

# 1-甲基环丙烯对台湾青枣采后生理效应的影响

白华飞<sup>1</sup> 杨晓棠<sup>1</sup> 吴锦铸<sup>2</sup> 陆旺金<sup>1</sup> 张昭其<sup>1\*</sup>

(1. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642; 2. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

**摘要:**研究了台湾青枣 (*Ziziphus mauritiana* Lam. cv. Liuxiang) 在 25℃ 下贮藏期间 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理对果实品质和一些生理指标的影响。结果表明: 250 μg L<sup>-1</sup> 的 1-MCP 有效抑制了果实腐烂和褐变。在 25℃ 下贮藏 12 d, 对照和处理的好果率分别为 12.5% 和 92.5%。果实经 1-MCP 处理后, 乙烯合成受到显著抑制, 乙烯高峰出现延迟, 超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性提高, 从而减缓了丙二醛 (MDA) 的积累和细胞膜透性的升高。

**关键词:** 1-甲基环丙烯; 台湾青枣; 采后生理

中图分类号: Q945.66

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395 (2004) 04-0363-04

## Physiological Responses of Postharvest Fruits to 1-MCP in Indian Jujube

BAI Hua-fei<sup>1</sup> YANG Xiao-tang<sup>1</sup> WU Jing-zhu<sup>2</sup> LU Wang-jin<sup>1</sup> ZHANG Zhao-qi<sup>1</sup>

(1. Horticulture College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Indian jujube (*Ziziphus mauritiana* Lam. cv. Liuxiang) fruits were exposed to 250 nl L<sup>-1</sup> 1-methylcyclopropene (1-MCP) for 24 h, then stored at 25℃ for 12 days. 1-MCP treatment effectively inhibited fruit browning and rot. Edible rate of fruits pretreated with air and 1-MCP were 12.5% and 92.5%, respectively, after 12 days of storage at 25℃. Pretreatment with 1-MCP significantly decreased ethylene production and retarded the ethylene peak, and delayed the increases of malondialdehyde and membrane permeability which were associated with the increases of the activities of superoxide dismutase and peroxidase.

**Key words:** 1-methylcyclopropene; Indian jujube fruit; Postharvest physiology; *Ziziphus mauritiana*

台湾青枣 (*Ziziphus mauritiana* Lam.), 又名毛叶枣、印度枣、缅甸枣、西西果、麻苻 (俣语), 原产于印度、锡兰, 为鼠李科枣属植物, 与中国的枣 (*Ziziphus jujuba*) 为同科同属不同种的小乔木常绿果树。具有果大、速生、早结、丰产稳产, 果实品质好等优良性状<sup>[1]</sup>。此外, 台湾青枣成熟期为 11 月到第二年 3 月, 盛果期为元旦至春节, 上市时间正是冬、春鲜果供应淡季, 因此具有较高的经济价值。近年来, 在海南、广东、云南、福建、广西等省相继引进种植, 栽培面积不断扩大, 产量逐年上升。但台湾青枣采收后不易保鲜, 果实极易变黄、变褐, 品质变劣, 货架寿命短, 造成经济上的重大损失。目前, 国内外

对台湾青枣采后生理鲜有研究。1-甲基环丙烯 (1-methylcyclopropene, 1-MCP) 是一种有效的乙烯受体抑制剂, 它能不可逆地作用于乙烯受体, 阻断乙烯与受体的正常结合, 从而抑制乙烯诱导的果蔬和切花的后熟或衰老, 在果蔬采后领域具有广阔的应用前景<sup>[2]</sup>。本试验研究了台湾青枣在常温下的采后生理变化及 1-MCP 对其保鲜效果的影响, 为 1-MCP 应用于台湾青枣的贮运保鲜提供理论依据。

