

# 1-MCP对‘珍珠’番石榴采后生理和品质的影响

洪克前, 谢江辉, 张鲁斌, 胡会刚, 弓德强\*

(中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 海南省热带园艺产品采后生理与保鲜重点实验室, 广东 湛江 524091)

**摘要:** 为探讨改善番石榴贮藏性能的方法, ‘珍珠’番石榴(*Psidium guajava* L. ‘Pearl’)果实用1-甲基环丙烯(1-MCP)结合冷藏(15℃)处理, 研究其贮藏生理和品质的变化。结果表明: 1 μL L<sup>-1</sup>的1-MCP处理能有效抑制番石榴果实软化和果皮退绿; 1-MCP处理抑制了可溶性固形物(TSS)含量上升和维生素C含量的下降; 同时, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)活性升高, 多酚氧化酶(PPO)活性下降, 延缓了果实中丙二醛(MDA)的积累。因此, 1-MCP处理结合低温可有效改善‘珍珠’番石榴的贮藏性能。

**关键词:** 番石榴; 1-MCP; 贮藏生理; 品质

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.06.005

## Effects of 1-MCP on Physiology and Quality of Harvested ‘Pearl’ Guava

HONG Ke-qian, XIE Jiang-hui, ZHANG Lu-bin, HU Hui-gang, GONG De-qiang\*

(South Subtropical Crops Research Institutes, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory for Postharvest Physiology and Technology of Tropical Horticultural Products of Hainan Province, Zhanjiang 524091, China)

**Abstract:** In order to improve fruit storage quality, the effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and cold storage at 15℃ on physiology and quality of guava (*Psidium guajava* L. ‘Pearl’) were studied. The results showed that treatment with 1 μL L<sup>-1</sup> 1-MCP inhibited fruit softening and delayed peel green loss. Treated with, the increase of total soluble solids (TSS) content and the decrease of vitamin C content of fruits were inhibited. In addition, after treated with 1-MCP, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and peroxidase (POD) activities in fruits increased, while polyphenol oxidase (PPO) activity decreased and the accumulation of malondialdehyde (MDA) delayed. Therefore, the storage quality of ‘Pearl’ guava could enhance treated with 1-MCP and cold storage.

**Key words:** *Psidium guajava*; 1-MCP; Storage physiology; Quality

番石榴(*Psidium guajava* L.)是一种重要的亚热带水果, 味道鲜美, 含丰富的维生素C。但采后番石榴果实在常温下3~5 d就达到完全成熟<sup>[1]</sup>; 其果实代谢活性强, 极易腐烂, 导致品质迅速劣变。影响番石榴果实采后品质的主要因素有: 果实快速失绿、过度软化、高腐烂率和失去饱满度<sup>[2]</sup>。

低温贮藏是保持采后水果和蔬菜品质最有效的方法, 能减轻呼吸速率、蒸腾作用、乙烯产生、成熟、衰老和病害的发生<sup>[3]</sup>。低温贮藏推迟番石榴呼

吸高峰的出现, 延缓果实成熟<sup>[4]</sup>。

1-MCP (1-methylcyclopropene, 1-甲基环丙烯)是近年来国内外研究比较多的一种乙烯受体抑制剂。它能不可逆地作用于乙烯受体, 阻断与乙烯的正常结合, 抑制其所诱导的与果蔬、切花后熟或衰老相关的一系列生理生化反应<sup>[5]</sup>。1-MCP不但能强烈地阻断内源乙烯的生理效应, 而且还能抑制外源乙烯对内源乙烯的诱导作用<sup>[6]</sup>, 因而在采后果蔬保鲜中有极大的应用前景。

收稿日期: 2012-03-01 接受日期: 2012-04-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(1251022012001)资助

作者简介: 洪克前, 男, 博士, 助理研究员, 主要从事热带果蔬采后贮藏与保鲜研究工作。E-mail: hkq0825@126.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gd-qiang@163.com

