

## 瓶插液添加二氧化氯对牡丹切花的保鲜效果

年林可, 孟海燕, 苏笑林, 史国安\*

河南科技大学牡丹学院, 洛阳市牡丹生物学重点实验室, 河南洛阳471003

**摘要:** 以牡丹‘洛阳红’切花为试材, 研究瓶插液中添加不同质量体积分数二氧化氯(0、25、50、100 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>)对切花保鲜效果的影响。结果表明, 基本瓶插液中添加50 mg·L<sup>-1</sup>的ClO<sub>2</sub>处理能够有效地延长牡丹切花的瓶插寿命和最佳观赏期, 改善切花花枝的水分平衡值, 降低花瓣内源乙烯释放和呼吸速率, 提高花瓣可溶性蛋白质含量和抗氧化酶活性, 抑制膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量升高。

**关键词:** 牡丹; 切花; ClO<sub>2</sub>; 瓶插处理; 保鲜

牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.), 芍药科芍药属牡丹组多年生落叶小灌木, 是中国的传统名花, 花大色艳深受国内外民众喜爱, 素有“花王”美誉(张琼等2015)。牡丹为我国乃至世界插花的重要花材, 牡丹鲜切花消费量快速增长, 具有非常可观的发展潜力。然而牡丹自然花期短, 脱离母体后由于自身生理因素导致衰败加快(史国安等2010), 瓶插期短已经成为牡丹切花产业化发展的瓶颈(郭闻文等2004; 翟芳芳等2016)。因此, 研究牡丹鲜切花瓶插过程中简便高效的保鲜措施具有重要的现实意义。

切花采后茎末端和瓶插液中容易滋生大量细菌等微生物, 使得花径导管阻塞, 影响水分吸收, 造成水分失衡, 并产生乙烯等有害物质加速切花衰老, 缩短瓶插寿命(李红梅等2012)。为减少微生物对切花所造成的不利影响, 实践上选择在瓶插液中添加杀菌剂进行保鲜处理(Damunupola和Joyce 2008; 刘季平等2009; 程桂平等2012), 瓶插液中的杀菌剂成分对切花瓶插寿命起着很重要的作用(黄海泉等2014)。

二氧化氯(ClO<sub>2</sub>)是具有消毒、杀菌、防腐保鲜等功效的新型优良保鲜剂, 为国际上公认的安全卫生的氯系消毒剂中最理想的更新换代产品, 被WHO列为A1级杀菌消毒剂(Du等2003)。近年来, 国内外研究ClO<sub>2</sub>对果蔬、肉制品、水产品 and 乳制品等食品表面致病菌的抑制及贮藏保鲜作用, 取得了良好保鲜效果, 显示其在果品蔬菜的采后防腐保鲜方面有着非常广阔的应用前景(李江阔等2011; 田红炎等2011; 王进等2015; Sy等2005; Chen等2011)。不过, ClO<sub>2</sub>作为一种高效杀菌剂, 在鲜切花保鲜应用方面的研究在国际上仅有少量报道(Macnish等2006, 2008; Lee和Kim 2014)。本试验

以牡丹切花品种‘洛阳红’为试材, 通过在切花基本瓶插液中添加不同浓度的ClO<sub>2</sub>, 研究其对牡丹切花的瓶插保鲜效果, 以期为牡丹鲜切花保鲜技术研发提供参考。

### 材料与方法

#### 1 植物材料与处理

本试验在河南科技大学洛阳市牡丹生物学重点实验室进行。供试材料为牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)品种‘洛阳红’, 采自河南省洛阳市神州牡丹园艺有限公司生产基地, 牡丹花朵自然开放分为露色期(I)、绽口期(II)、初开期(III)、半开期(IV)、盛开期(V)和开始衰败期(VI)六个发育时期(王荣花等2005; 史国安等2009)。采收发育时期为绽口期II级, 花径(5.14±0.13) cm的牡丹花枝, 清晨采收后放入装有冰块的泡沫箱中保存, 尽快运回实验室, 挑选开放一致的切花花枝, 将花茎置于去离子水中切至枝长25 cm并留2片复叶, 随机均分成4组。

在基本瓶插液2%蔗糖+200 mg·L<sup>-1</sup>柠檬酸+100 mg·L<sup>-1</sup>8-羟基喹啉+25 mg·L<sup>-1</sup>水杨酸(史国安等2010)中, 添加有效成分分别为0、25、50、100 mg·L<sup>-1</sup>的固体ClO<sub>2</sub>, 每组27枝, 单枝瓶插, 分别记为CK、I、II和III。其中9枝用于每天同一时间观察形态特征, 测定花径及水分平衡值等, 其余则用于测定乙烯和呼吸释放速率、保护酶活性等生理指标。

控制室内温度20~22°C, 相对湿度50%~60%, 室内散射光结合日光灯补光(光量子通量密度80 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), 光周期12 h/12 h。

收稿 2017-06-16 修定 2017-10-19

资助 国家自然科学基金(31372098和U1204323)和河南省自然科学基金(162300410075和112300410081)。

\* 通讯作者(E-mail: gashi1963@163.com)。

## 2 测定指标与方法

瓶插期间对切花进行拍照, 观测记录花朵的直径、开放等级和形态特征, 50%以上花枝花朵萎蔫或花瓣脱落(等级记为VII级)瓶插结束后, 计算出最佳观赏期和瓶插寿命。为方便统计分析切花开花和衰老进程的变化, 将花朵开放程度I~VII级, 转换为对应的1~7级数值。

用称重法测定花枝的吸水量、失水量, 计算出水分平衡值(史国安等2010)。计算公式为:

吸水量=(当天花瓶+溶液质量)-(后一天花瓶+溶液质量); 失水量=(当天花瓶+溶液+花枝质量)-(后一天花瓶+溶液+花枝质量); 水分平衡值=吸水量-失水量。

各个处理取花瓣称鲜样质量后, 封入自制的集气瓶中密封, 每样品重复4次, 使用上海天美GC-7890 II型气相色谱仪同步测定乙烯释放速率和呼吸速率(史国安等2011)。

