

外源甜菜碱对盐胁迫下盐角草和毕氏海蓬子萌发及幼苗生长的影响

周泉澄¹, 华 春^{1*}, 周 峰¹, 陈爱晶², 王仁雷³
(1. 南京晓庄学院生命科学系, 江苏 南京 210017; 2. 江苏盐城市农业局土肥站, 江苏 盐城 224002;
3. 江苏食品职业技术学院, 江苏 淮安 223001)

摘 要: 研究了外源甜菜碱(GB)对不同盐(NaCl)浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草种子萌发及幼苗生长的影响。结果表明:外源甜菜碱提高了盐环境下毕氏海蓬子和盐角草种子的发芽率、发芽指数以及活力指数。在外源甜菜碱处理下,毕氏海蓬子和盐角草幼苗根茎长及叶绿素含量都高于单盐处理,表明外源甜菜碱提高了毕氏海蓬子和盐角草抗盐能力。甜菜碱对毕氏海蓬子种子萌发率、发芽势的促进作用更大,而对于促进幼苗根茎的生长及提高活力指数和耐盐性方面对盐角草的作用更为明显。

关键词: 毕氏海蓬子;盐角草;外源甜菜碱;萌发率;盐胁迫
中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0179-06

毕氏海蓬子(*Salicornia bigelovii* Torr.)和盐角草(*Salicornia europaea* L.)均为藜科盐角草属,一年生双子叶草本盐生植物。毕氏海蓬子原产美国西部海滨,后经亚里桑那大学培育、改良,在我国东南部沿海地区已开始试种。盐角草又称欧洲海蓬子,我国东北、华北、西北各省区及山东、江苏有分布,是迄今为止报道过的最耐盐的陆生高等植物种类之一。两者具有较好的生态效应、经济前景及较高的科学利用价值^[1~4]。

甜菜碱(GB)是一类季铵化合物,高等植物 28 个科中都有甜菜碱的分布,特别是藜科和禾本科植物能积累大量的甜菜碱。甜菜碱对细胞的渗透调节有重要作用,同时参与稳定生物大分子的结构和功能,对有氧呼吸和能量代谢过程有良好的保护作用,还可以稳定光合放氧和光系统,保护光合机构;并且能影响离子在细胞内的分布^[5~7]。在抗盐生理中,甜菜碱的主要作用是在植物体内作为一种无毒的细胞质渗透剂^[8],有利于激活种子内部酶的活性,提高种子的萌发率。有报道将甜菜碱合成关键酶——甜菜碱醛脱氢酶基因克隆并转进油菜中可以明显提高油菜的耐盐性^[9,10]。李玉静等用外源甜菜碱处理棉苗,显著提高了棉苗的抗盐能力和光合能力^[11]。

由于毕氏海蓬子和盐角草较高的耐盐性和具有重要的经济价值,近年来对其生理生化及生长发育的研究报道较多^[12~14]。但目前对于如何解决其在自然环境下萌发率低及两者间的差异报道较少。本

实验以外源 GB 处理两种材料,以期为植物的抗旱、耐盐机理以及整体抗逆性研究积累资料,并为干旱盐碱地区盐生植物的引种栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料及处理

选用毕氏海蓬子(图中简称海蓬子)和盐角草为实验材料。毕氏海蓬子种子由南京农业大学光合与逆境生理实验室提供,为 2007 年 10 月份采收,盐角草种子采于盐城大丰县。于 2008 年 3 月进行本试验。

种子用 12% 双氧水消毒 2 h。以 5 mmol/L(参考预实验确定)外源甜菜碱和不同盐(NaCl)浓度的混合液处理。盐浓度分别为:0(蒸馏水)、50 mmol/L、100 mmol/L、200 mmol/L、300 mmol/L、400 mmol/L。在培养皿中放入 3 张滤纸,分别加入上述溶液至饱和,上层培养皿放一张用蒸馏水湿润的滤纸。在培养皿中放入海蓬子和盐角草的的种子各 100 粒。每处理 3 组重复。实验在智能人工气候箱中进行,光照 12 h/d,光强 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度 25℃,相对湿度 70%。每天观察记录发芽种子并称重补充蒸发的溶液,使各处理浓度维持不变。数据用 SPSS 软件处理。

