

# 乙烯对‘洛阳红’牡丹切花开放和衰老进程及内源乙烯生物合成的影响

周琳<sup>1</sup>, 贾培义<sup>1</sup>, 刘娟<sup>1</sup>, 王玮然<sup>1</sup>, 霍志鹏<sup>2</sup>, 董丽<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>北京林业大学园林学院, 国家花卉工程技术研究中心, 北京 100083; <sup>2</sup>河南省洛阳市花木公司, 河南洛阳 471000)

**摘要:** 以开花指数为1级的‘洛阳红’牡丹切花为试材, 研究了外源乙烯和乙烯作用抑制剂1-甲基环丙烯(1-MCP)处理对其采后开花衰老进程中开花指数、花径增大率、瓶插寿命、内源乙烯生成量及乙烯生物合成关键酶ACC合成酶(ACS)和ACC氧化酶(ACO)活性的影响, 从乙烯生物合成角度探讨了乙烯对其采后开花衰老的调节机理。结果表明, 10  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  乙烯处理6 h明显加快了‘洛阳红’花朵开放进程, 缩短了切花的瓶插寿命, 并促使其在盛开后出现严重落瓣; 1.0  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP处理6 h则延缓了花朵开放, 延长了瓶插寿命, 但却影响了部分切花的充分开放; 内源乙烯的生成分别受乙烯和1-MCP处理的促进和抑制, 与切花的开放衰老进程密切相关。不同处理后ACS、ACO酶活性分析表明, ACS活性变化与内源乙烯的生成相联系, 是影响牡丹切花开放衰老进程的主要因子, 这与目前得出的ACS是植物乙烯生物合成限速酶的研究结果相一致。

**关键词:** 牡丹; 切花; 乙烯; 1-MCP; 开花; 衰老; ACS酶活性; ACO酶活性

**中图分类号:** S 685.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 02-0239-06

## Effect of Ethylene on Cut Flowers of Tree Peony ‘Luoyang Hong’ Opening and Senescence Process and Endogenous Ethylene Biosynthesis

ZHOU Lin<sup>1</sup>, JIA Pei-yi<sup>1</sup>, LIU Juan<sup>1</sup>, WANG Wei-ran<sup>1</sup>, HUO Zhi-peng<sup>2</sup>, and DONG Li<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, National Flower Engineering Technology Research Center, Beijing 100083, China; <sup>2</sup>Luoyang Flowers & Trees Company, Luoyang, Henan 471000, China)

**Abstract:** Tree peony cut flower (*Paeonia suffruticosa* ‘Luoyang Hong’) harvested in the first grade of flower opening index was taken as material to investigate the influence of exogenous ethylene and ethylene action inhibitor 1-MCP on flower opening index, diameter increasing rate, vase life, endogenous ethylene production and ethylene biosynthetic enzymes activities of ACC synthase (ACS) and ACC oxidase (ACO) during postharvest opening and senescence. The results showed that 10  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  ethylene treatment for 6 h hastened the process of flower opening, shortened vase life and induced petals abscission seriously after full-open; While 1.0  $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP retarded flower opening, prolonged flower vase life and impeded full-open of some flowers. Endogenous ethylene production was promoted by ethylene and inhibited by 1-MCP respectively, which was closely associated with the flower opening process. ACS and ACO activities analysis after different treatments indicated that changes in ACS activity were related to the endogenous ethylene production, suggesting that ACS be the main factor in the regulation of tree peony cut flower opening and senescence, which confirmed the former conclusion that ACS is the rate-limiting enzyme in plants ethylene biosynthesis.

