

# 1-MCP 应用于芒果贮藏保鲜的研究进展

冯叙桥<sup>1,2,4</sup>, 孙海娟<sup>1</sup>, 何晓慧<sup>1</sup>, 徐方旭<sup>1,4</sup>, 黄晓杰<sup>3,4</sup>

(1. 沈阳农业大学 食品学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 渤海大学 食品科学研究院, 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013; 3. 辽宁医学院 食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121001; 4. 辽宁省食品质量与安全学会, 辽宁 沈阳 110866)

**摘要:** 呼吸跃变型水果芒果对乙烯非常敏感。1-MCP 是一种有效的乙烯作用抑制剂, 它能抑制乙烯所诱导的与果实后熟相关的一系列生理生化反应, 进而延缓采后呼吸跃变型果实的衰老进程, 保持果实的贮藏品质。综述了 1-MCP 的作用机理及 1-MCP 对采后芒果的呼吸速率、乙烯产量、果实品质及生理病害等生理生化指标的研究现状, 同时介绍了 1-MCP 结构类似物以及 1-MCP 结合其他保鲜方法的应用情况, 并对 1-MCP 应用前景进行了展望, 以期对 1-MCP 在芒果贮藏保鲜中的应用和研究提供参考。

**关键词:** 1-MCP 乙烯作用抑制剂; 芒果; 采后品质

**中图分类号:** TS 255.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2013)12—1233—11

## Advances on Application of 1-Methylcyclopropene for Postharvest Storage of Mango Fruit

FENG Xu-qiao<sup>1,2,4</sup>, SUN Hai-juan<sup>1</sup>, HE Xiao-hui<sup>1</sup>, XU Fang-xu<sup>1,4</sup>, HUANG Xiao-jie<sup>3,4</sup>

(1. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Food Science Research Institute of Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China; 3. College of Food Science and Engineering, Liaoning Medical University, Jinzhou 121001, China; 4. Liaoning Province Society of Food Quality and Safety, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** Mango is a typical climacteric fruit that is very sensitive to ethylene. 1-MCP (1-methylcyclopropene) is a new ethylene action inhibitor, which can occupy ethylene receptor irreversibly, and then blocks the normal combination of ethylene to combine on the receptor, inhibits a series of physiological and biochemical reactions associated with fruit ripening, thus delays fruit senescence and maintains fruit quality during postharvest storage. This review focuses on the mechanism and effect of 1-MCP on postharvest ripening of mango fruit, including biochemical and physiological indices such as respiration rate, ethylene production output, fruit quality and physiological disorders etc. At the same time, application of 1-MCP structural analogues and 1-MCP in combination with other preservation methods are also introduced. The foreground in

收稿日期: 2013-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(30972064); 辽宁省科技厅重点项目(2008205001); 沈阳农业大学高层次人才引进基金项目(SYAU20090107); 渤海大学人才引进基金项目(BHU20120301)。

作者简介: 冯叙桥(1961—), 男, 河北曲阳人, 工学博士, 教授, 主要从事果蔬质量与安全控制研究。E-mail: feng\_xq@hotmail.com

application of 1-MCP is prospected to provide references for the application and research of 1-MCP on mango postharvest handling and storage.

**Keywords:** 1-MCP, mango, postharvest quality

芒果 (*Mangifera indica* L.) 为漆树科 (Anacardiaceae) 芒果属 (*Mangifera*) 植物, 原产于印度及马来西亚, 系世界五大热带水果之一, 属浆果状核果, 因其果肉细腻、风味独特、营养丰富而深受人们喜爱。芒果果实富含维生素 A、B 族、C 以及 Se、Ca、P、K 等人体所需的矿物质, 可供鲜食或加工果酱、果汁及果干等, 种子还可以入药, 所以芒果被誉为“热带果王”<sup>[1]</sup>。芒果属于典型的呼吸跃变型果实, 对乙烯非常敏感<sup>[2]</sup>。果实在成熟过程中, 会产生大量植物激素乙烯, 使果实采后呼吸作用达到高峰, 加速果实的后熟衰老进程, 大幅度降低果实的贮藏性。因此, 减少芒果果实乙烯气体的产生、控制呼吸强度、延缓呼吸高峰的到来, 及抑制植物外源和内源乙烯的作用, 是延长果实贮藏期及控制果实贮藏品质的主要途径。

20 世纪 90 年代, 人们发现了诸如 2,5-NBD (2,5-norbomadiene, 2,5-降冰片二烯); 3,3-DMCP (3,3-dimethylcyclopropene, 3,3-二甲基环丙烯); ADCP (Dizocyclopentadiene, 叠氮环戊二烯); CP (Cyclopropene, 环丙烯) 和 1-MCP (1-methylcyclopropene, 1-甲基环丙烯) 等很多能够抑制植物外源和内源乙烯作用的化学物质<sup>[3-8]</sup>。其中, 以 1-MCP 的作用效果最为显著。1-MCP 是一种新型、高效、无毒、化学性质稳定的乙烯效应抑制剂, 能够通过阻断乙烯与受体的结合而抑制乙烯所诱导的各种生理生化反应<sup>[9]</sup>, 首先在美国被开发成商品应用于花卉的保鲜<sup>[10]</sup>。近些年, 1-MCP 也广泛应用于果蔬的贮藏保鲜研究中。自 2000 年以来的许多研究表明, 1-MCP 能抑制芒果贮藏期间乙烯的生成, 对芒果有延缓后熟与衰老的保鲜作用<sup>[11-14]</sup>。本文中总结了 1-MCP 对芒果采后的生理生化指标的影响, 以及 1-MCP 结合其他保鲜方法处理的应用情况, 并对其应用前景进行了展望, 以期 1-MCP 在芒果贮藏保鲜中的进一步应用和研究提供参考。

## 1 1-MCP 的作用机理

1-MCP 是一种环丙烯类的小分子化合物, 其 1

位上的氢原子被一个甲基所取代(图 1), 在标准温度和压力下呈气体状态, 相对分子质量为 54, 无异味、无毒, 沸点约为 10 °C, 在液体状态下不太稳定。Sisler 和 Serek<sup>[9]</sup>的研究表明, 1-MCP 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。

