

过氧化氢在香蕉果实采后耐冷性诱导中的作用

庞学群^{1,2}, 潘少丽¹, 王海波¹, 黄椿颖¹, 张昭其^{1*}(¹ 华南农业大学园艺学院, 广州 510642; ² 华南农业大学生命科学学院, 广州 510642)

摘要: 采用外源过氧化氢 (H_2O_2)、可诱导植物产生内源 H_2O_2 的茉莉酸甲酯 (MJ) 和水杨酸 (SA) 处理香蕉果实, 探讨 H_2O_2 在香蕉果实采后耐冷诱导中的作用。结果表明: 在 $7^\circ C$ 下贮藏, 外源 $20\text{ mmol} \cdot L^{-1} H_2O_2$ 、 $0.7\text{ mmol} \cdot L^{-1} SA$ 、 $0.1\text{ mmol} \cdot L^{-1} MJ$ 处理能使果实冷害症状推迟 2~5 d 出现; 延缓了香蕉果皮细胞膜透性和 MDA 含量的增加, 提高了超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性, 抑制了过氧化氢酶 (CAT) 活性, 从而使果皮中 H_2O_2 积累。推测 H_2O_2 可能作为信号分子参与诱导了香蕉果实采后的抗冷性。

关键词: 香蕉; 过氧化氢; 水杨酸; 茉莉酸甲酯; 冷害; 耐冷性

中图分类号: S 668.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2007) 06-1373-06

Role of Hydrogen Peroxide on Chilling Resistance of Postharvest Banana Fruits

PANG Xue-qun^{1,2}, PAN Shao-li¹, WANG Hai-bo¹, HUANG Chun-ying¹, and ZHANG Zhao-qi^{1*}(¹ College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; ² College of Biotechnology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Exogenous hydrogen peroxide, and salicylic acid and methyl jasmonate, which induced the accumulation of endogenous hydrogen peroxide in plants, were used to investigate the role of hydrogen peroxide on induction of chilling resistance of postharvest banana fruits. The results indicated that $20\text{ mmol} \cdot L^{-1}$ hydrogen peroxide, $0.7\text{ mmol} \cdot L^{-1}$ salicylic acid and $0.1\text{ mmol} \cdot L^{-1}$ methyl jasmonate treatments delayed the occurrence of chilling injury symptom of banana fruits by 2–5 d at $7^\circ C$. The treatments also delayed the increase of membrane permeability and MDA contents, induced the activities of SOD and POD, inhibited the activities of CAT, and therefore resulted in accumulation of endogenous hydrogen peroxide in pericarp of banana fruits. The results implied that salicylic acid and methyl jasmonate might induce the accumulation of endogenous hydrogen peroxide by inhibition of CAT activity, and hydrogen peroxide might involve in induction of the chilling resistance of postharvest banana fruits by acting as the signal molecule.

Key words: Banana; Hydrogen peroxide; Salicylic acid; Methyl jasmonate; Chilling; Cold resistance

香蕉在低于 $12^\circ C$ 时即发生冷害, 难于采用较低的贮运温度来延长贮运期 (张昭其和庞学群, 1998)。大量研究表明, 冷害低温引起采后果蔬自由基产生与清除系统平衡破坏, 导致细胞活性氧的累积, 如过氧化氢 (H_2O_2) 的累积 (陆旺金等, 1999)。

长期以来, H_2O_2 被认为与其他活性氧 ($\cdot OH$ 、 O_2^-) 一样, 是对植物细胞具有毒害作用的代谢产物, 然而近年来 H_2O_2 的信号转导作用已经被越来越多的试验所证实 (Neill et al., 2002a)。Pras-

收稿日期: 2007-05-17; 修回日期: 2007-09-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30471219); 广东联合基金重点项目 (U0631004); 广东省自然科学基金团队项目 (06200670)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: zqzhang@sdau.edu.cn)

ad 等 (1994) 报道低浓度 H_2O_2 常温下能诱导保护酶基因的表达, 模拟冷驯化, 提高植物抗冷能力。

本研究采用外源 H_2O_2 溶液以及能够激发植物产生内源 H_2O_2 的茉莉酸甲酯 (MJ) (Hung et al., 2006) 和水杨酸 (SA) (Chan & Tian, 2006) 等物质处理采后香蕉果实, 探讨外源 H_2O_2 及提高内源 H_2O_2 的处理提高采后香蕉果实耐冷性的效果及其生化机理。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

