

1-甲基环丙烯对甜柿贮藏中冷害的控制作用

张宇, 饶景萍*, 孙允静, 李珊珊

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 研究了 0.25、0.50、1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 对 4 °C 冷藏条件下 ‘阳丰’ 甜柿果实成熟生理和冷害发生的影响。结果表明: 1-MCP 处理推迟了冷害症状的出现, 降低了果实细胞膜透性和丙二醛 (MDA) 含量; 延缓了乙烯释放高峰出现的时间并降低了峰值; 对呼吸速率没有明显影响; 提高了超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性; 对多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化物酶 (POD) 活性变化有一定的抑制作用。1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 对冷害的控制作用比其他两个浓度更显著。

关键词: 甜柿; 1-MCP; 酶活性; 冷害; 贮藏

中图分类号: S 665.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 04-0547-06

Reduction of Chilling Injury in Sweet Persimmon Fruit by 1-MCP

ZHANG Yu, RAO Jing-ping*, SUN Yun-jing, and LI Shan-shan

(College of Horticulture, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Youhou sweet persimmon were chosen to investigate the effect of three consistencies of 1-MCP (0.25, 0.50, 1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) on postharvest physiology and chilling injury at 4 °C. The results indicated that 1-MCP treatment efficiently retarded the development of the main chilling injury symptom of sweet persimmon fruit, reduced membrane permeability and MDA content, inhibited ethylene release, but had no effect on respiration rate of the fruits. Further study showed that 1-MCP treatment maintained the higher level of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) activities, decreased polyphenol oxidase (PPO) activity and inhibited the increase of peroxidase (POD) activities of fruits. Application of 1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP treatment had a better effect.

Key words: sweet persimmon; 1-MCP; enzymatic activity; chilling injury; storage

甜柿采后常温下贮藏极易软化, 冷藏虽能有效抑制软化, 但果实对低温 (0~4 °C) 敏感, 易受冷害, 表现为果实内部凝胶化 (Collins & Tisdell, 1995), 失去商品价值。了解柿果冷害生理变化规律, 寻找安全、有效的贮藏保鲜方法, 对减少经济损失, 促进甜柿产业发展有重要的意义。

‘阳丰’甜柿 (*Diospyros kaki* L.f. ‘Youhou’) 是日本 1990 年选育的, 亲本为 ‘富有’ × ‘次郎’, 成熟前可溶性单宁可变为不溶性树脂状物质, 在树上完成脱涩过程而不软化, 属于完全甜柿 (PCNA), 果实扁圆形, 着色好, 可溶性固形物 16%~19%, 风味浓甜, 是目前综合性状最好的甜柿品种之一 (李先明, 2004)。“阳丰”甜柿属于呼吸跃变型果品, 对乙烯较为敏感, 不耐贮运, 常

收稿日期: 2009-11-03; 修回日期: 2010-03-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771756); 罗门哈斯 (中国) 公司横向课题

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: dq0723@163.com)

温下保脆期仅为 18~20 d, 冷藏易受冷害, 给贮藏、加工、运销等带来很大困难。

1-甲基环丙烯(1-MCP)作为乙烯抑制剂已被逐步应用于果品的保鲜, 在园艺作物贮藏中具有极大的应用前景(孙希生 等, 2003)。一些研究表明, 1-MCP 在减轻菠萝(Selvarajah et al., 2001)、油梨(Pesis et al., 2002; Woolf et al., 2005)、柑橘(Dou et al., 2005)和桃(李富军 等, 2004)果实冷害方面具有明显的效果。但是, 对甜柿贮藏期间冷害及其控制的研究甚少。本试验中通过研究 1-MCP 对甜柿冷藏过程中冷害发生指数及其相关生理生化指标的影响, 评价其减轻果实冷害的效果, 以期对甜柿冷藏保鲜技术的改进提供参考。

1 材料与方法

选用陕西省主栽甜柿品种‘阳丰’, 2008 年 9 月 22 日果顶着色面积达 70%左右采收于陕西杨凌甜柿示范果园。选择成熟度一致, 果个均匀, 无病虫害及机械损伤的果实, 当天运回实验室处理。