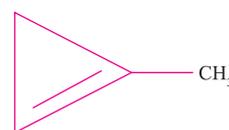


图 1 1-MCP 的结构简式

Fig. 1 Formula of 1-MCP

乙烯是五大类植物激素中结构最为简单的、唯一的气态物质, 对植物的生长发育有着广泛的影响, 它参与了包括种子萌发、生长发育、衰老、果实成熟等植物生命周期中整个生命过程的调控<sup>[15]</sup>。蛋氨酸是乙烯生物合成的前体, 在 SAM 合成酶的作用下合成 SAM (S-adenosylmethionine, S-腺苷蛋氨酸), SAM 进一步在 ACS (ACC synthase, ACC 合成酶) 作用下转化成 ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic-acid, 1-氨基-1-羧基苯丙烷), 最后 ACC 在 ACO (ACC oxidase, ACC 氧化酶) 的作用下降解释放出乙烯<sup>[16]</sup>(图 2)。在没有乙烯的情况下, 乙烯受体基因 (*ETR1*, *ETR2* (*ETR*: Ethylene response, 乙烯反应基因); *EIN4* (*EIN*: Ethylene insensitive, 乙烯不敏感基因); *ERS1* 和 *ERS2* (*ERS*: Ethylene response sensor, 乙烯反应元件基因)) 协同下游的负调控因子 *CTR1* (*CTR*: Constitutive triple response, 组成型乙烯反应基因) 抑制乙烯信号传导而使乙烯反应不发生。而在乙烯存在的情况下, 乙烯与受体紧密结合而使受体失活, 导致 *CTR1* 对下游基因 *EIN2* 和 *EIN5* 的抑制消失, 使得 *EIN3* 和 *EIL1* (*EIL*: *EIN3*-like, 乙烯不敏感基因 3 类似基因) 在细胞核内积累, 进一步诱导次级转录因子 *ERF1* (*ERF*: Ethylene response factor, 乙烯反应因子) 的表达, 这些次级转录因子再诱导更多基因的表达, 进而影响植物生长和发育的各个方面。在果实成熟过程中乙烯则诱导成熟基因的表达, 进而引发乙烯反应并启动果实成

熟<sup>[17]</sup>。乙烯受体是整个乙烯信号转导途径的最上游元件,目前已从番茄、猕猴桃、柑橘等多种果实中分离到不同数量的乙烯受体基因<sup>[18]</sup>。乙烯受体蛋白从功能上可分为感受器、组氨酸激酶和反应调节器

3个结构域,并建立了一条从在膜上对乙烯的接受到核内的转录调控的线性的乙烯转导途径,目前已在拟南芥中发现5个乙烯受体蛋白质,相应的编码基因分别为*ETR1*、*ETR2*、*EIN4*、*ERS1*和*ERS2*<sup>[19-20]</sup>。

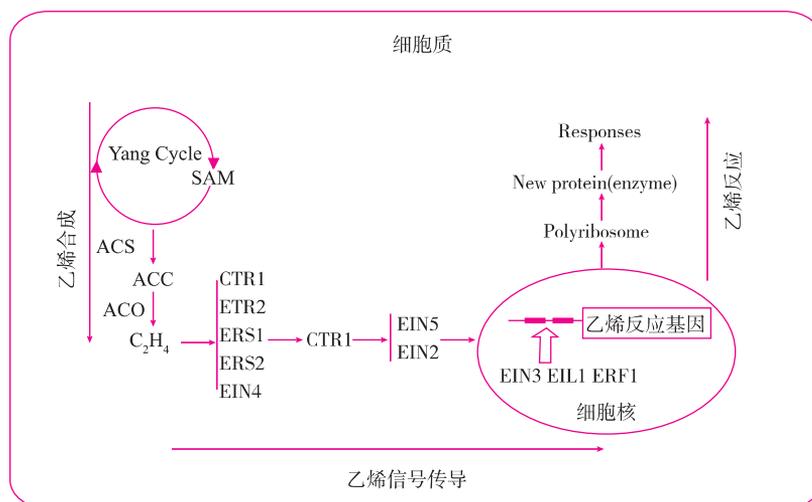
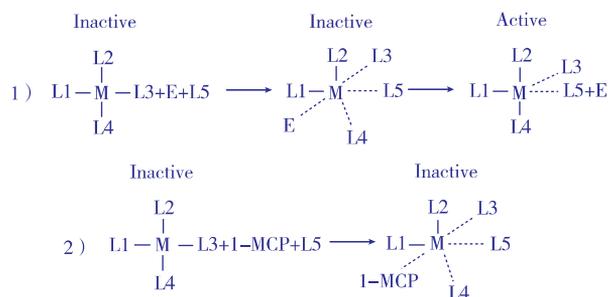


图2 乙烯生物合成及信号转导途径<sup>[16-17]</sup>

Fig. 2 Ethylene biosynthesis and signal transduction pathway

关于 1-MCP 在乙烯受体上产生作用的过程,尚不十分清楚,图 3 是 Sisler 和 Serek<sup>[8-9]</sup>提出的 1-MCP 可能的作用模式。在正常情况下,乙烯与体内受体中的金属原子相结合,引起受体结构的改变,当另一个配基接近金属中心时,乙烯又从受体上脱落下来,乙烯受体被激活,进而导致果实生理代谢加强,促进植物体生长和果实成熟<sup>[21]</sup>。但在 1-MCP 存在的情况下,由于 1-MCP 具有比乙烯更高的双键张力和化合能,因而 1-MCP 能强烈竞争乙烯受体,并通过金属原子与受体紧密结合;又由于 1-MCP 与乙烯受体结合的能力非常强,大约要比乙烯高 10 倍<sup>[22]</sup>,因而这种结合是紧密的,1-MCP 不易脱落下来,使受体保持钝化状态。Jiang 等人<sup>[23]</sup>在 1-MCP 与乙烯的竞争性研究中发现,1-MCP 较乙烯有更低的解离常数,这意味着 1-MCP 比乙烯更容易与受体相结合。很多研究<sup>[24-26]</sup>证实大多数经 1-MCP 处理后的果实最终都能实现完熟,这表明随着果实的成熟,可能有新的乙烯受体产生或 1-MCP 与乙烯受体的结合发生解离,使受体重新获得对乙烯的敏感性。香蕉果实经 1-MCP 处理后,外源乙烯处理对果实软化进程不起作用,可能是果实体内缺乏足够数量的乙烯受体,而当给予足够的时间(30 d),外

源乙烯处理便能诱导果实后熟的发生<sup>[9,27-28]</sup>,这可能是有足够数量新的乙烯受体产生的结果。



M: 受体金属离子; L<sub>1</sub>-L<sub>5</sub>: 配体; E: 乙烯

图3 Sisler 和 Serek 对乙烯和 1-MCP 与受体作用的推测模式

Fig. 3 Proposed combining model of ethylene and 1-MCP on ethylene receptor by Sisler and Serek

受体竞争模式虽然只是一种假设,却也可以解释很多果蔬采后生理生化品质变化的问题。但是随着 1-MCP 作用机理研究的深入,也有学者提出 1-MCP 与乙烯的作用模式呈非竞争性,受体上的蛋白激酶能够通过变构现象产生 1-MCP 新的结合位点,因而 1-MCP 和乙烯可以作用于不同的受体位点,并通过调节受体上蛋白激酶活性来影响乙烯的

信号传导, 即当 1-MCP 与受体结合时, 蛋白激酶被激活使得乙烯结合位点关闭, 进而阻断乙烯的信号传导; 而当乙烯与受体结合时, 蛋白激酶活性受到抑制, 致使 1-MCP 结合位点关闭, 乙烯的信号传导得以进行<sup>[29]</sup>。但此说法需要进一步验证。此外, 研究发现, 多种果蔬体内的木质素、高甲氧基果胶和油脂等疏水分子, 存在着对 1-MCP 强烈的非受体形式吸收<sup>[30]</sup>, 但是尚无证据证明这些化合物是引起不同园艺产品对 1-MCP 反应差异的原因<sup>[31]</sup>。因此 1-MCP 可能并不仅仅依靠直接作用于乙烯受体而对果实起保鲜作用, 关于 1-MCP 作用机理的研究还有很多细节问题有待于进一步探讨。

