

1-甲基环丙烯调控采后果蔬质地变化研究进展

李志文¹, 张平^{1*}, 刘翔², 集贤¹, 李春媛¹

(1. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384;
2. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要: 1-甲基环丙烯(1-MCP)作为一种新型的乙烯受体抑制剂, 已成为当前果蔬采后保鲜领域研究热点之一。本文对近年来 1-MCP 处理技术对果蔬质地结构的作用效果及其机制相关研究进行综述, 分析了存在的问题并对该研究发展趋势进行了展望, 以期为 1-MCP 采后处理技术的广泛应用提供参考依据。

关键词: 1-甲基环丙烯; 果蔬; 采后; 质地

Review of 1-MCP regulation of postharvest fruits and vegetables texture

LI Zhi-Wen¹, ZHANG Ping^{1*}, LIU Xiang², JI Xian¹, LI Chun-Yuan¹

(1. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China;
2. School of Environmental Science and Engineering of Tianjin University, Tianjin 300072, China)

ABSTRACT: 1-methyl propylene (1-MCP) is a new type of ethylene receptor inhibitor, which has become one of the hot research topics in the research field of fruits and vegetables postharvest. In this paper, the effect and related mechanism of 1-MCP treatment on fruit and vegetable texture in recent years were reviewed. It also discussed the existing problems and development trend, to provide the reference basis for expanding application space of 1-MCP technology.

KEY WORDS: 1-methyl propylene; fruits and vegetables; postharvest; texture

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种新型的乙烯受体抑制剂, 1-MCP 处理不但可以明显减弱跃变型果实乙烯产量和呼吸强度, 进而推迟或抑制果实的软化, 而且适宜浓度 1-MCP 处理还可以有效的抑制非跃变型果实乙烯生成, 延缓果实质地结构劣变, 有效保持果实品质。目前, 国内外有关 1-MCP 在果品采后保鲜中的研究大多集中于贮藏效果或 1-MCP 对跃变型果实的调控机制方面; 有关质

地调控研究也仅局限于乙烯抑制剂保持果实硬度或抑制软化这一单一指标。尽管最新研究表明对于部分非呼吸跃变型果蔬类型, 采用 1-MCP 处理可改善果实多项质构特性、提高贮藏品质^[1-2], 但相关作用机制尚不明确。本文通过阐述近年来 1-MCP 处理技术对果品质地结构的作用效果及作用机制, 并进一步提出存在问题及展望研究发展趋势, 为进一步提高 1-MCP 作用效果及应用范围提供参考。

基金项目: 国家葡萄现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30)、天津市农业科学院院长基金项目(11002)

Fund: Supported by a specific construction item for grapes in modern agricultural industry technology system nationwide of China (CARS-30) and President Foundation of Tianjin academy of agricultural sciences (11002)

*通讯作者: 张平, 研究员, 主要研究方向为果蔬采后生理与贮运保鲜。E-mail: zhp-0352@163.com

*Corresponding author: ZHANG Ping, Professor, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Jinjing Road, Xiqing District, Tianjin 300384, China. E-mail: zhp-0352@163.com

1 1-MCP 对采后果蔬质地结构变化的影响

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一类环丙烯类化合物,为近年来发现的一种新型乙烯受体抑制剂,它能不可逆地作用于乙烯受体,从而阻断其与乙烯的正常结合,抑制其所诱导的与果实成熟相关的一系列生理生化反应^[3]。果实质地的变化是其成熟和衰老进程中的主要表现之一,不同类型果实质地结构特性在 1-MCP 处理后表现出不同的变化规律^[4]。

