

## NaCl处理对盐地碱蓬开花及Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量的影响

郭建荣, 王宝山\*

山东师范大学生命科学学院, 逆境植物重点实验室, 济南250014

**摘要:** 为探讨盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)开花与盐的关系, 研究了1 (对照)、200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理对盐地碱蓬不同分枝和单株开花数目、叶片和茎及花器官中的Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比的影响。结果表明: 与对照相比, 200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬分枝及单株开花数目增加最显著, 单株开花数目增加了69.90%, 花器官中的Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了1.41倍和1.77倍, 而一级叶片的Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了3.96倍和4.96倍, 茎中Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了7.00倍和12.39倍。400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下, 单株开花数目增加了19.00%, 花器官中的Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了2.09倍和3.21倍, 而一级叶片的Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了4.28倍和6.50倍, 茎中Na<sup>+</sup>含量、Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比分别增加了7.65和15.40倍。这些结果表明, NaCl处理下真盐生植物盐地碱蓬可能通过把Na<sup>+</sup>区域化到茎叶而动员其中的K<sup>+</sup>到花器官中维持花器官中合适的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比而促进开花。

**关键词:** 真盐生植物; 开花; Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比; 盐地碱蓬; NaCl

## Effects of NaCl Treatments on Flower Number, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> Contents of *Suaeda salsa*

GUO Jian-Rong, WANG Bao-Shan\*

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

**Abstract:** To investigate the role of salinity in flowering of euhalophyte *Suaeda salsa*, flower number of different branches and per plant, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> content and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio of leaves, stems and flowers of *S. salsa* were determined under conditions of 1 (control), 200 and 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl treatment. Compared with the control, 200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl treatment significantly increased the flower number of branches and individual plant of *S. salsa*, the flower number per plant increased by 69.90%, Na<sup>+</sup> content, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the flowers increased by 1.41 and 1.77 times respectively, Na<sup>+</sup> content, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the leaves of the first branches increased by 3.96 and 4.96 times respectively, and Na<sup>+</sup> content, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the stems increased by 7.00 and 12.39 times respectively. Flower number per plant increased by 19.00% under 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl treatment, Na<sup>+</sup> content and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in flowers increased by 2.09 and 3.21 times respectively, Na<sup>+</sup> content, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the leaves of the first branches increased by 4.28 and 6.50 times respectively, and Na<sup>+</sup> content, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the stems increased by 7.65 and 15.40 times respectively. These results suggested that certain concentration of external NaCl promotes flowering of euhalophytes *S. salsa* possibly via compartmentalization of Na<sup>+</sup> into leaves and stems and mobilization of K<sup>+</sup> in the leaves and stems into the flowers to maintain a proper Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in the flowers.

**Key words:** euhalophytes; flowering; Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio; *Suaeda salsa*; NaCl

按照植物的抗盐性可以把植物分为盐生植物和非盐生植物, 前者是指在相当于200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl及以上浓度含盐量的土壤中正常生活并完成生活史的植物(Flowers和Colmer 2008)。盐生植物又可根据对盐渍环境的不同适应分为三类: 拒盐型(如芦苇属)、泌盐型(如补血草属)和稀盐型(如碱蓬属)(赵可夫等1999)。

高浓度盐促进盐生植物营养生长。盐地碱蓬是典型的稀盐盐生植物, 种子萌发及幼苗生长期间具有较强的抗盐性(Li等2005; Song等2008), 能

够在盐碱土壤中进行正常生长发育。NaCl处理对盐地碱蓬的生长具有明显的促进作用(Mori等2006, 2008), 其生长旺盛, 肉质化明显(綦翠华等2005)。另有研究表明NaCl显著促进盐生植物海马齿苋(*Sesuvium portulacastrum*)的生长, 使其叶片肉质化并促进茎的发育(Wang等2012)。一定量的