将处理花瓣迅速用液氮冷冻处理后放入 $-40^{\circ}\text{C}$ 低温冰箱中, 用于分析牡丹切花开放和衰老过程中花瓣生理生化指标的变化。参考叶宝兴和朱新产(2007)方法测定抗氧化保护酶(SOD、POD和CAT)活性、可溶性蛋白质和丙二醛(MDA)含量。

数据用Microsoft Office Excel 2003和SPSS 16.0软件进行统计处理。

## 实验结果

### 1 $\text{ClO}_2$ 对牡丹切花瓶插形态特征的影响

牡丹切花瓶插过程是花朵迅速吸水开放和花瓣衰老的过程(图1)。瓶插开始绽口期的牡丹切花花径为5.14 cm。CK于瓶插2 d进入盛花期, 5 d花瓣开始失水萎蔫, 7 d出现落瓣现象; 加入 $\text{ClO}_2$ 之后, 处理II花瓣开放程度最好, 7 d才开始出现萎蔫, 8 d有少量落瓣; 处理I 6 d花瓣开始卷翘, 8 d大量落瓣; 处理III表现出与对照较一致的结果, 但后期落

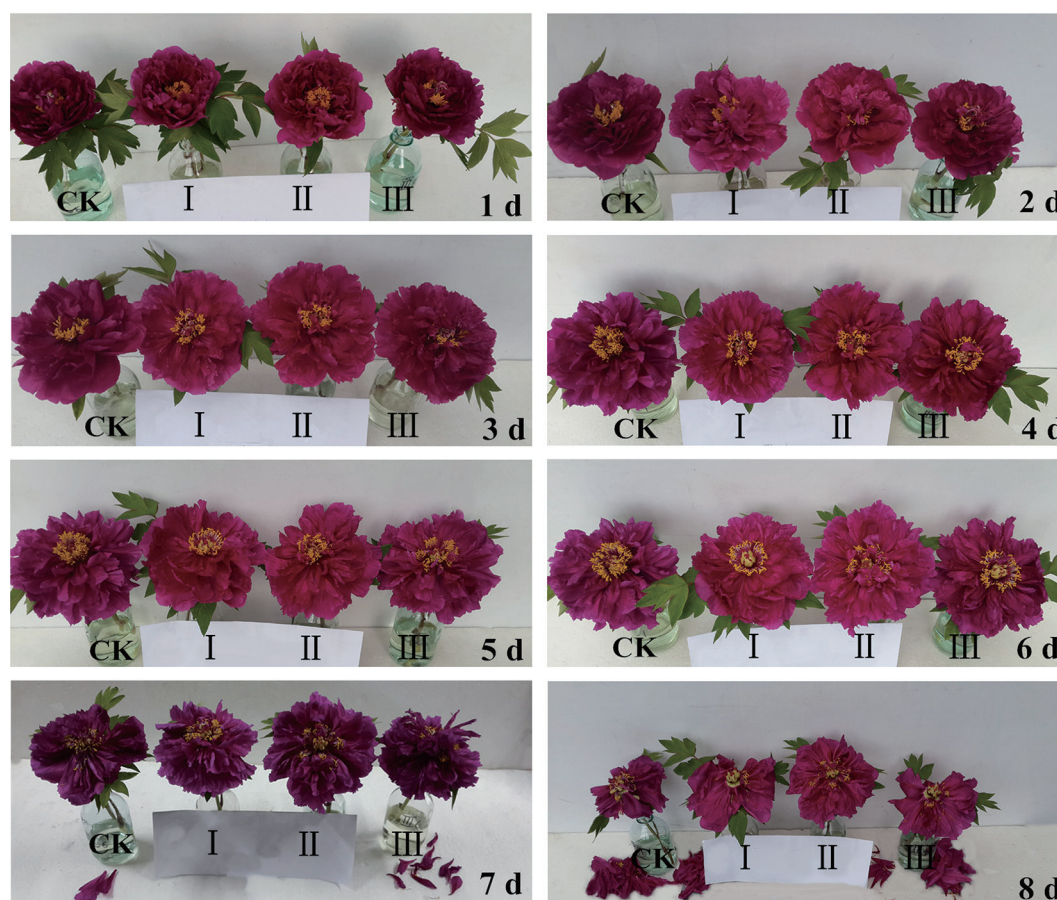


图1 牡丹切花开花衰老过程的形态变化

Fig.1 The morphological changes during florescence and senescence of tree peony cut flowers

瓣现象严重。说明适宜浓度的 $\text{ClO}_2$ 处理能够有效的延长牡丹切花瓶插寿命,改善切花瓶插品质,50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理切花保鲜效果最佳。

## 2 $\text{ClO}_2$ 对牡丹切花瓶插品质的影响

由表1可知,25、50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理均能延长牡丹切花的瓶插寿命和最佳观赏期,增大切花花径,其中50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理与对照CK相比,其瓶插寿命、最佳观赏期分别延长了2.12和1.78 d,最大花径增加了1.52 cm,均达到显著差异( $P<0.05$ );而100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理与对照无明显差异,对切花开放衰老进程无明显影响。

表1  $\text{ClO}_2$ 处理对牡丹切花开放及衰老的影响

Table 1 Effects of  $\text{ClO}_2$  on opening and senescence of tree peony cut flowers

处理	瓶插寿命/d	最佳观赏期/d	最大花径/cm
CK	5.12±0.84 <sup>c</sup>	4.78±0.12 <sup>b</sup>	14.80±0.65 <sup>b</sup>
25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{ClO}_2$	6.15±0.45 <sup>b</sup>	6.21±0.98 <sup>ab</sup>	15.20±1.47 <sup>b</sup>
50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{ClO}_2$	7.24±1.27 <sup>a</sup>	6.56±0.37 <sup>a</sup>	16.32±1.27 <sup>a</sup>
100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ $\text{ClO}_2$	5.24±1.62 <sup>c</sup>	4.63±0.25 <sup>b</sup>	15.10±1.34 <sup>b</sup>

