

# Ca<sup>2+</sup> 调控对黄瓜幼苗耐盐性生理指标的影响

张雪艳, 李 堃, 马丽娟, 田 蕾, 高艳明, 李建设

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:**针对温室土壤盐渍化引起的作物盐害加剧问题,以温室主栽作物黄瓜为试材,在 100 mmol/L NaCl 处理条件下,设计 0、20、40、60 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理,研究了不同浓度钙源加入对黄瓜幼苗生长的渗透调节物质、抗氧化酶系统以及光合特性的影响。结果表明:盐处理 10 d 后,加入 20、40 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理较 CK 处理显著降低了超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性,但降低比率<10%;外源加入 20、40 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 可显著降低丙二醛(MDA)含量、相对电导率和伤害度,显著增加可溶性糖含量;加入 CaCl<sub>2</sub> 处理较 CK 处理显著降低植株的光合特性,其中 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 处理显著降低了植株水分利用效率。综合分析表明,外源加入 20 mmol/L CaCl<sub>2</sub> 可显著缓解盐分对黄瓜幼苗的伤害,提高其耐盐性。

**关键词:**Ca<sup>2+</sup> 调控;黄瓜;耐盐性

**中图分类号:**S 642.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)13-0005-04

土壤盐分过多使植物根际土壤溶液渗透势降低,依据水从高水势向低水势流动的原理,即植物水逆境,使植物处于生理干旱状态,造成植物生长速率下降,甚至导致植株死亡<sup>[1]</sup>。许多研究表明,外源 Ca<sup>2+</sup> 和 K<sup>+</sup> 能明

显缓解盐胁迫对作物生长的抑制<sup>[2]</sup>。膜脂过氧化物含量常被作为胁迫诱导引起的氧化毒害的指示剂<sup>[3]</sup>。丙二醛作为膜脂过氧化的指示剂,是生物膜中不饱和脂肪酸的分解产物,在盐胁迫下,丙二醛含量会显著增加<sup>[4]</sup>。

许多学者研究过缓解蔬菜盐胁迫的方法,主要是针对外源添加茉莉酸、水杨酸、脱落酸、一氧化氮、脯氨酸等物质对蔬菜幼苗盐胁迫下生理反应和适应性进行研究,证明添加这些物质能减缓盐对蔬菜幼苗的伤害,提高盐胁迫下植株体内抗氧化酶活性,降低活性氧(ROS)水平,提高幼苗的耐盐能力<sup>[5-6]</sup>。程玉静等<sup>[7]</sup>证明了黄瓜添加外源硝酸钙可通过提高 Glu-AsA 抗氧化系统和膜质子泵活性,降低活性氧对叶片的伤害,增强植株抗氧化能力,进而提高植株盐胁迫耐性。有研究表明,外源

**第一作者简介:**张雪艳(1981-),女,河北保定人,博士,讲师,现主要从事设施蔬菜栽培与生理等研究工作。E-mail:zhangxueyan123@sina.com.

**责任作者:**李建设(1963-),男,教授,现主要从事蔬菜栽培生理方面的研究工作。E-mail:jslnxcn@yahoo.com.cn.

**基金项目:**宁夏自然科学基金资助项目(NZ1164);国家自然科学基金资助项目(31101580);宁夏农业综合开发土地治理科技推广资助项目(NTKJ-2012-03,NTKJ-2012-04)。

**收稿日期:**2013-03-11

**Abstract:** Taking seedling of *Cucurbita pepo* L. 'Cuiyutezaowang' as materials, the effects of soaking seed with different concentrations of SA on growth and the activity of antioxidant enzymes of *Cucurbita pepo* L. seedling were studied. The results showed that, seed soaked with SA 0.25~1.00 mmol/L could raise the plant height, leaf area, aerial parts of the fresh weight, total root number, total root length, root fresh weight and root cap ratio of *Cucurbita pepo* L. seedling at different degrees, while all the indicators were obviously decreased when seed soaked with 4.00 mmol/L SA; seed soaked with SA 0.50~2.00 mmol/L could raise the chlorophyll content and root vigor of *Cucurbita pepo* L. seedling significantly, while they obviously decreased when seed soaked with 4.00 mmol/L SA; seed soaked with SA 0.25~1.00 mmol/L and 0.25~2.00 mmol/L could raise the SOD, POD and CAT activity of underground portion and ground of *Cumcurbita pepo* L. seedling in varying degrees, while the SOD, POD and CAT activity were decreased when seed soaked with 4.00 mmol/L SA. Seed soaked with SA of low concentration could improve the growth of *Cumcurbita pepo* L. seedling, increase its antioxidase activity; while seed soaked with SA of high concentration could inhabit its growth and antioxidase activity. Seed soaked 0.50~1.00 mmol/L worked the best.