收稿 2014-03-04 修订 2014-03-24

资助 国家科技支撑计划项目(2009BADA7B05)和教育部博士点基金(20123704130001)。

\* 通讯作者(E-mail: bswang@sdu.edu.cn; Tel: 0531-86180197)。

NaCl在*Salicornia brachiata* (一种海蓬子属植物)组培苗的生根过程中起到关键作用(Joshi等2012)。盐生植物*Salicornia dolichostachya* (一种海蓬子属植物)的最佳生长条件需要 $300 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl (Katschnig等2013)。但是, 盐生植物生殖生长与盐之间的关系研究较少。海蓬子(*Salicornia olivieri*) 在无 $\text{Na}^+$ 条件下不能开花, 而在生长介质中加入3.4%~5% NaCl, 其生长旺盛, 而且可以正常开花结实(赵可夫1993)。另有研究表明,  $\text{C}_4$ 植物可将Na作为一种微量元素参与植物的生长发育(Brownell和Crossland 1972)。

目前对盐地碱蓬的研究大都集中在种子萌发、幼苗生长(李存桢等2005; Duan等2007; 闫留华等2008; Song等2008)、抗盐性及其次生胁迫方面(Mori等2006; 刘金萍等2010; Wu等2012, 2013), 对于NaCl处理下盐地碱蓬开花生理的研究还未见报道。我们在前期实验中发现, 盐地碱蓬在不含盐的介质中生长时, 虽然也能开花结果, 但其结实数量显著减少, 是不是盐在一定程度上能够促进其花芽的分化, 进而促进其花器官的发育呢? 为此, 我们研究了不同浓度NaCl处理下盐地碱蓬生殖生长期叶片、茎以及花器官中的Na、K离子含量及开花数目变化, 以期了解盐在真盐生植物开花中的作用及其可能原因。

## 材料与方法

### 1 实验材料及其培养与处理

实验材料为稀盐盐生植物盐地碱蓬[*Suaeda salsa* (L.) Pall.]。挑选籽粒饱满的盐地碱蓬种子(采自东营黄河三角洲), 用0.1%  $\text{HgCl}_2$ 消毒10 min, 用流水冲洗干净后播种于装有干净细沙的陶瓷盆内(直径为26 cm, 高度为20 cm)。出苗后即含不同浓度NaCl的完全Hoagland溶液(完全Hoagland营养液中的NaCl约为 $0.97 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ )进行浇灌, NaCl溶液设3个浓度: 1、200和 $400 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl的Hoagland营养液, 其中以 $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl的完全Hoagland营养液作为对照。所有的处理液均用去离子水进行配制( $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  KOH和 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 调pH值至 $6.3\pm 0.1$ )。具体处理方法是含有NaCl完全Hoagland营养液每12 h递增 $50 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 直到达到终浓度。每天早晚各浇灌一次, 浇灌量为细沙持

水量的3倍, 大约有2/3溶液流出, 从而将以前积累的盐冲洗掉, 以保持NaCl处理液浓度的恒定。待幼苗长至2~3片真叶时进行间苗, 每盆留1株健壮整齐的幼苗, 每组10个重复。处理时间为整个生长周期。培养昼夜温度为 $(30\pm 2)^\circ\text{C}/(20\pm 2)^\circ\text{C}$ (白天/晚上), 光强约为 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 相对湿度60%~80%。

## 2 实验方法

### 2.1 盐地碱蓬植株开花数目的统计

开花期, 分别对不同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬相同分枝及整株进行开花数目统计。分别选取植株上部分和下部分第1、2级分枝及单株统计其开花数目, 一级分枝由主茎产生的分枝, 2级分枝为一级分枝上产生的分枝, 以此类推。

### 2.2 盐地碱蓬叶片、茎和花中 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 含量的测定

材料培养至开花期, 随机选取两种处理下的植株各3株, 并选取各植株上第1、2、3级分枝上的叶片、茎及花用于测定 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 含量。参照王宝山和赵可夫(1995)的方法, 分别精确称取烘干至恒重的干材料粉末0.02 g于试管中, 加入10 mL的超纯水(Milli-Q Reference, USA), 于沸水浴中煮3 h, 冷却后过滤定容, 滤液用于离子色谱(DIONEX-ICS-1100, Thermo, USA)测定液。

