

1-甲基环丙烯延缓果实衰老作用机制研究综述

李富军 杨洪强 翟衡 束怀瑞

(山东农业大学园艺学院, 泰安 271018)

摘要: 综述了 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 延迟果实衰老的作用效果和作用机理。1-MCP 是一种乙烯作用抑制剂, 可以延缓采后果实衰老, 提高果实的贮藏品质和货架寿命, 调节果实衰老相关基因的表达和酶的活性, 并对果实风味和采后病害有一定影响。

关键词: 1-甲基环丙烯 (1-MCP); 贮藏; 果实; 衰老; 品质; 生理机制; 综述

中图分类号: S 609+.3; Q 945.6+6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2003) 03-0361-05

1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 是近几年来新发现的乙烯作用抑制剂, 能够竞争结合乙烯受体, 与硫代硫酸银 (Silver thiosulfate, STS)、2,5-降冰片二烯 (2,5-norbornadiene, 2,5-NBD) 和重氮基环戊二烯 (Diazocyclopentadiene, DACP) 等乙烯作用抑制剂相比, 具有结构简单、无毒、无难闻气味、稳定性好、易于合成、使用浓度极低等优点, 已经在切花保鲜、延缓盆花衰老中开始应用^[1,2]。1-MCP 对于延缓果实采后衰老、提高果实贮藏品质也展现了美好前景^[3,4]。但果实的成熟和衰老是一个十分复杂的过程, 人们对于 1-MCP 延缓果实衰老的作用还存在很多不同的认识。本文旨在对近几年 1-MCP 在果实采后衰老中的作用进行简要综述。

1 作用效果

1.1 对果实糖、酸和叶绿素含量的影响

Fan 等^[3,5]和孙希生等^[4]在苹果、王文辉等^[6]在梨上的研究表明, 1-MCP 能够延缓果实硬度下降以及可溶性固形物和可滴定酸含量的降低, 抑制淀粉和叶绿素的转化和分解, 显著延长果实的贮藏期和货架期, 提高果实贮藏质量。Porat 等^[7]在柑橘上观察到 1-MCP 能够显著抑制柑橘在贮藏过程中的脱绿过程。因此, 1-MCP 在提高果品贮藏品质、延长贮藏时间和保持色泽方面潜力很大。

1.2 对果实风味物质形成的影响

1-MCP 处理能够影响果实贮藏期间某些主要风味物质的转化和含量。例如 Mattheis 等指出, 1-MCP 可以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^[8]。Fan 等在富士和嘎啦苹果上的研究结果也表明 1-MCP 明显抑制挥发性醇和酯的产生, 如乙酸乙酯, 也抑制由醇到酯的转化过程^[9,10]。Golding 等在香蕉中发现, 1-MCP 处理能极大地改变挥发性香味的成分, 导致醇含量上升和相关酯含量下降^[11]。这种醇含量的上升和酯含量的下降被认为是由乙酰转移酶 (Acetyl transferase) 活性下降或者代谢底物不足所致^[8,11,12]。但在柑橘上的研究表明, 1-MCP 处理可增加柑橘内部挥发性乙醛、乙酸乙酯和乙醇的积累^[7]。

1.3 对果实贮藏期间生理病害的影响

研究表明, 1-MCP 几乎完全抑制了苹果和梨虎皮病和糖渍现象的发生^[5,13]。虎皮病的发生与 α -法尼烯的积累有关, 但 1-MCP 对 α -法尼烯的合成途径中的 *HMGR1* 和 *FPPS* 基因表达没有影响, 这说明 1-MCP 至少不在基因水平上影响 α -法尼烯合成^[14]。

与此相对的是 1-MCP 处理阻碍了胡萝卜根中抗真菌素 6-Methoxymellin 的积累^[15], 并能够加重柑橘贮藏过程中根霉病的发生^[7]和草莓的腐烂^[16]。笔者也发现用 1-MCP 处理能够加重常温存放的桃根