1.2 测定方法

1.2.1 发芽率 统计至第八天所有已发芽种子的粒数除以总的种子粒数。

1.2.2 发芽指数(G_i) $G_i = \sum G_i / D_i$ (G_i :在时间 t 日的发芽数, D_i :相应的发芽日数)

收稿日期:2009-06-14
基金项目:江苏省教育厅自然科学基金(05KJD180118, 07KJD180126);南京晓庄学院重点课题(2005NXY01 和 2006NXY32)
作者简介:周泉澄(1972—),男,安徽当涂人,在读博士,主要从事植物逆境与光合作用的研究。E-mail:zhouqc1972@163.com。
* 通讯作者:华 春(1963—),女,江苏江阴市人,教授,从事植物生理学教学与科研。E-mail:hc3501988@163.com
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- 1.2.3 活力指数(V_i) $V_i = G_i \times S$ (S :幼苗的生长势,用根长表示)
- 1.2.4 萌发第 10 d,每处理随机取 10 棵幼苗,测定其根长、茎长。
- 1.2.5 叶绿素含量的测定 以丙酮提取,按 Arnon^[15]的方法,用 UV-754 型分光光度计比色测定,叶苗质量为鲜重,以 mg/g 表示。
- 1.2.6 耐盐指数的测定 耐盐指数= Σ 盐胁迫下最长根的平均值/ Σ 对照下最长根的^[16]平均值。

2 结果与分析

2.1 种子发芽率

图 1 显示,在相同的处理条件下,种子萌发率与盐浓度成反比,统计表明两者呈显著负相关:(盐角草,NaCl; $r = -0.929$,NaCl+GB; $r = -0.907$;毕氏海蓬子,NaCl; $r = -0.979$,NaCl+GB; $r = -0.956$),说明盐胁迫显著抑制种子的萌芽。施加外源 GB 后,毕氏海蓬子和盐角草的种子发芽率都高出单盐胁迫,说明外源 GB 可以缓解盐胁迫,提高种子发芽率。实验还显示外源 GB 提高盐胁迫下毕氏海蓬子种子发芽率的作用要稍大于盐角草。

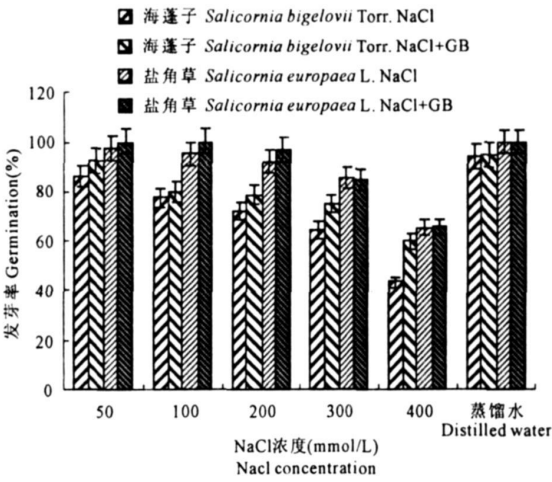


图 1 不同 NaCl 浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草种子的发芽率
Fig.1 Germination of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different NaCl concentration

2.2 种子发芽指数

发芽率作为种子播种指标有一定的局限性,它不能准确预测种子在田间条件下的出苗率、植株生长产量以及种子耐贮藏性等^[17]。发芽指数则包含了萌发速度和整齐度等信息。从图 2 可以看出,毕