所选香蕉品种为巴西 (*Musa* AAA Group 'Brazil'), 采自广州番禺, 成熟度为七八成。在果园落疏后立即运回实验室, 挑选大小均匀, 无病虫害及机械伤的果实, 用 0.1% 漂白粉洗果, 再用 0.05% 施保功浸果 2 min, 捞出晾干。

根据预备试验结果, 诱导处理设计如下, 对照 (CK): 塑料薄膜袋包装置于 25℃ 下 24 h; H_2O_2 处理: 20 mmol · L⁻¹ H_2O_2 溶液喷洒香蕉果实, 25℃ 下置于塑料薄膜袋中密封 24 h; SA 处理: 0.7 mmol · L⁻¹ SA 溶液喷洒香蕉果实, 25℃ 下置于塑料薄膜袋中密封 24 h; MJ 处理: 在 25℃ 下密闭容器中用 0.1 mmol · L⁻¹ MJ 熏蒸处理 24 h。

将 4 组果实分别装入打孔的塑料薄膜袋中, 于 7℃ 恒温箱中贮藏。重复 3 次。定期取样测定相关生理指标。

1.2 生理指标的测定

果皮细胞膜透性的测定参照张昭其等 (2002) 的方法。取香蕉果皮, 用直径 10 mm 的打孔器打 10 个圆孔, 蒸馏水清洗 3 次后用滤纸吸干, 放入 50 mL 具塞刻度试管中, 加入 25 mL 蒸馏水, 静置 30 min, 用 DDS-11A 型电导仪测电导率。煮沸 30 min 后再测电导率, 以前后两次电导率之比所得的相对电导率来表示细胞膜透性。重复 3 次。

丙二醛 (MDA) 含量的测定参照刘祖祺和张石城 (1994) 的方法。取香蕉果皮 1 g, 加入 4 mL 0.05 mol · L⁻¹ 的磷酸缓冲液 (pH 7.8) 和 0.2 g 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP), 冰浴研磨, 4℃ 下 15 000 r · min⁻¹ 离心 15 min。取上清液 1 mL, 转入刻度试管, 加 3 mL 0.5% 硫代巴比妥酸 (TBA) (溶于 10% 的三氯乙酸) 混匀, 盖上塞, 煮沸 15 min 后快速冷却, 用双蒸水补至 4 mL, 再以 4 000 r · min⁻¹ 离心 15 min, 以磷酸缓冲液为参比, 测定上清液在 532 nm 和 600 nm 处的 OD 值, 以 $(E_{532} - E_{600}) / 155$ 计算 MDA 的含量, 以 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}\text{FM}$ 表示。重复 3 次。

超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定参照邵从本等 (1983) 的方法。取香蕉果皮 1 g, 加入 4 mL 0.05 mol · L⁻¹ 的磷酸缓冲液 (pH 7.8) 和 0.2 g 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP), 冰浴研磨, 4℃ 下 15 000 r · min⁻¹ 离心 15 min, 上清液用于酶活性的测定。按次序依次加入 pH 7.8 的磷酸缓冲液 2.7 mL, 0.06 mmol · L⁻¹ 核黄素 0.1 mL, 14.4 mmol · L⁻¹ 甲硫氨酸 0.1 mL, 2.36 mmol · L⁻¹ EDTA 0.1 mL, 酶液 50 μL , 2.25 mmol · L⁻¹ NBT 0.1 mL。以不加 NBT 作空白。以缓冲液代替酶液照光做最大光还原测定。把反应液放于 4 000 lx 荧光灯下照射 15 min, 然后用紫外可见分光光度计测定 OD₅₆₀ 吸光值。以 $[(\text{OD}_{\text{max}} - \text{OD}_{560}) / \text{OD}_{\text{max}}] / 2$ 计算 SOD 含量, 以抑制 NBT 光化学还原 50% 作为一个酶活性单位 U, 酶的活性以 U · g⁻¹FM 表示。所有操作均在暗中进行。重复 3 次。