1.1 对采后果蔬软化的影响

1.1.1 1-MCP 对跃变型果实后熟软化的影响

1-MCP 可抑制许多跃变型果实的后熟软化。前期研究表明,1-MCP 可使鳄梨果实延迟软化 4.4 d,使苹果延迟软化 3.4 d,使芒果延迟软化 5.1 d,使番木瓜延迟 15.6 d^[5];将西兰花以 $1 \mu\text{L}/\text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 熏蒸后,可有效抑制花球黄化、软散^[6];油桃采收后以 $0.1 \mu\text{L}/\text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 进行熏蒸处理后,与对照相比处理果实果肉硬度较高,出汁率较少^[7];100 nL/L 的 1-MCP 处理桃果实后,可有效保持其货架期果肉硬度及新鲜度^[8];经有效浓度 1-MCP 熏蒸处理后,贮藏过程中的李果实硬度增加,可在较长时间内维持较高的硬度^[9];此外,1-MCP 处理还可以抑制处于不同成熟期的番茄果实的果肉软化^[10];Luo 等^[11]研究了 1-MCP 对李子贮藏的效应,发现经过 1-MCP 处理过的果实其果肉软化和果实的成熟被明显的推迟;Garcia 等^[12]研究表明,300 nL/L 的 1-MCP 处理在 22 °C 下可保持李果实较高的果实硬度,有效延缓果实的后熟软化,延长李果实室温贮藏的货架期。

1.1.2 1-MCP 对跃变型果实后熟软化的影响

此外,1-MCP 对于一些非跃变型果实采收后软化衰老也具有抑制活性。李志强等^[13]研究发现采收后 1-MCP 处理能抑制草莓果实呼吸作用,显著地提高了采收后草莓果实硬度,有效的保持了果实的品质;Dharini 等^[14]研究表明 1-MCP 处理后荔枝果肉硬度在贮藏过程中明显提高,贮期显著延长;Pietro 等^[15]研究表明,适宜浓度的 1-MCP 处理可使鲜切菠萝果肉硬度在较长时间内维持较高水平,抑制了果肉的软化进程;Liu 等^[16]研究表明,入贮前以适宜浓度的 1-MCP 处理可有效延缓甜樱桃果实贮藏过程中软化和褐变的发生,提高贮藏品质。霍宪起^[17]的研究表明,400 nL/L 的 1-MCP 处理可显著抑制桑葚硬度下降

及衰老腐烂的发生。

1.2 对采后果蔬其他质地结构特性的影响

除维持硬度外,1-MCP 对果实采后的其他质地结构特性也具有一定的调控作用,但目前相关的报道较少。Xie 等^[18]研究表明,以 $0.4 \mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP 处理枣果,可显著提高果实的脆性和回复性。郑铁松等^[19]研究表明,用 0.5、0.9 $\mu\text{L}/\text{L}$ 的 1-MCP 处理的样品可以有效延缓番茄脆度和僵化度的下降。郑铁松等^[20]研究表明,不同浓度的 1-MCP 对草莓的硬度、僵化度和断裂能量的影响较大,而对断裂力、回复性和平均负荷的影响不明显。Sfakiotakis 等^[21]研究表明,经适宜浓度的 1-MCP 处理后,可使猕猴桃果实在冷藏及零售期具有较高的果肉凝聚性,而到了货架期,其果肉凝聚性逐渐减小,最终达到适宜于食用的绵软口感。Cock 等^[22]研究表明,经 $0.2 \mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP 处理后的火龙果果实回复性、弹性及凝聚性显著高于对照处理。田海龙等^[23]研究表明,1 $\mu\text{L}/\text{L}$ 1-MCP 处理可延缓葡萄贮藏期间弹性、凝聚性及咀嚼性的下降,但对果实回复性却无明显作用效果。

2 1-MCP 处理对采后果蔬质地变化调控的机制研究

目前,关于 1-MCP 调控果蔬采后质地变化机制研究大多集中在果实软化方面,对于其他质地结构参数的变化调控机制研究鲜有报道。果蔬经 1-MCP 处理后,外源乙烯处理不能加速果蔬的软化,其间接原因可能是组织内缺乏足够新的乙烯受体所致,直接原因可能与果肉细胞细胞壁合成代谢有关^[24]。