**Key words:** salicylic acid; soaking seed; *Cucurbita pepo* L.; growth; antioxidant enzymes

$\text{Ca}^{2+}$  通过提高盐胁迫下水稻<sup>[8]</sup>、玉米<sup>[9]</sup>、菊芋<sup>[10]</sup> 等幼苗的保护酶活性缓解 ROS 的伤害,提高盐胁迫下大麦质膜、液泡膜  $\text{H}^+$ -ATPase 活性,增强对  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  在植株中的区域化分布,提高植株耐盐性<sup>[11]</sup>。盐环境下提高对植物  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{NO}_3^-$  的营养供应,不仅可以抑制抗衡离子  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的吸收,还可以更好地改善植物生长状况<sup>[12]</sup>。

黄瓜是温室主栽作物之一,是一种盐敏感性作物,系统研究其在盐分胁迫下的耐盐机理调控对生产实践很有意义。因此,现通过研究外源  $\text{Ca}^{2+}$  调控系统对缓解盐胁迫下黄瓜的生理指标的影响,探究适宜的外源  $\text{Ca}^{2+}$  添加浓度,以期为盐胁迫下黄瓜可持续生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试黄瓜品种为较耐盐的“新泰密刺”(Cucumis sativus L.)。

### 1.2 试验方法

试验于 2012 年 8 月 6~16 日在宁夏大学教学试验基地日光温室内进行。供试黄瓜种子经室温浸泡 4 h、28℃ 恒温催芽 1 d 后播种,待黄瓜 3 叶 1 心时进行 100 mmol/L NaCl 处理。试验设定 4 个  $\text{Ca}^{2+}$  调控处理,每处理 3 次重复,每重复 100 株,每 3 d 换 1 次营养液,同时更换 NaCl 和  $\text{CaCl}_2$  溶液。

### 1.3 项目测定

在盐处理后的 0、5、10 d,每重复取 5 株代表植株测

定测定游离脯氨酸、丙二醛含量和超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性、质膜相对透性。在盐处理第 0、1、5、10 天上午 10:00 用光合仪 Li-6400 测定黄瓜幼苗最大叶片的光合特性。

质膜相对透性用电导仪法测定;丙二醛含量用硫代巴比妥酸法测定<sup>[13]</sup>;脯氨酸含量用酸性水合茚三酮显色法测定<sup>[14]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定<sup>[15]</sup>;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定<sup>[16]</sup>。

### 1.4 数据分析

所有试验数据均采用 SPSS 软件用 LSD 方法在  $P < 0.05$  水平进行单因素差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同钙离子浓度对 SOD、POD 活性的影响

SOD 活性与植物的衰老和抗逆性密切相关。由图 1A 可知,盐处理 1 d 时,40 与 60 mmol/L 的钙离子浓度处理可显著增加植物 SOD 酶活性,在盐处理 5 d 时,20 mmol/L 钙离子处理的酶活性显著高于 0 mmol/L 处理,而 60 mmol/L 处理显著低于 0 mmol/L 处理,在盐处理 10 d 时,各处理间差异不显著。由图 1B 可知,在盐处理 1 d 时,20 与 60 mmol/L 的钙离子处理的 POD 活性显著低于 0 mmol/L 处理,在盐处理 5 d 时,加入钙离子处理 POD 活性均显著高于 0 mmol/L 处理,在盐处理 10 d 时,60 mmol/L 处理显著高于 20 mmol/L 处理。

