生 态 学 报 2010,30(20):5485—5490
Acta Ecologica Sinica

盐旱互作对不同生境盐地碱蓬种子萌发和幼苗生长的影响

刘金萍,高 奔,李 欣,宋 杰*,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:研究了盐旱互作对潮间带和盐碱地生境盐地碱蓬棕色种子萌发、地上部生长和离子积累的影响。不同盐浓度预处理后,未萌发的种子风干后复水,其萌发率与对照相比没有降低,说明两种生境盐地碱蓬种子萌发期间都耐干湿交替。400 mmol/L NaCl 溶液浇灌的潮间带生境盐地碱蓬幼苗在第 3 次干旱处理后萎蔫幼苗的百分比高于盐碱地生境的,而复水后正常幼苗的百分比却相反。400 mmol/L NaCl 溶液处理下,第 3 次干旱处理复水后,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗地上部离子含量(主要是 Na^+ 和 Cl^-)高于潮间带生境的。表明在干旱情况下,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗能积累更多的无机离子,降低渗透势,提高根系吸收水分的能力。上述结果说明,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗较潮间带生境盐地碱蓬幼苗更耐盐与干旱的交互作用。

关键词:盐地碱蓬;盐旱互作;萌发率;离子积累;抗旱性

The effects of salinity and drought interaction on seed germination and seedling growth of *Suaeda salsa* L. from different habitats

LIU Jinping, GAO Ben, LI Xin, SONG Jie*, FAN Hai*, WANG Baoshan, ZHAO Kefu
Key Labortory of Plant Stress, College of Life Science, Shandong Normal University, Jinan 250014, *China*

Abstract: We investigated the effects of interactions of salinity and drought on germination of brown seeds, and growth and ion accumulation of seedlings grown from brown seeds of *Suaeda salsa* L. from an intertidal zone and a saline inland habitat. The dryness/moist rotation had no adverse effect on germination of dry seeds pretreated in different concentrations of NaCl for either population, indicating that seeds of both populations have a high tolerance of dryness/moist rotation. The percentage of wilting seedlings irrigated with 400 mmol/L NaCl in *S. salsa* from the intertidal zone was higher than that of the inland population under drought conditions at the third time of irrigation, but the opposite trend was found for the percentage of recovery of seedlings after wilting seedlings were supplied with fresh water again. Ion concentrations (mainly Na^+ and Cl^-) in shoots of seedlings watered with 400 mmol/L NaCl in *S. salsa* from a saline inland habitat were higher than those of the inland population when the experiment was terminated which indicates that seedlings of *S. salsa* from the saline inland habitat can accumulate more ions to decrease their osmotic potential, to ensure water uptake, compared with *S. salsa* from the intertidal zone. The present results indicate that seedlings of *S. salsa* from a saline inland habitat are more tolerant to salinity and drought interactions than the intertidal population.

Key Words: *Suaeda salsa*; salinity and drought interaction; seed germination; ion accumulation; drought resistance

土壤盐渍化和水资源短缺是影响农业可持续发展的主要限制因子。目前,全球耕地的 20% 受到盐害威胁,43% 为干旱和半干旱地区[1],并且有日益扩大的趋势。在自然环境下,盐生植物的生长往往同时受到盐

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:2009-09-29; **修订日期**:2009-12-11
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: songjieever@163.com; biofanhai@163.com

分和干旱胁迫的影响。盐渍和干旱均会导致细胞失水,引起渗透胁迫[2]。目前人们正试图在盐碱地上直接种植经济盐生植物来实现盐碱地的开发利用和发展咸水灌溉农业[3]。

盐地碱蓬(*Suaeda salsa* L.)为藜科碱蓬属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,保健价值很高[4]。盐地碱蓬既可以生长在海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[5]。盐地碱蓬具有很高的抗盐性,其叶片中积累大量的 Na^+ 和 Cl^- [6-8],而且将这些离子区隔化到液泡中作为渗透调节物质[9]。黄玮等[10]对盐碱地生境盐地碱蓬在旱盐互作条件下的生长及渗透调节物质的积累特性进行了研究。Song[11]对盐与淹水条件下两种生境盐地碱蓬的出苗以及幼苗生长和离子积累特性进行了比较研究。发现潮间带生境盐地碱蓬在出苗以及小幼苗阶段较盐碱地生境盐地碱蓬更耐淹水。目前,有关盐旱互作对两种生境盐地碱蓬种子萌发及幼苗生长的比较研究尚未见报道。为此,本文做了相关研究,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参考。