2.1 对乙烯产生及呼吸作用的影响

乙烯能导致采后园艺作物的质地劣变、衰老和生理失调。1-MCP 则可以抑制乙烯与其受体的正常结合,阻断乙烯反馈调节的生物合成。1-MCP 处理导致 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;另外,乙烯的产生可通过 ACC 合成酶(ACS)、ACC 氧化酶(ACO)进行调节,而 1-MCP 处理则能阻断这种调节作用也是一个原因^[4]。如番茄开始转红期及淡红期的果实经 1-MCP 处理后,贮藏 2 d,乙烯产生分别受抑 66%和 75%^[25]。Dan 等^[26]也指出 1-MCP 可抑制梨冷处理诱导的 ACS、ACO 基因表达,减少 ACS、ACO 转录体的积累。另外,1-MCP 还能抑制乙烯诱导的 CM-ACO1 mRNA 的形成,但

不影响伤害诱导的基因表达。Yang 等^[27]最新研究表明 1-MCP 处理可显著抑制采后苹果果实中与乙烯合成密切相关的 ACS1、ACO1 及 ACO2 的表达, 此外, 1-MCP 处理还可以使一些对 ACS3、ACO3 和 EIN2B 基因发挥抑制活性的基因如 ETR1、ETR2、ETR5、ERSs、CTR1、EIN2A、EIL4 及 ERFs 表达水平降低。

1-MCP 能抑制植物组织或器官的呼吸作用, 从而延缓果实质地劣变。它不仅推迟呼吸高峰出现的时间, 而且降低了呼吸速率的峰值。这可能是由于乙烯与其受体的结合受抑, 因而阻断了其诱导的生理生化反应的结果, 其中包括呼吸所必需酶的激活; 也可能是由于与呼吸作用相关的必需酶的基因表达被阻断等^[4]。例如苹果^[28]、梨^[29]和花椰菜^[30]等果蔬经 1-MCP 处理均推迟了呼吸高峰出现的时间, 并降低了呼吸速率。进一步研究^[6]还发现, 如果首先采用 1-MCP 处理果蔬组织, 再用乙烯或其类似物如丙烯处理, 同样可以抑制乙烯及其类似物诱导的呼吸作用上升。

2.2 对果蔬细胞结构的影响

Baritelle 等^[31]以 1-MCP 处理苹果发现, 与对照相比, 经 1-MCP 处理的苹果果实, 其果肉组织结构发生少许变化, 果肉细胞排列更加紧密, 胞间隙较小, 细胞无脱水现象发生; 赵刚等^[32]观察 1-MCP 影响下‘嘎拉’苹果采后果肉细胞结构变化的结果表明, 随着贮藏时间的延长, 未作 1-MCP 处理的果实果肉细胞逐渐失去张力, 细胞壁皱褶, 中胶层逐渐降解, 继而出现胞间裂痕, 胞间隙逐渐增大, 细胞壁纤维松散, 细胞器逐渐空泡化等现象, 而 1-MCP 显著抑制果肉细胞的结构损伤, 最终减缓果实的软化; 杨德兴等^[33]在猕猴桃上进行的实验也表明, 1-MCP 处理可抑制果肉细胞间中胶层和细胞壁的溶解和分离; 段玉权等^[34]在桃果实上所做研究也表明, 1-MCP 能够维持冷藏桃果贮藏后期果肉细胞的完整性, 保护多酚氧化酶与酚类物质的区域化分布; 胡芳等^[35]研究同样表明, 0.5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理可一定程度上维持甜柿果肉细胞器和膜系统的完整性, 延缓甜柿果实的软化衰老进程。