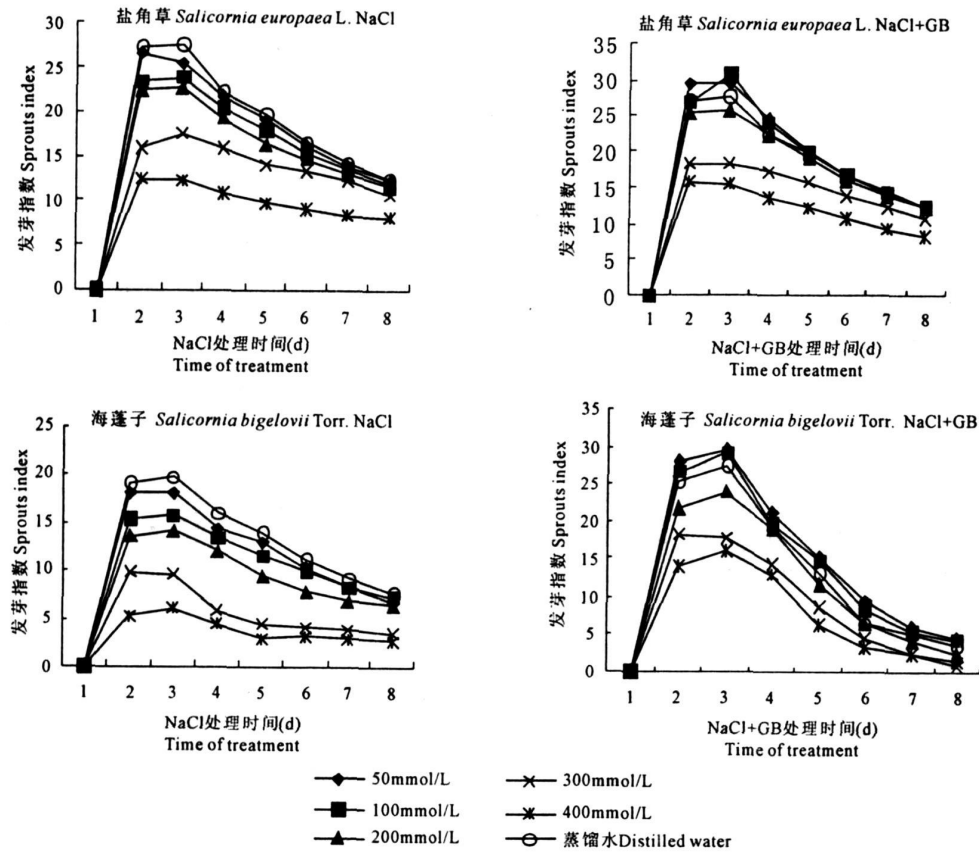


图 2 不同 NaCl 浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草种子的发芽指数

Fig.2 Sprouts index of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different NaCl concentration

氏海蓬子和盐角草种子发芽指数随着浓度的上升总体呈下降趋势,以蒸馏水环境发芽指数为最高。毕氏海蓬子在第 3d 各浓度处理的种子的发芽指数最高,而盐角草的在第 2 d 就达到最高,其后随着萌发天数的增加,发芽指数都呈下降趋势。在外源 GB 处理下,两实验材料种子发芽指数较单盐处理要高,在 50 mmol/L、100 mmol/L 区域影响尤为明显,无论是毕氏海蓬子还是盐角草,上述两浓度处理种子发芽指数都超过蒸馏水,其他浓度也有不同程度的提升。说明外源 GB 可以提高盐环境中毕氏海蓬子种子的萌发速度和整齐度。

2.3 种子活力指数

种子活力指数是衡量种子萌发能力的一个重要指标,是指种子的健壮度,包括迅速、整齐萌发的发芽潜力及生长势和生产潜力^[18]。图 3 显示,经外源 GB 处理后,毕氏海蓬子和盐角草的种子活力指数较对照都呈增长趋势。总体来看,外源 GB 处理提高种子活力指数在 200 mmol/L 浓度以下效果显著,而超过 200 mmol/L 以上时提升幅度较小,可能是外源 GB 处理显著增加了两实验材料在 200