过氧化物酶 (POD) 活性的测定参照曾韶西等 (1997) 的方法。酶液提取同 SOD 活性测定, 反应液中包括: 0.95 mL 0.2% 愈创木酚, 2 mL 0.1% H_2O_2 , 0.5 mL 粗酶液, 迅速比色, 测定 OD₄₇₀ 值在 180 s 内的变化量, 以每 min 变化 0.01 为一个酶活性单位 U, 酶的活性以 U · g⁻¹FM 表示。重复 3 次。

过氧化氢含量的测定参照 Zhou 等 (2006) 的方法。取香蕉果皮 1 g, 加入 5 mL 5% 三氯乙酸 (TCA) 和 0.2 g 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP), 冰浴研磨, 于 4℃ 下 12 000 $r \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 20 min, 上清液用氨水调 pH 值至 8.4, 并用 pH 8.4 的 TCA 定容至 6 mL。取 1 mL 上清液, 30℃ 水浴 30 min, 加入 1 mL 显色液于 500 nm 处比色, 以 1 mL 上清液中加入 10 μg 过氧化氢酶作为空白对照。根据标准曲线计算出 H_2O_2 含量。显色液: 4-氨基安替吡啉 0.01 g, 苯酚 0.01 g, 溶于 50 mL 0.1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 5.6 的 CH_3COOH 缓冲液中, 加入 5 mg 过氧化物酶即成。

过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定参照赵亚华和高向阳 (2002) 的方法, 采用碘量法。取香蕉果皮 3 g, 加 0.2 g 碳酸钙和蒸馏水 10 mL, 冰浴研磨成匀浆, 于 4℃ 下 9 000 $r \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 30 min。取 1 个 100 mL 三角瓶, 依次加入 2 mL 蒸馏水, 5 mL 1.8 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸, 5 mL 0.05 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 过氧化氢, 在 20℃ 保温 5 min, 再加入 20% 碘化钾溶液 1 mL, 10% 钼酸铵溶液 3 滴, 1% 淀粉溶液 5 滴, 用 0.02 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫代硫酸钠溶液滴定至蓝色消失, 所用硫代硫酸钠的量为空白滴定值。另取两个 100 mL 三角瓶, 除加硫酸的顺序调整到保温后进行外, 一切同上, 所用硫代硫酸钠的量为样品滴定值。用空白滴定值减去样品滴定值即可求出此期间酶所分解的过氧化氢量, CAT 活性大小以一定时间内分解的过氧化氢量, 即 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 诱导处理对香蕉冷害症状的影响

未经任何处理的对照香蕉果实 在 7℃ 下贮藏 3 d, 开始出现冷害症状, 果皮有少量褐色凹陷斑点, 果皮颜色开始变暗, 而 H_2O_2 处理和 SA 处理在贮藏 5 d, MJ 处理在贮藏 8 d 后才开始出现冷害症状。可见, 适当浓度的 H_2O_2 、SA、MJ 处理采后香蕉果实, 能在一定程度上诱导香蕉果实的耐冷性。

2.2 诱导处理对香蕉果皮细胞膜透性和 MDA 含量的影响

从图 1 可知, 香蕉果实在 7℃ 下贮藏, 随着时间的延长果皮细胞膜透性呈上升趋势, 对照果实在 4 d 后即开始迅速增加, 经诱导处理的果实在 8 d 后才开始迅速增加, 在贮藏期间, 对照的电导率增加幅度远远高于 SA、 H_2O_2 、MJ 处理, 其中 MJ 处理的果实细胞膜透性增幅最小。

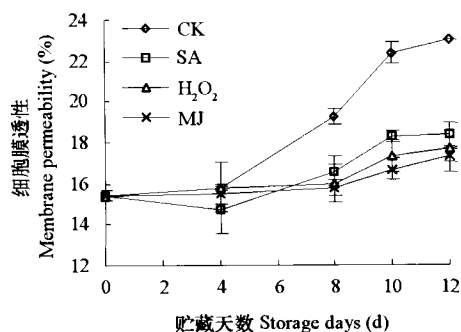


图 1 H_2O_2 、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮细胞膜透性的影响

Fig. 1 Effect of H_2O_2 , SA and MJ on membrane permeability of banana peel at 7℃

