

# 外源钙对盐胁迫下菊花生理效应影响

米银法,王进涛,朱坤

河南科技大学林学院,河南洛阳 471003

**摘要** 为了探索外源钙能否缓解盐胁迫对栽培菊花的伤害及其适宜浓度,提高盐渍条件下菊花的栽培品质,以不同浓度的外源钙( $\text{CaCl}_2$ )搭配 150mmol/L NaCl 溶液分别浇灌盆栽菊花植株,研究盐胁迫条件下外源钙对菊花形态和生理效应的影响。结果表明,在 NaCl 胁迫条件下,经  $\text{CaCl}_2$  处理植株较无  $\text{CaCl}_2$  处理植株(对照)盛花期延长 2d;处理 30d 后,植株鲜重/干重比值增加 7.2%~33.3%;叶内丙二醛(MDA)含量降低 6.6%~26.0%;过氧化物酶(POD)活性增加 17.4%~67.8%;超氧化物歧化酶(SOD)活性增加 1.4%~2.7%;叶绿素(a+b)含量增加 10.7%~70.0%。外源  $\text{CaCl}_2$  显著提高了盐胁迫下的菊花抗性,其中以 1mmol/L  $\text{CaCl}_2$  效果最佳。

**关键词** 菊花;外源钙;耐盐性;盐胁迫

**中图分类号** S681.9

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)17-0083-04

## Physiological Effect of Exogenous Calcium on Chrysanthemum Under the Salt Stress

MI Yinfa, WANG Jintao, ZHU Kun

Forestry College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan Province, China

**Abstract** Chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.) plants were treated with a solution containing different concentrations of  $\text{CaCl}_2$  and 150mmol/L of NaCl by watering. After 30 days, the period of bloom of chrysanthemum, the content of malondialdehyde (MDA), the activity of peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD), and the chlorophyll(a+b) in the leaves were determined. Results show that with the treatment of chrysanthemum plants by both chemicals NaCl and  $\text{CaCl}_2$ , as compared with the treatment by NaCl only, the flowering period is increased by 2 days, the fresh weight/dry weight ratio is increased by 7.2%~33.3%, the content of POD is increased by 17.4%~67.8%, and the activity SOD is enhanced by 1.4%~2.7%, the chlorophyll(a+b) content is increased by 10.7%~70.0%, but the content of MDA is decreased by 6.6%~26.0% in leaves. It is concluded that: (1) The application of 0~2mmol/L of exogenous calcium under salt stress would enhance the activity of SOD and POD remarkably. Decrepitude degrees of the cell membrane could also be alleviated distinctly. 2mmol/L of exogenous calcium is the best concentration to prolong the floral organ's life span. (2) The application of exogenous calcium under salt stress would prolong the profuse flowering period of chrysanthemum for about 2 days at the concentration of 1mmol/L of  $\text{CaCl}_2$ . (3) In the mean time, under salt stress, the application of exogenous calcium could increase chlorophyll contents in the new leaves of chrysanthemum. In a word, this experiment shows that exogenous calcium could enhance salt tolerance of chrysanthemum plants, and 1mmol/L of  $\text{CaCl}_2$  produces the best effect.

**Keywords** *Chrysanthemum morifolium* Ramat.; exogenous calcium; salt tolerance; salt stress

### 0 引言

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)属多年生草本植物,是长期人工选择培育的名贵观赏花卉,起源于中国,并逐步传遍世界<sup>[1]</sup>。菊花主要采用集约化设施栽培,但若灌溉和施肥不当,极易发生土壤次生盐渍化。此外,许多地方土壤本身

过度盐渍化,都会严重影响菊花的生产和品质。

钙不仅是植物生长必需的大量营养元素之一,还是偶联胞外信号与胞内生理生化反应的第二信使,是植物代谢和发育的主要调控者。同时研究认为,适量的钙离子能降低质膜透性,阻止胞内钾离子的外渗和钠离子的进入,从而提高植

收稿日期:2010-06-24

基金项目:河南科技大学博士科研基金项目(09001473)

作者简介:米银法,讲师,研究方向为园艺(林)植物抗性生理,电子信箱:jimiapple@126.com

物的耐盐性,促进植物的生长<sup>[2]</sup>。而盐胁迫条件下施加适量的外源钙,一方面可以缓解因钙不足造成的矿质营养胁迫;另一方面可以增加细胞质膜的稳定性和钙信号系统的正常发生和传递,从而维持细胞内离子平衡<sup>[3]</sup>。

