

1-甲基环丙烯在柿贮藏保鲜中的应用研究进展

张雪丹¹, 辛甜甜², 李富军², 王淑贞¹, 辛力^{1,*}, 孙玉刚¹

(¹山东省果树研究所, 山东泰安 271018; ²山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东淄博 255049)

摘要: 柿是呼吸跃变型果实, 乙烯的作用对其成熟过程影响很大, 乙烯竞争抑制剂 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理柿果实可延缓其软化, 保持品质, 延长贮藏期。综述了 1-MCP 的作用机理并阐述了其在柿果实贮藏保鲜中的应用现状以及脱涩保脆的最新进展。

关键词: 柿; 贮藏; 1-MCP; 乙烯; 软化; 脱涩保脆

中图分类号: S 665.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2012) 04-0783-10

Progress in Application Research of 1-MCP for Storage and Fresh-keeping of Persimmon Fruits

ZHANG Xue-dan¹, XIN Tian-tian², LI Fu-jun², WANG Shu-zhen¹, XIN Li^{1,*}, and SUN Yu-gang¹

(¹Shandong Institute of Pomology, Tai'an, Shandong 271018, China; ²School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

Abstract: Persimmon fruit is climacteric one which is dramatically influenced in its maturity by ethylene, therefore, 1-MCP is an inhibitor of ethylene perception that can affect for softening delayed, quality preservation and extension of storage life in persimmon. This paper reviewed the action effects and physiological mechanisms of 1-MCP and effects of 1-MCP in the fruit preservation, the status of studies and applications of 1-MCP on persimmon fruit, and current researches of de-astringent and hardness-keeping on persimmon.

Key words: persimmon; storage; 1-MCP; ethylene; softening; de-astringent and hardness-keeping

柿属于呼吸跃变型果实, 其成熟、软化、衰老等均与乙烯密切相关 (高梅和张继澍, 1999)。通过调节乙烯合成或其信号传导途径从而达到控制或延迟果实成熟衰老进程一直是果实采后生理研究的重要课题。1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 是一种新型的乙烯作用抑制剂, 为含双键的环状碳氢化合物, 以气体状态存在, 具有无味、无毒、生理效应明显等特点 (Sisler & Serek, 1997)。1-MCP 可与果实组织中的乙烯受体发生不可逆性结合而阻断乙烯与受体结合, 抑制乙烯诱导的成熟与衰老, 因此 1-MCP 不仅可以延缓植物叶片、花芽器官的成熟与衰老, 还可以延缓果实的成熟软化 (Sisler & Serek, 1997, 1999)。目前已对苹果、鳄梨、香蕉、桃、李、杏和芒果等多种果品进行了广泛的研究, 发现 1-MCP 对跃变型果实作用显著, 阻止或延缓乙烯作用的发挥, 推迟果实后熟, 使果品贮藏期和货架期大大延长 (Watkins, 2006, 2008)。

收稿日期: 2012-02-21; 修回日期: 2012-03-26

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系项目 (2060302-05)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: sdxinli@foxmail.com)

关于 1-MCP 在柿果实贮藏保鲜方面的应用研究较多, 已有较多证据表明 1-MCP 可控制柿果实后熟, 抑制软化, 减少冷害发生, 延长贮藏期等 (Tsviling et al., 2003; Salvador et al., 2004b; Besada et al., 2008)。本文中总结了国内外近年来关于 1-MCP 在柿果实成熟衰老中调控机理的研究进展, 并对 1-MCP 在柿果实采后贮藏保鲜中的应用进行了综述。

1 1-MCP 的作用机理

1.1 与乙烯作用的竞争关系

研究表明, 1-MCP 具有比乙烯更高的双键张力和化合能 (Sisler & Serek, 1999)。在正常情况下, 乙烯与乙烯受体在结合位点结合后很快解离, 乙烯受体即激活, 可以形成生理活性物质, 激活和传递信号, 最终诱导相应的生理效应。而 1-MCP 与乙烯受体结合后并不发生解离, 从而阻止了乙烯与结合位点的结合, 进而影响之后的信号转导和生理效应的产生 (Sisler & Serek, 1997, 2003)。

Cameron 和 Reid (2001) 发现在 25、20.7 和 12 °C 时 1-MCP 的半衰期分别为 2、3 和 6 d, 这表明有新的结合位点合成。受体再生也可以解释各种乙烯受体抑制剂的一些差异反应。因此, 在植物内源乙烯大量产生之前施用 1-MCP 就能抢先与乙烯受体结合, 封阻乙烯与它们的结合和随后产生的效应, 暂时延缓乙烯的生理反应 (Fan et al., 1999)。

1.2 对基因表达的调控

ACC 合成酶 (ACS) 和 ACC 氧化酶 (ACO) 是乙烯合成过程中的两个关键酶 (Yang & Hoffman, 1984)。研究表明 1-MCP 可抑制桃、鳄梨、西瓜等乙烯生物合成酶 ACS、ACO 和相关 mRNA 的积累 (Shiomi et al., 1999; Mathooko et al., 2001; Owino et al., 2002), 在柿果实上发现 1-MCP 也具有相同的作用 (Nakano et al., 2003; 刘乐 等, 2009)。1-MCP 通过降低柿果实 ACS、ACO 的酶活性, 达到降低内源乙烯合成速度的效果 (朱东兴 等, 2004)。目前已从柿果实上成功克隆出 3 个 ACC 合成酶 (*DK-ACS1*, *DK-ACS2* 和 *DK-ACS3*) 和 2 个 ACC 氧化酶基因 (*DK-ACO1* 和 *DK-ACO2*) (Nakano et al., 2002)。研究发现, 单个未成熟柿果实的乙烯生物合成的诱导和发展与 ACS 和 ACO 基因的转录在时间和空间上一致, 柿果实采摘后 *DK-ACO1* mRNA 的累积增强且 3 d 后 ACO 活性达到最高, 此时 *DK-ACS2* 开始强烈表达, 第 4 天 ACS 活性迅速增强, 此时乙烯生成量达到高峰 (Zheng et al., 2005)。1-MCP 处理可抑制柿果实各部分 (除萼部外) 的乙烯生成和乙烯合成酶相关基因的表达, 从而抑制内源乙烯合成 (Nakano et al., 2003)。

