

不同生境盐地碱蓬出苗及幼苗抗盐性比较

史功伟, 宋 杰*, 高 奔, 杨 青, 范 海*, 王宝山, 赵可夫

(山东师范大学生命科学学院, 植物逆境重点实验室, 济南 250014)

摘要:研究了盐胁迫对不同生境盐地碱蓬出苗、幼苗生长、离子积累和荧光参数等的影响。盐地碱蓬种子具有二型性, 即外种皮柔软而半透明的棕色种子和外种皮坚硬的黑色种子。两种生境盐地碱蓬棕色种子的出苗率均明显高于黑色种子。与黑色种子相比, 潮间带生境盐地碱蓬棕色种子在高盐环境下的出苗速率和出苗率高于盐碱地生境盐地碱蓬。各处理盐分浓度下, 潮间带生境盐地碱蓬叶片的最大光化学效率 (F_v/F_m)、PS II 实际光化学效率 ($\Phi_{PS II}$) 和地上部分生物量均低于盐碱地生境盐地碱蓬。高盐浓度下, 潮间带生境盐地碱蓬叶片 Na^+ 和 Cl^- 含量低于盐碱地生境盐地碱蓬。这些特征可能是盐地碱蓬长期适应不同生境的结果。

关键词:盐地碱蓬; NaCl; 出苗; 叶绿素荧光; 离子积累; 生长

文章编号: 1000-0933(2009)01-0138-06 中图分类号: Q142, Q948 文献标识码: A

The comparison on seedling emergence and salt tolerance of *Suaeda salsa* L. from different habitats

SHI Gong-Wei, SONG Jie*, GAO Ben, YANG Qing, FAN Hai*, WANG Bao-Shan, ZHAO Ke-Fu

Key Laboratory of Plant Stress, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0138 ~ 0143.

Abstract: We investigated the effect of salinity on seedling emergence, seedling growth, ion accumulation and chlorophyll fluorescence parameters of *Suaeda salsa* L. from an intertidal zone and saline inland. *S. salsa* produces dimorphic seeds, i. e. brown seeds with soft, a half-transparent outer testa, and black seeds with a hard black outer testa. The seedling emergence of brown seeds was much higher than that of black seeds for both populations from the intertidal zone and from saline inland. Brown seeds emerged more rapidly and seedling emergence was higher in the population from the intertidal zone than in that from saline inland, compared with black seeds. The maximal efficiency of PS II photochemistry (F_v/F_m) and actual PS II efficiency ($\Phi_{PS II}$) in leaves and the biomasses of shoots of *S. salsa* from the intertidal zone were lower than those of *S. salsa* from saline inland at a range of NaCl concentrations. The same trend was found for the concentration of both Na^+ and Cl^- in leaves at a high salinity. These characteristics suggest that different populations of *S. salsa* are adapted to different natural saline habitats.

Key Words: *Suaeda salsa*; NaCl; seedling emergence; chlorophyll fluorescence; ion accumulation; growth

盐地碱蓬 (*Suaeda salsa* L.) 是藜科碱蓬属 1 年生草本肉质化真盐生植物, 其嫩枝叶可做蔬菜, 种子可榨油, 保健价值极高^[1]。种植盐地碱蓬可明显降低土壤含盐量, 增加土壤有机质含量^[2]。因此开发利用盐地碱蓬具有很好的经济效益和生态效益。

盐地碱蓬具有很高的抗盐性, 其叶片中积累大量的 Na^+ 和 Cl^- ^[3,4], 而且将这些离子区隔化在液胞中作为

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目 (2006BS06002); 国家高技术研究发展“863”计划资助项目 (2007AA091701)

收稿日期: 2008-03-19; 修订日期: 2008-07-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songjieever@163.com; biofanhai@beelink.com

