

# 盐胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响

王 伟<sup>1</sup>, 于海峰<sup>2</sup>, 张永虎<sup>1</sup>, 李素萍<sup>2</sup>, 聂 慧<sup>2</sup>, 侯建华<sup>1</sup>

(1. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:** 向日葵资源材料幼苗耐盐性机制的研究和阐述对向日葵耐盐新品种选育意义重大。采用盆栽试验模拟 0.35%、0.50% 土壤含盐量水平, 研究了盐分胁迫对 5 个自育向日葵不育系出苗率、苗期株高、叶面积、地上和地下部生物学产量、丙二醛含量、氧自由基产生速率和 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性等幼苗生长和生理特性的影响。结果表明: 轻度盐分胁迫(0.35%) 对幼苗萌发有促进作用; 中度盐分胁迫(0.50%) 下, 幼苗萌发及生长均受到抑制, 叶片相对电导率增加, SOD、POD、CAT 活性显著增加,  $O_2^-$  产生速率、MDA 含量与对照差异不大。较强的活性氧清除能力是向日葵耐盐碱特性的生理机制之一。5 个自选不育系间耐盐性存在差异。

**关键词:** 向日葵; 盐胁迫; 幼苗生长; 生理特性

中图分类号: S565.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)01-0176-05

## Effects of Salt on the Growth and Physiological Characteristics of Sunflower Seedlings

WANG Wei<sup>1</sup>, YU Hai-feng<sup>2</sup>, ZHANG Yong-hu<sup>1</sup>, LI Su-ping<sup>2</sup>, NIE Hui<sup>2</sup>, HOU Jian-hua<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Agricultural University College of Agriculture, Huhhot 010018, China; 2. Inner Mongolian Agricultural and Livestock Academy of Sciences, Huhhot 010031, China)

**Abstract:** It has great significance to research salt tolerance mechanism for salt resistance breeding of sunflower. This paper studied the effect of different salt stress levels on seedlings' growth and physiological characteristics such as germination rate, leaf area, overground and underground biomass yield, malondialdehyde content, producing rate of oxygen free radicals, SOD activity, POD activity and CAT activity to five cytoplasmic male sterile lines by using pot experiment simulating 0.35% and 0.50% soil salinity. The result indicated that low salt stress had acceleration effect on seedling germination. Under moderate stress, seedling germination and growth were both suppressed and leaf relative conductivity increased. But at the same time SOD, POD and CAT activity increased significantly while  $O_2^-$  producing rate and MDA content showed no significant difference to control group. Strong reactive oxygen scavenging capacity is one of sunflower's physiological mechanisms of salt-tolerance characteristics. Five self-selection sterile lines vary in salt tolerance from each other.

**Key words:** Sunflower; Salt stress; Seedling growth; Physiological characteristics

全世界有近 1/3 的土地是盐碱地<sup>[1]</sup>, 我国约有 2 600 万  $hm^2$ , 其中盐碱耕地约有 660 万  $hm^2$ <sup>[2]</sup>。随着工业的发展, 灌溉地和塑料大棚面积的不断扩大, 植被的破坏以及大量的蓄水水库的建成, 盐碱地还有不断扩大的趋势。因此, 合理地开发、利用盐碱地已经成为现代农业发展急需解决的重大问题之一。

油用向日葵(*Helianthus annuus* L.) 生育期短、

抗逆性强、产量稳定; 其籽实含油量高、品质优, 是世界四大油料作物之一<sup>[3-4]</sup>, 也是我国主要油料作物。另外, 油用向日葵耐盐耐旱性非常突出, 并能使盐碱地在利用中逐步改善土壤理化性质的同时具有良好的经济效益和生态效益<sup>[5-6]</sup>。国内外对向日葵的耐盐研究多集中在种子萌发和出苗盐浓度探索和盐胁迫对产量的影响, 针对生理机制或生理特性研究很

收稿日期: 2012-11-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADA8B04)

作者简介: 王 伟(1984-), 男, 内蒙古化德人, 硕士研究生, 主要从事作物抗逆性遗传改良教学与研究。

通讯作者: 侯建华(1962-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事作物抗逆性遗传改良教学与研究。