霉病的发生。1-MCP之所以会产生这些不良后果,可能是启动了果实内部一些未知的毒害体系^[7],也可能与通过乙烯信号转导系统而诱导的组织抗病能力被削弱有关。

1.4 温度、浓度和处理材料对使用效果的影响

处理时的温度、浓度、果实成熟度和贮藏时间对于 1-MCP 的处理效果有着显著的影响,当处理温度较低或者浓度不当时就起不到应有的效果^[13]。Macnish 等认为,低温下 1-MCP 不能与受体完全结合,这可能与低温下膜上乙烯受体蛋白构象的改变有关;但是,在低温下如果加大 1-MCP 的浓度也能够起到常温下的效果^[17]。Ku 等^[16]曾为此在草莓上提出了一个 1-MCP 使用浓度、温度与贮藏寿命之间关系的数学模型:处理温度 20℃时, $Y = 30.4 / (1 + 0.0004) \times (X - 18.5)^2$; 处理温度 5℃时, $Y = 237.6 / (1 + 0.004) \times (X - 27.7)^2$ 。这里 Y 为贮藏寿命, X 为 1-MCP 的处理浓度,当浓度在 5 ~ 15 nL·L⁻¹时会延长草莓寿命 30%,但超过 50 nL·L⁻¹时就会加速草莓的腐烂^[16]。

处理材料的差异对于 1-MCP 的作用效果也有影响。只有对于那些依赖于乙烯的果实和组织,1-MCP 才能起到抑制作用^[18]。如 Macnish 等在 14 种澳大利亚切花的研究中发现,1-MCP 只对其中的 7 种有作用,对另外的 7 种作用不大或者没有作用^[19]。Poratz 等在柑橘上的研究也发现,1-MCP 除能够抑制柑橘脱绿外,其它的作用不明显^[7]。Serek 等也发现使用 1-MCP 并不能影响 Kalanchoe 花的寿命^[20]。在百合上也出现类似的结果,即 1-MCP 并不会消除由乙烯带来的不利后果^[21]。

不同的成熟度的果实对 1-MCP 的反应也有明显差别。Golding^[22]看到,香蕉在采后第 6 和 12 小时使用 1-MCP 能较好地抑制呼吸和乙烯的峰出现,而在采后 24 h 处理则对乙烯和呼吸没有影响。吴振先用 1-MCP 处理不同成熟阶段的香蕉也得到了类似的结果^[23]。因此,一般认为只有在组织能够自我催化产生乙烯之前,即乙烯系统 II 起作用以前使用 1-MCP 才会起到应有的效果。一旦组织能够自我催化产生乙烯,再使用 1-MCP 就没有效果。

2 作用机理

1-MCP 是环丙烯类的小分子化合物,其 1 位上的氢离子被一个甲基所取代,整个分子呈平面结构,具有比乙烯更高的双键张力和化合能^[24,25],其作用的机理可能是与乙烯竞争乙烯受体位点,从而阻碍乙烯作用,并进一步影响了果实内部衰老过程中酶和基因的变化。

2.1 与乙烯作用的竞争关系

乙烯要发生作用,需要首先与受体中乙烯的结合位点相结合;1-MCP 被假设为可以与乙烯竞争结合位点,结合位点含一未知金属,1-MCP 与这一未知金属的结合是不可逆的,或者至少保留很长一段时间^[26]。在此基础上,Sisler 等进一步推测 1-MCP 与乙烯受体中未知金属结合以后,使乙烯受体中电子云的密度和乙烯受体的配体进行了重排,这种重排方式不同于与乙烯结合后的重排方式,它不具有乙烯活性,从而在较长的时间内阻止了乙烯受体与乙烯的结合,延缓了植物组织对乙烯的反应^[24,25]。然而这仅仅是一个假设,至于这些配体是什么,为什么同样是接受电子的乙烯与受体结合后产生的重排体系能够产生乙烯反应,而 1-MCP 等物质与受体产生的重排体系不产生类似乙烯的信号转导过程,人们仍然不清楚^[24]。

乙烯在与受体结合位点结合以后,从结合位点扩散引起乙烯反应的时间约为 2 ~ 10 min,而象一些其它的受体水平的抑制剂却往往需要几个小时或者几天的时间(表 1)^[24,25]。这也就解释了为什么在加入抑制剂后几个小时或者几天后植物材料或组织又重新对乙烯获得敏感的原因。Sisler 等曾将这解释为果实或者植物组织中又产

