

## 1-甲基环丙烯对室温贮存磨盘柿的保鲜作用

孙令强 李召虎 王倩 段留生

(中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100094)

**摘要** 为探讨磨盘柿贮存保鲜的新途径,研究了  $2.5 \times 10^{-7}$ 、 $5 \times 10^{-7}$  和  $10^{-6}$  L/L 乙烯受体抑制剂 1-甲基环丙烯(1-MCP)熏蒸处理对磨盘柿果实(室温 20 ℃ 贮存)生理和品质的影响。结果表明:1-MCP 处理使磨盘柿果实软化延迟 7~10 d,颜色由青转红的时间延迟 7 d,可溶性糖含量在第 14 和 21 天分别为 5.9% 和 6.1%,显著低于对照,可溶性单宁的含量在第 14 天后均显著高于对照,可溶性果胶的含量在第 7 天后显著低于对照。1-MCP 处理降低磨盘柿果实 POD 酶的活性,维持较高的 SOD 酶活性。在室温贮存过程中,1-MCP 处理显著降低果实贮存开始后 20 d 内的呼吸强度,如在第 10 天  $5 \times 10^{-7}$  L/L 处理的比对照降低 54%,呼吸高峰出现约推迟 5~10 d;处理显著降低果实乙烯释放量,在对照出现高峰的第 10 和 20 天, $5 \times 10^{-7}$  L/L 处理的果实乙烯释放量分别比对照降低 66% 和 58%,且乙烯释放高峰仅在第 20 天出现。在本试验条件下,不同含量 1-MCP 处理对磨盘柿果实均有保鲜效果,以  $5 \times 10^{-7}$  L/L 效果最好。

**关键词** 磨盘柿; 1-甲基环丙烯(1-MCP); 室温贮存; 保鲜

**中图分类号** S 663.4

**文章编号** 1007-4333(2005)05-0052-06

**文献标识码** A

## Freshness-keeping effect of 1-Methylcyclopropene on persimmon fruits stored under room-temperature

Sun Lingqiang, Li Zhaohu, Wang Qian, Duan Liusheng

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** The effects of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) at the concentrations of  $2.5 \times 10^{-7}$ ,  $5 \times 10^{-7}$  and  $1 \times 10^{-6}$  L/L on physiology and quality of persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruits were studied under room temperature (20 ℃). The results showed that 1-MCP treatment delayed fruit softening by 7 - 10 d and slowed fruit color change by 7 d. The treated persimmon fruits had average soluble sugar contents of 5.9% and 6.1% at 14 d and 21 d-storage respectively, significantly lower than that of the control. Soluble tannin content of the treated persimmon fruits was significantly higher than that of the control at 14d storage. However, soluble pectin content of the treated persimmon was lower than that of the control. 1-MCP treatment inhibited POD enzyme activity, but increased SOD enzyme activity. The respiration climacteric of the treated persimmon fruits was delayed and was remarkably decreased by 1-MCP treatment. Ethylene release also similarly affected by 1-MCP. It was evident that 1-MCP at different concentrations had freshness-keeping effect of the fruit. The highest effect was obtained at a concentration of  $5 \times 10^{-7}$  L/L. Two mechanisms of competitive inhibition of ethylene receptor and ethylene biosynthesis may be involved in freshness-keeping effects of 1-MCP during persimmon storage.

**Key words** persimmon; 1-Methylcyclopropene (1-MCP); room temperature storage; freshness-keeping effect

磨盘柿是我国北方栽培面积大、产量高的优良柿品种,贮存保鲜一直是制约其迅速发展的难题,每年贮运不当等造成的损失约占年产量的 20%<sup>[1]</sup>,严重影响周年供应。目前有研究报道和生产上采用的

磨盘柿保鲜技术主要是低温(0~2 ℃ 冷库贮存)、气调、保鲜剂等。磨盘柿果实属典型的呼吸跃变型,其成熟软化与乙烯密切相关<sup>[2]</sup>。

美国罗门哈斯公司(Rohm and Haas Company)

