

# 不同浓度 $\text{CaCl}_2$ 对钝叶瓦松形态和生理指标的影响\*

唐兴义 俞红强 关爱农 义鸣放\*\*

中国农业大学观赏园艺与园林系, 北京 100193

**摘要** 以钝叶瓦松幼苗为材料, 研究不同浓度  $\text{CaCl}_2$  处理对钝叶瓦松形态和生理指标的影响。结果表明: 钝叶瓦松在 5~10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下, 叶色浓绿, 株型紧凑; 冠幅、叶面积和根长与对照比略有增加, 叶绿素含量明显增加, 其他生理指标与对照比均无显著差异。在 20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  浓度处理下, 与对照相比, 叶面积相近, 根长增加, 冠幅下降, 但差异均未达显著水平; 电导率、MDA 含量、抗氧化酶活性(SOD、POD、CAT)均有一定程度的增加, 相对含水量、叶绿素含量则略有下降。在 40 和 50 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  浓度处理下, 叶片脱落且黄化萎蔫, 株型松散, 与对照相比, 冠幅、叶面积和根长显著降低; 电导率、MDA 含量、抗氧化酶活性显著增加, 相对含水量和叶绿素含量显著下降。这些结果表明, 钝叶瓦松对  $\text{CaCl}_2$  胁迫具有一定的耐性, 在 5~10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  浓度范围内生长良好, 超过 20 mmol/L 浓度生长明显受到抑制。

**关键词** 钝叶瓦松;  $\text{CaCl}_2$  胁迫; 形态; 生理指标

**中图分类号** S 682.34 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2010)05-0618-05

景天科瓦松属植物共 13 种, 中国有 10 种 2 变种, 其中钝叶瓦松为该属的模式种<sup>[1]</sup>。钝叶瓦松 (*Orostachys malachophyllus* (Pall.) Fisch.) 株高 5~20 cm, 绿期长, 二年生或多年生草本植物; 第 1 年叶片莲座状, 花期 8—11 月。多生长于岩石缝隙, pH 值较高的钙质化土壤中。由于其抗性强, 管理粗放, 花型美观, 是优良的园林绿化植物材料, 不仅可盆栽观赏, 还可应用于岩石园、屋顶绿化等。另外该属植物还是重要的中药材。但是钝叶瓦松在我国仍处于自生自灭的野生状态<sup>[2]</sup>, 如果仅以瓦松入药, 很可能导致瓦松资源的枯竭<sup>[3]</sup>。

国外对景天科瓦松属的研究比较深入<sup>[4-6]</sup>, 国内的研究主要集中在形态解剖学<sup>[7]</sup>、药用价值<sup>[3]</sup>、景天酸代谢方面<sup>[8-9]</sup>, 而对  $\text{CaCl}_2$  胁迫逆境生理和引种栽培方面的研究未见报道。本文以钝叶瓦松为材料, 研究  $\text{CaCl}_2$  胁迫对钝叶瓦松形态和生理指标的影响, 旨在初步探讨钝叶瓦松对  $\text{CaCl}_2$  胁迫的响应机制, 为园林引种栽培提供理论和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2009 年 2 月挑选健康饱满的种子, 用 10% 次氯

酸钠消毒 5 min, 蒸馏水冲洗, 待种子阴干后撒播于中国农业大学科学园实验温室种植床内。2009 年 9 月挑选生长一致的健壮植株, 置于 1/2 Hoagland 营养液预培养, 进行适应性生长。水培期间营养液每 3 d 更换 1 次, 7 d 后开始  $\text{CaCl}_2$  胁迫试验。

### 1.2 试验方法

1) 不同浓度  $\text{CaCl}_2$  处理。设计 6 个浓度梯度:

A: 1/2 Hoagland 营养液(对照);

B: 1/2 Hoagland 营养液 + 5 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ ;

C: 1/2 Hoagland 营养液 + 10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ ;

D: 1/2 Hoagland 营养液 + 20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ ;