### 1 材料和方法

**材料及处理** 供试品种为 '留香' (*Ziziphus mauritiana* Lam. cv. Liuxiang), 采自华南农业大学

收稿日期: 2003-09-24, 接受日期: 2004-02-23

基金项目: 广东省科技厅攻关项目 (C20210) 资助

\* 通讯作者 Corresponding author

科技开发总公司果场。采后立即运回实验室,选取无机械伤、无病虫害,成熟度约 8 成(果实饱满,果皮由青绿色转为淡绿色或黄绿色,光滑有光泽)的果实用  $1 \text{ g L}^{-1}$  强力杀菌灵溶液洗果,再用  $0.5 \text{ g L}^{-1}$  的防腐剂“施保功”溶液浸泡 1 min,晾干备用。将果实分置于塑料蓝中,分两组密封于泡沫箱中:A. 对照,不做任何处理;B.  $25^\circ\text{C}$  下用浓度为  $250 \text{ nl L}^{-1}$  1-MCP 气体处理果实,24 h 后取出,然后用 0.03 mm 聚乙烯薄膜袋包装,扎口,置于  $25\pm 0.5^\circ\text{C}$  下贮藏。每处理果实为 1.5 kg 左右,重复 3 次。

**好果率的测定** 每处理随机取 40 个果,重复 3 次。根据果实外观将果实分为 5 个等级:1 级果为光滑有光泽,未腐烂且未变软,果实基本完好;2 级果为未腐烂、褐变面积小于 10%;3 级果为腐烂、褐变面积介于 10%–25%;4 级果为腐烂、褐变面积介于 25%–50%;5 级果为腐烂、褐变面积大于 50%。 $\text{好果率}(\%) = (\text{1 级果数} + \text{2 级果数}) / \text{调查总果数} \times 100\%$ 。

**乙烯合成速率的测定** 参照张昭其<sup>[3]</sup>的方法进行。随机取果 8 个置于 2 000 ml 密封罐中,贮藏温度下密封 3 h 后取气 1 ml,用日本岛津 GC-17A 型气相色谱仪测定,气相色谱仪工作条件为:柱温  $60^\circ\text{C}$ ,进样器温度  $120^\circ\text{C}$ ,检测器温度  $120^\circ\text{C}$ ,载气为 He 气,流速  $30 \text{ ml min}^{-1}$ 。实验重复 3 次。

**果皮细胞膜透性的测定** 参照张昭其等<sup>[3]</sup>的方法。取果皮,用直径为 10 mm 的打孔器取 10 个圆片,再用蒸馏水清洗三次后用滤纸吸干,然后放入 50 ml 具塞刻度试管中,加入 20 ml 蒸馏水,静置 30 min 后用 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。实验重复 3 次。

**MDA 含量的测定** 参照刘祖祺<sup>[4]</sup>的方法。取果皮 1.0 g,加入 4 ml  $0.05 \text{ mol L}^{-1}$  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,  $4^\circ\text{C}$  下  $19\,000 \times g$  离心 15 min,取上清液 1.5 ml 加入 2.5 ml 0.5% 硫代巴比妥酸 (TBA) (溶于 10% 的三氯乙酸) 混匀,盖上橡皮塞,沸水浴 15 min 后快速冷却,再于  $4\,000 \times g$  下离心 5 min,以 0.5% TBA 为参比,测定上清液在 532 nm 和 600 nm 处的光密度值,以  $\Delta \text{EmM}(532-600 \text{ nm}) / 155$  计算 MDA 的含量。实验重复 3 次。

**过氧化物酶 (POD) 活性的测定** 参照陈贻竹<sup>[5]</sup>的方法。取果皮 1.0 g,加入 4 ml  $0.05 \text{ mol L}^{-1}$  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,  $4^\circ\text{C}$  下  $19\,000 \times g$  离心 15 min,上清液用于酶活性的测定。3 ml 反应液中包括:0.1 ml 愈创木酚 (4.0%, 过饱和),0.1 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  (0.46%), 2.75 ml 磷酸缓冲液和 50  $\mu\text{l}$  粗酶液,在 470 nm 处测定 OD 值的变化,以  $\text{OD}_{470}$  每分钟增加 0.01 为一个酶活力单位 (U),酶的活性以  $\text{U g}^{-1} \text{FW}$  表示,实验重复 3 次。

