

## 外源钙对唐菖蒲切花的保鲜效果和生理效应

白吉刚<sup>1,2</sup>, 许培磊<sup>1</sup>, 宗成顺<sup>3</sup>, 王彩云<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>山东农业大学生命科学学院/作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; <sup>2</sup>华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070;

<sup>3</sup>山东烟台莱州市农业局, 山东烟台 261400)

**摘要:**【目的】探讨乙酸钙对唐菖蒲切花的保鲜效果和生理效应, 为乙酸钙在唐菖蒲切花保鲜上的应用提供理论依据。【方法】以唐菖蒲红色品种‘马加烈’切花为材料, 瓶插在含有乙酸钙或钙离子专一性螯合剂乙二醇二乙醚二胺四乙酸(EGTA)的溶液中, 分析乙酸钙对切花观赏品质的影响以及第1和第3朵小花内钙调素(CaM)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA)、玉米素(ZRs)、Ca<sup>2+</sup>、丙二醛(MDA)和可溶性糖含量的变化。【结果】乙酸钙处理后唐菖蒲切花的小花开放率显著高于对照, 2 mmol·L<sup>-1</sup>乙酸钙处理的切花日观赏值、瓶插寿命以及平均观赏值均高于其它钙浓度处理和对照, 所以2 mmol·L<sup>-1</sup>的乙酸钙对唐菖蒲切花有最佳的保鲜效果。和对照相比, 乙酸钙(2 mmol·L<sup>-1</sup>)使唐菖蒲花瓣和苞叶的CaM和内源激素GA含量以及GA/ABA、ZRs/ABA升高, 使内源激素ABA含量降低, 并且减弱EGTA(20 mmol·L<sup>-1</sup>)对这些指标的影响。乙酸钙(2 mmol·L<sup>-1</sup>)还提高唐菖蒲花瓣和苞叶的Ca<sup>2+</sup>含量, 降低这两部位的MDA含量, 使可溶性糖含量在花瓣中高于对照, 在苞叶中低于对照。【结论】用乙酸钙溶液瓶插切花时, 不仅可以降低切花的MDA含量, 稳定膜结构, 而且可能激活CaM, 调节花瓣和苞叶中的内源激素水平, 调运切花中苞叶等处的可溶性糖到花瓣中, 促使小花开放, 并延长切花寿命。

**关键词:** 唐菖蒲切花; 钙; 保鲜; 钙调素; 激素

## Effects of Exogenous Calcium on Vase Life and Some Physiological Characteristics of Cut Gladiolus

BAI Ji-gang<sup>1,2</sup>, XU Pei-lei<sup>1</sup>, ZONG Cheng-shun<sup>3</sup>, WANG Cai-yun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Life Sciences, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology, Tai'an 271018, Shandong;

<sup>2</sup> College of Horticulture and Forestry, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; <sup>3</sup> Laizhou Agricultural Bureau, Yantai 261400, Shandong)

**Abstract:** 【Objective】In order to apply calcium to the fresh-keeping cut gladiolus, the vase life and some physiological characteristics were studied in this paper. 【Method】Cut flowers of *Gladiolus hybridus* cv. Mascagni were held into a solution containing calcium, ethylene glycol bis-amino tetraacetate (EGTA) and water (control), respectively. The effects of calcium were studied by measuring the ornamental quality of cut flowers and the physiological characteristics such as calmodulin (CaM), abscisic acid (ABA), gibberellins (GA), zeatin (ZRs), endogenous calcium, malondialdehyde (MDA) and soluble sugar in florets. 【Result】In solution of 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate, the opening rate of cut gladiolus was higher than that in control, and the vase life and ornamental value of flowers were better than those in control and other treatments of calcium acetate, therefore, 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate had the best effect on the fresh-keeping cut gladiolus. In petals and bracts of cut gladiolus, the contents of CaM and GA and the ratios of GA/ABA and ZRs/ABA were higher in treatment of 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate than those in control, while the contents of ABA and MDA were lower. Compared with control, 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate increased the Ca<sup>2+</sup> contents, decreased the MDA contents, and alleviated the effects of EGTA on CaM, GA, GA/ABA and ZRs/ABA, and it also resulted in the higher soluble sugar

收稿日期: 2008-02-09; 接受日期: 2008-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671716)和湖北省自然科学基金项目(2007ABA005)

作者简介: 白吉刚(1973-), 男, 山东平阴人, 副教授, 博士, 研究方向为园艺植物生理与基因工程。Tel: 0538-8242656-8447; E-mail: baijg@sdau.edu.cn。通讯作者王彩云(1962-), 女, 湖北仙桃人, 教授, 博士, 研究方向为花卉栽培与生理以及种质资源利用。E-mail: mumtiger001@yahoo.com.cn

content in petals, but lower in bracts.【Conclusion】Solution of  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  calcium acetate not only stabilized the membrane structure of cut gladiolus, but also activated CaM, and controled the endogenous hormone levels, and thereby transported soluble sugar into petals and increased the vase life of the flower.

Key words: Cut gladiolus; Calcium; Fresh-keeping; Calmodulin; Hormone

## 0 引言

【研究意义】切花在相同条件下比留在母株上衰老更快<sup>[1]</sup>, 因此研究切花的采后生理、延长切花的保鲜寿命成为人们关注的重要问题。唐菖蒲 (*Gladiolus hybridus* Hort.) 属鸢尾科, 是四大切花之一。研究钙对唐菖蒲切花的保鲜效果和生理效应, 可为  $\text{Ca}^{2+}$  在唐菖蒲切花保鲜上的应用提供部分理论依据。【前人研究进展】 $\text{Ca}^{2+}$  影响唐菖蒲切花的丙二醛 (MDA) 和叶绿素<sup>[2]</sup>, 改善其水分平衡<sup>[3]</sup>, 所以对唐菖蒲切花有延缓衰老的保鲜作用。 $\text{Ca}^{2+}$  与钙调素 (CaM) 可作为第二信使<sup>[4-6]</sup>, 与植物激素调节<sup>[7-9]</sup> 和植物的开花及衰老<sup>[10]</sup> 有密切关系, 因此, 汤福强等<sup>[11]</sup> 研究了麝香石竹切花的钙信使系统, 发现  $\text{Ca}^{2+}$  与 CaM 参与乙烯反应。【本研究切入点】麝香石竹是典型的对乙烯敏感的切花<sup>[12]</sup>, 唐菖蒲对乙烯不敏感<sup>[13-15]</sup>。对于  $\text{Ca}^{2+}$  在唐菖蒲等非乙烯敏感型切花中的保鲜效果是否与 CaM 和激素有关尚未见报道。【拟解决的关键问题】以  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Ca}^{2+}$  专一性螯合剂乙二醇二乙醚二胺四乙酸 (EGTA) 等溶液瓶插唐菖蒲切花, 通过分析切花体内的 CaM 以及脱落酸 (ABA)、赤霉素 (GA) 和玉米素 (ZR) 等乙烯之外的与衰老有关的激素指标来探讨  $\text{Ca}^{2+}$  的生理效应和可能的保鲜机理。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