mmol/L 浓度以下的幼苗根长。同等条件下,盐角草种子活力指数均高于毕氏海蓬子,且外源 GB 处理对提高盐胁迫下盐角草种子活力指数的作用较大。

2.4 幼苗根长、茎长和根茎比

由图 4 可以看出,单盐处理下,毕氏海蓬子和盐角草的根长和茎长随着浓度的增加都呈下降趋势,盐角草的根长高于毕氏海蓬子,而茎长却是毕氏海蓬子值大。施加外源 GB 后,毕氏海蓬子和盐角草的根长和茎长都有所增加。施加外源 GB 后,根长的增加幅度在 25%左右,且盐浓度在 200 mmol/L 以下时根长下降趋势明显变缓。与单盐处理相比较,施加外源 GB 后,茎长的增长幅度约为 30%,同时可以看出外源 GB 对毕氏海蓬子茎长的促进作用较盐角草要大。结果显示,外源 GB 对茎长的促进作用要远大于对其根长的促进作用。由图 5 看出,经外源 GB 处理后,毕氏海蓬子的根茎比都呈下降趋势,说明外源 GB 对毕氏海蓬子茎长的促进作用较根长要明显。外源 GB 处理对盐角草的根茎比有不同程度的提升,这种作用在高浓度(>200 mmol/L)范围内尤其明显。

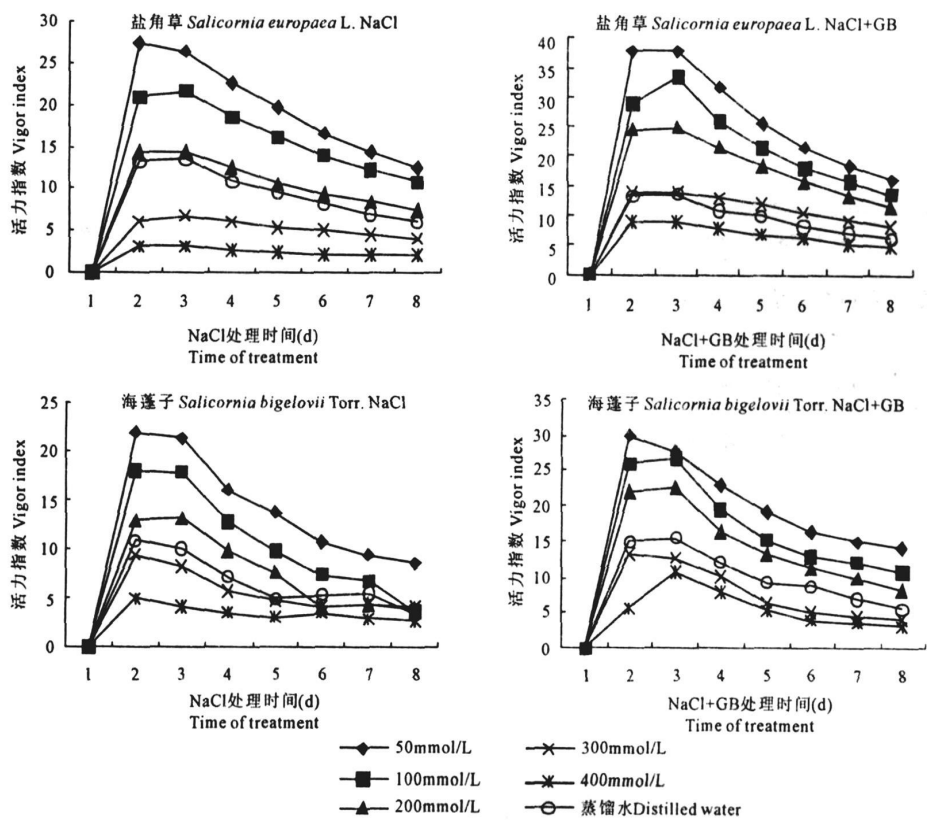


图 3 不同 NaCl 浓度处理对毕氏海蓬子和盐角草种子活力指数影响
Fig.3 Vigor index of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different NaCl concentration