1 材料与方法

1.1 材料

盐碱地及潮间带生境盐地碱蓬棕色种子,2008年10—11月采自山东省东营市。

1.2 方法

1.2.1 种子萌发试验

选取大小一致的盐碱地及潮间带生境盐地碱蓬棕色种子,分别放于铺有滤纸的培养皿中,每皿50粒。NaCl溶液设3个浓度:1、200和600 mmol/L(均用五分之一Hoagland溶液配制,用KOH和 H_2SO_4 调节pH至6.0±0.1),每皿均加入4 mL NaCl处理溶液。25℃进行室内培养,26 h后记录种子的萌发数,并将萌发的种子挑出,未萌发的种子在室内自然风干。7 d后,用1 mmol/L NaCl溶液复水,同时取未经任何处理的种子(作为对照),放入1 mmol/L NaCl溶液中萌发7 d(5 d后对照及干旱处理过的种子都不再萌发)。按以下公式计算风干种子的萌发率和总萌发率:

$$萌发率 = c/b \times 100 \qquad 总萌发率 = [(a-b)+c]/a \times 100$$

式中,a 为种子总数,b 为在盐溶液中未萌发的种子数,c 为在盐溶液中未萌发的种子风干后转入1 mmol/L NaCl复水7 d后萌发的种子数。

1.2.2 幼苗生长试验

将盐碱地及潮间带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,播种后就开始盐处理,每个处理设4个重复。NaCl溶液设2个浓度:1和400 mmol/L(均用五分之一的Hoagland溶液配制,用KOH和 H_2SO_4 调节pH至6.0±0.1),待长至3—4片真叶时进行间苗,每盆留10棵,8 d后开始干旱处理。干旱处理5 d,当有一定数量的幼苗出现弯曲(作为萎蔫幼苗)时用定量原溶液复水,2 d后再进行第2次干旱处理,如此反复3次,每次处理后统计萎蔫和恢复生长的幼苗数,计算萎蔫幼苗和恢复生长幼苗的百分比,按以下公式计算:

$$萎蔫幼苗的百分比 = e/d \times 100 \qquad 恢复生长幼苗的百分比 = f/d \times 100$$

式中,d 为每次干旱前正常的幼苗数,e 为每次复水前萎蔫的幼苗数,f 为萎蔫的幼苗用原溶液复水后恢复生长的幼苗数

1.2.3 植株地上部分鲜重和干重的测定

第3次复水后,将恢复生长幼苗的地上部分用去离子水快速冲洗干净,吸干表面的水分,称鲜重;然后放入80℃烘箱烘至恒重,称干重。每个处理4个重复。

1.2.4 植株地上部分 Na^+、K^+ 和 Cl^- 含量的测定

称取一定量的植物材料剪碎,分别放入试管中,加入10 mL去离子水,封口后置于沸水中30 min,过滤并定容至25 mL,用410型火焰光度计(英国Sherwood公司)测定 Na^+ 和 K^+ 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。每个处理 4 个重复。

1.2.5　数据处理

所有数据采用 SPSS(13.0)统计软件进行分析处理。

2　结果

2.1　干湿交替对不同生境盐地碱蓬棕色种子萌发率的影响

不同盐浓度处理后未萌发的盐碱地和潮间带生境盐地碱蓬棕色种子在室内自然风干后,用 1 mmol/L NaCl 溶液复水后的萌发率与对照(未经过任何处理的种子在 1 mmol/L NaCl 溶液中的萌发率)相比没有显著差异。盐碱地生境盐地碱蓬自然风干种子的总萌发率与对照相比没有显著差异,而潮间带生境盐地碱蓬自然风干种子的总萌发率显著高于对照(图 1)。