供试材料为唐菖蒲红色品种‘马加烈’ (*Gladiolus hybridus* cv. Mascagni), 由湖北省武汉市李家桥乡新路村花圃分别在 5 月份和 10 月份提供。选取植株健壮、花序挺直、小花数基本相等的单株切取花材, 采收时第 1 朵小花刚露色。

### 1.2 试验处理

将田间所采的切花迅速带回实验室, 去除叶片, 于水中再剪切茎基部后, 瓶插于含有乙酸钙或  $\text{Ca}^{2+}$  螯合剂 EGTA 的溶液中。为研究钙对唐菖蒲切花的保鲜作用, 以蒸馏水为对照, 在 5 月份设置了不同浓度 (0.5、1、2 和  $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的乙酸钙处理。为探讨钙对唐菖蒲切花的生理效应, 在 5 月份和 10 月份均设置以下 5

个处理: A, 蒸馏水 (对照); B,  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙; C,  $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA; D,  $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 处理 12 h 后转移到  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙溶液; E,  $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 处理 12 h 后转移到蒸馏水。每处理切花 30 支, 每支切花花茎长约 40 cm, 小花数 10~13 朵。花茎基部浸入溶液深度为 5 cm, 每隔 24 h 更换 1 次溶液, 每支切花插于一只容器中, 瓶插容器为大小基本一致的透明玻璃器皿。实验室光照 16 h, 光照强度 60~90 lx, 温度 ( $20\pm 1$ )  $^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 ( $80\pm 10$ ) %。

取样前观测外观指标, 根据外观指标的平均值选取 4~6 支具有代表性的切花, 将小花 1 或 3 的花瓣或苞叶混合, 一部分花瓣或苞叶用液氮固定后置  $-80^{\circ}\text{C}$ , 另一部分高温杀青后烘干。测定理化指标前将 5 月份和 10 月份的样品混合。

### 1.3 外观指标观测

参照姜微波等<sup>[16]</sup>的方法, 以切花日观赏值、小花开放率、平均观赏值等指标进行观赏品质评价。即小花花瓣 (露出部分) 与苞叶长度相等时观赏值为 1, 小花半开时为 2, 盛开时为 3, 盛开后花瓣边缘开始萎蔫时仍记 1。按日期分别将各花序上的小花观赏值累加, 得切花日观赏值。切花日观赏值小于 6 时, 瓶插寿命终止。统计花序上雄蕊发育完整的小花数, 将切花在观测期内的日观赏值累加除以该花序上开放小花数即为平均观赏值。开放小花数除以花序上的小花总数为小花开放率。

### 1.4 CaM 的测定

参照赵昇皓等<sup>[17]</sup>的方法在酶联免疫检测仪 (国营华东电子管厂, DG-3022A 型) 上进行, 测定波长为 490 nm。试验中所需标准 CaM、一抗、二抗等药剂均由河北师范大学生物系提供。

### 1.5 GA1/3、ABA 和 ZRs 的测定

分别参照 GA1/3、ABA 和 ZRs ELISA 试剂盒说明书 (南京农业大学) 在酶联免疫检测仪上测定, 试剂盒中药品由南京农业大学提供。

### 1.6 $\text{Ca}^{2+}$ 的测定

准确称取烘干样品  $0.1000\sim 0.2500 \text{ g}$ , 加 10 ml HCl ( $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 浸泡<sup>[18]</sup>24 h 后, 振荡 2 h, 经离心后, 取上清液用 AA650 型原子吸收火焰分光光度计进行

测定，波长为 422.7 nm。

### 1.7 丙二醛的测定

参考许长成等<sup>[19]</sup>的方法进行。

### 1.8 可溶性糖的测定

采用蒽酮法<sup>[20]</sup>进行，稍作改良。取烘干样品 0.05 g 于 10 ml 试管中，加 4 ml 蒸馏水，在 80℃ 水浴中提取 30 min，离心取上清液。对残渣再加入 3 ml 蒸馏水，重复提取 2 次。将 3 次收集的上清液混合、定容后，加饱和醋酸铅沉淀提取液中的蛋白质，再加碘酸钾除去多余的醋酸铅。

### 1.9 统计分析

测定指标时每处理重复 3~5 次，选取离均差较小的 3 个数据计算平均值和标准误。各处理的切花观赏品质采用 SSR 法分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 钙对唐菖蒲切花的保鲜效果

根据小花开放率和平均观赏值指标（表），不同浓度的乙酸钙处理具有不同的瓶插效果。经 SSR 法检验，乙酸钙处理后小花开放率显著高于对照 ( $\alpha=0.05$ )，2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙的平均观赏值高于其它乙酸钙浓度处理和对照 ( $\alpha=0.05$ )。

图 1 显示，乙酸钙处理后切花日观赏值与瓶插天数均高于对照。在瓶插初期（1~2 d）各处理间日观

赏值基本相近，3~4 d 后出现不同程度的差别，其中以 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙的日观赏值最高，且瓶插寿命最长。从日观赏值、小花开放率、平均观赏值综合分析得出：2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙对唐菖蒲切花有最佳的保鲜效果。

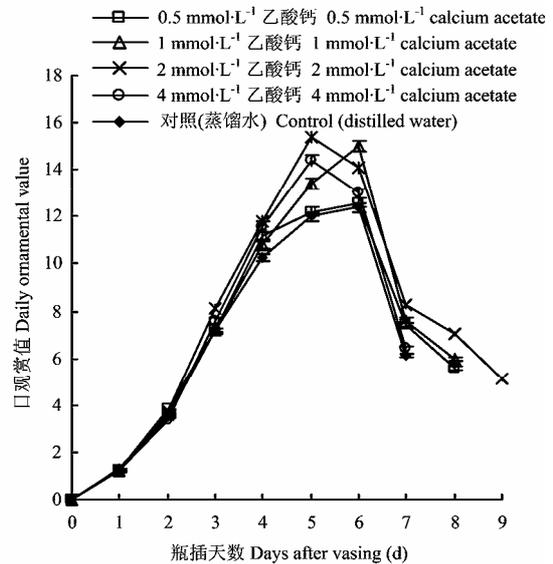


图 1 不同浓度的钙处理对唐菖蒲切花日观赏值的影响

Fig. 1 Effect of Ca<sup>2+</sup> on daily ornamental value of cut gladiolus

表 不同浓度钙处理对唐菖蒲切花观赏品质的影响

Table Effect of Ca<sup>2+</sup> on ornamental quality of cut gladiolus

处理 Treatments	小花开放率 Opening rate (%)	平均观赏值 Average ornamental value
0.5 mmol·L <sup>-1</sup> 乙酸钙 0.5 mmol·L <sup>-1</sup> calcium acetate	75.60±1.13 d	7.94±0.12 c
1 mmol·L <sup>-1</sup> 乙酸钙 1 mmol·L <sup>-1</sup> calcium acetate	81.70±1.23 ac	8.40±0.13 b
2 mmol·L <sup>-1</sup> 乙酸钙 2 mmol·L <sup>-1</sup> calcium acetate	84.10±1.27 a	8.95±0.14 a
4 mmol·L <sup>-1</sup> 乙酸钙 4 mmol·L <sup>-1</sup> calcium acetate	79.50±1.19 bc	8.23±0.12 bc
对照(蒸馏水) Control (distilled water)	66.20±0.99 e	7.55±0.11 d

