

## 1-甲基环丙烯延缓果实衰老的生理效应及其应用

李志强<sup>1,2</sup>, 汪良驹<sup>1,\*</sup>, 王文辉<sup>2</sup>, 朱云娜<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南京农业大学园艺学院, 南京 210095; <sup>2</sup>中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100

## Physiological Effect and Application of 1-MCP on Delaying Fruit Senescence

LI Zhi-Qiang<sup>1,2</sup>, WANG Liang-Ju<sup>1,\*</sup>, WANG Wen-Hui<sup>2</sup>, ZHU Yun-Na<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng, Liaoning 125100, China

**摘要:** 文章介绍 1-甲基环丙烯(1-MCP)延缓果实后熟衰老、延长贮藏和货架期效果的研究进展, 同时探讨了 1-MCP 抑制果实衰老的生理基础和应用前景。

**关键词:** 1-甲基环丙烯; 果实衰老; 生理效应; 应用

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)作为一种乙烯抑制剂, 具有稳定、高效和无毒的优点, 在延缓果实成熟衰老方面受到越来越多的重视, 所研究的果实种类由最早的苹果(*Malus pumila*) (Kondo等2005)、梨(*Pyrus*) (Trincherio等2004)和猕猴桃(*Actinidia*) (Boquete等2004)等适合中长期贮藏的果实逐渐发展到草莓(*Fragaria ananassa*) (Tian等2000; 李志强等2006)、樱桃(*Cerasus*) (刘尊英等2005)和西瓜(*Citrullus lanatus*) (Mao等2004)等应市鲜果, 研究领域也已向分子生物学方向深入(Li等2000; Mathooko等2001)。由于 1-MCP 在延缓果实衰老方面的卓越表现, 保鲜剂贮藏逐渐成为继低温贮藏和气调贮藏后一个新的研究热点。

本文根据 1-MCP 对不同种类和品种的果实采后生理的研究成果, 结合我们的工作探讨了 1-MCP 在果实成熟衰老过程中的作用机制, 为其在生产中应用从理论上提供参考。

### 1 1-MCP 与果实采后品质的关系

虽然 1-MCP 对果实采后品质的效果因果实种类、品种以及其使用浓度、处理时间的不同而异, 但 1-MCP 在恰当的处理条件下, 能够延缓多种果实采后的品质下降, 主要表现在以下三方面。

**1.1 保持果实硬度, 延缓贮藏期间果实的软化** 硬度是检测果实采后生理变化的重要指标之一。在后熟过程中, 伴随着果实中乙烯的产生, 原果胶水解为可溶性果胶, 果实硬度迅速下降。在不同

贮藏温度下, 1-MCP 都能延缓果实硬度下降, 而且与处理浓度之间存在着一定的剂量-反应关系(王文辉等2004; 孙希生等2004), 即 1-MCP 处理浓度越高, 果实硬度下降越缓慢。但 1-MCP 延缓果实硬度下降的程度因品种而异(Sun等2003; 朱东兴等2004), 甚至有的品种果实在贮藏后期会出现因果实失水而硬度增加的现象。

**1.2 延缓果实糖分的消耗, 减少可滴定酸损失** 果实在运输和贮藏期间, 糖分和可滴定酸含量降低是果实品质下降的主要方面。对酸度较低的品种来说, 控制这 2 个指标的降低尤为重要。有研究表明, 1-MCP 可以明显地延缓苹果(孙希生等2004)和枣(*Zizyphus jujuba*) (Jiang等2003)等果实在贮藏期和货架期的糖分消耗。0.3~1.0  $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  浓度范围内, 1-MCP 可延缓果实可溶性固形物含量下降, 可溶性固形物含量与处理浓度呈正相关关系(孙希生等2004)。1-MCP 也可以延缓软肉梨(王文辉等2004)、香蕉(*Musa*) (Golding等1998)等采后需要经过后熟果实贮藏初期可溶性固形物的上升和贮藏后期可溶性固形物的下降, 说明 1-MCP 可抑制果实中淀粉转化和可溶性糖降解。1-MCP 还可较好地维持果实可滴定酸的含量, 尤其是在果实贮藏中后期(Trincherio等2004; 马书尚等