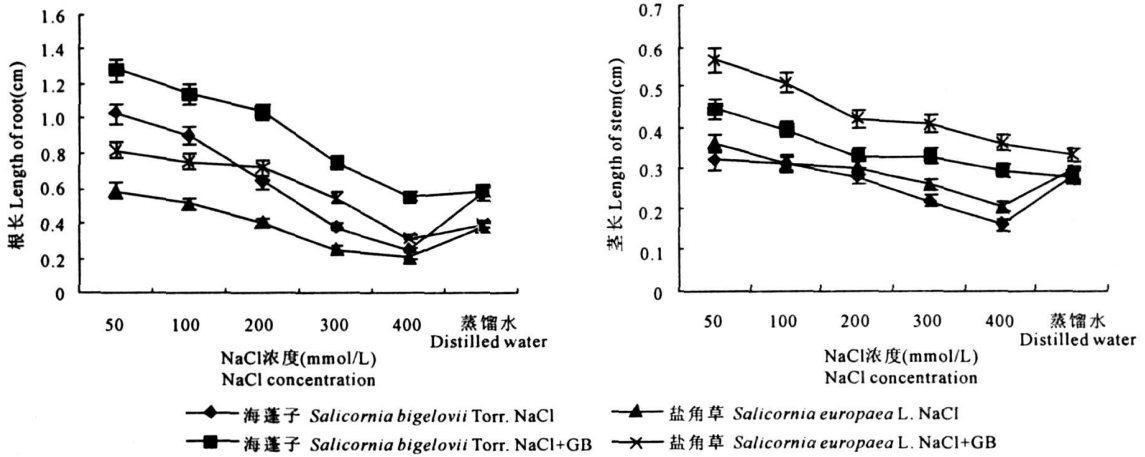


图 4 不同 NaCl 浓度处理对毕氏海蓬子和盐角草根长与茎长的影响

Fig.4 Length of root or stem of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different NaCl concentration

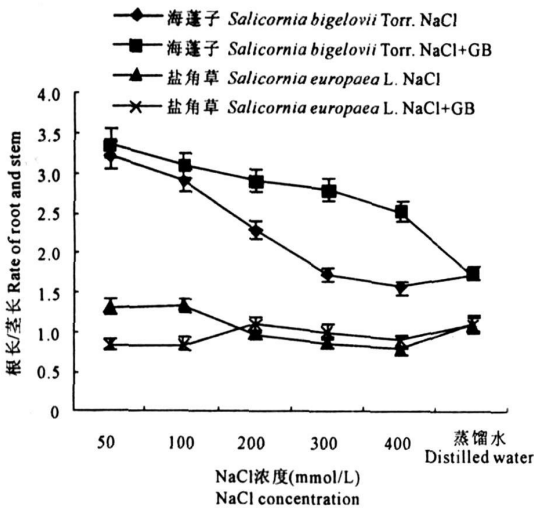


图 5 不同 NaCl 浓度处理下的根茎比

Fig.5 Rate of root and stem under different NaCl concentration

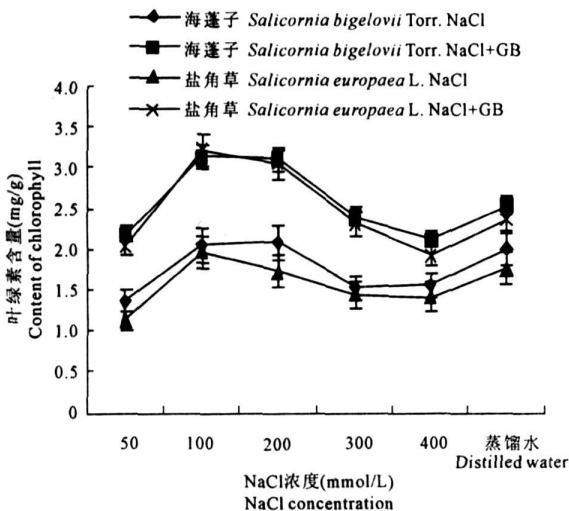


图 6 不同浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草叶绿素含量

Fig.6 Content of chlorophyll of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different concentration