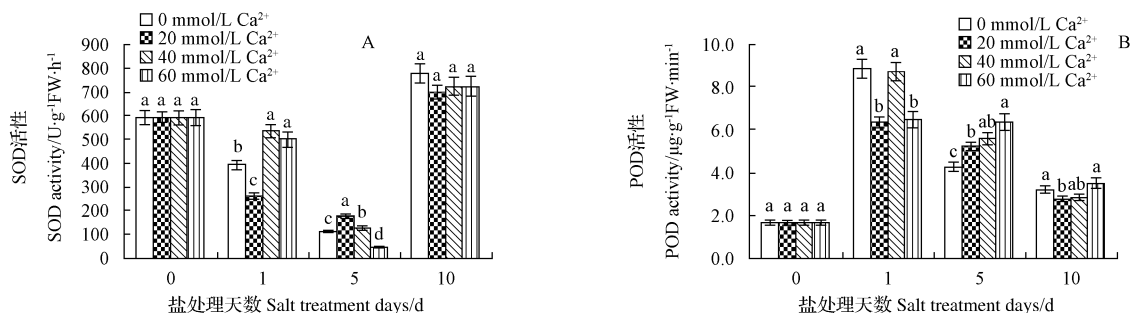


图 1 不同钙离子浓度对黄瓜幼苗 SOD 和 POD 活性的影响

Fig. 1 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations on SOD and POD activity of cucumber

### 2.2 不同钙离子浓度对膜透性和渗透调节物质的影响

丙二醛是膜脂氧化的最终产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度。由图 2A 可知,盐处理 1、5 d 时,20 mmol/L 钙离子处理的丙二醛含量显著高于 0 mmol/L 处理,在盐处理 10 d 时 20 mmol/L 钙离子处理的丙二醛含量最低,显著低于其它处理,而 60 mmol/L 处理最高,相当于 0 mmol/L 处理的 3 倍。由图 2B 可知,可溶性糖含量在盐处理 10 d 时,20 与 40

mmol/L 钙离子处理显著高于 0 mmol/L 处理。

### 2.3 不同钙离子浓度对叶片电导率和伤害度的影响

由图 3A 可知,盐处理 1 与 5 d,60 mmol/L 钙离子处理的叶片相对电导率显著高于 0 mmol/L 处理,在盐处理 10 d 时,20 与 40 mmol/L 钙离子处理叶片电导率显著低于 0 mmol/L 处理,在盐处理 1 与 10 d 时,20、40 mmol/L 钙离子处理均显著低于 0 mmol/L 处理,60 mmol/L 处理在各阶段均显著高于 0 mmol/L 处理。

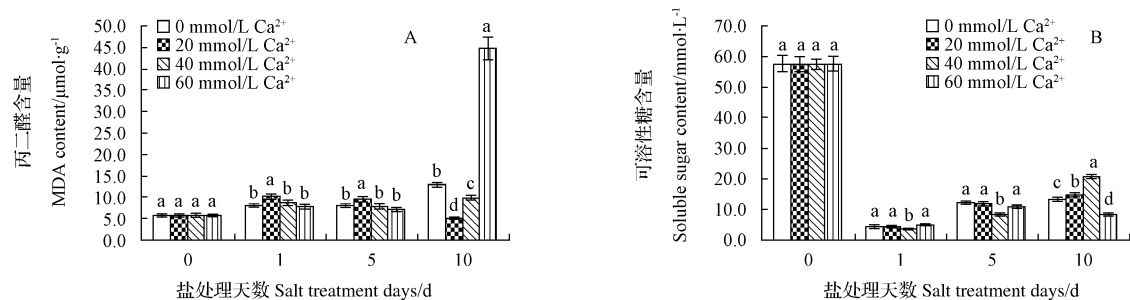


图2 不同钙离子浓度对黄瓜幼苗丙二醛和可溶性糖含量的影响

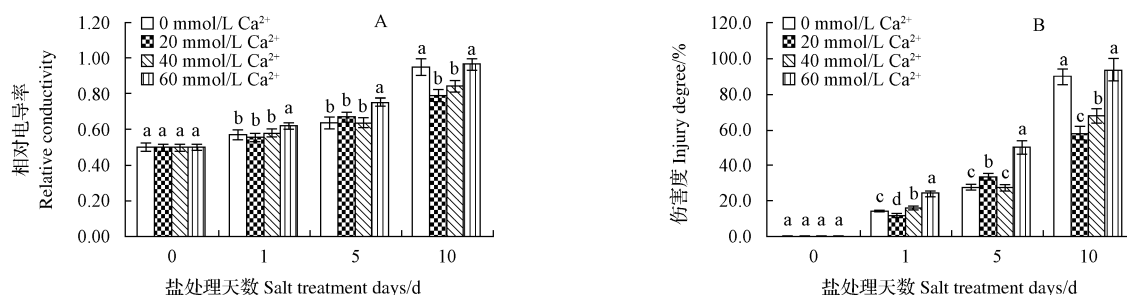
Fig. 2 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations on MDA and soluble sugar content of cucumber