1-MCP 处理对 ACS 和 ACO 基因表达的抑制作用在果皮部位最明显, 其次是果肉、果心, 柿果实萼部位最低 (刘乐 等, 2009), Nakano 等 (2003) 认为 1-MCP 处理后既不能抑制未成熟柿果实萼部 *DK-ACS2* 的转录, 也不能抑制乙烯的生成, 但减少柿果实水分损失能显著推迟萼部乙烯生成的发生和 *DK-ACS2* 的表达。这些结果表明, 柿果实的乙烯最早是在柿果实萼部诱导产生的, 且水分损失可以调节 *DK-ACS2* 的转录激活 (Nakano et al., 2003; 刘乐 等, 2009)。1-MCP 的使用表明, 乙烯生成的负反馈调节是通过抑制早期成熟阶段某些乙烯生物合成途径基因的表达来调控的 (系统 I), 而其他基因并不受乙烯调控 (Nakatsuka et al., 1998)。

另外, 姜妮娜等 (2010) 已分离出多聚半乳糖醛酸酶 (polygalacturonase, PG) 基因的 3 个全长 cDNA (分别命名为 *DkPG1*、*DkPG2* 和 *DkPG3*), 发现 1-MCP 处理明显抑制了柿果实 *DkPG1* 表达量的上升, 推迟了 PG 酶活性峰的出现, 降低了原果胶的降解速度, 从而调控果实的成熟衰老。

2 影响 1-MCP 作用的因素

2.1 柿果实成熟度

植物组织的发育阶段和果实成熟度是影响 1-MCP 作用效果的重要因素。研究表明 1-MCP 处理跃变前期的果实有效, 对于进入跃变期的果实影响很小或无效 (关夏玉和陈清西, 2006)。与其它呼吸跃变型果品不同的是, 采摘的商熟期柿果实产生的乙烯量较低 (在高峰时也不足 $1.0 \text{ nL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), 而在较低成熟度采摘时乙烯产量反而更高 (Harima et al., 2003), 因此, 1-MCP 有效处理的最佳时期应该是在柿果实将近呼吸跃变期时, 即商熟期最佳。此时柿果实品质最好, 因为呼吸跃变和乙烯诱导之前糖含量高且果实为鲜艳的橘黄色, 一旦呼吸跃变开始, 果实快速软化 (Nakano et al., 2003)。

Salvador 等 (2006) 研究认为 1-MCP 处理能在 1°C 显著降低柿果实冷害并在 15°C 推迟柿果实软化, 但两者的作用大小均取决于柿果实的成熟度, 早期采收的柿果实在低温下 (1°C) 比较敏感, 与较晚采收的柿果实相比冷害发病率较高, 15°C 时, 早采收的柿果实比晚采收的软化速度更快。Krammes 等 (2006) 在 ‘Fuyu’ 柿果实上观察到相同的现象, 早期采收的柿果实更易出现冷害, 导致软化并产生难以接受的果色。

2.2 处理浓度与处理次数

因品种、成熟度、温度和使用方式等的不同, 1-MCP 的有效使用浓度变化比较大。室温下对采后 ‘Tonewase’ 和 ‘Saijo’ 柿分别进行 0、10、100、 $1\,000 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理 16 ~ 48 h, 发现 $10 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理对果实软化的抑制作用较小, 浓度增加至 $100 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 或更大时, 柿果实货架期是未处理柿果实货架期的 7 ~ 10 倍, Harima 等 (2003) 认为 $100 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 即可发挥其最大的生理作用。但也有试验表明 $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理抑制 ‘Nathanzy’ 柿果实软化的作用不显著, 1.0 和 $1.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理均能使柿果实在 20°C 下 30 d 内保持较高的硬度, 当 1-MCP 浓度增加至 $1.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 1-MCP 的有利作用发挥到最大, 能最大程度地抑制呼吸作用, 减少果实的可溶性固形物和可滴定酸含量的损失 (Ramin, 2008)。Tsviling 等 (2003) 认为 $0.6 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理不仅可使脱涩后柿果实的货架期延长 1 倍, 而且无任何负面效果, 但高于 $0.6 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理效果不明显。总体而言, 在一定浓度范围内, 1-MCP 处理效果随着浓度的增加而增强, 但应注意的是浓度过高时反而会增加腐烂率 (Ku et al., 1999)。

增加 1-MCP 处理次数可以延长果实贮藏时间, 延缓果实成熟衰老的进程, 从而达到较好的贮藏保鲜效果。Salvador 等 (2004a) 对 ‘Rojo Brillante’ 柿果实采后进行 $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理, 15°C 下放置 20 d 后再次进行 $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理, 然后 15°C 下再次放置 18 d 或 15°C 下再次放置 18 d 后转移至 20°C 下再放置 8 d, 柿果实的硬度高于只进行 1 次 1-MCP 处理 (1.0 和 $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) 柿果实的硬度。这与庄艳等 (2007) 的研究结果一致, 即用 1-MCP 处理的确能有效抑制柿果实硬度的下降, 但这种效果对贮藏 2 个月内的柿果实更为显著, 且 1-MCP 处理两次更有利于维护柿果实细胞膜的完整性, 延缓果实软化, 并明显降低果实的乙烯释放和呼吸高峰的峰值。