2.3 对采后果蔬质地结构变化相关的酶和底物水平的调控

细胞结构完整性的破坏是细胞内一系列生理生化作用的结果。Donald 等^[36]最新研究表明, 果蔬对

1-MCP 的吸收可能与参与果蔬细胞膜分解及氧化代谢的相关酶类有关。相关研究表明, 1-MCP 抑制由乙烯诱导的桃^[37]和油桃^[38]中纤维素和果胶的降解, 降低贮藏过程中的多聚半乳糖醛酸酶活性, 推迟多聚半乳糖醛酸酶活性高峰的出现^[38], 从而延缓细胞中胶层和胞壁纤维的降解, 因而果肉细胞结构的完整性可以得到保护。在对肥城桃果实研究中也发现, 1-MCP 处理后果实软化进程减缓, 果实内纤维素酶活性明显受到抑制^[39]。Ortiz^[24]研究表明, 经 1-MCP 处理后, 桃果肉细胞壁中果胶甲酯酶活性短时增大, 其它果胶溶解酶活性受到抑制。金昌海等^[40]的研究除了得到相似结论外, 还发现 1-MCP 处理 α -L-阿拉伯呋喃糖苷酶(α -AF)活性也表现一定的抑制作用。而对于鳄梨果实, 经 1-MCP 处理后, 虽然多聚半乳糖醛酸酶和纤维素酶的活性受到明显抑制, 但对于鳄梨果实, 其软化和衰老的进程仍在继续。Jeong 等^[41]研究发现, 尽管经 1-MCP 处理完全抑制鳄梨果实中 PG 的活性长达 10 d, 但鳄梨仍然出现软化现象。Jeong 等^[41]对果胶甲酯酶的研究也得出了相似的结论, 并且发现, 对照鳄梨果实中糖醛酸含量有所降低, 而经 1-MCP 处理的果实中糖醛酸含量则几乎没有变化。Dong 等^[7]研究表明, 经 1-MCP 处理的李果实中外切多聚半乳糖醛酸酶和内切葡聚糖酶活性降低, 而果胶甲酯酶和内切多聚半乳糖醛酸酶活性则保持不变。在对经 1-MCP 处理的树莓果实软化衰老机制进行研究中发现, 果实中内切 β -1,4-葡聚糖苷酶的活性是受乙烯的诱导, 而 1-MCP 通过调控乙烯生成从而抑制内切 β -1,4-葡聚糖苷酶的活性, 从而延迟果实衰老软化^[42]。魏建梅等^[43]以苹果为研究对象进行 1-MCP 保鲜试验, 对果实相关成分的分析表明, 1-MCP 显著地抑制了淀粉转化、降低细胞壁物质的降解速率, 延缓了不溶性果胶向水溶性果胶转化。相关性分析证明, 嘎拉苹果果实采后的硬度与淀粉、共价结合果胶(CSP)、纤维素和半纤维素变化呈显著正相关, 与水溶性果胶(WSP) 呈显著负相关。这与他人在其他苹果品种^[3]以及梨^[44]、猕猴桃^[45]的研究结果基本一致。

2.4 对果蔬质地结构变化相关基因水平上的调控

1-MCP 处理可通过直接或间接调控相关酶和底物的水平的基因表达, 从而使其处理的果实保持一定的质地特性, 国内外关于 1-MCP 对果实软化

在基因水平上的调控研究已有报道,但大部分研究仅局限于几种作物或几个基因,大量相关研究仍有待深入。

Dong 等^[7]以 $0.1 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理油桃后贮藏试验研究结果表明,1-MCP 不但可以抑制贮藏过程中过程中合成 ACO、PG 及 PE 的 mRNA 的表达,在货架期这几种酶的基因表达同样在转录水平上受到抑制。刘美艳等^[46]研究表明,1-MCP 处理后,“泰山早霞”苹果乙烯释放速率、PG、PME、 β -Gal、 α -L-Af 及 LOX 等细胞壁酶基因的表达均被明显抑制,在整个试验期内均有明显下降,尤其是在处理后 1 d,就分别比各自的对照下降了 72.0%、72.1%、87.5%、81.8%、90.2%和 16.7%,而 1-MCP 对 AM 和 XET 基因的表达没有明显作用。姜尼娜等^[47]研究表明,随着柿果实成熟软化,PG 基因 DkPG1 转录水平呈先上升后下降的趋势,经 1-MCP 处理的果实中 DkPG1 的表达高峰出现比对照推迟 12 d,且峰值极显著低于对照,PG 酶活性明显降低。祝庆刚等研究表明^[48],随着柿果实成熟软化进程的推进,4 个 XTH 基因呈现不同的表达方式,1-MCP 处理抑制了 4 个 XTH 基因的表达,其中 *DkXTH1* 和 *DkXTH2* 基因表达量受 1-MCP 处理影响较为显著。Hlwasa 等^[49]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 的积累则影响不大,PC-PG1、PC-PG2 mRNA 的积累分别与丙烯和 1-MCP 处理的果实的软化进程是一致的,但 PME 和果实中的 EGase 基因,PC-EG1 和 PC-EG2 的表达在两个处理中都没有受到影响。