1-MCP试剂由罗门哈斯(中国)公司提供, 处理浓度设为 0.25、0.50 和 1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 。每处理用果 20 kg, 3 次重复。根据处理浓度及容器体积称取 1-MCP粉末放入带橡皮塞小试管, 用皮下注射器将含有 2% KOH溶液打入小试管中, 密封摇匀, 使 1-MCP气体从溶液中充分释放出, 放入盛有果实密闭试验箱中打开橡皮塞, 室温下熏蒸 24 h, 通风 0.5 h (对照中封入蒸馏水)。然后取出果实贮藏于 $(4 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, RH 90%~95% 的冷库中。

贮藏期间从各处理重复中分别取 30 个果, 每 5 d 取 1 次, 观察果实冷害症状(0 级, 无症状发生; 1 级, 发生面积小于 25%; 2 级, 发生面积在 25%~50%之间; 3 级, 发生面积在 50%~75%之间; 4 级发生面积大于 75%), 统计冷害指数; 测定果实细胞膜透性(DDS-307 型电导仪), 果实呼吸速率(HEL-7100 型红外线 CO_2 分析仪), 乙烯释放速率(岛津GC-14A型气相色谱仪), 丙二醛含量(硫代巴比妥酸法)和SOD、CAT、POD、PPO活性(孙群 等, 2005)。SOD以抑制NBT光化还原 50 %为一个酶活单位; CAT以每克果肉 1 min OD_{240} 值变化 0.1 为一个酶活单位; POD以每克果肉 1 min OD_{470} 值变化 0.01 为一个酶活单位; PPO以每克果肉 1 min OD_{398} 值变化 0.01 为一个酶活单位。

数据采用 Excel 软件进行分析, 并用 DPS 3.01 专业统计软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 1-MCP处理对甜柿果实冷害指数的影响

‘阳丰’甜柿果实冷藏 15 d 时冷害症状不明显。

对照果实贮藏 20 d 出现冷害症状; 1-MCP 处理推迟了 5 d 出现。

当冷藏 30 d 后冷害症状非常明显, 1-MCP 处理明显降低了柿果实冷害的发生。

45 d时对照和 1-MCP处理间冷害指数差异达显著水平($P<0.05$), 1.00 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理降低冷害指数的效果最显著(图 1)。

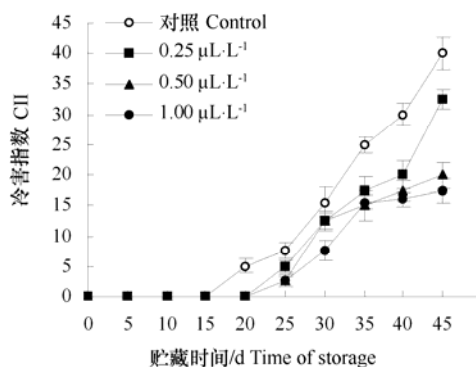


图 1 1-MCP 处理对甜柿果实冷害指数的影响
Fig. 1 Effects of 1-MCP treatment on CII of sweet persimmon fruits

冷害症状主要表现为外观色泽灰暗, 有褐色

斑点, 局部凹陷, 水渍状, 果肉褐变且凝胶化 (flesh gelling), 果汁粘稠, 难以挤出果汁等症状 (图 2)。



图 2 1-MCP 处理对甜柿果实外观冷害症状的影响

Fig. 2 Effects of 1-MCP treatment on appearance of sweet persimmon fruits

2.2 1-MCP处理对甜柿果实细胞膜透性和丙二醛含量的影响

由图 3, A 看出, 冷藏 15 d 内, 柿果细胞膜透性缓慢上升, 之后迅速上升, 对照的上升尤为明显, 1-MCP 处理始终低于对照。35 d 时对照和 1-MCP 处理间差异达显著水平 ($P<0.05$), 处理之间无显著差异, 说明 1-MCP 处理对甜柿冷害发生后的细胞膜相对透性增大有一定抑制作用。

MDA 含量的多少反映膜损伤程度的大小 (张海燕 等, 2008)。甜柿贮藏期间 MDA 含量逐渐增加, 前期处理和对照没有明显差别, 25 d 后处理较对照增加缓慢, 45 d 时与对照间差异达显著水平 ($P<0.05$), 各处理间差异不显著 (图 3, B), 说明 1-MCP 处理能有效抑制果实 MDA 含量上升。