**Key words:** tree peony; cut flower; ethylene; 1-MCP; flower opening; senescence; ACS enzyme activity; ACO enzyme activity

收稿日期: 2008 - 07 - 22; 修回日期: 2008 - 12 - 05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571309); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-05-0138)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: dongleah@yahoo.com.cn)

乙烯在切花采后衰老进程中起着重要的作用 (Borochov & Woodson, 1989)。长期以来人们围绕乙烯与切花的关系及其对切花衰老的调控进行了大量研究。目前发现, 香石竹、月季等许多植物的花朵开放和衰老与乙烯的关系都十分密切 (Woodson et al, 1992; 蔡蕾 等, 2002; 张常青 等, 2002; Ma et al, 2005, 2006; 王荣花 等, 2005; 翟进升 等, 2005)。

史国安等 (1997, 1999) 发现乙烯的大量产生是促使牡丹 (*Paeonia suffruticosa*) 切花衰老的重要生理原因之一。由于牡丹遗传背景复杂, 不同品种的乙烯代谢类型及其对外源乙烯的反应差别很大 (郭闻文, 2004; Jia et al, 2006; Zhou et al, 2006)。因此, 为揭示乙烯在牡丹切花衰老进程中的作用模式及调控机理, 需要从生理生化及分子水平上进行更深入的研究。

本试验中以类似跃变型品种 ‘洛阳红’ 牡丹切花 (Jia et al, 2006) 为试材, 利用外源乙烯和乙烯抑制剂 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 处理, 对其采后开花衰老进程中的开花指数、花径增大率、瓶插寿命、内源乙烯释放量及乙烯生物合成途径中关键酶 ACC 合成酶 (ACS) 和 ACC 氧化酶 (ACO) 活性变化进行了分析, 旨在从生理生化水平上揭示乙烯在牡丹切花采后开花衰老中的作用机理, 为其采后保鲜技术的开发提供理论依据, 并为深入研究牡丹切花乙烯反应的分子调控机制奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料处理

试验于 2005 年 4 月—2006 年 10 月在北京林业大学园林学院进行, ‘洛阳红’ 牡丹切花取自洛阳市花木公司洛阳国际牡丹园。傍晚采收花色、大小一致, 带 2~3 片复叶, 花枝长 30 cm, 开花指数为 1 级 (郭闻文 等, 2004) 的健壮花枝, 采后 12 h 内运回实验室立即置于蒸馏水中重新剪切, 得花枝长 20 cm, 保留 1 片复叶, 复水 1 h 后备用。

根据预试验中不同浓度外源乙烯 ( $1 \sim 10 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 和 1-MCP ( $0.5 \sim 2 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 处理对 ‘洛阳红’ 切花开放衰老的影响的研究结果 (数据略), 选择  $10 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  乙烯和  $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$  1-MCP 为本试验的处理浓度。

将花枝瓶插于盛有 200 mL 蒸馏水的容器中, 以 50 支为 1 组, 分成 3 组, 分别放于 100 L 的玻璃箱内。将其中一个玻璃箱密封, 用注射器向内注入乙烯, 使箱内乙烯终浓度达到  $10 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ ; 另一个箱内放置适量 1-MCP 粉末, 使加水溶解后释放的 1-MCP 气体浓度达到  $1.0 \mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ , 迅速密封; 以另一个密封玻璃箱内不注入任何气体作为对照。均在 20℃ 放置 6 h。处理期间为防止  $\text{CO}_2$  积累, 箱内放置  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度的 NaOH 溶液 100 mL。处理结束后将花枝取出, 从各处理中随机各取 7 支 (每支为 1 个重复), 用于观测开花指数、花径变化、瓶插寿命等形态指标; 再从余下的各处理花枝中, 每天定时按开放级别各取 4 支 (每支为 1 个重复), 分别测定切花的内源乙烯释放量, 然后按照每 3.0 g 花瓣为 1 包进行取样, 锡箔纸包好, 液氮速冻后保存于  $-80^\circ\text{C}$  超低温冰箱中备用于酶活测定。瓶插条件为室温  $20 \sim 23^\circ\text{C}$ , 相对湿度 50%~60%, 光照强度  $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 光照时间为 8:00—20:00。