3 存在问题和发展趋势

当前,国家十分重视农产品流通和保鲜问题,而农产品尤其是新鲜果蔬流通过程中的安全性直接关系到每个消费者的生活质量和健康状况。1-MCP 是近几年国内外果蔬保鲜领域新兴的安全、环保的技术,它的开发和利用将对促进我国绿色食品的发展和保障人民健康具有重要的意义,有明显的社会和经济效益。

虽然 1-MCP 对许多种类的果蔬具有非常突出的保鲜效果,在保持果实固有质地特性及抑制果肉成熟软化进程方面作用突出,但在实际生产与应用

中也存在着许多的问题。1-MCP 效能的发挥与许多因素有关,包括果蔬产品种类、品种、采收期及其处理的剂量、温度、时间,处理后的贮藏条件等,还受到许多尚不明确因素的影响,有时某个因素掌握控制不好就会导致处理效果不稳定,甚至会导致生理病害而引起相反的作用效果,如以 1-MCP 处理过的番木瓜、猕猴桃、南果梨等需要后熟软化的果实很难软化,最终达不到较高的商品性和食用品质。因此,针对不同果蔬种类的生理特性和贮藏特性,反复进行处理条件的优化组合试验,确定最适宜的处理技术参数,研究 1-MCP 处理对各种果蔬采后生理、病理及贮藏性状的影响,方可在很大程度上解决诸如此类问题。

在无数前人的工作基础上,1-MCP 在许多果蔬采后贮藏保鲜中的作用效果已经得到明确和认可,并且其对一部分呼吸跃变型果实软化机制的调控也在一定程度得到解释和阐述,但 1-MCP 对于许多非呼吸跃变型果实质地结构变化的作用机制仍不甚明确,而最终将调控靶标机制深入到基因水平这方面的资料更是非常少,许多研究得出的结论甚至存在分歧和争议。因此,深入开展 1-MCP 对一些非呼吸跃变型果蔬质地的调控机制研究,可使 1-MCP 技术在今后非呼吸跃变型果蔬的贮藏保鲜研究中更有的放矢,为新型保鲜剂的研发以及生产中的配套技术开发等提供一个新思路,同时也为 1-MCP 技术在果蔬保鲜上的应用开辟更广阔的空间。

参考文献

- [1] 李志文,张平,李江阔,等. 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实质地及软化特性的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 176-181.
Li ZW, Zhang P, Li JK, et al. Effect of 1-methylcyclopropene combined with controlled freezing-point storage on texture of grape fruit [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2011, 42(7): 176-181.
- [2] 李志文,张平,刘翔,等. 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄采后品质及相关生理代谢的调控[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 300-306.
Li ZW, Zhang P, Liu X, et al. Effects of 1-MCP treatment in combination with controlled freezing-point storage on postharvest qualities and physiological metabolism of grape (*Vitis vinifera* L.)[J]. Food Sci, 2011, 32(20): 300-306.
- [3] Sisler EC, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plant at the receptor level: recent developments[J]. Physiol Plant, 1997,

