧化反应清除生物细胞中的超氧阴离子自由基, 从而降低自由基对有机体的毒害作用, 其采后活性对果实贮藏期的品质影响较大。由图 7 可知, 在贮藏前 20 d, 1-MCP 及其结构相似物处理组果实的 SOD 活性呈上升趋势, 并且 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组果实 SOD 活性显著高于其他处理组 ( $p < 0.05$ ), 第 20 d 之后, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组 SOD 仍维持较高活性强度, 其次是 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实 SOD 活性相对较高且下降速度缓慢。整个贮藏过程中, 未处理组果实 SOD 活性波动较大, 并且始终低于其他处理组。

## 2.9 1-MCP 及其结构相似物处理对果实 POD

### 活性影响及比较

POD 是果实贮藏过程中的保护性酶, 可有效清除代谢产生的自由基, 保护果实细胞免受破坏。处理组和未处理组果实 POD 活性如图 8 所示, 即呈先上升后下降的变化趋势。在 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理组中, 各自最有效的处理浓度分别为 1.2  $\mu\text{L/L}$ 、1.2  $\mu\text{L/L}$  和 0.8  $\mu\text{L/L}$ 。1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和未处理组果实 POD 活性均在地 20 d 出现高峰, 而 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组果实 POD 活性在第 25 d 达到高峰, 较 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 和未处理组果实推迟 5 d。在整个贮藏过程中, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理组维持 POD 活性的效果最佳, 其次是 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理组, 而 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP 处理对软枣猕猴桃果实贮藏期间 POD 活性的影响较 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 和 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP

处理逊色。POD 可起到酶促降解  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、阻止膜脂过氧化作用, 从而使果蔬在贮藏过程中具有抗逆特性, 降低体内生理代谢产物和外界的不利环境对果蔬造成的伤害。实验表明, 1-MCP 及其结构相似物均能不同程度地抑制软枣猕猴桃贮藏过程中 POD 活性的下降。

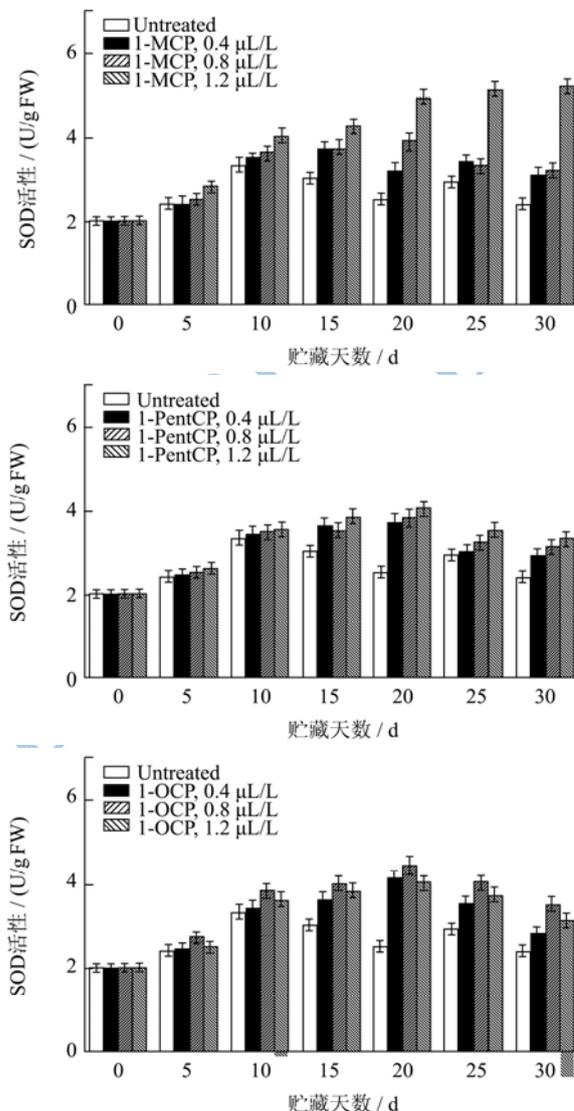


图 7 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃 SOD 活性的影响

Fig.7 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on SOD activity of *Actinidia arguta*

## 4 结论

4.1 本实验结果显示, 在常温贮藏 [(20±1) °C, RH 85~90%] 条件下, 采用 0.4, 0.8, 1.2  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP、1-PentCP、1-OCP 处理青熟期“桓优 1 号”软枣猕猴桃果实, 果实的贮藏保鲜效果均优于对照组果实, 且以 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理较佳, 其次是 0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP, 再次为 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP。