### 1.2 形态指标的测定

瓶插期间各项形态指标数据结果均取 7 支花的平均值。每天同一时间进行观测。

花径增大率 (%): 每天定时用游标卡尺记录花朵最大直径 (简称花径), 按下列公式计算。

花径增大率 (%) = (第  $n$  天花径 - 处理前的花径) / 处理前的花径  $\times 100$ 。

开花指数: 根据花朵开放程度和生理状态记录开花指数 (郭闻文 等, 2004)。

瓶插寿命: 从切花瓶插之日起到花朵开始出现蓝变、萎蔫、脱落或外层花瓣明显卷缩的前 1 d 的瓶插天数。

### 1.3 乙烯释放量的测定

将切花瓶插于 4.75 L 的玻璃罐内, 常温密闭 2 h, 抽取 2 mL 气样, 采用气相色谱仪日本岛津 GC-9A 测定整个花枝的乙烯释放量, 每个样品重复测定 3 次。

测气条件: 柱温 70 (填充柱 GDX-102), 进样口 110, FD 检测器温度 160, 空气流量  $350 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{N}_2$  流量  $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $\text{H}_2$  流量  $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

### 1.4 ACS、ACO 酶活性测定

参照 Inaba 等 (1995)、Lizada 和 Yang (1979) 关于 ACS 和 ACO 活性的测定方法。相同测定重复 3 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 乙烯对切花采后开花及衰老进程的影响

从图 1 可以看出, 乙烯处理明显加速了花朵开放进程, 处理结束时平均开花指数已达 2.5 级, 花径增大率达 77.5%, 而此时对照和 1-MCP 处理的花枝平均开花指数分别为 1.6 和 1.2。随着瓶插天数的延长, 各处理花朵持续开放, 花径增大率稳定上升。乙烯处理的切花瓶插 3 d 时开放至 4 级, 切花进入最佳观赏期 (4~5 级); 1-MCP 处理则明显延缓了花朵的开放, 开花指数达到 4 级的时间与对照相比延迟了将近 2 d。

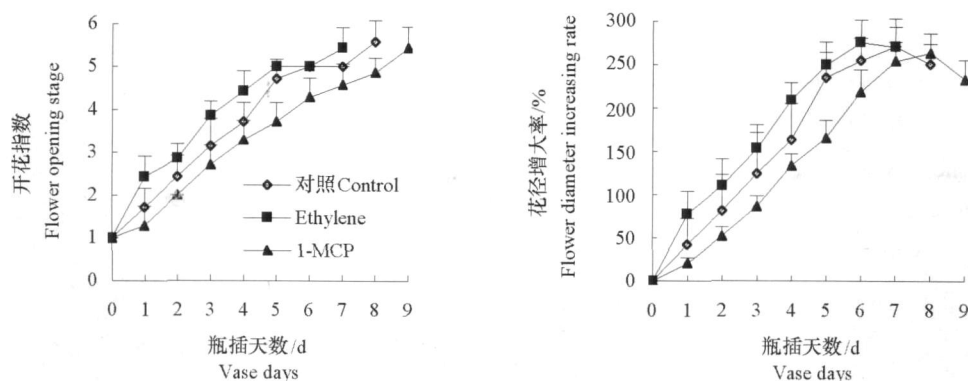


图 1 乙烯和 1-MCP 处理对切花瓶插过程中开花指数和花径增大率的影响

处理前记为 0 d, 处理后开始瓶插时记为 1 d。

Fig. 1 Effects of  $\text{C}_2\text{H}_4$  and 1-MCP treatments on flower opening index and flower diameter increasing rate during vase life

The day before treatment is recorded as 0 day; The day beginning vasing is recorded as the first vase day

对切花衰老特征进行观察发现, 在盛开后期 (5~6 级), 各处理花瓣出现了不同程度的蓝变、萎蔫以及脱落等衰老现象, 花径增大率开始下降。其中, 乙烯处理的切花在盛开后期表现明显的蓝变和萎蔫, 且部分花枝出现了迅速落瓣; 1-MCP 处理的切花蓝变、落瓣现象虽不明显, 但花瓣边缘萎蔫严重, 造成部分花枝不能充分开放, 最大开花指数只达到 4 级便失去观赏价值; 对照切花衰老时没有表现出较明显一致的特征, 介于乙烯和 1-MCP 处理之间。