2.3 处理时间

使用 1-MCP 的目的是推迟而不是完全抑制果实的后熟, 因此所需的 1-MCP 精确使用浓度和使用时间比较难以确定 (Watkins, 2008)。1-MCP 处理时间多为 12 ~ 24 h, 这足以使 1-MCP 达到抑制乙烯的效果。在草莓 (Ku & Wills, 1999) 和香蕉 (Jiang et al., 1999) 上的试验表明, 1-MCP 抑制乙烯的有效处理时间与其所需浓度有关, 一般情况下, 1-MCP 处理时间愈长, 所需浓度愈低; 反

之亦然。Luo (2007) 对 ‘Qiandaowuhe’ 柿在 20 °C 的环境中进行 $3.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理 6 h 即可达到抑制乙烯的作用, 处理柿果实放置 10 d 后才开始软化。而 Harima 等 (2003) 对 ‘Saijo’ 柿进行 25 °C $10 \text{ nL} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理 48 h, 常温下放置 13 d 后柿果实开始软化。

2.4 处理温度

Salvador 等 (2004a) 发现在 15 °C 下 1-MCP 处理 ‘Rojo Brillante’ 柿果实 24 h, $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理延缓柿果实软化的作用强于 $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理。而在 1 °C 下用 0、0.3 和 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理 24 h, 均能保持柿果实硬度, 抑制萼片脱落, 减轻冷害症状, 推迟果实色度变化并减少柿果实乙醇和乙醛产生量, 且不同浓度处理之间差别并不明显 (Salvador et al., 2004b)。但在相同的 1-MCP 浓度下, 低温处理 (1 °C) 的柿果实乙烯释放量高于高温处理 (15 °C) (Salvador et al., 2004a, 2004b)。这可能是因为在低温条件下, 膜上受体蛋白构象改变, 1-MCP 与受体结合减少 (Sisler & Serek, 1997; Macnish et al., 2000), 而在高温条件下 1-MCP 会更好地接近乙烯结合位点并与其结合从而抑制乙烯的作用, 所以 1-MCP 处理多是在高温条件下 (15 ~ 20 °C) 进行 (Ku et al., 1999)。

3 1-MCP 处理对柿果实的影响

3.1 对乙烯释放和呼吸速率的影响

1-MCP 显著抑制果实乙烯释放和呼吸速率, 延缓乙烯高峰和呼吸高峰的出现, 降低果实乙烯释放和呼吸高峰的峰值, 这是因为 1-MCP 阻断了乙烯诱导的生理生化反应, 导致 1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC) 向丙二酰 ACC (MACC) 的转化过程不能恢复, 同时与呼吸作用相关酶的基因表达被阻断 (Golding et al., 1998; Jiang & Fu, 2000)。大量试验表明 1-MCP 不仅可以减少柿果实乙烯释放量, 还可以降低呼吸速率 (Luo, 2007; 庄艳 等, 2007; Ramin, 2008)。

也有不同的结论。胡芳等 (2007) 研究 ‘阳丰’ 甜柿时发现, 经 1-MCP 处理的果实在 0 °C 贮藏后期和货架期间乙烯释放速率远远高于对照, 但 1-MCP 处理始终抑制呼吸作用, 并未出现呼吸增强的现象。而孙令强等 (2005) 对 ‘磨盘柿’ 的研究与之相反, 1-MCP 降低了 ‘磨盘柿’ 的乙烯释放量, 呼吸速率却是在贮存前期降低而在贮存后期提高。Krammes 等 (2006) 认为 1-MCP 处理会导致 1 °C 下贮藏柿果实的乙烯释放降低 (短期贮藏柿果实) 或增加 (长期贮藏柿果实), 但呼吸速率并不受乙烯释放的影响, 1-MCP 处理的低温贮藏柿果实一直比未处理的呼吸速率低。1-MCP 对不同柿果实的乙烯释放速率和呼吸速率的作用不同, 可能是在 1-MCP 处理中乙烯合成受抑制导致的乙烯释放下降和乙烯受体受竞争抑制导致组织敏感性的衰减并存的两种机制。

1-MCP 不仅能阻断体内乙烯生物合成的反馈调节, 而且还能抑制外源乙烯、丙烯等对内生乙烯产生的诱导作用 (Golding et al., 1998)。Harima 等 (2003) 对进行 1-MCP 处理的柿果实进行 $5000 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 外源丙烯诱导, 室温下放置 4 d 后柿果实乙烯量开始增加, 即 1-MCP 处理能使柿果实在室温下保持 4 d 内对乙烯不敏感。但相对于乙烯生成的响应, 细胞壁降解酶诱导的柿果实软化和柿果实自然软化之间有 1 d 的时间差, 因此 1-MCP 处理的柿果实室温下放置 5 d 后开始软化。

3.2 对柿果实软化的影响

Nakano 等 (2001) 指出, 柿果实软化是由水分胁迫诱导乙烯产生的, 减少水分流失可减缓软化程度。另外, 柿果实软化与采收成熟度和果实成熟期间的高温紧密相关, 高温影响了果实的成熟指数和生理活性, 这些导致了柿果实快速软化 (Harima et al., 2001)。大量试验表明无论柿果实是否

进行脱涩处理, 1-MCP 均能延缓其软化速度 (Nakano et al., 2002; Harima et al., 2003; Salvador et al., 2004a; Ortiz et al., 2005; Luo, 2007)。

柿果实螯合性可溶性果胶物质 (CSP) 和碱溶性果胶物质 (ASP) 与柿果实硬度有显著的正相关关系, 水溶性果胶物质 (WSP) 与柿果实硬度有显著的负相关关系, 1-MCP 抑制 CSP 和 ASP 的解聚, 减少 WSP 的增加, 因此可保持柿果实硬度, 延长贮藏保鲜期 (Luo, 2007)。Nakano 等 (2002, 2003) 以及 Kim 和 Lee (2005) 发现 1-MCP 处理能在涩柿不脱涩的情况下抑制其软化, 因此认为柿果实的软化过程是乙烯导致的结果。不同浓度 1-MCP 处理的柿果实硬度与对照存在显著差异, 并且处理浓度越高, 硬度维持得越好, 表现出明显的剂量—效应关系 (孙令强 等, 2005)。