有关钙元素对缓解盐胁迫的报道,近年来多集中在大田作物上,如小麦<sup>[4]</sup>、杂交油菜<sup>[5]</sup>、草莓<sup>[6]</sup>等。关于外源钙能否缓解盐胁迫对栽培菊花的伤害及其适宜浓度,目前尚未看到相关报道,为此,开展此方面相关研究,对菊花的盐渍栽培及品质提高具有重要的理论和实践意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

菊花品种为“国华白越山”,购自花卉市场。

### 1.2 实验设计

选长势均一的盆栽菊花试材,室内适应处理 3d 后,按下列处理浓度和组配配制溶液。试验共设 5 个处理。每个处理 10 个重复。具体分组如下:

CK;0mmol/L NaCl+0mmol/L CaCl<sub>2</sub>;

处理 1;150mmol/L NaCl+0.1mmol/L CaCl<sub>2</sub>;

处理 2;150mmol/L NaCl+0.2mmol/L CaCl<sub>2</sub>;

处理 3;150mmol/L NaCl+0.5mmol/L CaCl<sub>2</sub>;

处理 4;150mmol/L NaCl+1mmol/L CaCl<sub>2</sub>;

处理 5;150mmol/L NaCl+ 2mmol/L CaCl<sub>2</sub>。

### 1.3 方法

试材室内适应处理 3d 后,每 3d 对菊花植株浇灌 1 次处理液,每株每次浇 50mL,共浇灌 14 次。

#### 1.3.1 菊花盛花期的测定

以菊花头状花序外轮(由外至内第 1、2 轮)花瓣张开角度超过 90°露出蕊心时开始,以外轮花瓣出现失水萎蔫为结束,统计记录并作为菊花开花的盛花期。

#### 1.3.2 菊花植株鲜重/干重测定的方法

胁迫处理 30d 后,每处理随机取 4 株,将植株带根洗净后,吸水纸擦干水分后称量鲜重;随后将植株放置于 105℃杀青 15min,然后于 75℃烘干至恒重,用于称量干重。参照孔祥生等描述的方法<sup>[7]</sup>。

#### 1.3.3 生理指标测定

处理第 30 天取上部节位叶片,立即置于-24℃条件下冷冻保存,用于各生理指标测定。

丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、叶绿素含量(Chl(a+b)),参照高俊凤等<sup>[8]</sup>的方法测定。

#### 1.3.4 统计方法

数据用 Excel 和 DPS 软件,Tukey 法进行多重比较处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 钙处理对盐胁迫下菊花盛花期影响

由图 1 所示,对照条件下,菊花的盛花期为 14d,而盐胁迫

条件下菊花的盛花期显著被抑制。在各盐胁迫处理中,未施用 CaCl<sub>2</sub> 的处理 1 盛花期最短,仅 11d,而处理 2(0.2mmol/L CaCl<sub>2</sub>)、处理 3(0.5mmol/L CaCl<sub>2</sub>)、处理 4(1.0mmol/L CaCl<sub>2</sub>)、处理 5(2.0mmol/L CaCl<sub>2</sub>)的盛花期依次为 12、12、13、12d,较处理 1 盛花期都有所延长。可见,外施适量的 CaCl<sub>2</sub> 可以显著延长盐胁迫条件下菊花的盛花期。其中,处理 4 中的 CaCl<sub>2</sub> 的浓度为 1mmol/L 时,延长的时间最长,达 2d。

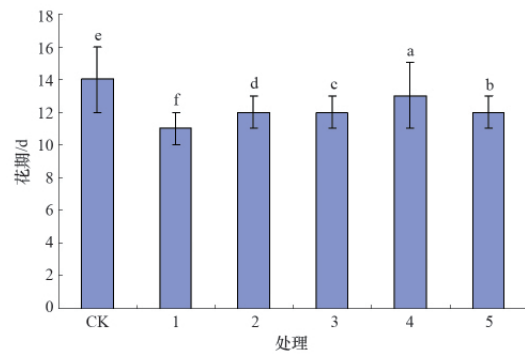


图 1 钙处理对盐胁迫下菊花盛花期的影响

Fig. 1 Effect of exogenous calcium on the chrysanthemum bloom period under salt stress

注:图中不同字母表示处理间有显著差异( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different letters indicate significance level of difference ( $P<0.05$ ), the same applies to figures that follow.