收稿日期: 2005-02-25

作者简介: 孙令强, 硕士研究生; 段留生, 教授, 通讯作者, 主要从事作物生理和化学控制研究, E-mail: duanlsh@cau.edu.cn

开发的植物生长调节剂 3.3% (质量分数,下同) 1-甲基环丙烯微胶囊剂 (Smartfresh), 主要成分 1-甲基环丙烯 (1-MCP), 能优先竞争结合组织中的乙烯受体蛋白, 阻止乙烯与受体的结合和信号传导, 从而减轻组织对乙烯的敏感性, 起到延缓果实、成熟叶片、花等器官衰老和脱落的作用<sup>[3]</sup>。目前研究表明 1-MCP 使用效果受含量、处理时间、水果种类、品种及成熟度等很多因素影响, 但抗乙烯效应的确切机制尚不清楚<sup>[3-4]</sup>, 此外, 1-MCP 在园艺作物果实上应用有时还出现负面影响, 如色泽转化不均匀、芳香物产生受抑, 以及不同品种表现相反效应等<sup>[3-4]</sup>。1-MCP 可延缓苹果<sup>[4-5]</sup>、鳄梨<sup>[5]</sup>等果实成熟; 可延迟柿果实呼吸高峰和乙烯高峰的出现, 延缓原果胶的降解和水溶性果胶的增加<sup>[6]</sup>, 在贮存保鲜和延长货架期方面有应用潜力, 但尚未得到生产应用。本实验旨在研究 1-MCP 处理对室温贮存磨盘柿的保鲜作用, 为生产应用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与处理

实验以磨盘柿 (*Diospyros kaki* L.) 果实为材料, 分别在 2003、2004 年进行, 于每年 10 月在北京市房山区张坊镇取样, 挑选大小均匀、成熟度比较一致、健康无创伤的果实, 在采摘后第 2 天进行处理。3.3% 1-甲基环丙烯微胶囊剂 (Smartfresh) 为美国罗门哈斯公司 (Rohm and Haas Company) 提供, 处理为  $2.5 \times 10^{-7}$ 、 $5 \times 10^{-7}$  和  $1 \times 10^{-6}$  L/L。

处理方法: 先把磨盘柿果实置于可密闭容器内, 根据容器容积和处理量, 计算并称取 3.3% 1-甲基环丙烯微胶囊剂置于试管中, 加入 2 mL 温水, 密闭震荡后把试管放入盛果容器内, 密闭容器, 常温放置 24 h; 开盖, 取出果实, 通风 1 h, 移入 20 ℃ 室温下贮存。每处理 4 次重复, 每重复 60 个单果, 分别在同一规格的不同容器中按上述方法同批处理。

### 1.2 测定方法

分别在室温贮存的第 7、14、24 和 28 天随机取样, 测定磨盘柿生理和品质指标。

果实硬度: 每次从各处理的每个重复中随机取 10 个单果, 用 GY-1 型果实硬度计测定, 在每个果实的不同部位重复测定 3 次。

颜色分值: 为便于统计分析, 根据磨盘柿果实正常成熟过程中的颜色变化特点, 把每次取样的果

实, 按成熟度从低到高分 4 级: 4 级, 果面橙红色, 果蒂面积 50% 以上青色; 3 级, 果面橙红色, 果蒂面积 50% 以下青色, 青色均匀; 2 级, 果面红色, 果蒂面积 50% 以下不均匀青色; 1 级, 果实面积 100% 红色。另外把发黑等颜色不正常果实, 记为 0 级。按颜色分值 =  $4a + 3b + 2c + 1d$  计算, 其中 a, b, c, d 分别为 4 级, 3 级, 2 级, 1 级果分别占该处理总果数的百分数, 颜色分值越低, 表明颜色转红慢, 保鲜效果较好。