表中数据采用平均值±标准误表示，并用 SSR 法分析。不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著

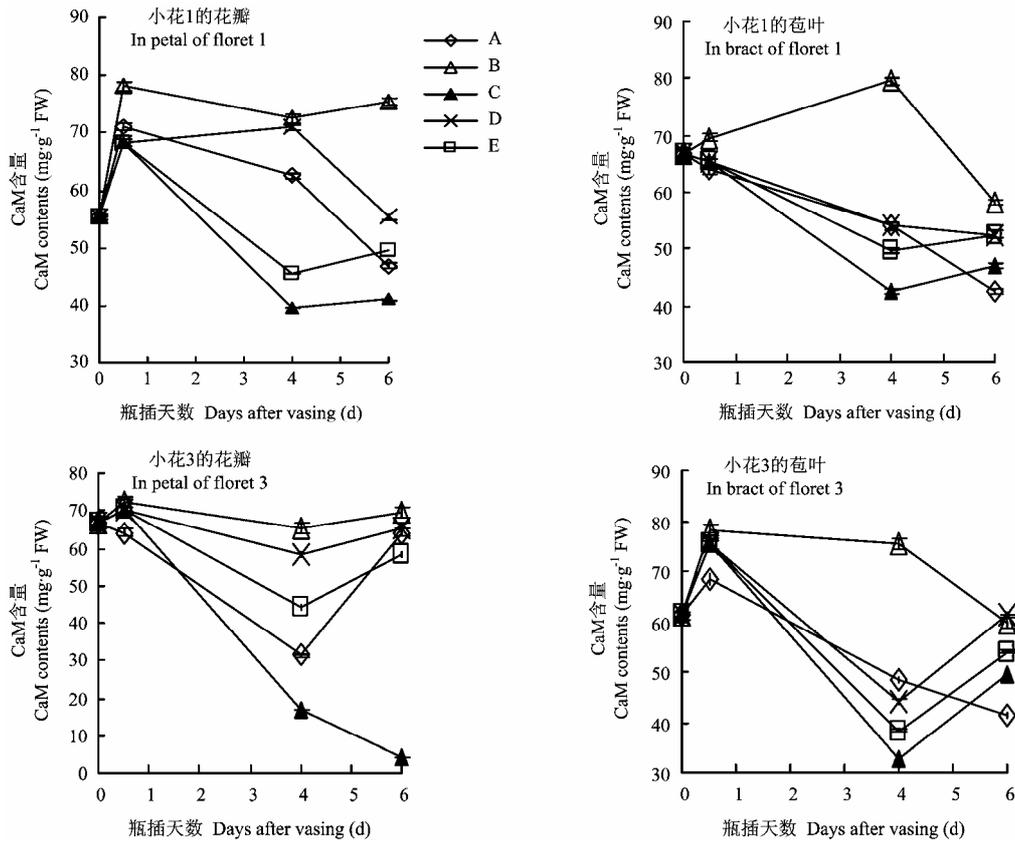
Data were expressed as means ± standard errors. Differences were analyzed with SSR test. Different letters were significantly different ( $P<0.05$ )

### 2.2 钙对唐菖蒲切花中 CaM 含量的影响

如图 2 所示，无论是第 1 朵小花还是第 3 朵小花的花瓣或苞叶中，用 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙（B 处理）处理后，CaM 含量均高于对照（A 处理）。与对照和 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙相比，20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA（C 处理）处理的 CaM 含量较低。20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入蒸馏水时（E 处理），CaM 含量高于 C 处理，但

低于 D 处理（20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙），说明 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙及蒸馏水对 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 产生的降低切花中 CaM 含量的影响均有恢复作用，但 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙的恢复程度大于蒸馏水。所以，钙处理使唐菖蒲切花的 CaM 含量升高。

### 2.3 钙对唐菖蒲切花中 ABA 含量的影响



A: 对照(蒸馏水); B: 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙; C: 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA; D: 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转移到 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙; E: 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转移到蒸馏水中。下同

A: Control (distilled water); B: 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate; C: 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA; D: Treated with 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA for 12 h and then put into 2 mmol·L<sup>-1</sup> calcium acetate; E: Treated with 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA for 12 h and then put into distilled water. The same as below

图 2 不同处理对唐菖蒲切花中 CaM 含量的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on CaM contents of cut gladiolus

比较 5 个处理下切花中的 ABA 含量(图 3), 发现 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙 (B 处理) 处理后, 唐菖蒲花瓣和苞叶中的 ABA 含量均低于对照 (A 处理)。20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA (C) 处理切花后, 内源 ABA 含量升高, 特别是花瓣中较为明显。D 处理 (20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙) 的内源 ABA 含量低于 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 和 E 处理 (20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入蒸馏水), 说明 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙减弱 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 产生的使内源 ABA 含量增加的影响。因此, 钙处理降低唐菖蒲切花的 ABA 含量。

#### 2.4 钙对唐菖蒲切花中 GA 及 GA/ABA 的影响

比较 5 个处理下小花 1 和 3 的 GA 含量和 GA/ABA (图 4, 5), 可见 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙 (B 处理) 使唐菖蒲切花体内的 GA 含量或 GA/ABA 高于对照 (A 处

理), 特别是在苞叶中较为明显。20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA (C 处理) 处理切花后, 其 GA 含量先高于对照和 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙处理, 而后降低; GA/ABA 则低于对照, 也低于 D 处理 (20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙) 和 E 处理 (20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 处理 12 h 后转入蒸馏水)。D 处理的 GA 含量和 GA/ABA 高于 E 处理的, 说明 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙减弱 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA 产生的使内源 GA 含量和 GA/ABA 降低的影响。因此, 钙处理增加唐菖蒲切花的 GA 含量和 GA/ABA。

#### 2.5 钙对唐菖蒲切花中 ZRs/ABA 的影响

图 6 显示, 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙 (B 处理) 使切花体内的 ZRs/ABA 高于对照 (A 处理)。用 20 mmol·L<sup>-1</sup> EGTA (C 处理) 处理唐菖蒲切花时, 切花体内的 ZRs/ABA 比对照和 2 mmol·L<sup>-1</sup> 乙酸钙处理低。E