### 2.3 统计分析

实验数据均为3个重复的平均值。利用SPSS-17.0统计软件进行数据处理。平均值之间的比较采用单因素方差分析方法(One-Way ANOVA)。

## 实验结果

### 1 NaCl处理对盐地碱蓬植株开花数目的影响

开花期, 对不同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬不同分枝及整株开花数目统计分析, 从表1看出, 与对照相比, 随着盐浓度的增加, 盐地碱蓬各级分枝开花数目呈先增加后降低的趋势,  $200 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl处理显著增加盐地碱蓬各级分枝花的数目, 第3个一级分枝开花数目增加了97.09%, 第90个一级分枝开花数目增加了67.74%, 而下部和上部分二级分枝开花数目分别增加了139.78%和10.85%, 且整株花的数目也显著高于对照, 增加了69.90%。 $400 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl处理下盐地碱蓬各级分枝开花数目与对照相比也有增加的趋势, 第3个一级分枝

表1 不同浓度NaCl处理下盐地碱蓬不同分枝上及整株的开花数目

Table 1 Effects of NaCl treatments on flower number of different branches and per plant of *S. salsa*

NaCl浓度/ mmol·L <sup>-1</sup>	开花数				
	第3个一级分枝	第90个一级分枝	第3个二级分枝	第50个二级分枝	整株
1	2 411±50.57 <sup>c</sup>	248±4.36 <sup>b</sup>	93±2.51 <sup>b</sup>	378±7.63 <sup>b</sup>	22 259±279.5 <sup>c</sup>
200	4 752±47.08 <sup>a</sup>	416±7.00 <sup>a</sup>	223±7.50 <sup>a</sup>	419±15.82 <sup>a</sup>	37 818±600.53 <sup>a</sup>
400	2 667±79.95 <sup>b</sup>	251±1.53 <sup>b</sup>	159±17.01 <sup>b</sup>	314±6.93 <sup>c</sup>	26 489±770.98 <sup>b</sup>

分枝数由下向上数, 二级分枝在第3个一级分枝上进行统计。数据为平均数±标准误(n=5)。同列测定值后不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

开花数目增加了10.62%, 第90个一级分枝开花数目增加了1.21%, 而下部二级分枝开花数目增加了70.96%, 上部二级分枝开花数目反而降低了16.93%, 单株开花数目与对照相比增加了19.00%, 但不及200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下增加显著。

为了分析盐地碱蓬叶腋中花芽分化情况, 开花期取不同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬相同部位分枝, 统计叶腋中花的数量。如图1可见, 高浓度NaCl处理显著增加了盐地碱蓬叶腋中花芽的数目, 200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理显著增加盐地碱蓬叶腋中花的数目, 与对照相比增加了38.98%, 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下叶腋中花的数目增加了12.41%。

## 2 NaCl处理对盐地碱蓬叶片、茎和花中Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比的影响

细胞中Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比是植物耐盐性的重要指标。为了探讨NaCl处理下盐地碱蓬开花

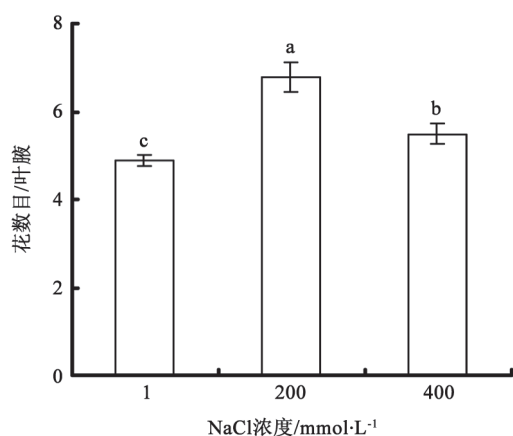


图1 不同浓度NaCl处理对盐地碱蓬叶腋中花数目的影响

Fig.1 Effects of different NaCl concentrations on flower number in leaf axils of *S. salsa*

数据为平均数±标准误(n=100)。不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05), 下同。

与离子含量之间的关系, 我们分析了NaCl处理对盐地碱蓬叶片、茎和花中Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比。

由图2可以看出, 与对照相比, 随NaCl处理浓度的增加, 盐地碱蓬叶片、茎以及花中的Na<sup>+</sup>含量均显著增加。200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬1、2、3级分枝叶片和茎中的Na<sup>+</sup>含量依次分别增加了3.96、9.19、7.42和7.00、5.05、3.10倍; 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下其1、2、3级分枝叶片和茎中的Na<sup>+</sup>含量依次分别增加了4.28、12.42、8.89和7.65、6.86、3.91倍。相对于200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理, 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下的盐地碱蓬各级分枝叶片和茎中的Na<sup>+</sup>含量增加更显著。200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬花器官中的Na<sup>+</sup>含量分别比对照增加了1.41和2.09倍, 其增加的幅度显著小于同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬叶片和茎中Na<sup>+</sup>含量的增加幅度。

