

# 1-甲基环丙烯保鲜水果效果及作用机制

丁丹丹, 王志华, 王文辉

(中国农业科学院 果树研究所 辽宁 兴城 125100)

**摘要:** 结合乙烯的分子生物学研究进展, 阐述 1-MCP 作为乙烯拮抗剂的作用机制; 从果实呼吸生理、果实颜色、果实风味和采后病害控制方面, 综述 1-MCP 的保鲜效果和可能的发展方向。

**关键词:** 1-甲基环丙烯 保鲜; 采后生理; 作用机制

**中图分类号:** S 66; S 482.8<sup>+</sup> 99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0009(2009)02-0130-03

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)于 1994 年首次被证实具有抑制乙烯合成作用, 抑制乙烯敏感型果蔬后熟、延缓衰老。1-MCP 常温下气体、性质稳定、无异味, 且处理浓度极低(25~1000 nL/L), 有效作用浓度范围内对人畜无毒害作用, 具有研究意义和商业价值。2002 年 7 月, 美国环保署批准可在苹果采收期使用 1-MCP; 2003 年 8 月, 美国 50 个州均被允许应用 1-MCP 于苹果采后处理和贮藏<sup>[1]</sup>。随着近年来国内外分子研究深入和多种先进技术手段应用, 对 1-MCP 作用机理研究更加深入, 对其保鲜效果和应用评价也有新认识。

## 1 1-MCP 的作用机制

1-MCP 是一种乙烯作用抑制剂, 其作用机理研究以乙烯作用机理研究为基础。从基因水平控制乙烯作用有 5 种可能途径, 第 5 种途径为抑制乙烯受体<sup>[2]</sup>。1993 年克隆到第一个乙烯受体基因家族一个成员 ETR1 基因; 随后于 1995 年证实 ETR1(Ethylene Response 1)蛋白疏水区具有直接感受乙烯能力; 1999 年发现 ETR1 接受域可形成同源二聚体, 并推测 ETR1 的乙烯结合区结构模型为一个铜离子与氨基末端疏水区的氨基酸共同作用介导乙烯结合<sup>[3]</sup>。

随着乙烯信号转导途径逐渐清晰, 可知 1-MCP 的作用机制。1-MCP 和乙烯均可吸引乙烯受体中金属离子的电子, 并竞争性地与之配对结合。当乙烯与其受体结合后会很快从受体位点上解离下来, 而 1-MCP 是一种高应变分子, 它所具有的高应变力及较强的受体抑制效应可使其与受体位点牢固结合, 并长期封锁受体而不发生解离, 阻止乙烯与其受体的结合。1-MCP 与受体的结合状态可破坏乙烯信号转导, 抑制乙烯生理效应发

挥<sup>[4]</sup>。

转乙烯受体突变基因 *etr1-1* 香石竹的研究结果表明, 控制乙烯信号转导途径比控制乙烯信号合成途径更有利于延长鲜切花寿命。通过控制乙烯受体蛋白而使果蔬产品获得乙烯不敏感特性, 从而延长寿命, 是近年研究热点, 不同于目前国内外流行的以反义基因技术导入为代表的控制乙烯生物合成的技术路线, 具有更强可操作性和更高成功率<sup>[5]</sup>。1-MCP 就是通过体外控制园艺产品内源乙烯的结合受体, 抑制乙烯生理作用, 达到贮藏保鲜目的。

另有研究表明 1-MCP 不仅从受体水平上影响乙烯作用, 还可能通过抑制基因表达来控制乙烯生成<sup>[6]</sup>。日本菊水梨试验结果表明, 菊水梨果实成熟基因中 *PPF-RU16*, *PPFRU21*, *PPFRU36* 基因可能受到乙烯作用调节, 1-MCP 可抑制其表达, 对 ACC 氧化酶的一个 cDNA 克隆基因 *PPAOX1* 表达水平也有抑制作用<sup>[7]</sup>。用 1-MCP 处理成熟番茄, 乙烯合成基因 *LE-ACS2*、*LE-ACS4*、*LE-ACO1*、*LE-ACO4* 和乙烯转导基因 *NR* 的 mRNA 水平也受到很大程度抑制<sup>[8]</sup>。

还有一种观点认为园艺产品的成熟衰老并不是乙烯直接作用的结果, 而是通过乙烯诱导反应实现<sup>[9]</sup>。研究表明 1-MCP 与 ERS1 受体(ethylene response sensor1)结合后直接改变 *Pc-ERS1* 基因调节能力, 从而抑制乙烯调节能力, 而不是通过改变代谢速率起作用, 这种代谢速率改变是由乙烯非直接调节的其他的基因的表达减少导致<sup>[10]</sup>。