图3 不同钙离子浓度对黄瓜幼苗叶片电导度和伤害度的影响

Fig. 3 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations on conductivity and injury degree of cucumber

#### 2.4 不同钙离子浓度对植株光合特性的影响

由图4可知,盐处理1 d加钙离子60 mmol/L处理显著降低了叶片蒸腾速率,5 d加钙离子处理显著降低了叶片蒸腾速率,盐处理10 d加20 mmol/L钙离子处理显著增加了叶片蒸腾速率,而40与60 mmol/L钙离子处理显著降低了蒸腾速率(A);盐处理1、5、10 d加钙离

子处理均显著降低了 $\text{CO}_2$ 气孔导度(B);在盐处理10 d加钙离子处理显著增加了胞间 $\text{CO}_2$ 浓度,且20 mmol/L处理最高(C);在盐处理5、10 d加钙离子处理显著降低了植株光合速率(D),水分利用效率=A(光合速率)/E(蒸腾速率),通过分析可知,加钙20 mmol/L处理的呼吸速率最低。

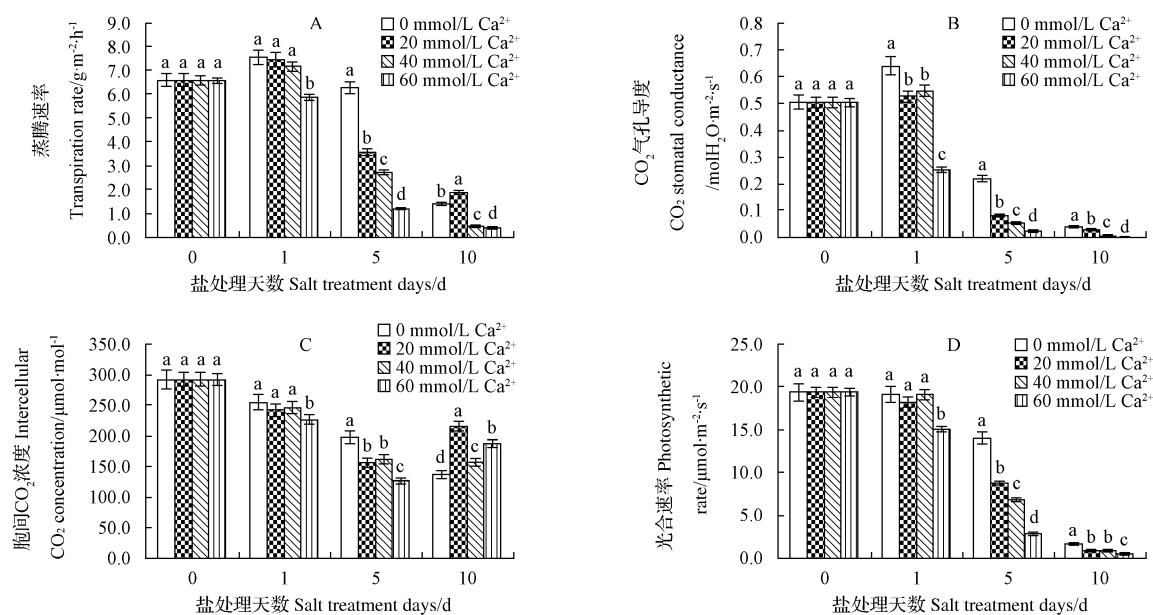


图4 不同钙离子浓度对黄瓜光合指标的影响

Fig. 4 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  concentrations on photosynthetic indices of cucumber