少。本试验旨在探索苗期向日葵的耐盐生理机制,为盐碱胁迫下向日葵种植和向日葵生理育种的研究奠定基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

内蒙古农牧业科学院选育的向日葵不育系 217A、585A、31A、35A 和 25A 作为供试材料。

### 1.2 试验方法

1.2.1 盐胁迫处理方法 试验 2010 - 2011 年在塑料防雨棚中进行。NaCl 和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  以 3:2 配置复合盐,分别按 3.5 5.0 g/kg 复合盐设置土壤含盐量为 0.35% 0.50%。不加复合盐作为对照。高 25 cm,口径 30 cm 的花盆里放入 2 kg 细沙和 1 kg 的农田壤土,每盆施用 600 g 有机肥料。每个处理种植 45 株,重复 3 次。每天 17:00 - 19:00 喷 200 mL 的去离子水,以保证足够的含水量。

1.2.2 测定项目及方法 测定项目:播种后 15 d 记录出苗率,45 d 时测定株高、叶面积、地上和地下部生物学产量。每处理测定 5 株,重复 3 次;同期测定丙二醛含量、细胞膜透性、超氧化物歧化酶总活性、氧自由基产生速率、过氧化物酶活性、过氧化氢酶活性、地上部含水量,每个处理测定 3 株,重复 3 次。

测定方法:丙二醛含量用 TBA 法测定<sup>[8]</sup>;膜透性采用电导仪法测定<sup>[9]</sup>;超氧化物歧化酶总活性采用 NBT 光化还原法;生物学产量用电子天平(感量 1/1 000 g)称量;氧自由基含量采用羟胺氧化法测定<sup>[8]</sup>;过氧化物酶活性采用愈创木粉氧化法<sup>[8]</sup>;过氧化氢酶活性采用紫外吸收法测定<sup>[8]</sup>。

### 1.3 数据统计分析

数据处理及绘图采用 Excel 2003,方差分析采用 SPSS 17.0 软件。Duncan ( $P < 0.05$ ) 计算隶属函数值,计算公式为:

$$\text{隶属函数值 } Xu = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$\text{或 } Xu = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中:  $Xu$  为各测定指标的隶属函数值;  $X_{\max}$  和  $X_{\min}$  分别为各指标的最大测定值和最小测定值;  $X$  为各品种各指标的测定值。如果指标和耐盐性正相关,用①式,反之则用②式。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对向日葵出苗的影响

从图 1 看出,与对照相比,0.50% 复合盐胁迫条件下,各供试材料出苗率显著下降,平均降低 65.48%; 0.35% 复合盐胁迫下,各材料出苗率与对照基本持平或略高于对照,说明低浓度盐胁迫条件下,由于土壤渗透势加大,种子吸水缓慢,使种子萌发中活化和修复反应充分进行,从而在一定程度上促进了种子的萌发。

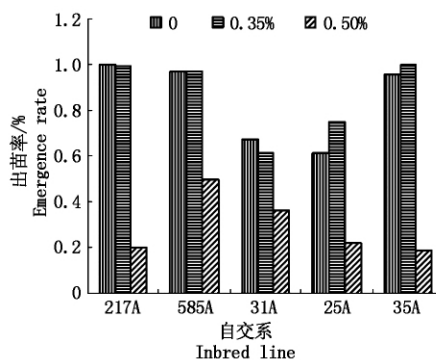


图 1 盐胁迫下的向日葵出苗率

Fig. 1 Emergence rate in seedling in salt treatment

表 1 盐胁迫对向日葵幼苗生长的影响(平均值)

Tab. 1 Influence of seedling growth in salt treatment(Average)

处理 Treatment	地上干物质质量/g The quality of dry matter on the ground	地下干物质质量/g The quality of dry matter underground	根冠比 Root-shoot ratio	叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area	株高/cm Height	地上部含水量/% The moisture content on the ground
0(CK)	0.61	0.11	0.19	8.42	25.71	83.00
0.35%	0.57	0.10	0.17	7.93	23.73	82.00
0.50%	0.23	0.07	0.30	5.22	12.98	88.00