Salvador 等 (2004a) 研究 1-MCP 与脱涩处理的相互作用, 认为在贮藏及货架期间均可以降低柿果实软化程度, 1-MCP 处理脱涩后的柿果实, 其硬度可在 15 °C 下保持 30 d 随后在 20 °C 下保持 8 d, 而对照果在 15 °C 贮藏 15 d 后开始软化; 柿果实若在贮藏后货架期前进行脱涩处理, 1-MCP 处理的柿果实也比对照的硬度大。

3.3 对酶活性的调控

研究发现在乙烯存在的情况下细胞壁水解酶的活性大大增强。对柿果实进行 1-MCP 处理可抑制多聚半乳糖醛酸酶 (PG)、纤维素酶 (CX)、多酚氧化酶 (POD)、果胶甲基酯酶 (PME)、果胶酯酶 (PE)、 β -半乳糖苷酶 (β -Gal) 和 α -L-阿拉伯糖呋喃糖苷酶 (AF-ase) 等活性, 推迟其活性峰的出现, 降低活性峰值, 同时增加超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性。总体说来, 1-MCP 处理浓度越大, 对水解酶的抑制效果越显著, 同时并未降低柿果实品质 (Kang et al., 1998; Ortiz et al., 2005; 孙令强 等, 2005; Takeshi et al., 2005; 田长河 等, 2005; Luo, 2007; 张宇 等, 2010)。

3.4 对细胞结构的影响

1-MCP 可以通过提高清除氧自由基的能力保护柿果实细胞膜的完整程度, 即 1-MCP 通过抑制 PG、CX 活性抑制粗纤维的降解, 延缓了细胞壁果胶组分及纤维素的降解和增溶 (田长河 等, 2005; 庄艳 等, 2007; 张宇 等, 2010)。研究发现, 在贮藏过程中‘富有’甜柿中胶层逐渐降解消失, 细胞壁微纤维结构紊乱呈絮状, 出现细胞质壁分离, 后期线粒体开始衰老, 1-MCP 处理的果实果肉组织细胞壁结构变化趋势同对照果实, 但衰退程度相对滞后 (胡芳 等, 2009)。

1-MCP 处理柿果的膜脂过氧化产物丙二醛 (MDA) 的含量上升速度明显低于未处理果, 说明 1-MCP 对冷藏柿果实的 MDA 含量上升有较好的抑制效果, 且 1-MCP 浓度越高 ($0.25 \sim 1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$), 抑制作用越强 (刘成红, 2007; 张宇 等, 2010)。

3.5 对柿果实品质的影响

果实软化伴随着色泽和风味物质的改变, 如可溶性固形物含量 (TSS)、酸类物质、香气物质等果品的特征成分 (Watkins, 2008)。目前 1-MCP 对柿果实 TSS 的影响没有统一的定论。Ayse (2011) 认为 1-MCP 处理对 TSS 的影响不显著, 但 Ortiz 等 (2005) 发现 1-MCP 处理的柿果实有较高的 TSS。田长河等 (2005) 对‘富平尖柿’进行 1-MCP 处理, 发现在整个贮藏期 TSS 含量变化不大, 而未处理果 TSS 含量先下降后上升, 至贮藏结束时二者的 TSS 含量接近。

Mattheis 等 (2005) 指出: 1-MCP 可降低呼吸跃变型果实中酯类化合物的产量, 而对醛的产量影响不大。Kim 和 Lee (2005) 认为 1-MCP 处理对甜柿的风味和口感影响不显著。另外 Ayse (2011) 和 Koyuncu 等 (2005) 均认为 1-MCP 不影响柿果实可溶性酸的变化。

柿果皮含有的多酚和类胡萝卜素, 是柿果实成熟时形成橙红色的主要原因 (George & Redpath, 2008)。1-MCP 处理可延迟柿果实果皮色泽的加深, 未进行 1-MCP 处理的柿果实色度值明显比 1-MCP 处理的高很多。1-MCP 处理与未处理的柿果实在 15 °C 下贮藏 30 d 时色泽有很大的差异, 但转移至销售环境下时, 1-MCP 处理的柿果实色泽加深, 很快与未处理的一致 (Salvador et al., 2004a)。另外, Ayse (2011) 研究发现, 果面 2/3 为橘红色和果面全为橘红色的柿果实经 1-MCP 处理后, 前者的色调值在贮藏的第 1 个月迅速下降, 但第 2 个月色调值上升, 随后与后者的色调值渐近相同。

3.6 对柿果实冷害的影响

柿果实对低温敏感。5 ~ 7 °C 最易引起冷害 (Chilling injury, CI) 的发生, 当长期低温下贮藏的柿果实转移至 20 °C 时冷害症状加剧 (Cristina et al., 2010)。冷害的典型症状是果肉软化呈凝胶状、少汁, 另外柿果实呼吸速率、乙烯释放量和果皮细胞膜透性异常增加 (MacRae, 1987a; 罗自生, 2005)。冷害发生后, 柿果实褪色和失去香味, 多酚氧化酶从酚类物质液泡中释放出来常常会发生褐变 (Arnal & del Río, 2004), 同时也会积累乙醛等有害物质 (Wills et al., 1998)。

乙烯在柿果实冷害中具有重要作用, 外源性乙烯会加重冷害 (MacRae, 1987a; Park & Lee, 2005), 转移出冷藏条件时发生冷害的柿果实的乙烯释放和呼吸速率均明显升高 (MacRae, 1987b)。1-MCP 处理的柿果实在低温下贮藏并转移至货架期时维持着细胞壁的完整性和较高的黏合性, 即 1-MCP 处理通过保持果实硬度减轻冷害的发生 (Pérez-Munuera et al., 2009)。