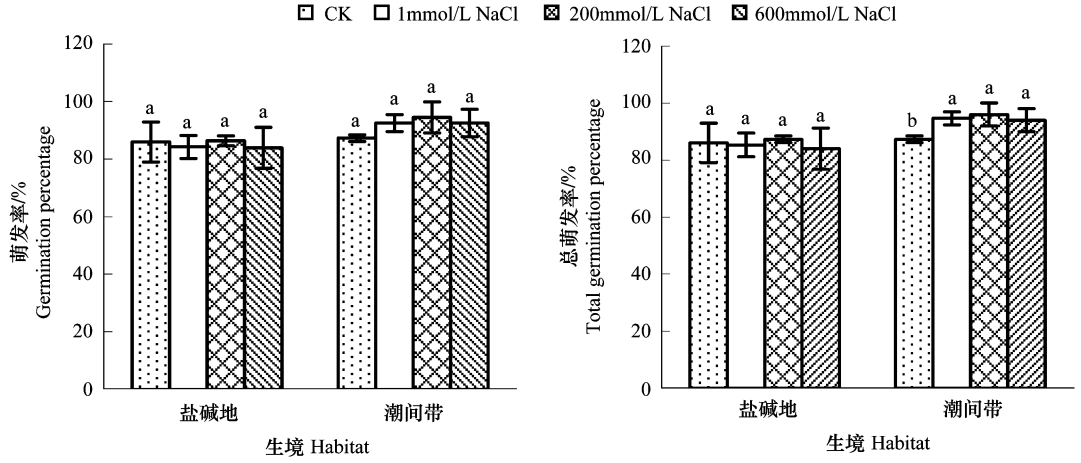

图 1　干湿交替对不同生境盐地碱蓬种子萌发率和总萌发率的影响

Fig. 1　Effects of dryness/moist rotation on germination and total germination percentage of *S. salsa* from different habitats

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

2.2　干湿交替对不同生境盐地碱蓬幼苗生长的影响

不同盐浓度处理下,尤其是高盐浓度下两种生境盐地碱蓬萎蔫幼苗的百分比均随着干旱次数增加而增加。第 3 次干旱处理后,在 400 mmol/L NaCl 处理下,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗萎蔫率显著低于潮间带生境盐地碱蓬的(图 2)。

第 1、2 次复水后,不同盐浓度下两种生境盐地碱蓬恢复生长幼苗的百分比无显著性差异。第 3 次复水后,400 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬恢复生长幼苗的百分比显著高于潮间带生境盐地碱蓬,1 mmol/L NaCl 处理下则相反(图 2)。

2.3　干湿交替对不同生境盐地碱蓬生长的影响

第 3 次复水后盐碱地生境盐地碱蓬地上部鲜重和干重随着盐浓度升高有增加的趋势。潮间带生境盐地碱蓬鲜重随着盐浓度升高而降低,400 mmol/L NaCl 处理下的干重与对照相比无显著差异(图 3)。

2.4　盐旱互作对不同生境盐地碱蓬地上部分离子含量的影响

第 3 次干旱复水后两种生境盐地碱蓬地上部 Na^+ 含量均随着 NaCl 浓度的升高而显著增加。不同生境盐地碱蓬地上部分 Na^+ 含量无显著差异(图 4)。

两种生境盐地碱蓬地上部分 Cl^- 含量均随 NaCl 浓度的升高而显著增加。1 mmol/L NaCl 处理下不同生境盐地碱蓬地上部分 Cl^- 含量无显著差异,400 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬地上部分 Cl^- 含量显著高于潮间带生境盐地碱蓬的(图 4)。

两种生境盐地碱蓬地上部分 K^+ 含量均随着 NaCl 浓度的升高而显著降低。1 mmol/L NaCl 处理下潮间带生境盐地碱蓬地上部分 K^+ 含量显著高于盐碱地生境盐地碱蓬的,而 400 mmol/L NaCl 处理下不同生境盐地