## 2 1-MCP 对水果采后生理影响

### 2.1 抑制呼吸代谢, 延迟呼吸乙烯高峰出现

1-MCP 处理成熟前的西洋梨, 能显著地钝化与后熟有关的各种化学反应, 而且即使在后熟开始以后用 1-MCP 处理也能显著地抑制乙烯释放<sup>[11]</sup>。而有趣的是苏小军等研究发现, 香蕉经乙烯处理后贮藏 1 d, 再用 1-MCP 处理, 果实的后熟仅部分受抑, 而果实经乙烯处理后贮藏 2 d 或 3 d 后, 用 1-MCP 处理, 后熟进程不受影

第一作者简介: 丹丹(1983-), 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 研究方向为果品采后生理及保鲜。E-mail: ddd19830924@tom.com。

通讯作者: 王文辉。

基金项目: 国家“十一五”科技支撑资助项目(2006BAD22B03)。

收稿日期: 2008-09-17

响<sup>[12]</sup>。陈明等认为原因是果实后熟已进入不可逆阶段, 乙烯的自动催化合成一经启动, 1-MCP 便失去抑制效果, 表明 1-MCP 的抑制效应仅与果实后熟早期有关<sup>[13]</sup>。王文辉等通过对软肉梨分析认为 1-MCP 作用效果与成熟期有关, 对于呼吸跃变型且已经进入后熟期的果实, 1-MCP 的作用效果很小或者无效<sup>[14]</sup>。以 1  $\mu$ L/L 1-MCP 处理采后 25 d 的 d' Anjou 梨 (24 h, 0 $^{\circ}$ C~1 $^{\circ}$ C), 与冷藏 126 d 的 d' Anjou 梨同在室温下进行 10 d 乙烯产量和呼吸率测定, 结果表明常温梨果实 1-MCP 处理与冷藏 126 d 后再进行 1-MCP 处理梨果实对乙烯产量和呼吸速率抑制效果相似<sup>[10]</sup>。这说明单就乙烯和呼吸率而言, 常温 1-MCP 处理可以取得与长期冷藏同样效果。多年来研究已经表明 1-MCP 对“金魁”猕猴桃、杨梅、巴梨、苹果等呼吸跃变型类果实呼吸有明显的抑制效应, 并延迟呼吸高峰的出现; 而对呼吸非跃变类果实则保鲜效果差异大, 不同水果种类和品种效果不同。

## 2.2 对果实颜色影响

果实颜色是重要的商品化指标。在红 Bon Rouge' 和 blush ' Rosemarie' 梨果实中发现其未成熟时花色素苷浓度达到最大, 成熟时着色能力反而下降<sup>[15]</sup>。试验证实 1-MCP 处理对保持果实颜色有良好效果, 可以延缓香蕉果皮颜色变化<sup>[16]</sup>, 保持草莓色泽<sup>[17]</sup>。450 nL/L 1-MCP 处理绿熟威廉斯香蕉 6 h, 可延缓果皮褪绿, 在柑橘褪绿上也有同样的效果<sup>[18]</sup>。现大量研究工作从基因水平探索 1-MCP 影响果实颜色的原因, 已有初步结论。在后熟桃果实<sup>[19]</sup>、鳄梨<sup>[20]</sup>和 Passe-Crassane' 梨<sup>[21]</sup>果实中发现, 伴随乙烯跃变峰来临, *ERS1* mRNA 数量相应增加, 因此通过 1-MCP 处理改变这种蛋白状态, 就可以抑制乙烯调节的后熟过程中相关酶, 如 PAL (phenylalanine ammonia-lyase)。研究表明 1-MCP 处理常温下后熟的 d' Anjou 梨果实, *PcPAL*、*PcERS1* 基因表达和乙烯产量都受到显著抑制, 无处理果实则相反, 说明 PAL 活性全部或部分由乙烯调节<sup>[19]</sup>。PAL 和 CHS (chalcone synthase) 是合成花色素苷关键酶, GST 是花色素苷转移酶, 而花色素苷与花和果实中多种颜色有关。通过对红 d' Anjou 的 *PcPAL* 和 *PcCHS1* 和 *PcGST* 基因 northern blot 分析得知 1-MCP 处理抑制 *PcPAL* 表达水平, 但在整个贮藏期内保持恒定, *PcCHS1* 基因几乎无表达, *PcGST* 几乎不受处理影响<sup>[19]</sup>。这说明 1-MCP 处理抑制了类黄酮生物合成酶基因表达, 但可以保持其转运酶基因表达。这可能是采后 MCP 处理果实减缓花青素和酚类物质增加的原因。