无论是柿果实低温贮藏前进行 1-MCP 处理还是柿果实发生冷害转移至货架期前进行 1-MCP 处理, 均能在一定程度上保持柿果实硬度 (Salvador et al., 2004b)。另外 1-MCP 可完全抑制柿萼脱落也被认为是 1-MCP 抑制冷害发生的一种表现 (Itamura et al., 1991; Salvador et al., 2004b)。

4 1-MCP 结合其他脱涩处理的保脆脱涩研究

柿果实脱涩过程中结合 1-MCP 处理可以延迟单宁的转化, 使脱涩进程变慢, 这可能是由于 1-MCP 处理抑制果实呼吸作用所致。但 1-MCP 可以有效延缓脱涩后果实的成熟和软化, 对脱涩后果实硬度有很好的保持作用 (李爽 等, 2007)。近年来 1-MCP 结合 CO₂、气调包装 (MAP)、真空包装等脱涩处理技术保证柿果实保脆脱涩的研究增多, 作者对部分研究结果进行了归纳, 如表 1 所示。

表 1 1-MCP 结合其它脱涩处理的保脆脱涩研究

处理 Treatment	柿品种 Cultivar	作用 Effect	参考文献 Reference
1-MCP + CO ₂	Rojo Brillante	降低乙醇、丙醛含量, 延缓软化, 保持品质 Reduce the levels of ethanol and acetaldehyde, delay softening and preserve the quality	Salvador et al., 2004a
1-MCP + CO ₂	Tonewase, Saijo	去除涩味, 延长货架期, 保持品质 Remove astringency, extend the shelf life of astringent cultivars, and maintain quality	Harima et al., 2003
1-MCP + CO ₂	Triumph	乙烯释放速率和软化速度减慢, 货架期加倍 Decline the rates of ethylene evolution and fruit softening, double the commercial shelf-life	Tsviling et al., 2003
1-MCP + CO ₂	火柿 Huo Persimmon	抑制脱涩果实硬度下降; 推迟呼吸和乙烯高峰并降低峰值; 抑制 LOX 活性和 MDA 增加, 抑制膜脂过氧化; 抑制 PPO 活性, 防止果实褐变 Restrain the decline of firmness of de-astringent persimmon fruit, postpone the appearance of respiration and ethylene production peak, and reduce the peak value as well, depress the strengthening in the activity of LOX and the increase in content of MDA, control lipid peroxidation, depress the activity of PPO and alleviate brown efficient	周永洪, 2008

续表 1			
处理 Treatment	柿品种 Cultivar	作用 Effect	参考文献 Reference
1-MCP + CO ₂	Saijo	延缓软化, 降低 α -L-阿拉伯糖呋喃糖苷酶活性 Delay flesh softening and inhibit of α -L-arabinofuranosidase activity	Xu et al., 2004
1-MCP + CO ₂	磨盘柿 Mopan Persimmon	抑制呼吸, 延缓脱涩后果实成熟和软化, 抑制硬度、TSS含量、可溶性单宁含量的变化 Restrain the respiration, delay ripening and softening of persimmon fruits, inhibit the changes of fruit firmness, TSS content and soluble tannin	李爽 等, 2007
1-MCP + MAP	Harbiye	减少乙烯生成量, 保持柿果实硬度, 增加TSS含量; 延长贮藏期, 改善柿果实品质 Inhibit ethylene production, maintain fruit firmness and increase TSS content, extend the post harvest life and quality chances	Ayse, 2011
1-MCP + MAP	Fuyu	保持柿果实品质 Maintain quality	Kaynaş et al., 2010
1-MCP + MAP	Tonewase	减少水分流失; 推迟乙烯生成和柿果实软化 Reduce water loss, postpone the commencement of ethylene production and delay fruit softening	Nakano et al., 2001
1-MCP + 真空包装 1-MCP + Vacuum packing	磨盘柿 Mopan Persimmon	抑制呼吸和乙烯释放, 抑制果肉硬度下降和膜相对透性提高, 延缓软化劣变 Inhibit the respiration rate and ethylene production, depress the declining firmness and the increasing of membrane relative permeability, keep fresh firmness	刘成红, 2007
1-MCP + 乙醇气体 1-MCP + Ethanol vapor	Rendaiji	推迟软化; 延长货架期; 增加TSS含量, 减少失重, 抑制果色变化 Delay fruit softening, extend shelf-life, increase TSS content, reduce weight loss and color development	Ortiz et al., 2005

柿果实脱涩处理的同时辅以 1-MCP, 不仅可以降低呼吸速率和乙烯释放, 延缓柿果实软化, 延长果实贮藏期和货架期, 还能保持果实品质, 并在细胞水平上调控细胞膜的相对透性和与软化相关酶的活性, 但两者的相互作用在不同品种、地区、年份等方面差异较大, 需要进行深入的系统研究。

5 展望

1-MCP 是一种良好的柿果实采后贮藏保鲜剂, 也是研究由乙烯引起的果实成熟衰老机理的重要手段。但在柿果实采后贮藏保鲜进程中的 1-MCP 效应仍有一些问题尚待澄清, 包括: (1) 抗乙烯效应的确切机制尚不清楚, 如 1-MCP 与乙烯受体结合的确切位点与作用方式、乙烯结合的再生受体等; (2) 大部分的研究是针对当地单个或有限的少数品种进行的, 品种之间的差异程度还没有进行过系统的研究; (3) 1-MCP 在柿果实采后保鲜方面的应用研究颇多, 但在商业应用时应考虑柿果实品种、成熟度、成熟期、采收和处理时间、处理温度及预期效果等多种因素, 同时采前处理也会影响 1-MCP 的使用效果, 因此需要进一步拓宽研究对象, 将众多因素纳入研究范畴, 注重 1-MCP 的实际应用效果; (4) 1-MCP 在柿果实保鲜的应用有时还会出现负面的影响, 如 1-MCP 处理后柿果实贮藏后期出现果实脱涩不均匀和不同程度的腐烂, 不同品种对 1-MCP 呈现相反的效应等。所有这些问题均有待进一步研究。