**SOD 活性的测定** 参照邵从平<sup>[6]</sup>的方法。取果皮 1 g,加入 4 ml  $0.05 \text{ mol L}^{-1}$  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,  $4^\circ\text{C}$  下  $19\,000 \times g$  离心 15 min,上清液用于酶活性的测定。3 ml 的反应液中包括:13 mmol/L 甲硫氨酸,75  $\mu\text{mol L}^{-1}$  NBT,10  $\mu\text{mol L}^{-1}$  EDTA,1.3  $\mu\text{mol L}^{-1}$  核黄素,pH 7.8 的磷酸缓冲液以及酶液 50  $\mu\text{l}$ ,于 4 000 lx 光照条件下照光 15 min 后测定反应液 560 nm 的光密度值,以缓冲液代替酶液不照光作空白,以缓冲液代替酶液照光作最大光还原测定,以抑制 NBT 光化还原 50% 作为一个酶活力单位 (U),酶活性以  $\text{U g}^{-1} \text{FW}$  表示,实验重复 3 次。

## 2 结果和分析

### 2.1 果实好果率

从图 1 可看出,贮藏前 6 d,对照和 1-MCP 处理的果实好果率都维持在较高水平,二者之间差异不明显,贮藏 9 d,对照迅速劣变,好果率降至 27.5%,而 1-MCP 处理的仍高达 95%,贮藏 12 d 时对照和处理的好果率分别为 12.5% 和 92.5%。

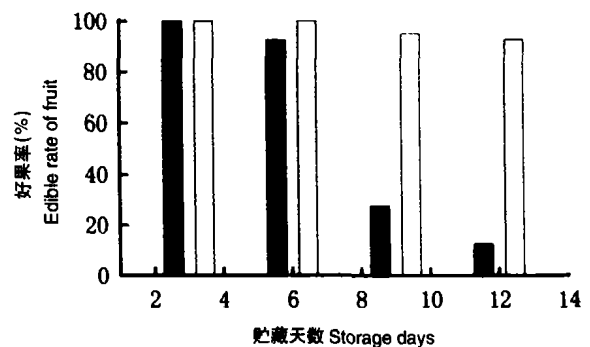


图 1  $25^\circ\text{C}$  下 1-MCP 处理对青枣好果率的影响

Fig. 1 Effects of 1-MCP on edible rate in Indian jujube fruits stored at  $25^\circ\text{C}$

■ Control; □ 1-MCP

### 2.2 果实乙烯释放量

如图 2 所示,在贮藏初期对照的乙烯释放率较低,4 d 后迅速增加,第 7 天时达到高峰,峰值约为  $0.6 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ,表现出明显呼吸跃变型果实的特征

1-MCP 处理的乙烯合成速率变化趋势与对照相似,但高峰延迟在第 9 天出现,且峰值显著低于对照,约为  $0.3 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ 。

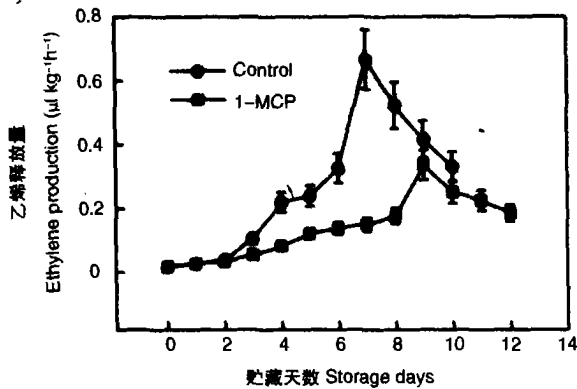


图 2 25°C下 1-MCP 处理对青枣乙烯释放量的影响

Fig. 2 Effects of 1-MCP on ethylene production in Indian jujube fruits stored at 25°C

### 2.3 果皮细胞膜透性和丙二醛(MDA)含量

从图 3A 可见,贮藏期间果皮细胞膜透性逐渐增加,贮藏前期对照和处理之间差异不明显,贮藏 6 d 后,对照果皮细胞膜透性迅速增加,而处理果实增长缓慢,12 d 时,对照和处理果皮细胞膜透性分别为 46.7%和 27.6%。膜脂过氧化产物—丙二醛(MDA)含量也表现出与细胞膜透性相似的变化趋