可溶性糖含量采用蒽酮比色法<sup>[7]</sup>测定; 单宁含量采用高锰酸钾滴定法<sup>[7]</sup>测定; 果胶含量采用比色法<sup>[7]</sup>测定; SOD 活性采用氮蓝四唑法<sup>[8]</sup>测定; POD 活性采用愈创木酚比色法<sup>[8]</sup>测定。

乙烯释放量: 用 GCT890F 型气相色谱仪测定, 柱长 2 m, 填充物为 Porapak 80-100, 每次 10 个单果于密闭容器中, 取气测定, 进样量 1 mL。测定条件: 柱温 60 ℃, 检测器温度 150 ℃, 进样器温度 120 ℃, 氢气、氮气、空气流量分别为 37、35 和 50 mL/min, 采用面积外标法计算。

呼吸强度: 用配有 FID 检测器和 CO<sub>2</sub> 转化炉的 GCT890F 型气相色谱仪测定, 柱长 2 m, 填充物为 Porapak 80-100。每次 10 个单果于密闭容器中, 取气测定, 进样量 1 mL。测定条件: 柱温 60 ℃, 检测器温度 360 ℃, 进样器温度 120 ℃, 氢气、氮气、空气流量分别为 45、35 和 50 mL/min, 采用面积外标法计算。

### 1.3 统计分析

利用 SAS 数据处理软件, 对磨盘柿生理和品质指标进行显著性分析, 以  $P = 0.05$  水平为显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 1-MCP 处理对磨盘柿果实硬度的影响

从表 1 可见, 2003 和 2004 年试验结果基本一致, 贮存前磨盘柿硬度分别为 9.4 和 10.45 kg/cm<sup>2</sup>, 随贮存时间延长, 果实硬度不断降低。对照在贮存的第 28 天硬度分别降为 2.6 和 2.2 kg/cm<sup>2</sup>, 1-MCP 处理使磨盘柿软化延迟 7~10 d。不同 1-MCP 处理, 贮存的第 7~28 天的磨盘柿硬度均高于对照, 尤以  $5.0 \times 10^{-7}$  和  $1 \times 10^{-6}$  L/L 处理对磨盘柿硬度维持最好。不同含量 1-MCP 处理的磨盘柿硬度与对照差异显著, 并表现出明显的剂量-效应关系, 处理含量高, 磨盘柿硬度维持得好。

表1 1-MCP处理对室温(20 )贮存磨盘柿果实硬度的影响

Table 1 Changes of persimmon fruit hardness during storage at 20 following 1-MCP treatment / (kg/cm<sup>2</sup>)

年份	(1-MCP)	贮存时间/d				
		0	7	14	21	28
2003	0	9.2 ±0.4 A	7.7 ±1.0 C	5.7 ±2.2 C	3.8 ±1.4 C	2.6 ±0.4 C
	2.5 ×10 <sup>-7</sup>	9.6 ±0.6 A	8.2 ±0.4 B	7.8 ±1.3 B	5.6 ±3.2 B	3.6 ±1.5 B
	5.0 ×10 <sup>-7</sup>	9.5 ±0.5 A	9.0 ±0.7 A	8.7 ±1.0 A	6.9 ±1.8 A	4.4 ±1.8 A
	1.0 ×10 <sup>-6</sup>	9.3 ±0.6 A	9.1 ±0.3 A	9.1 ±0.5 A	7.9 ±1.2 A	4.4 ±1.8 A
2004	0	10.6 ±0.7A	7.0 ±2.2 B	4.3 ±2.1 D	3.0 ±1.0 D	2.2 ±0.5 C
	2.5 ×10 <sup>-7</sup>	10.4 ±0.6 A	9.8 ±2.0 A	8.6 ±2.7 B	7.2 ±1.2 A	4.2 ±1.2 A
	5.0 ×10 <sup>-7</sup>	10.3 ±0.6A	9.7 ±1.4 A	8.8 ±1.3 A	6.1 ±0.9 B	3.3 ±1.3 B
	1.0 ×10 <sup>-6</sup>	10.5 ±0.6 A	10.2 ±2.1 A	8.1 ±1.9 C	6.0 ±1.0 C	3.3 ±1.3 B