References

- Arnal L, del Río M A. 2004. Effect of cold storage and removal astringency on quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki* L.) cv. Rojo Brillante. Food Science and Technology International, 10 (3): 179 - 185.
- Ayşe Tulin Öz. 2011. Combined effects of 1-methyl cyclopropene (1-MCP) and modified atmosphere packaging (MAP) on different ripening stages of persimmon fruit during storage. African Journal of Biotechnology, 10 (5): 807 - 814.
- Besada C, Arnal L, Salvador A. 2008. Improving storability of persimmon cv. Rojo Brillante by combined use of preharvest and postharvest treatments. Postharvest Biology and Technology, 50: 169 - 175.
- Cameron A C, Reid M S. 2001. 1-MCP blocks ethylene induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient. Postharvest

- Biology and Technology, 22: 169 – 177.
- Cristina B, Richard C J, Shane O, Allan B W. 2010. Response of ‘Fuyu’ persimmons to ethylene exposure before and during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 57: 124 – 131.
- Fan X, Blankenship S M, Mattheis J P. 1999. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124 (6): 690 – 695.
- Gao Mei, Zhang Ji-shu. 1999. The effect of spermidine on ethylene biosynthesis of the postharvested persimmon. *Acta Horticulturae Sinica*, 26 (6) 364 – 368. (in Chinese)
- 高 梅, 张继澍. 1999. 亚精胺对柿果实采后乙烯生物合成的影响. *园艺学报*, 26 (6): 364 – 368.
- George A P, Redpath S. 2008. Health and medicinal benefits of persimmon fruit: A review. *Advances in Horticultural Science*, 22 (4): 244 – 249.
- Golding J B, Shearer D, Wyllie S G, McGlasson W B. 1998. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 14 (1): 87 – 98.
- Guan Xia-yu, Chen Qing-xi. 2006. Recent advances in study on application of 1-methylcyclopropene for storage and preservation of fruits. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 8 (4): 46 – 49. (in Chinese)
- 关夏玉, 陈清西. 2006. 1-MCP采后处理在果实贮藏保鲜上应用的研究进展. *中国农业科技导报*, 8 (4): 46 – 49.
- Harima S, Nakano R, Yamamoto T, Komatsu H, Fujimoto K, Kitano Y, Kubo Y, Inaba A, Tomita E. 2001. Postharvest fruit softening in forcing-cultured ‘Tonewase’ Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 70 (2): 251 – 257.
- Harima S, Nakano R, Yamauchi S, Kitano Y, Yamamoto Y, Inaba A, Kubo Y. 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP. *Postharvest Biology and Technology*, 29: 318 – 323.
- Hu Fang, Ma Shu-shang, Hou Da-guang. 2007. Ripening behavior of sweet persimmon fruit with 1-MCP treatment. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 27 (3): 571 – 576. (in Chinese)
- 胡 芳, 马书尚, 侯大光. 2007. 甜柿采后生理特性及对 1-MCP 处理的反应. *西北植物学报*, 27 (3): 571 – 576.
- Hu Fang, Ma Shu-shang, Zhang Ji-shu, Han Qing-mei, Zhao Gang, Wu Chun-lin. 2009. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest physiology and cell ultra-structure of pollination-constant and non-astringent persimmon during storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (4) : 487 – 492. (in Chinese)
- 胡 芳, 马书尚, 张继澍, 韩青梅, 赵 刚, 武春林. 2009. 1-甲基环丙烯对‘富有’甜柿采后主要生理指标及细胞超微结构的影响. *园艺学报*, 36 (4): 487 – 492.
- Itamura H, Kitamura T, Taira S, Harada H, Ito N, Takahashi Y, Fukushima T. 1991. Relationship between fruit softening, ethylene production and respiration in Japanese persimmon ‘Hiratanenashi’. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 60: 695 – 701.
- Jiang Ni-na, Rao Jing-ping, Fu Run-shan, Suo Jiang-tao. 2010. Effects of propylene and 1-methylcyclopropene on PG activities and expression of *DkPGI* gene during persimmon softening process. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (9): 1507 – 1512. (in Chinese)
- 姜妮娜, 饶景萍, 付润山, 索江涛. 2010. 柿果实采后软化中PG酶活性及其基因*DkPGI*的表达. *园艺学报*, 37 (9): 1507 – 1512.
- Jiang Y, Fu Jiarui. 2000. Ethylene regulation of fruit ripening: Molecular aspects. *Plant Growth Regulation*, 30 (3): 193 – 200.
- Jiang Y, Joyce D C, Macnish A J. 1999. Responses of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene. *Plant Growth Regulation*, 28 (2): 77 – 82.
- Kang I K, Chang K H, Byun J K. 1998. Changes in activities of cell wall hydrolases during ripening and softening in persimmon fruits. *Journal of the Korean Society for Horticultural Sciences*, 39 (1): 55 – 59.
- Kaynaş K, Sakaldaş M, Kuzucu F C, Biçen E. 2010. The combined effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging on fruit quality of ‘Fuyu’ persimmon fruit during storage. *ISHS Acta Horticulturae*, 876: 151 – 158.
- Kim Y K, Lee J M. 2005. Extension of storage and shelf-life of sweet persimmon with 1-MCP. *ISHS Acta Horticulturae*, 685: 165 – 174.
- Koyuncu M A, Savran E, Dilmacunal T, Kepenek K, Cangi R, Cagatay O. 2005. The cold storage of some persimmon fruit cultivars. *Journal of Faculty of Agriculture, Akdeniz University*, 18 (1): 15 – 23.
- Krammes J G, Argenta L C, Vieira M J. 2006. Influences of 1-methylcyclopropene on quality of persimmon fruit cv. ‘Fuyu’ after cold storage. *Acta Horticulturae*, 727: 513 – 518.
- Ku V V V, Wills R B H, Ben-Yehoshua S. 1999. 1-methylcyclopropene can differentially affect the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *HortScience*, 34 (1): 119 – 120.
- Li Shuang, Zhang Ping, Li Jiang-kuo, Liu Cheng-hong. 2007. Studies on de-astringent and crispness-keeping for Mopan persimmon treated by high