### 2.2 钙处理对盐胁迫下菊花鲜重/干重比值的影响

不同钙处理对盐胁迫下菊花鲜重/干重比值的影响如图 2 所示。在盐胁迫条件下,菊花的鲜重/干重比值显著下降,不施外源钙的处理 1 较对照降幅最大,达 31.6%;在施外源钙的各处理中,处理 4 较对照的降幅最小,为 8.9%。施用外源钙后,其鲜/干重比值均较单纯的盐胁迫处理显著增加。其中,处理 4 比值最大,比处理 1 增加 33.3%;处理 2、处理 3、处理 5 较处理 1 分别增加 7.2%、10.5%、9.5%。可见,施用外源钙后,均能显著增加菊花在盐胁迫条件下菊花植株的干物质含量,增强其耐盐能力。其中 CaCl<sub>2</sub> 的浓度为 1mmol/L(处理 4)时,对菊花植株干物质含量增加的最大。

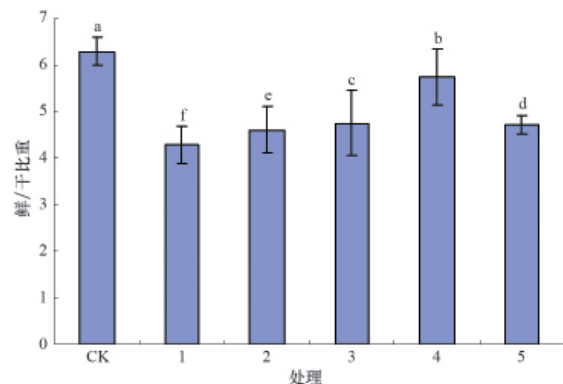


图 2 钙处理对盐胁迫下菊花鲜重/干重的影响

Fig. 2 Effect of exogenous calcium on the chrysanthemum dry/fresh weight under salt stress

### 2.3 钙处理对盐胁迫下菊花叶片 MDA 含量影响

由图 3 可知,盐胁迫下菊花叶片 MDA 含量显著上升,但不同浓度的外源钙均能显著降低盐胁迫下叶片内 MDA 含量。总体讲,在 0~2.0mmol/L, CaCl<sub>2</sub> 浓度越大,MDA 含量降低的幅度就越大。施用外源钙后,处理 2、处理 3、处理 4、处理 5 叶内 MDA 含量较单纯的盐处理 1 分别降低了 6.6%、13.5%、26.0%、22.2%,且各处理之间差异显著 ( $P<0.05$ )。可见,施用外源钙可显著缓解盐胁迫条件下菊花叶片遭受的伤害。在各处理中,缓解效果最好的是处理 4(CaCl<sub>2</sub> 浓度为 1mmol/L),说明施用 1mmol/L CaCl<sub>2</sub> 时,菊花的耐盐性效果最好。

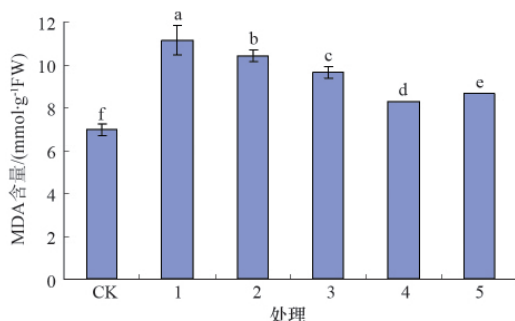


图 3 钙处理对盐胁迫下菊花叶 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effect of exogenous calcium on MDA content in chrysanthemum leaves under salt stress

