

毛桃对盐胁迫的光合、抗氧化和离子响应

吴强盛, 刘 琴

(长江大学 园艺园林学院, 湖北 荆州 434025)

摘要:在盆栽及温室条件下,对毛桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch] 实生苗进行不同浓度盐 (NaCl) 胁迫处理,测定其叶片的光合作用、抗氧化防御体系及无机离子浓度,探讨毛桃在盐胁迫下的一些生理生化响应。结果表明,在盐胁迫下毛桃叶片光合速率、气孔导度、水分利用率下降,而蒸腾速率上升。随着 NaCl 浓度的升高,毛桃叶片过氧化氢和超氧阴离子自由基浓度明显升高,膜脂过氧化产物丙二醛含量增加,表明叶片受到伤害。酶防御系统中 SOD 快速响应,在盐胁迫后迅速升高;非酶防御系统中可溶性蛋白和还原性抗坏血酸受到盐胁迫的抑制。100 mmol/L NaCl 处理对叶片还原型谷胱甘肽的含量没有影响,但 200 mmol/L 的 NaCl 处理则显著促进了还原型谷胱甘肽的含量。在盐胁迫下,毛桃叶片 Na^+ 和 Cl^- 浓度升高; K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 受盐胁迫刺激后也升高;其他离子与 Na^+ 的比值在盐胁迫下减小。

关键词:毛桃;盐胁迫;抗氧化;离子

中图分类号: S622.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 2286 (2010) 02 - 0303 - 05

Photosynthetic, Antioxidative and Ionic Responses of *Prunus persica* (L.) Batsch to Salt Stress

WU Qiang-sheng, LIU Qin

(College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

Abstract: The research was performed in a green house under potted conditions to evaluate the effects of salt stress on photosynthesis, antioxidant protective systems and inorganic ionic concentrations of *Prunus persica* (L.) Batsch seedlings, aiming for a better understanding of the physiological and biochemical responses to increasing salinity (NaCl). The results showed that photosynthetic rates, stomatal conductance, and water use efficiency in leaves were reduced by salt stress, but transpiration rates were increased. Hydrogen peroxide and superoxide radical concentrations increased with the salinity increasing. The phenomena was also observed in malondialdehyde, which suggested that the leaves of *Prunus persica* (L.) Batsch suffered from salt injury. SOD activities quickly responded and then increased when *Prunus persica* (L.) Batsch seedlings were subjected to salt stress. Soluble protein and reduced ascorbate contents in leaves were restrained by salt stress. When the seedlings were exposed to 100 mmol/L NaCl, reduced glutathione content was not affected, whereas salt stress stimulated the accumulation of reduced glutathione of the seedlings exposed to 200 mmol/L NaCl. Salt stress induced the accumulation of Na^+ and Cl^- , but reduced the concentrations of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} and the ratio of other ions and Na^+ .

Key words: *Prunus persica* (L.) Batsch; salt stress; antioxidation; ions

收稿日期: 2009 - 11 - 27 修回日期: 2010 - 01 - 21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30800747) 和长江大学博士科研启动基金项目 (39210264)

作者简介: 吴强盛 (1978 -), 男, 副教授, 博士, 主要从事果树生理生态研究, E-mail: wuqiangsh@163.com.