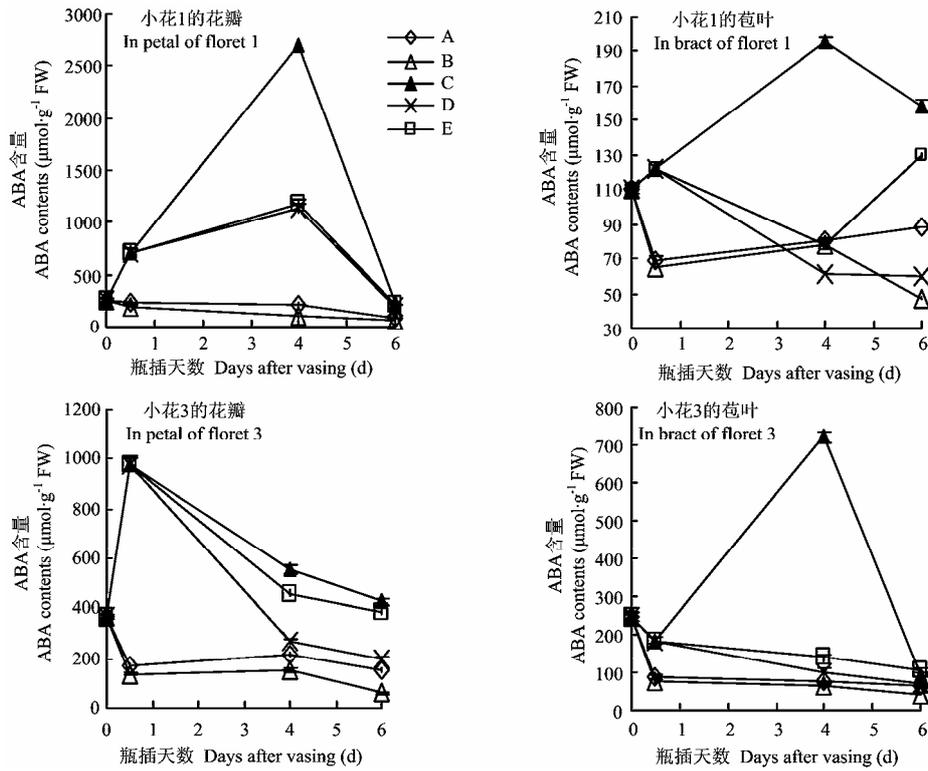


图3 不同处理对唐菖蒲切花中 ABA 含量的影响  
Fig. 3 Effects of different treatments on ABA contents of cut gladiolus

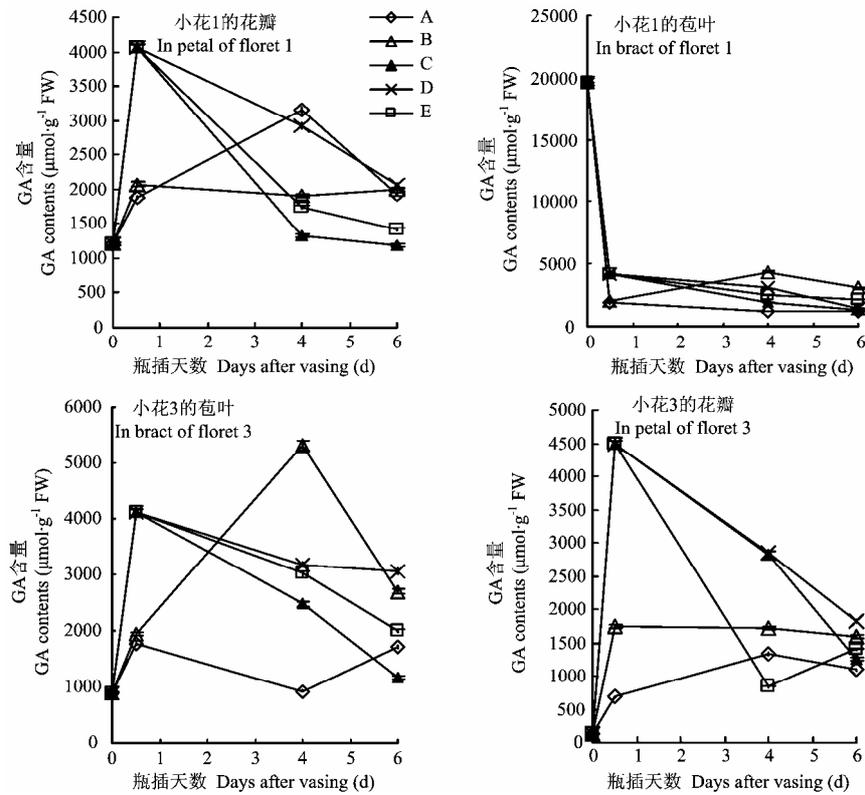


图4 不同处理对唐菖蒲切花中 GA 含量的影响  
Fig. 4 Effects of different treatments on GA contents of cut gladiolus

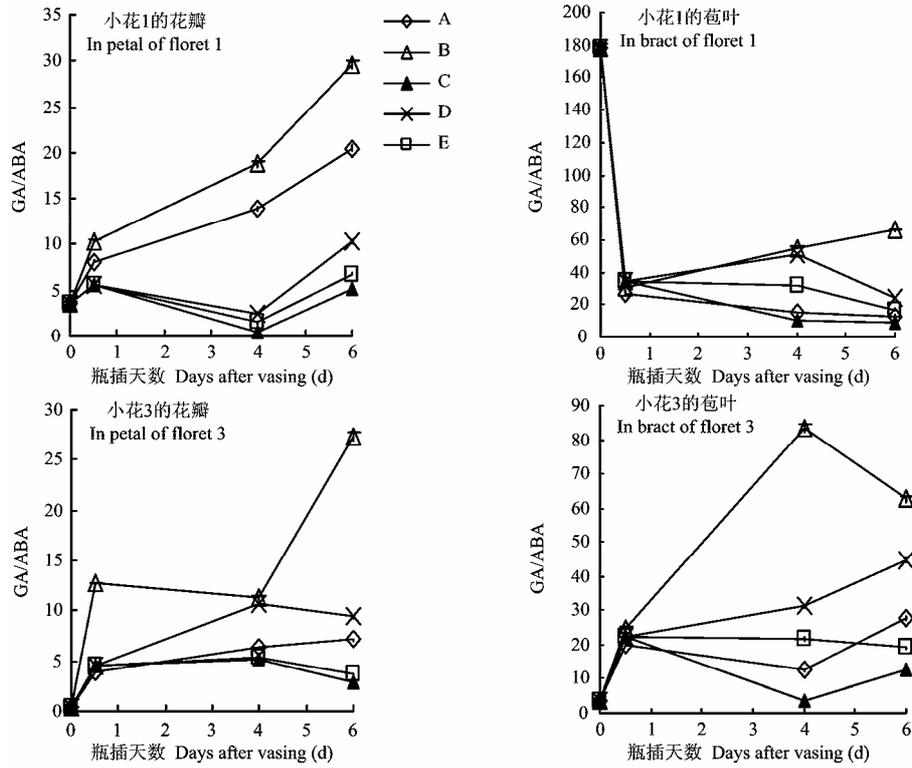


图 5 不同处理对唐菖蒲切花中 GA/ABA 的影响  
Fig. 5 Effects of different treatments on GA/ABA of cut gladiolus