- 100: 577-582.
- [4] 魏好程, 潘永贵. 1-MCP 对采后果蔬生理及品质影响的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2003, 22(3): 307-312.
Wei HC, Pan YG. Advances in effect of 1-Mcp treatment on postharvest physiology and quality of postharvest fruits and vegetables [J]. J Huazhong Agric, 2003, 22(3): 307-312.
- [5] Hofman PJ, Jobin-Décor M, Meiburg GF, *et al.* Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya fruit to 1-methylcyclopropene [J]. Aust J Exp Agr, 2001, 41: 567-572.
- [6] Fan XT, Mattheis JP. Yellowing of broccoli in storage is reduced by 1-MCP [J]. Hortscience, 2000, 35(5): 885-887
- [7] Dong L, Zhou H, Sonogo L, *et al.* Ethylene involvement in the cold storage disorder of 'Flavortop' nectarine [J]. Postharvest Bio Tec, 2001, 23, 105-115.
- [8] Kluge RA, Jacomino AP. Shelf life of peaches treated with 1-methylcyclopropene [J]. Sci Agr, 2002, 59: 69-72.
- [9] Skog LJ, Schaefer BH, Smith PG. 1-Methylcyclopropene preserves the firmness of plums during postharvest storage and ripening [J]. Acta Hort, 2001, 553: 171-172.
- [10] Mir NA, Khan N, Beaudy RM. 1-Methylcyclopropene extends shelf life of tomato at all stages maturity [J]. Hortscience, 1999, 34(3): 538.
- [11] Luo ZS, Xie J, Xu TQ, *et al.* Delay ripening of 'Qingnai' plum (*Prunus salicina* Lindl.) with 1-methylcyclopropene [J]. Plant Sci, 2009, 177(6): 705-709.
- [12] Garcia JAO, Barraza MHP, Valdivia VV, *et al.* Application of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Mexican plum (*Spondias purpurea* L.) [J]. Rev Fitotec Mex, 2011, 34: 197-204.
- [13] 李志强, 汪良驹, 巩文红, 等. 1-MCP 对草莓果实采后生理及品质的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(1): 125-128.
Li ZQ, Wang LJ, Gong WH, *et al.* Effect of 1-MCP on senescence and quality of strawberry fruit [J]. J Fruit Sci, 2006, 23(1): 125-128.
- [14] Dharini S, Lise K. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar McLean's Red to 1-methylcyclopropene pre-treatment and controlled atmosphere storage conditions [J]. LWT-Food Sci Technol, 2010, 43(6): 942-948.
- [15] Pietro RL, Emiliano C, Santina R, *et al.* Effect of 1-MCP treatment and N₂O MAP on physiological and quality changes of fresh-cut pineapple [J]. Postharvest Bio Tec, 2009, 51(3): 371-377.
- [16] Liu ZY, Zeng MY, Dong SY, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene on fruit browning of sweet cherry [J]. J Fruit Sci, 2005, 22(5): 488-491.
- [17] 霍宪起. 1-MCP 对桑葚采后生理效应的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 310-313.
- Huo XQ. Effect of 1-methylcyclo-propene treatment on post-harvest physiology of mulberry [J]. Food Sci, 2011, 32(2): 310-313.
- [18] Xie BX, Gu ZY, Wang S, *et al.* Effect of 1-MCP on texture properties of fresh fruit in storage shelf period of *Zizyphus jujuba* 'Zhongqiusucui' [J]. Acta Hort, 2009, 840: 499-504.
- [19] 郑铁松, 李雪枝. 番茄 1-MCP 保鲜过程中质构性能变化初探[J]. 中国食品学报, 2007, 7(5): 75-78.
Zheng TS, Li XZ. Primary study on the changes of texture properties of tomato during fresh-keeping with 1-MCP [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2007, 7(5): 75-78.
- [20] 郑铁松, 李雪枝. 草莓 1-MCP 保鲜过程中质构性能的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 41-44.
Zheng TS, Li XZ. Research on the texture properties of strawberry fruit in fresh-keeping with 1-MCP [J]. Food Sci, 2007, 7(5): 75-78.
- [21] Sfakiotakis E, Petkopoulou I. Beneficial effects of a pre-commercial application of SmartFresh (SM) (1-Methylcyclopropene) on texture preservation and reduced weight losses of 'Hayward' kiwifruit: Potential commercial benefits of SmartFresh (SM) (1-MCP) for retarding ripening and extending the storage and shelf life of 'Hayward' kiwifruit [J]. Acta Hort, 2011, 913: 603-608.
- [22] Cock LS, Valenzuela LST, Aponte AA. Changes in mechanical properties of minimally-processed yellow pitahaya treated with 1-MCP [J]. Dyna-Colombia, 2012, 79(174): 71-78.
- [23] 田海龙, 张平, 农绍庄, 等. 基于 TPA 测试法对 1-MCP 处理后葡萄果实质构性能的分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 104-107.
Tian HL, Zhang P, Nong SZ, *et al.* Analysis on texture properties of treated grape fruit with 1-MCP based on TPA test [J]. Food Mach, 2011, 27(3): 104-107.
- [24] Ortiz A, endrell M, Lara I. Softening and cell wall metabolism in late-season peach in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment [J]. J Hort Sci Biotech, 2011, 86(2): 175-181.
- [25] Nakatsuka A, Murachi S, Okunishi H. Differential expression and internal feedback regulation of ACO ACS and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening [J]. Plant Physiol, 1998, 118: 1295-1305.
- [26] Dan G, Ruth B, Martin G. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) application to Spadona pears at different stages of ripening to maximize fruit quality after storage [J]. Postharvest Bio Tec, 2010, 58: 104-112.
- [27] Yang XT, Song J, Leslie CP, *et al.* Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and