注:同一列中不同字母表示平均值之间的差异显著(LSD,  $P=0.05$ ),下同。

## 2.2 1-MCP处理对磨盘柿果实颜色变化的影响

2003和2004年试验结果基本一致,1-MCP处理延迟磨盘柿颜色变化,由青转红的时间延迟约7d(表2)。

表2 1-MCP处理对室温(20 )贮存磨盘柿果实颜色分值变化的影响(2004年)

Table 2 Effects of 1-MCP on color change of persimmon stored under room-temperature(20 , 2004)

(1-MCP)	贮存时间/d			
	7	14	21	28
0	3.1 A	1.8 B	1.3 C	0.9 B
2.5 ×10 <sup>-7</sup>	3.0 A	2.0 A	1.7 B	1.0 A B
5.0 ×10 <sup>-7</sup>	3.1 A	2.0 A	1.9 A	0.9 A B
1.0 ×10 <sup>-6</sup>	3.3 A	2.1 A	2.0 A	1.1 A

## 2.3 1-MCP处理对磨盘柿果实可溶性糖含量的影响

如表3所示,在室温贮存条件下,磨盘柿果实可溶性糖含量均呈上升趋势,1-MCP处理后可溶性糖含量上升速度和幅度均低于对照。在贮存的第14天和21天,1-MCP处理的果实可溶性糖含量均显著低于对照。不同1-MCP处理间可溶性糖含量无显著差异。

## 2.4 1-MCP处理对磨盘柿果实可溶性单宁含量的影响

室温贮存下磨盘柿果实可溶性单宁含量呈下降趋势,1-MCP处理磨盘柿果实可溶性单宁含量下降速度明显低于对照。室温贮存第14天后,1-MCP处理磨盘柿果实可溶性单宁含量与对照差异显著,其他未达显著水平(表4)。

表3 1-MCP处理对室温(20 )贮存磨盘柿果实可溶性糖含量的影响(2004年)

Table 3 Changes of soluble sugar content of persimmon during storage at 20 following 1-MCP treatment (in 2004) %

(1-MCP)	贮存时间/d				
	0	7	14	21	28
0	4.8 ±0.3 A	4.8 ±0.2 A	6.9 ±0.3 A	6.9 ±0.3 A	7.3 ±0.1 A
2.5 ×10 <sup>-7</sup>	4.7 ±0.1 A	4.8 ±0.6 A	6.2 ±0.6 AB	6.2 ±0.3 B	6.5 ±0.8 A
5.0 ×10 <sup>-7</sup>	4.8 ±0.3 A	4.9 ±0.6 A	6.0 ±0.7 B	6.1 ±0.2 B	6.5 ±0.9 A
1.0 ×10 <sup>-6</sup>	4.7 ±0.2 A	4.9 ±0.3 A	5.6 ±0.2 B	6.0 ±0.3 B	6.3 ±0.6 A

表 4 1-MCP 处理对室温(20℃)贮存磨盘柿果实可溶性单宁含量的影响(2004 年)

Table 4 Changes of soluble tannin content of persimmon during storage at 20℃ following 1-MCP treatment (in 2004) %

(1-MCP)	贮存时间/d				
	0	7	14	21	28
0	0.56 ±0.06 AB	0.36 ±0.07 A	0.31 ±0.04 B	0.14 ±0.03 D	0.07 ±0.01 B
2.5 ×10 <sup>-7</sup>	0.49 ±0.05 B	0.43 ±0.08 A	0.46 ±0.05 A	0.36 ±0.02 B	0.28 ±0.06 A
5.0 ×10 <sup>-7</sup>	0.51 ±0.04 AB	0.41 ±0.11 A	0.40 ±0.07 AB	0.28 ±0.06 C	0.25 ±0.06 A
1.0 ×10 <sup>-6</sup>	0.58 ±0.06 A	0.49 ±0.09 A	0.42 ±0.07 A	0.46 ±0.04 A	0.33 ±0.05 A