- concentration CO₂ and 1-MCP. Journal of Anhui Agricultural Science, 35 (7): 2082 – 2083, 2147. (in Chinese)
- 李 爽, 张 平, 李江阔, 刘成红. 2007. 高浓度CO₂和1-MCP处理对磨盘柿脱涩和保脆效果的影响. 安徽农业科学, 35 (7): 2082 – 2083, 2147.
- Liu Cheng-hong. 2007. Studies on effects of 1-MCP treatment in combination with vacuum packing on storability of Mopan persimmon [M. D. Dissertation]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology. (in Chinese)
- 刘成红. 2007. 1-MCP结合真空包装双重处理对柿果实贮藏保鲜效果影响的研究[硕士论文]. 天津: 天津科技大学.
- Liu Le, Rao Jing-ping, Chang Xiao-xiao, Yi Shun-chao. 2009. Effects of propylene and 1-methylcyclopropene on expressions of ACC synthase and ACC oxidase genes in persimmon fruits. Scientia Agricultura Sinica, 42 (6): 2092 – 2097. (in Chinese)
- 刘 乐, 饶景萍, 常晓晓, 弋顺超. 2009. 丙烯和 1-MCP 处理对采后柿果实 ACS 和 ACO 基因表达的影响. 中国农业科学, 42 (6): 2092 – 2097.
- Luo Zisheng. 2007. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of postharvest persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit. LWT – Food Science and Technology, 40: 285 – 291.
- Luo Zi-sheng. 2005. Changes in cell wall component metabolism and ultrastructure of postharvest persimmon fruit during softening. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 31 (6): 651 – 656. (in Chinese)
- 罗自生. 2005. 柿果实采后软化过程中细胞壁组分代谢和超微结构的变化. 植物生理与分子生物学报, 31 (6): 651 – 656.
- Macnish A J, Hofman P J, Joyce D C, Simons D H, Reid M S. 2000. 1-Methylcyclopropene treatment efficacy in preventing ethylene perception in banana fruit and grevillea and waxflower flowers. Australian Journal of Experimental Agriculture, 40 (3): 471 – 481.
- MacRae E A. 1987a. Development of chilling injury in New Zealand grown 'Fuyu' persimmon during storage. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 15: 333 – 344.
- MacRae E A. 1987b. Storage and shelf life of Fuyu and flat Fuyu persimmon in New Zealand 1984 – 1986. Auckland, New Zealand: Division of Horticulture and Processing, DSIR Postharvest Bulletin: 335.
- Mathooko F M, Tsunashima Y, Owino W Z O, Kubo Y, Inaba A. 2001. Regulation of genes encoding ethylene biosynthetic enzymes in peach (*Prunus persica* L.) fruit by carbon dioxide and 1-methylcyclopropene. Postharvest Biology and Technology, 21 (3): 265 – 281.
- Mattheis J P, Fan X T, Argenta L C. 2005. Interactive responses of Gala apple fruit volatile production to controlled atmosphere storage and chemical inhibition of ethylene action. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (11): 4510 – 4516.
- Nakano R, Harima S, Kubo Y, Inaba A. 2001. Delay of fruit softening in forcing-cultured 'Tonewase' Japanese persimmon by packing in perforated polyethylene bags. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 70 (3): 385 – 392.
- Nakano R, Inoue S, Kubo Y, Inaba A. 2002. Water stress-induced ethylene in the calyx triggers autocatalytic ethylene production and fruit softening in 'Tonewase' persimmon grown in a heated plastic-house. Postharvest Biology and Technology, 25 (3): 293 – 300.
- Nakano R, Ogura E, Kubo Y, Inaba A. 2003. Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. Plant Physiology, 131: 276 – 286.
- Nakatsuka A, Murachi S, Okunishi H, Shiomi S, Nakano R, Kubo Y, Inaba A. 1998. Differential expression and internal feedback regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening. Plant Physiology, 118 (4): 1295 – 1305.
- Ortiz G I, Sugaya S, Sekozawa Y, Ito H, Wada K, Gemma H. 2005. Efficacy of 1-methylcyclopropene (1-MCP) in prolonging the shelf-life of 'Rendaiji' persimmon fruits previously subjected to astringency removal treatment. The Japanese Society for Horticultural Science, 73: 248 – 254.
- Owino W O, Nakano R, Kubo Y, Inaba A. 2002. Differential regulation of genes encoding ethylene biosynthesis enzymes and ethylene response sensor ortholog during ripening and in response to wounding in avocado. Journal of the American Society for Horticultural Science, 127 (4): 520 – 527.
- Park Y M, Lee Y J. 2005. Ripening responses of 'Fuyu' persimmon fruit to exogenous ethylene and subsequent shelf temperature. ISHS Acta Horticulturae, 685: 151 – 156.
- Pérez-Munuera I, Hernando I, Larrea V, Besada C, Arnal L, Salvador A. 2009. Microstructural study of chilling injury alleviation by 1-methylcyclopropene in persimmon. HortScience, 44 (3): 742 – 745.
- Ramin A A. 2008. Shelf-life extension of ripe non-astringent persimmon fruit using 1-MCP. Asian Journal of Plant Science, 7 (2): 218 – 222.
- Salvador A, Arnal L, Monterde A, Cuquerella J. 2004b. Reduction of chilling injury symptoms in persimmon fruit cv. 'Rojo Brillante' by 1-MCP.