收稿 2006-11-06 修订 2006-12-25

资助 江苏省科技攻关(农业)重大项目(BE2006312)。

\* 通讯作者(E-mail: wlj@njau.edu.cn; Tel: 025-84395265)。

2003)。随着贮藏期的延长, 经 1-MCP 处理的果实可滴定酸与未经 1-MCP 处理的差异越来越显著。

**1.3 保持果实底色, 影响果实风味** 1-MCP 延缓果实衰老, 还表现在影响果实的外观品质上。一方面, 1-MCP 抑制果皮叶绿素降解, 延缓果肉颜色变化(孙希生等 2004; Sun 等 2003)。随着 1-MCP 浓度的提高, 这种影响越加显著, 且对防止果柄在贮藏期的干枯褐变也有明显作用。贮藏后的果实外观新鲜如初, 因而果品市场竞争力也可以提高。另一方面, 1-MCP 可以有效地防止贮藏后期果皮褐变的发生(庞学群等 2001; Rupasinghe 等 2001)。其主要原因是 1-MCP 可延缓  $\alpha$ -法尼烯的产生及其氧化物的积累, 从而防止果实贮藏期间的生理失调。但 1-MCP 并不影响  $\alpha$ -法尼烯合成途径中 3-羟基-3-甲基戊二酰基辅酶 A 还原酶(3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase, HMGR) 和法尼基焦磷酸合成酶(farnesyl pyrophosphate synthase, FPS) 基因的表达, 说明 1-MCP 不是在基因水平上影响  $\alpha$ -法尼烯合成(Pechous 等 2005)。其具体的机制还待进一步研究。

1-MCP 影响果实风味, 其具体效应受果实种类、品种、成熟度及处理浓度、时间等诸多因素的影响。首先, 1-MCP 可以抑制贮藏期和货架期的果实硬度、可溶性固形物及可滴定酸的下降, 客观上可提高果实的食用品质和风味。其次, 1-MCP 对有些品种的果实风味有一定的负面影响。如在常温下, 1-MCP 对‘锦香’等软肉梨(王文辉等 2004)的正常后熟没有影响; 但若在低温贮藏后再于常温下完成后熟, 则经 1-MCP 处理的果实后熟期长于未处理的, 而且处理果实转色不均匀, 果皮厚, 汁少味淡。这一不良效应随着 1-MCP 浓度的增加和冷藏时间的延长越明显。因而, 软肉梨成熟受到过度抑制可能会影响后熟。1-MCP 对果实风味的影响主要是抑制其芳香物质的形成, 果实的挥发性醇和酯总量减少(Kondo 等 2005)。

## 2 1-MCP 延缓果实后熟衰老的生理基础

1-MCP 是由甲基取代环丙烯 1 位上的氢离子而形成的小分子化合物, 分子式为  $C_4H_6$ , 空间为

平面结构, 具有比乙烯更高的双键张力和化合能, 其作用机制为竞争模型理论(Sisler 和 Serek 1997, 1999), 即 1-MCP 与乙烯受体金属离子结合, 致使乙烯信号传导受阻, 从而延缓果实后熟衰老。

**2.1 对呼吸作用和乙烯的调节** 作为乙烯的抑制剂, 1-MCP 可削弱呼吸跃变型果实的呼吸速率, 延迟果实释放乙烯高峰的出现。例如在苹果(孙希生等 2004; Mir 等 2001) 和梨(Trincherro 等 2004) 中, 不同温度下的呼吸高峰出现都推迟, 而且呼吸峰值下降。由于乙烯的产生和呼吸速率变化可以直接反映果实代谢状况, 影响果实后熟和衰老, 因此, 乙烯和呼吸速率的变化直观地反映了 1-MCP 对果实采后生理影响, 进一步证明 1-MCP 明显延缓果实成熟和衰老。