### 2.4 钙处理对盐胁迫下菊花叶片 POD 和 SOD 活性影响

不同钙处理对盐胁迫下菊花叶片 POD 和 SOD 活性的影响如图 4 所示。盐胁迫下,菊花叶片 POD、SOD 活性显著下

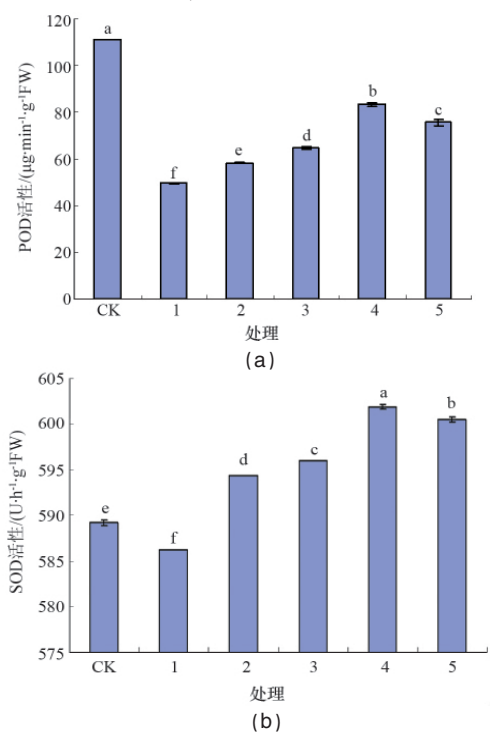


图 4 钙处理对盐胁迫下菊花叶片 POD 活性 (a) 和 SOD 活性 (b) 的影响

Fig. 4 Effect of exogenous calcium on activity of POD (a) and SOD (b) in chrysanthemum leaves under salt stress

降,但加入外源钙后随着其浓度的增加,POD、SOD 活性总体呈上升趋势。其中 CaCl<sub>2</sub> 为 1mmol/L(处理 4)时 POD、SOD 活性较处理 1 分别增加 67.8%、2.7% ( $P<0.05$ )。由此可见,CaCl<sub>2</sub> 浓度为 1mmol/L 时对菊花叶 POD、SOD 保护酶活性提高效果更为显著,尤其是 POD 活性增加的幅度更大。

### 2.5 钙处理对盐胁迫下菊花叶片叶绿素含量影响

盐胁迫条件下,菊花的叶绿素合成受到严重破坏。加入不同浓度 CaCl<sub>2</sub> 的各处理的叶绿素(a+b)含量则显著提高,其中处理 2 至处理 5 分别比处理 1 的叶绿素总量增加 10.7%、32.7%、70.5%、39.1%。可见,菊花遭受盐胁迫时,外施浓度为 0.5~2.0mmol/L CaCl<sub>2</sub> 可基本使得叶绿素总量达到对照水平,从而缓解叶片盐胁迫下光合作用的降低(图 5)。

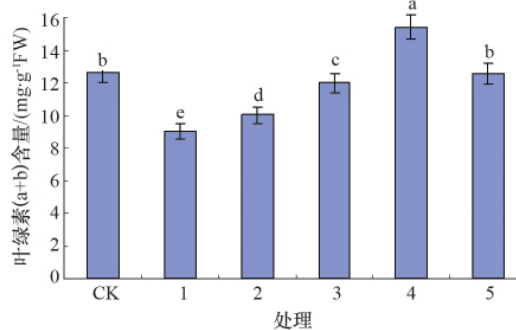


图 5 钙处理对盐胁迫下菊花叶片叶绿素(a+b)含量影响

Fig. 5 Effect of exogenous calcium on chlorophyll(a+b) content in chrysanthemum leaves under salt stress

## 3 讨论

遭受逆境胁迫时植物活性氧代谢平衡会遭受破坏,致使 O<sub>2</sub> 积累,引起膜质过氧化产物 MDA 积累,产生大量活性氧。活性氧一般含 2~3 个电子,通常包括超氧化物自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)、羟自由基(·OH)、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)等形式,它们都有比氧更活泼的化学反应活性<sup>[9]</sup>。SOD 和 CAT 是减少植物体受氧自由基伤害的重要抗氧化酶,可有效清除 O<sub>2</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 ·OH<sup>[10]</sup>。其中,SOD 是抗氧化防御系统的第一道防线,主要清除剂 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 并将 O<sub>2</sub><sup>-</sup> 歧化为 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 O<sub>2</sub><sup>[11]</sup>,而后 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 被 CAT 分解成 H<sub>2</sub>O 和 O<sub>2</sub>,从而抑制膜脂氧化和伤害<sup>[12]</sup>。而 POD 催化 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 形成水,低浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 主要是 POD 在氧化相应基质时被消化<sup>[13]</sup>。植物体内的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的清除需要依赖 CAT、POD 两重保护酶的共同作用,组成酶系统的各种酶活性的高低,可以基本反映出植物体内活性氧清除能力或抗氧化能力的强弱<sup>[14]</sup>。