近年来研究表明, 1-MCP 能延长苹果(*Malus pumila*)、梨(*Pyrus communis*)和猕猴桃(*Actinidia chinensis*)等果实的贮藏寿命<sup>[7]</sup>。研究还证实, 1-MCP 延长果实的贮藏期与物种、品种、成熟度、1-MCP 浓度及处理时间等密切相关<sup>[8]</sup>。番石榴是典型的呼吸跃变型果实<sup>[9]</sup>; 采后果实产生大量乙烯<sup>[10]</sup>。因此, 抑制乙烯产生可有效延缓因植物衰老而导致的品质下降。

目前有关 1-MCP 对番石榴采后生理及品质影响方面的研究较少。本研究探讨 1-MCP 处理结合低温(15℃)贮藏对番石榴采后生理生化指标的影响, 评价其保鲜效果, 为 1-MCP 在番石榴果实贮藏保鲜上的应用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

番石榴品种为‘珍珠’(*Psidium guajava* L. ‘Pearl’), 于 2011 年 10 月采自南亚热带作物研究所试验园, 采收成熟度约 8 成(果皮呈黄绿色)。挑选果实大小及成熟度基本一致且无病、虫、伤的果实, 用 500 mg L<sup>-1</sup> 施保功进行表面杀菌, 冲洗干净后晾干备用。

### 1.2 1-MCP处理

基于前期试验以 0(对照)、0.25、0.5、0.75 和 1 μL L<sup>-1</sup> 1-MCP 处理番石榴果实, 研究结果初步表明, 1 μL L<sup>-1</sup> 1-MCP 能有效抑制果实软化和腐烂的发生。因此, 本实验采用 1 μL L<sup>-1</sup> 的 1-MCP 来处理番石榴果实。

参考 Li 等<sup>[11]</sup>的方法, 将番石榴果实分成两组, 分别置于 1000 L 的密闭玻璃罐中。一组用 1 μL L<sup>-1</sup> 的 1-MCP (Rohm and Haas, Philadelphia, PA, USA) 于 25℃ 黑暗下蒸熏处理 12 h; 另一组为对照。果实经处理后取出, 放于通风处通风 2 h 后, 然后将果实放入塑料筐内, 外套厚 0.04 mm 聚乙烯薄膜袋, 置于温度为(15±1)℃, 相对湿度为 85%~90% 的恒温箱(Sanyo MIR 553 Model, Gunma, Japan)中贮藏。每个处理 30 个番石榴果实, 每处理重复 3 次。

### 1.3 指标测定方法

硬度用手持硬度计(FT-327; UC Fruit Firmness Tester, Milano, Italy)测定, 以 kg cm<sup>-2</sup> 表示。可溶性固形物(TSS)用阿贝折射仪(10481 S/N, USA)测

定。可滴定酸(TA)按照 GB12293-90 测定。维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚法。叶绿素含量参照陈德海等<sup>[12]</sup>的方法, 用丙酮萃取, 比色法测定。丙二醛(MDA)参照 Liu 等<sup>[13]</sup>的方法。过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)的提取和活性测定参照 Wang 等<sup>[14]</sup>的方法; 过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)的提取和活性测定参照 Tian 等<sup>[15]</sup>的方法。以上指标测定时重复 3 次。

### 1.4 数据统计

采用 SPSS 16.0 软件对数据进行差异显著性分析, 数据均以平均值 ± 标准误差表示。

## 2 结果和分析

### 2.1 对硬度、TA、TSS和维生素C含量的影响

果实硬度是反应果实质地的一个重要指标。从图 1: A 可见, 果实硬度随贮藏期延长而减小。处理组果实硬度下降趋势较为平缓且始终低于对照, 贮藏 15 d, 二者硬度分别为 15.8 kg cm<sup>-2</sup> 和 16.7 kg cm<sup>-2</sup>, 比对照提高了 5%。