1-MCP 延缓果实衰老与果实生理状态有关。果实中乙烯已经大量生成后, 1-MCP 的抑制作用不明显(Trincherro 等 2004; Bonghi 等 2002), 因而, 1-MCP 的抑制作用对跃变前和跃变期的果实有效, 而跃变后是无效的。软肉梨经 1-MCP 处理后, 在低温下贮藏不能正常后熟, 但在常温下可以。这可能是由于常温下果实生理活动旺盛, 产生新的乙烯受体或 1-MCP 与乙烯受体结合的时间缩短后, 削弱了 1-MCP 的抑制作用效果。在香蕉中, 经过 1-MCP 处理的果实一旦重新获得对乙烯的敏感性, 其所形成的乙烯峰值明显高于未经 1-MCP 处理的(Golding 等 1998)。这一现象可能与 N-丙二酰-1-氨基环丙烷-1-羧酸(N-malonyl-1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, MACC) 转化为 1-氨基环丙烷-1-羧酸(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, ACC) 有关。因为乙烯生成受 1-MCP 抑制时, ACC 转化为 MACC。一旦抑制解除, 大量积累的 MACC 可转化成 ACC 和乙烯, 致使乙烯在短时间内大量产生。另外, 乙烯的反馈调节可能也起一定的作用(罗云波和蔡同一 2001)。尽管乙烯生成会出现补偿效应, 但果实呼吸速率一直处于较低水平, 即使在贮藏后期也没有大的变化, 这可能与跃变后期呼吸底物的水平较低有关。

对于非呼吸跃变型果实来说, 一般认为 1-MCP 的延缓效应不明显, 因为它们的成熟过程不

受乙烯调控。但是在草莓中,  $0.9 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  1-MCP 能够显著抑制草莓呼吸速率, 降低乙烯浓度的变化幅度和延缓其成熟衰老(李志强等 2006)。1-MCP 的这方面作用机制还尚待研究。

**2.2 对酶活性和基因表达的调节** 1-MCP对果实后熟和衰老的抑制还表现在影响果实中某些酶的活性和基因表达(Nakatsuka等 1998)。1-MCP对乙烯的抑制作用与脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性变化有很密切的关系(许文平等 2000), 后者参与氧自由基( $\text{O}_2\cdot^-$ )的生成、ACC合成酶(ACC synthase, ACS)和ACC氧化酶(ACC oxidase, ACO)活性以及ACC合成。近来有人认为, LOX和ACO可能是生物体内存在的2个平行的酶系, 两者均有合成乙烯的能力。1-MCP对乙烯合成的抑制不仅与乙烯受体有关, 也与调节LOX等合成乙烯的上游调控因子有密切关系。在1-MCP抑制果实乙烯产生的同时, LOX活性也明显受抑制(Boquete等 2004; 李志强等 2006)。

抗氧化酶系统与果实成熟衰老也有密切的关系, 1-MCP能够影响活性氧清除酶活性。在桃(*Amygdalus persica*) (Mathooko等 2001)和苹果(高敏和张继澍 2001)中的研究表明, 1-MCP明显抑制超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性前期的增加和后期的下降。但在荔枝(*Litchi chinensis*) (庞学群等 2001)中, 1-MCP对SOD和POD的活性作用效果不明显。而在草莓果实(李志强等 2006)中, 1-MCP对其过氧化氢酶(catalase, CAT)和POD活性没有作用, 但明显抑制SOD活性前期的增加和后期的下降。说明果实种类不同, 1-MCP对活性氧清除酶系统影响也不同。

在保持果实硬度的研究中, Mwaniki等(2005)认为, 1-MCP明显抑制西洋梨(*Pyrus communis*)的 $\beta$ -半乳糖苷酶( $\beta$ -galactosidase, GAL)活性。Jeong等(2002)观察到, 1-MCP抑制鳄梨(*Persea americana*)果实中多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲脂酶、 $\alpha$ -半乳糖苷酶、GAL及纤维素酶的活性, 说明1-MCP是通过抑制与软化相关酶活性来保持果实硬度的。