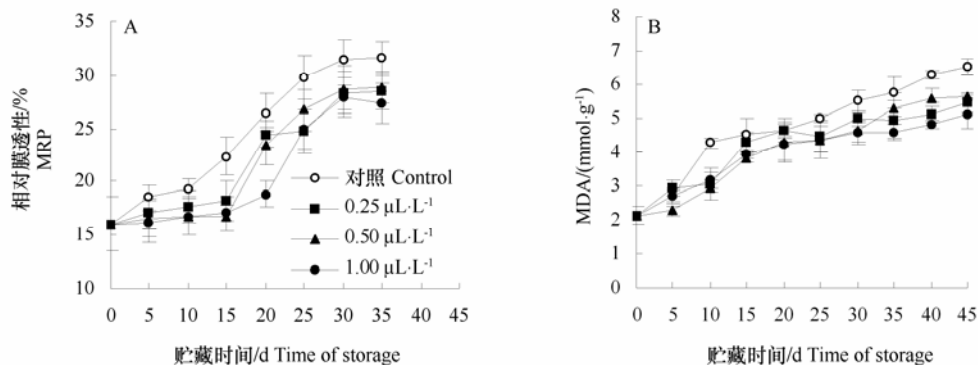


图 3 1-MCP 处理对柿果细胞膜透性 (A) 和 MDA 含量 (B) 的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP treatment on membrane permeability (A) and MDA content (B) of sweet persimmon fruits

2.3 1-MCP处理对甜柿果实呼吸速率和乙烯释放速率的影响

由图 4, A 可以看出, 在冷害温度下贮藏, 果实的呼吸速率受到抑制, 在前 15 d 对照和处理均迅速下降且处理一直低于对照; 之后对照和 0.25 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较低, 无明显的呼吸峰出现, 而 0.50、1.00 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理缓慢上升, 在 25 d 出现一小峰后下降, 且始终高于对照和 0.25 $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理。可见冷害致甜柿呼吸表现异常, 而一定浓度的 1-MCP 有缓解呼吸异常的作用。

乙烯释放量的增加是水果、蔬菜对冷害的一种生理反应。对照贮藏 5 d 出现乙烯释放高峰, 1-MCP 处理的乙烯高峰较对照延迟, 且峰值不同程度降低, $0.25 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理比对照延迟 5 d; $0.5 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理延迟 10 d, 峰值为对照的 59.7%; $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理始终低于初始值, 未出现跃变现象 (图 4, B)。这表明几个浓度的 1-MCP 处理均有抑制乙烯释放的作用, 以 $1.00 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的效果更为显著。

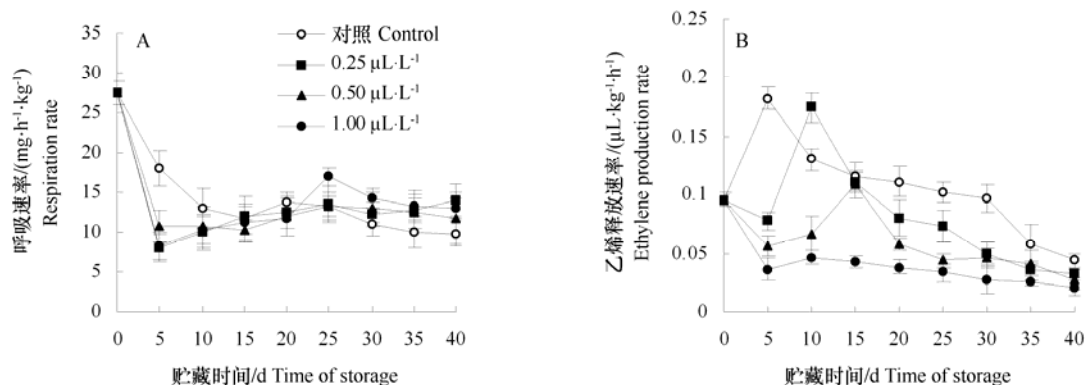


图 4 1-MCP 处理对柿果呼吸速率 (A) 和乙烯释放速率 (B) 的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP treatment on respiration rate (A) and ethylene production rate (B) of sweet persimmon fruits

2.4 1-MCP处理对甜柿果实多酚氧化酶和过氧化物酶活性的影响

冷害导致果肉褐变, 而褐变是酚类物质在多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化物酶 (POD) 参与下的氧化结果。从图 5, A 可以看出, 对照与处理的果实 PPO 活性均呈现先上升后下降的变化趋势, 与对照比, 0.50 、 $1.00 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的果实 PPO 活性高峰分别推迟了 5 d 和 10 d, 且在整个期间, 各处理多数低于对照。说明 1-MCP 处理对果实中多酚氧化酶的活性有抑制作用。