E: 1/2 Hoagland 营养液 + 40 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ ;

F: 1/2 Hoagland 营养液 + 50 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ 。

每个处理 5 株, 重复 3 次, 共处理 15 d。分别于 0、3、6、9、12、15 d 测叶片的相对含水量、相对电导率、叶绿素和 MDA 含量。同时混合取样, 迅速投入液氮中, 于 -70 °C 冰箱内保存, 待测 SOD、POD、CAT 活性等生理指标。

2) 测定方法。

① 形态指标观测。用游标卡尺测量冠幅和根长。冠幅是测量垂直交叉的直径, 求平均值。

② 叶面积测定: 对钝叶瓦松上部第三轮叶片, 利

用扫描仪获得数字图片,采用 Photoshop 软件处理分析并计算叶面积<sup>[10-12]</sup>。

③生理指标测定。酶液制备:称取 0.5 g 植物叶片,放入预冷的研钵内,液氮研磨成粉状物后,将其倒入 10 mL 离心管中,然后加入缓冲液(内含 50 mmol/L pH 7.0 磷酸缓冲液,1% PVP,0.1 mmol/L EDTA-Na<sub>2</sub>)5 mL,冰浴上浸提 15 min,然后在 12 000 r/min,4 °C 离心 20 min,上清液用于抗氧化酶的测定。

④叶片相对含水量用烘干法;相对电导率用 DDSJ-308A 电导率仪测定;叶绿素含量用 80% 丙酮萃取;MDA 含量采用 TBA 法;NBT 法测 SOD 活性;愈创木酚法测 POD 活性;H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 法测 CAT 活性<sup>[13]</sup>。

### 1.3 数据分析

数据、图表采用 DPS 软件和 Excel 软件处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 CaCl<sub>2</sub> 对钝叶瓦松生长和外观形态的影响

1)对冠幅和叶面积的影响。从图 1 可以看出,经过 5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 15 d 后,冠幅与对照相比几乎相等;20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 9 d 后冠幅开始下降,15 d 时较对照减少 5.8%,但与对照相比差异不显著( $P < 0.05$ );40 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 9 d 后冠幅迅速下降,至 15 d 时减少至对照的 73.5%;50 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 6 d 后冠幅就迅速缩小,至 15 d

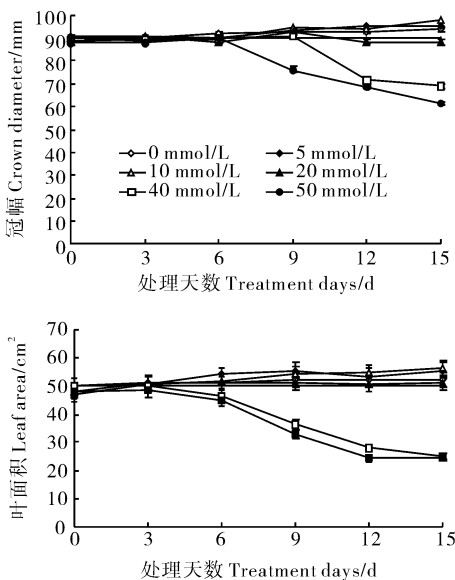


图 1 CaCl<sub>2</sub> 处理对冠幅和叶面积的影响  
Fig. 1 Effect of CaCl<sub>2</sub> treatments on crown diameter and leaf area

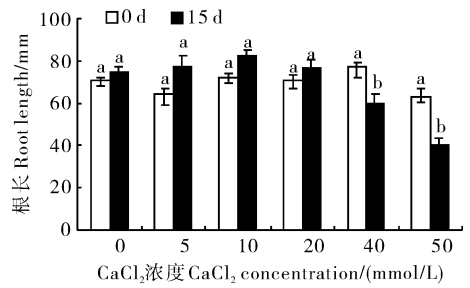


图 2 CaCl<sub>2</sub> 处理对根长的影响

Fig. 2 Effect of CaCl<sub>2</sub> treatments on the length of roots  
时减少至对照的 65.6%,两者与对照之间差异显著( $P < 0.05$ )。经过 5、10、20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 15 d,叶面积与对照相比无显著差异。40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 3 d 时叶面积开始减小,6 d 后急剧下降,至 15 d 时减少至对照的 47.3%。