试验重复9次。不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平不同处理间存在显著差异。

由图2-A可知,进入盛花期前,CK与各处理开花等级变化情况基本一致,CK在瓶插6 d进入始衰期,50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理的牡丹切花则在7 d进入始衰期,与对照相比推迟了1 d,延缓了牡丹切花衰老进程;100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理则使得切花进入始衰期的时间有所提前,而25  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理的牡丹切花开花等级与对照无明显差异。

牡丹切花花径变化率呈先快速上升后缓慢下降的趋势(图2-B)。瓶插前期,花枝快速吸水后花朵迅速开放,花径变化快,花径变化率在4 d达到峰值,此时添加50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理的牡丹切花花径变化率显著高于对照,其余处理与对照无显著差异;之后花朵开始失水萎蔫,花径变小,花径变化率逐渐降低。表明瓶插液中加入50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 能够促进花朵开放,增大花径,延长瓶插寿命效果明显。

## 3 $\text{ClO}_2$ 对牡丹切花花枝鲜样质量和水分平衡值的影响

图3-A所示,牡丹切花相对鲜样质量呈现先上

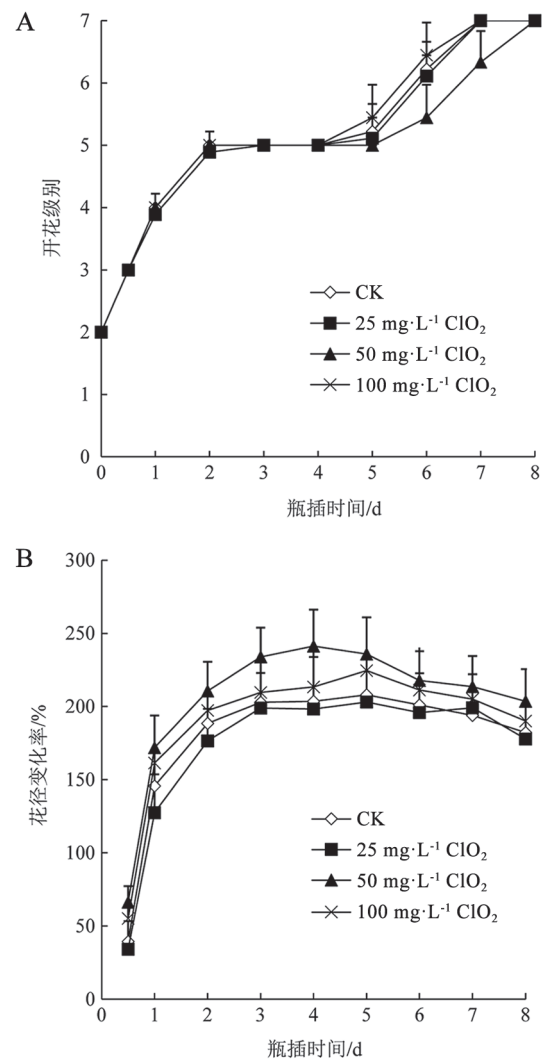


图2  $\text{ClO}_2$ 处理对牡丹切花开放等级和花径变化率的影响  
Fig.2 Effects of  $\text{ClO}_2$  on opening index and flower diameter change rate of tree peony cut flowers

升后持续下降的趋势。瓶插2 d切花进入盛花期,此时相对鲜样质量达到最大值,之后开始下降。与对照CK相比,50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理的相对鲜样质量始终处于最高水平,且下降幅度均小于其他处理。表明 $\text{ClO}_2$ 处理有利于维持牡丹切花的鲜样质量,以50  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{ClO}_2$ 处理对切花品质改善效果最好。

瓶插期间,牡丹切花花枝水分平衡值呈现先快速上升后急剧下降,再呈缓慢下降的趋势(图3-B)。瓶插前期,各处理水分平衡值均高于对照CK;随着切花进入盛开阶段,机体代谢旺盛,此时水分平衡值逐渐趋于0值,CK、25、50和100  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

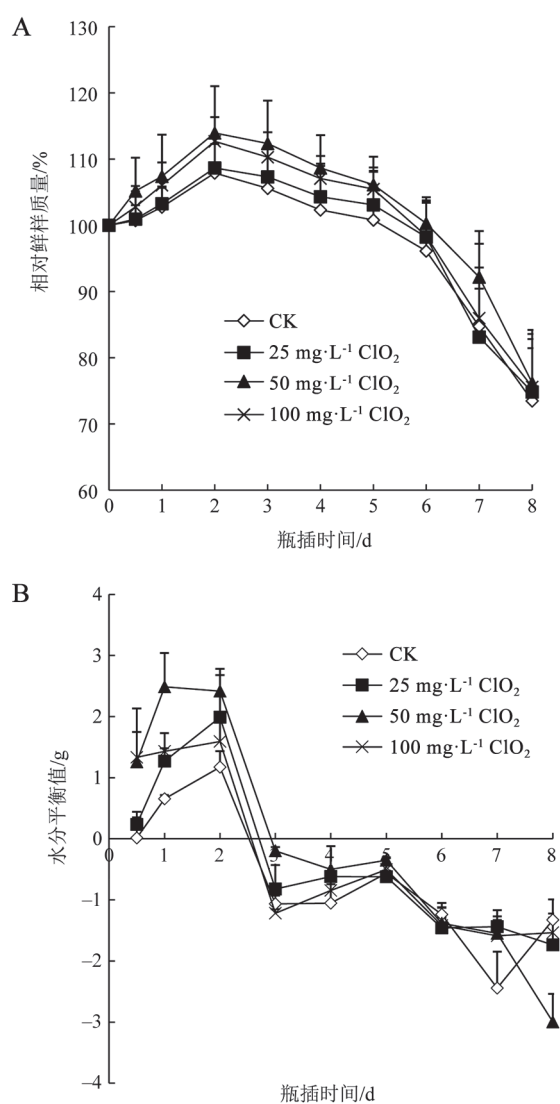


图3  $\text{ClO}_2$ 处理对牡丹切花相对鲜样质量变化率和水分平衡值的影响

Fig.3 Effects of  $\text{ClO}_2$  on fresh mass and water balance values of tree peony cut flowers