1-MCP在转录水平上抑制与乙烯相关基因的表达(Bonghi等 2002; Solomos等 2002), 调节乙烯的合成和作用。Nakatsuka等(1998)提出, 1-

MCP能够诱导番茄果实 *LE-ACS6* 基因表达。这是ACS的控制基因, 出现于果实呼吸跃变前, 能够抑制ACS和ACO转录。此外, 1-MCP在一定程度上可抑制 *LE-ACS2*、*LE-ACS4*、*LE-ACO1*和 *LE-ACO4* mRNA的积累。这些基因在果实进入乙烯合成系统时能够大量表达, 催化乙烯自身合成。1-MCP还抑制日本梨(*Pyrus pyrifolia*)果实中与果聚糖合成相关 *PPFRU21*、*PPFRU36*和 *PPFRU16* 基因表达, 也抑制ACO的一个cDNA克隆 *PPAOX1* 的表达水平(Itai等 2000)。Mwaniki等(2005)在西洋梨中的研究表明, 1-MCP抑制GAL基因家族中 *PCGAL1*和 *PCGAL4* 2个基因在转录水平上的表达, 但对PCGAL家族中其它基因没有影响, 其主要原因是PCGAL家族中只有 *PCGAL1*和 *PCGAL4* 表达受到乙烯的调控。在桃中, 1-MCP并不能抑制乙烯受体基因 *ETR1* 的表达(Bonghi等 2002); 在苹果中, 1-MCP只抑制ACS和乙烯受体基因 *ERS1* 的表达(Solomos等 2002)。1-MCP对果实受体基因的表达抑制作用规律目前还不很清楚。1-MCP控制果实乙烯的生成和作用也可能是通过乙烯受体和反馈调节等多个途径实现的。这为进一步研究1-MCP对乙烯的抑制作用提供了新的思路。

### 3 1-MCP在我国果实贮运中的应用

**3.1 应用技术研究** 自1973年Sisler和Pian报道一些烯炔类化合物可以阻止乙烯反应以来, Sisler和Serek(1997, 1999)又相继发现了许多有效的乙烯受体抑制剂, 其中1-MCP因其稳定、高效和无毒的优点最具有商品应用价值, 并且首先在切花保鲜(Serek等1994)中获得了理想效果。随着气体1-MCP成功研制成商品名为Ethbloc固体粉末, 其生产应用即进入一个新阶段。1999年, 美国环境保护署正式批准可在园艺植物中使用。1-MCP在我国果实贮运中的应用研究始于2000年, 最早是在苹果(孙希生等 2001a)和梨(孙希生等 2001b)中, 而后又迅速拓展用于其它果实(表1)。1-MCP可在不同程度上延缓多种果实的成熟衰老。但在应用过程中, 人们观察到果实的贮藏寿命还受果实的产地、品种、气候和采收成熟度等其它因素的影响, 今后在技术推广中应该注意。

**3.2 应用技术的推广** 目前, 在我国市场上销售的

表1 1-MCP处理后我国一些主栽水果的贮藏寿命

果实种类和品种	1-MCP 浓度/ $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$	贮藏温度					
		20~25 °C			0~5 °C		
		对照贮藏时间/d	1-MCP 处理贮藏时间/d	延长时间/d	对照贮藏时间/d	1-MCP 处理贮藏时间/d	延长时间/d
苹果 ‘金冠’ (孙希生等2004)	1.0	40	55	15	120	180	40
‘红富士’ (孙希生等2003)	1.0	40	60	20	120	180	40
‘新红星’ (孙希生等2001a)	1.0	40	56	16	120	170	50
梨 ‘砀山酥’ (孙希生等2001b)	1.0	13	21	8	120	150	30
‘丰水’ (王文辉等2003)	1.0	15	21	6	120	155	35
‘锦香’ (王文辉等2004)	1.0	10	24	14	70	120	50
‘巴黎’ (Li 等2000)	0.8	9	21	12	100	160	60
‘翠冠’ (颜志梅等2004)	1.0	12	18	6	100	130	30
桃 (马书尚等2003)	1.0	3	4	1	28	35	7
油桃 (马书尚等2003)	1.0	7	10	3	35	40	5
香蕉 (苏小军等2003a, b)	6.0	11	16	5	不后熟	不后熟	0
猕猴桃 (赵迎丽等2005)	0.75	10	20	10	135	150	15
枣 (白华飞等2004)	1.0	6	9	3	12	20	8
草莓 (李志强等2006)	0.9	5	7	2	11	20	9
番茄 (Sun 等2003)	0.5	7	20	13	15	30	15