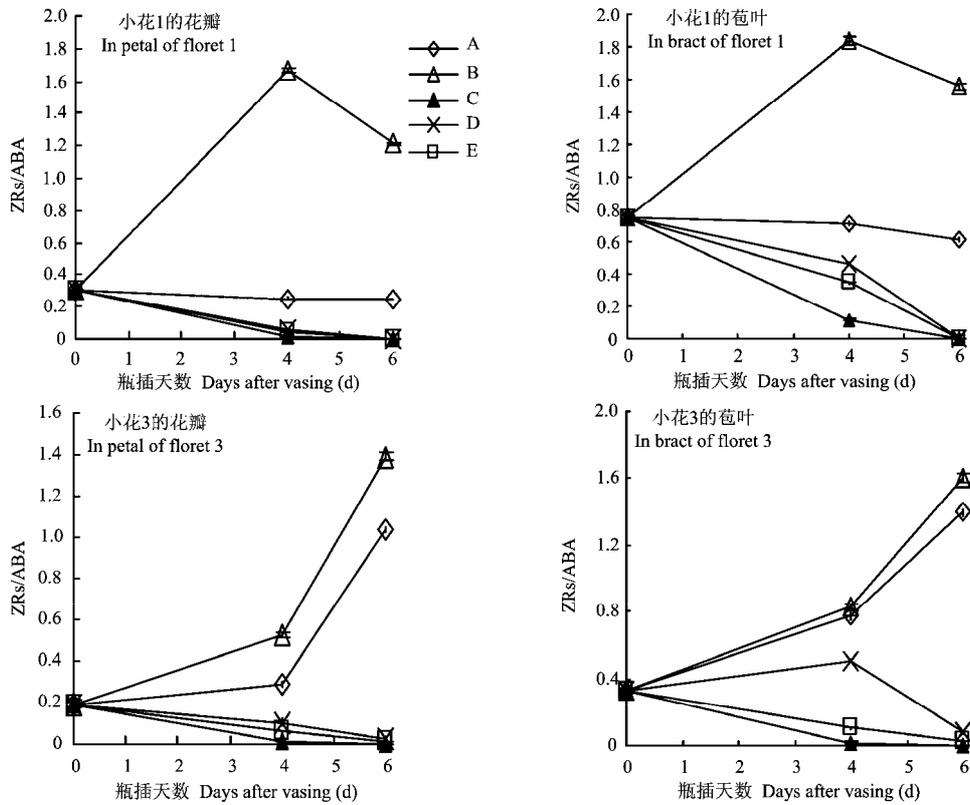


图 6 不同处理对唐菖蒲切花中 ZRs/ABA 的影响  
Fig. 6 Effects of different treatments on ZRs/ABA of cut gladiolus

处理 ( $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 处理 12 h 后转入蒸馏水) 的 ZRs/ABA 高于  $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 处理, 但低于 D 处理 ( $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 处理 12 h 后转入  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙)。表明  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙和蒸馏水均对  $20 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  EGTA 产生的降低切花中 ZRs/ABA 的影响有恢复作用, 但  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙的恢复程度大于蒸馏水。所以, 钙处理增加切花体内的 ZRs/ABA。

**2.6 钙对唐菖蒲切花  $\text{Ca}^{2+}$ 、MDA 及可溶性糖含量的影响**  
如图 7 所示,  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙 (B 处理) 使切

花体内的钙含量高于对照 (A 处理)。根据外观观测, B 处理未使切花细胞因钙含量过高而受到毒害。A 和 B 两处理下, 小花 1 的花瓣中  $\text{Ca}^{2+}$  含量在瓶插后前 3 d 变化不大, 3 d 之后开始升高; 小花 3 的花瓣中则在前 5 d 变化平稳, 这和切花的外观现象大体一致, 即小花 1 在第 2~4 天处于盛花期, 小花 3 则在第 6 天左右开始衰老; 当然,  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙 (B 处理) 使花瓣迟于对照衰老, 盛花期略长一些。瓶插后期, 花瓣中的  $\text{Ca}^{2+}$  升高, 可能是胞内的贮存钙释放的原因。

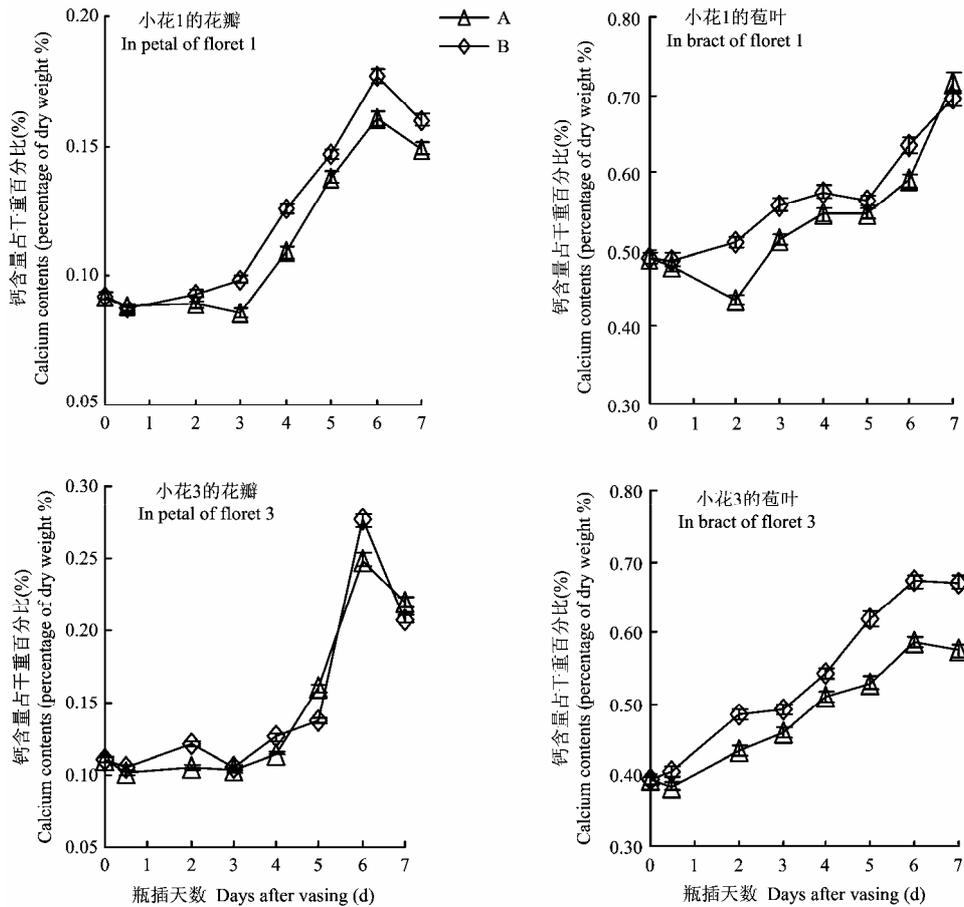


图 7 不同处理对唐菖蒲切花中  $\text{Ca}^{2+}$  含量的影响

Fig. 7 Effects of different treatments on  $\text{Ca}^{2+}$  contents of cut gladiolus