$\text{ClO}_2$ 水分平衡值到达0值的时间分别为2.50、2.75、2.95和2.52 d, 其中50 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理的牡丹切花水分平衡值0值出现的时间最晚, 说明该处理能较好的维持花枝的持水能力, 延缓切花衰老进程。

#### 4 $\text{ClO}_2$ 对牡丹切花呼吸速率和乙烯释放速率的影响

由图4-A可得, ‘洛阳红’牡丹切花乙烯释放速率在瓶插前期缓慢增加, 随着花朵开放, 4 d开始快速升高, 乙烯释放量出现明显跃升, 在瓶插6 d达到

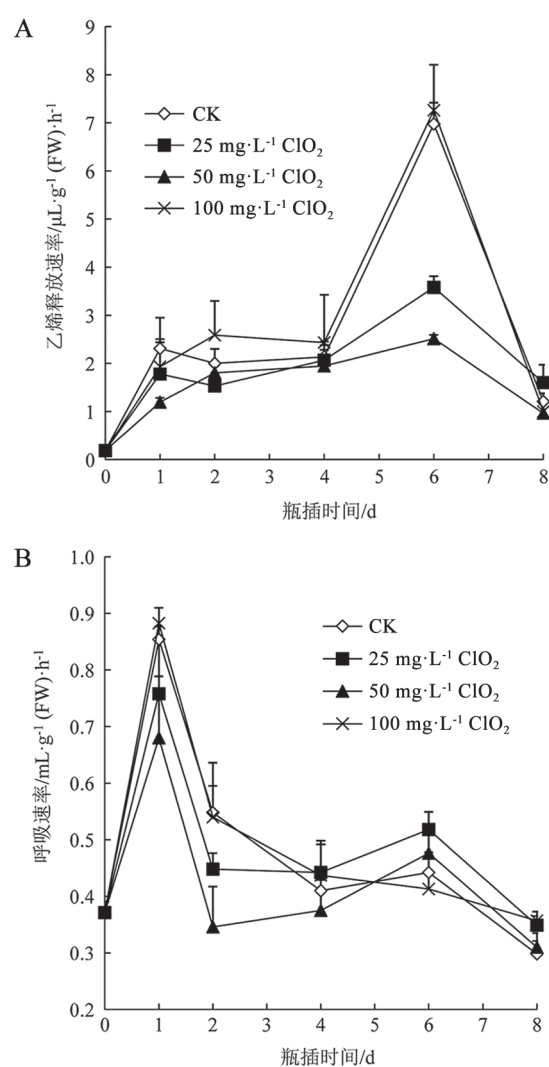


图4  $\text{ClO}_2$ 处理对牡丹切花花瓣乙烯释放速率和呼吸速率的影响

Fig.4 Effects of  $\text{ClO}_2$  on ethylene production and respiration rate in petal of tree peony cut flowers

乙烯峰值, 进入衰败期后乙烯释放速率又快速下降, 具有乙烯跃变特征。瓶插6 d, 50 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理的牡丹切花乙烯峰值最低, 为2.51  $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}(\text{FW})\cdot\text{h}^{-1}$ , 与对照CK相比降低了64.0%; 25 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理虽然也能降低切花乙烯峰值, 但效果明显低于50 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理; 而100 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理则与对照无明显差异。说明添加适宜浓度的 $\text{ClO}_2$ 可以显著降低乙烯峰值从而延缓切花花瓣脱落衰老进程, 以50 mg·L<sup>-1</sup>  $\text{ClO}_2$ 处理效果最佳。

切花呼吸速率呈先快速上升后逐渐下降的趋势, 出现明显的呼吸跃变现象(图4-B)。瓶插1 d出

现呼吸峰值,与对照CK相比,50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的牡丹切花呼吸峰值最低为0.68 mL·g<sup>-1</sup>(FW)·h<sup>-1</sup>,降低了20.4%;25 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的切花呼吸峰值虽然也有所降低,但与对照差异不显著;而100 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理则与对照无显著差异( $P < 0.05$ )。结果表明添加适宜浓度的ClO<sub>2</sub>可以降低呼吸峰值,减少呼吸消耗,延缓切花衰老进程,其中50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理抑制呼吸速率效果最为显著。

### 5 ClO<sub>2</sub>对牡丹切花可溶性蛋白质和MDA含量的影响

图5-A可知,可溶性蛋白质含量在切花瓶插前期变化缓慢,各处理含量均高于对照CK;进入盛花期之后含量迅速增加,在瓶插4 d达到峰值,此时50

mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理可溶性蛋白质含量最高;之后花瓣衰老含量逐渐下降,50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理始终保持最高水平。说明一定浓度的ClO<sub>2</sub>有助于提高并维持可溶性蛋白质含量,有助于切花保鲜,以添加50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理效果最好。

MDA含量在整个瓶插期间呈现逐渐上升的变化趋势(图5-B)。在整个切花瓶插期间,50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的牡丹切花MDA含量显著低于对照CK( $P < 0.05$ ),25 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的MDA含量与CK相比虽有所降低但无显著差异,而100 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的牡丹切花MDA含量高于CK。说明50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理能减缓切花花瓣中的MDA积累,以延缓牡丹切花衰老进程。

### 6 ClO<sub>2</sub>对牡丹切花抗氧化酶SOD、POD和CAT活性的影响

图6-A所示,瓶插期间SOD活性整体呈现先升高后下降的趋势。与对照CK相比,50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理推迟活性峰值出现时间为6 d,且到达峰值以后活性显著高于其他三组( $P < 0.05$ );而100 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理SOD活性受到抑制,25 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理活性虽然有所提高,但与对照无显著差异。说明50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理在瓶插后期能够显著提高SOD活性,表现出较强的抗氧化防卫机制。