表中列出的是苹果和梨中有代表性的品种, 其它果实指标依据相关报道资料得来, 其采收和贮藏条件以参考文献为准。

1-MCP 商品名为安喜培, 分为美国生产和台湾生产 2 种, 其中较多的是美国产品, 其公司已经在我国设立了代理处。据不完全统计, 2004 年在山东地区有 6 万吨苹果采用 1-MCP 贮藏, 2005 年已超过 10 万吨, 主要是 ‘富士’ 苹果。随着技术的日益成熟, 在苹果品种 ‘嘎拉’ 和 ‘乔纳金’ 中也有逐渐推广的趋势。在梨中, 目前主要用于京津地区生产的梨果实, 今后发展潜力很大。

1-MCP 保鲜技术推广已有数年, 仍然存在一些制约因素: (1) 1-MCP 在大多数果实中的应用尚停留在试验阶段, 其大规模推广技术尚待完善。(2) 贮藏成本偏高。目前用 1-MCP 贮藏的成本主要由药剂和技术咨询两部分构成, 折合每公斤果实为 0.3 元左右。如果贮后果实售价偏低, 则难以推广应用。(3) 固态粉末 1-MCP 合成技术目前仍由国外公司掌控, 有待国产化。针对以上问题, 我们认为应该扩大 1-MCP 试验的规模, 其技术推广应以高档水果为重点, 加大我国水果出口, 同时加大 1-MCP 合成技术的研发力度, 降低其技术成本。

#### 4 结束语

作为乙烯作用抑制剂, 1-MCP 在果实贮藏保

鲜中已经表现出良好的应用前景和商业可操作性, 但由于以前的研究多是集中于切花保鲜, 只是近些年来才在果实中应用, 许多问题尚待解决。从整体上看, 我们认为应加强以下几方面的研究: (1) 进一步从生理生化和分子水平上研究 1-MCP 延缓果实成熟衰老作用机制, 从抑制乙烯的产生和作用、乙烯抑制效应产生的反馈调控机制等方面着手, 尤其要重视对乙烯合成上游调控因子及其调控机制和乙烯受体合成及其基因表达的研究; (2) 深入开展 1-MCP 对果实贮藏期间生理病害 (如梨黑皮病和苹果虎皮病) 和侵染病害的作用机制的研究; (3) 研究 1-MCP 对果实尤其对非呼吸跃变果实采后生理以及芳香物质合成的影响, 并将 1-MCP 与其它贮藏方法相结合, 减少其负面效应, 提高果实采后的品质和风味; (4) 1-MCP 对果实采后生理的影响与诸多因素有关, 应加强对果实不同品系、1-MCP 使用浓度和处理时间等因素进行系统和全面的研究; (5) 结合其它学科的发展, 深入研究 1-MCP 对乙烯以外的其它植物激素和相关酶以及蛋白、糖类等营养物质代谢的研究, 从而更系统地了解乙烯作用的生理机制和分子生物学基础,