如图 8 所示,  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙 (B 处理) 处理的切花花瓣和苞叶中 MDA 含量低于对照 (A 处理)。A 和 B 两处理下, 切花中的 MDA 含量先下降后剧烈升高。这可能由于切花离开母体后, 水分和营养供应被切断, 切花受到胁迫, 因而体内积累了一定的 MDA, 瓶插后胁迫得到一定程度的缓解, 故 MDA 含量降低, 以后随着切花的衰老 MDA 又逐渐上升。小花 1 的花

瓣中, 对照在第 4 天、 $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙处理的在第 5 天使 MDA 含量开始上升; 小花 3 的花瓣中两处理的 MDA 在第 5 天上升, 这和切花的外观现象基本一致。苞叶中, 对照的 MDA 含量波动较大;  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  乙酸钙处理的苞叶则不然, 小花 1 中 MDA 在第 3 天开始上升, 小花 3 中在第 4 天急剧上升。

如图 9 所示, 和对照 (A 处理) 相比,  $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$

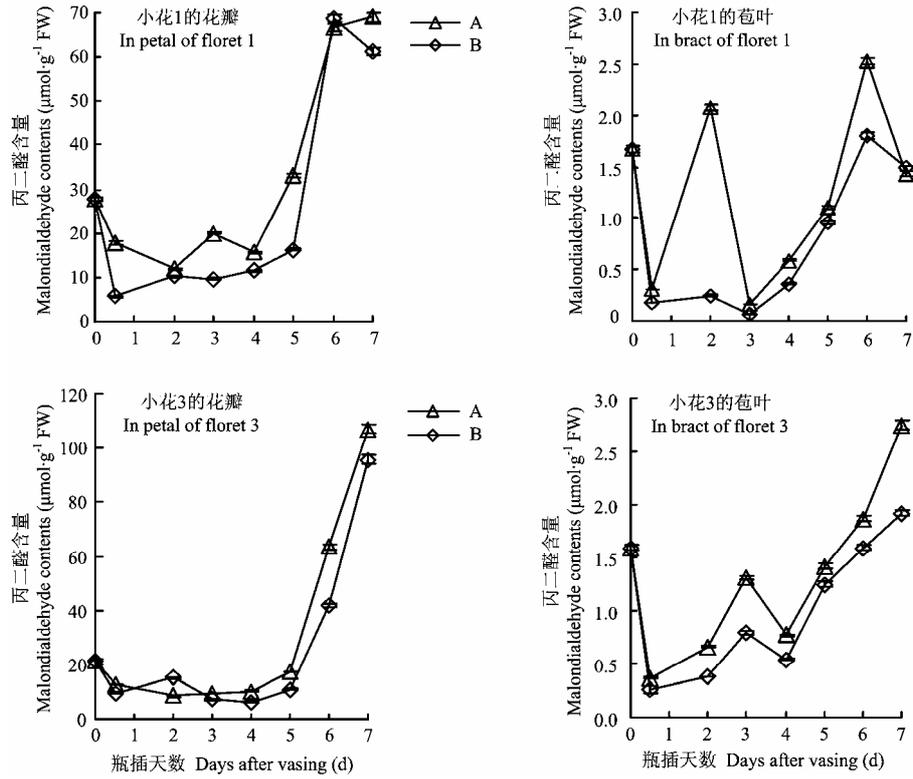


图 8 不同处理对唐菖蒲切花中丙二醛含量的影响  
Fig. 8 Effects of different treatments on MDA contents of cut gladiolus

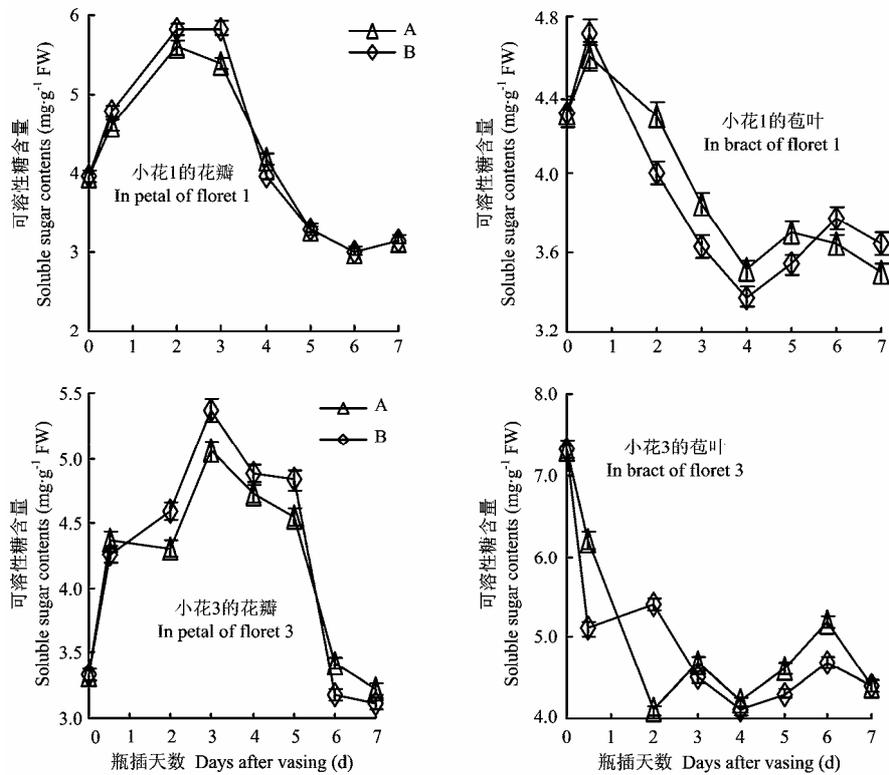


图 9 不同处理对唐菖蒲切花中可溶性糖含量的影响  
Fig. 9 Effects of different treatments on contents of soluble sugar of cut gladiolus

乙酸钙(B处理)处理的花瓣中含有较高的可溶性糖,这可能是 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙延缓花瓣衰老的原因之一。从变化趋势上看,两处理下花瓣中的可溶性糖先升高后降低,这与姜微波等<sup>[16]</sup>的研究结果一致,即唐菖蒲小花的可溶性糖含量以盛开小花最高,露瓣小花次之,再次为衰老小花,绿蕾小花可溶性糖含量最低。在小花1的花瓣中, $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙处理下的可溶性糖最高值迟于对照出现,表明 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙可略微延迟小花1的盛开。小花3的花瓣中, $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙和对照的可溶性糖的最高值大致同时出现,可能是小花1的开放需从周围组织吸收糖分,因而对小花3产生影响, $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙未能使小花3迟于对照开放。 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙和对照处理下苞叶的可溶性糖含量均随时间的推移而下降,似乎表明苞叶和花瓣在可溶性糖方面存在着对应关系。苞叶中, $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙的可溶性糖含量低于对照,可能由于 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙使苞叶中的可溶性糖大量运向了花瓣,而且输出量高于对照。