POD和CAT活性均呈现先快速上升后逐渐下降的趋势(图6-B和C)。瓶插2 d POD活性达到峰值,50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理有最大峰值为29.22 U·g<sup>-1</sup>(FW)·min<sup>-1</sup>,切花盛开后POD活性始终高于对照( $P < 0.05$ ),其余两组处理则与对照呈相似的变化趋势;进入盛花期(瓶插2 d)后50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理显著提高了CAT活性,并将其峰值时间推迟到4 d,而25 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理虽然也提高了CAT活性峰值,但效果没有50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理明显,100 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理CAT活性则与对照差异不显著。表明适宜浓度的ClO<sub>2</sub>处理可以提高POD和CAT活性,以50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理效果最佳。

## 讨 论

牡丹切花采后的水分状况是影响切花采后寿命及保鲜技术的一项重要指标(张圣旺等2002)。切花瓶插过程中其茎基部和瓶插液中容易滋生大量细菌,进而导致水分吸收受阻,水分关系失衡

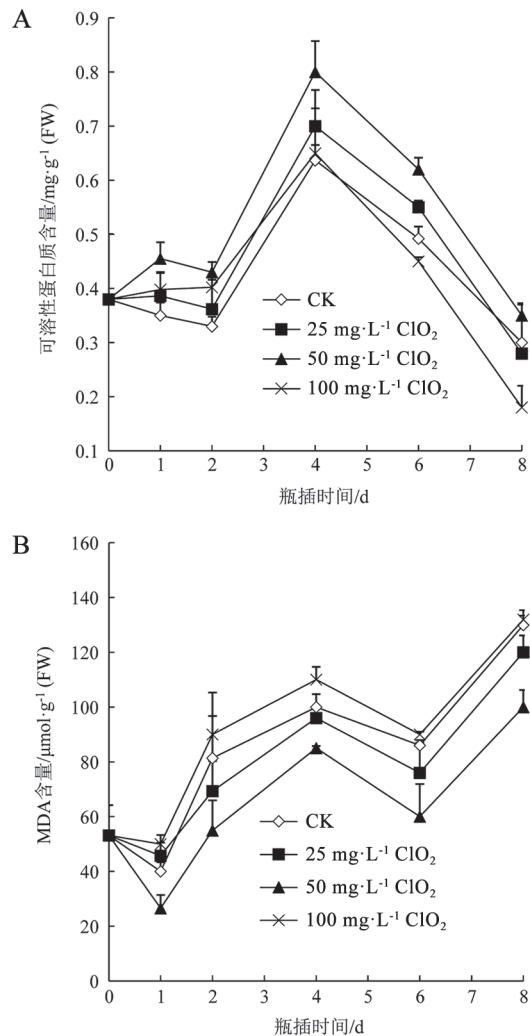


图5 牡丹切花瓶插过程中花瓣可溶性蛋白质和MDA含量的变化

Fig.5 Changes of soluble protein and MDA contents in petal of tree peony cut flowers

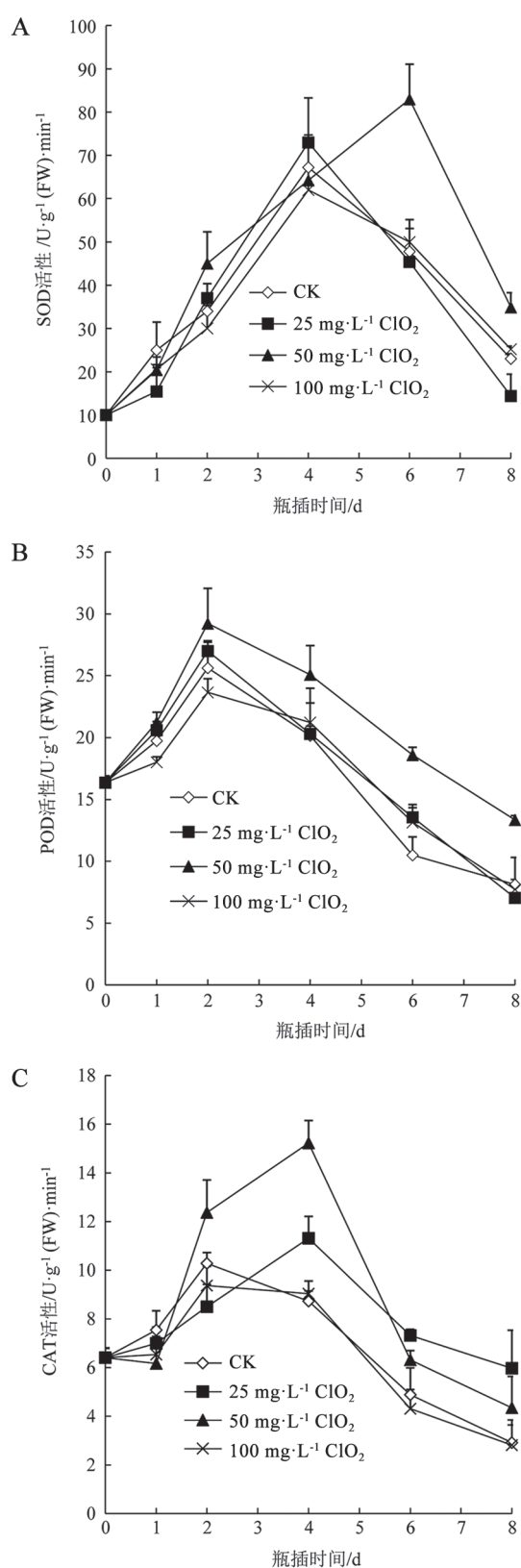


图6 牡丹切花瓶插过程中花瓣SOD、POD和CAT活性的变化  
Fig.6 Activity changes of SOD, POD and CAT in petal of tree peony cut flowers