## 2.3 对果实风味影响

前人利用乙烯活动、乙烯生物合成抑制剂和抑制乙烯生物合成的转基因植物研究乙烯和芳香产物之间的关系, 结果表明只要乙烯生物合成酶活性或者受体水平

降低, 成芳香味的挥发性物质减少<sup>[22]</sup>。梨果实能够产生化学结构不同的挥发性成分, 带果味的酯类是主要的成香物质<sup>[23]</sup>, 其中最主要成分己酸己酯是梨果实主要成香物质, 其次是乙酸己酯和戊基己酯, 酒精的作用小, 也有烯萜 (α-法烯呢) 和醛类<sup>[24]</sup>。在梨果实中, 1-MCP 处理推迟后熟和软化, 增加 '巴梨', '安久梨' 和 '康弗伦斯' 的采后寿命, 同时改变挥发性成分。与冷藏 6 个月后的 'Packham's Triumph' 梨果实相比, 冷藏+1-MCP 处理降低了梨果实总酯量, 产生的乙醇量最少 (SPME 技术测定挥发性成分), 己酸己酯和乙酸己酯与乙烯产量高度相关, 丁醇和己醇与乙烯产量相关性好<sup>[23]</sup>。1-MCP 处理降低绿熟香蕉成香物质的数量, 乙醇含量增加而酯类含量降低<sup>[18]</sup>。

## 2.4 对果实病害影响

用 10 和 20 nL/L 1-MCP 处理 d' Anjou 梨果实可以正常后熟但发生不可接受的虎皮病<sup>[24]</sup>。50 和 300 nL/L 1-MCP 处理 d' Anjou 梨可以抑制虎皮病但是果实不能正常后熟<sup>[25]</sup>; 1-MCP 300 nL/L 明显降低 d' Anjou 茎端灰霉病、眼腐和 *Phacidiopycnis rot*, 30 nL/L 的浓度还可显著降低霜霉病, 但果实不能后熟<sup>[25]</sup>。研究表明己醛 (hexanal) 蒸气持续熏蒸 48 h 可以降低扩展青霉 (*P. expansum*) 引起的苹果腐烂<sup>[26]</sup>, 但对果实硬度无影响。己醛是除 1-MCP 保鲜剂外国外又一保鲜剂研究热点, 但国内鲜有研究。试验证明己醛在果实内部快速转化成高水平的挥发性成香物质 4~7 d 内下降到与对照果实无异, 处理果实置空气中 5 h 后, 无己醛检出<sup>[26]</sup>。1-MCP 和 hexanal 合理浓度综合利用, 可以减少 d' Anjou 梨贮藏期病害, 控制虎皮病且果实正常后熟<sup>[25]</sup>。

单一依靠 1-MCP 抑制某一种具体腐烂病或者保持果实品质效果并不十分理想, 在多种水果试验中均发现果实不能正常后熟或者加重某种病害的现象。因此 1-MCP 和其他安全无害的保鲜剂综合利用是未来化学保鲜的发展趋势之一, 但合适的处理时间和浓度保鲜效果差异大, 还需要进一步实验探讨, 以取得良好的商业应用效果。

## 3 讨论

各种研究表明 1-MCP 作为一种乙烯受体抑制剂在大多数园艺产品如果实、蔬菜和鲜切花的商业运用是成功的, 为园艺产品采后保鲜提供又一可能的途径, 且作为一种新型化学药剂有着与传统的化学保鲜剂所没有的优点。但 1-MCP 的研究领域尚存在很多不足与不明之处。1-MCP 在应用时呈现多样性, 需要利用先进的技术手段从分子、基因水平研究其作用机理, 以便开发其尚不可知的功能。1-MCP 与乙烯的生物合成和信号传导密切相关, 因此更深入研究乙烯的作用对研究 1-MCP 也至关重要。1-MCP 虽然在延缓园艺产品衰老方面效

果明显,但是急需其他新型辅助成分与其综合运用,以达到最佳保鲜效果,而且 1-MCP 在应用中也发现其一些负面作用,如加速某些病菌腐烂等,功能不稳定,也需要解决。食品安全越来越受到重视,1-MCP 虽然在物化性质上来看,安全无毒,但是因为它与园艺产品中乙烯受体是不可逆的结合,因此其在人体内的代谢和积累效应也应该受到关注。此外尚无 1-MCP 的具体浓度使用标准和科学的安全评价。