## 2 1-MCP 处理对芒果果实采后生理和品质特性的影响

1-MCP 是一种新型、高效、无毒的乙烯作用抑制剂, 能抑制多种植物组织中乙烯作用, 延缓组织衰老。研究表明, 1-MCP 通过与乙烯竞争结合乙烯受体的方式, 使乙烯失去与受体结合的机会, 从而抑制与乙烯相关的生理生化反应, 延缓果实的成熟与衰老<sup>[9]</sup>。1-MCP 抑制植物内源和外源乙烯作用的效果特别突出, 并在许多园艺作物产品的贮藏保鲜中得到应用, 许多研究已经证明, 1-MCP 延缓芒果后熟的保鲜作用主要体现在抑制果实呼吸强度、减少乙烯释放量、保持果实硬度及其他贮藏品质等方面。

### 2.1 对芒果呼吸速率和乙烯产量的影响

呼吸速率和乙烯产量与芒果果实衰老密切相关, 内源乙烯产量突然升高标志着果实质地等生理指标发生不可逆变化。乙烯通过与植物体内的特异受体蛋白质结合而发挥作用, 目前认为乙烯受体可能是含 Zn、Cu 的蛋白质<sup>[32]</sup>。1-MCP 可与乙烯受体上的金属原子结合, 抑制乙烯-受体复合物的形成, 从而阻断乙烯所诱导的信号传导。因此, 在植物内源乙烯大量产生之前, 施用的 1-MCP 就会抢先与乙烯受体结合, 即阻碍了乙烯-受体复合物的形成以及随之产生的效应, 暂时延缓了如落花、落果、落叶、叶绿素降解和果实成熟等乙烯所诱导的生理生化反应<sup>[9,33]</sup>。从现有的研究来看, 1-MCP 能很好地抑制果实的呼吸速率和乙烯的产量。

黄绵佳等人<sup>[34]</sup>的研究结果表明, 1-MCP 熏蒸处理八九成成熟度的“台农 1 号”芒果 12 h 较对照果实推迟了芒果贮藏时呼吸高峰的出现, 对芒果的呼

吸强度增加也具有一定的抑制作用, 特别是在贮藏前期(20 d 以内), 呼吸高峰比对照果实推迟了 10 d, 且呼吸高峰值也略低于对照果实。李敏等人<sup>[35]</sup>以“台农”芒果为试材, 研究了 1-MCP 0~18 h 处理对芒果贮藏期的呼吸强度、乙烯释放量的影响, 结果表明, 不同阶段的 1-MCP 处理均能不同程度地降低呼吸强度, 减少乙烯释放量, 并分别将呼吸高峰和乙烯释放峰推迟了 3 d 和 4 d, 其中以 12 h 为宜。1-MCP 处理还可有效地抑制“田阳”香芒和“紫花”芒果采后呼吸强度和乙烯释放。何全光等人<sup>[14]</sup>的研究结果表明, 1-MCP 处理 12 h 后的七成熟“田阳”香芒果呼吸高峰和乙烯高峰的出现均较对照果实延迟了 2 d, 且呼吸峰值和乙烯释放量也得到了不同程度的抑制。以八成熟“紫花”芒果为试材, 邱松山和姜翠翠<sup>[36]</sup>的研究结果显示, 1-MCP 室温熏蒸处理(24 h)明显抑制了果实的呼吸强度, 对乙烯的生物合成也有很好的抑制作用, 且对照和处理果实之间差异显著( $p < 0.05$ )。因此, 1-MCP 的处理时间以 12~24 h 为宜, 在芒果果实贮藏过程中不仅能显著降低乙烯释放速率和呼吸强度, 还能延迟乙烯释放高峰和呼吸高峰的出现时间, 但因果实品种的不同作用效果也存在差异。

作者的研究也表明, 不同体积分数的 1-MCP 处理对七八成成熟度的“贵妃”芒果果实的呼吸速率有不同程度的抑制作用, 室温熏蒸处理 20 h 后, 1  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 将果实呼吸高峰推迟 3 d, 而 5  $\mu\text{L/L}$  和 50  $\mu\text{L/L}$  1-MCP 将果实呼吸高峰推迟了 6 d, 且呼吸峰值显著低于对照果实, 较好地维持了果实的贮藏品质<sup>[37]</sup>。

### 2.2 对芒果果实软化的影响

随着芒果果实衰老程度的加深, 其软化过程也在不断进行。芒果在采后贮藏过程中, 由于淀粉酶的催化, 淀粉被水解并转化为可溶性糖, 引起细胞膨压力的下降, 从而导致了果实的软化<sup>[38]</sup>。Mitcham 和 McDocald<sup>[39]</sup>也指出, 芒果的后熟软化与 PG(多聚半乳糖醛酸酶)酶活性的增加、细胞壁果胶物质的降解有密切的关系。1-MCP 可以抑制这些酶活性的增加, 减缓其对果胶等物质的分解, 从而在一定程度上保持果实的硬度, 延缓果实的软化进程, 但不同浓度 1-MCP 处理的作用效果差异较大。

邵志远等人<sup>[40]</sup>研究了不同浓度 1-MCP 处理对“台农”芒果贮藏品质及采后生理的影响, 结果表

明,果实硬度随着贮藏时间的延长呈下降的趋势,1-MCP 处理果实硬度下降速度极显著低于对照果实( $p < 0.01$ ),较好地防止了果实的软化。但是不同质量分数 1-MCP 处理的果实其下降的速度不同,其中 25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理效果最显著,10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  次之,50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  处理再次。而果实可溶性固形物含量随着贮藏时间的延长而增加,但不同体积分数 1-MCP 处理的果实其上升的速度不同,且各处理均能延缓果实贮藏早期可溶性固形物含量的上升,并有利于维持贮藏后期果实可溶性固形物的含量。李敏等人<sup>[41]</sup>采用不同体积分数(100 nL/L, 1.5 和 50  $\mu\text{L}/\text{L}$ )1-MCP 处理“台农”芒果,结果表明对照果实在后熟过程中,可溶性固形物含量不断上升,1-MCP 处理果实在贮藏初期抑制了可溶性固形物增加,到了贮藏后期,1-MCP 处理中仅 50  $\mu\text{L}/\text{L}$  处理显著抑制了果实可溶性固形物含量的增加,其他处理与对照果实差别不明显。可见,在一定的作用浓度范围内,1-MCP 处理的效果随其体积分数的增加而增加,但过高体

分数的 1-MCP 作用效果可能并不显著,因此确定采后芒果果实 1-MCP 处理的最佳浓度是 1-MCP 应用研究的关键问题之一。作者的研究结果也显示,5  $\mu\text{L}/\text{L}$  1-MCP 处理在延缓芒果果实硬度下降和抑制可溶性固形物含量积累方面效果要优于 1  $\mu\text{L}/\text{L}$  和 50  $\mu\text{L}/\text{L}$  1-MCP 处理,较好地延缓了果实软化的进程<sup>[34]</sup>。这可能是由于在一定的浓度范围内,1-MCP 处理的效果随其体积分数的增加而加强,但过高体积分数的 1-MCP 反而抑制了某些有利的或是激发了某些不利的代谢系统,因而对组织本身的自然防御系统产生了干扰<sup>[42]</sup>。