为科学地延长果实贮藏期和增加水果产业的经济效益服务。

### 参考文献

- 白华飞, 杨晓棠, 吴锦铸, 陆旺金, 张昭其(2004). 1-甲基环丙烯对台湾青枣采后生理效应的影响. 热带亚热带植物学报, 12 (4): 363~366
- 高敏, 张继澍(2001). 1-甲基环丙烯对红富士苹果酶促褐变的影响. 植物生理学通讯, 37 (6): 522~524
- 李志强, 汪良驹, 巩文红, 王中华(2006). 1-MCP对草莓果实采后生理及品质的影响. 果树学报, 23 (1): 125~128
- 刘尊英, 曾名勇, 董士远, 宋艳, 张玉玉(2005). 1-甲基环丙烯对甜樱桃果实褐变的影响. 果树学报, 22 (5): 488~491
- 罗云波, 蔡同一主编(2001). 园艺产品贮藏加工学(贮藏篇). 北京: 中国农业大学出版社, 16~17
- 马书尚, 唐燕, 武春林, 刘亚龙, 杜光源(2003). 1-甲基环丙烯和温度对桃和油桃贮藏品质的影响. 园艺学报, 30 (5): 525~529
- 庞学群, 张昭其, 段学武, 季作梁(2001). 乙烯与1-甲基环丙烯对荔枝采后果皮褐变的影响. 华南农业大学学报, 22 (4): 11~14
- 苏小军, 蒋跃明, 李月标(2003a). 1-MCP对香蕉果实货架期的影响. 亚热带植物科学, 32 (1): 1~3
- 苏小军, 蒋跃明, 张昭其(2003b). 1-甲基环丙烯对低温贮藏的香蕉果实后熟的影响. 植物生理学通讯, 39 (5): 437~440
- 孙希生, 王文辉, 李志强, 王志华(2001a). 1-MCP对红星苹果保鲜效果的影响. 见: 朱德蔚主编. 中国园艺学会第九届学术年会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 51~56
- 孙希生, 王文辉, 李志强, 王志华, 张志云(2001b). 1-MCP对砀山酥梨保鲜效果的影响. 保鲜与加工, 1 (6): 14~17
- 孙希生, 王文辉, 王志华, 李志强, 张志云(2003). 1-MCP对红富士苹果采后保鲜的影响. 中国果树, (1): 8~11
- 孙希生, 王志华, 辛广, 王文辉, 李志强(2004). 不同处理条件下1-MCP对金冠苹果呼吸强度和品质的影响. 果树学报, 21 (2): 141~144
- 王文辉, 孙希生, 李志强, 王志华, 张志云(2004). 1-MCP对梨采后某些生理生化指标的影响. 植物生理学通讯, 40 (2): 175~177
- 王文辉, 孙希生, 王志华, 李振茹, 阮志恒, 张勇(2003). 黄金和丰水梨贮藏保鲜研究初报. 中国果树, (6): 12~14
- 许文平, 陈昆松, 李方, 张上隆(2000). 脂氧合酶、茉莉酸和水杨酸对猕猴桃果实后熟软化进程乙烯生物合成的调控. 植物生理学报, 26 (6): 507~514
- 颜志梅, 蔺经, 盛宝龙, 李晓刚, 杨青松(2004). 1-MCP处理对梨常温贮藏效果的影响. 江苏农业学报, 20 (3): 189~193
- 赵迎丽, 李建华, 石建新, 王春生(2005). 不同温度下1-MCP处理对猕猴桃果实贮藏的影响. 山西农业大学学报, 25 (2): 153~156
- 朱东兴, 饶景萍, 任小林, 蒲鹏(2004). 1-甲基环丙烯处理对柿果实成熟软化的影响. 园艺学报, 31 (1): 87~89
- Bonghi C, Ramina A, Rasori A (2002). Ethylene biosynthesis and perception in peach fruit ripening. In: XXVI the International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc, 237
- Boquete EJ, Trinchero GD, Frascina AA, Vilella F, Sozzi GO (2004). Ripening of 'Hayward' kiwifruit treated with 1-methylcyclopropene after cold storage. Postharvest Biol Technol, 32: 57~65
- Golding JB, Shearer D, Wyllie SG, McGlasson WB (1998). Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. Postharvest Biol Technol, 14: 87~98
- Itai A, Tanabe K, Tamura F, Tanaka T (2000). Isolation of cDNA clones corresponding to genes expressed during fruit ripening in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai): involvement of the ethylene signal transduction pathway in their expression. J Exp Bot, 51 (347): 1163~1166
- Jeong J, Huber DJ, Sargent SA (2002). Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene on softening, ripening and cell wall matrix polysaccharides of avocado fruit. In: XXVI the International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc, 241
- Jiang WB, Sheng Q, Jiang YM, Zhou XJ (2003). Effect of 1-methylcyclopropene and gibberellic acid on ripening of Chinese jujube (*Zizyphus jujube* M.) in relation to quality. J Sci Food Agricul, 84: 31~35
- Kondo S, Setha S, Rudell DR, Buchanan DA, Mattheis JP (2005). Aroma volatile biosynthesis in apples affected by 1-MCP and methyl jasmonate. Postharvest Biol Technol, 36: 61~68
- Li ZG, El-Sharkawy I, Bouzayen M, Latché A, Pech JC, Lelievre JM (2000). Effects of cold treatment on ethylene biosynthesis and responsiveness during ripening of pear (*Pyrus communis* L.) fruits. Acta Phytophysiol Sin, 27 (5): 313~316
- Mao L, Karakurt Y, Huber DJ (2004). Incidence of water-soaking and phospholipid catabolism in ripe watermelon (*Citrullus lanatus*) fruit: induction by ethylene and prophylactic effects of 1-methylcyclopropene. Postharvest Biol Technol, 33: 1~9
- Mathooko FM, Tsunashima Y, Owino WZO, 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 Biol Technol, 21: 265~281
- Mir NA, Curell E, Khan N, Whitaker M, Beaudry RM (2001). 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, 126 (5): 618~624
- Mwaniki MW, Mathooko FM, Matsuzaki M, Hiwasa K, Tateishi A, Ushijima K, Nakano R, Inaba A, Kubo Y (2005). Expression characteristics of seven members of the  $\beta$ -galactosidase gene family in 'La France' pear (*Pyrus communis* L.) fruit during growth and their regulation by 1-methylcyclopropene during postharvest ripening. Postharvest Biol Technol, 36: 253~263
- Nakatsuka A, Murachi S, Okunishi H, Shiomi S, Nakano R, Kubo Y, Inaba I (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 Physiol, 118 (4): 1295~1305