### 参考文献

- [1] Sparks B. Keeping track of 1-MCP[J]. American Fruit Grower, 2003, Nov/Dec.
- [2] 刘海,林德球,蒋跃明.果实成熟乙烯相关基因工程研究进展(综述)[J].亚热带科学,2002,31(增刊):7-14.
- [3] 潘延云,郭毅,赵军峰,等.乙烯在植物信号中的转导[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2003,29(4):453-460.
- [4] 刘红霞,姜微波,罗云波,等.1-甲基环丙烯在果蔬采后保鲜中的作用[J].北方园艺,2003(3):74-75.
- [5] 韩继成.植物乙烯受体及转基因育种研究进展[J].分子植物育种,2004(2):157-163.
- [6] 王兰菊,陈刚,任凝辉,等.1-MCP 延缓园艺产品衰老作用的研究进展[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2004,19(3):34-39.
- [7] Itai A, Tanabe K. Perspectives in Experimental Botany: 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]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(347):1163.
- [8] Nakatsuka A, Shiomi S. Differential Expression and intermolecular feedback regulation of ACC synthase and ACC oxidase and Ethylene Receptor Genes in Tomato Fruit during Development and Ripening[J]. Plant Physiology, 1998, 118: 1295-1305.
- [9] Sider E G, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development[J]. Physiol Plant, 1997, 100(3):577-582.
- [10] MacLeana D D, Murra D P. Inhibition of PAL, CHS and ERS1 in 'Red d' Anjou' Pear (*Pyrus communis* L.) by 1-MCP[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007.
- [11] Hiwasa K, Kinugasa Y. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(383):771-779.
- [12] 苏小军,蒋跃明.1-MCP 对香蕉果实货架期的影响[J].亚热带植物科学,2003,32(1):1-3.
- [13] 陈明,陈金印.1-甲基环丙烯在果品贮藏保鲜上的应用[J].食品与发酵工业,2004,30(3).
- [14] 王文辉,孙希生.1-MCP 对软肉梨采后生理的影响[J].雷军主编.园艺学进展(第5集).广州:广州出版社,2002:783-790.
- [15] Steyn W J, Holcroft D M. Regulation of pear color development in relation to activity of flavonoid enzymes[J]. Am. Soc. Hortic. Sci., 2004, 129: 6-12.
- [16] Jiang Y, Joyce D G, Macnish A J. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags[J]. Postharvest Biology & Technology, 1999, 16(2): 187-193.
- [17] Jiang Y, Joyce D G, Terry L A. 1-methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay[J]. Postharvest Biology & Technology, 2001, 23(3): 227-232.

- [18] Golding J B, Wylie S G. Application of 1-MCP and propylene to identify ethylene-dependent ripening processes in mature banana fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 1998, 14: 87-98.
- [19] Trainotti L, Bonghi G, Ziliotto. The use of microarray microPEACH to investigate transcriptome changes during transition from pre-climacteric to climacteric phase in peach fruit[J]. Plant Sci., 2006, 170: 606-613.
- [20] Owino W O, Nakano R, Kubo Y, et al. Differential regulation of genes encoding ethylene biosynthesis enzymes and ethylene response sensor ortholog during ripening and in response to wounding in avocado[J]. Am Soc Hortic Sci, 2002, 127: 520-527.
- [21] Moya-Leon M A. 1-MCP treatment preserves aroma quality of 'Pack-hams' 'Triumph' pears during long-term storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 42: 185-197.
- [22] Defilippi B G, Dandekar A M, Kader A A. Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavor metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52: 5694-5701.
- [23] Aroma components of La France and comparison of aroma patterns of different pears[J]. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 2003, 77(8): 762-767.
- [24] Chen P M, Spotts R A. Changes in ripening behaviors of 1-MCP-treated d' Anjou pears after storage[J]. Fruit Sci., 2005, 5: 3-18.
- [25] Spotts R A, Sholberg P L. Effects of 1-MCP and hexanal on decay of d' Anjou pear fruit in longterm cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44: 101-106.
- [26] Fan L, Song J. Effect of hexanal vapor on spore viability of *Penicillium expansum* lesion development on whole apples and fruit volatile biosynthesis[J]. Food Sci, 2006, 71(3): 105-109.