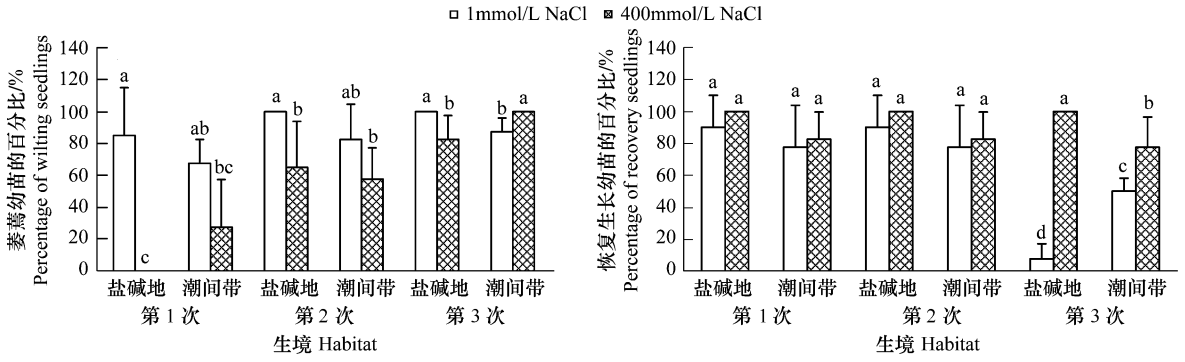

图 2 干湿交替对不同生境盐地碱蓬萎蔫幼苗的百分比和恢复生长幼苗的百分比的影响

Fig. 2 Effects of dryness/moist rotation on percentage of wilting seedlings and percentage of recovery seedlings after wilting seedlings were rewatered of *S. salsa* from different habitats

平均值 ± *SD*;同一次干旱及复水处理数据的平均值上的字母不同表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著

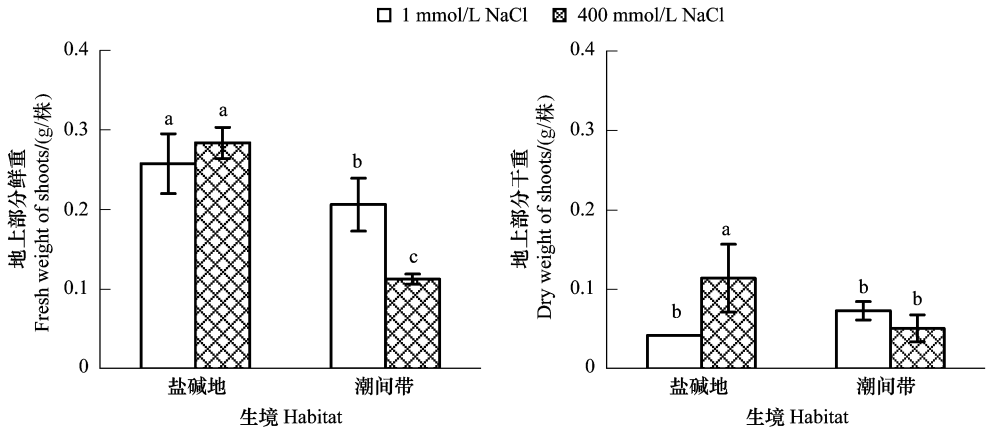

图 3 干湿交替对不同生境盐地碱蓬生长的影响

Fig. 3 Effects of dryness/moist rotation on seedling growth of *S. salsa* from different habitats

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

碱蓬地上部分 K^+ 含量无显著差异(图 4)。

3 讨论

种子萌发是植物生活史中的重要阶段,决定着幼苗能否存活以及此后群落的建成。盐生植物在土壤盐分较高时不萌发,在土壤环境条件适宜时大量并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[12-15]。Song[11]发现潮间带生境盐地碱蓬在出苗阶段较盐碱地生境盐地碱蓬更耐盐与淹水交互作用。设想由于潮间带生境盐地碱蓬长期适应土壤持续高湿环境,种子萌发阶段可能不如盐碱地生境盐地碱蓬耐土壤干湿交替。然而从本实验自然风干的盐地碱蓬种子萌发率和总萌发率(图 1)结果来看,两种生境盐地碱蓬种子萌发期间都耐干湿交替处理。说明不同生境盐地碱蓬在种子萌发阶段都具有很强的耐逆性,从而保证盐地碱蓬种子库中有一定数量具有萌发力的种子,当环境条件适宜时,这些未萌发的种子就会萌发,可能是盐生植物适应盐渍环境的重要机制。

植物在整个发育期对盐分的敏感性不同。盐生植物一般在种子萌发阶段较幼苗阶段具有更强的抗盐性。例如 Tobe 等[16]研究发现,一种抗盐性很强的真盐生植物盐爪爪(*Kalidium capsicu*)在种子萌发期间很耐盐,而刚萌发的幼苗在盐溶液中胚根生长明显受到抑制。盐地碱蓬种子在春天开始萌发,此时由于降雨较少,土壤含盐量一般较夏季幼苗生长阶段高[12,14]。所以本实验在盐地碱蓬种子萌发阶段将 NaCl 浓度最高设为 600 mmol/L,而在盐地碱蓬幼苗阶段最高设为 400 mmol/L NaCl 处理。本实验发现,1 和 400 mmol/L NaCl 处理的