本试验研究结果表明,遭受盐胁迫时,菊花植株加入 0~2.0mmol/L 的外源 CaCl<sub>2</sub> 后,SOD 和 POD 活性显著增加,其中加入 2.0mmol/L CaCl<sub>2</sub> 时,SOD、POD 活性分别较单纯的盐胁迫增加 2.7% ( $P<0.05$ )、67.8% ( $P<0.05$ ) 且 MDA 含量降低了 26.0% ( $P<0.05$ )。MDA 含量越低,表明细胞的衰老程度越轻,有利于植物花器官寿命的延长<sup>[15-16]</sup>。

由此可见,施用外源 CaCl<sub>2</sub> 显著缓解了盐胁迫下菊花受

到的伤害。外部形态表现为盛花期延长 2d; 植株干物质鲜重/干重比值增加 7.2%~33.3% ( $P < 0.05$ ) (图 2)。同时, 与光合作用密切相关的叶绿素 (a+b) 含量也增加了 10%~70%。这与盐胁迫 7d 后, 外源钙可显著提高芸薹属植物幼苗叶绿素含量<sup>[17]</sup>的结论一致。这可能与钙能保证叶绿体膜结构的稳定性<sup>[18]</sup>, 进而提高叶绿素含量有关。

菊花植株在盐胁迫下, 施入外源钙会引起细胞外  $\text{Ca}^{2+}$  通过质膜上的  $\text{Ca}^{2+}$  通道和  $\text{Ca}^{2+}$  泵迅速进入细胞, 使细胞内浓度快速提高, 细胞内游离  $\text{Ca}^{2+}$  浓度的变化可以直接影响到菊花细胞的生理代谢<sup>[19]</sup>。其次,  $\text{Ca}^{2+}$  还作为植物生长所必需的大量元素和偶联胞外信号与胞内生理反应的第二信使, 在调节植物细胞对逆境反应和逆境适应性过程中发挥着重要作用<sup>[20]</sup>。另外, 钙的作用机制可能与其特殊的生理效应密切相关,  $\text{Ca}^{2+}$  可增加质膜的稳定性和钙信号系统的正常发生和传递, 从而维持细胞内离子平衡, 降低质膜透性, 阻止胞内钾离子的外渗和钠离子的进入。另外, 环境因子的变化 (如盐胁迫) 还会引起细胞质中游离  $\text{Ca}^{2+}$  活度增加, 改变体内蛋白质激酶的活性, 诱导相关基因的表达或调节  $\text{H}^+$ -ATP 酶活性诱导相关基因的表达<sup>[21]</sup>。上述都可能是引起盐胁迫下菊花的耐盐性增强的内在原因, 今后尚需做进一步深入研究。

#### 4 结论

遭受盐胁迫时, 菊花植株加入 0~2.0mmol/L 的外源  $\text{CaCl}_2$  后, SOD 和 POD 活性显著增加, 植株细胞的衰老程度显著减轻, 其中以 2.0mmol/L  $\text{CaCl}_2$  更有利于花器官寿命的延长; 施用外源  $\text{CaCl}_2$  后显著延长盐胁迫条件下菊花的盛花期, 其中以浓度 1mmol/L 最佳, 延长的时间最长为 2d; 在盐胁迫条件下, 外源钙还可显著提高菊花植株幼苗叶绿素含量。