2)对根长的影响。从图 2 可以看出,5、10、20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 15 d 后,钝叶瓦松根长与对照比分别增加了 2.7%、9.3%、2.0%,但增长量均未达到显著水平( $P < 0.05$ )。40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 15 d 后根长生长量与对照相比分别减少了 20.7%和 47.4%,且达到显著水平。

3)对外观形态的影响。从图 3 可以看出,与对照相比,钝叶瓦松经 5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 6 d 时叶色浓绿,株型紧凑;处理 15 d 时冠幅略有增加,株型更加紧凑。20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 6 和 15 d 时,冠幅缩小,株型较稀疏。40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 6 d 时,叶片开始脱落且出现较严重的黄化现象,处理 15 d 时,叶片严重脱落,植株枯黄萎焉。

### 2.2 不同浓度 CaCl<sub>2</sub> 处理对钝叶瓦松生理指标的影响

1)对相对含水量、电导率、叶绿素和 MDA 含量的影响。植物组织的相对含水量是衡量植物生理状态的一个重要指标,在一定程度上可反映出植物抗逆能力的大小。图 4 表明,与对照相比,经 5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理,钝叶瓦松叶片相对含水量无变化;20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理 9 d 后相对含水量开始下降,但是至 15 d 时比对照仅下降了 4.1%,无显著差异;经 40 和 50 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理,叶片相对含水量开始下降的时间比 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理的分别提前了 3 和 6 d,至 15 d 时分别比对照下降了 13.2%和 20.7%,差异显著。而此时高浓度处理的根长与对照相比也明显减少(图 2),说明由于钝叶瓦松遭受高浓度 CaCl<sub>2</sub> 胁迫引起根系过度失水,最终导致叶片相对含水量的下降。

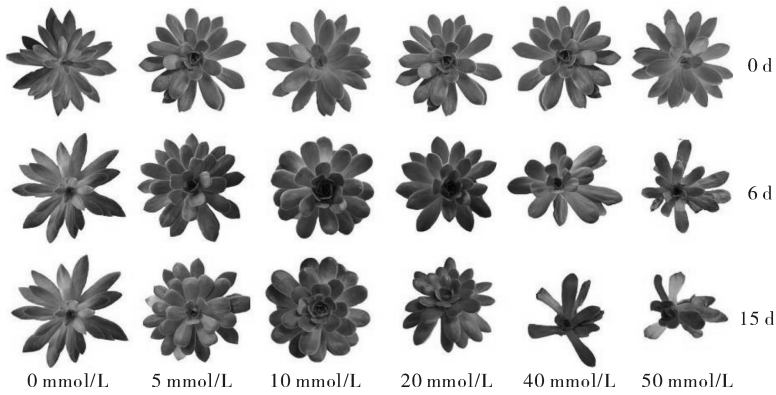


图 3  $\text{CaCl}_2$  处理 0、6、15 d 纯叶瓦松外观形态的变化

Fig. 3 Changes of surface morphology with  $\text{CaCl}_2$  treatments after 0, 6, 15 d

叶绿素直接参与光合作用,而光合作用又是植株生长发育的物质基础,因此叶绿素含量的高低对植物的生长发育意义重大。在 5、10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,总叶绿素含量随处理时间呈上升趋势,至 15 d 时分别上升为对照的 1.67 和 1.63 倍;20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,0~6 d 总叶绿素含量缓慢上升,6 d 后开始下降,9 d 时降至对照的水平且基本保持不变。在 40、50 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,总叶绿素含量 6 d 后开始快速下降,至 15 d 时降至对照的 53% 和 46%,差异显著。