渗透调节物质^[5]。盐地碱蓬既可以生长在潮水经常浸没的潮间带,也可以生长在内陆盐碱地。生长在潮间带生境的盐地碱蓬茎、叶呈紫红色,而生长在盐碱地生境的盐地碱蓬呈绿色^[6]。盐地碱蓬种子具有二型性:大而外种皮柔软的棕色种子和小而外种皮坚硬的黑色种子^[7]。研究表明,野生盐地碱蓬种子产量较低,土壤含盐量 9.8 ~ 11.3 g/kg 地段其种子产量约为 1250 ~ 780 kg/hm²^[8]。两种生境盐地碱蓬的棕色种子均重于黑色种子,并且发育较黑色种子完全;其中,潮间带生境盐地碱蓬棕色种子和黑色种子的百粒重分别为 0.21 g 和 0.11 g,盐碱地生境盐地碱蓬分别为 0.05 g 和 0.02 g;潮间带和盐碱地生境盐地碱蓬棕色种子/黑色种子的比率分别为 4.2 和 2.3;棕色种子较黑色种子具有较高的抗盐性,因此潮间带生境盐地碱蓬产生更多的棕色种子可能是其适应潮间带持续高盐生境的重要策略^[9]。然而,目前有关盐胁迫对两种生境盐地碱蓬种子出苗、生长、离子积累以及光合特性影响的比较研究尚未见报道。本文研究了盐胁迫对不同生境盐地碱蓬出苗及幼苗抗盐性的影响,试图为理解盐地碱蓬适应不同生境的生态生理机制及其开发利用提供一定参考。

1 材料方法

1.1 种子出苗率测定

选取籽粒饱满的潮间带及盐碱地生境盐地碱蓬棕色种子和黑色种子,播种于盛有洗净细沙的花盆中,每盆播种 20 粒,播种深度为 0.2 cm 左右。每天用 60 ml 的 1 mmol/L 和 500 mmol/L NaCl 溶液进行浇灌。NaCl 溶液均用五分之一的 Hoagland 溶液配制,用 KOH 和 H₂SO₄ 调节 pH 至 6.0 ± 0.1。处理时间为 20 d,每天统计种子的出苗率。每个处理 3 个重复。

1.2 植物的培养与处理

将潮间带及盐碱地生境盐地碱蓬棕色种子分别播种于盛有洗净细沙的花盆中,用 Hoagland 营养液浇灌,待长至 4 ~ 5 片真叶时进行间苗,每盆留 6 株。1 个月后进行盐处理。NaCl 溶液设 3 个浓度:1、200 mmol/L 和 600 mmol/L,均用完全 Hoagland 配制,其中 1 mmol/L NaCl 作为对照处理。材料每天用 100 ml 相应浓度盐溶液浇灌。NaCl 每天以 50 mmol/L 递增,达到各最终浓度 20 d 后测定各相关生理指标。

1.3 测定方法

1.3.1 植株地上部分鲜、干重的测定

将植物地上部分用去离子水快速冲洗干净,吸干表面水分,称鲜重;然后放入 105 °C 的烘箱中杀青 10 min,80 °C 烘至恒重,称干重。

1.3.2 叶片 Na⁺ 和 Cl⁻ 含量的测定

将烘干样品研磨成粉末,称重后置于马伏炉中,550 °C 充分灰化。灰分用 2 ~ 3 滴浓硝酸溶解后用去离子水定容至 20 ml,用 410 型火焰光度计(英国 Sherwood 公司)测定 Na⁺ 含量,Cl⁻ 含量用 PXSJ-216 型离子分析仪(上海雷磁)氯离子选择电极测定。

1.3.3 叶绿素荧光测定

参照 Lu 等的方法^[10],采用英国 Hansatech 公司生产的 FMS-2 型便携调制式荧光仪测定。

1.4 数据分析

实验数据均为 3 个重复的平均值。除出苗率外,数据采用 SAS 软件(SAS Institute Inc., 1989)进行双因素显著性检验。

2 结果

2.1 盐处理对不同生境盐地碱蓬种子出苗率的影响

与盐碱地生境盐地碱蓬相比,潮间带生境盐地碱蓬棕色种子出苗较快,而黑色种子则相反。不同浓度盐分处理下,不同生境,尤其是潮间带生境盐地碱蓬棕色种子的出苗率都高于黑色种子。500 mmol/L NaCl 处理 20 d 时盐碱地生境和潮间带生境盐地碱蓬棕色种子的出苗率分别为 78% 和 93% (图 1A, B),而黑色种子的出苗率分别为 37% 和 2% (图 1C, D)。