(Lee和Kim 2014)。在瓶插液中加入杀菌剂,可以减少微生物数量,改善水分关系,从而延缓衰老(Damunupola和Joyce 2008)。ClO<sub>2</sub>作为新型高效杀菌剂已被证明能有效的延缓采后果蔬的成熟以及衰老(龚宇同和宗文2004; 巩慧玲等2010)。本试验在牡丹切花‘洛阳红’瓶插液中添加不同浓度的ClO<sub>2</sub>,结果表明瓶插液中添加适宜浓度的ClO<sub>2</sub>可以维持该切花花枝鲜样质量(图3-A),延迟水分平衡值到达0值的时间(图3-B),较好的维持花枝的吸水能力,改善切花的水分状况。其中50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理能够显著延长切花瓶插寿命和最佳观赏期,增大切花花径,对提高切花瓶插品质有显著的作用(表1和图2)。

乙烯敏感型切花衰老与乙烯的大量生成和呼吸速率升高有关,切花衰老往往伴随着内源乙烯的释放,乙烯是主要的切花衰老调控因子(张琳等2013; 王哲等2014; 罗江会等2015)。减少切花乙烯生成量,降低切花的呼吸速率,推迟乙烯、呼吸跃变的出现,有利于切花的保鲜(张圣旺等2002; 王荣花等2005)。ClO<sub>2</sub>能有效阻止植物组织中乙烯合成底物蛋氨酸代谢,破坏乙烯生成,杀死细菌微生物,降低呼吸速率从而延缓衰老进程(Du等2003, 2007; Lee和Kim 2014)。牡丹切花‘洛阳红’属于呼吸跃变型和乙烯跃变型花卉,适宜浓度的ClO<sub>2</sub>处理可以降低乙烯释放速率和呼吸消耗,从而延长瓶插寿命,延缓切花衰老,其中以50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理效果最佳(图4)。

切花瓶插过程中花朵体内许多大分子生命和结构物质开始降解,可溶性蛋白质含量的减少是植物花朵衰败的重要指标之一(史国安2010)。添加一定浓度的ClO<sub>2</sub>有助于提高并维持牡丹切花瓶插过程中可溶性蛋白质含量,有助于延缓切花衰老进程,以添加50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理效果最好(图5-A)。史国安等(2008)研究表明,膜脂过氧化加剧所导致的膜透性增加是导致牡丹切花衰老的主要原因之一,而MDA是膜脂过氧化的产物,其含量的多少直接反映出膜脂过氧化损伤程度。叶利民(2003)研究表明,二氧化氯处理通过刺激抗氧化酶系统提高清除活性氧能力,降低了膜脂过氧化程度,防止了细胞膜结构的损伤。50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理的MDA含量在整个瓶插期间显著低于对照,减缓了MDA在牡丹切花花瓣中的积累,而100 mg·L<sup>-1</sup>

ClO<sub>2</sub>处理MDA含量高于对照, 25 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理与对照无显著差异, 说明只有适宜浓度的ClO<sub>2</sub>才能降低MDA含量, 减缓膜脂过氧化进程进而延缓切花衰老(图5-B)。

SOD、POD和CAT是植物体内清除活性氧的关键酶, 协同作用可以将过氧化物转为无毒或低毒的物质, 维持活性氧代谢平衡(史国安等2008; 李红芳等2016)。试验结果表明(图6), 瓶插过程中切花进入盛花期后, 50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>处理能显著提高SOD、POD和CAT活性, 并且推迟了SOD和CAT活性峰值出现的时间。说明添加50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub>能够表现出较强的刺激抗氧化酶活性升高的抗氧化防卫机制, 保护膜结构的完整性从而延缓切花衰老进程。

综上所述, 瓶插液中添加适宜浓度的ClO<sub>2</sub>对牡丹切花具有较好的保鲜作用。ClO<sub>2</sub>可以维持花茎的吸水能力和鲜样质量, 延迟水分平衡值趋于0值的时间, 降低呼吸速率和内源乙烯释放速率, 抑制膜脂过氧化产物MDA含量的增加, 维持可溶性蛋白质含量, 增强抗氧化酶(SOD、POD和CAT)活性, 延长瓶插寿命以及最佳观赏期, 提高牡丹切花的瓶插品质。其中以在瓶插液中添加50 mg·L<sup>-1</sup>的ClO<sub>2</sub>对牡丹切花的瓶插保鲜效果最佳。这预示着ClO<sub>2</sub>作为一种新型的切花保鲜物质, 在牡丹切花及其他切花保鲜上具有良好的应用前景。