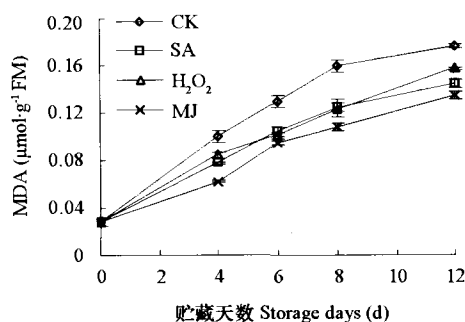


图 2 H_2O_2 、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effect of H_2O_2 , SA and MJ on MDA contents of banana peel at 7℃

香蕉果皮 MDA 含量也呈逐渐增加的趋势 (图 2), 与对照相比, SA、 H_2O_2 、MJ 处理 MDA 含量的增加幅度明显低于对照, 其中 MJ 处理的 MDA 含量最低, 说明经适当浓度的 SA、 H_2O_2 、MJ 处理均能在一定程度上延缓果皮细胞膜透性和膜脂过氧化产物 MDA 含量的上升。

2.3 诱导处理对冷藏香蕉果皮 SOD 及 POD 活性的影响

从图 3 可看出, 在 25℃ 下 SA、H₂O₂、MJ 处理 24 h 能诱导果皮 SOD 活性的提高。随着贮藏时间的延长, 各处理 SOD 活性逐渐下降, 但前中期都比对照高, 到后期趋于一致。

对照和各处理的香蕉果实 POD 活性变化规律较为一致 (图 4)。贮藏 4 d 左右, POD 活性有小幅增加, 随后有所下降, 从第 6 天又开始升高, 但各处理的 POD 活性都比对照的要高。可见, SA、H₂O₂、MJ 处理能在一定程度上诱导 SOD 和 POD 活性的提高。

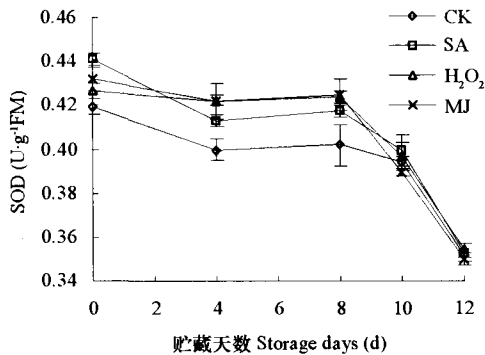


图 3 H₂O₂、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of H₂O₂, SA and MJ on SOD activity of banana peel at 7°C

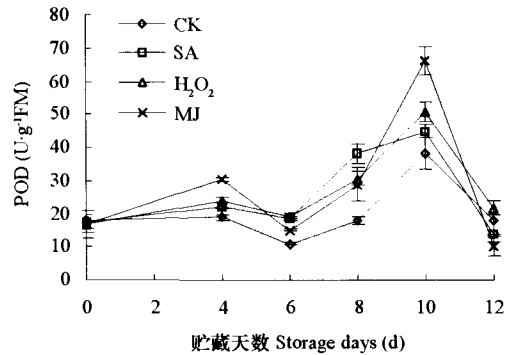


图 4 H₂O₂、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮 POD 活性的影响

Fig. 4 Effect of H₂O₂, SA and MJ on POD activity of banana peel at 7°C

2.4 诱导处理对冷藏香蕉果皮 H₂O₂ 含量和 CAT 活性的影响

从图 5 可知, 在 25℃ 下 SA 和 MJ 处理 24 h 可诱导香蕉果皮 H₂O₂ 含量提高。在冷害温度下贮藏, 香蕉 H₂O₂ 含量出现两个高峰, 分别在第 3 天和第 7 天。在贮藏期前期, SA、H₂O₂、MJ 处理果实的 H₂O₂ 含量均比对照的高, 但从第 7 天开始, 除 MJ 处理之外, SA 和 H₂O₂ 处理的 H₂O₂ 含量比对照的低。可见, SA、H₂O₂、MJ 处理在冷害前期能够提高香蕉果皮 H₂O₂ 的含量。