另外, 从图 1 还可以看出, 整个瓶插过程中乙烯处理的切花花径增大率一直处于最大, 开放最为充分, 其次是对照, 1-MCP 处理则抑制了花朵的开展, 开放最不充分。

切花的瓶插寿命, 对照为 7.4 d, 乙烯处理为 6.5 d, 1-MCP 处理为 8.6 d, 相互差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

## 2.2 乙烯对‘洛阳红’内源乙烯释放量的影响

如图 2 所示, 随着花朵的开放, 对照切花的乙烯释放量在开花指数为 3 级时达到最高 ( $2.43 \text{ nL} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ , 为 2 级花枝释放量的 1.9 倍), 之后持续下降, 呈类似跃变型。乙烯处理促进了 1、2 级切花内源乙烯的释放, 与对照相比分别增长了 34% 和 43%, 这与乙烯促进了切花瓶插初期的开放进程相关。随后, 切花在 3 级时也形成了一个小的乙烯峰, 但其生成量与对照相却差并不大 ( $2.55 \text{ nL} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ )。

有趣的是, 乙烯处理的切花开放至 5 级时出现了乙烯释放量的剧烈上升, 而此时切花已完全盛开, 随后便出现了严重落瓣, 因此推测该乙烯的大量产生促进了花瓣的脱落, 是切花进入以落瓣为主要特征的衰老阶段的反映。

与对照相似, 1-MCP 处理的切花乙烯释放量也呈先上升后下降的趋势, 但在整个开放进程中都处于较低的水平, 仅为对照的 40%。该现象无疑与花朵开放进程缓慢, 甚至部分花朵无法盛开至 5 级, 以及明显萎蔫衰老的特征有关。

## 2.3 乙烯对 ACS 和 ACO 酶活性的影响

如图 3 所示, 对照切花的 ACS 活性变化与内源乙烯生释放的变化趋势 (图 2) 基本一致, 在开花指数为 3 级时, 伴随着乙烯峰的出现, ACS 活性也达到最高 ( $0.26 \text{ nmol} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1} \text{pro}$ )。乙烯处理促使 ACS 活性峰在切花开放至 2 级时提前出现, 但并未提高其活性值, 随后 ACS 活性出现急剧下降, 但在花朵盛开时再次上升至 2 级时的水平。结合乙烯释放量 (图 2) 进行分析, 推测乙烯处理未能促使乙烯峰值的提高是由于此时 ACS 活性降低而导致的 ACC 缺乏造成的。与 1-MCP 抑制了花朵乙烯释放量相联系, 1-MCP 处理显著抑制了整个开花进程中的 ACS 活性, 为对照的 60% 左右。

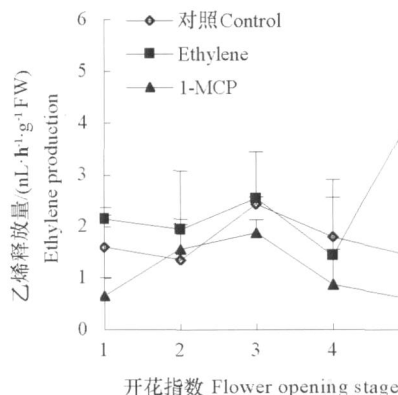


图 2 乙烯和 1-MCP 处理对牡丹切花瓶插过程中乙烯释放量的影响

Fig 2 Effects of  $\text{C}_2\text{H}_4$  and 1-MCP treatments on ethylene production during cut flower vase life