MDA 是膜脂氧化的最终产物,积累量反映了膜脂过氧化程度的高低,其含量的增加,表明膜质发生过氧化,细胞离子渗漏,严重时可导致植物死亡<sup>[13]</sup>。钝叶瓦松在 5、10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  胁迫下,MDA 含量维持在低水平,与对照相等;在 20

mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,随处理时间 MDA 含量呈先上升后下降的趋势,即 9 d 达到峰值后开始下降,15 d 时含量为对照的 1.66 倍;40、50 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理后,MDA 含量一直呈上升趋势,15 d 时 MDA 值比对照增加了 3.65 倍和 4.05 倍,表明此时叶片组织由于细胞膜质发生过氧化而发生了大量离子渗漏。

植物受到外界胁迫后,质膜透性会发生改变,测定叶片电导率的大小可确定植株受伤害程度的大小。钝叶瓦松在 5、10 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,电导率与对照相比无差异;20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理 6 d 后开始上升,15 d 时电导率比对照上升了 35%,表明此浓度处理的钝叶瓦松受到一定程度的伤害;在 40、50 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  处理下,电导率均在 3 d 后迅速上升,15 d 时分别是对照的 2.4 倍和 2.8 倍,表明高浓度  $\text{CaCl}_2$  处理对植株已经造成了严重的伤害。

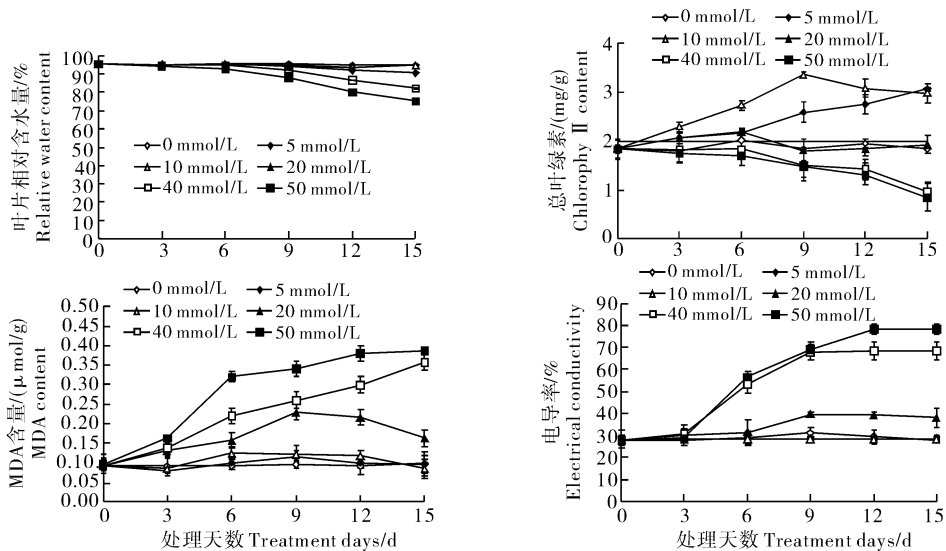


图 4  $\text{CaCl}_2$  处理对相对含水量、总叶绿素、MDA 含量和电导率的影响

Fig. 4 Effect of  $\text{CaCl}_2$  treatments on the content of relative water, Chlorophyll II, MDA and electrical conductivity

2) 对抗氧化酶活性的影响。SOD是细胞体内的第一条防线,外界胁迫可使SOD活性增强;但随着外界胁迫时间的延长,细胞内多功能受到破坏,生理代谢紊乱,SOD活性会受到抑制。图5表明,与对照相比,钝叶瓦松在5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,SOD活性无显著差异;在20、40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,均随胁迫时间的延长活性增强,至15 d时其活性分别上升至对照的1.6倍、5.1倍和6.3倍。

POD是植物体抗氧化酶系统中重要的酶。它能协同其他酶一起清除H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,起保护和稳定生物膜的作用。钝叶瓦松在5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,POD活性保持在较低水平且与对照无差异;20

mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理3 d后POD活性增强,9 d达到峰值后开始下降;40和50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,POD活性均随时间延长不断升高,但是50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理12 d活性达到最高后陡然下降,表明此时POD开始失去活性。