桃是我国重要的落叶果树树种,但耐盐性较弱,只能生长在含盐量低于 2 g/kg 的土壤^[1]。因此,在盐土上桃的种植潜力有限^[2]。当前,南方栽植早熟桃部分采用设施栽培和避雨栽培,这些栽培方式极易使土壤盐碱化,给早熟桃的发展带来一定的阻碍。由于桃主要采用嫁接繁殖,所以其耐盐性实质是砧木的问题。毛桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch] 是桃树砧木中的一种,它对盐胁迫较为敏感,不耐盐碱,在土壤含盐量 (NaCl) 达 2 g/kg 时,毛桃植株生长受到明显抑制^[1]。与其它桃砧木 Mr S 2/5、G F 655/2 在 80 mmol/L 或 120 mmol/L NaCl 胁迫下积累更高的山梨醇含量和山梨醇/蔗糖比值相比较,毛桃的叶片山梨醇含量和山梨醇/蔗糖比值没有改变^[3]。低浓度的 NaCl (30 ~ 100 mmol/L) 使毛桃铁吸收速率下降,而高浓度的 NaCl (200 ~ 300 mmol/L) 使毛桃铁吸收速率增大^[4]。然而,毛桃对盐胁迫的光合、活性氧代谢和无机离子的响应尚不清楚。本文研究在盐胁迫下毛桃光合作用、活性氧代谢和无机离子的变化,为今后桃的盐碱栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料为毛桃。2006 年 12 月对毛桃种子进行层积处理;2007 年 3 月播种在长江大学园艺园林学院设施基地;2007 年 5 月 17 日选取生长一致、8 叶龄的植株进行移栽。试验用盆为紫砂盆 (上口径 25 cm,下口径 16 cm,高 18 cm);盆栽基质为土、蛭石、珍珠岩的混合基质 ($V_{\pm} : V_{\text{蛭石}} : V_{\text{珍珠岩}} = 2 : 1 : 1$)。试验在长江大学园艺园林学院设施基地塑料温室进行。

1.2 试验设计

2007 年 7 月 16 日进行 NaCl 处理,处理浓度包括 100 mmol/L、200 mmol/L,以 0 mmol/L 的 NaCl 为对照 (CK),共 3 个处理,每个处理重复 3 次,单盆为 1 小区,每盆 1 株毛桃实生苗,共 9 盆,随机排列,正常管理。

1.3 测定方法

盐胁迫处理 27 d 后于 8 月 12 日结束实验,在试验结束的当天,利用 Li-6400 光合系统仪对毛桃顶部完全展开叶向下第 3 ~ 5 叶测定光合作用 (光合速率、气孔导度、蒸腾速率);水分利用率 = 光合速率 / 蒸腾速率。取 0.5 g 叶样,加入 8 mL 磷酸钠缓冲液 (pH 7.8) 冰浴研磨成浆,4 000 r/min 离心 15 min,上清液为 SOD 和可溶性蛋白的粗提取液。SOD 活性采用氮蓝四唑法^[5]测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法^[5]测定;过氧化氢 (H_2O_2) 含量参考 Harinasut 等^[6]方法;丙二醛含量参考 Sudhakar 等^[7]的方法进行;依据 Wu 等^[8]方法分析还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量和还原型抗坏血酸 (ASC) 含量。超氧阴离子自由基含量 ($O_2^{\cdot-}$) 依据王爱国和罗广华的方法^[9]测定; Na^+ 和 K^+ 含量采用火焰分光光度法测定; Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 采取原子吸收分光光度法测定; Cl^- 采取硫酸银滴定法^[10]测定。原子吸收分光光度计为日本 AA670,由华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室提供。

1.4 统计分析

本文所显示的数据是 3 次重复的平均数 ± 标准差,数据处理运用 SAS(8.1) 软件的 ANOVA 过程对处理间作差异性检验,采用 LSD 法 ($P = 0.05$) 进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对毛桃叶片光合作用的影响

从表 1 可以看出,每个处理间的光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用率间存在显著差异。随着 NaCl 浓度的不断升高,毛桃叶片的光合速率、气孔导度和水分利用率均显著下降,而蒸腾速率则显著升高。