对照的 POD 活性在整个贮藏期一直呈快速的上升趋势后期有所下降, 1-MCP 处理呈先上升后下降的趋势, 在 15 d 时达到高峰, 且始终显著低于对照 ($P < 0.05$), 说明 1-MCP 处理能有效抑制冷害发生后过氧化物酶活性的升高 (图 5, B)。

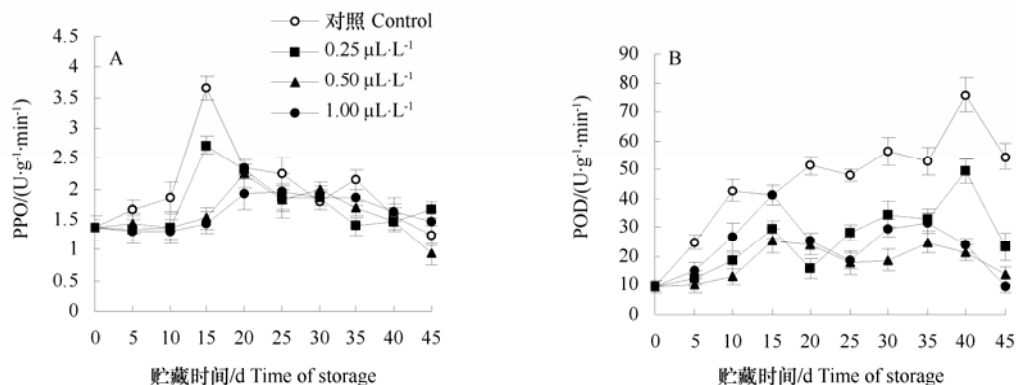


图 5 1-MCP 处理对甜柿果实 PPO 含量 (A) 和 POD 含量 (B) 的影响

Fig. 5 Effects of 1-MCP treatment on PPO content (A) and POD content (B) of sweet persimmon fruits

2.5 1-MCP处理对甜柿果实超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性的影响

如图 6, A 所示, 在 4℃ 冷藏期间, 甜柿的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性总体呈先上升后下降的变化趋势, 对照果实贮藏前期略有增加, 贮藏后期维持在较低水平; 而 1-MCP 处理均高于对照, 且

有活性峰出现,特别是 $0.50 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.00 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的处理,在贮藏 15 d 表现出明显的活性高峰, $0.25 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的 SOD 活性峰显著 ($P < 0.05$) 低于前二者,且出现时间晚 5 d。

果实过氧化氢酶 (CAT) 活性表现前期上升然后下降的趋势,1-MCP 处理在前 20 d 高于对照,20 d 时 $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理是对照的 1.63 倍,二者差异显著 ($P < 0.05$) (图 6, B)。1-MCP 能够使果实冷藏期间,保持较高的 SOD 和 CAT 活性,与提高抗冷性,降低冷害程度有关 (胡位荣 等, 2006)。

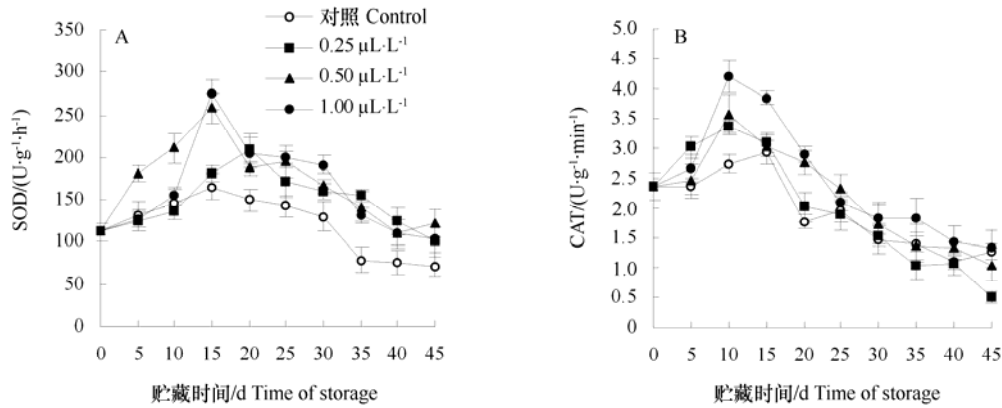


图 6 1-MCP 处理对甜柿果实 SOD 含量 (A) 和 CAT 含量 (B) 的影响

Fig. 6 Effects of 1-MCP treatment on SOD content (A) and CAT content (B) of sweet persimmon fruits