### 3 结论

该试验结果表明,加入 20 与 40 mmol/L 钙离子可显著降低丙二醛含量,且使可溶性糖含量增加;而 60 mmol/L 钙离子处理则显著增加丙二醛含量,降低可溶性糖含量,说明 $\leq 40$  mmol/L 钙源加入可以缓解盐分对植株的伤害,60 mmol/L 钙源的加入反而加重了盐分对植株的伤害。加入 20 和 40 mmol/L 钙离子处理显著降低叶片相对电导率和伤害度,而 60 mmol/L 的与不加入钙源处理的效果一致,同样说明 $\leq 40$  mmol/L 钙源加入可减少植株在盐胁迫下的伤害。加入钙源后不同程度降低植株光合特性,这说明植株为适应逆境而减少光合蒸腾的自我保护作用,且 20 mmol/L 钙离子处理的呼吸速率最低,说明 $\leq 20$  mmol/L 钙离子处理可使作物为适应盐分逆境而降低光合特性,从而减少盐分对黄瓜幼苗叶片的伤害,同时以较适宜的光合特性适应黄瓜幼苗盐分逆境生长,因此,20 mmol/L 的钙离子处理是缓解黄瓜幼苗盐分伤害的最适宜加入量。

#### 参考文献

- [1] 杨月红,孙庆艳,沈浩.植物的盐害和抗盐性[J].生物学教学,2002,27(11):1-2.
- [2] Chen T H H, Murata N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes[J]. Curr Opin Plant Biol, 2002(5):250-257.
- [3] Elkahoui S, Hernandez J A, Abdelly C, et al. Effects of salt on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities of *Catharanthus roseus*

suspension cells[J]. Plant Science, 2005, 168:607-613.

- [4] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A, et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress[J]. Environment Exp Bot, 2003, 49:69-76.
- [5] 段九菊,郭士荣,康云艳.外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗活性氧水平和抗氧化酶活性的影响[J].园艺学报,2006,33(3):634-639.
- [6] 宋士清,刘微,郭世荣,等.化学诱抗剂诱导黄瓜抗盐性及其机理[J].应用生态学报,2006,17(10):1871-1876.
- [7] 程玉静,郭士荣,刘书仁,等.外源硝酸钙对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片抗氧化系统及膜质子泵活性的影响[J].生态学杂志,2010,29(5):892-898.
- [8] 朱晓军,杨劲松,梁永超,等.盐胁迫下钙对水稻幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J].中国农业科学,2004,37(10):1497-1503.
- [9] 王玉凤,王庆祥,商丽威.钙对 NaCl 胁迫下玉米幼苗保护酶活性等生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):119-123.
- [10] Xue Y F, Liu L, Liu Z P, et al. Protective role of Ca against NaCl toxicity in Jerusalem artichoke by up-regulation of antioxidant enzymes[J]. Pedosphere, 2008, 18:766-774.
- [11] 郑青松,王仁雷,刘友良.钙对盐胁迫下棉苗离子吸收分配的影响[J].植物生理学报,2001,27(4):325-330.
- [12] Banuls J, Legaz F, Primo-Milb E. Salinity calcium interactions on growth and ionic concentration of citrus plants[J]. Plant and Soil, 1991, 133:39-46.
- [13] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:159-160.
- [14] 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,2000:258-260.
- [15] 刘祖祺,张石城.植物抗性生理学[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [16] Moerschbacher B M, Noll U M, Flott B E, et al. Lignin biosynthetic enzymes in stem rust infected, resistant and susceptible near-isogenic wheat lines[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 1988, 33(1):33-46.

## Effects of Calcium Regulation on the Physiological Properties of Cucumber Under Salt Stress

ZHANG Xue-yan, LI Kun, MA Li-juan, TIAN Lei, GAO Yan-ming, LI Jian-she  
(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** Soil salinization has caused salt damage to crops in greenhouse. Taking cucumber as material, the effects of different concentrations of calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (0, 20, 40, 60 mmol/L  $\text{CaCl}_2$ ) on the osmotic regulation substance of growth, antioxidant system and photosynthetic characters of cucumber treated with 100 mmol/L NaCl were studied. The results showed that the POD and SOD activity by 20 and 40 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  treatments were lower than CK treatments, but the rate was lower than 10%, relative leaf electrical conductivity, the degree of leaf damage, and leaf MDA content were lower than CK treatment by 20 and 40 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  treatments, and whose soluble sugar content were also higher than CK treatment. Supplying  $\text{Ca}^{2+}$  could reduce the photosynthetic indices, and supplying 20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  could reduce water use efficiency. So supplying 20 mmol/L  $\text{CaCl}_2$  could relieve salt damage to cucumber seedlings, increased the cucumber salt tolerance.

**Key words:** calcium regulation; cucumber; salt tolerance