### 参考文献

- Chen Z, Zhu C, Han Z (2011). Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on nutritional components and shelf-life of mulberry fruit (*Morus alba*, L.). *J Biosci Bioeng*, 111 (6): 675–681
- Chen Z, Zhu C, Zhang Y, Niu D, Du J (2010). Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Postharvest Biol Tech*, 58 (3): 232–238
- Cheng GP, Li WP, Li F, Huang XM, He SG (2012). Physiological effects of nano-silver bactericides on the aging of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *North Hortic*, (23): 159–161 (in Chinese) [程桂平, 黎婉萍, 李芳, 黄新敏, 何生根(2012). 纳米银杀菌剂对香石竹切花衰老的生理效应. *北方园艺*, (23): 159–161]
- Damunupola JW, Joyce DC (2008). When is a vase solution biocide not, or not only, antimicrobial? *J Japan Soc Hort Sci*, 77 (3): 211–228
- Du JH, Fu MR, Li MM, Xia W (2007). Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. Longrum). *J Integr Agric*, 6 (2): 214–219
- Du J, Han Y, Linton RH (2003). Efficacy of chlorine dioxide gas in reducing *Escherichia coli* O157: H7 on apple surfaces. *Food Microbiol*, 20 (5): 583–591
- Gong HL, Yuan HJ, Feng ZP, Zhao P (2010). The influence of 1-MCP, ClO<sub>2</sub> in Lanzhou lily fresh-keeping. *Sci Technol Food Ind*, 31 (11): 338–339 (in Chinese with English abstract) [巩慧玲, 袁惠君, 冯再平, 赵萍(2010). 1-MCP、ClO<sub>2</sub>对兰州百合贮藏保鲜效果的影响. *食品工业科技*, 31 (11): 338–339]
- Gong YT, Zong W (2004). The influence of compound chlorine dioxide antistaling agent in postharvest physiology of okubo peach. *Sci Technol Food Ind*, 25 (9): 126–128 (in Chinese with English abstract) [龚宇同, 宗文(2004). 复合型二氧化氯保鲜剂对大久保桃采后生理的影响. *食品工业科技*, 25 (9): 126–128]
- Guo WW, Chen RX, Dong L, Liu AQ, Wang LY (2004). Research on postharvest aging characteristics and water balance of several varieties of peony cut flower. *Sci Silvae Sin*, 40 (4): 89–93 (in Chinese with English abstract) [郭闻文, 陈瑞修, 董丽, 刘爱青, 王莲英(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]
- Huang HQ, Fan GS, Wang YB, Qin Y, Zhang HM, Huang MJ (2014). Effect of different preservatives on physiological characters of *Delphinium grandiflorum* L. cut flowers. *Plant Physiol J*, 50 (4): 395–400 (in Chinese with English abstract) [黄海泉, 樊国盛, 王誉蓓, 秦跃, 张红梅, 黄美娟(2014). 不同保鲜剂对大花飞燕草切花生理特性的影响. *植物生理学报*, 50 (4): 395–400]
- Lee YB, Kim WS (2014). Antimicrobial effect of chlorine dioxide on vase life of cut rose 'Beast'. *Kor J Hort Sci Technol*, 32 (1): 60–65
- Li HF, Gu W, Xi CC, Sun HM, Liu QZ (2016). Antioxidative system responses mechanism and content of trehalose in the resurrection process of *Selaginella tamariscina* (Beauv.) spring. *Plant Physiol J*, 52 (12): 1872–1876 (in Chinese with English abstract) [李红芳, 谷巍, 席彩彩, 孙红梅, 刘青芝(2016). 卷柏复苏过程中抗氧化系统响应机制及海藻糖含量变化. *植物生理学报*, 52 (12): 1872–1876]
- Li HM, Lin YF, Liu CZ, Huang XM, Zhou HG, He SG (2012). Freshness-preserving effects of nano-silver pretreatment on musk lily cut flower. *North Hortic*, (8): 166–169 (in Chinese) [李红梅, 林燕飞, 刘昌镇, 黄新敏, 周厚高, 何生根(2012). 纳米银预处理对麝香百合切花的保鲜效应研究. *北方园艺*, (8): 166–169]
- Li JK, Zhang P, Hou B, Zhang P (2011). Application research progress of chlorine dioxide in vegetables. *Storage Process*, 11 (3): 36–39 (in Chinese with English abstract) [李江阔, 张鹏, 侯彪, 张平(2011). 二氧化氯在蔬菜保鲜中的应用研究进展. *保鲜与加工*, 11 (3): 36–39]
- Liu JP, He SG, Lü PT, Cao JP, Sheng AW, Zhang ZQ (2009). Effect of sodium dichloro isocyanurate on preservation of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Acta Horti Sin*, 36 (1): 121–126 (in Chinese with English abstract) [刘季平, 何生根, 吕培涛, 曹锦萍, 盛爱武, 张昭其(2009). 二氯异氰尿酸钠处理对香石竹切花的保鲜效应. *园艺学报*, 36 (1): 121–126]
- Luo JH, Ma J, Liu DF, Yang JF, Men WT, Wan C, Sui SZ, Li MY (2015). Effects of ethylene on cut flower opening and senescence and expression of ethylene receptor genes in wintersweet (*Chi-*