- Postharvest Biology and Technology, 33: 285 – 291.
- Salvador A, Arnal L, Catarina J, Carvalho C P, Jabaloyes J. 2006. Influence of different factors on firmness and color evolution during the storage of persimmon cv. ‘Rojo Brillante’. *Journal of Food Science*, 71 (2): 169 – 175.
- Salvador A, Cuquerella J, Martinez-Javega J M, Monterde A, Navarro P. 2004a. 1-MCP preserves the firmness of stored persimmon ‘Rojo Brillante’. *Journal of Food Science*, 69: 69 – 73.
- Shiomi S, Yamamoto M, Nakamura R, Inaba A. 1999. Expression of ACC synthase and ACC oxidase genes in melons harvested at different stages of maturity. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 68 (1): 10 – 17.
- Sisler E C, Serek M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plant at the receptor level: Recent developments. *Physiologia Plantarum*, 100 (3): 577 – 582.
- Sisler E C, Serek M. 1999. Compounds controlling the ethylene receptor. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 40: 1 – 7.
- Sisler E C, Serek M. 2003. Compounds interacting with the ethylene receptor in plants. *Plant Biology*, 5: 473 – 480.
- Sun Ling-qiang, Li Zhao-hu, Wang Qian, Duan Liu-sheng. 2005. Freshness-keeping effect of 1-methylcyclopropene on persimmon fruits stored under room-temperature. *Journal of China Agricultural University*, 10 (5): 52 – 57. (in Chinese)
- 孙令强, 李召虎, 王 倩, 段留生. 2005. 1-甲基环丙烯对室温贮存磨盘柿的保鲜作用. *中国农业大学学报*, 10 (5): 52 – 57.
- Takeshi N, Taeko I, Takeshi O, Banjo M. 2005. Effects of 1-methylcyclopropene on flesh firmness during storage of pollination-constant and non-astringent cultivars of Japanese persimmon (*Diospyros kaki*). *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 52 (2): 68 – 73.
- Tian Chang-he, Rao Jing-ping, Feng Wei. 2005. Influence of 1-MCP on postharvest physiological characteristics of persimmon fruits. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 23 (5): 123 – 126. (in Chinese)
- 田长河, 饶景萍, 冯 伟. 2005. 1-MCP处理对柿果实实采后生理效应的影响. *干旱地区农业研究*, 23 (5): 123 – 126.
- Tsviling A, Nerya O, Gizis A, Sharabi-Nov A, Ben Arie R. 2003. Extending the shelf-life of ‘Triumph’ persimmons after storage with 1-MCP. *ISHS Acta Horticulturae*, 599: 53 – 58.
- Watkins C B. 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24: 389 – 409.
- Watkins C B. 2008. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. *HortScience*, 43 (1): 86 – 94.
- Wills R, McGlasson B, Graham D, Joyce D. 1998. *Postharvest: An Introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals*. Australia: UNSW Press: 60 – 76.
- Xu C-G, Nakatsuka Akira, Itamura Hiroyuki. 2004. Effects of 1-methylcyclopropene (MCP) treatment on ethylene production, softening and activities of cell wall degrading enzymes in ‘Saijo’ persimmon [*Diospyros kaki*] fruit after removal of astringency with dry ice. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 73 (2): 184 – 188.
- Yang S F, Hoffman N E. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35 (1): 155 – 189.
- Zhang Yu, Rao Jing-ping, Sun Yun-jing, Li Shan-shan. 2010. Reduction of chilling injury in sweet persimmon fruit by 1-MCP. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (4): 547 – 552. (in Chinese)
- 张 宇, 饶景萍, 孙允静, 李珊珊. 2010. 1-甲基环丙烯对甜柿贮藏中冷害的控制作用. *园艺学报*, 37 (4): 547 – 552.
- Zheng Qiao-lin, Akira Nakatsuka, Satoshi Taira, Hiroyuki Itamura. 2005. Enzymatic activities and gene expression of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) synthase and ACC oxidase in persimmon fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 37: 286 – 290.
- Zhou Yong-hong. 2008. Study on dielectric properties of persimmon fruit and influence of 1-MCP on physiological characteristic of persimmon fruit [M. D. Dissertation]. Yangling, Shaanxi: Northwest Agricultural and Forest University. (in Chinese)
- 周永洪. 2008. 柿果实电学特性和1-MCP对脱涩柿果实生理效应的研究[硕士论文]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学.
- Zhu Dong-xing, Rao Jing-ping, Ren Xiao-lin, Pu Peng. 2004. Effects of postharvest treatment with 1-MCP on ripening and softening of persimmon fruits. *Acta Horticulture Sinica*, 31 (1): 87 – 89. (in Chinese)
- 朱东兴, 饶景萍, 任小林, 蒲 鹏. 2004. 柿果实 1-甲基环丙烯处理对成熟软化的影响. *园艺学报*, 31 (1): 87 – 89.
- Zhuang Yan, Guo Chun-hui, Rao Jing-ping, Wu Bao-li, Mu Cui-e. 2007. Effect of 1-MCP on physiological changes of persimmon fruits during-storage period. *Journal of Northwest A & F University: Nat Sci Ed*, 35 (8): 91 – 96. (in Chinese)
- 庄 艳, 郭春会, 饶景萍, 乌宝利, 穆翠娥. 2007. 1-甲基环丙烯处理对火晶柿果贮藏期间生理指标变化的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 35 (8): 91 – 96.