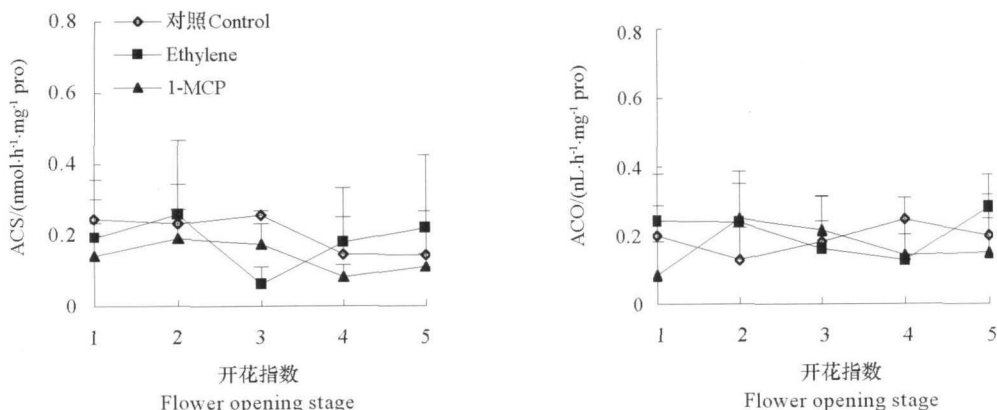


图 3 乙烯和 1-MCP 处理对牡丹切花瓶插过程中花瓣 ACS 和 ACO 活性的影响

Fig 3 Effects of  $\text{C}_2\text{H}_4$  and 1-MCP treatments on activities of ACC synthase and ACC oxidase during vasing in cut flower petals

对照切花中, ACO 的活性随着花朵的开放波动上升, 在 4 级时达到最高, 然后下降。乙烯处理后, 花朵开放初期的 ACO 活性有所提高, 但随后持续下降, 5 级时又出现迅速上升, 此时 ACS 活性

也处在较高水平(图3),从而促使乙烯释放量急剧上升(图2)。出乎意料的是,1-MCP处理虽然明显降低了1级切花及花朵开放后期(4~5级)的ACO活性,但ACO活性却在2、3级时均高于对照(图3)。推测该现象与‘洛阳红’中可能存在的乙烯负反馈调节有关。

### 3 讨论

切花的乙烯变化类型可归纳为跃变型、非跃变型和末期上升型3种(高俊平等,1997)。其中,跃变型切花通常对乙烯的反应更为敏感,乙烯不仅可以促进花朵的开放和衰老,而且还对其内源乙烯的生成起到调节作用,从而进一步影响切花的乙烯反应(蔡蕾等,2002)。本研究中,虽然外源乙烯和乙烯作用抑制剂1-MCP处理并未显著影响‘洛阳红’切花的衰老进程,但乙烯处理明显地促进了花朵的开放进程,缩短了瓶插寿命;1-MCP处理则抑制了花朵的开放进程,延长了瓶插寿命( $P < 0.01$ )。

本研究表明,牡丹切花内源乙烯的释放与花朵的开放衰老进程呈一定相关性。乙烯释放量的增加促进了花朵的开放,而1-MCP处理抑制了乙烯的生物合成,进而延缓了切花的整个开放进程。1-MCP处理的部分切花未达到最大开花指数便花瓣萎蔫失去观赏价值,这进一步证实了‘洛阳红’花朵开放进程与乙烯的生成密切相关,并由此推测牡丹切花的正常开放需要一定的内源乙烯生物合成作保障,这与前人在月季切花中的研究结果(Ma et al, 2006)相一致。目前发现,天竺葵(Jones et al, 2001)、六出花(Wagstaff et al, 2005)等乙烯敏感型植物的花朵(花瓣)脱落与内源乙烯的生成相关,并受外源乙烯处理的诱导。在本研究中,乙烯处理的切花在盛开后期内源乙烯生成量急剧上升,同时伴随花瓣的迅速脱落。推测高浓度的乙烯导致花瓣在没有萎蔫时即脱落可能与乙烯促进花瓣基部离层的形成有关,而1-MCP导致的萎蔫特征可能与其抑制离层的形成,但同时也抑制水分吸收从而导致花瓣水分严重失衡有关。