### 2.3 对芒果采后相关酶活性的影响

1-MCP 能够影响与果实后熟衰老相关的活性氧清除酶的活性,从而影响果实的后熟衰老和软化进程。如李敏等人<sup>[43]</sup>的研究结果表明,1-MCP 处理可以抑制 PG 和 POD(过氧化物酶)活性,从而使果实的后熟衰老受到一定抑制。1-MCP 处理对芒果采后相关酶活性影响归纳如表 1 所示。

表 1 1-MCP 处理对芒果果实采后相关酶活性的影响

Table 1 Effect of treatment with 1-MCP on some post-harvest enzyme activities of post-harvest mango fruits

酶	作用效果	参考文献
ABA	对贮藏前期芒果的 ABA 生物合成有明显抑制作用	黄绵佳等 <sup>[34]</sup> ,2004
LOX	延缓 LOX 活性高峰的出现,有效延缓采后芒果成熟进程	邱松山和姜翠翠 <sup>[36]</sup> ,2010
MDA	显著抑制贮藏过程中芒果果实 MDA 的积累	邵志远等 <sup>[40]</sup> ,2009 孙炳新等 <sup>[37]</sup> ,2014
SOD	有利于芒果果实提高 SOD 活性,防止果实成熟衰老	邵志远等 <sup>[40]</sup> ,2009
PG	抑制 PG 活性,使其活性低于对照果实	李敏等 <sup>[43]</sup> ,2006
POD	贮藏前期显著抑制 POD 活性,贮藏后期与对照果实差异不显著	李敏等 <sup>[43]</sup> ,2006 何晓慧等 <sup>[44]</sup> ,2012
PPO	维持较低的 PPO 活性,降低了芒果果实贮藏期间褐变的发生	孙炳新等 <sup>[45]</sup> ,2013 冯叙桥等 <sup>[46]</sup> ,2013
PEL	芒果果实 PEL 酶活性得到了较好的抑制	Singh R et al <sup>[47]</sup> ,2007
CX	对果实贮藏后期 CX 酶活性具有抑制作用,抑制了纤维素的降解	高豪杰 <sup>[48]</sup> ,2012

LOX(脂氧合酶)具有启动膜脂过氧化作用,并产生氧自由基,参与 ACC 生成乙烯的过程,1-MCP 对乙烯的抑制作用与 LOX 活性的变化也有很密切的关系<sup>[49]</sup>。相关研究结果表明,1-MCP 熏蒸处理能显著降低贮藏期间 MDA(丙二醛)<sup>[37,40]</sup>含量,抑制膜脂过氧化作用及果实 LOX<sup>[36]</sup>活性,提高芒果果实贮藏后期的 SOD(超氧化物歧化酶)<sup>[40]</sup>活性,可以更好地清除细胞自由基和活性氧,减少自由基对膜的损伤。此外,1-MCP 能明显抑制 ABA(脱落酸)生物合

成,使 ABA 含量保持在较低的水平<sup>[34]</sup>,并能抑制 PEL(果胶裂解)<sup>[47]</sup>和 CX(纤维素酶)<sup>[48]</sup>活性,保持果实较好的贮藏品质。上述研究结果表明,1-MCP 可通过影响与芒果果实后熟衰老相关的活性氧清除酶及膜脂过氧化相关酶的活性来影响果实的后熟衰老进程。

### 2.4 对芒果果实品质的影响

随着芒果果实成熟进程的不断推进,果实的色泽和风味物质也随之发生改变。可滴定酸是反映果

实口感和风味的重要指标,只有保持适当的酸度才能使贮藏的芒果具有较好的商品价值。芒果的外观色泽也是评价果实成熟的重要指标之一。芒果采收时果肉类胡萝卜素含量较低,随着后熟期延长,类

胡萝卜素含量不断上升,叶绿素含量逐渐下降,果实逐渐转变为成熟的黄色<sup>[50]</sup>。

此外,果实 VC 含量是衡量芒果果实品质的另一个重要指标。见表 2。

表 2 1-MCP 处理对芒果果实采后品质的影响

Table 2 Effect of treatment with 1-MCP on post-harvest quality of mango fruit

品种	成熟度	品质	作用效果	参考文献
田阳	七成	可滴定酸	处理后的芒果果实能够正常成熟,品质未受影响	何全光等 <sup>[14]</sup> ,2008
台农	八成		明显延缓可滴定酸含量的下降,至贮藏结束时处理果实可滴定酸含量高于对照果实	邵志远等 <sup>[40]</sup> ,2009
贵妃	七八成		对照果实可滴定酸含量下降显著( $p<0.05$ ),且处理果实风味佳	何晓慧等 <sup>[44]</sup> ,2012;孙炳新等 <sup>[45]</sup> ,2013;冯叙桥等 <sup>[46]</sup> ,2013
红贵妃	六、八成		处理果实含酸量高于各自的对照果实,六成成熟度有利于保持芒果果实可滴定酸的含量	邵志远等 <sup>[51]</sup> ,2010
台农		转色进程	延缓了芒果果实贮藏期的转色,推迟了果实成熟进程	李敏等 <sup>[35]</sup> ,2007
紫花	八成		显著延缓芒果果实后熟过程中色泽转黄与衰老进程	邱松山和姜翠翠 <sup>[36]</sup> ,2010
贵妃	七八成		处理果实成熟度指数增加明显低于对照果实	孙炳新等 <sup>[37]</sup> ,2014
台农			1-MCP 处理较好地延缓果实贮藏过程中转黄的进程	李敏等 <sup>[41]</sup> ,2007
台农	八成	VC	有效地防止果实贮藏前期 VC 含量的下降和有利于贮藏后期 VC 含量的保持	邵志远等 <sup>[40]</sup> ,2009
红贵妃	六、八成		有效延缓果实 VC 的分解,且六成熟果实 VC 含量下降慢于八成熟果实	邵志远等 <sup>[51]</sup> ,2010
紫花	八成		与对照果实差异不显著	张振文 <sup>[52]</sup> ,2004
吕宋	八成		与对照果实差异不显著	张振文 <sup>[52]</sup> ,2004
鸡蛋	八成		显著地延缓果实 VC 含量的下降	张振文 <sup>[52]</sup> ,2004
台农	八成		极显著地延缓果实 VC 含量的下降	张振文 <sup>[52]</sup> ,2004

由表 2 可知,1-MCP 处理对延缓芒果果实后熟过程中的色泽转黄与衰老进程有显著效果。此外,1-MCP 处理对芒果可滴定酸含量的影响因不同芒果种类和相同种类不同成熟度果实而存在差异,而 1-MCP 处理对芒果果实 VC 含量的影响也因果实品种的不同而存在一定的差异。因此,在实际应用中要注意芒果果实的采后成熟度,对于成熟度过高的果实,1-MCP 不能发挥应有的效果,因而选择较低成熟度的果实进行 1-MCP 处理可以获得较好的贮藏品质。