由图 6 可知, 香蕉在冷害温度下贮藏, 其果皮 CAT 活性呈逐渐上升的趋势, 在第 7 天时达到高峰, 贮藏前期, SA、H₂O₂、MJ 处理果实的 CAT 活性均比对照的低, 说明各处理在一定程度上能抑制 CAT 活性。

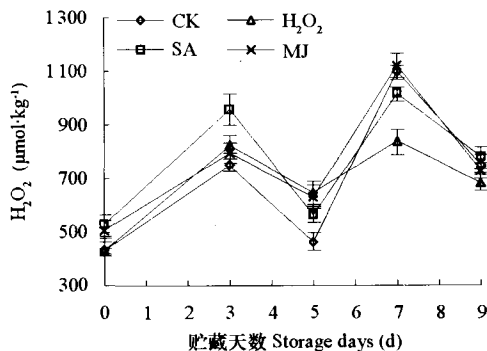


图 5 H₂O₂、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮 H₂O₂ 含量的影响

Fig. 5 Effect of H₂O₂, SA and MJ on H₂O₂ contents of banana peel at 7°C

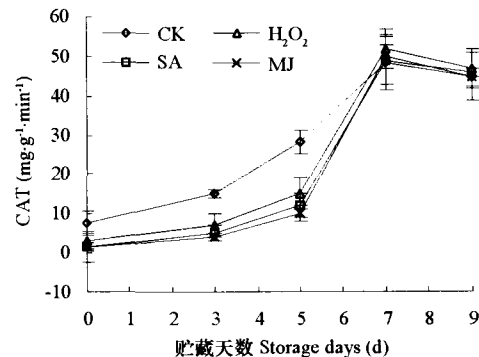


图 6 H₂O₂、SA 和 MJ 处理对 7℃ 下香蕉果皮 CAT 活性的影响

Fig. 6 Effect of H₂O₂, SA and MJ on CAT activity of banana peel at 7°C

3 讨论

本研究结果表明, 用适当浓度的 H_2O_2 、SA 和 MJ 在 $25^\circ C$ 下处理香蕉果实 24 h, 然后在 $7^\circ C$ 下贮藏, 能使果实冷害症状推迟 2~5 d 出现, 并在一定程度上延缓了香蕉果皮细胞膜透性和 MDA 含量的提高, 诱导了 SOD 和 POD 活性的升高, 抑制了 CAT 活性, 使内源 H_2O_2 积累。 H_2O_2 分子结构简单, 是最稳定的一种活性氧, 在受到低温、干旱、高盐等环境胁迫时被迅速诱导大量产生, 特别是它能够跨膜运输的方式在细胞之间迅速扩散和代谢, 这些特性使它具备了其他种类活性氧不可比拟的信号分子的作用 (Neill et al., 2002b)。植物在亚致死低温下细胞内 H_2O_2 含量迅速提高 (Xiong et al., 2002)。Prasad 等 (1995) 报道低浓度 H_2O_2 在常温下能诱导 POD 和 CAT 等保护酶基因的表达, 模拟冷驯化, 提高植物抗冷力。本研究发现, 直接采用外源 H_2O_2 处理, 或者采用能激发植物内源 H_2O_2 产生的 SA 处理 (Chan & Tian, 2006) 和 MJ 处理 (Hung et al., 2006), 均能诱导香蕉果皮提高 H_2O_2 含量, 延缓冷害症状出现, 表明 H_2O_2 在植物冷害及耐冷诱导的信号转导途径中起到了重要作用。