2.2 盐胁迫对毛桃叶片活性氧代谢的影响

当毛桃遭受到盐胁迫后,叶片的自由基 H_2O_2 、 $O_2^{\cdot-}$ 含量逐渐升高,膜脂过氧化产物 MDA 含量也逐渐升高 (表 2)。与对照相比,100 mmol/L NaCl 处理显著提高了 $O_2^{\cdot-}$ 含量,达 18%;当 NaCl 浓度升高到 200 mmol/L 时, $O_2^{\cdot-}$ 含量急剧升高,较对照相比提高了 146%。100 mmol/L 和 200 mmol/L NaCl 处理间 H_2O_2 和 MDA 含量没有显著差异,但均显著高于对照处理。

表 1 盐胁迫处理对毛桃叶片光合作用的影响

Tab 1 Effect of salt stress on leaf photosynthesis of *Prunus persica* (L.) Batsch

盐度 / (mmol · L ⁻¹) Salinity	光合速率 / [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$] Photosynthetic rates	蒸腾速率 / [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$] Transpiration rates	气孔导度 / [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$] Stomatal conductance	水分利用率 / % Water use efficiency
0	5.62 ± 0.54a	2.31 ± 0.12c	0.026 ± 0.004a	2.45 ± 0.35a
100	4.67 ± 0.40b	2.63 ± 0.10b	0.020 ± 0.003b	1.78 ± 0.22b
200	3.00 ± 0.44c	3.04 ± 0.26a	0.008 ± 0.001c	1.00 ± 0.21c

同一列数字后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Different letters following the data within each column mean significant difference at 0.05 level

从表 3 可知,当毛桃受到盐胁迫后体内的抗氧化系统作出了对应地响应, SOD 酶活性和 GSH 含量逐渐升高,可溶性蛋白和 ASC 含量逐渐下降。与对照相比, 100 mmol/L 和 200 mmol/L NaCl 处理均显著提高了 SOD 酶活性,提高幅度分别为 78% 和 85%,但两处理间没有显著差异。100 mmol/L 和 200 mmol/L NaCl 处理间可溶性蛋白和 ASC 含量没有表现显著差异,但均显著低于对照处理。100 mmol/L NaCl 处理没有显著改变 GSH 含量,而 200 mmol/L NaCl 处理显著提高了叶片 GSH 含量,达 29%。

表 2 盐胁迫处理对毛桃叶片 H₂O₂、O₂⁻ 和 MDA 含量的影响Tab 2 Effects of salt stress on leaf H₂O₂, O₂⁻ and MDA contents of *Prunus persica* (L.) Batsch

盐度 / (mmol · L ⁻¹) Salinity	O ₂ ⁻ / ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	H ₂ O ₂ / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	MDA / ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)
0	28.77 ± 3.44c	2.50 ± 0.12b	17.04 ± 3.45b
100	34.06 ± 0.57b	3.32 ± 0.57a	24.59 ± 1.39a
200	70.77 ± 2.50a	3.50 ± 0.24a	26.77 ± 1.62a

同一列数字后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Different letters following the data within each column mean significant difference at 0.05 level

表 3 盐胁迫处理对毛桃叶片抗氧化酶活性和抗氧化剂含量的影响

Tab 3 Effect of salt stress on both activities of antioxidant enzymes and contents of antioxidants of *Prunus persica* (L.) Batsch

盐度 / (mmol · L ⁻¹) Salinity	SOD / (U · g ⁻¹)	可溶性蛋白 / (mg · g ⁻¹) Soluble protein	ASC / (mmol · g ⁻¹)	GSH / (mmol · g ⁻¹)
0	154.96 ± 63.79b	5.65 ± 0.65a	3.38 ± 0.76a	0.21 ± 0.02b
100	274.12 ± 46.61a	4.53 ± 0.30b	1.88 ± 0.40b	0.22 ± 0.01b
200	287.79 ± 36.30a	4.36 ± 0.55b	1.54 ± 0.06b	0.27 ± 0

同一列数字后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Different letters following the data within each column mean significant difference at 0.05 level