2.2 盐处理对不同生境盐地碱蓬生长的影响

200 mmol/L NaCl 处理对两种生境盐地碱蓬地上部分鲜、干重均无显著影响,600 mmol/L NaCl 处理明显

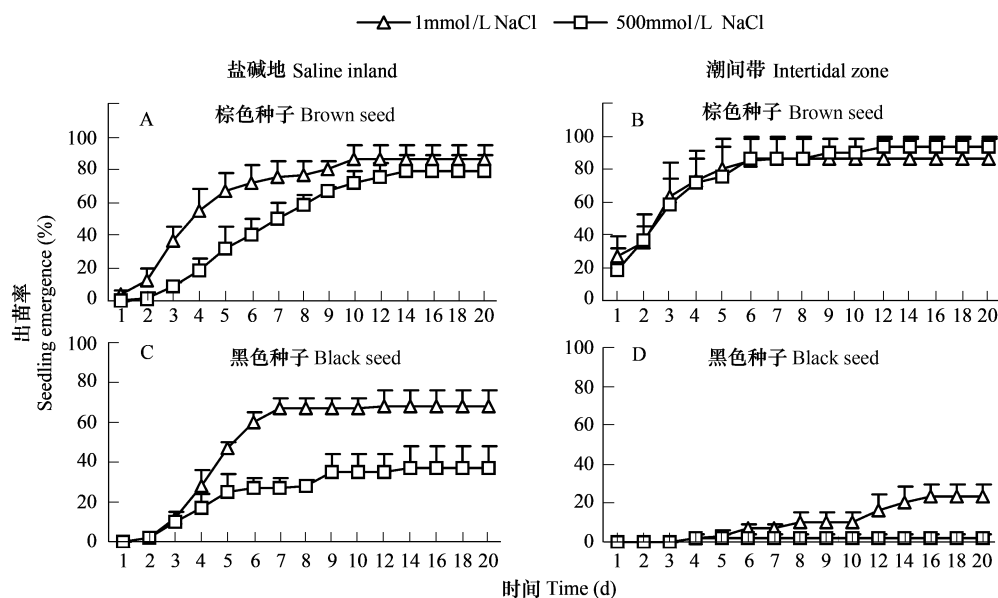


图1 盐处理对不同生境盐地碱蓬棕色和黑色种子出苗率的影响(平均值 + SD)

Fig. 1 Effect of NaCl on seedling emergence of brown and black seeds of *S. salsa* from intertidal zone or saline inland (Means + SD)

降低盐碱地生境盐地碱蓬鲜重及潮间带生境盐地碱蓬干重。所有处理条件下,盐碱地生境盐地碱蓬鲜、干重均高于潮间带生境盐地碱蓬的。1、200 mmol/L 和 600 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬鲜重分别为 9.8、12.3 g 和 7.4 g,分别是潮间带生境的 5.0、5.0 倍和 5.1 倍;其干重分别为 1.2、1.4 g 和 0.9 g,分别为潮间带生境的 4.0、4.3 倍和 4.5 倍(图 2,表 1)。

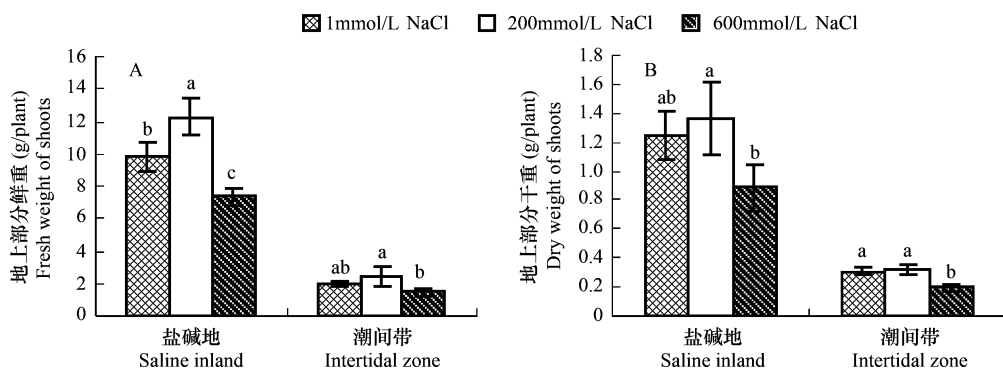


图2 盐处理对不同生境盐地碱蓬地上部分鲜重(A)和干重(B)的影响

Fig. 2 Effect of NaCl on the fresh weight (A) and dry weight (B) of shoots of *S. salsa* from intertidal zone or saline inland