表 1 受体恢复活性所需时间

Table 1 Time required for the receptor to become free

化合物 Compounds	植物 Plant	时间 Time (min)
乙烯 Ethylene	绿豆芽 Mung bean sprout	10
乙烯 Ethylene	烟草叶 Tobacco leaf	10
乙烯 Ethylene	番茄叶 Tomato leaf	2
2,5-NBD	绿豆芽 Mung bean sprout	180
反-环辛烷	绿豆芽 Mung bean sprout	360
Trans-cyclooctene		
3,3-DMCP	香蕉 Banana	25 200
1-MCP	香蕉 Banana	43 200

生了新的乙烯受体^[25]。然而由于在同一种材料中使用不同的抑制剂, 其对乙烯重新获得敏感性的时间不同, 因此也很可能是同一个受体重新获得了对乙烯的敏感性, 或者二者在共同起作用。

2.2 对呼吸速率和乙烯产量的调节

1-MCP 能够与乙烯竞争作用位点, 因而能够对乙烯起到抑制作用。Sisler 等在康乃馨上的研究发现, 1-MCP 处理没有延迟乙烯峰的出现, 但是却显著降低了乙烯的产量^[26]。但 Fan 等^[3]、孙希生等^[4,28]在苹果、王文辉等^[6]在梨、Jiang 等^[27]在香蕉上的研究表明, 1-MCP 不仅能够显著降低乙烯释放量和呼吸速率, 还不同程度地延迟乙烯和呼吸峰的出现, 并由此推迟衰老的启动, 延长果实的贮藏期和货架寿命。但吴振先等在用 1-MCP 处理青花菜时发现, 1-MCP 处理反而增加了乙烯的释放量, 其原因尚不清楚^[29]。在非跃变型果实中, Tian 等指出 1-MCP 能够抑制早采草莓果实的呼吸^[30], 而 Porat 却发现 1-MCP 并不能抑制柑橘在贮藏过程中的呼吸作用^[7], 这些都表明 1-MCP 具有处理材料的差异性。

此外, 有些试验表明 1-MCP 能够增加处理材料后期乙烯的产量, 如 Sun 等^[31]在 *Metrosideros* 花上发现, 1-MCP 除了能给花提供短时间的拮抗乙烯的效果外, 在处理两天后可以使花产生更多的乙烯。Golding 等在香蕉上也发现了同样的现象, 即当果实对乙烯重新获得敏感性以后, 乙烯的峰值明显高于对照(未处理)果的乙烯峰值。Golding 等把这解释为 1-MCP 影响了果实中乙烯的反馈调节机制, 并进一步推测 1-MCP 可能与 2,5-NBD 一样, 通过影响 ACC 向 MACC 的转化过程, 造成了 ACC 在处理过程中积累较多, 一旦 1-MCP 失效以后, 这些积累的 ACC 就转化成了更多的乙烯, 但还没有实验证据^[22]。与此相对的是 1-MCP 处理后期并没有增加 CO₂ 的产量, 即呼吸作用一直被显著抑制, 并不出现呼吸在处理后期加强的现象, 这也可能与呼吸对 ABA 相对敏感而对乙烯相对不敏感有关^[32]。