2.5 1-MCP 处理对磨盘柿果实果胶含量的影响

磨盘柿原果胶含量在室温贮存过程中呈逐渐下降趋势,室温贮存 14 d 后,5.0 ×10<sup>-7</sup>和 1 ×10<sup>-6</sup> L/L 1-MCP 处理的磨盘柿原果胶含量下降速度低于对照,但与对照差异不显著,2.5 ×10<sup>-7</sup> L/L 1-MCP

处理的磨盘柿原果胶含量与对照差异不显著(图 1(a));而可溶性果胶的含量则呈上升的趋势,不同 1-MCP 处理磨盘柿在室温贮存的第 14 和 28 天可溶性果胶的含量显著低于对照(图 1(b))。

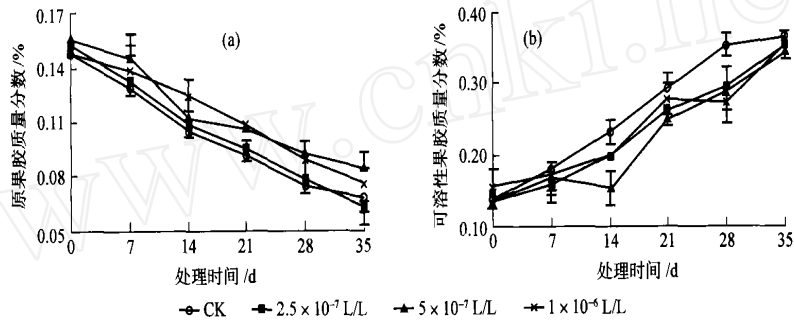


图 1 1-MCP 处理对室温(20℃)贮存磨盘柿原果胶(a)和可溶性果胶(b)含量的影响(2004 年)

Fig.1 Changes of protopectin content (a) and soluble pectin content (b) of persimmon during storage at 20℃ following 1-MCP treatment (in 2004)

2.6 1-MCP 处理对磨盘柿果实呼吸强度和乙烯释放量的影响

20℃贮存过程中,1-MCP 处理的磨盘柿果实呼吸高峰出现在贮存 15 d 前后,比对照推迟 5 d 左右;处理果实在贮存的前 20 d 呼吸强度均低于对照,如在第 10 天 5 ×10<sup>-7</sup> L/L 处理的比对照降低

54%,但在第 25 天后呼吸强度高于对照(图 2(a))。

对照磨盘柿果实乙烯释放高峰分别出现在贮存的第 10 和 20 天,而 1-MCP 处理的果实只在贮存的第 20 天出现,且乙烯释放量都低于对照,如在贮存的第 10 和 20 天,5 ×10<sup>-7</sup> L/L 处理的分别比对照降低 66%和 58%(图 2(b))。

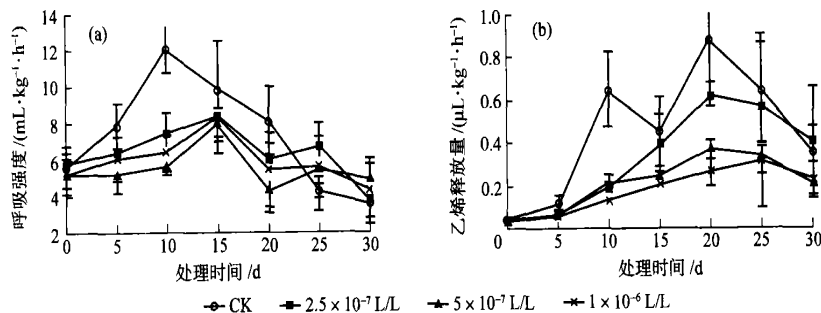


图 2 1-MCP 处理对室温下(20℃)储存期间磨盘柿呼吸强度(a)和乙烯释放量(b)的影响(2004 年)