平均值 ± SD; 同一列中平均值上的字母不同表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著,以下同 Means ± SD; Means on the same column having different letters are significantly different at $P < 0.05$ and the same below

2.3 盐处理对不同生境盐地碱蓬叶片离子含量的影响

两种生境盐地碱蓬叶片内 Na^+ 含量均随 NaCl 浓度的升高而显著增加。1、200 mmol/L 和 600 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬叶片内 Na^+ 含量分别是潮间带生境盐地碱蓬的 0.9、1.1 倍和 1.1 倍(图 3A, 表 1)。

两种生境盐地碱蓬叶片内 Cl^- 含量均随 NaCl 浓度的升高而显著增加。1、200 mmol/L 和 600 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬叶片内 Cl^- 含量分别是潮间带生境盐地碱蓬的 3.2、1.6 倍和 1.2 倍(图 3B, 表 1)。

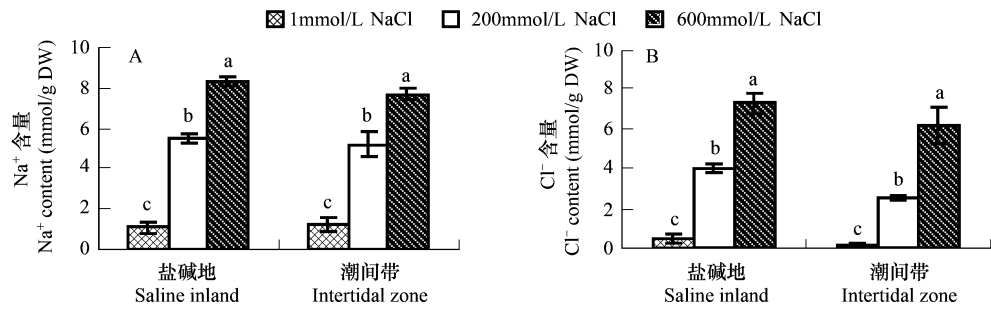


图3 盐处理对不同生境盐地碱蓬叶片 Na⁺ (A) 和 Cl⁻ (B) 含量的影响

Fig. 3 Effect of NaCl on the content of both Na⁺ (A) and Cl⁻ (B) in leaves of *S. salsa* from intertidal zone or saline inland

表1 两种生境盐地碱蓬地上部分鲜重、干重、叶片 Na⁺ 及 Cl⁻ 含量和叶绿素荧光参数 *Fv/Fm*、 Φ PS II 等特征关于生境、盐度及其交互作用的双因素分析结果

Table 1 Results of two-way ANOVA of characteristics of shoot fresh weight, dry weight, leaf Na⁺ and Cl⁻ content and chlorophyll fluorescence parameters *Fv/Fm* and Φ PSII for *S. salsa* from the intertidal zone or saline inland in relation to origin of population, salinity, and origin of population $\times$ salinity interactions

自变量 Independent variable	群落 Origin of population	盐度 Salinity	群落 $\times$ 盐度 Origin of population $\times$ Salinity
鲜重 Fresh weight	696.6 ***	33.3 ***	14.4 **
干重 Dry weight	151.7 ***	6.2 *	2.2 NS
Na ⁺ 含量 Na ⁺ content	2.6 NS	583.6 ***	1.9 NS
Cl ⁻ 含量 Cl ⁻ content	23.7 ***	343.5 ***	3.1 NS
<i>Fv/Fm</i>	67.0 ***	3.4 NS	0.5 NS
Φ PS II	106.3 ***	68.3 ***	19.4 ***

标有 * 表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; * * 表示在 $P < 0.01$ 水平上差异显著; * * * 表示在 $P < 0.001$ 水平上差异显著; NS 表示没有显著性差异; 数值代表 F 值 Superscript * denotes significant difference at $P < 0.05$, * * Denotes significant difference at $P < 0.01$, * * * Denotes significant difference at $P < 0.001$, NS denotes no significant difference. Data represent F values