2.5 幼苗叶绿素含量和叶绿素 a/b 值

本实验显示,两实验材料在盐胁迫下叶绿素含量呈先升后降趋势,在盐浓度为 100 mmol/L 处达到最大值。施加外源 GB 后毕氏海蓬子和盐角草的叶绿素含量都有明显上升,上升幅度最大达到 65%,但对叶绿素含量变化趋势没有改变。图 7 显示实验中叶绿素 a/b 值两材料变化趋势一致,在单盐条件下均高于施加外源 GB 处理。

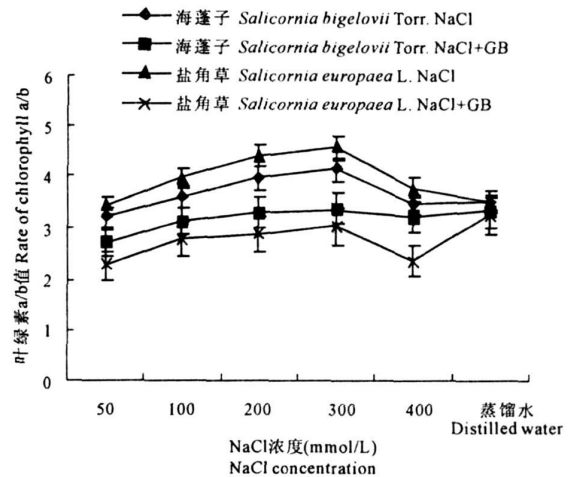


图 7 不同浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草叶绿素 a/b 值

Fig.7 Rate of chlorophyll a/b of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different concentration

2.6 耐盐指数

结果显示,在相同处理条件下,盐角草的耐盐指数均大于毕氏海蓬子,说明盐角草的耐盐性比毕氏海蓬子高。在外源 GB 处理下,盐角草和毕氏海蓬子的耐盐指数都比单盐环境下有所提高,而且盐角草提高的幅度比海蓬子要高 4 倍左右。

表 1 不同浓度处理下毕氏海蓬子和盐角草耐盐指数值
Table 1 The salt-tolerance index of *Salicornia bigelovii* Torr.
and *Salicornia europaea* L. under different concentration

处理 Treatment	耐盐指数 Salt-tolerance index
毕氏海蓬子 <i>Salicornia bigelovii</i> Torr. NaCl	1.075
毕氏海蓬子 <i>Salicornia bigelovii</i> Torr. GB+NaCl	1.1375
盐角草 <i>Salicornia europaea</i> L. NaCl	1.103448
盐角草 <i>Salicornia europaea</i> L. GB+NaCl	1.531034

3 讨 论

本实验表明盐生植物毕氏海蓬子和盐角草的种子萌芽受到 NaCl 溶液的抑制。毕氏海蓬子种子萌发率受盐浓度的影响较盐角草要大。渗透胁迫对种子萌发的抑制作用,是由于外界的低渗透势抑制了种子萌发吸水,种子内储藏的营养物质不能充分水化,因此,抑制了营养物质转化所需酶类的合成、活化及释放,从而导致了一系列酶促反应受阻^[19]。外源 GB 处理后对这种抑制具有一定的缓解作用,这种作用可能与甜菜碱促进细胞膜渗透调节以及对呼吸酶有激活作用。外源 GB 处理在提高萌发率的同时,还可以加快种子萌发的速度以及提高萌芽的整齐度,这对盐碱环境下毕氏海蓬子和盐角草的育苗有着重要的意义。

盐胁迫对植物最显著的效应就是抑制其生长,而幼芽和幼根的生长情况直接关系到幼苗的耐盐性及其后期的生长状况^[20]。盐胁迫下的根系生物量是植物适应盐胁迫的重要标志,根系生物量的提高,有利于增加植物的耐盐性^[21,22]。外源 GB 有利于毕氏海蓬子和盐角草在盐碱环境中生长,还表现在促进了根茎长的增加。实验表明,毕氏海蓬子和盐角草幼苗根长随盐浓度的增加而显著变小,施加 GB 后可以减弱盐对幼苗根茎的抑制作用,且对促进盐角草幼苗生长的作用更大。表明外源 GB 可以提高两实验材料的耐盐性。甜菜碱能促进根茎生长可能是甜菜碱作为生物合成中的甲基供体参与植物体内各种甲基化反应,有利于蛋白质的合成,从而体现在根茎生长上^[23]。