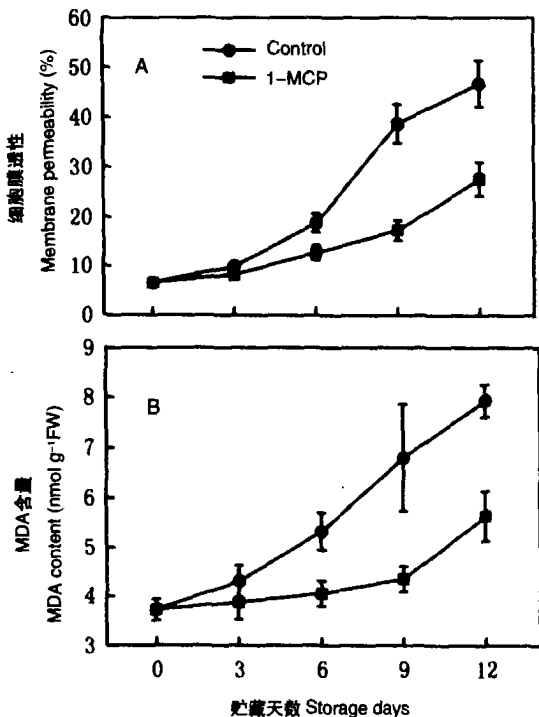


图 3 25°C下 1-MCP 处理对青枣果皮细胞膜透性(A)和 MDA 含量(B)的影响

Fig. 3 Effects of 1-MCP on membrane permeability (A) and MDA content (B) in Indian jujube fruits stored at 25°C

势,贮藏后期,1-MCP 处理果 MDA 的含量明显低于对照(图 3B)。

### 2.4 果实 POD 和 SOD 活性

图 4 表明,对照果在采后贮藏过程中 POD 活性变化不大,但 1-MCP 处理明显诱导了果皮 POD 活性的提高,并在整个贮藏过程中维持较高水平。不同于 POD,1-MCP 明显诱导贮藏前期果实 SOD 活性的升高,贮藏后期,对照和处理的 SOD 活性差异不明显。

## 3 讨论

乙烯广泛存在于植物体内,它可促进果实成熟和切花的衰老<sup>[7]</sup>。本研究发现,台湾青枣在贮藏前期乙烯合成速率较低,伴随着品质劣变,乙烯合成急剧增加,然后下降,说明台湾青枣是一种呼吸跃变型果实。本试验中,经 1-MCP 处理的台湾青枣,其乙烯高峰出现的时间延迟,峰值明显降低,表明 1-MCP 抑制了乙烯的生物合成。这与 1-MCP 抑制番茄<sup>[8]</sup>、香蕉<sup>[9]</sup>等呼吸跃变型果实乙烯合成的结论一致。植物组织或器官在衰老过程中常伴随细胞膜结构的破坏,导致组织结构和细胞区域化的丧失,表现为细胞膜透性的增加,细胞内电解质大量渗漏<sup>[10]</sup>。

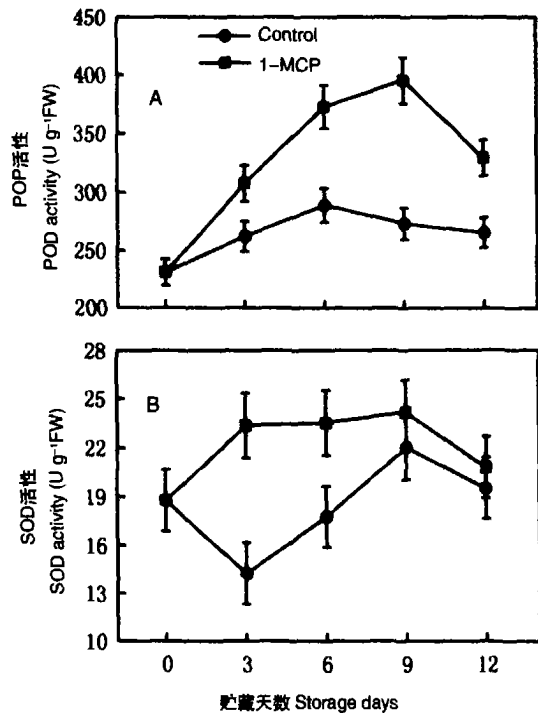


图 4 25°C下 1-MCP 处理对青枣 POD 活性(A)和 SOD 活性(B)的影响

Fig. 4 Effects of 1-MCP on POD (A) and SOD (B) activity in Indian jujube fruits stored at 25°C