由图3可以看出, 与对照相比, 随NaCl处理浓度的增加, 盐地碱蓬叶片、茎以及花中的K<sup>+</sup>含量均显著降低。200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下, 盐地碱蓬1、2、3级分枝叶片和茎依次降低了16.17%、31.48%、28.36%和40.28%、27.94%、30.26%; 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下的盐地碱蓬1、2、3级分枝叶片和茎K<sup>+</sup>含量依次降低了29.63%、55.56%、66.42%和47.22%、38.24%、60.52%, 相对于200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理, 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬各级分枝叶片和茎中的K<sup>+</sup>含量降低更显著。200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬花器官中的K<sup>+</sup>含量分别比对照降低了13.33%和26.67%, 其降低的幅度小于同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬叶片和茎中K<sup>+</sup>含量的降低幅度。

由图4可见, 与对照相比, 高浓度NaCl处理下盐地碱蓬叶片、茎以及花中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比均显著增

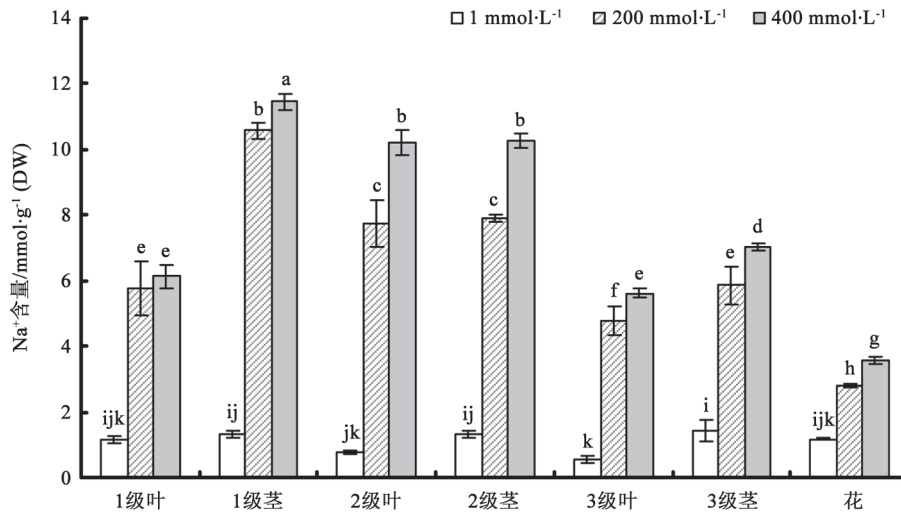


图2 不同浓度NaCl处理对盐地碱蓬不同部位叶、茎及花中Na<sup>+</sup>含量的影响

Fig.2 Effects of different NaCl concentrations on Na<sup>+</sup> content in different stems, leaves and flowers of *S. salsa*