TA 与番石榴的风味密切相关。由图 1: B 可知, 随贮藏期延长番石榴果肉的 TA 含量呈下降趋势。1-MCP 处理对 TA 的影响极小, 与对照间无显著差异。

由图 1: C 可见, 随着贮藏时间的延长, 果实中 TSS 含量呈先升高再降低的变化趋势; 贮藏第 3 天, 处理组和对照果实中的 TSS 含量达最大值, 分别为 11.6% 和 12.3%, 差异显著; 随后 TSS 含量均呈下降趋势, 但处理组的 TSS 含量显著低于对照。

维生素 C 是番石榴果实内重要的抗氧化物质及营养成分。贮藏期间果实中维生素 C 含量呈下降趋势。贮藏前期处理组和对照的差异不显著; 贮藏第 6 天, 对照组果肉中维生素 C 含量下降速度明显大于处理组, 差异显著( $P < 0.05$ ); 至贮藏末期, 对照和处理组的维生素 C 含量分别下降了 25.67% 和 15.96% (图 1: D)。

### 2.2 对叶绿素和MDA含量的影响

由图 2: A 可知, 随贮藏时间的延长, 果皮中的叶绿素含量呈下降趋势, 但 1-MCP 处理组果实中的叶绿素含量显著高于对照。至贮藏期结束时, 处理组和对照组果皮的叶绿素含量分别为 86 μg g<sup>-1</sup> 和 76 μg g<sup>-1</sup>, 差异显著( $P < 0.05$ ), 说明 1-MCP 延缓

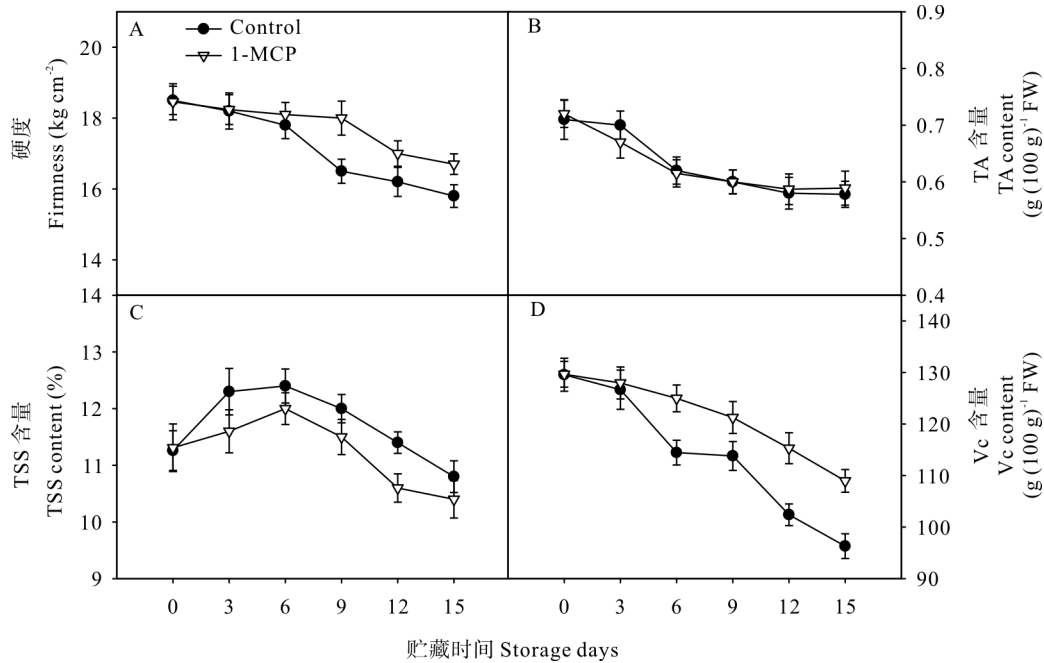


图1 1-MCP处理对番石榴果实硬度(A)、可滴定酸(B)、可溶性固形物含量(C)和维生素C含量(D)的影响

Fig. 1 Effects of 1-MCP on firmness (A), TA (B), TSS content (C) and vitamin C content (D) of guava fruits