2.4 盐处理对不同生境盐地碱蓬叶绿素荧光参数的影响

随盐处理浓度的增加,两种生境盐地碱蓬的 *Fv/Fm* 变化均不明显,但盐碱地生境盐地碱蓬的 *Fv/Fm* 高于潮间带生境的(图4A,表1)。200 mmol/L NaCl 处理时两种生境盐地碱蓬的 Φ PS II 均高于对照,600 mmol/L NaCl 处理时盐碱地生境盐地碱蓬的 Φ PS II 与对照相比没有明显差异,而潮间带生境盐地碱蓬的 Φ PS II 则显著低于对照(图4B,表1)。不同盐浓度下,盐碱地生境盐地碱蓬的 Φ PS II 高于潮间带生境的(图4A,表1)。

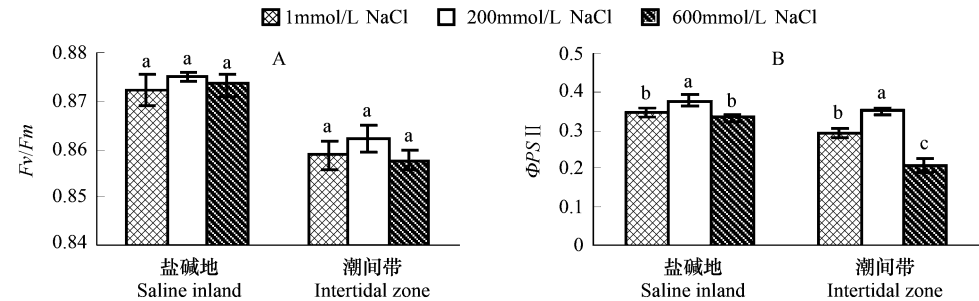


图4 盐处理对不同生境盐地碱蓬荧光参数 *Fv/Fm* (A)、 Φ PS II (B) 的影响

Fig. 4 Effect of NaCl on the *Fv/Fm* (A)、 Φ PS II (B) of *S. salsa* from intertidal zone or saline inland

3 讨论

种子二型性或多型性是一些盐生植物适应环境的重要策略^[11,12]。形态和大小不同的种子在不同的时间

萌发为植物种群建成提供了更多可能^[13]。盐地碱蓬棕色种子比黑色种子吸水快,盐渍条件下具有更高的萌发率^[7]。本试验结果发现,500 mmol/L NaCl 处理时两种生境盐地碱蓬棕色种子的出苗率都高于黑色种子的出苗率,尤其是潮间带生境盐地碱蓬,其黑色种子在 20d 内的出苗率几乎为零(图 1)。由此推测,盐地碱蓬可能在春天土壤高盐情况下以棕色种子建群。夏天由于降雨,一定程度地将土壤盐分淋洗,此时黑色种子萌发,有利于群落的建成。在土壤环境适宜种子萌发时盐生植物种子快速萌发被认为是盐生植物在种子萌发期间适宜盐渍环境的重要策略^[14]。本实验发现,潮间带生境盐地碱蓬棕色种子出苗明显快于盐碱地生境盐地碱蓬棕色种子(图 1)。由此看来,两种生境盐地碱蓬二型性种子出苗期间对盐分的响应,有利于盐地碱蓬,尤其是潮间带生境盐地碱蓬在盐渍环境中群落的建成。

土壤中盐分的种类及浓度会随环境的不同而变化。植物对这种多变的盐环境的适应能力决定了其种群在自然界中的分布。对盐地碱蓬生境调查发现,每千克潮间带生境烘干土壤中的 Na^+ 和 Cl^- 含量分别为 4.5 g 和 3.3 g,而盐碱地生境土壤中则分别为 2.4 g 和 2.0 g^①。对 Na^+ 以及 Cl^- 的吸收及向地上部转运的调控是植物耐盐的关键^[15~17]。大多数植物可以将土壤中到达根表面约 98% 的盐分拒之于根外,而仅仅允许很少量的盐分通过木质部进入地上部^[18]。研究表明,某些植物伸展叶中的 Cl^- 含量过高往往会导致盐害,并且这种伤害甚至在叶片中 Na^+ 含量较低时发生,说明 Cl^- 造成的伤害作用比 Na^+ 更严重^[15]。业已探明,与非盐生植物白梭梭(*Haloxylon persicum*)相比,真盐生植物囊果碱蓬(*Suaeda physophora*)能够更好地降低 Cl^- 的吸收或向地上部分的转运^[19]。盐地碱蓬在高盐条件下更多地利用 Na^+ 作为渗透调节物质而减少对 Cl^- 的吸收或转运是真盐生植物盐地碱蓬适应盐渍环境的重要适应性机制。有意思的是,高盐条件下潮间带生境盐地碱蓬叶片中的 Na^+ 和 Cl^- ,尤其是 Cl^- 明显低于盐碱地生境盐地碱蓬,表现出较强的拒盐,尤其是拒 Cl^- 特性(图 3;表 1),有利于潮间带生境盐地碱蓬适应持续高盐的生境。