出苗率为出苗株数占播种量的百分比;叶面积测定采用叶片长×宽×0.65(系数)<sup>[7]</sup>;株高采用直尺测量。

### 2.2 盐胁迫对幼苗生长的影响

从表 1 中看出,与对照和 0.35% 盐分胁迫相比,在 0.50% 盐分胁迫下,向日葵幼苗干物质质量、叶面积及株高均表现明显降低,根冠比显著增加,幼

苗含水量也有所增加。且各供试材料均表现相同趋势(图 2)。这表明轻度盐胁迫下,向日葵仍能正常生长。0.50% 盐分下,幼苗含水量增加可能是由于细胞渗透势加大的结果,因此,离子毒害是影响向日葵幼苗生长的主要原因。

### 2.3 盐胁迫对向日葵叶片保护酶活性的影响

由表 2 看出,在 0.35% 低盐分胁迫下,各供试

材料 SOD 活性(以鲜质量计)有所增加,CAT 和 POD 活性(以鲜质量计)变化不明显。但在 0.50% 中度盐分胁迫下,各材料 SOD、CAT、POD 活性均表

现明显增加。与对照相比,平均增加幅度分别为 54.8%、28.0%、94.8%。说明在 0.50% 中度盐分胁迫下,向日葵具有较强的活性氧清除能力。

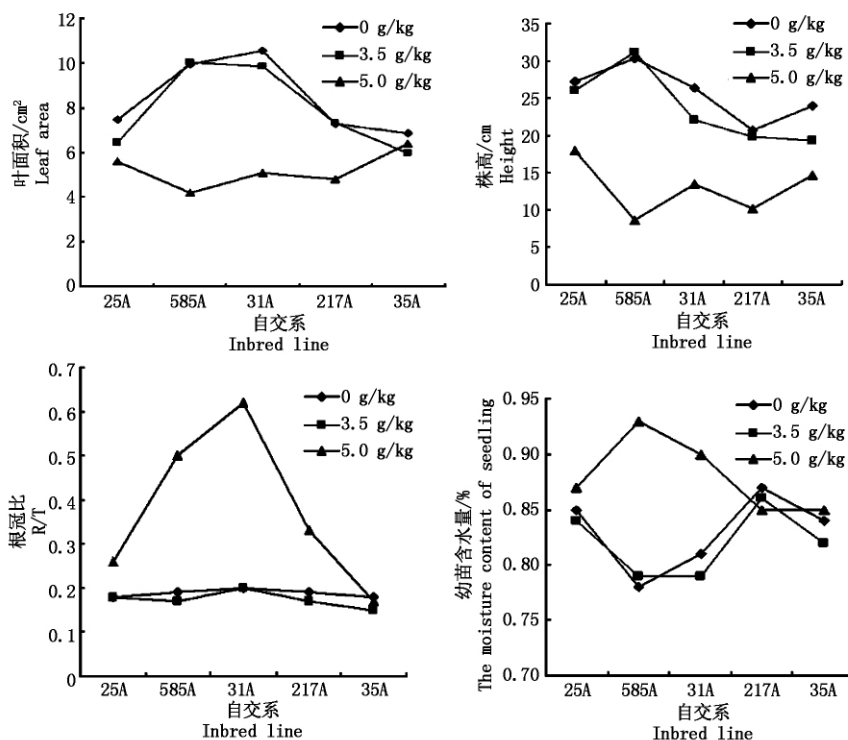


图 2 盐胁迫对各供试材料幼苗生长的影响

Fig. 2 Influence of seedling growth among tested plant in salt treatment

表 2 盐胁迫下向日葵叶片保护酶活性的变化

Tab. 2 Difference of activity of protective enzyme in salt treatment

材料 Material	SOD 活性( U/g ) Activity of SOD			CAT 活性( U/( g · min ) ) Activity of CAT			POD 活性( U/( g · min ) ) Activity of POD		
	0	0.35%	0.50%	0	0.35%	0.50%	0	0.35%	0.50%
217A	55.39	67.34	91.36	5.40	5.68	6.81	9.50	9.85	13.05
25A	56.27	59.08	86.81	6.18	6.85	7.68	6.00	5.55	9.15
35A	52.54	63.47	84.99	6.22	6.24	7.38	3.65	6.90	13.91
31A	57.71	62.03	87.84	4.80	4.25	9.09	5.00	4.45	11.45
585A	61.56	66.51	87.75	7.80	6.00	7.93	7.45	6.45	14.00
平均值 Average	56.69	63.69	87.75	6.08	5.80	7.78	6.32	6.64	12.31