本试验也发现,台湾青枣在呼吸跃变后细胞膜透性显著增加,但 1-MCP 显著减缓了果实细胞膜透性的增加,表明 1-MCP 处理能在一定程度上维持台湾青枣果皮细胞膜的完整性。我们的研究还发现 1-MCP 处理能减缓非跃变型果实荔枝的果皮细胞膜透性增加(数据未列出)。膜结构的破坏是膜脂过氧化作用的结果,MDA 是膜脂过氧化降解的典型产物,通常把 MDA 含量作为植物衰老的指标之一<sup>[11]</sup>。本试验中,台湾青枣果皮的 MDA 含量随贮藏时间的延长而增加,贮藏前期处理和对照差异不明显,后期 1-MCP 处理果 MDA 含量远低于对照,表明 1-MCP 处理减缓了膜脂过氧化程度,延缓了台湾青枣的衰老。活性氧积累是导致膜脂过氧化的重要原因,植物体内存在活性氧清除系统,SOD 和 POD 是植物活性氧清除系统中重要的酶<sup>[12]</sup>。本试验表明,1-MCP 处理能提高青枣 SOD、POD 的活性,有利于提高果实活性氧清除能力,这与处理果实中膜脂过氧化程度较轻和细胞膜完整性保持较好的结果一致。1-MCP 作为乙烯作用的新型受体抑制剂,对台湾青枣‘留香’品种有比较显著的保鲜效果,具有一定的应用前景。

### 参考文献

- [1] Deng B H(邓碧焕). The High Quality Fertility and Growth of Indian Jujube Fruit [M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2000. 8-9. (in Chinese)
- [2] Sisler E C, Serek M, Dupille E. Effect of 1-methylcyclopropene and methylenecyclopropene on ethylene binding and ethylene action on cut flower [J]. Plant Grow Regul, 1996, 18:79-86.
- [3] Zhang Z Q(张昭其), Hong H J(洪汉君), Li X P(李雪萍), et al. Effects of intermittent warming on chilling injury and physiological and biochemical response of Mango fruits [J]. Acta Hort Sin (园艺学报), 1997, 24(4): 329-332. (in Chinese)
- [4] Liu Z Q(刘祖祺), Zhang S C(张石城). The Physiology of Plant Stress [M]. Beijing: Beijing Agricultural Press, 1994. 265-267. (in Chinese)
- [5] Chen Y Z(陈贻竹), Wang Y R(王以柔). A study on peroxidase in Litchee pericarp [A]. In: Acta Botanical Austro Sinica Vol. 5 [C]. Beijing: Science Press, 1989. 47-52. (in Chinese)
- [6] Shao C B(邵从本), Luo G H(罗广华), Wang A G(王爱国), et al. A comparison on the testing methods of SOD [J]. Plant Physiol Comm (植物生理学通讯), 1983, (5): 46-49. (in Chinese)
- [7] Imata T, Omata I. Relationship between the ripening of harvested fruits and the respiratory pattern. III. Changes of ethylene concentration in fruits and responses to applied ethylene with relation to respiratory pattern [J]. J Jpn Soc Hort Sci, 1969, 38(4): 64-69.
- [8] 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]. Postharv Biol Techn, 1999, 16: 187-193.
- [9] Nakatsuka A, Murachi S, Okunishi H, et al. 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.
- [10] Paliyath G, Droillard M J. The mechanism of membrane deterioration and disassembly during senescence [J]. Plant Physiol Biochem, 1989, 30:789-812.
- [11] Plati-Aloia K A, Thomapson W W. Freeze-fracture evidence of gel-phase lipid in membranes of senescing cowpea cotyledons [J]. Plant Physiol, 1985, 163:360-369.
- [12] Wang A G(王爱国), Luo G H(罗广华), Shao C B(邵从本), et al. The active oxygen metabolism and its harm to cells [A]. In: Acta Botanical Austro Sinica Vol. 5 [C]. Beijing: Science Press, 1989. 11-24. (in Chinese)