SA 诱发植物产生系统抗病反应并激活防御相关基因的表达, 可能是通过抑制植物 CAT 活性, 增加植物体内 H_2O_2 的浓度来调控的 (Chen et al., 1993)。SA 处理也能诱导采后芒果和樱桃的抗病性, 诱导果实 H_2O_2 积累 (Chan & Tian, 2006; Zeng et al., 2006), 并发现 SA 处理在一定程度上抑制了樱桃果实的 CAT 活性 (Chan & Tian, 2006)。本研究也证实了这一点。SA 处理 24 h, 诱导了采后香蕉果实 H_2O_2 含量迅速上升, 抑制了 CAT 活性, 从而提高了香蕉随后的抗冷性。这些结果表明, 外源 SA 处理可能是通过抑制 CAT 活性来诱导植物 (包括采后果实) 内源 H_2O_2 的积累, 从而提高抗逆境能力的。

MJ 处理可延缓采后甜椒 (Fung et al., 2004)、水蜜桃 (冯磊 等, 2003)、黄瓜 (韩晋和田世平, 2006) 和芒果 (Han et al., 2006) 冷害症状的出现。本研究也发现, MJ 处理能显著提高采后香蕉果实的耐冷性。有报道表明, MJ 处理可诱导水稻叶片 (Hung et al., 2006) 和拟南芥叶片 (Dontamala et al., 2004) H_2O_2 含量的显著提高。本研究结果也证实了这一点。可见, MJ 诱导采后果实抗冷性与 H_2O_2 的积累密切相关。

事实上, 作者直接采用外源 H_2O_2 处理采后香蕉果实, 也能在一定程度上诱导香蕉果实的耐冷性。此外, 本研究结果还表明, MJ 处理可能跟 SA 处理一样, 是通过抑制 CAT 活性来诱导香蕉内源 H_2O_2 的积累, 从而提高抗逆境能力的。

低温能诱导植物 POD 和 SOD 等保护酶活性提高的报道已有许多。从图 6 可知, 香蕉在冷害温度下贮藏, 前期出现一个 H_2O_2 峰, 从而诱导 POD 和 SOD 活性的提高, 后期 POD、SOD 等保护酶活性降低, H_2O_2 或其他活性氧含量迅速提高, 导致香蕉果实出现严重冷害。综上所述, 一定水平 H_2O_2 有利于提高采后香蕉果实的抗冷性, 表明 H_2O_2 可能作为信号分子在其诱导抗冷性过程中起重要作用。

References

- Chan Zhu-long, Tian Shi-ping. 2006. Induction of H_2O_2 -metabolizing enzymes and total protein synthesis by antagonistic yeast and salicylic acid in harvested sweet cherry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 314–320.
- Chen Z, Silva H, Klessig D F. 1993. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid. *Science*, 262 (5141): 1883–1886.
- Dontamala Suhita, Raghavendra A S, Kwak J M, Vavasseur A. 2004. Cytoplasmic alkalization precedes reactive oxygen species production during methyl jasmonate and abscisic acid-induced stomatal closure. *Plant Physiology*, 134: 1536–1545.
- Feng Lei, Zheng Yong-hua, Wang Feng, Zhang Lan. 2003. Effects of methyl jasmonate (MeJA) on peaches in cold storage. *Food Technology*, 24 (9): 135–139. (in Chinese)
- 冯磊, 郑永华, 汪峰, 张兰. 2003. 茉莉酸甲酯处理对冷藏水蜜桃品质的影响. *食品科学*, 24 (9): 135–139.