数据为平均数±标准误(n=3), 下图同此。

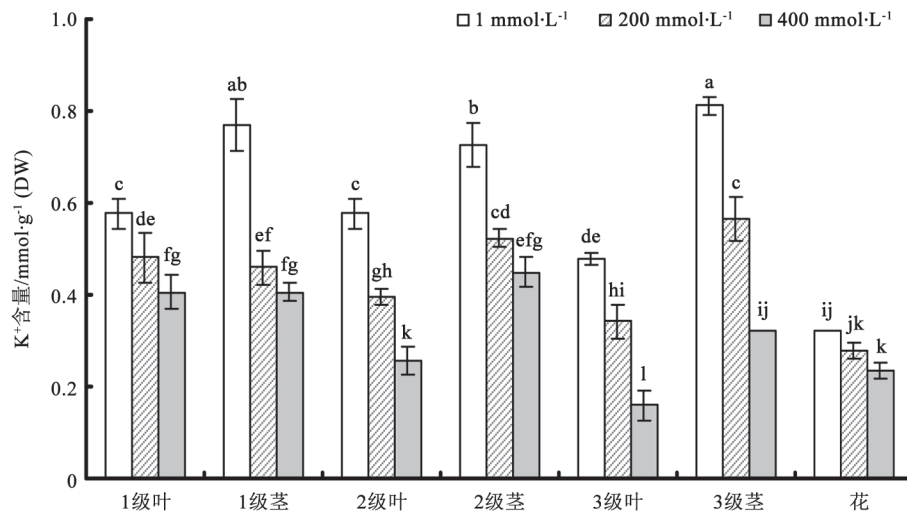


图3 不同浓度NaCl处理对盐地碱蓬不同部位叶、茎及花中K<sup>+</sup>含量的影响

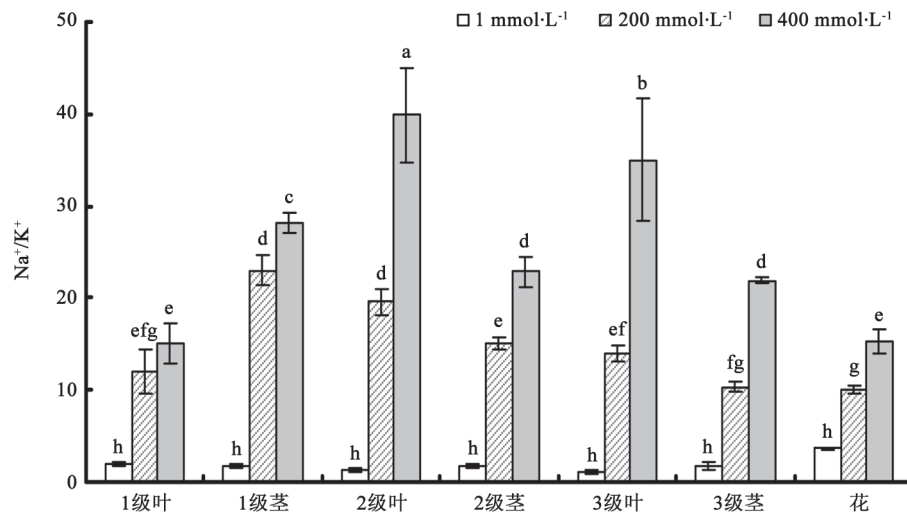
Fig.3 Effects of different NaCl concentrations on K<sup>+</sup> content in different stems, leaves and flowers of *S. salsa*

加。200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下, 盐地碱蓬1、2、3级分枝叶片和茎中Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比依次分别增加了4.96、13.87、10.76和12.39、7.40、4.88倍。400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下的盐地碱蓬1、2、3级分枝叶片和茎中Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比依次分别增加了6.50、29.21、28.46和15.40、11.72、11.44倍, 相对于200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理, 400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下的盐地碱蓬叶片和茎中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比增加更显著。200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬花器官中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比含量分别比对照增加了1.77和3.21倍, 其

增加的幅度显著小于同浓度NaCl处理下的盐地碱蓬叶片和茎中Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比的增加幅度。

## 讨论

盐胁迫下, 植物体内会积累大量的Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>等离子, 对植物的生长造成伤害。张会慧等(2012)的研究表明, NaCl胁迫下, 桑树幼苗的生长受到抑制, 且随着盐浓度的增加, 桑树幼苗生长受抑制的程度增加, 其叶面积、根系数量和根系长度明显降低。Wang等(2012)的研究则发现200 mmol·L<sup>-1</sup>

图4 不同浓度NaCl处理下盐地碱蓬不同部位叶、茎及花中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比Fig.4 Effects of different NaCl concentrations on Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ratio in different stems, leaves and flowers of *S. salsa*

NaCl显著促进盐生植物海马齿的生长,使其叶片肉质化并促进茎的发育。NaCl处理能明显促进盐地碱蓬的生长(Mori等2006, 2008),肉质化明显(蔡翠华等2005)。Joshi等(2012)也发现一定量的NaCl在*Salicornia brachiata*组培苗的生根过程中起到关键作用。然而Grigore等(2012)用300 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl对成年*Plantago crassifolia*进行处理发现,NaCl处理未影响到*P. crassifolia*的营养生长,反而增加了*P. crassifolia*开花植株数目及穗状花序数目。我们的实验结果表明,一定浓度的NaCl处理下盐地碱蓬不同分枝及单株开花数目呈增加的趋势,200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下,盐地碱蓬不同分枝及单株开花数目与对照相比显著增加,第3个一级分枝和第90个一级分枝花数目分别增加了97.09%和67.74%,第3个二级分枝和第50个二级分枝花数目分别增加了139.78%和10.85%,单株开花数目增加了69.90%。400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬各级分枝开花数目与对照相比也有增加,但不及200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下增加显著,单株开花数目增加了19.00%。这些结果说明,一定浓度的NaCl(200 mmol·L<sup>-1</sup>)对盐地碱蓬单株开花数目起一定的刺激作用,并且能促进盐地碱蓬叶腋中花芽分化,但更高浓度的NaCl(400 mmol·L<sup>-1</sup>)则有抑制作用。