在典型的乙烯跃变型切花香石竹中,乙烯释放量的增加与ACS和ACO活性的增强(Woodson et al, 1992)有关。本研究中发现,处理后各级别切花花瓣中的ACS和ACO酶活性对乙烯和1-MCP处理的响应十分复杂,但各处理中乙烯释放量的变化与ACS活性的变化趋势较为一致。这说明在‘洛阳红’采后开放衰老进程中,ACS是影响其乙烯生成,进而影响切花开放和衰老的主要因子。这与目前公认的ACS是植物乙烯生物合成限速酶的研究结果(Kende, 1993)相符合。

由于遗传背景复杂,而且花朵本身花瓣大且多的特点,牡丹切花的采后衰老呈现出远比香石竹、月季等切花更为复杂的现象。因此,要探明乙烯在其采后衰老中的作用还需进行不断地摸索。在本研究基础上,本课题组正开展相关基因的克隆及转录水平上的表达分析等研究,旨在明确其采后衰老与乙烯、ACS、ACO酶活性及相关基因表达之间的关系,从而进一步在分子水平上阐明牡丹切花乙烯反应调节机制。

### References

- Borochov A, Woodson W R. 1989. Physiology and biochemistry of flower petal senescence. *Hortic Rev*, 11: 15 - 43.
- Cai Lei, Zhang Xiao-hong, Shen Hong-xiang, Gao Jun-ping. 2002. Effects of ethylene and its inhibitors on flower opening and senescence of cut roses. *Acta Horticulturae Sinica*, 29 (5): 467 - 472. (in Chinese)
- 蔡蕾, 张晓红, 沈红香, 高俊平. 2002. 乙烯对不同切花月季品种开花和衰老的影响. *园艺学报*, 29 (5): 467 - 472.
- Gao Jun-ping, Zhang Xiao-hong, Huang Mian-jia, Ye Xin-min, Sun Zi-ran. 1997. A preliminary study on change patterns of ethylene production during flower opening and senescence in cut roses. *Acta Horticulturae Sinica*, 24 (3): 274 - 278. (in Chinese)
- 高俊平, 张晓红, 黄绵佳, 叶新民, 孙自然. 1997. 月季切花和开花和衰老进程中乙烯变化类型初探. *园艺学报*, 24 (3): 274 - 278.
- Guo Wen-wen. 2004. The postharvest behavior and patterns of endogenous ethylene production of tree peony cut flowers [M. D. Dissertation].