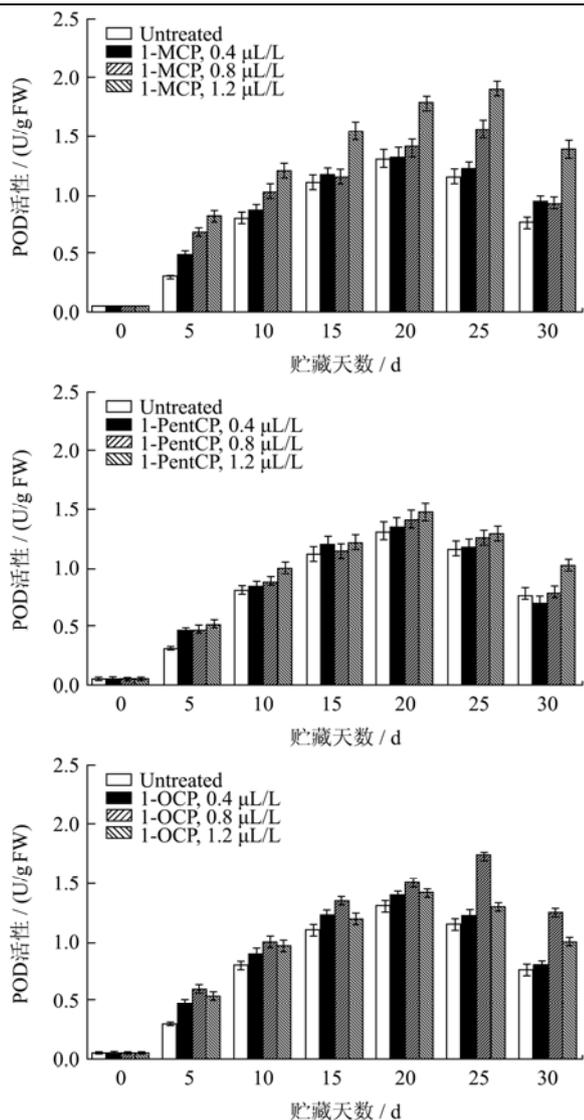


图8 1-MCP 及其结构相似物处理对软枣猕猴桃果实 POD 活性的影响

Fig.8 Effect of treatment with 1-MCP and its structural analogues on POD activity of *Actinidia arguta*

4.2 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 作为乙烯效应抑制剂，均可与乙烯竞争受体，从而影响呼吸跃变型果实乙烯效应的发挥。本实验分别研究了不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 对软枣猕猴桃果实采后生理特性的影响，结果表明，1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理均有助于软枣猕猴桃果实的贮藏保鲜。硬度、好果率、Vc 含量和可滴定酸含量能较好地反映果实贮藏期间的品质变化，不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理均不同程度地抑制果实贮藏期间硬度的下降（表 1），推迟果实的腐烂变质（图 2），减缓 Vc 含量（图 3）和可滴定酸含量的下降（图 4），从而有效地保持软枣猕猴桃的贮藏品质。此外，软枣猕猴桃果实呼吸高峰的出现受到了不同程度的推迟（图 1），

说明不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理可有效地抑制果实乙烯效应。同时，可溶性固形物含量的变化可反映果实成熟衰老过程，不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 处理抑制了可溶性固形物含量的上升（图 5），从而延缓果实的衰老进程。MDA 是膜脂过氧化的重要产物，其含量的积累与果实的后熟衰老密切相关；SOD 和 POD 可有效阻止代谢产生的自由基对果实细胞的破坏作用。实验结果表明，1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 可明显抑制软枣猕猴桃果实贮藏期间 MDA 含量的积累（图 6），同时使 SOD 和 POD 在贮藏期间保持相对较高的活性（图 7、图 8），有效地延缓了软枣猕猴桃果实的衰老，从而可保持较好的贮藏效果。经相关性分析可知，软枣猕猴桃在贮藏过程中，果实的硬度变化与成熟衰老进程和呼吸强度均呈显著负相关（ $r=-0.989, p=0.01$ ； $r=-0.801, p=0.01$ ）（表 1，图 1），与好果率和可滴定酸含量呈显著正相关（ $r=0.880, p=0.01$ ； $r=0.990, p=0.01$ ）（表 1，图 4），说明随着贮藏时间的延长，果实的硬度、好果率和可滴定酸含量均下降。贮藏过程中，可滴定酸含量与可溶性固形物含量变化呈显著负相关（ $r=-0.993, p=0.01$ ）（图 4，图 5），即随着果实可滴定酸含量的下降，可溶性固形物含量升高。SOD 和 POD 活性与 MDA 含量均呈显著正相关（ $r=0.943, p=0.01$ ； $r=0.926, p=0.01$ ）（图 6、图 7、图 8），原因可能是 MDA 含量增加促进了果实的衰老，致使 SOD 和 POD 活性随之升高，对果实起到保护作用。因此，在生产实践中，可以通过抑制果实的呼吸强度来维持果实硬度，从而减缓可滴定酸含量的下降和 MDA 含量的增加，进而有效延缓软枣猕猴桃果实的衰老进程。