外源 GB 有利于毕氏海蓬子和盐角草的生长还表现在对叶绿素的保护上。盐胁迫下植物叶片中叶绿素含量下降^[24],引起植物叶片叶绿素 a/叶绿素 b 比值增大^[25]。这是由于 NaCl 处理能提高叶绿素酶活性^[26],该酶对叶绿素 b 的降解作用明显大于对叶绿素 a 和类胡萝卜素的作用^[27]。董志刚等将低叶绿素 a/b 值作为衡量黄瓜幼苗耐盐的一个指标^[28]。

实验中毕氏海蓬子和盐角草的叶绿素含量在施加 GB 后都有 60%左右幅度的增加,同时叶绿素 a/b 比值减小,表明外源 GB 很好地缓解了高盐对于叶绿素的伤害。

综合多项生理形态指标得出在相同处理条件下,盐角草的耐盐指数均大于毕氏海蓬子,说明盐角草的耐盐性比毕氏海蓬子高;外源 GB 处理后可以提高毕氏海蓬子和盐角草的耐盐性,有利于两者在盐环境下的生长发育。从实验中看出,作为引进品种毕氏海蓬子的耐盐性较本地品种盐角草还有差异,应在今后进一步加强培养和驯化。外施 GB 有效地提高了盐生植物盐角草和毕氏海蓬子的种子萌芽率和耐盐性,对于两植物在盐环境下的生长发育有明显的促进作用。考虑到甜菜碱用量少,价格相对经济,因此在盐碱地育种上施用甜菜碱具有较高经济价值和明显的生态价值。

参 考 文 献:

[1] 欧继昌. 海蓬子海水农业生态工程的构建[J]. 热带农业工程, 2001, (3): 23—25.

[2] 张爱军, 刘发义, 沈继红, 等. 海蓬子种子营养成分分析及制备共轭亚油酸的研究[J]. 海洋科学发展, 2003, (1): 89—92.

[3] 赵惠明. 盐生植物盐角草的资源特点及开发利用[J]. 科技通报, 2004, (2): 22—25.

[4] 唐建军. 远缘遗传种质在作物生态系统遗传多样性保护中的作用[C]//严力蛟. 生态研究与探索. 北京: 中国环境科学出版社, 1997: 83—87.

[5] 梁 峥, 赵 原, 汤 岚, 等. 甜菜碱对呼吸酶的保护作用[J]. 植物学报, 1994, 36(12): 947—951.

[6] 侯彩霞, 於新建, 李 荣, 等. 甜菜碱稳定 PSII 放氧中心外周多肽肌理[J]. 中国科学(C 辑), 1998, 28(4): 355—361.

[7] 侯彩霞, 汤章城. 细胞相容性物质的生理功能及作用机制[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 1—7.

[8] 刘家尧, 衣艳君, 赵可夫, 等. 甜菜碱的测定技术及其在植物抗盐生理中的作用[J]. 曲阜师范大学学报, 1994, 20(2): 66—68.

[9] 杨 铮, 钟 鸣, 郭志富, 等. 盐胁迫下朝鲜鲜茅的甜菜碱醛脱氢酶活性变化及其基因保守区的克隆[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(3): 430—434.

[10] 韩德俊, 陈耀锋, 李春莲, 等. 转甜菜碱醛脱氢酶基因油菜的获得及其耐盐性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 6—11.

[11] 李玉静, 宋宪亮, 杨兴洪. 甜菜碱浸种对棉苗耐盐性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(2): 305—310.

[12] 王丽燕, 赵可夫. NaCl 胁迫对海蓬子(*Salicornia bigelovii* Torr.) 离子区室化、光合作用和生长的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(1): 94—98.

[13] 郑青松, 刘兆普, 刘友良. 盐和水胁迫对海蓬子、芦荟、向日葵幼苗生长及其离子吸收分配的效应[J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 16—20.