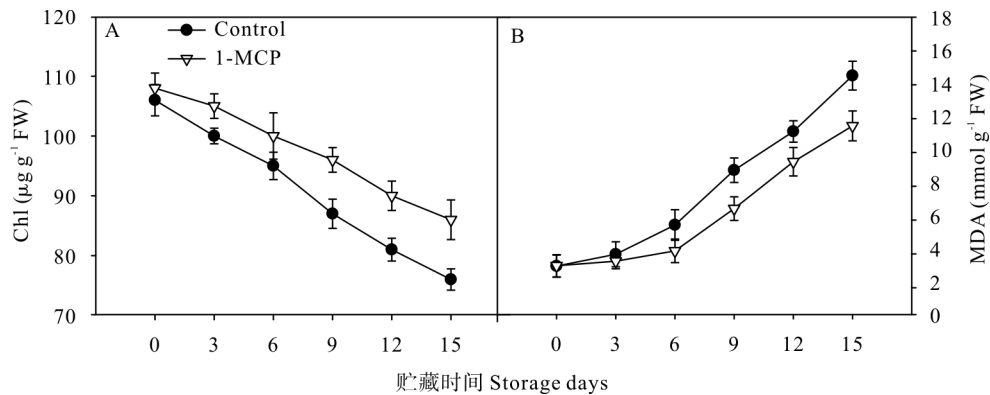


图2 1-MCP处理对番石榴果实叶绿素(A)和丙二醛(B)含量的影响

Fig. 2 Effect of 1-MCP on chlorophyll (A) and MDA (B) contents of guava fruits

了果皮的失绿和叶绿素的降解。

MDA是膜脂过氧化产物,反映了细胞膜受伤害的程度。由图2: B可知,贮藏期间MDA含量呈上升趋势,但1-MCP处理组的MDA含量明显低于对照组;贮藏第6天与对照组的差异显著( $P < 0.05$ ),因此,1-MCP对果实中MDA的积累起到了一定的抑制作用,使其维持在较低水平,以保护细胞膜系统,延缓果实的衰老。

### 2.3对CAT、POD、SOD和PPO活性的影响

由图3: A可见,贮藏期间的CAT活性呈下降趋势。但1-MCP处理的果实中CAT活性下降较为缓慢,且CAT活性始终显著高于对照( $P < 0.05$ ),

说明1-MCP一定程度上抑制了番石榴果实CAT活性的下降。

POD是植物清除自由基的保护酶之一,可作为果实衰老的生理指标。1-MCP处理对番石榴果实中POD活性的影响较大(图3: B)。1-MCP处理提高了POD活性,贮藏第6天时达到峰值,为 $3.12 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ,是开始的2倍,随后呈下降趋势。而贮藏期间对照果实的POD活性变化不明显。

SOD也是重要的细胞保护酶之一,其活性也反映了果实衰老的程度。1-MCP处理对番石榴果实中SOD活性的影响与POD活性相似(图3: C)。1-MCP处理提高了番石榴果实中的SOD活性。贮藏第6天,处理和对照组的SOD活性达峰值,分别

为  $708 \text{ U g}^{-1}\text{h}^{-1}$  和  $594 \text{ U g}^{-1}\text{h}^{-1}$ , 差异显著; 之后, SOD 活性开始下降, 但处理组的活性明显高于对照组。

从图 3: D 可以看出, 果肉中的 PPO 活性均呈上升趋势, 但对照组 PPO 活性上升更加明显。贮藏第 9 天, 对照组的 PPO 活性达峰值, 为  $3.18 \text{ U g}^{-1}\text{min}^{-1}$ ,