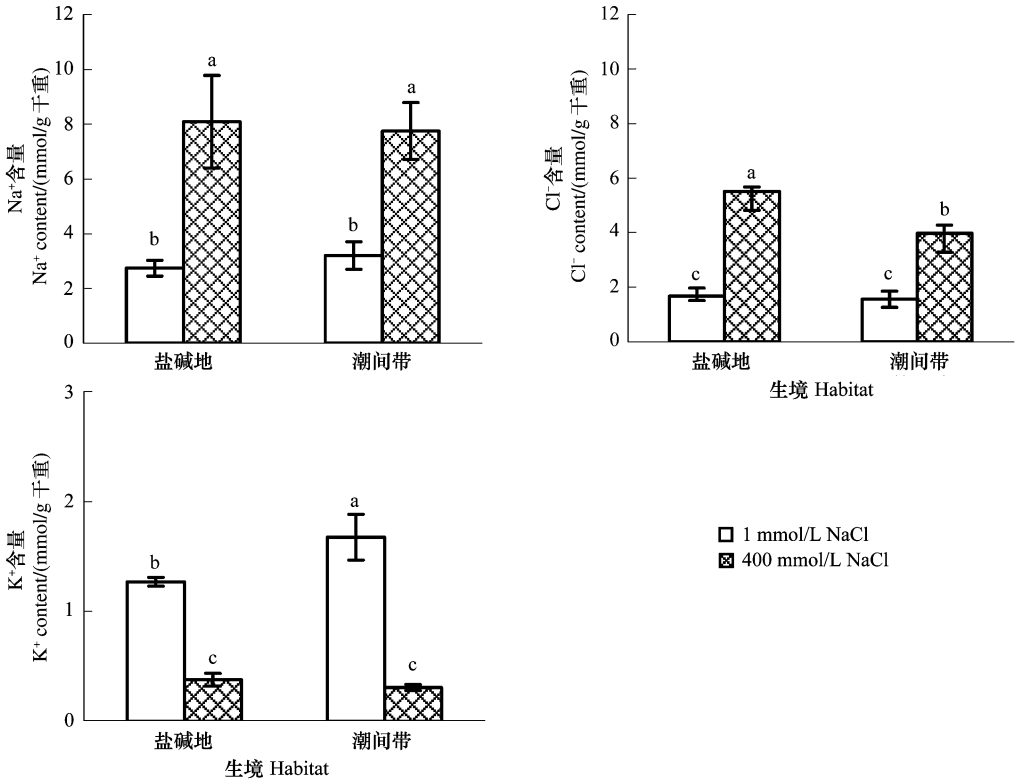

图 4　盐旱互作对不同生境盐地碱蓬地上部分 Na^+、Cl^- 和 K^+ 含量影响

Fig. 4　Effects of salinity and drought interaction on contents of Na^+、Cl^- and K^+ of shoots of *S. salsa* from different habitats

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

盐地碱蓬幼苗,在干旱处理时均一定程度地发生萎蔫,而且 400 mmol/L NaCl 处理下盐地碱蓬幼苗更为严重(图 2)。经过连续几次干湿交替处理后,盐地碱蓬幼苗抗萎蔫能力增强(图 2)。400 mmol/L NaCl 处理下潮间带生境盐地碱蓬幼苗在第 3 次干旱处理后萎蔫幼苗的百分比高于盐碱地生境的(图 2),而复水后恢复生长幼苗的百分比低于盐碱地生境盐地碱蓬的(图 2)。经过 3 次干湿交替处理后, 400 mmol/L NaCl 处理下盐碱地生境盐地碱蓬的干重与对照相比没有降低反而增加(图 3)。说明盐碱地生境盐地碱蓬幼苗较潮间带生境盐地碱蓬幼苗更耐盐与干旱的交互作用。

盐对植物胁迫效应主要为渗透胁迫和离子胁迫,以及由此导致营养匮缺及氧化胁迫等。盐生植物在长期的进化过程中形成了一系列生理机制来适应外界环境,植物能够吸收和积累无机离子进行渗透调节。对于盐生植物来说,Na^+ 和 Cl^- 是很重要的无机渗透调节物质。在盐渍环境中,盐生植物可以从外界吸收大量 Na^+ 和 Cl^- 来降低渗透势,有利于植物从土壤中吸收水分[4,17]。400 mmol/L NaCl 处理下,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗地上部分离子含量(主要是 Na^+ 和 Cl^-)高于潮间带生境的(图 4)。表明干旱情况下,盐碱地生境盐地碱蓬幼苗能积累更多的无机离子,降低渗透势,从而提高根系吸收水分的能力,这可能是盐碱地生境盐地碱蓬幼苗更耐干旱的原因之一。盐碱地生境盐地碱蓬幼苗较强抗旱性的机制有待进一步研究。