- perception during ripening of apple fruit [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2013, 78: 55-66.
- [28] 黄铮, 庞中存, 李梅, 等. 常温条件下果蜡涂膜与1-MCP对红星苹果果实采后生理的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2009, 6: 8-11.
Huang Z, Pang ZC, Li M, *et al*. Effect of fruits wax coating and 1-MCP on Starkrimson stored at ambient temperature [J]. *Gansu Agric Sci Technol*, 2009, 6: 8-11.
- [29] 逯志斐, 张平, 李江阔, 等. 1-甲基环丙烯对黄金梨低温贮藏效果的影响[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(4): 139-142.
Lu ZF, Zhang P, Li JK, *et al*. Effects of 1-MCP on Whangkeumbae during storage of low temperature [J]. *Food Res Dev*, 2009, 30(4): 139-142.
- [30] Yuan GF, Sun B, Yuan J, *et al*. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets [J]. *Food Chem*, 2010, 118: 774-781.
- [31] Baritelle AL, Hyde GM, Fellman JK, *et al*. Using 1-MCP to inhibit the influence of ripening on impact properties of pear and apple tissue [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2011, 23: 153-160.
- [32] 赵刚, 马书尚, 玉涵, 等. 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 对“嘎拉”苹果贮藏期间果肉细胞结构的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2007, 43(3): 487-490.
Zhao G, Ma SS, Wang H, *et al*. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on flesh cell structure of 'Gala' apple (*Malus domestica* Borkh. cv. 'Gala') during storage [J]. *Plant Physiol Commun*, 2007, 43(3): 487-490.
- [33] 杨德兴, 戴京晶, 庞向宇, 等. 猕猴桃衰老过程中PG、果胶质和细胞壁超微结构的变化[J]. *园艺学报*, 1993, 20(4): 341-345.
Yang DX, Dai JJ, Pang XY, *et al*. changes of polygalacturonase, pectin and ultrastructure of cell wall in kiwifruit during senescence [J]. *Acta Horti Sinica*, 1993, 20(4): 341-345.
- [34] 段玉权, 冯双庆, 赵玉梅, 等. 1-甲基环丙烯处理对冷藏桃果肉细胞超微结构的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(12): 2039-2042.
Duan YQ, Feng SQ, Zhao YM, *et al*. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on flesh cell ultrastructure of refrigerator-stored peaches [J]. *Sci Agric Sinica*, 2004, 37(12): 2039-2042.
- [35] 胡芳, 马书尚, 张继澍, 等. 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[J]. *园艺学报*, 2009, 36(4): 487-492.
Hu F, Ma SS, Zhang JS, *et al*. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest physiology and cell ultra-structure of pollination-constant and non-astringent persimmon during storage [J]. *Acta Horti Sinica*, 2009, 36(4): 487-492.
- [36] Donald JH, Brandon MH, Jin SL, *et al*. 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: Evidence for enzymic 1-MCP metabolism [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2010, 56: 123-130.
- [37] 刘红霞, 集微波, 罗云波. 1-MCP处理对采后中华寿桃品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2003, 3(3): 55-59.
Liu HX, Ji HB, Luo YB, *et al*. Effect of 1-methylcyclopropene on postharvest peach (cv. *Zhonghua Shoutao*) quality [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2003, 3(3): 55-59.
- [38] 王俊宁, 饶景萍, 任小林, 等. 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 对油桃果实软化的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2005, 41(2): 153-156.
Wang JN, Rao JP, Ren XL, *et al*. effect of 1-methylcyclopropene(1-MCP) on softening of nectarine(*Prunus persica* var. *nectarina* Maxim cv. *Qinguang*) [J]. *Plant Physiol Commun*, 2005, 41(2): 153-156.
- [39] 万春燕, 李桂凤. 1-甲基环丙烯和水杨酸在储藏中对肥城桃品质的影响[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 523-525.
Wan CY, Li GF. Effects of 1-MCP and SA on quality of feicheng-peaches during storage [J]. *Food Sci*, 2007, 28(10): 523-525.
- [40] 金昌海, 阚娟, 王红梅, 等. 1-甲基环丙烯对桃果实成熟软化调控的影响[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(11): 153-156.
Jin CH, Kan J, Wang HM, *et al*. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on softening of peach fruit [J]. *Food Res Dev*, 2006, 27(11): 153-156.
- [41] Jeong J, Huber DJ, Sargent SA. Influence of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and cell-wall matrix polysaccharides of avocado (*Persea americana*) fruit [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2002, 25: 241-364.
- [42] Iannetta PPM, Wyman M, Neelam A, *et al*. A causal role for ethylene and endo-beta-1,4-glucanase in the abscission of red-raspberry (*Rubus idaeus*) drupelets [J]. *Plant Physiol*, 2000, 110: 535-543.
- [43] 魏建梅, 朱向秋, 袁军伟, 等. 1-MCP对采后嘎拉苹果果实淀粉及细胞壁成分变化的影响[J]. *华北农学报*, 2008, 23(增刊): 121-124.
Wei JM, Zhu XQ, Yuan JW, *et al*. Effects of 1-MCP on Fruit's Starch and the Components of Cell-wall Material during Post-harvest of Gala Apples [J]. *Acta Agric Boreali-Sinica*, 2008, 23(S1): 121-124.
- [44] Arthur CC, Michael SR. 1-MCP blocks ethylene-induced petal abscission of *Pelargonium peltatum* but the effect is transient [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2001, 22: 169-177.
- [45] Fan X, Mattheis JP. 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of Gala apple fruit to gamma irradiation [J]. *Postharvest Bio Tec*, 2001, 23: 145-151.