Fig.2 Changes of respiration rate(a) and ethylene release(b) of persimmon during storage at 20℃ following 1-MCP treatment (in 2004)

## 2.7 1-MCP 处理对磨盘柿果实 POD 和 SOD 活性的影响

磨盘柿果实室温下(20℃)贮存期间 POD 活性呈先上升后下降的趋势(图 3(a))。1-MCP 处理明显抑制了磨盘柿果实 POD 活性,推迟了 POD 活

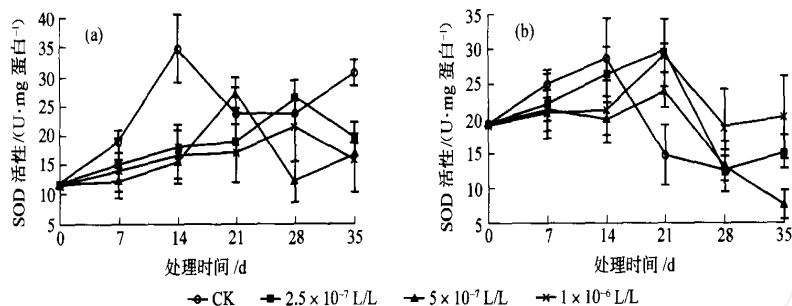


图 3 1-MCP 处理对磨盘柿在室温下(20℃)储存期间 POD(a)和 SOD(b)活性的影响(2004)

Fig. 3 Changes of POD(a) and SOD(b) enzyme activities of persimmon during storage at 20℃ following 1-MCP treatment (in 2004)

## 3 讨论

### 3.1 1-MCP 对室温(20℃)贮存磨盘柿的保鲜效果

在持续室温(20℃)贮存条件下,1-MCP 处理的磨盘柿果实延迟 7~10 d 软化,颜色由青转红的时间延迟 7 d,可溶性糖含量在贮存的第 14 和 21 天显著低于对照,原果胶的降解延缓,可溶性果胶含量增加,表明 1-MCP 在不损失磨盘柿品质的前提下,显著增强了果实的保鲜效果。在本实验条件下,1-MCP 处理的柿果实保鲜期比对照延长 10 d 以上,不同含量 1-MCP 处理的保鲜效果有一定差异,从保鲜效果和经济角度综合看,以 5 × 10<sup>-7</sup> L/L 效果最好。

单宁是影响磨盘柿风味的成分之一,当可溶性单宁转变为不溶性单宁后涩味消失。在磨盘柿贮存过程中,可溶性单宁随果实硬度下降而减少,在果实充分软化后下降速度加快。1-MCP 处理延缓柿果实成熟,也伴随可溶性单宁转化的相应推迟,但在果实完全成熟时,可溶性单宁含量与正常成熟果实无显著差别,表明本实验中可溶性单宁含量高于对照,只是果实成熟期推迟的伴随现象,不影响柿果实的风味。

1-MCP 处理方法是制剂加适量水后释放 1-MCP 气体,置储库或容器中密闭 12~24 h。处理时含量仅 10<sup>-7</sup> L/L,制剂药品不与果实直接接触,在美国等发达国家果品保鲜中普遍采用<sup>[3,5]</sup>,未发现

性高峰的出现时间。在室温贮存 14 d 后,1-MCP 处理的磨盘柿果实 SOD 活性显著高于对照(图 3(b)),以 1.0 × 10<sup>-6</sup> L/L 1-MCP 处理效果最好。这可能有利于延缓磨盘柿果实成熟。