4.3 环丙烯类乙烯效应抑制剂的应用是呼吸跃变型果蔬高效的贮藏保鲜方法之一。本实验结果表明，0.4, 0.8, 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP、1-PentCP、1-OCP 处理均能延缓软枣猕猴桃果实的成熟衰老进程，且各处理浓度依次以 1.2  $\mu\text{L/L}$ 、1.2  $\mu\text{L/L}$  和 0.8  $\mu\text{L/L}$  效果最佳。其中，1.2  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 处理软枣猕猴桃果实可获得较好的贮藏效果，原因可能是此浓度的 1-MCP 能够更有效地与乙烯受体结合，进而阻止乙烯效应的产生。对于 1-PentCP 和 1-OCP，0.8  $\mu\text{L/L}$  1-OCP 处理效果优于 1.2  $\mu\text{L/L}$  1-PentCP，这与 Sisler 等（2001）在环丙烯类化合物对香蕉贮藏保鲜研究中的结论相符。本实验贮藏过程中，处理组果实仅在贮藏末期出现表皮冷害症状，但果肉仍可食用，因此在研究提高果实贮藏品质的同时应注重提高果实抗冷害能力方法的研究，从而避免因果实表皮腐烂造成的严重损失。此外，1-MCP、

1-PentCP和1-OCP对软枣猕猴桃果实乙烯合成及受体基因的表达调控机制,仍需要做进一步的研究。

### 参考文献

- [1] Su H, Gubler W D. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on reducing postharvest decay in tomatoes (*Solanum lycopersi cumL.*) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 64: 133-137
- [2] Lee J S, Huber D J, Watkins C B, et al. Influence of wounding and aging on 1-MCP sorption and metabolism in fresh-cut tissue and cell-free homogenates from apple fruit [J]. Postharvest Biol. Technol., 2012, 67: 52-58
- [3] Zhang Z, Huber D J, Rao J P. Ripening delay of mid-climacteric avocado fruit in response to elevated doses of 1-methylcyclo propene and hypoxia-mediated reduction in internal ethylene concentration [J]. Postharvest Biol. Technol., 2011, 60(2): 83-91
- [4] Apelbaum A, Sisler E C, Feng X, et al. Assessment of the potency of 1-substituted cyclopropenes to counteract ethylene-induced processes in plant [J]. Plant Growth Regul., 2008, 36(55): 101-113
- [5] Feng X, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene activity in various plant systems by structural analogues of 1-methylcyclopropene [J]. Plant Growth Regular, 2004, 22(42): 29-38
- [6] Michael C P, Anthony B B, Yoshihisa Inoue, et al. Ethylene receptor antagonists: strained alkenes are necessary but not sufficient [J]. Chemistry and Biology, 2008, 15(4): 313-321
- [7] 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,2011  
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and biochemical experiment instruction of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: Light Industry Press of China, 2011
- [8] 王红霞,张伟婵,孟莉新.水果中Vc含量的测定[J].宜春学院学报,2011,33(4):120-121  
WANG Hong-xia, ZHANG Wei-chan, MENG Li-xin. The determination of Vc content in fruit [J]. Journal of Yichun university, 2011, 33(4): 120-121
- [9] 宁正祥.食品成分分析手册[M].北京:中国轻工业出版社,1998  
NING Zheng-xiang. Food composition analysis manual [M]. Beijing: Light Industry Press of China, 1998
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2005  
LENG He-sheng. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher education press, 2005
- [11] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000  
LENG He-sheng. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher education press, 2000
- [12] 朱广廉,钟海文.植物生理学实验[M].北京:北京大学出版社,1990  
ZHU Gang-lian, ZHONG Hai-wen. Plant physiology experiment [M]. Beijing: Peking University Press, 1990
- [13] Garcia C V, Stevenson R J, Atkinson R G, et al. Changes in the bound aroma profiles of 'Hayward' and 'Hort16A' kiwifruit (*Actinidia spp.*) during ripening and GC-olfactometry analysis [J]. Food Chemistry, 2013, 137: 45-54
- [14] 王占勤,米建海,纪虎娃,等.野生软枣猕猴桃果实品质初步研究[J].山西林业科技,2011,40(3):26-28  
WANG Zhan-qin, MI Jian-hai, JI Hu-wa, et al. Primary research on quality of wild actinidia arguta fruit [J]. Forestry science and technology of Shanxi, 2011, 40(3): 26-28