- [46] 刘美艳, 魏景利, 刘金, 等. '泰山早霞' 苹果采后 1-甲基环丙烯处理对其软化及相关基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 845-852.
Liu MY, Wei JL, Liu J, *et al.* The regulation of 1-methylcyclopropene on softening and expression of relevant genes in 'taishan Zaoxia' Apple [J]. Acta Horti Sinica, 2012, 39(5): 845-852.
- [47] 姜妮娜, 饶景萍, 付润山, 等. 柿果实采后软化中 PG 酶活性及其基因 DkPG1 的表达[J]. 园艺学报, 2010, 37(9): 1507-1512.
Jiang NN, Rao JP, Fu RS, *et al.* Effects of propylene and 1-methylcyclopropene on PG activities and expression of DkPG1 gene during persimmon softening process [J]. Acta Horti Sinica, 2010, 37(9): 1507-1512.
- [48] 祝庆刚, 饶景萍, 田红炎, 等. 丙烯和 1-甲基环丙烯处理对采后柿果实 XTH 基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(7): 1278-1284.
Zhu QG, Rao JP, Tian HY, *et al.* Effects of 1-methylcyclopropene and Propylene on Expression of XTH Genes in Persimmon Fruits

[J]. Acta Horti Sinica, 2012, 39(7): 1278-1284.

- [49] Hiwasa K, Klnugase Y, Amano S, *et al.* Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit [J]. J Exp Bot, 2003, 54(383): 771-779.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



李志文, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为果蔬采后生理生化及贮藏保鲜新技术研发。

E-mail: lizhiwen315@163.com



张平, 博士, 研究员, 主要研究方向为果蔬采后生理与贮藏保鲜。

E-mail: zhp-0352@163.com