在盐胁迫条件下Na<sup>+</sup>及其他阳离子进入植物体内对于植物保持渗透平衡及减缓水分胁迫至关重要。但过多的Na<sup>+</sup>在细胞内聚集会对植物产生

毒害作用甚至导致植物死亡。盐地碱蓬可以在高Na低K的盐渍环境中生长良好,盐地碱蓬植物组织内高Na<sup>+</sup>积累在渗透调节及保证吸水方面起重要作用,从而保持盐地碱蓬的正常生长(Moris等2011)。细胞中Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比是植物耐盐性的重要指标,盐生植物只有在合适的盐度条件下才能更好地生长,过低或过高的盐都会抑制盐生植物的生长,盐对盐生植物的开花具有一定的调节作用(赵可夫1993)。200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理下盐地碱蓬各级分枝叶片及茎中的Na<sup>+</sup>含量显著高于对照,花器官中Na<sup>+</sup>含量也呈现相同的趋势,但增加的倍数明显小于叶片和茎,可能在高盐条件下,盐地碱蓬会将更多Na<sup>+</sup>积累于叶片和茎中等非生殖器官,阻止过多的Na<sup>+</sup>进入花器官,使花器官中Na<sup>+</sup>含量保持一定的水平。盐地碱蓬叶片和茎中K<sup>+</sup>含量随着NaCl浓度的增加呈下降趋势,且浓度越大下降越显著,高浓度NaCl处理下,盐地碱蓬花器官中的K<sup>+</sup>含量也下降,但下降幅度要小于叶片和茎,从而保证盐地碱蓬花器官中K<sup>+</sup>含量相对恒定。200和400 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理显著增加了盐地碱蓬叶片、茎和花器官中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比,花器官中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比与对照相比分别增加了1.77和3.21倍,增加倍数显著小于叶片和茎。高盐会增加盐地碱蓬花器官中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比,但增加的幅度小于叶片和茎,保持盐地碱蓬花器官中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比处于相对恒定的水平。通过观察不同浓度NaCl处理

下盐地碱蓬的生长情况发现,高浓度NaCl处理并未影响盐地碱蓬的营养生长,200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理反而显著促进了盐地碱蓬的生长,促进其花芽的分化,增加了单株开花数目。盐生植物在成花过程中需要一定的盐分,细胞中需要积累一定量的无机离子,维持一定的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比来适应低水势的环境并能保证其他营养离子的吸收。

综上所述,200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理增加了盐地碱蓬各级分枝叶片和茎中的Na<sup>+</sup>含量,降低了其K<sup>+</sup>含量,增加了各级分枝叶片和茎中的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比,但未影响到盐地碱蓬的营养生长,反而促进了其营养生长,200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl处理增加了盐地碱蓬花器官中的Na<sup>+</sup>含量和Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比,促进了盐地碱蓬花芽分化,显著增加了开花数目。高盐下盐地碱蓬将更多Na<sup>+</sup>积累于叶片和茎中,K<sup>+</sup>含量下降,相对于花器官变化幅度较大,可能盐地碱蓬会通过将过多的Na<sup>+</sup>积累在非生殖器官,阻止过多的Na<sup>+</sup>进入花器官,维持花器官中离子含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比相对恒定。说明盐生植物盐地碱蓬开花需要一定浓度的NaCl,花器官中相对恒定的Na<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比促进盐地碱蓬花芽的分化及花芽的形成,过高的Na<sup>+</sup>含量及Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>比会抑制盐地碱蓬开花。