3 讨论

本结果表明,1-MCP 处理均显著降低了甜柿果实的相对膜透性,减少了 MDA 在果实中的积累,具有保护膜功能完整性的作用,从而减轻冷害的发生。3 个浓度处理之间的差异未达到显著水平原因可能是:1-MCP 作为乙烯抑制剂并不是以特定的结构直接维持膜的稳定性,而是通过提高清除氧自由基的能力保护膜结构。由于活性氧能激活果实细胞膜上磷脂酶活性,催化膜脂的脱脂作用以及甾醇和游离脂肪酸增加;同时导致膜脂过氧化 (陈现臣和王彩霞, 2009)。膜透性的增大是一个累积的过程,可能还受其相关酶等其它因素的影响,从而导致不同浓度的处理差异不显著,此方面的机理还需进一步深入研究证实。

低温条件下乙烯释放量的增加是果品、蔬菜对冷害的一种生理反应。本试验发现在冷害症状出现的前期乙烯释放量异常升高,随着冷害的发展又显著下降。柿果在贮藏后期,对照果实的呼吸速率反而低于处理果实,这可能是由于低温冷害使果实受到严重生理伤害,正常的生理功能受到限制的原因。1-MCP 处理可明显降低甜柿果实的乙烯释放量,并延迟释放高峰的出现,在一定程度上缓解呼吸异常,减轻果实冷害的发生。这与胡位荣等 (2006) 和胡芳等 (2009) 的研究结果相似。

研究表明,冷害的发生与活性氧的积累有密切的联系 (罗自生 等, 2007)。低温下,冷敏型植物活性氧清除酶系统活性迅速下降,导致活性氧代谢平衡失调,活性氧自由基大量积累 (Purvis & Shewfelt, 1993)。本试验发现 20 d 后对照和处理的 SOD、CAT 活性均呈下降趋势,表明其清除活性氧的能力逐渐下降,此时也正是对照和处理果实冷害症状初步表现时期。因此,冷害的发生可能是柿果在低温下及后熟期间 SOD、CAT 活性总体呈下降趋势,活性氧代谢平衡失调,积累的活性氧攻击细胞膜,导致发生膜脂过氧化作用,使 MDA 含量迅速增加,同时冷害症状逐步表现出来。1-MCP 处理显著提高了果实中 SOD、CAT 活性降低了果实 PPO 和 POD 活性延缓了果实的褐变,使冷害症状得以减轻,处理浓度越大,效果越显著。这与 1-MCP 能显著提高桃果实中 SOD 活性,减少冷害 (李富军 等, 2004); 有效地降低冷藏丽江雪桃 PPO 和 POD 活性,抑制果肉褐变,延长果实贮藏时

间的报道相似(陶冬冰等, 2008)。

综上所述, 1-MCP处理诱导了保护酶活性增强,提高了内源自由基的清除水平, 减少了MDA含量的增加, 从而延缓和减轻冷害的发生。在本试验设计的浓度范围, $1.00 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理对甜柿果实冷害得控制作用最明显。