2.3 盐胁迫对毛桃叶片无机离子含量的影响

表 4 显示,随着 NaCl 浓度的升高,毛桃叶片 Cl⁻ 和 Na⁺ 浓度随之升高, K⁺、Mg²⁺ 和 Ca²⁺ 浓度随之降低。与对照相比, 100 mmol/L 和 200 mmol/L NaCl 处理均显著提高了 Cl⁻ 浓度(分别提高 19% 和 53%);相似的结果也表现在 Na⁺ 上,分别提高 11% 和 31%。2 种 NaCl 处理间存在显著差异,盐胁迫显著抑制了毛桃叶片 K⁺、Mg²⁺ 和 Ca²⁺ 的浓度,在 100 mmol/L NaCl 条件下分别减少 5%、11%、5%;在 200 mmol/L NaCl 条件下分别减少 11%、29%、15%。

2.4 盐胁迫对毛桃叶片无机离子比值的影响

从表 5 可见,与对照相比,盐胁迫均显著抑制了 K⁺/Na⁺、Mg²⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺ 比值。在 100 mmol/L NaCl 条件下,分别降低 15%、15%、21%;在 200 mmol/L NaCl 条件下,分别降低 32%、38%、45%,两种 NaCl 处理间均存在显著差异。

表 4 盐胁迫处理对毛桃叶片内无机离子含量的影响

Tab 4 Effects of salt stress on concentrations of inorganic ions of *Prunus persica* (L.) Batsch

盐度 / (mmol · L ⁻¹) Salinity	Cl ⁻ / (mg · g ⁻¹)	K ⁺ / (mg · g ⁻¹)	Na ⁺ / (mg · g ⁻¹)	Mg ²⁺ / (mg · g ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg · g ⁻¹)
0	0.43 ± 0.00c	29.34 ± 0.92a	4.24 ± 0.25c	5.11 ± 0.25a	1.09 ± 0.07a
100	0.51 ± 0.02b	27.79 ± 0.77b	4.72 ± 0.16b	4.54 ± 0.21b	1.04 ± 0.02a
200	0.66 ± 0.05a	26.16 ± 0.31c	5.54 ± 0.07a	3.64 ± 0.30c	0.93 ± 0.04b

同一列数字后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Different letters following the data within each column mean significant difference at 0.05 level

表 5 盐胁迫处理对毛桃叶片各种离子与 Na⁺ 比值的影响Tab 5 Effects of salt stress on ratio of various ions and Na⁺ of leaf of *Prunus persica* (L.) Batsch

盐度 / (mmol · L ⁻¹) Salinity	K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Na ⁺	Mg ²⁺ /Na ⁺
0	6.93 ± 0.22a	0.13 ± 0.01a	1.21 ± 0.09a
100	5.89 ± 0.07b	0.11 ± 0.00b	0.96 ± 0.02b
200	4.72 ± 0.11c	0.08 ± 0.00c	0.66 ± 0.06c

同一列数字后的不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

Different letters following the data within each column mean significant difference at 0.05 level

3 讨 论

3.1 毛桃对盐胁迫的光合响应

本研究证实, 27 d 时 NaCl 胁迫处理显著抑制了毛桃叶片气孔导度和光合速率, 这与前人^[11]在葡萄上的研究结果一致。高盐易造成植物叶片气孔失水关闭, 以保持叶内相对较高的水势, 严重阻碍了 CO₂ 进入叶肉细胞内, 使光合速率下降^[12], 从而降低了植物的光合作用。Banuls 和 Primo^[13]在柑桔上的研究结果表明, 盐胁迫使柑桔光合速率下降主要是其叶片积累 Cl⁻ 而非 Na⁺ 所致。毛桃是否也是如此, 尚需进一步研究。