### 2.5 对芒果果实采后生理病害和腐烂的影响

芒果炭疽病(*Colletotrichum gloeosporioides* Penz disease)和蒂腐病(*Botryodiplodia theobromae* Pat disease)是芒果贮藏保鲜过程中最重要的两种贮藏期病害,多在果实成熟时开始发病。1-MCP 处理能够在一定程度上减缓芒果蒂腐病的发生,减少果实贮藏期间的腐烂率,较好地维持果实的品质。以“台

农”芒果为试材的研究结果表明,1-MCP 处理 6 h 蒂腐病发病率为 13.13%,病指为 16.66;1-MCP 处理 12 h 蒂腐病发病率为 12.12%,病指为 4.32;而 1-MCP 处理 18 h 蒂腐病发病率仅为 10.81%,病指为 3.86。均明显低于对照果实蒂腐病发病率 33.33%,病指 21.42。因此 1-MCP 处理明显减轻了芒果蒂腐病病害的发生<sup>[35]</sup>。研究还发现,经 1-MCP 处理的“田阳”香芒果实贮藏 8 d 时仍有 76%的好果率,而对照果实的好果率只有 50%;12 d 以后,处理和对照果实的好果率基本一致<sup>[14]</sup>。由此表明,1-MCP 处理时间对芒果果实采后生理病害和腐烂的发生有一定的影响,因而在一定处理浓度条件下,适当延长 1-MCP 的作用时间会减少病害的发生。

## 3 1-MCP 结构类似物对芒果果实采后生理和品质特性的影响

随着 1-MCP 的深入研究和广泛应用,近年来

一些人工合成的新型环丙烯类化合物也应用于乙烯反应研究中。这些环丙烯类化合物多为 1-MCP 的结构类似物,研究发现,它们也有类似于 1-MCP 的作用,并被应用于抑制乙烯反应的研究中<sup>[53]</sup>。目前国内对 1-MCP 的研究还处于起步阶段,研究范围主要是应用效果研究,其作用机理等方面的理论研究较少,而对于 1-MCP 结构类似物的研究更是鲜有报道。国外已有相关研究报道 1-HCP(1-己基环丙烯)<sup>[54]</sup>;1-ECP(1-乙基环丙烯)和 1-PCP(1-丙基环丙烯)<sup>[55]</sup>;1-BCP(1-丁基环丙烯)、1-PentCP(1-戊基环丙烯)、1-HeptCP(1-庚基环丙烯)、1-OCP(1-辛基环丙烯)以及 1-DCP(1-癸基环丙烯)<sup>[53]</sup>等几种 1-MCP 结构类似物的作用效果。结果显示,各种相似物的作用效果与其分子结构和大小有关,且在乙烯反应之前应用效果更好,处理后的果实能够正常成熟。而在国内的实验室中,沈阳农业大学食品学院和渤海大学化学化工与食品安全学院合成了 1-PentCP 和 1-OCP,并进行了 1-PentCP 和 1-OCP 对采后番茄<sup>[56]</sup>、苹果<sup>[57-59]</sup>贮藏保鲜效果的研究。

作者研究了不同浓度的 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 室温熏蒸 20 h 处理对七八成成熟度的“贵妃”芒果采后的作用效果。结果显示,不论是室温贮藏((25±1)℃)还是冷藏((4±1)℃,RH 85%~90%),1-MCP 及其结构类似物均能不同程度地延缓芒果果实呼吸高峰的出现,有效地抑制果实转黄进程,保持了果实硬度、可溶性固形物及可滴定酸含量,推迟了果实 PPO(多酚氧化酶)和 POD 活性高峰的出现,抑制了果实贮藏期间的质量损失以及 MDA 的积累,较好地维持了果实贮藏期间的品质<sup>[37,44-46]</sup>。因此,1-PentCP 和 1-OCP 作为新型的乙烯效应抑制剂,有望与 1-MCP 一样应用于芒果的贮藏保鲜中。

#### 4 1-MCP 结合其他处理对芒果贮藏的效果

目前,芒果采后贮藏保鲜方法主要有热处理法、涂膜保鲜法、低温贮藏法、气调包装贮藏法以及减压贮藏法等<sup>[60]</sup>。1-MCP 处理与其他保鲜方法相结合将为芒果的贮藏条件提供一个新的途径。

首先应用于芒果贮藏方法研究中的是 1-MCP 结合涂膜保鲜及热处理保鲜法<sup>[52,61]</sup>。在结合涂膜保鲜法改善芒果果实贮藏品质的研究中,关于可食性保鲜膜涂膜结合 1-MCP 处理对采后芒果贮藏品质

的影响已有相关报道,且效果均较可食性膜和 1-MCP 单独处理佳,较好地保持了芒果果实采后的贮藏品质<sup>[62]</sup>。目前所使用的如壳聚糖等可食性保鲜膜具有保鲜效果好、使用方便、实用性好等特点,其制作工艺简单、成本低、可食、易降解、对环境不产生污染,因此在果蔬保鲜中已经取得了显著的成果<sup>[62]</sup>。葛霞等人<sup>[1]</sup>以“台农”芒果为试材,分别对其进行芒果专用纳米硅基氧化物保鲜果蜡涂膜和新型乙烯拮抗剂 1-MCP 室温下熏蒸处理(24 h)。结果表明,不论是常温还是低温贮藏,果蜡涂膜与 1-MCP 熏蒸复合处理均较果蜡涂膜和 1-MCP 熏蒸单独处理能显著抑制芒果中水分的散失、降低腐烂率、延缓芒果果皮的转黄速度、抑制呼吸,并能够很好地保持果实风味和其中的营养品质,对芒果的保鲜效果最佳。白欢和祝美云<sup>[61]</sup>研究壳聚糖涂膜与 1-MCP 处理对芒果货架期品质的影响,结果表明壳聚糖涂膜和 1-MCP 复合处理比两者分别处理效果都好,能显著延缓果实的后熟进程,进而较好地维持了芒果的货架期品质。

采后热处理作为一种无毒、无残留的物理处理方法,具有抑制多种果蔬的侵染性病害、虫害的发生,提高组织抗冷性、降低冷害、延缓衰老、保持贮藏品质等特点<sup>[63]</sup>。1-MCP 结合热处理能显著抑制采后芒果果实病害的发生,且较好地保持了果实的贮藏品质。邵志远等人<sup>[51]</sup>的研究表明,热处理(50℃)结合 1-MCP 处理能显著延缓“红贵妃”芒果果实病害的发生,抑制果实软化,减缓糖、酸和 VC 等品质及生理变化。张振文<sup>[52]</sup>提出 1-MCP 处理的最佳方式:质量分数 4%((54±1)℃)的 CaCl<sub>2</sub> 溶液处理 5 min 后再用 1-MCP(50 μL/L)常温(25~35℃)处理 12 h。这种结合处理更能有效地延缓芒果果实的转黄率和发病率,从而更好地保持果实的品质。相关研究结果还表明,热水(52~55℃)浸果 10 min)结合 1-MCP 处理,既有效地控制了芒果炭疽病的发生,又延缓了果实的后熟进程,从而延长了贮藏时间,且对芒果果实的品质无不良影响<sup>[64]</sup>。