### 参考文献

李存楨, 刘小京, 杨艳敏, 刘春雨(2005). 盐胁迫对盐地碱蓬种子萌发及幼苗生长的影响. 中国农学通报, 21 (5): 209~212

刘金萍, 高奔, 李欣, 宋杰, 范海, 王宝山, 赵可夫(2010). 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. 生态学报, 30 (20): 5485~5490

蔡翠华, 韩宁, 王宝山(2005). 不同盐处理对盐地碱蓬幼苗肉质化的影响. 植物学通报, 22 (2): 175~182

王宝山, 赵可夫(1995). 小麦叶片中Na、K提取方法的比较. 植物生理学通讯, 31 (1): 50~52

闫留华, 陈敏, 王宝山(2008). NaCl胁迫对2种表型盐地碱蓬种子萌发的渗透效应和离子效应研究. 西北植物学报, 28 (4): 718~723

张会慧, 张秀丽, 李鑫, 丁俊男, 朱文旭, 齐飞, 张婷, 田野, 孙广玉(2012). NaCl和Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响. 应用生态学报, 23 (3): 625~631

赵可夫(1993). 植物抗盐生理. 北京: 中国科学技术出版社, 91~101

赵可夫, 李法曾, 樊守金, 冯立田(1999). 中国的盐生植物. 植物学通报, 16 (3): 201~207

Brownell PF, Crossland CJ (1972). The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C<sub>4</sub> dicarboxylic photosynthetic pathway. Plant Physiol, 49: 794~797

Duan DY, Li WQ, Liu XJ, Yang HO, An P (2007). Seed germination and seedling growth of *Suaeda salsa* under salt stress. Ann Bot Fennici, 44: 161~169

Flowers TJ, Colmer TD (2008). Salinity tolerance in halophytes. New Phytol, 179: 945~963

Grigore MN, Boscaiu M, Llinares J, Vicente O (2012). Mitigation of salt stress-induced inhibition of *Plantago crassifolia* reproductive development by supplemental calcium or magnesium. Not Bot Horti Agrobo, 40 (2): 58~66

Joshi M, Mishra A, Jha B (2012). NaCl plays a key role for *in vitro* micropropagation of *Salicornia brachiata*, an extreme halophyte. Ind Crop Prod, 35: 313~316

Katschnig D, Broekman R, Rozema J (2013). Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: growth, morphology and physiology. Environ Exp Bot, 92: 32~42

Li WQ, Liu XJ, Khan MA, Yamaguchi S (2005). The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrate, nitrite and light on the germination of dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions. J Plant Res, 118: 207~214

Mori S, Kobayashi N, Arao T, Higuchi K, Maeda Y, Yoshida M, Tadano T (2008). Enhancement of nitrate reduction by Cl application in *Suaeda salsa* (L.) Pall. Soil Sci Plant Nutr, 54: 903~909

Mori S, Suzuki K, Oda R, Higuchi K, Maeda Y, Yoshida M, Tadano T (2011). Characteristics of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> absorption in *Suaeda salsa* (L.) Pall. Soil Sci Plant Nutr, 57: 377~386

Mori S, Yoshida M, Tadano T (2006). Growth response of *Suaeda salsa* (L.) Pall to graded NaCl concentrations and the role of chlorine in growth stimulation. Soil Sci Plant Nutr, 52: 610~617

Song J, Fan H, Jia YH, Du XH, Wang BS (2008). 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, 88: 331~337

Wang DY, Wang HY, Han B, Wang B, Guo AP, Zheng D, Liu CJ, Chang LL, Peng M, Wang XC (2012). Sodium instead of potassium and chloride is an important macronutrient to improve leaf succulence and shoot development for halophyte *Sesuvium portulacastrum*. Plant Physiol Biochem, 51: 53~62

Wu HF, Liu XL, You LP, Zhang LB, Zhou D, Feng JH, Zhao JM, Yu JB (2012). Effects of salinity on metabolic profiles, gene expressions, and antioxidant enzymes in halophyte *Suaeda salsa*. J Plant Growth Regul, 31: 332~341

Wu HF, Liu XL, Zhao JM, Yu JB (2013). Regulation of metabolites, gene expression, and antioxidant enzymes to environmentally relevant lead and zinc in the halophyte *Suaeda salsa*. J Plant Growth Regul, 32: 353~361