是起始的 7 倍, 而 1-MCP 处理组的 PPO 活性仅为  $0.78 \text{ U g}^{-1}\text{min}^{-1}$ , 为起始的 1.75 倍。整个贮藏期间, 对照组 PPO 明显高于处理组, 说明 1-MCP 处理抑制了 PPO 活性, 减缓了番石榴褐变的速度, 延长了贮藏时间。

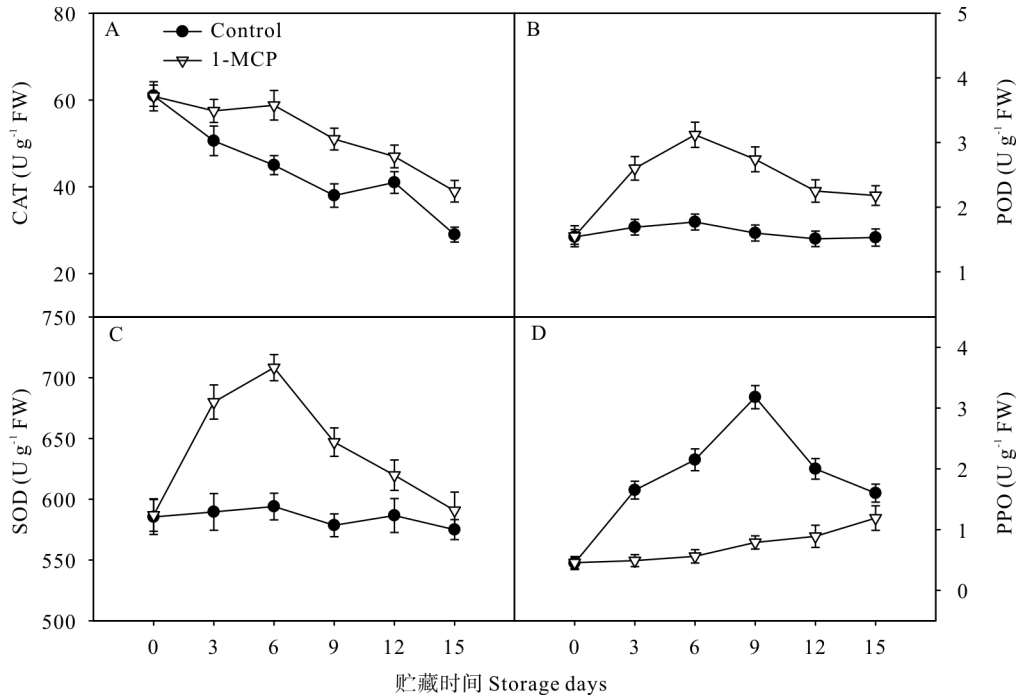


图 3 1-MCP 处理对番石榴果实 CAT (A)、POD (B)、SOD (C) 和 PPO (D) 活性的影响

Fig. 3 Effect of 1-MCP on CAT (A), POD (B), SOD (C) and PPO (D) activities of guava fruits

### 3 讨论

研究表明, 经 1-MCP 处理和低温贮藏, 番石榴果实的 POD 和 SOD 活性升高(图 3: B, C), 同时, CAT 活性的下降极大地被抑制(图 3: A), 同时保持了较高的抗氧化物质维生素 C 的含量(图 1: D)。这与弓德强等<sup>[16]</sup>对番荔枝(*Annona squamosa*)的研究结果一致。果实成熟过程中物质的氧化作用不断增强, 导致活性氧自由基的积累, 往往产生氧化伤害<sup>[17]</sup>。植物体内一般存在酶促(主要包括 CAT、POD 和 SOD 等)和非酶促(主要包括抗坏血酸、 $\alpha$ -生育酚和类胡萝卜素等)两大类活性氧清除系统<sup>[18]</sup>。CAT、POD 和 SOD 等抗氧化酶的活性与延缓果实的衰老密切相关<sup>[19]</sup>。保持植物体内较高的活性氧清除酶活性和非酶抗氧化物质的含量, 能更好地清除细胞自由基和活性氧, 减少活性氧的积累, 减少对细胞膜的伤害, 可以达到延缓果实衰老的目的。Reuck 等<sup>[20]</sup>报道 1-MCP 处理采后荔枝(*Litchi*