表 3 盐胁迫对向日葵  $O_2^-$  产生速率和 MDA 含量影响

Tab. 3 Influence of produce rate of  $O_2^-$  and content of MDA in salt treatment

材料 Material	$O_2^-$ 产生速率( nmol/( g · min ) ) Produce rate of $O_2^-$			MDA 含量( $\mu$ mol/g ) Content of MDA		
	0	0.35%	0.50%	0	0.35%	0.50%
217A	0.003 8	0.007 3	0.004 0	10.95	14.41	10.04
25A	0.005 2	0.006 1	0.004 2	11.21	13.93	9.63
35A	0.006 3	0.008 3	0.004 4	12.70	15.73	11.87
31A	0.005 7	0.007 0	0.004 6	11.41	14.01	10.44
585A	0.004 4	0.005 4	0.004 8	11.40	13.86	10.38
平均值 Average	0.005 1	0.006 8	0.004 4	11.53	14.39	10.47

## 2.4 盐胁迫对向日葵叶片 $O_2^-$ 产生速率和 MDA 含量的影响

从表 3 中可以看出,与对照相比,在 0.35% 盐

胁迫下,  $O_2^-$  产生速率、MDA 含量(以鲜质量计)均有所增加,平均增加幅度分别为 33.3% 和 24.8%。说明轻度盐胁迫下,由于氧自由基的积累,发生了膜

脂过氧化反应。但在 0.50% 中度盐分胁迫下,  $O_2^-$  产生速率、MDA 含量与对照差异不大, 与叶片保护酶活性提高表现出一致的变化趋势。说明中度盐分胁迫下, 由于向日葵保护酶活性的提高, 使氧自由基得到有效的清除, 膜脂过氧化反应减少, MDA 含量降低。

## 2.5 向日葵保护酶活性与 MDA 和 $O_2^-$ 产生速率相关分析

表 4 显示, SOD 酶活性与 POD、CAT 呈显著和

极显著正相关, CAT 与 POD 呈显著正相关; 保护酶活性与氧自由基产生速率及 MDA 呈负相关, 其中 SOD 酶与氧自由基产生速率及 MDA 呈极显著负相关, 这表明向日葵叶片内存在一套相互关联的保护酶体系, 在受到盐胁迫伤害时共同提高活性来抵御盐胁迫。氧自由基和 MDA 表现显著正相关, 也就是说在盐胁迫下有害物质是协同产生的, 氧自由基的积累引发膜脂过氧化反应, 从而导致 MDA 的积累。

表 4 向日葵叶片保护酶与 MDA 和  $O_2^-$  产生速率相关分析

Tab. 4 The correlation analysis of protective enzyme and MDA and produce rate of  $O_2^-$

项目 Item	SOD 活性 Activity of SOD	CAT 活性 Activity of CAT	POD 活性 Activity of POD	氧自由基 Oxygen free radical	MDA
SOD 活性 Activity of SOD	1	0.641 <sup>*</sup>	0.669 <sup>**</sup>	-0.720 <sup>**</sup>	-0.705 <sup>**</sup>
CAT 活性 Activity of CAT	0.641 <sup>*</sup>	1	0.604 <sup>*</sup>	-0.420	-0.392
POD 活性 Activity of POD	0.669 <sup>**</sup>	0.604 <sup>*</sup>	1	-0.383	-0.363
氧自由基 Oxygen free radical	-0.720 <sup>**</sup>	-0.042	-0.383	1	0.564 <sup>*</sup>
MDA	-0.070 5 <sup>**</sup>	-0.392	-0.363	0.056 4 <sup>*</sup>	1

注: <sup>\*</sup>.  $P < 0.05$  在 0.05 水平上显著相关; <sup>\*\*</sup>.  $P < 0.01$  在 0.01 水平上极显著相关, 表 6 同。

Note: <sup>\*</sup>.  $P < 0.05$  Means significant correlation at 0.05 probability levels; <sup>\*\*</sup>.  $P < 0.01$  Means significant correlation at 0.01 probability levels the same as Tab.6.