3.2 毛桃对盐胁迫的活性氧代谢响应

本试验结果表明, 随着 NaCl 浓度的升高, 毛桃叶片 H₂O₂、O₂⁻ 浓度随之升高。过多的活性氧积累在细胞中, 使原本保持平衡的活性氧代谢打破, 导致膜脂过氧化和脱脂化, 膜结构和功能改变, 透性增强, 蛋白质变性, 使植物受到伤害^[14]。MDA 是膜脂氧化的产物, 通常用 MDA 作为指标表示膜脂氧化的程度和植物对逆境的反应。盐胁迫使植物叶片膜脂过氧化作用加重, MDA 含量增加结果, 本试验也证明了这一点。

业已知道, 盐胁迫下高等植物可产生酶类和非酶类的防御系统来保护细胞免受氧化伤害^[14]。SOD 的生理功能主要是清除活性氧, 它催化 O₂⁻ 形成 H₂O₂。本试验结果表明, 盐胁迫诱导了梨叶片 SOD 活性的增强, 但是这种增强并不能完全清除 O₂⁻ 和 H₂O₂, 因为它们的含量仍在升高, 说明酶防御系统作出了快速响应。这种防御系统仅仅在一定程度上起保护作用, 这与前人在研究沙枣愈伤组织^[15]和桑树^[16]遭受盐胁迫时防御系统作出的响应是一致的, 这种响应与品种基因型有关。耐盐性强的油菜品种具有较高的 SOD 活性, 而耐盐性弱的油菜品种的 SOD 活性较耐盐性强的品种低^[17]。

在植物体内还存在抗坏血酸—谷胱甘肽循环, 它的作用是清除植物体内过多的 H₂O₂。当毛桃叶片遭受盐胁迫时, 处于抗坏血酸—谷胱甘肽循环中的 ASC 迅速降低, 这与前人在 1 年生盐生野大豆上研究的结果一致^[18]; 而 GSH 在 100 mmol/L NaCl 处理下变化不显著, 之后才显著上升。毛桃叶片 GSH 和 ASC 在盐胁迫下的响应不同可能与其自身的化学特点、植物种类有关。

3.3 毛桃对盐胁迫的无机离子响应

盐胁迫促进了毛桃叶片积累大量的 Na⁺、Cl⁻, 这与 Silva 等^[19]在酸枣上的研究结果一致。K⁺ 在生活细胞中的作用不同于 Na⁺, 它是细胞正常生活中不可缺少的离子。从本试验的结果可以看出, 盐胁迫下毛桃叶片 K⁺ 含量要比 Na⁺ 含量高得多, 这与田野等^[20]研究杨树在盐胁迫下离子含量的研究结果一

致。盐渍化土壤中, Na^+ 是主要的毒害离子, 细胞许多代谢活动中心对 Na^+ 的累积非常敏感, Na^+ 浓度的升高会引起其它离子吸收的抑制效应, 且对细胞代谢活动有直接伤害。因此, 在盐胁迫下, 在调节植物体内离子平衡、盐分运输和细胞区隔化过程中, 质膜的 $\text{K}^+ - \text{Na}^+$ 交换和液泡膜的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 交换起着重要的作用^[21]。尽管盐胁迫诱导毛桃叶片 K^+ 升高, 但 K^+ / Na^+ 比值降低, K^+ 的竞争力弱于 Na^+ , 导致大量的 Na^+ 进入体内, 使植物细胞遭受破坏。以上说明, 盐胁迫下毛桃没有拒盐现象, 从而使其耐盐性差。

Ca^{2+} 是一个主要的第二信使信号分子, 在正常或逆境条件下对植物的生长发育起重要的作用。当细胞膜受体感知了胞外胁迫信号后, 刺激了细胞内第二信使分子如 Ca^{2+} 的产生, 从而提高植物的耐盐性^[22]。从本试验可以得出, 在盐胁迫条件下毛桃叶片 Ca^{2+} 的水平 和 $\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$ 比值显著低于 CK, 说明 Ca^{2+} 在毛桃遭受到盐胁迫时并没有行使第二信号的作用。高浓度 Na^+ 可置换质膜和细胞内膜系统所结合的 Ca^{2+} , 膜所结合的离子中 $\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$ 比值降低, 膜结构完整性及膜功能受到破坏^[23]。高浓度的 Na^+ 产生毒害的同时减少了植物对 K^+ 的吸收, 也易发生 PO_4^{3-} 和 Ca^{2+} 的缺乏症^[24]。