### 3 讨论

根据表、图1以及前人<sup>[2,3]</sup>的研究结果,钙对唐菖蒲切花具有保鲜作用。钙处理后,唐菖蒲花枝的叶片<sup>[2]</sup>以及低温胁迫下辣椒幼苗的叶片<sup>[21]</sup>中MDA含量降低。本试验将唐菖蒲切花插在 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙中,花瓣和苞叶的MDA含量低于对照,可能由于 $\text{Ca}^{2+}$ 结合到膜上的磷脂头部,起到稳定生物膜的作用<sup>[22]</sup>。

外源2,4-D和6-BA等激素与向日葵下胚轴愈伤组织中的CaM含量有关联性<sup>[9]</sup>。在乙烯敏感型花卉麝香石竹中, $\text{Ca}^{2+}$ 促进花瓣乙烯的释放,CaM含量的变化和ACC合成酶活性的变化趋势一致<sup>[11]</sup>,所以 $\text{Ca}^{2+}$ 和CaM参与乙烯反应<sup>[23]</sup>。关于钙对唐菖蒲等非乙烯敏感型切花的生理效应,前人尚未从CaM和激素角度进行研究。董彩霞等<sup>[24]</sup>利用含有不同浓度钙的营养液培养番茄,发现根系的CaM含量随着钙浓度的增加而增加。本试验中, $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙使唐菖蒲小花和苞叶的CaM均高于对照,与董彩霞等的结果一致。小麦的分蘖衰老与ABA、ZR<sub>s</sub>有关<sup>[25]</sup>,GA对衰老也有一定的抑制作用<sup>[26]</sup>;另外,植物的生长发育不仅与激素的总量有关,还与GA/ABA、ZR<sub>s</sub>/ABA等激素的比值有关<sup>[27-29]</sup>,所以笔者测定分析了唐菖蒲切花的ABA、GA、GA/ABA和ZR<sub>s</sub>/ABA以便探讨钙的保鲜效应。李青云等<sup>[29]</sup>发现,钙处理使盐胁迫下的草莓中内源ABA的含量降低,使GA含量和ZR<sub>s</sub>/ABA增加。本

试验将唐菖蒲切花插在 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙后,小花花瓣和苞叶中的ABA含量也降低,GA含量和ZR<sub>s</sub>/ABA也与李青云等<sup>[29]</sup>的结果一致。 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙处理下,苞叶中的GA/ABA明显高于花瓣中的,ABA含量则低于花瓣,这似乎表明 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙使苞叶比花瓣更能保持一定的生命力,苞叶或者可能利用室内散射光制造光合产物,或者可能利用激素从茎等部位中调运养分,这不仅会使苞叶自身延迟衰老,而且为小花花瓣的开放供应了糖分。

钙处理使低温胁迫下辣椒幼苗的可溶性糖含量增加<sup>[21]</sup>。瓶插在 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙后,唐菖蒲花瓣中的可溶性糖含量高于对照,苞叶中的则低于对照。另外,瓶插过程中,唐菖蒲花瓣的可溶性糖先升高后降低,苞叶中则逐渐降低,推测花瓣和苞叶之间可能存在着“源”、“库”关系,即 $2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙酸钙可能使苞叶中的可溶性糖大量运向了花瓣,而且输出量大于对照。

### 4 结论

$2\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的乙酸钙不仅增加唐菖蒲切花的日观赏值,提高切花的观赏品质,而且使切花体内的CaM、 $\text{Ca}^{2+}$ 和可溶性糖含量以及GA/ABA、ZR<sub>s</sub>/ABA高于对照,使MDA和内源ABA含量低于对照。据此,用乙酸钙溶液瓶插切花时,不仅可以降低切花的MDA含量、稳定膜结构,而且可能激活CaM,调节花瓣和苞叶中的内源激素水平,调运切花中(如苞叶)的可溶性糖到花瓣中,促使小花开放,并延长切花寿命。因此,乙酸钙对唐菖蒲切花有保鲜效果,可应用于唐菖蒲切花的保鲜剂配制。

### References

- [1] 邱似德,梁元冈.切花的采后生理与保鲜.植物生理学通讯,1985,(3):1-6.  
Qiu S D, Liang Y G. Postharvest physiology and fresh-keeping of cut flowers. *Plant Physiology Communications*, 1985, (3): 1-6. (in Chinese)
- [2] 王忠兰.无机盐对唐菖蒲切花保鲜效应.北方园艺,1997,(1):38-39.  
Wang Z L. Fresh-keeping effect of inorganic salt on cut gladiolus. *Northern Horticulture*, 1997, (1): 38-39. (in Chinese)
- [3] Murali T P. Mode of action of metal salts and sucrose extending the vase life of cut gladioli. *Acta Horticulturae*, 1990, 266: 307-315.
- [4] Anderson J M, Charbonneau H, Jones H P, McCann R O, Cormier M J.