## 2.6 盐胁迫对向日葵叶片电导率的影响

从表 5 看出, 0.50% 中度盐分胁迫下, 相对电导率增加, 表明叶片细胞膜的稳定性降低, 膜泄露增加。这与盐胁迫下幼苗的生长变化相一致, 说明叶片细胞膜完整性下降是向日葵幼苗期生长缓慢的一个重要原因。

## 2.7 不同供试材料苗期耐盐性比较

方差分析结果(表 6)表明, 土壤含盐 0.50% 胁迫下, 出苗率、叶面积、株高、电导率、CAT 酶活性、POD 酶活性及氧自由基含量的敏感值(T-CK/CK)在 5 个供试材料间差异达到极显著水平。由此计算出的隶属函数值(表 7)说明, 供试的 5 个不育系间

综合耐盐性存在差异。其中 35A、31A 耐盐性较强, 25A 耐盐性中等, 585A、217A 耐盐性较弱。

表 5 盐分胁迫对叶片电导率的影响

Tab. 5 Influence of conductivity of leaf in salt treatment

材料 Material	电导率/(mS/m) Conductivity		
	0	0.35%	0.50%
217A	0.42	0.41	0.49
25A	0.35	0.36	0.40
35A	0.36	0.36	0.41
31A	0.34	0.33	0.41
585A	0.37	0.32	0.34
平均值 Average	0.37	0.36	0.41

表 6 土壤含盐 0.50% 水平下供试材料各指标敏感值方差分析

Tab. 6 Analysis of variance of each index sensitive value under the 0.50% soil salinity

项目 Item	出苗率 Emergence rate	叶面积 Leaf area	株高 Height	根冠比 Root-shoot ratio	电导率 Conductivity	SOD 酶活性 Activity of SOD	CAT 酶活性 Activity of CAT	POD 酶活性 Activity of POD	MDA 含量 Content of MDA	氧自由基 Oxygen free radical
F 值 F value	23.790 <sup>**</sup>	36.5 <sup>**</sup>	154.749 <sup>**</sup>	2.658	6.808 <sup>**</sup>	0.656	10.393 <sup>**</sup>	46.841 <sup>**</sup>	2.319	5.991 <sup>**</sup>

表 7 五个供试材料隶属函数值

Tab. 7 Subordinate function value of five sterile lines

材料 Material	出苗率 Emergence rate	叶面积 Leaf area	株高 Height	电导率 Conductivity	CAT 酶活性 Activity of CAT	POD 酶活性 Activity of POD	氧自由基 Oxygen free radical	平均值 Average
217A	0.02	0.47	0.57	0.00	0.42	0.00	0.00	0.21
25A	0.49	0.64	1.00	0.81	0.39	0.16	0.56	0.58
35A	0.00	1.00	0.88	0.92	0.31	1.00	1.00	0.73
31A	1.00	0.12	0.61	1.00	1.00	0.63	0.56	0.70
585A	0.92	0.00	0.00	0.98	0.00	0.42	0.15	0.35

### 3 讨论

盐胁迫下,作物表现生长缓慢,植株矮小,膜透性增大,光合作用受阻<sup>[10-12]</sup>等。但不同作物由于遗传、组织结构和生理生化代谢等方面的差异,使其耐盐性有所不同<sup>[13]</sup>。向日葵是较耐盐的作物,本研究发现,在土壤含盐量 0.35% 环境下,株高、叶面积和生物产量下降均不显著,有些自交系出苗率反而增加;土壤含盐量达 0.50% 时,出苗率、株高、幼苗生物产量和根冠比及叶面积均表现显著降低。说明向日葵耐轻度盐胁迫,在土壤含盐量 0.35% 的盐环境下生长良好。