#### 5 展望

1-MCP 能够抑制芒果乙烯的生物合成及呼吸作用,保持果实硬度,抑制果实可溶性固形物的上升以及病害的发生等,较好地维持果实的贮藏和食用品质,显示出了广阔的应用前景。目前,从整体上

看,1-MCP在芒果贮藏方面的研究主要在应用的层面上,今后的工作重点应着重以下几个方面:首先,由于1-MCP与乙烯的生物合成和信号传导密切相关,应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传导两个方面以及与之相对的基因水平上发生的改变,并将之与乙烯受体基因表达的研究相结合,更好地揭示乙烯在芒果采后衰老进程中的作用模式和1-MCP调控机制。

其次,由于1-MCP的作用效果随果品种类、采收成熟度、处理条件(处理浓度、处理时间和温度等)的不同而存在差异,因而要进行1-MCP对不同品种及不同采收期芒果的处理剂量、温度和时间的优化组合研究,确定不同种类果品最适宜的处理参数,以使1-MCP应用达到更好的效果。

此外,应该从分子水平深入研究与芒果果实衰老相关的酶基因的表达,进一步对1-MCP抑制衰老的机理进行更深入的研究和认识。如LOX是近年来发现的与植物代谢有密切关系的一种酶,它广泛存在于植物体中,参与植物生长、发育、成熟、衰老

的各个过程,特别是成熟衰老过程中自由基的产生以及乙烯的生物合成都发现有LOX的参与,对果实的成熟和衰老起加速作用,且其产物促进乙烯的生成。因此研究1-MCP对LOX基因表达途径的影响,有利于深入理解1-MCP延缓芒果果实衰老进程的机制。

另外,应进一步研究1-MCP处理与其他处理技术(热处理、涂膜处理、预冷技术等)、贮藏方法(密封贮藏、减压贮藏、气调贮藏等)的结合应用对采后芒果果实的保鲜效果,为芒果采后的贮藏条件提供更多的选择,进而确定适合芒果果实最佳的1-MCP综合保鲜方法。

最后,还应考虑并研究采前1-MCP的应用情况,因为在生产实际中果实采后搬运、装卸等工作都需要时间,且1-MCP处理需一定的密封条件,并受处理时间和温度等条件的影响,而采前喷洒或浇灌1-MCP水溶液操作方便、灵活,可以避免采后果实密封条件下进行1-MCP熏蒸处理所需的较大的工作量,同时也可以避免由于较长运输时间所导致的延迟熏蒸对1-MCP保鲜效果的负面影响。

## 参考文献:

- [1] 葛霞,田世龙,黄铮,等. 纳米果蜡与1-甲基环丙烯复合处理对“台农”芒果保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(7):363-367.  
GE Xia, TIAN Shi-long, HUANG Zheng, et al. Effect of nano-fruit wax coating with 1-methylcyclopropene on keeping fresh of mango fruits[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2011, 32(7):363-367. (in Chinese)
- [2] Burg S P, Burg E. Role of ethylene in fruit ripening[J]. **Physiol Plant**, 1962, 37:179-189.
- [3] Sisler E C, Pian A. Effect of ethylene and cyclic olefins on tobacco leaves[J]. **Tob Sci**, 1973, 175(10):27-31.
- [4] Ssler S C, Goren R, Huberman M. Effect of 2,5-Norbornadiene on abscission and ethylene production in citrus leaf explants[J]. **Physiol Plant**, 1985, 63(1):114-120.
- [5] Sisler E C, Blankenship S M. Effect of diazocyclopentadiene on tomato ripening[J]. **Plant Grow Regul**, 1993, 12(2):155-160.
- [6] Serek M, Sisler E C, Reid M S. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flow erring plants[J]. **Amer Soc Hort Sci**, 1994, 119(6):1230-1233.
- [7] Sisler E C, Serek M, Dupille E. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene and 3,3-demethylcyclopropene as an ethylene antagonist in plants[J]. **Plant Grow Regul**, 1996, 18(3):169-174.
- [8] Sisler E C, Serek M. Compounds controlling the ethylene receptor[J]. **Bot Bull Acad Sin**, 1999, 40:1-7.
- [9] Sisler E C, Serek M. Inhibitor of ethylene response in plants at the receptor level recent development[J]. **Physiol Plant**, 1997, 100:577-582.
- [10] 陈金印,刘康. 1-甲基环丙烯(1-MCP)在果蔬贮藏保鲜上的应用研究进展[J]. 江西农业大学学报,2008,30:215-219.  
CHEN Jin-yin, LIU Kang. Research advances in research on application of 1-MCP in storage and fresh-keeping of fruit and vegetable[J]. **Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis**, 2008, 30:215-219. (in Chinese)
- [11] Jiang Y, Joyce D C. Effects of 1-methylcyclopropene alone and in combination with polyethylene bags on the postharvest life of mango fruit[J]. **Annals of Applied Biology**, 2000, 137(3):321-327.
- [12] Hofman P J, Jobin-Decor M, Meiburg G F, et al. Ripening and quality responses of avocado, custard apple, mango and papaya