F_v/F_m 是最大光化学效率,指 PS II 反应中心最大光能转化效率,能够反映出光能吸收和转化机构的完整性。 $\Phi\text{PS II}$ 反映光照条件下,PS II 反应中心部分关闭情况下的实际光化学效率^[20,21]。前人研究表明,盐胁迫对盐碱地生境盐地碱蓬 PS II 反应中心最大光化学效率及实际光化学效率没有影响,说明 PS II 对高盐胁迫的耐受能力是盐碱地生境盐地碱蓬可以生长在高盐土壤中的重要策略^[10]。本试验结果与前人研究结果相似(图 4;表 1),说明高盐对不同生境盐地碱蓬光能吸收转化机构都没有造成损伤。有趣的是所有盐处理下,盐碱地生境盐地碱蓬的最大光化学效率以及实际光化学效率均高于潮间带生境盐地碱蓬(图 4;表 1)。刘彧^①发现,野外条件下,盐碱地生境盐地碱蓬的 F_v/F_m 和 $\Phi\text{PS II}$ 也明显高于潮间带生境盐地碱蓬,并且盐碱地生境盐地碱蓬的生物量显著高于潮间带盐地碱蓬。阮圆等^[22]研究发现潮间带生境盐地碱蓬叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量显著低于盐碱地生境的。其可能的意义之一是生长在滨海潮间带逆境下的盐地碱蓬可以减少光能的吸收、传递,避免产生过多自由基(ROS)造成氧化胁迫。潮间带生境盐地碱蓬较低的 F_v/F_m 和 $\Phi\text{PS II}$ (图 4)以及叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量^[22]可能是不同浓度 NaCl 条件下盐碱地生境盐地碱蓬鲜、干重均显著高于潮间带生境盐地碱蓬(图 2)的原因之一,也可能是潮间带生境盐地碱蓬适应潮间带持续高盐生境的机制。

综上所述,两种生境盐地碱蓬二型性种子出苗期间对盐分的响应,有利于盐地碱蓬,尤其是潮间带生境盐地碱蓬在盐渍环境中群落的建成;较低的 $\Phi\text{PS II}$ 可能是潮间带生境盐地碱蓬生物量低于盐碱地生境盐地碱蓬的重要原因之一;高盐条件下潮间带生境盐地碱蓬较盐碱地生境盐地碱蓬表现出较强的拒盐特性,可能是潮间带生境盐地碱蓬适应持续高盐生境的重要机制。

References:

- [1] Zhao K F, Fan H, Jiang X Y, Zhou S. Critical day-length and photoinductive cycles for the induction of flowering in halophyte *Suaeda salsa*. Plant Sci., 2002, 162(1): 27–31.
- [2] Zhao K F, Fan H, Jiang X Y, Song J. Improvement and utilization of saline soil by planting halophytes. Chinese Journal of Applied and

① 刘彧. 自然生境下不同表型盐地碱蓬色素积累及光合特性的研究. 山东师范大学硕士论文, 2006.