- Fung R W M, Wang C Y, Smith D L, Gross K C, Tian M S. 2004. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.). *Plant Science*, 166 (3): 711–719.
- Han J, Tian S P, Meng X H, Ding Z S. 2006. Response of physiological metabolism and cell structures of mango fruit to exogenous methyl salicylate under low temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 128 (1): 125–133
- Han Jin, Tian Shi-ping. 2006. Effects of exogenous methyl jasmonate on chilling injury and physiology and biochemistry in postharvest cucumber. *Acta Horticulturae Sinica*, 33 (2): 289–293. (in Chinese)
- 韩 晋, 田世平. 2006. 外源茉莉酸甲酯对黄瓜采后冷害及生理生化的影响. *园艺学报*, 33 (2): 289–293.
- Hung Kuo Tung, Hsu Yi Ting, Kao Ching Huei. 2006. Hydrogen peroxide is involved in methyl jasmonate-induced senescence of rice leaves. *Physiologia Plantarum*, 127 (2): 293–303.
- Liu Zu-qi, Zhang Shi-cheng. 1994. *Plant physiology of resistance*. Beijing: China Agricultural Press: 199–211, 369–372. (in Chinese)
- 刘祖祺, 张石城. 1994. *植物抗性生理学*. 北京: 中国农业出版社: 199–211, 369–372.
- Lu Wang-jin, Zhang Zhao-qi, Ji Zuo-liang. 1999. Chilling injury and approaches to reduce chilling injury of tropical and subtropical fruits and vegetables during low temperature storage. *Plant Physiology Communications*, 2 (35): 158–163. (in Chinese)
- 陆旺金, 张昭其, 季作梁. 1999. 热带亚热带果蔬低温贮藏冷害及御冷技术. *植物生理学通讯*, 2 (35): 158–163.
- Neill S J, Desikan R, Clarke A. 2002a. Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1237–1247.
- Neill S, Desikan R, Hancock J. 2002b. Hydrogen peroxide signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 388–395.
- Prasad T K, Anderson M D, Martin B A. 1994. Evidence for chilling-induced oxidative stress in maize seedlings and a regulatory role for hydrogen peroxide. *Plant Cell*, 6 (1): 65–74.
- Prasad T K, Anderson M D, Stewart C R. 1995. Localization and characterization of peroxidases in the mitochondria of chilling-acclimated maize seedlings. *Plant Physiology*, 108 (4): 1597–1605.
- Shao Cong-ben, Luo Guang-hua, Wang Ai-guo. 1983. The comparison of several methods in determining the super oxide dismutase. *Plant Physiology Communications*, 19 (5): 46–49. (in Chinese)
- 邵从本, 罗广华, 王爱国. 1983. 几种检测超氧化物歧化酶活性反应比较. *植物生理学通讯*, 19 (5): 46–49.
- Xiong L M, Schumaker K S, Zhu J K. 2002. Cell signaling during cold, drought and salt stress. *Plant Cell*, 14 (Supplement): 165–183.
- Zeng Kai-fang, Cao Jian-kang, Jiang Wei-bo. 2006. Enhancing disease resistance in harvested mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Matisu') fruit by salicylic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 694–698.
- Zeng Shao-xi, Wang Yi-rou, Li Mei-ru. 1997. Comparison of the changes of membrane protective system in rice seedlings during enhancement of chilling resistance by different stress pretreatment. *Acta Botanica Sinica*, 39 (4): 308–314. (in Chinese)
- 曾韶西, 王以柔, 李美如. 1997. 不同胁迫处理提高水稻幼苗抗寒性期间膜保护系统的变化比较. *植物学报*, 39 (4): 308–314.
- Zhang Zhao-qi, Duan Xue-wu, Pang Xue-qun, Ji Zuo-liang. 2002. The effects of cold shock on some physiological changes related to thermotolerance of postharvest bananas. *Plant Physiology Communications*, 38 (4): 333–335. (in Chinese)
- 张昭其, 段学武, 庞学群, 季作梁. 2002. 冷激对采后香蕉几个与耐热性有关的生理指标的影响. *植物生理学通讯*, 38 (4): 333–335.
- Zhang Zhao-qi, Pang Xue-qun. 1998. *Technique of postharvest handling and storage of south China fruits*. Nanning: Guangxi Science and Technology Press. (in Chinese)
- 张昭其, 庞学群. 1998. *南方水果贮藏保鲜技术*. 南宁: 广西科学技术出版社.
- Zhao Ya-hua, Gao Xiang-yang. 2002. *The technology of biochemical experiment*. Guangzhou: South China University of Technology Press: 153–154. (in Chinese)
- 赵亚华, 高向阳. 2002. *生物化学实验技术教程*. 广州: 华南理工大学出版社: 153–154.
- Zhou B Y, Wang J H, Guo Z F, Tan H Q, Zhu X C. 2006. A simple colorimetric method for determination of hydrogen peroxide in plant tissues. *Plant Growth Regulation*, 49: 113–118.