- fruit to 1-methylcyclopropene[J]. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 2001, 41(4): 567-572.
- [13] Santos E C, Silva S M, Sastos A F, et al. Influence of 1-methylcyclopropene on postharvest conservation of exotic mango cultivars [J]. **Acta Horticulturae**, 2004, 645: 565-572.
- [14] 何全光, 任惠, 苏伟强, 等. 1-MCP 对田阳香芒采后生理指标和贮藏品质的影响[J]. **广西农业科学**, 2008, 39(1): 80-83.  
HE Quan-guang, REN Hui, SU Wei-qiang, et al. Effects of 1-MCP treatment on storage quality and physiology indexes after harvest of mango variety Tiangyangxiangmang[J]. **Guangxi Agricultural Sciences**, 2008, 39(1): 80-83. (in Chinese)
- [15] Johnson P R, Ecker E R. The ethylene gas signal transduction pathway: a molecular perspective[J]. **Annu Rev Genet**, 1998, 32: 227-254.
- [16] Yang S F, Hoffman N E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants[J]. **Annu Rev Plant Physiol**, 1984, 35: 155-189.
- [17] Tian Y, Lu X Y. The molecular mechanism of ethylene signal transduction[J]. **South African Journal of Botany**, 2006, 72: 487-491.
- [18] 殷学仁, 张波, 李鲜, 等. 乙烯信号转导与果实成熟衰老的研究进展[J]. **园艺学报**, 2009, 36(1): 133-140.  
YIN Xue-ren, ZHANG Bo, LI Xian, et al. Ethylene signal transduction during fruit ripening and senescence [J]. **Acta Horticulturae Sinica**, 2009, 36(1): 133-140. (in Chinese)
- [19] Ciardi J, Klee H. Regulation of ethylene-mediated response at the level of the receptor[J]. **Ann Bot**, 2001, 88: 813-822.
- [20] 陈涛, 张劲松. 乙烯的生物合成和信号传递[J]. **植物学通报**, 2006, 23(5): 519-530.  
CHEN Tao, ZHANG Jin-song. Ethylene biosynthesis and signal pathway model[J]. **Chinese Bulletin of Botany**, 2006, 23(5): 519-530. (in Chinese)
- [21] 杨虎清, 杜荣茂, 向庆宁, 等. 1-MCP 对植物乙烯反应的抑制和应用[J]. **植物生理学通讯**, 2002, 38(6): 611-614.  
YANG Hu-qing, DU Rong-mao, XIANG Qing-ning, et al. Mechanism of 1-MCP in inhibiting ethylene response in plants and its application[J]. **Plant Physiology Communications**, 2002, 38(6): 611-614. (in Chinese)
- [22] Blankenship S M, Dole J M. 1-Methylcyclopropene: a review[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2003, 28: 1-25.
- [23] 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[J]. **Postharvest Biol Technol**, 1999, 16: 187-193.
- [24] Watkins C B. The use of 1-methylcyclopropene(1-MCP) on fruits and vegetables[J]. **Biotechnol Adv**, 2006, 24: 389-409.
- [25] 夏源范, 饶景萍, 辛付存, 等. 猕猴桃新品种“华优”和“金香”对 1-MCP 的反应[J]. **西北农业学报**, 2011, 20(5): 144-148.  
XIA Yuan-fan, RAO Jing-ping, XIN Fu-cun, et al. Responses to 1-MCP of a new Kiwifruit cultivar “Huayou” and “Jinxiang” [J]. **Acta Agriculturae Boreali-accidentalis Sinica**, 2011, 20(5): 144-148. (in Chinese)
- [26] 王东升, 张四普, 姜云斌, 等. 1-MCP 对贮藏酥梨品质的影响[J]. **中国农学通报**, 2012, 28(4): 250-254.  
WANG Dong-sheng, ZHANG Si-pu, JIANG Yun-bin, et al. Effect of 1-MCP treatment on qualities of Su pear in storage[J]. **Chinese Agricultural Science Bulletin**, 2012, 28(4): 250-254. (in Chinese)
- [27] Jiang Y M, Joyce D C, Macnish A J. Response of banana fruit to treatment with 1-methylcyclopropene[J]. **Plant Grow Regul**, 1999, 28: 77-82.
- [28] 苏小军, 蒋跃明. 新型乙烯受体抑制剂—1-甲基环丙烯在采后园艺作物中的应用[J]. **植物生理学通讯**, 2001, 37(4): 361-364.  
SU Xiao-jun, JIANG Yue-ming. Application of a new inhibitor of ethylene perception, 1-methylcyclopropene in postharvest horticultural crops[J]. **Plant Physiology Communications**, 2001, 37(4): 361-364. (in Chinese)
- [29] Reid M M, Celikel F G. Use of 1-Methylcyclopropene in ornamentals: carnations as a model system for understanding mode of action[J]. **HorScience**, 2008, 43: 95-98.
- [30] Choi S T, Huber D J. Differential sorption of 1-Methylcyclopropene to fruit and vegetable tissues, storage and cell wall polysaccharides, oils, and lignins[J]. **Postharvest Biol Technol**, 2009, 52: 62-70.
- [31] Huber D J, Hurr B M, Lee J S, et al. 1-Methylcyclopropene sorption by tissues and cell-free extracts from fruits and vegetables: Evidence for enzymic 1-MCP metabolism[J]. **Postharvest Biol Technol**, 2010, 56: 123-130.
- [32] Burg S P, Burg E A. Molecular requirement for the biological activity of ethylene[J]. **Plant Physiology**, 1967, 42: 42-145.
- [33] Sisler E C, Blankenship S M, Guest M. Competition of cyclooctenes and cyclooctadienes ethylene binding and activity in plants [J]. **Plant Growth Reg**, 1990(9): 157-164.

- [34] 黄绵佳,张振文,姚庆群. 1-甲基环丙烯处理采后芒果的3种生理效应[J]. 热带作物学报,2004,25(2):6-9.  
HUANG Mian-jia,ZHANG Zhen-wen,YAO Qing-qun. Effects of 1-MCP treatment on lipoxygenase activity,abscisic acid content and respiratory rate in postharvest mango fruit[J]. **Chinese Journal of Tropical Crops**,2004,25(2):6-9. (in Chinese)
- [35] 李敏,胡美姣,高兆银,等. 1-甲基环丙烯不同时间处理对芒果贮藏生理的影响[J]. 中国农学通报,2007,23(9):573-576.  
LI Min,HU Mei-jiao,GAO Zhao-yin,et al. Effects of 1-Methylcyclopropene treatment with different time on postharvest physiology mangos[J]. **Chinese Agricultural Science Bulletin**,2007,23(9):573-576. (in Chinese)
- [36] 邱松山,姜翠翠. 1-甲基环丙烯处理对芒果采后成熟过程的影响[J]. 食品与发酵工业,2010,36(4):207-211.  
QIU Song-shan,JIANG Cui-cui. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on postharvest mango fruit [J]. **Food and Fermentation Industries**,2010,36(4):207-211. (in Chinese)
- [37] 孙炳新,孙海娟,何晓慧,等. 1-PentCP 作为乙烯效应抑制剂与 1-MCP 对芒果低温贮藏品质影响的比较研究[J]. 中国食品学报,2013(12):1.  
SUN Bing-xin,SUN Hai-juan,HE Xiao-hui,et al. Effect of 1-pentylcyclopropene,as an ethylene action inhibitor and compared with 1-MCP,on storage quality of “Guifei” mango fruits in cold storage[J]. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**,2013(12):1.(in Chinese)
- [38] 罗云波,蔡同一. 园艺产品贮藏加工学:贮藏篇[M]. 北京:中国农业大学出版社,2001:44-45.
- [39] Mitcham E,McDocald R. Effects of post-harvest heat treatments on inner and outer tissue of mango fruit[J]. **Tropical Science**,1997,37(4):193-205.
- [40] 邵志远,陈业渊,高爱平,等. 1-MCP 对芒果果实贮藏品质及采后生理的影响[J]. 食品科技,2009,34(7):44-47.  
SHAO Zhi-yuan,CHEN Ye-yuan,GAO Ai-ping,et al. Effects of 1-methylcyclopropene on quality and physical characteristics of mango fruits during storage[J]. **Food Science and Technology**,2009,34(7):44-47. (in Chinese)
- [41] 李敏,胡美姣,高兆银,等. 不同浓度 1-MCP 处理对芒果采后生理的影响[J]. 中国南方果树,2007,36(4):38-40.  
LI Min,HU Mei-jiao,GAO Zhao-yin,et al. Effects of 1-Methylcyclopropene treatment with different concentrations on postharvest physiology mangos[J]. **China Southern Fruit**,2007,36(4):38-40. (in Chinese)
- [42] 张锐,于天颖,马涛. 1-MCP 作用机理及在果蔬产业中的应用[J]. 农业科技与装备,2011,209(11):35-37.  
ZHANG Rui,YU Tian-ying,MA Tao. Mechanism of 1-MCP and its application in fruit and vegetable industry[J]. **Agricultural Science & Technology and Equipment**,2011,209(11):35-37. (in Chinese)
- [43] 李敏,高兆银,胡美姣,等. 1-甲基环丙烯处理对采后芒果生理效应的影响[J]. 中国南方果树,2006,35(1):44-45.  
LI Min,GAO Zhao-yin,HU Mei-jiao,et al. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on postharvest physiology mangos[J]. **China Southern Fruit**,2006,35(1):44-45. (in Chinese)
- [44] 何晓慧,孙海娟,徐方旭,等. 不同浓度 1-MCP 和 1-OCP 处理对青熟期芒果后熟和衰老的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,38(12):193-198.  
HE Xiao-hui,SUN Hai-juan,XU Fang-xu,et al. Effects of different concentrations of 1-MCP and 1-OCP treatment on postharvest ripening and senescence of mango fruit[J]. **Food and Fermentation Industries**,2012,38(12):193-198. (in Chinese)
- [45] 孙炳新,何晓慧,孙海娟,等. 不同浓度 1-PentCP 处理对芒果常温贮藏生理品质的影响[J]. 食品工业科技,2013,12:1.  
SUN Bing-xin,HE Xiao-hui,SUN Hai-juan,et al. Effects of treatment with different concentrations of 1-PentCP on physiological quality of mango fruit stored in ambient temperature[J]. **Food and Technology of Food Industry**,2013,12:1.(in Chinese)
- [46] 冯叙桥,孙海娟,徐方旭,等. 1-OCP 作为乙烯效应抑制剂与 1-MCP 对芒果低温贮藏品质影响的比较研究[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(5):460-468.  
FENG Xu-qiao,SUN Hai-juan,XU Fang-xu,et al. Effects of 1-octylcyclopropene,as an ethylene action inhibitor and compared with 1-MCP,on storage quality of “guifei” mango fruits in cold storage[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2013,32(5):460-468. (in Chinese)
- [47] Singh R,Singh P,Pathak N,et al. Modulation of mango ripening by chemicals:physiological and biochemical aspects[J]. **Plant Growth Regul**,2007(53):137-145.
- [48] 高豪杰. 1-MCP 对芒果采后品质和生理的影响[D]. 海口:海南大学,2012.
- [49] 郝晓玲,王如福,孙建斌. 1-甲基环丙烯延缓果实衰老的应用研究进展[J]. 保鲜与加工,2012,12(2):46-50.  
HAO Xiao-ling,WANG Ru-fu,SUN Jian-bin. Application advances of 1-MCP on delaying fruit senescence[J]. **Storage and Process**,2012,12(2):46-50. (in Chinese)