- Environmental Biology, 2002, 8(1): 31—35.
- [3] Zhang H Y, Zhao K F. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment of *Suaeda salsa* seedlings. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(1): 56—61.
- [4] Zhang H Y, Fan Z F. Comparative study on the content of inorganic and organic solutes in ten salt-tolerant plants in Yuncheng Saltlake. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(3): 352—358.
- [5] Zhao K F, Fan H, Zhou S, Song J. Study on the salt and drought tolerance of *Suaeda salsa* and *Kalanchoe daigremontiana* under iso-osmotic salt and water stress. *Plant Sci.*, 2003, 165(4): 837—844.
- [6] Wang C Q, Zhao J Q, Chen M, Wang B S. Identification of betacyanin and effects of environmental factors on its accumulation in halophyte *Suaeda salsa*. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2006, 32(2): 195—201.
- [7] Li W Q, Liu X J, Khan M A, Yamaguchi S. The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrite and light on the germination of dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions. *J. Plant Res.*, 2005, 118: 207—214.
- [8] Shao Q L, Xie X D, Zhang F S, Cui H W, Cao Z Y. A preliminary study on the artificial cultivation and breeding selection of *Suaeda salsa*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(1): 47—49.
- [9] Song J, Fan H, Zhao Y Y, Jia Y H, Du X H, Wang B S. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland. *Aquat. Bot.*, 2008, 88(4): 331—337.
- [10] Lu C M, Qiu N W, Lu Q T, Wang B S, Kuang T Y. Does salt stress lead to increased susceptibility of photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoors? *Plant Sci.*, 2002, 163(5): 1063—1068.
- [11] Khan M A, Ungar I A. The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. *Am. J. Bot.* 1984, 71: 481—489.
- [12] Khan, M A, Gull B, Weber D J. Germination of dimorphic seeds of *Suaeda moquinii* under high salinity stress. *Aust. J. Bot.* 2001, 49: 185—192.
- [13] Ungar I A. Population ecology of halophyte seeds. *Bot. Rev.*, 1987, 53:301—344.
- [14] Song J, Feng G, Tian C Y, Zhang F S. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a saline environment during seed-germination stage. *Ann. Bot.*, 2005, 96:399—405.
- [15] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1980, 31: 149—190.
- [16] Warwick N W M, Halloran G M. Accumulation and excretion of sodium, potassium and chloride from leaves of two accessions of *Diplachne fusca* (L.) Beauv. *New Phytol.*, 1992, 121(1): 53—61.
- [17] Tester M, Davenport R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.*, 2003, 91(5): 503—527.
- [18] Munns R. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 2005, 167(3): 645—663.
- [19] Song J, Ding X D, Feng G, Zhang F S. Nutritional and osmotic roles of nitrate in a euhalophyte and xerophyte in saline conditions. *New Phytol.*, 2006, 171(2), 357—366.
- [20] Xu D Q, Zhang Y Z, Zhang R X. Photoinhibition of Photosynthesis in Plant. *Plant Physiology Communications*, 1992, 28(4): 273—243.
- [21] Xu D Q. Photosynthetic Efficiency. Shanghai, Shanghai Scientific&Technological Press, 2002, 29—35.
- [22] Ruan Y, Liu Y, Wang B S. Study on the pigment accumulation and characteristics of photosynthesis of *Suaeda salsa* under different natural saline environments. *Journal of Shandong Normal University(Natural Science)*, 2008, 23(1): 115—117.

参考文献:

- [2] 赵可夫,范海,江行玉,宋杰. 盐生植物在盐渍土壤改良中的作用. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(1): 31~35.
- [4] 张海燕,范哲峰. 运城盐湖十种耐盐植物体内无机及有机溶质含量的比较研究. *生态学报*, 2002, 22(3): 352~358.
- [6] 王长泉,赵吉强,陈敏,王宝山. 盐地碱蓬甜菜红素苷的鉴定及环境因素对其积累的影响. *植物生理与分子生物学报*, 2006, 32(2): 195~201.
- [8] 邵秋玲,谢小丁,张方申,崔宏伟,曹子谊. 盐地碱蓬人工栽培与品系选育初报. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 47~49.
- [20] 许大全,张玉忠,张荣铎. 植物光合作用的抑制. *植物生理学通讯*, 1992, 28(4): 273~243.
- [21] 许大全. 光合作用效率. 上海:上海科学技术出版社, 2002. 29~35.
- [22] 阮圆,刘彧,王宝山. 不同自然盐渍生境下盐地碱蓬叶片色素积累及光合特性的研究. *山东师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 23(1): 115~117.