2.3 对基因表达和酶活性的调节

2.3.1 对基因表达的调节 研究表明, 1-MCP 处理显著抑制了番茄中 ACC 氧化酶 (ACO) 的反转录水平^[33]。在日本梨上的试验也表明果实中 *PPFRU16*、*PPFRU21*、*PPFRU36* 基因的表达受到了 1-MCP 的抑制, ACC 氧化酶的一个 cDNA 克隆 *PPAOX1* 的表达水平也同样受到了抑制^[34]。Nakatsuka 等用 10~20 mL·L⁻¹ 的 1-MCP 处理番茄, 发现成熟番茄的乙烯合成和传导中 *LE-ACS2*、*LE-ACS4* 和 *LE-ACO1*、*LE-ACO4* 和 *NR* 基因的表达也完全受到抑制^[35]。而 Solomos 等发现 1-MCP 对于苹果中 *ACO* 和 *ETR1* 基因的表达没有影响, 1-MCP 处理只抑制了 *ACS* 和 *ERS1* 基因的表达^[36]。李正国和 Bonghi 分别在西洋梨和桃上的研究也证明, 1-MCP 并不能够抑制 *ETR1* 基因的表达^[37,38]。这表明 1-MCP 不仅从受体水平上影响乙烯的作用, 还可能通过其它途径(如反馈调节)控制乙烯的生成。此外, 1-MCP 还对果实的软化从基因水平上予以调节: 通过对从梨果肉细胞中分离的几个细胞壁调节酶基因的 cDNA 克隆的 RNA 凝胶电泳分析表明, 1-MCP 能够抑制控制梨果实细胞壁软化的基因 *PC-PG1*、*PC-PG2* 和 *PC-XET1* mRNA 的积累, 但对 *PC-EG2* 和 *PC-XET2* 的积累影响不大^[39]。

2.3.2 对酶活性的调节 超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、多酚氧化酶 (PPO) 和脂氧合酶 (LOX) 与植物的成熟衰老有密切关系, SOD 和 POD 对衰老有延缓作用, 而 PPO 和 LOX 活性往往在植物组织趋向衰老时上升, 它们常被用作反映植物衰老的指标。樊秀彩等^[40]发现 1-MCP 能提高猕猴桃采后 SOD、POD 的活性, 并推迟这两种酶活性峰值的出现。庞学群等^[41]的研究表明, 1-MCP 处理对荔枝中 PPO、POD 的活性没有明显影响, 对荔枝采后褐变也没有影响。但高敏等^[42]认为 1-MCP 处理能够抑制富士果实的褐变, 并降低了果实中 PPO 的活性, 只是处理果中 LOX 的活性一直高于对照。这表明了 1-MCP 具有处理材料的差异性。此外, 1-MCP 还不同程度地抑制了鳄梨中的多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲酯酶、 α -半乳糖苷酶、 β -半乳糖苷酶及纤维素酶的活性^[43], 而这些酶均与果实成熟软化及乙烯诱导的衰老密切相关, 这从酶学角度说明 1-MCP 能够延缓果实衰老软化。

3 结语

1-MCP 作为乙烯作用的抑制剂, 在果品贮藏保鲜中已经表现出良好的应用前景和商业的可操作

性。但由于以前的研究多是集中在切花保鲜中,在果品上的应用只是刚刚起步,还存在许多有待解决的问题,其作用机理和效果尚待进一步的研究和加强。整体看来,以下几个方面的工作在今后的研究中应该受到重视:(1)进一步从生理生化和分子水平上研究 1-MCP 的作用机理和效果,包括从乙烯合成和乙烯信号转导途径两个方面以及与之相对应的基因水平上发生的改变,并将之与乙烯受体的研究相结合。(2)深入开展 1-MCP 对贮藏期间生理病害的抗病(如苹果虎皮病)和致病(如柑橘和桃的根霉病)机理的研究,以防止其副作用。(3)研究 1-MCP 与其它保鲜手段连用,利用复合效应更好的开展保鲜工作,如 1-MCP 和聚乙烯薄膜包装(MAP)连用可以提高香蕉^[27]和青花菜^[29]的贮藏效果,其它如 1-MCP 分别和 AVG、紫外、 γ 射线等联用,对于增加果实营养成分、提高抗病性也必将有益。(4)鉴于 1-MCP 在实践中应用效果的不确定性,应该对使用浓度、处理时间、处理材料的差异等进行系统和全面的研究。(5)利用 1-MCP,研究与之相关的因子,如植物抗毒素的合成、区分 ABA 和乙烯在果实衰老中的作用等问题。此外,由于 1-MCP 对乙烯良好的抑制效果,它还可以作为研究乙烯作用机理的有力工具。

参考文献:

- 1 Serek M, Sisler E C, Reid M S. Effects of 1-MCP on the vase life and ethylene response of cut flowers. *Plant Grow Regul.*, 1995, 16: 93 ~ 97
- 2 Serek M, Prubucki A, Sisler E, et al. Inhibitors of ethylene action affect final quality and rooting of cuttings before and after storage. *HortiSci.*, 1998, 33 (1): 153 ~ 155
- 3 Fan X, Blankenship S M, Mattheis J P. 1-methylcyclopropene inhibits apple ripening. *J. Amer. Soc. Sci.*, 1999, 124 (6): 690 ~ 695
- 4 孙希生,王文辉,王志华,等. 1-MCP 对“金冠”苹果采后生理效应的影响. 见:雷建军主编.园艺学进展(第5辑).广州:广州出版社,2002.729 ~ 734
- 5 Fan X, Mattheis J P. Development of apple superficial scald, soft scald, core flush, and greasiness is reduced by MCP. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, 47: 3063 ~ 3068
- 6 王文辉,孙希生,李志强,等. 1-MCP 对软肉梨采后生理的影响. 见:雷建军主编.园艺学进展(第5辑).广州:广州出版社,2002.783 ~ 790
- 7 Porat R, Weiss B, Cohen L, et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene on the postharvest qualities of 'shamouti' oranges. *Postharvest Biol. and Technol.*, 1999, 15: 155 ~ 163
- 8 Mattheis J, Fan X, Argenta L. Impact of 1-MCP on climacteric fruit volatile production and aroma. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 235
- 9 Fan X, Mattheis J P. Impact of 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, 47: 2847 ~ 2853
- 10 Fan X T, Argenta L, Mattheis J. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening gala apple fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49: 254 ~ 262
- 11 Golding J B, Shearer D, McGlasson W B, et al. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, 47: 1646 ~ 1651
- 12 Song J, Tian M S, Dille D R, et al. Effect of 1-MCP on apple fruit ripening and volatile production. *HortiSci.*, 1997, 32: 536
- 13 Mitcham E, Bower J H, Biasi W V. Effects of repeated application of low concentrations of 1-MCP on storage and ripening of 'bartlett' pears. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 236
- 14 Trivedi P, Matto A, Solomos T. Effects of MCP and 1.52 kpa oxygen on apple scald control and alpha-farnesene biosynthesis. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 239.
- 15 Fan X, Mattheis J P, Roberts G R. Biosynthesis of phytoalexin in carrot root requires ethylene action. *Physiol. Plant*, 2000, 110: 450 ~ 454
- 16 Ku V V V, Wills R B H, Ben-Yehoshua S. 1-Methylcyclopropene can differentially affects the postharvest life of strawberries exposed to ethylene. *HortiSci.*, 1999, 34 (1): 119 ~ 120
- 17 Macnish A J, Joyce D C, Hofman P J, et al. 1-methylcyclopropene treatment efficacy in preventing ethylene perception in banana fruit and grevillea and waxflower flowers. *Aus. J. Expl. Agric.*, 2000, 40: 471 ~ 481
- 18 Hunter D. Ethylene, ABA, and 1-MCP in flower senescence and abscission. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 253
- 19 Macnish A J, Simons D H, Joyce D C, et al. Responses of native Australian cut flowers to treatment with 1-methylcyclopropene and ethylene. *HortiSci.*, 2000, 35 (2): 254 ~ 255
- 20 Serek M, Reid M S. Ethylene and postharvest performance of potted kalanchoe. *Postharvest Biol. and Technol.*, 2000, 18: 43 ~ 48
- 21 Elgar H J, Woolf A B, Bialeski R L. Ethylene production by three lily species and their response to ethylene exposure. *Postharvest Biol. and Technol.*, 1999, 16: 257 ~ 267