- Beijing: Beijing Forestry University. (in Chinese)
- 郭闻文. 2004. 牡丹切花采后衰老特征及内源乙烯代谢初探 [硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Guo Wen-wen, Dong L, Wang Lian-ying, Chen Rui-xiu, Liu Ai-qing. 2004. The postharvest characteristics and water balance of some cultivars of tree-peony cut flowers. *Scientia Silvae Sinicae*, 40 (4): 89 - 93. (in Chinese)
- 郭闻文, 董 丽, 王莲英, 陈瑞修, 刘爱青. 2004. 几个牡丹切花品种的采后衰老特征与水分平衡研究. *林业科学*, 40 (4): 89 - 93.
- Inaba A, Manabe T, Tsuji H, Iwanoto T. 1995. Electrical impedance analysis of tissue properties associated with ethylene induction by electrical currents in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *Plant Physiol*, 107: 199 - 205.
- Jia P Y, Zhou L, Guo W W, Wang L Y, Dong L. 2006. Postharvest behavior and endogenous ethylene pattern of *Paeonia suffruticosa* cut flowers. *Acta Horticulturae*, 768: 445 - 450.
- Jones M, Kim Eun-Sun, Newman S E. 2001. Role of ethylene and 1-MCP in flower development and petal abscission in *Zonal geraniums*. *Hort Science*, 36 (7): 1305 - 1309.
- Kende H. 1993. Ethylene biosynthesis. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 44: 283 - 307.
- Lizada M C, Yang S F. 1979. A simple and sensitive assay for L-aminocyclopropane-L-carboxylic acid. *Anal Biochem*, 100: 140 - 145.
- Ma N, Cai L, Lu W J, Tan H, Gao J P. 2005. Exogenous ethylene influences flower opening of cut roses (*Rosa hybrida*) by regulating the genes encoding ethylene biosynthesis enzymes. *Science in China Ser C Life Sciences*, 48 (5): 434 - 444.
- Ma N, Tan H, Liu X H, Xue J Q, Li Y H, Gao J P. 2006. Transcriptional regulation of ethylene receptor and CTR genes involved in ethylene-induced flower opening in cut rose (*Rosa hybrida*) cv. Samantha. *J Exp Bot*, 7 (11): 2763 - 2773.
- Shi Guo-an, Guo Xiang-feng, Han Jian-guo, Sun Xian-ming, Yang Zheng-shen. 1999. A study on ethylene production and lipid peroxidation in florescence and flower senescence of *Paeonia suffruticosa*. *Acta Univ Agric Boreali-Occidentalis*, 27 (5): 50 - 53. (in Chinese)
- 史国安, 郭香凤, 韩建国, 孙鲜明, 杨正申. 1999. 牡丹开花和衰老期间乙烯及脂质过氧化物的研究. *西北农业大学学报*, 27 (5): 50 - 53.
- Shi Guo-an, Yang Zheng-shen, Wang Chang-zhong, Jin Zhi-wei, Han Xiang-yang. 1997. Effects of temperature and chemical medicament on ethylene production and storage quality of tree peony cut flowers. *Northern Horticulture*, (6): 62 - 63. (in Chinese)
- 史国安, 杨正申, 王长忠, 金志伟, 韩向阳. 1997. 温度和化学药剂对牡丹切花乙烯释放及贮藏品质影响. *北方园艺*, (6): 62 - 63.
- Wagstaff C, Chanasut U, Harren F J M, Laarhoven L J, Thomas B, Rogers H J, Stead A D. 2005. Ethylene and flower longevity in *Astroemeria*: Relationship between tepal senescence, abscission, and ethylene biosynthesis. *J Exp Bot*, 56: 1007 - 1016.
- Wang Rong-hua, Liu Ya-li, Li Jia-rui. 2005. Studies on the blossom physiology in the different development stage of peony and Chinese peony flower. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (5): 861 - 865. (in Chinese)
- 王荣花, 刘雅莉, 李嘉瑞. 2005. 不同发育阶段牡丹和芍药切花开花生理特性的研究. *园艺学报*, 32 (5): 861 - 865.
- Woodson W R, Park K Y, Drory A, Larsen P B, Wang H. 1992. Expression of ethylene biosynthetic pathway transcripts in senescence carnation flowers. *Plant Physiol*, 99: 526 - 532.
- Zhai Jin-sheng, Guo Weiming, Zhou Kai, Zheng Quan. 2005. Studies and application of 1-MCP on delaying ornamental crops senescence. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (5): 165 - 170. (in Chinese)
- 翟晋升, 郭维明, 周 凯, 郑 泉. 2005. 1-MCP延缓观赏植物衰老的研究与应用. *园艺学报*, 32 (5): 165 - 170.
- Zhang Chang-qing, Tang Xue-mei, Gao Jun-ping, Zhang Hao, Xiong Li. 2002. Physiological bases of difference related to water deficit tolerance of cut rose cv. Samantha and Gabriella. *Acta Horticulturae Sinica*, 29 (6): 556 - 560. (in Chinese)
- 张常青, 唐雪梅, 高俊平, 张 颢, 熊 丽. 2002. 切花月季 '萨曼莎' 和 '加布里拉' 失水胁迫耐性的差异. *园艺学报*, 29 (6): 556 - 560.
- Zhou L, Jia P Y, Guo W W, Wang L Y, Dong L. 2006. Influence of ethylene on postharvest behavior of 'Luo Yang Hong' tree peony cut flower. *International Society for Horticultural Science. International symposium on endogenous and exogenous plant bioregulators*. Seoul, Korea: 300.