细胞膜系统是各种逆境对植物伤害的最初部位。活性氧积累引发的膜脂过氧化是造成细胞膜伤害的主要原因之一。活性氧伤害是植物盐害下的一个重要生理特征,耐盐植物可以通过增强活性氧清除能力来减轻活性氧伤害,而清除活性氧的途径主要是通过维持较高的保护酶活性<sup>[14]</sup>。Davenport 等<sup>[15]</sup>研究表明,采用 175 mmol/L NaCl 胁迫处理向日葵,其叶片 MDA 含量及叶片保护酶 APX、SOD、CAT 活性升高。本试验研究结果表明,当土壤含盐量达到 0.50% 时,与对照和土壤含盐量 0.35% 相比,保护酶系统被激发,保护酶 SOD、POD 和 CAT 活性明显升高,氧自由基和 MDA 含量下降,与对照水平相当,表明供试的向日葵育种材料具有较强的活性氧清除能力,这可能是向日葵耐盐性的生理机制之一。而 0.50% 盐分胁迫下,相对电导率的增加表明细胞膜系统受到损伤,这也说明盐害及向日葵耐盐生理代谢的复杂性。

从本试验结果看出,盐胁迫下,同一个供试材料对不同的生长和生理指标响应不同,说明向日葵耐盐性是一个复杂综合性状,也就是说不同种质资源耐盐性的形成是多样的且存在差异,所以耐盐性的评价方法对客观的认识和鉴定一个材料的真实耐盐性就显得尤为重要。方差分析显著水平上的敏感值隶属函数综合评价结果表明,供试的 5 个不育系间在耐盐性上存在真实的差异。

#### 参考文献:

- [1] Velagaleti R R, Marsh S. Influence of host cultivars and brady rhizobium strains on the growth and symbiotic performance of soybean under salt stress [J]. *Plant and Soil*, 1989, 119(1): 133-138.
- [2] 邵桂花, 常汝镇, 陈一舞. 大豆耐盐性研究进展 [J]. *大豆科学*, 1993, 12(3): 244-248.
- [3] Abelardo J V, Janhd, Scott C C. Progress over 20 years of sunflower breeding in centra Argentina [J]. *Field Crops Research* 2007, 100(1): 61-72.
- [4] Déborah R, Anita M, Roxana S, et al. Responses of sunflower yield and grain quality to alternating day/night high temperature regimes during grain filling: effects of timing, duration and intensity of exposure to stress [J]. *Field Crop Research* 2006, 96(1): 48-62.
- [5] 邓力群, 刘兆普, 程爱武, 等. 不同盐分滨海盐土上油菜(G1012B)的氮磷肥效应研究 [J]. *中国油料作物学报* 2002, 24(4): 35-41.
- [6] 崔云玲, 王生录, 陈炳东. 油菜耐盐性试验研究 [J]. *甘肃农业科技* 2002(8): 35-38.
- [7] 陈建忠. 向日葵叶面积调整系数 [J]. *中国油料*, 1984(4): 70-72.
- [8] 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, 257-258.
- [9] 西北农业大学植物生理生化教研室. 植物生理学实验指导 [M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1987: 47-48.
- [10] 肖雯, 贾恢先, 蒲陆梅. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究 [J]. *西北植物学报*, 2000, 20(5): 818-825.
- [11] 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.
- [12] 付艳平, 辛树权, 高扬. NaCl 溶液胁迫下促生菌对向日葵种子生长的影响 [J]. *安徽农业科学* 2011, 39(21): 12677-12680.
- [13] 安玉麟, 侯建华, 于海峰, 等. 耐盐碱向日葵杂交种鉴定筛选及机理研究 [J]. *华北农学报*, 2012, 27(5): 127-133.
- [14] 杨立飞, 朱月林, 胡春梅, 等. NaCl 胁迫对嫁接黄瓜膜脂过氧化、渗透调节物质含量及光合特性的影响 [J]. *西北植物学报* 2006, 26(6): 1195-1200.
- [15] Davenport S B, Gallego S M, Benavides M P, et al. Behaviour of antioxidant defense system in the adaptive response to salt stress in *Helianthus annuus* L. [J]. *Plant Growth Regulation* 2003, 40(1): 81-88.