- 22 Golding J B, Shearer D, Wyllie S G, et al. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit. *Postharvest Biol. and Technol.*, 1998, 14: 87 ~ 98
- 23 吴振先, 张廷亮, 陈永明, 等. 1-甲基环丙烯处理对不同成熟阶段香蕉果实后熟的影响. *华南农业大学学报*, 2001, 22 (4): 15 ~ 18
- 24 Sisler E C, Serek M. Compounds controlling the ethylene receptor. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 1999, 40: 1 ~ 7
- 25 Sisler E C, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level; Recent developments. *Physiol. Plant*, 1997, 100: 577 ~ 582
- 26 Sisler E, Dupille E, Serek M. Effect of 1-methylcyclopropene and methylcyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Grow Regul.*, 1996, 18: 79 ~ 86
- 27 Jiang Y M, Joyce D C, Macnish A J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. *Postharvest Biol. Technol.*, 1999, 16: 187 ~ 193
- 28 Sun X S, Cong P H, Liu F Z, et al. Effects of 1-MCP on postharvest quality of 'Red Delicious' apple. *J. Shandong Agric. Univer. (Nature science)*, 2002, 33 (Suppl.): 299 ~ 305
- 29 吴振先, 陈世华, 陈维信. 1-MCP 处理和 MA 包装对青花菜保鲜效果及生理的研究. 见: 雷建军主编, 园艺学进展 (第 5 辑). 广州: 广州出版社, 2002. 715 ~ 720
- 30 Tian M S, Prakash H J, Elgar H J, et al. Responses of strawberry fruit to 1-methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. *Plant Grow Regul.*, 2000, 32: 83 ~ 90
- 31 Sun J, Jameson P E, Clemens J. Stamen abscission and water balance in *Metrosideros* flowers. *Physiol. Plant*, 2000, 110: 271 ~ 278
- 32 Jiang Y M, Joyce D C, Macnish A J. Effect of abscisic acid on banana fruit ripening in relation to the role of ethylene. *J. Plant Growth Regul.*, 2000, 19: 106 ~ 111
- 33 Lelievre J M, Latche A, Bouzyen M, et al. Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plant*, 1997, 101: 727 ~ 739
- 34 Akihiro I, Kenji T, Fumio T, et al. 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. of Exp. Bot.*, 2000, 51 (347): 1163 ~ 1166
- 35 Nakatsuka A, Shiomi S, Kubo Y, et al. Expression and international feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase genes in ripening tomato fruit. *Plant Physiol.*, 1997, 38: 1103 ~ 1110
- 36 Solomos T, Trivedi P, Matto A. Effects of MCP and hypoxia on ethylene evolution and expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 239
- 37 李正国, El-Sharkawy I, Lelievre J M. 温度、乙烯和 1-MCP 对西洋梨果实乙烯合成和乙烯受体 *ETR1* 同源基因表达的影响. *园艺学报*, 2000, 27 (5): 313 ~ 316
- 38 Bonghi C, Ramina A, Rasori A, et al. Ethylene biosynthesis and perception in peach fruit ripening. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 237
- 39 Hiwasa K, Nakano R, Inaba A, et al. Expression analysis of genes encoding cell wall modifying enzymes during ripening in pear fruit. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 262
- 40 樊秀彩, 张继澍. 1-甲基环丙烯对采后猕猴桃果实生理效应的影响. *园艺学报*, 2001, 28 (5): 399 ~ 402
- 41 庞学群, 张昭其, 段学武, 等. 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*, 2001, 22 (41): 11 ~ 14
- 42 高敏, 张继澍. 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*, 2001, 37 (6): 522 ~ 524
- 43 Jeong J, Huber D J, Sargent S A. Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene on softening, ripening, and cell wall matrix polysaccharides of avocado fruit. In: XXVI th International Horticultural Congress (Abstracts). Toronto: Pearson Education Inc., 2002. 241

Physiological Mechanism of 1-MCP in Delaying Fruits Senescence

Li Fujun, Yang Hongqiang, Zhai Heng, and Shu Huairui

(*Horticultural College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China*)

Abstract: 1-MCP is an effective ethylene action inhibitor and could delay the senescence, improve the storage quality, promote the shelf life and affect both the flavors and physiology disorders in postharvest fruits. 1-MCP also could regulate some related enzyme activity and related gene's expression in fruit senescence. This paper reviewed these previous studies on the effects and physiological mechanism of 1-MCP in delaying fruit senescence. In addition, the potential with an emphasis on applications of the research in this area are proposed.

Key words: 1-MCP; Storage; Fruit; Senescence; Quality; Physiological mechanism; Review