- Characterization of the plant nicotinamide adenine dinucleotide kinase activator protein and its identification as calmodulin. *Biochemistry*, 1980, 19(13): 3113-3120.
- [5] 陈贵林, 贾开志. 钙和钙调素拮抗剂对高温胁迫下茄子幼苗抗氧化系统的影响. *中国农业科学*, 2005, 38(1): 197-202.
- Chen G L, Jia K Z. Effects of calcium and calmodulin antagonist on antioxidant systems of eggplant seedlings under high temperature stress. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(1): 197-202. (in Chinese)
- [6] 刘高峰, 杨洪强. 钙信使系统参与草酸对湖北海棠 POD 活性的诱导. *植物病理学报*, 2006, 36(2): 158-162.
- Liu G F, Yang H Q. Calcium signaling is probably involved in oxalic acid induced POD activity in *Malus hupehensis* (Pamp) Rehd. leaves. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2006, 36(2): 158-162. (in Chinese)
- [7] Elliott D C. Inhibition of cytokinin-regulated responses by calmodulin-binding compounds. *Plant Physiology*, 1983, 72: 215-218.
- [8] 余 芳, 左德远, 孙大业. 愈伤组织形成过程中钙离子与激素诱导效应的关系. *实验生物学报*, 1991, 24(4): 385-393.
- Yu F, Zuo D Y, Sun D Y. Relationship between  $Ca^{2+}$  and hormone effect in callus formation. *Acta Biologiae Experimentalis Sinica*, 1991, 24(4): 385-393. (in Chinese)
- [9] 吴秋琴, 赵素娥, 尚克进, 崔 激. 2, 4-D 和 6-BA 对向日葵下胚轴愈伤组织生长及钙调蛋白的影响. *植物生理学报*, 1987, 13(2): 213-216.
- Wu Q Q, Zhao S E, Shang K J, Cui C. Effects of 2,4-D and 6-BA on the growth and calmodulin content of sunflower hypocotyl callus. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1987, 13(2): 213-216. (in Chinese)
- [10] 陈鑫阳, 郑海金, 杨成德, 邱全胜, 王 倩, 逢焕明. 稀脉浮萍中钙调素含量变化与开花及衰老的关系. *科学通报*, 1992, 37(1): 67-69.
- Chen X Y, Zheng H J, Yang C D, Qiu Q S, Wang Q, Pang H M. The relationship among the change of calmodulin content and flowering and senescence in *Lemna perpusilla*. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(1): 67-69. (in Chinese)
- [11] 汤福强, 吴有梅, 刘 愚, 梁厚果. 麝香石竹花衰老过程中钙调蛋白含量变化与乙烯生物合成的关系. *植物学报*, 1994, 36(9): 709-713.
- Tang F Q, Wu Y M, Liu Y, Liang H G. The relationship between the change of calmodulin content and ethylene biosynthesis of carnation flower during its senescence. *Acta Botanica Sinica*, 1994, 36 (9): 709-713. (in Chinese)
- [12] Reid M S. The role of ethylene in flower senescence. *Acta Horticulturae*, 1989, 261: 157-169.
- [13] Woltering E J, van Doorn W G. Role of ethylene in senescence of petals-morphological and taxonomical relationships. *Journal of Experimental Botany*, 1988, 39(208): 1605-1616.
- [14] Mor Y, Hardenburg R E, Kofranek A M, Reid M S. Effect of silver-thiosulfate pretreatment on vase life of cut standard carnations, spray carnations, and gladiolus, after a transcontinental truck shipment. *HortScience*, 1981, 16(6): 766-768.
- [15] Serek M, Jones R B, Reid M S. Role of ethylene in opening and senescence of *gladiolus* sp. flowers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119(5): 1014-1019.
- [16] 姜微波, 孙自然, 于 梁, 周山涛. 采收时花序的发育程度对唐菖蒲切花的影响. *植物生理学通讯*, 1988, (5): 18-21.
- Jiang W B, Sun Z R, Yu L, Zhou S T. Effects of inflorescence development at harvest on cut flowers of gladiolus. *Plant Physiology Communications*, 1988, (5): 18-21. (in Chinese)
- [17] 赵昇皓, 于宏林, 张明志, 徐义俊, 周 燮, 陆 玲. 钙调素的酶联免疫测定法. *徐州医学院学报*, 1988, 8(1): 54-58.
- Zhao S H, Yu H L, Zhang M Z, Xu Y J, Zhou X, Lu L. Calmodulin enzyme-linked immunosorbent assay. *Acta Academiae Medicinae Xuzhou*, 1988, 8(1): 54-58. (in Chinese)
- [18] 董慕新. 植物叶中铁含量分析的盐酸浸提法处理和计算. *植物生理学通讯*, 1985, (2): 48-50.
- Dong M X. Extraction with HCl and content calculation of iron ion in plant leaves. *Plant Physiology Communications*, 1985, (2): 48-50. (in Chinese)
- [19] 许长成, 邹 琦, 程炳嵩. 硫代巴比妥酸(TBA)法检测脂质过氧化水平探讨. *植物生理学通讯*, 1989, (6): 58-60.
- Xu C C, Zou Q, Cheng B S. Study on thiobarbituric acid (TBA) method for determination of lipid peroxidation. *Plant Physiology Communications*, 1989, (6): 58-60. (in Chinese)
- [20] 林炎坤. 常用的几种蒽酮比色定糖法的比较和改进. *植物生理学通讯*, 1989, (4): 53-55.
- Lin Y K. Comparison and improvement of several common anthrone-colorimetry methods for sugar content in plant. *Plant Physiology Communications*, 1989, (4): 53-55. (in Chinese)
- [21] 张化生, 郭晓冬, 王 萍.  $Ca^{2+}$ 与钙调素拮抗剂对辣椒幼苗抗冷性的影响. *内蒙古农业大学学报*, 2007, 28(3): 209-212.
- Zhang H S, Guo X D, Wang P. The effect of calcium and calmodulin antagonist on chilling resistance of pepper seedling. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2007, 28(3): 209-212. (in Chinese)
- [22] Leshem Y Y. Membrane phospholipid catabolism and  $Ca^{2+}$  activity in control of senescence. *Physiologia Plantarum*, 1987, 69(3): 551-559.
- [23] 许 涛, 李天来, 齐明芳. 钙处理对乙烯诱导的番茄离体花柄脱落的抑制作用. *园艺学报*, 2007, 34(2): 366-370.

- Xu T, Li T L, Qi M F. Physiological regulation of calcium in tomato pedicel *in vitro* during abscission induced by ethylene. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(2): 366-370. (in Chinese)
- [24] 董彩霞, 周健民, 赵世杰, 王火焰. 外源钙对不同钙敏感型番茄幼苗生理特性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 267-272.
- Dong C X, Zhou J M, Zhao S J, Wang H Y. Effects of exogenous Ca on some physiological characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedlings with different Ca sensitivity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 267-272. (in Chinese)
- [25] 杨文钰, 韩惠芳, 任万君, 赵 莉, 樊高琼. 烯效唑拌种对小麦分蘖期间内源激素及糖氮比的影响. *作物学报*, 2005, 31(6): 760-765.
- Yang W Y, Han H F, Ren W J, Zhao L, Fan G Q. Effects of uniconazole waterless-dressing seed on endogenous hormones and C/N ratio at tillering stage of wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(6): 760-765. (in Chinese)
- [26] 吴冬云, 朱碧岩, 丁四兵, 张 磊. 6-BA 和 GA 对水稻后期衰老的影响. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2003, (1): 119-122.
- Wu D Y, Zhu B Y, Ding S B, Zhang L. The effects of 6-BA and GA on senescence in the later stage of rice. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2003, (1): 119-122. (in Chinese)
- [27] 刘高琼, 李式军, 张学平. 温光条件对离体大蒜鳞茎形成和内源激素变化的效应. *园艺学报*, 1997, 24(2): 165-169.
- Liu G Q, Li S J, Zhang X P. Effects of temperature and photoperiod on garlic plantlet bulbing and endohormone variation *in vitro*. *Acta Horticulturae Sinica*, 1997, 24(2): 165-169. (in Chinese)
- [28] 王兆龙, 曹卫星, 戴廷波. 小麦小花两极分化中内源植物激素与糖氮含量的变化特征. *作物学报*, 2001, 27(4): 447-452.
- Wang Z L, Cao W X, Dai T B. Changes of endogenous plant hormones and soluble sugars and proteins during floret development and degeneration in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(4): 447-452. (in Chinese)
- [29] 李青云, 葛会波, 胡淑明, 陶秀娟, 黄瑞虹. 盐胁迫下外源钙对草莓内源激素含量的影响. *西北植物学报*, 2008, 28(3): 517-522.
- Li Q Y, Ge H B, Hu S M, Tao X J, Huang R H. Endogenous hormone regulation with exogenous calcium under salt stress in strawberry. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(3): 517-522. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)