参考文献:

- [1] 汪良驹, 马凯, 姜卫兵, 等. 五种落叶果树的氯离子分布与耐盐性研究 [J]. 中国南方果树, 1996, 25(4): 34 - 38
- [2] 吴强盛, 刘琴. 果树对盐胁迫的响应和耐盐机制研究进展 [J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2007, 4(4): 9 - 12, 22
- [3] Massai R, Gucci R, Tattini M. Salinity tolerance in four different rootstocks for peach [J]. Acta Horticulturae, 1998, 465(45): 363 - 370.
- [4] 庾从兵, 孙俊. 桃铁离子吸收动力学研究 [J]. 中国农学通报, 2001, 17(1): 4 - 6
- [5] 汪学奎. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [6] Harinasut P, Poonsopa D, Roengnongkol K, et al. Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar [J]. Science Asia, 2003, 29(2): 109 - 113.
- [7] Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S. Changes in the antioxidant enzymes efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity [J]. Plant Science, 2001, 161(3): 613 - 619.
- [8] Wu Q S, Xia R X, Zou Y N. Reactive oxygen metabolism in mycorrhizal and non - mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress [J]. Journal of Plant Physiology, 2006, 163(11): 1101 - 1110.
- [9] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺的定量关系 [J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 5 - 7.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [11] Divate M, Pandey R R M. Salt tolerance in grapes - III Effects of salinity on chlorophyll, photosynthesis and respiration [J]. Indian Journal of Plant Physiology, 1981, 24(1): 74 - 79.
- [12] 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
- [13] Banuls J, Primo E M. Effects of chloride and sodium on gas exchange parameters and water relations of citrus plants [J]. Physiologia Plantarum, 1992, 86(1): 115 - 123.
- [14] Herbing K, Tausz M, Wonisch A, et al. Complex interactive effects of drought and ozone stress on the antioxidant defence systems of two wheat cultivars [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2002, 40(6/8): 691 - 696.
- [15] 王宝山, 姚敦义. 盐胁迫对沙枣愈伤组织膜透性、膜质过氧化 SOD 活性的影响 [J]. 河北农业大学学报, 1993, 16(3): 20 - 24
- [16] Harinasut P, Poonsopa D, Roengnongkol K, et al. Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar [J]. Science Asia, 2003, 29(2): 109 - 113.
- [17] Ashraf M, Ali Q. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.) [J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 266 - 273.
- [18] 於丙军, 刘友良. 盐胁迫对一年生盐生野大豆幼苗活性氧代谢的影响 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(1): 18 - 22
- [19] Silva E C, Nogueira R J, Araujo F P, et al. Physiological responses to salt stress in young umbu plants [J]. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 147 - 157.
- [20] 田野, 张焕朝, 方升佐. 盐胁迫下杨树根际系统盐分离子分布特性 [J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(3): 11 - 15.
- [21] Nakamura T, Otsaki M, Ando M, et al. Differences in mechanisms of salt tolerance between rice and barley plants [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1996, 42(2): 303 - 314.
- [22] Tuteja N, Mahajan S. Further characterization of calcineurin B - like protein and its interacting partner CBL - interacting protein kinase from *Pisum sativum* [J]. Plant Signaling and Behaviour, 2007, 2(5): 79 - 85.
- [23] 全先庆, 高文. 盐生植物活性氧的非酶促清除机制 [J]. 安徽农业科学, 2003, 31(3): 499 - 501.
- [24] 郑世英, 陈吉美. 植物的抗盐生理 [J]. 德州高等专科学校学报, 2000, 16(4): 39 - 40.