#### 参考文献 (References)

- [1] 张莉俊, 戴思兰. 菊花种质资源研究进展 [J]. 植物学报, 2009, 44 (5): 526-535.  
Zhang Lijun, Dai Silan. *Chinese Bulletin of Botany*, 2009, 44(5): 526-535.
- [2] 周芬, 曾长立, 王建波. 外源钙降低拟南芥幼苗盐害效应[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(2): 179-182.  
Zhou Fen, Zeng Changli, Wang Jianbo. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, 22(2): 179-182.
- [3] 戴高兴, 彭克勤, 皮灿辉. 钙对植物耐盐性的影响 [J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 97-101.  
Dai Gaoxing, Peng Keqin, Pi Canhui. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(3): 97-101.
- [4] 王宝增, 孙国微. 外源钙对小麦幼苗耐盐性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1070-1072.  
Wang Baozeng, Sun Guowei. *Hubei Agricultural Sciences*, 2009, 48(5): 1070-1072.
- [5] 陈全战, 张边江, 周峰, 等. 钙对盐胁迫下油用向日葵幼苗光合生理特性的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(2): 149-152.  
Zhang Quanzhan, Zhang Bianjiang, Zhou Feng, et al. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(2): 149-152.
- [6] 李青云, 葛会波, 胡淑明, 等. 盐胁迫下钙对草莓叶片脂肪酸含量及组成的影响[J]. 河北农业大学学报, 2004, 6(2): 145-147.  
Li Qingyun, Ge Huibo, Hu Shuming, et al. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2004, 6(2): 145-147.
- [7] 孔祥生, 易现峰. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 1-2.  
Kong Xiangsheng, Yi Xianfeng. *Phytophysiology experimental technique* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 1-2.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 196-197.  
Gao Junfeng. *Phytophysiology experimental technique* [M]. Xi'an: World Publishing Corporation, 2000: 196-197.
- [9] 利容千, 王建波. 植物逆境细胞及生理学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002: 2-10.  
Li Rongqian, Wang Jianbo. *Plant stress cytology and physiology* [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002: 2-10.
- [10] 唐海溶. 球形棕囊藻的营养生理及两种重要的抗氧化酶-SOD 和 CAT 活性的研究[D]. 广州: 暨南大学水生生物研究所, 2006: 13.  
Tang Hairong. The study on nutrient physiology and two important anti-oxidant enzyme -SOD and CAT activity of phaeocystis globosa [D]. Guangzhou: Institute of Hydrobiology, Jinan University, 2006: 13.
- [11] Ken C F, Hsiung T M, Huang Z X, et al. Characterization of the Fe/Mn-superoxide dismutase from diatom *Thalassiosira weissflogii*: Cloning, expression, and property[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(5): 1470-1474.
- [12] Tripathi B N, Metha S K, Amara Anshu, et al. Oxidative stress in *scenedesmus* sp. during short- and long-term exposure to  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  [J]. *Chemosphere*, 2006, 62(4): 538-544.
- [13] 张志, 刘敏, 梁艳, 等. 盐胁迫对 3 种冷季型草坪草生长的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1877-1880.  
Zhang Zhi, Liu Min, Liang Yan, et al. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1877-1880.
- [14] 赵可夫, 李法增. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 104-110.  
Zhao Kefu, Li Fazeng. *Chinese halophyte* [M]. Beijing: Science Press, 1999, 104-110.
- [15] 刘萍, 丁义峰, 常云霞. STS 处理对牡丹花部分生理生化作用的影响 [J]. 广西植物, 2008, 28(1): 91-94.  
Liu Ping, Ding Yifeng, Chang Yunxia. *Guihaia*, 2008, 28(1): 91-94.
- [16] 刘萍, 徐克东, 孙莉萍. 木槿花期花瓣生理生化变化的研究 [J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 86-89.  
Liu Ping, Xu Kedong, Sun Liping. *Journal of Henan Normal University: Natural Science Edition*, 2008, 36(3): 86-89.
- [17] 曾长立, 董元火. 外源钙对盐胁迫下芸薹属植物幼苗的生理效应[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(4): 433-437.  
Zeng Changli, Dong Yuanhuo. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(4): 433-437.
- [18] 戴高兴, 彭克勤, 皮灿辉. 钙对植物耐盐性的影响 [J]. 中国农学通报, 2003, 19(3): 97-101.  
Dai Gaoxing, Peng Keqin, Pi Canhui. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003, 19(3): 97-101.
- [19] Pandey O P, Asha K, Hoque H. NAD-alcohol dehydrogenase and superoxide dismutase activity in *Zea mays* under hypoxic and post-hypoxic stress regime[J]. *Plant Biology*, 2000, 27(1): 71-73.
- [20] Xiong L M, Schumaker K S, Zhu J K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress[J]. *Plant Cell*, 2002(14): 165-183.
- [21] Lanteri M L, Pagnussat G C, Lamattina L. Calcium and calcium-dependent protein kinases are involved in nitric oxide- and auxin-induced adventitious root formation in cucumber [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(6): 1341-1351.

(责任编辑 吴晓丽)