- Pechous SW, Watkins CB, Whitaker BD (2005). Expression of  $\alpha$ -farnesene synthase gene *AFSI* in relation to levels of  $\alpha$ -farnesene and conjugated trienols in peel tissue of scald-susceptible 'Law Rome' and scald-resistant 'Idared' apple fruit. *Postharvest Biol Technol*, 35: 125~132
- Rupasinghe HPV, Almquist KC, Paliyath G, Murr DP (2001). Cloning of *hmg1* and *hmg2* cDNAs encoding 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase and their expression and activity in relation to  $\alpha$ -farnesene synthesis in apple. *Plant Physiol Biochem*, 39: 933~947
- Serek M, Sisler EC, Reid MS (1994). Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. *J Amer Soc Hort Sci*, 119: 1230~1233
- Sisler EC, Pian A (1973). Effect of ethylene and cyclic olefins on tobacco leaves. *Tob Sci*, 17: 698~672
- Sisler EC, Serek M (1997). Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol Plant*, 100: 577~582
- Sisler EC, Serek M (1999). Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot Bull Acad Sin*, 40: 1~7
- Solomos T, Trivedi P, Matto A (2002). Effects of 1-MCP and hypoxia on ethylene evolution and expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception. In: XXVI the International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc, 239
- Sun XS, Wang ZH, Li ZQ, Wang WH, Zhang ZY (2003). Effects of 1-MCP on post-harvest physiology of tomato. *Agricul Sci China*, 2 (6): 663~669
- Tian MS, Prakash S, Elgar HJ, Young H, Burmeister DM, Ross GS (2000). Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Growth Regul*, 32 (1): 83~90
- Trincherro GD, Sozzi GO, Covatta F, Fraschina AA (2004). Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol Technol*, 32: 193~204