CAT活性大小与植物代谢强度及抗寒、抗病能力有一定关系。与SOD和POD活性相比,钝叶瓦松的CAT活性很低。6 d前各浓度处理的CAT活性变化不大,此后在5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,CAT活性上下波动;而在20、40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>处理下,CAT活性均为上升至9 d出现峰值后快速下降。

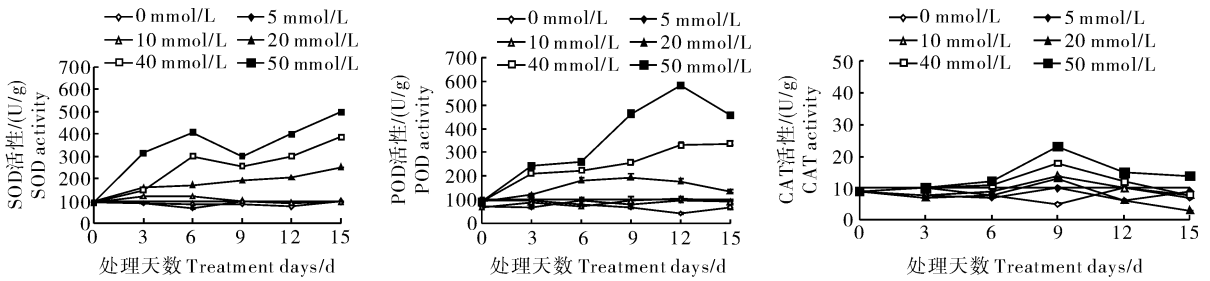


图5 CaCl<sub>2</sub>处理对抗氧化酶活性的影响

Fig. 5 Effect of CaCl<sub>2</sub> treatments on antioxidative enzyme activities

### 3 讨论

本试验结果表明钝叶瓦松对CaCl<sub>2</sub>胁迫具有一定的耐性,适应CaCl<sub>2</sub>浓度范围是5~20 mmol/L,其中最适浓度为5、10 mmol/L CaCl<sub>2</sub>,超过20 mmol/L,钝叶瓦松外观形态表现为冠幅缩小,叶片脱落且枯黄萎蔫,因此20 mmol/L浓度为钝叶瓦松生长耐受的上限。但是本试验仅从耐受CaCl<sub>2</sub>的角度模拟分析了自然条件下决定钝叶瓦松特殊分布的成因,其他因素对其生境分布的影响还有待于进一步研究。

与对照相比,在5~10 mmol/L低浓度范围内,钝叶瓦松形态和生理指标与对照基本无差异,原因一方面可能是Ca<sup>2+</sup>作为第二信使参与了植物体内许多生理过程<sup>[14-15]</sup>,加快体内物质的合成,另一方面氯离子也是植物必需的重要的微量元素,对植物正常的生长和发育过程起着非常重要的作用<sup>[16]</sup>,两者的相互作用促进了植株叶面积、冠幅和根长的生长。在20 mmol/L中等浓度处理下,植株根长受到一定程度盐分胁迫的影响,使得冠幅下降,但叶面积与对照基本无差异。生理上植物产生伤害作用的破坏性物质(MDA),被自身产生的保护性酶类

(SOD、POD、CAT)的保护作用抵消;电导率与对照相比增加,表明细胞仍然受到一定程度的伤害;叶片相对含水量与对照相比下降,光合作用影响程度较小;40、50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>高浓度处理下,由于根部组织遭受盐害胁迫,严重抑制了根部对矿质元素的吸收,进而使地上部分冠幅和叶面积等外观指标也受到抑制;生理上表现为MDA含量、抗氧化酶活性与对照相比显著增加,但是POD活性12 d活性达到最高后下降,CAT活性在9 d活性达到最高后下降,并与对照相比差异显著,表明由于植物自身所产生的保护性酶已不足以平衡破坏性物质(MDA)对植物产生的伤害,电导率上升,总叶绿素和相对含水量显著下降,因此导致植株不可逆的伤害。