*chinensis*)果实, 可以保持体内较高水平 POD 活性, 进而更好地减轻组织过剩的  $\text{H}_2\text{O}_2$  等氧化胁迫。同时, 1-MCP 处理极大地抑制了番石榴果实中 PPO 活性的升高(图 3: D), 这与高敏等<sup>[21]</sup>对红富士苹果(*Malus pumila*)和 Li 等<sup>[22]</sup>对枣(*Zizyphus jujuba*)的研究结果一致。PPO 是引起果实酶促褐变的主要酶类, 它催化多酚氧化生成黑色素, 影响果实外观。1-MCP 处理番石榴果实, 其 PPO 活性较低, 减缓了番石榴褐变的速度, 延长了贮藏时间。

MDA 是膜脂过氧化的重要产物, 是植物衰老的指标之一<sup>[23]</sup>。它能强烈地与细胞内各种成分发生反应, 引起酶和膜的严重损伤, 降低膜电阻和膜的流动性, 最终导致膜的结构及生理完整性的破坏<sup>[24]</sup>。研究表明, 1-MCP 处理抑制了番石榴果实中 MDA 的迅速积累(图 2: B), 从而降低了对细胞膜的伤害。这与 1-MCP 处理增强番石榴果实中抗氧化酶活性及保持体内较高的抗氧化物协同作用, 从而延缓番石榴果实的品质劣变。

综上所述, 1  $\mu\text{L L}^{-1}$  的 1-MCP 处理结合低温贮藏能延缓番石榴果实的成熟软化, 同时提高组织的 SOD 和 POD 活性, 抑制 CAT 活性的下降和 PPO 活性的上升。此外, 1-MCP 处理能很好地保持采后番石榴品质。因此, 利用 1-MCP 结合低温对采后的番石榴果实具有一定的保鲜价值。