安全性问题。1-MCP 的应用及与低温等保鲜措施的结合,对解决我国磨盘柿等特产果品的保鲜运输这一“瓶颈”问题,提高产业效益和国际竞争力有较大的应用潜力。

### 3.2 1-MCP 作用的生理机制

一般认为呼吸跃变型果实成熟过程中,乙烯释放量的剧增诱导一系列生理变化,最明显的是呼吸作用的跃变。1-MCP 延缓果实成熟的作用机理在于竞争结合组织中的乙烯受体蛋白,抑制乙烯与受体的结合和信号传导,从而减轻组织对乙烯的敏感性<sup>[3]</sup>,对呼吸跃变型为主的果实如苹果<sup>[4]</sup>、鳄梨<sup>[5]</sup>等都有明显的保鲜效果。磨盘柿果实属对乙烯敏感的呼吸跃变型果实,1-MCP 延缓果实成熟的机制应与上述果实类似,抑制乙烯与受体的结合。1-MCP 处理呼吸跃变和乙烯释放高峰出现的时间比同等温度条件未处理的推迟 5 d 左右,表明 1-MCP 有抑制果实乙烯释放的效果。丁建国<sup>[9]</sup>等报道 1-MCP 调控 ACS 和 ACO 基因的表达,这 2 个基因分别编码乙烯合成途径中 ACC 氧化酶和 ACC 合成酶,也支持 1-MCP 抑制乙烯生物合成的观点<sup>[10]</sup>;但从本试验结果可以看出,呼吸高峰和乙烯释放量的变化趋势不完全一致,如第 15 天,不同处理的 1-MCP 果实乙烯释放量无显著差异,基本都处于高度受抑制的状态,但呼吸强度却差异显著,可能是乙烯受体受抑制的结果,室温下第 15 天,1-MCP 处理降低了乙烯释放量,但却提高了呼吸强度。作者推测乙烯合成受抑制导致的乙烯水平下降和乙烯受体受竞争抑制

导致组织敏感性的衰减,在 1-MCP 调控磨盘柿果实成熟中是并存的 2 种机制,其在整个反应中的比重和协调关系值得进一步研究。

POD 和 SOD 参与多种植物的成熟和衰老过程,一般认为果实衰老时 POD 活性上升,抑制其活性可以减缓衰老,而 SOD 活性增强能延缓衰老。本实验也发现,1-MCP 处理明显抑制磨盘柿果实 POD 活性,使 POD 活性高峰出现时间推迟。在室温贮存 14 d 后,处理果实的 SOD 活性比对照显著提高。1-MCP 对 POD、SOD 等活性氧代谢酶的调节机制,及其与延缓柿果实成熟和乙烯信号转导的关系尚待深入研究。

### 参 考 文 献

- [1] 赵斌,谢阳青. 真空包装技术在柿果脱涩保鲜中的应用[J]. 农产品加工,2003,4:39
- [2] 高梅,张继澍. 亚精胺对柿果采后乙烯生物合成的影响[J]. 园艺学报,1999,26(6):364-368
- [3] Sylvia M B, John M D. 1-Methylcyclopropene: a review [J]. Postharvest Biol and Technol, 2003, 28: 1-25
- [4] Watkins C B, Nock J F, Whitaker B D. Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions [J]. Postharvest Biol Technol, 2000, 19: 17-32
- [5] Hofman P J, Jobim-De cor M, Meiburg G F, et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene [J]. Aust J Exp Agric, 2001, 41: 567-572
- [6] 罗自生. 1-MCP 对柿果实软化和果胶物质代谢的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(3): 229-232
- [7] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京:中国农业大学出版社,1999
- [8] 何钟佩. 农作物化学控制实验指导[M]. 北京:中国农业大学出版社,1993
- [9] 丁建国,陈昆松,许文平,等. 1-甲基环丙烯处理对美味猕猴桃果实后熟软化的影响[J]. 园艺学报, 2003, 28(5): 399-402
- [10] Nakatsuka A, Shiomi S, Kubo Y, et al. Expression and internal feedback regulation of ACC oxidase genes in ripening tomato fruit [J]. J Plant Cell Physiol, 1997, 38: 1103-1110