综上所述,两种生境盐地碱蓬种子萌发阶段都耐干湿交替。但盐碱地生境盐地碱蓬在幼苗阶段比潮间带生境盐地碱蓬幼苗更耐盐与干旱的交互作用,这可能是盐地碱蓬长期适应不同生境的结果。

References:

[1] Zeng H Z, Luo L J. A review on plant drought and salt tolerance gene. Journal of Plant Genetic Resources,2003,4(3):270-273.

[2] Liu Q, Zhang Y, Chen S. Plant protein kinase genes induced by drought, hight salt and cold stress. Chinese Science Bullet,2000,45(13):1153-1157.

[3] Mao J H, Lu W L. Developing solonchak agriculture and promoting agriculture structure adjustment. Tianjin Agriculture Sciences,2006,6(3):49-51.

[4] 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 Science,2002,162(1):27-31.

[5] Wang C Q, Zhao J Q, Chen M, Wang B S. Indertification of betacyanin effects of environmental factors on its accumulation in halophyte *Suaede salsa*. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology,2006,32(2):195-201.

[6] Zhang H Y, Zhao K F. Effects of salt and water stress on osmotic adjustment of *Suaeda salsa* seedling. Acta Botanica Sinica,1998,40(1):56-61.

[7] Zhang H Y, Fan Z F. Comparative study on the content of inorganic and organic solutes in ten salt-tolerant plant in Yuncheng Saltlake. Acta Ecologica Sinica,2002,22(3):352-358.

[8] Song J, Chen M, Feng G, Jia Y H, Wang B S, Zhang F S. Effect of salinity on growth, ion accumulation and the roles of ions in osmotic adjustmemt of two populations of *Suaeda salsa*. Plant and Soil,2009,314(1):133-141.

[9] Zhao K F, Fan H, Zhou S, Song J. Study on the salt and drought tolerance of *Suaede salsa* and *Kalanchoe daigremontiana* under iso-osmotic salt and water stress. Plant Science,2003,165(4):837-844.

[10] Huang W, Li Z G, Qiao H L, Li C Z, Liu X J. Interactive effect of sodium chloride and drought on growth and osmotica of *Suaeda salsa*. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008,16(1):173-178.

[11] Song J. Root morphology is related to the phenotypic variation in waterlogging tolerance of two populations of *Suaeda salsa* under salinity. Plant and Soil,2009,324:231-240.

[12] Song J, Feng G, Tian C Y, Zhang F S. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to saline environment during seed germination stage. Annals of Botany,2005,96:399-405.

[13] 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. Aquatic Botany,2008,88:331-337.

[14] Wei Y, Dong M, Huang Z Y, Tan D Y. Factors influencing seed germination of *Salsola affinis*(Chenopodiaceae), a diminant annual halophyte inhabiting the deserts of Xinjiang, China. Flora,2008,203:134-140.

[15] 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. Journal of Plant Research,2005,118:207-214.

[16] Tobe K, Li X M, Omasa K. Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium capsicum*(Chenopodiaceae). Annals of Botany,2000,85:391-396.

[17] Shi G W, Song J, Gao B, Yang Q, Fan H, Wang B S, Zhao K F. The comparation on seedling emergence and salt tolerance of *Suaeda Salsa* L. from different habitats. Acta Ecologica Sincica,2009,29(1):138-143.

参考文献:

[1] 曾华宗,罗利军.植物抗旱、耐盐基因概述.植物遗传资源学报,2003,4(3):270-273.

[3] 毛建华,陆文龙.发展盐土农业促进农业产业结构调整.天津农业科学,2006,6(3):49-51.

[7] 张海燕,范哲峰.运成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.

[10] 黄玮,李志刚,乔海龙,李存桢,刘小京.盐旱互作对盐地碱蓬生长及渗透调节物质的影响.中国农业生态学报,2008,16(1):173-178.

[17] 史功伟,宋杰,高奔,杨青,范海,王宝山,赵可夫.不同生境盐碱地碱蓬出苗及幼苗抗旱性的比较研究.生态学报,2009,29(1):138-143.