### 参考文献

- [1] Bassetto E, Jacomino A P, Pinheiro A L. Conservation of 'Pedro Sato' guavas under treatment with 1-methylcyclopropene [J]. *Pesq Agropec Bras*, 2005, 40(5): 433–440.
- [2] Jacomino A P, de Luca Sarantopoulos C I G, Sigrist J M M, et al. Sensorial characteristics of 'Kumagai' guavas submitted to passive modified atmosphere in plastic packages [J]. *J Plast Film Sheet*, 2001, 17(1): 6–21.
- [3] Hardenburg R E, Watada A E, Wang C Y. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks [M]// *USDA. Agriculture Handbook Vol. 66*. Washington: USDA, 1986: 1–130.
- [4] Kader A A. *Postharvest Technology of Horticultural Crops* [M]. Oakland: University of California, 1992: 1–269.
- [5] Sisler E C, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments [J]. *Plant Physiol*, 1997, 100(3): 577–582.
- [6] 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 [J]. *Postharv Biol Techn*, 1998, 14(1): 87–98.
- [7] Watkins C, Miller W B. A summary of physiological processes or disorders in fruits, vegetables and ornamental products that are delayed or decreased, increased, or unaffected by application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) [J]. *HortScience*, 2004, 39(4): 816.
- [8] Phebe D, Ong P T. Extending 'Kampuchea' guava shelf-life at 27°C using 1-methylcyclopropene [J]. *J Int Food Res*, 2010, 17(1): 63–69.
- [9] Campbell C A. Handling of florida-grown and imported tropical fruits and vegetables [J]. *HortScience*, 1994, 29(9): 975–978.
- [10] Dong F Y, Hu M J. Advances in postharvest diseases and preservation technology of guava fruits [J]. *Trop Agri Sci*, 2001(2): 44–50.  
董凤英, 胡美姣. 番石榴果实采后病害及保鲜技术研究进展 [J]. *热带农业科学*, 2001(2): 44–50.
- [11] Li C R, Shen W B, Lu W J, et al. 1-MCP delayed softening and affected expression of *XET* and *EXP* genes in harvested cherimoya fruit [J]. *Postharv Biol Techn*, 2009, 52(3): 254–259.
- [12] Chen D H, Xu H, Lian Y W. *Experiment of Modern Plant Biology* [M]. Beijing: Science Press, 2005: 1–130.  
陈德海, 徐虹, 连玉武. *现代植物生物学实验* [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1–130.
- [13] Liu H T, Liu Y Y, Pan Q H, et al. Novel interrelationship between salicylic acid, abscisic acid, and PIP2-specific phospholipase C in heat acclimation-induced thermotolerance in pea leaves [J]. *J Exp Bot*, 2006, 57(12): 3337–3347.
- [14] Wang Y S, Tian S P, Xu Y. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruit during postharvest periods [J]. *Food Chem*, 2005, 91(1): 99–104.
- [15] Tian S P, Li B Q, Xu Y. Effects of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations on physiology and quality of litchi fruit in storage [J]. *Food Chem*, 2005, 91(4): 659–663.
- [16] Gong D Q, Zhang X M, Xie J H, et al. Effects of 1-MCP treatment on storage quality and physiological changes of sweetsop (*Annona squamosa* L.) fruits during cold storage [J]. *Food Sci*, 2007(6): 340–343.  
弓德强, 张秀梅, 谢江辉, 等. 1-MCP处理对冷藏番荔枝果实贮藏品质和生理变化的影响 [J]. *食品科学*, 2007(6): 340–343.
- [17] Rogiers S Y, Kumar G N M, Knowles N R. Maturation and ripening of fruit of *Anelanchier alnifolia* Nutt. are accompanied by increasing oxidative stress [J]. *Ann Bot*, 1998, 81(2): 203–211.
- [18] Dhindsa R S. Drought stress, enzymes of glutathione metabolism, oxidation injury, and protein synthesis in *Tortula ruralis* [J]. *Plant Physiol*, 1991, 95(2): 648–650.
- [19] Wu Y X, von Tiedemann A. Impact of fungicides on active oxygen species and antioxidant enzymes in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) exposed to ozone [J]. *Environ Pollut*, 2002, 116(1): 37–47.
- [20] De Reuck K, Sivakumar D, Korsten L. Integrated application of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packaging to improve quality retention of litchi cultivars during storage [J]. *Postharv Biol Techn*, 2009, 52(1): 71–77.
- [21] Gao M, Zhang J S. The effect of 1-MCP on browning of red fuji apples [J]. *Plant Physiol Commun*, 2001, 37(6): 522–524.  
高敏, 张继澍. 1-甲基环丙烯对红富士苹果酶促褐变的影响 [J]. *植物生理学通讯*, 2001, 37(6): 522–524.
- [22] Li L, Ban Z J, Li X H, et al. Effect of 1-methylcyclopropene and calcium chloride treatments on quality maintenance of 'Lingwu Long' Jujube fruit [J/OL]. *J Food Sci Techn*, [2011–10–6]. doi: 10.1007/s13197-011-0545-3.
- [23] Hua C, Wang R L. Changes of SOD and CAT activities and MDA content during senescence of hybrid rice and three lines leaves [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 2003, 23(3): 406–409.  
华春, 王仁雷. 杂交稻及其三系叶片衰老过程中SOD、CAT活性和MDA含量的变化 [J]. *西北植物学报*, 2003, 23(3): 406–409.
- [24] Platt-Aloia K A, Thomson W W. Freeze-fracture evidence of gel-phase lipid in membranes of senescing cowpea cotyledons [J]. *Plant Physiol*, 1985, 163(3): 360–369.