[14] 王庆亚, 刘 敏, 张守栋, 等. 盐胁迫对盐角草种子萌发与幼苗

- 生长效应的研究[J]. 江苏农业科学, 2002, (2): 69—71.
- [15] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase in *Bete bulgaris* [J]. *Plant Physical*, 1949, 24: 1—15.
- [16] 李景欣, 高春宇, 毕晓秀. 盐胁迫对黄芪种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 内蒙古林业科技, 2005, (3): 11—14.
- [17] 高捍东. 种子活力测定方法及其评价[J]. 种子, 1990, (6): 33—35.
- [18] 张本华, 郝晓莉, 李永奎. 种子活力及其测定方法研究[J]. 农机化研究, 2006, (6): 22—24.
- [19] 陈国雄, 李定淑, 张志谦, 等. 盐胁迫对西葫芦和黄瓜种子萌发影响的对比研究[J]. 中国沙漠, 1996, 16(3): 307—310.
- [20] 李存桢, 刘小京, 杨艳敏, 等. 盐胁迫对盐地碱蓬种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 209—212.
- [21] 杨敏生, 李艳华, 梁海永, 等. 白杨派杂种无性系及其亲本光合和生长对盐胁迫的反应[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 19—26.
- [22] Garcia-Sanchez F, Jifon J L, Carvajal M. GAS exchanges, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na^+ and Cl^- accumulation in 'sunburst' mandarin grafted on different rootstocks [J]. *Plant science*, 2002, 162(5): 705—712.
- [23] 白宝璋, 徐克章, 史芝文, 等. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业技术出版社, 1996. 256.
- [24] 刁丰秋, 章文华, 刘友良. 盐胁迫对大麦叶片类囊体膜脂组成和功能的影响[J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 105—110.
- [25] Carter D R, Cheeseman J M. The effect of external NaCl on thylakoid stacking in lettuce plants [J]. *Plant Cell Environ*, 1993, 16(2): 215—223.
- [26] 刘家尧, 衣艳君, 张其德. 盐胁迫对不同抗盐性小麦叶片荧光诱导动力学的影响[J]. 植物学通报, 1998, 15(2): 46—49.
- [27] 克热木, 侯江涛, 买合木提, 等. 盐胁迫对扁桃光合特性和叶绿体超微结构的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(11): 2220—2226.
- [28] 董志刚, 孟焕文, 程智慧. 黄瓜品种资源芽苗期和幼苗期耐盐性及其评价指标研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 157—163.

Effects of exogenous GB on germination and seedlings of *Salicornia Europaea* L. and *Salicornia Bigelovii* Torr. under NaCl stress

ZHOU Quan-cheng¹, HUA Chun^{1*}, ZHOU Feng¹, CHENG Ai-jing², WANG Ren-lei³

(1. Department of Life Science, Nanjing Xiaozhuang College, Nanjing, Jiangsu 210017, China;

2. Yancheng Soil and Fertilizer Station, Yancheng, Jiangsu 224002, China;

3. Jiangsu Food Science College, Huai'an, Jiangsu 223001, China)

Abstract: Effects of exogenous GB on seed germination and seedling growth of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under different concentrations of salt (NaCl) stress were studied. The results showed that exogenous GB promoted the germination capacity, germination index and seed vigor index of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under salt stress. Under the treatment of exogenous GB, the length of roots and stems and the chlorophyll content were higher than that of salt stress. The exogenous GB was beneficial to the growth of *Salicornia bigelovii* Torr. and *Salicornia europaea* L. under salt stress. In addition, it was also found that the seed germination rate and germination capacity of *Salicornia bigelovii* Torr. were more significantly improved than that of *Salicornia europaea* L. under the treatment of exogenous GB, but the length of roots and stems, the salt tolerance and the seed vigor index of *Salicornia europaea* L. were more significantly improved than that of *Salicornia bigelovii* Torr.

Keywords: *Salicornia bigelovii* Torr.; *Salicornia europaea* L.; exogenous GB; seed germination; salt stress