- monanthus praecox*). *Plant Physiol J*, 51 (2): 253–258 (in Chinese with English abstract) [罗江会, 马婧, 刘道凤, 杨建峰, 门维婷, 万超, 眭顺照, 李名扬(2015). 乙烯对蜡梅切花开放衰老及乙烯受体基因表达的影响. *植物生理学报*, 51 (2): 253–258]
- Macnish AJ, Leonard RT, Nell TA (2006). Potential of chlorine dioxide to extend the longevity of cut flowers. *HortScience*, 41 (3): 503
- Macnish AJ, Leonard RT, Nell TA (2008). Treatment with chlorine dioxide extends the vase life of selected cut flowers. *Postharvest Biol Tech*, 50 (2-3): 197–207
- Shi GA (2010). Studies on physiological and biochemical mechanisms of blooming and senescence in tree peony (PhD thesis). Wuhan: Huazhong Agricultural University (in Chinese with English abstract) [史国安(2010). 牡丹开花与衰老的生理生化机制研究(博士论文). 武汉: 华中农业大学]
- Shi GA, Guo XF, Bao MZ (2008). The correlation studies on peony in different development period of lipid peroxidation metabolism. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci)*, 36 (8): 183–189 (in Chinese with English abstract) [史国安, 郭香凤, 包满珠(2008). 牡丹花不同发育时期脂质过氧化代谢的相关性研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 36 (8): 183–189]
- Shi GA, Guo XF, Kong XS, Zhang GH, Bao MZ (2011). The relationship between peony respiratory rate and endogenous hormone content change and flower senescence. *Acta Hort Sin*, 38 (2): 303–310 (in Chinese with English abstract) [史国安, 郭香凤, 孔祥生, 张国海, 包满珠(2011). 牡丹呼吸速率和内源激素含量变化与开花衰老的关系. *园艺学报*, 38 (2): 303–310]
- Shi GA, Guo XF, Zhang GH, Bao MZ (2009). Analysis of sugar metabolism during florescence and flower senescence of tree peony petal. *Acta Hort Sin*, 36 (8): 1184–1190 (in Chinese with English abstract) [史国安, 郭香凤, 张国海, 包满珠(2009). 牡丹开花和衰老期间花瓣糖代谢的研究. *园艺学报*, 36 (8): 1184–1190]
- Shi GA, Guo XF, Zhang GH, Gao SC, Fan BY, Bao MZ (2010). Studies of vasing physiological characteristics of cut peony flowers in various development stages. *Acta Hort Sin*, 37 (3): 449–456 (in Chinese with English abstract) [史国安, 郭香凤, 张国海, 高双成, 范丙友, 包满珠(2010). 不同发育时期牡丹切花瓶插生理特性的研究. *园艺学报*, 37 (3): 449–456]
- Sy KV, Mcwatters KH, Beuchat LR (2005). Efficacy of gaseous chlorine dioxide as a sanitizer for killing *Salmonella*, yeasts, and molds on blueberries, strawberries, and raspberries. *J Food Protect*, 68 (6): 1165–1175
- Tian HY, Zhu QG, Rao JP (2011). Effects of preharvest treatment with chlorine dioxide on fresh-keeping of ‘Hayward’ kiwi fruit. *Plant Physiol J*, 47 (12): 1167–1172 (in Chinese with English abstract) [田红炎, 祝庆刚, 饶景萍(2011). 采前二氧化氯处理对‘海沃德’猕猴桃的防腐保鲜效果. *植物生理学报*, 47 (12): 1167–1172]
- Wang J, Jiang LQ, Ma HL, Zhou J, Yang Z (2015). Effect of 1-MCP and ClO<sub>2</sub> on the green husk walnut secondary storage. *J Chin Institute Food Sci Technol*, 15 (3): 137–145 (in Chinese with English abstract) [王进, 蒋柳庆, 马惠玲, 周晶, 杨哲(2015). ClO<sub>2</sub>和1-MCP对青皮核桃二步贮藏的效应. *中国食品学报*, 15 (3): 137–145]
- Wang RH, Liu YL, Li JR (2005). Studies on the blossom physiology in the different development stage of peony and Chinese peony flower. *Acta Hort Sin*, 32 (5): 861–865 (in Chinese with English abstract) [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]
- Wang Z, Shi GA, Ma XQ, Fan BY (2014). The ethylene metabolism in flowers of Chinese peony ‘Taohua Feixue’ during opening and senescence. *Acta Hort Sin*, 41 (11): 2268–2274 (in Chinese with English abstract) [王哲, 史国安, 马雪晴, 范丙友(2014). 芍药‘桃花飞雪’开花衰老期间乙烯代谢生理机制的研究. *园艺学报*, 41 (11): 2268–2274]
- Ye BX, Zhu XC (2007). *Biological Science Experiments: Plants*. Beijing: Higher Education Press [叶宝兴, 朱新产(2007). *生物科学基础实验(植物类)*. 北京: 高等教育出版社]
- Ye LM (2003). Research of postharvest physiology biochemical changes and storage effects on Chinese chestnut with chitosan and salicylic acid treatment (Master’s thesis). Nanchang: Jiangxi Agricultural University (in Chinese with English abstract) [叶利民(2003). 壳聚糖和水杨酸处理对板栗采后生理生化变化及其贮藏效应的研究(硕士论文). 南昌: 江西农业大学]
- Zhai FF, Zhu WX, Yu B, Huang J (2016). Effects of applying a plasticized coating of waterborne acrylic resin and tea tree oil on the ornamental quality of cut tree peonies. *Acta Hort Sin*, 43 (4): 796–806 (in Chinese with English abstract) [翟芳芳, 朱文学, 于斌, 黄敬(2016). 水性丙烯酸树脂与茶树精油喷涂处理对牡丹切花观赏品质的影响. *园艺学报*, 43 (4): 796–806]
- Zhang L, Xia YP, Du F, Wu J, Ma YD (2013). Research advance in relationship between ethylene and vase life of cut lily flowers. *Acta Hort Sin*, 40 (9): 1826–1836 (in Chinese with English abstract) [张琳, 夏宜平, 杜方, 吴峻, 马怡迪(2013). 乙烯与百合切花瓶插寿命的关系研究进展. *园艺学报*, 40 (9): 1826–1836]
- Zhang Q, Yin YZ, Wang NL (2015). Study on the relationship between the peony resources, value, culture and industrialization. *Ind Technol BBS*, 14 (6): 106–108 (in Chinese) [张琼, 尹玉珍, 王乃良(2015). 牡丹资源, 价值, 文化与产业化关系研究. *产业与科技论坛*, 14 (6): 106–108]
- Zhang SW, Zheng RS, Meng L, Zheng GS (2002). The physiological and biochemical changes of Peony in the process of aging. *J Shandong Agric Univ (Nat Sci)*, 33 (2): 166–169 (in Chinese with English abstract) [张圣旺, 郑荣生, 孟丽, 郑国生(2002). 牡丹花衰老过程中的生理生化变化. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 33 (2): 166–169]



## Effects of adding chlorine dioxide to vase solution on fresh-keeping of tree peony cut flower

NIAN Lin-Ke, MENG Hai-Yan, SU Xiao-Lin, SHI Guo-An\*

*Luoyang Key Laboratory of Peony Biology, College of Mudan, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China*

**Abstract:** Responses of fresh preservation of tree peony 'Luoyanghong' cut flowers to four chlorine dioxide doses (0, 25, 50, 100 mg·L<sup>-1</sup>) in basic vase solution was studied. The results showed that the dose of 50 mg·L<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub> could extended the vase life and best view and admiration duration of the cut flowers, improved the water balance of cut flowers, reduced the endogenous ethylene production and respiratory rate, increased the soluble protein content and antioxidase activities in petals, and inhibited the increase of membrane lipid peroxidation product malonaldehyde (MDA) content.

**Key words:** tree peony; cut flower; chlorine dioxide; vase treatment; preservation

---

Received 2017-06-16 Accepted 2017-10-19

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 31372098, U1204323) and Natural Science Foundation of Henan Province of China (Grant Nos. 162300410075, 112300410081).

\*Corresponding author (E-mail: gashi1963@163.com).