### 参 考 文 献

[1] 傅书遐,傅坤俊. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1984:40.  
 [2] 郑艳,徐璐珊. 中国瓦松属的药用资源[J]. 中国中医药信息杂志,2003,10(11):41-59.  
 [3] 温学森,任正伟,王子伟,等. 瓦松药用历史及存在问题[J]. 中药材,2008,31(1):158-161.  
 [4] LEE C. Growth and flowering of *Orostachys japonicus* A. Berger as affected by phosphorus and potassium fertilization[J].

- Korean Journal of Medicinal Crop Science, 2008, 16(3): 144-149.
- [5] LEE C. W. Growth and flowering of *Orostachys japonicus* A. Berger affected by transplanted seedling size[J]. Korean Journal of Medicinal Crop Science, 2006, 14(3): 153-157.
- [6] HONG D O. Shading effect on growth and flowering of *Orostachys japonicus*[J]. Korean Journal of Crop Science, 2006, 14(4): 239-243.
- [7] 郑艳, 巩劼, 陈士超, 等. 瓦松的形态解剖学研究[J]. 植物研究, 2003, 23(2): 164-169.
- [8] 张维经. 瓦松的 CAM 活性[J]. 西北植物学报, 1987, 7(1): 17-22.
- [9] 林宏辉, 杜林方. 瓦松的 CAM 活性与 NAD—苹果酸酶的关系[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 1995, 35(2): 743-745.
- [10] 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155-158.
- [11] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711-714.
- [12] 高祥斌, 张秀省, 蔡连捷, 等. 观赏植物叶面积测定及相关分析[J]. 福建林业科技, 2009, 36(2): 231-251.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
- [14] 项俊, 陈兆波, 王沛, 等. CaCl<sub>2</sub> 对干旱胁迫下甘蓝型油菜抗旱性相关的生理生化指标变化[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(5): 607-611.
- [15] 张建霞, 李新国, 孙中海. 外源钙对柑橘抗热性的相关生理生化指标的影响[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(4): 397-400.
- [16] 张兆辉, 汪李平, 王林, 等. 外源氯对西瓜幼苗生长及离子分配的影响[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(3): 316-319.

## Effects of CaCl<sub>2</sub> on Morphological and Physiological Indices of *Orostachys malachophyllus*

TANG Xing-yi YU Hong-qiang GUAN Ai-nong YI Ming-fang  
 Department of Ornamental Horticulture and Landscape Architecture,  
 China Agricultural University, Beijing 100193, China

**Abstract** Effects of CaCl<sub>2</sub> concentration on the changes of morphological and physiological characteristics were investigated using *Orostachys malachophyllus* as experimental material. The result showed that when concentration of CaCl<sub>2</sub> ranged from 5 to 10 mmol/L, leaf color was dark green and plant types were compacted. The diameter of crown, leaf area and length of root increased a little more than that of the control. The content of chlorophyll II increased compared with that of the control but other physiological indices showed no significant difference. Under the treatment of 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub>, leaf area was approximate and length of root increased, but diameter of crown decreased with no significant difference. Electrical conductivity, MDA content and the activities of antioxidant enzymes including SOD, POD, CAT increased, while relative water and content of chlorophyll II were a little less than that of control. Under the treatment of 40 and 50 mmol/L CaCl<sub>2</sub>, leaf color became yellow and plant types got loosed. Diameter of crown, leaf area and length of root decreased remarkably. Electrical conductivity, MDA Content, antioxidant enzymes increased remarkably but relative water and content of chlorophyll II decreased remarkably. These results showed that *Orostachys malachophyllus* can tolerance 5 to 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> with nutrient solution especially better under the treatment of 5 to 10 mmol/L. But more than 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> was added to the nutrient solution, the plant growth was significantly inhibited.

**Key words** *Orostachys malachophyllus*; CaCl<sub>2</sub> stress; morphology; physiological index