- [50] 周玉婵,唐友林,谭兴杰. 紫花芒果后熟过程中主要类胡萝卜素含量的变化[J]. 亚热带热带植物学报, 1994, 2(2): 77-79.  
ZHOU Yu-chan, TANG You-lin, TAN Xing-jie. Changes of major carotenoid contents during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* l. cv. zihua)[J]. **Journal of Tropical and Subtropical Botany**, 1994, 2(2): 77-79. (in Chinese)
- [51] 邵志远,张哲,李庚虎,等. 采收成熟度与后熟处理对红贵妃芒果贮藏品质和生理的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 17-21.  
SHAO Zhi-yuan, ZHANG Zhe, LI Geng-hu, et al. Effects of harvest maturity on storage quality and physiology of mango fruit (cv. Hongguifei)[J]. **Storage and Process**, 2010, 10(3): 17-21. (in Chinese)
- [52] 张振文. 1-MCP 对采后芒果贮藏品质及生理影响的研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2004.
- [53] Apelbaum A, Sisler E C, Feng X, et al. Assessment of the potency of 1-substituted cyclopropenes to counteract ethylene-induced processes in plant[J]. **Plant Growth Regul**, 2008, 36(55): 101-113.
- [54] Kebebe E, Sisler C, Winkelmann T, et al. Efficacy of new inhibitors of ethylene perception in improvement of display life of kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana* Poelln.) flowers[J]. **Postharvest Biol Technol**, 2003: 1-8.
- [55] Feng X, Apelbaum A, Sisler E C, et al. Control of ethylene activity in various plant systems by structural analogues of 1-methylcyclopropene[J]. **Plant Growth Regul**, 2004, 42: 29-38.
- [56] 付琳,程顺昌,魏宝东,等. 1-MCP 及其结构相似物处理对番茄采后贮藏效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 195-198.  
FU Lin, CHENG Shun-chang, WEI Bao-dong, et al. Effects of 1-MCP and its structural analogues treatment on post-harvest storage of tomato[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2012, 38(1): 195-198. (in Chinese)
- [57] 程顺昌,冷俊颖,任小林,等. 不同环丙烯类乙烯抑制剂对苹果常温贮藏保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 269-273.  
CHENG Shun-chang, LENG Jun-ying, REN Xiao-lin, et al. Effect of different 1-substituted cyclopropenes as ethylene inhibitors on postharvest physiology of apple stored at ambient temperature[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, 2012, 28(6): 269-273. (in Chinese)
- [58] 孙炳新,冷俊颖,付琳,等. 1-MCP、1-PentCP 和 1-OCP 对冷藏中苹果代谢和贮藏特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 202-206.  
SUN Bing-xin, LENG Jun-ying, FU Lin, et al. Effect of treatment with 1-MCP, 1-PentCP or 1-OCP on metabolism and characteristics of 'Hanfu' apple fruits in cold storage[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2012, 38(11): 202-206. (in Chinese)
- [59] 魏宝东,冷俊颖,程顺昌,等. 1-甲基环丙烯及其结构类似物处理对寒富苹果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 281-284.  
WEI Bao-dong, LENG Jun-ying, CHENG Shun-chang, et al. Effect of 1-MCP and its structural analogue on Hanfu apple quality during storage at ambient temperature[J]. **Food Science**, 2012, 33(12): 281-284. (in Chinese)
- [60] 田密霞,姜爱丽,胡文忠,等. 芒果贮藏现状与对策[J]. 保鲜与加工, 2007, 7(1): 1-3.  
TIAN Mi-xia, JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, et al. Countermeasure and measurement for storage methods of mango[J]. **Storage and Process**, 2007, 7(1): 1-3. (in Chinese)
- [61] 白欢,祝美云. 壳聚糖与 1-MCP 处理对芒果货架期品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 461-468.  
BAI Huan, ZHU Mei-yun. Effect of chitosan and 1-methylcyclopropene treatments on quality of mango during storage[J]. **Food Science**, 2010, 31(24): 461-468. (in Chinese)
- [62] 孔硕,袁唯,余铭. 可食性膜在果蔬贮藏保鲜中的应用[J]. 中国食品添加剂, 2012: 174-177.  
KONG Shuo, YUAN Wei, YU Ming. Application of edible films in fresh fruit and vegetable[J]. **China Food Additives**, 2012: 174-177. (in Chinese)
- [63] Lu J, Vigneault C, Charles M T, et al. Heat treatment application to increase fruit and vegetable quality[J]. **Stewart Postharvest Review**, 2007(3): 1-7.
- [64] 胡美姣,高兆银,李敏,等. 热水和 1-MCP 处理对芒果贮藏效果的影响[J]. 果树学报, 2005, 22(3): 243-246.  
HU Mei-jiao, GAO Zhao-yin, LI Min, et al. Effect of hot water and 1-MCP treatments on storage of mango fruit[J]. **Journal of Fruit Science**, 2005, 22(3): 243-246. (in Chinese)