References

- Collins R J, Tisdell J S. 1995. The influence of storage time and temperature on chilling injury in Fuyu and Suruga persimmon (*Diospyros kaki* L.) grown in subtropical Australia. *Postharvest Biology and Technology*, 6 (2): 149 - 157.
- Chen Xian-chen, Wang Cai-xia. 2009. Effects of 1-MCP on epicyte permeability of peach fruit during storage. *Hubei Agricultural Sciences*, 48 (8): 1981 - 1982. (in Chinese)
- 陈现臣, 王彩霞. 2009. 1-MCP 对桃果实贮藏保鲜中细胞膜相对透性的影响. *湖北农业科学*, 48 (8): 1981 - 1982.
- Dou H, Jones S, Ritenour M. 2005. Influence of 1-MCP application and concentration on post-harvest peel disorders and incidence of decay in citrus fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80: 786 - 792.
- Hu Fang, Ma Shu-shang, Zhang Ji-shu, Han Qing-mei, Zhao Gang, Wu Chun-lin. 2009. Effects of 1-methylcyclopropene on postharvest physiology and cell ultra-structure of pollination-constant and non-astringent persimmon during storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (4): 487 - 492. (in Chinese)
- 胡芳, 马书尚, 张继澍, 韩青梅, 赵刚, 武春林. 2009. 1-甲基环丙烯对‘富有’甜柿采后主要生理指标及细胞超微构的影响. *园艺学报*, 36 (4): 487 - 492.
- Hu Wei-rong, Liu Shun-zhi, Zhang Zhao-qi, Jiang Yue-ming, Ji Zuo-liang. 2006. Reduction of chilling injury in litchi fruit by 1-MCP. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (6): 1203 - 1208. (in Chinese)
- 胡位荣, 刘顺枝, 张昭其, 蒋跃明, 季作梁. 2006. 1-甲基环丙烯处理荔枝果实减轻其贮藏中冷害的研究. *园艺学报*, 33 (6): 1203 - 1208.
- Li Fu-jun, Zhai Heng, Yang Hong-qiang, Zhang Xin-hua, Shu Huai-rui. 2004. Effects of 1-MCP and AVG on fruit senescence of Feicheng peach variety in storage. *Journal of Fruit Science*, 21 (3): 272 - 274. (in Chinese)
- 李富军, 翟衡, 杨洪强, 张新华, 束怀瑞. 2004. 1-MCP 和 AVG 对肥城桃果实采后衰老的影响. *果树学报*, 21 (3): 272 - 274.
- Li Xian-ming. 2004. Characteristics and cultivation techniques of ‘Youhou’ sweet persimmon. *Yantai Fruit Science*, (3): 33. (in Chinese)
- 李先明. 2004. 日本甜柿阳丰品种的特性及栽培技术. *烟台果树*, (3): 33.
- Luo Zi-sheng, Xu Xiao-ling, Cai Zhen-zhen, Xi Yu-fang. 2007. Relationships between heat shock alleviating chilling injury and active oxygen metabolism in persimmon fruit. *Transactions of the CSAE*, 23 (8): 249 - 252. (in Chinese)
- 罗自生, 徐晓玲, 蔡侦侦, 席禹芳. 2007. 热激减轻柿果冷害与活性氧代谢的关系. *农业工程学报*, 23 (8): 249 - 252.
- Pesis E, Ackerman M, Ben-Arie R, Feygenberg O, Feng X, Apelbaurri A, Goren R, Prusky D. 2002. Ethylene involvement in chilling injury symptoms of avocado during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 24: 171 - 181.
- Purvis A C, Shewfelt R L. 1993. Does the alternative polyamine pathway ameliorate chilling injury in sensitive plant tissues? *Physiol Plant*, 88: 712 - 718.
- Selvarajah S, Bauchot A D, John P. 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 23: 167 - 170.
- Sun Qun, Hu Jin-jiang, Cao Cui-ling. 2005. Research technology of plant physiology. Yangling: Northwest A & F University Press. (in Chinese)
- 孙群, 胡景江, 曹翠玲. 2005. 植物生理学研究技术. 杨凌: 西北农林科技大学出版社.
- Sun Xi-sheng, Wang Wen-hui, Wang Zhi-hua, Li Zhi-qiang, Zhang Zhi-yun. 2003. Effects of 1-MCP on physiological changes of ‘Jonagold’ apples at ambient temperature after harvest. *Acta Horticulturae Sinica*, 30 (1): 90 - 92. (in Chinese)
- 孙希生, 王文辉, 王志华, 李志强, 张志云. 2003. 乔纳金苹果采后 1-MCP 处理对常温贮藏效果的影响. *园艺学报*, 30 (1): 90 - 92.
- Tao Dong-bing, Wu Rong-shu, Cai Xiu-dan. 2008. Effects of 1-MCP on lijiang pears refreshing and browning inhibition during the cold storage. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 39 (1): 114 - 117. (in Chinese)
- 陶冬冰, 吴荣书, 蔡秀丹. 2008. 1-MCP 处理对丽江雪桃低温贮藏防褐保鲜效果的影响. *沈阳农业大学学报*, 39 (1): 114 - 117.
- Woolf A B, Requejo-Tapia C, Cox K A, Jackman R C, Gunson A, Arpaia M L, White A. 2005. 1-MCP reduces physiological storage disorders of ‘Hass’ avocados. *Postharvest Biology and Technology*, 35: 43 - 60.
- Zhang Hai-yan, Rao Jing-ping, Guo Min. 2008. Effect of putrescine (Put) treatment on chilling injury in stored nectarine fruits. *Journal of Northwest A & F University: Nat Sci Ed*, 36 (7): 40 - 46. (in Chinese)
- 张海燕, 饶景萍, 郭敏. 2008. 外源腐胺对油桃贮藏冷害的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 36 (7): 40 - 46.