

## 盐胁迫对高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 幼苗生长和离子分布的影响

朱 义<sup>1,2</sup>, 谭贵娥<sup>1</sup>, 何池全<sup>1,\*</sup>, 崔心红<sup>2</sup>, 张 群<sup>2</sup>

(1. 上海大学环境与化学工程学院, 上海 200072; 2. 上海市园林科学研究所, 上海 200232)

**摘要:** 盐胁迫环境抑制植物的生长, 影响植物组织的离子分布, 不同的盐分组成对植物的抑制伤害存在差异, 为了研究上海市临港新城滨海盐渍土的生态恢复和重建, 模拟该地区的盐分组成, 进行了高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 幼苗的盐胁迫试验。高羊茅种子在非盐胁迫条件下萌发, 出苗 5d 后, 进行了不同浓度 NaCl: 0、50、100、150、200、300、400 mmol/L 处理, 15d 后测定生长情况、组织含水量和 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等离子含量。研究表明: 盐分对高羊茅幼苗的抑制作用随 NaCl 浓度增加而加剧, 低盐胁迫环境下, 幼苗地上部分和根系的鲜重、干重和含水量都与对照没有显著性差异, 但是高盐环境严重影响了高羊茅幼苗的生长, 而且对地上部分的抑制作用大于根部; 盐胁迫影响植物组织的离子分布, Na<sup>+</sup> 浓度持续增加, Ca<sup>2+</sup> 和 K<sup>+</sup> 浓度下降, Mg<sup>2+</sup> 含量的影响不大; 各组织中 K/Na、Ca/Na 和 Mg/Na 随盐胁迫增加而下降。

**关键词:** 盐胁迫; 高羊茅; 幼苗生长; 离子平衡

文章编号: 1000-0933(2007)12-5447-08 中图分类号: S432.31 文献标识码: A

## Effect of salinization on growth and ion homeostasis in seedlings of *Festuca arundinacea*

ZHU Yi<sup>1,2</sup>, TAN Gui-E<sup>1</sup>, HE Chi-Quan<sup>1,\*</sup>, CUI Xin-Hong<sup>2</sup>, ZHANG Qun<sup>2</sup>

1 College of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China

2 Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai 200232, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5447 ~ 5454.

**Abstract:** Salinity stress results in a clear stunting of plants, and disturbances in ion homeostasis. There are many different types of salts and almost an equally diverse set of constraints for plant growth. For ecological reconstruction in the coast of Lingang (30°54' N, 121°52' E) in Shanghai, the seedling growth and ion distribution in different tissues of *Festuca arundinacea* were studied in pot experiments, which have the same salt constitute as the coastal saline soil. Seed emergence of *Festuca arundinacea* was carried out under non-saline environment for about 5 days. A group of different concentrations of NaCl were then added to the pots and the salinity was maintained at 0, 50, 100, 150, 200, 300 mmol/L and 400 mmol/L. The seedling growth, water content, and ions concentration of different tissues were analyzed after 15 days of salt-stress cultivation. A negative relationship between seedling growth and salt concentration was obtained. The flesh weight, dry weight and water content of shoot and root did not decrease significantly in response to low salinity. However, high

基金项目: 上海市科委重大攻关基金资助项目(04dz12038)

收稿日期: 2006-09-30; 修订日期: 2007-07-03

作者简介: 朱义(1982~), 男, 安徽蚌埠人, 硕士生, 主要从事逆境生态技术应用研究. E-mail: zhuyi0816@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: cqhe@shu.edu.cn

**Foundation item:** The project was financially supported by Key Science Research item of Science and technology Department of Shanghai. (No. 04dz12038)

**Received date:** 2006-09-30; **Accepted date:** 2007-07-03

**Biography:** ZHU Yi, Master candidate, mainly engaged in bio-technology on salt soils. E-mail: zhuyi0816@163.com

concentrations of NaCl lead to detrimental effects on the growth of *Festuca arundinacea*, but the roots of this plant were maintained normally. Ion uptake and homeostasis were disturbed under high salinity. Increased treatment of NaCl induces increase in Na<sup>+</sup> and decrease in Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> levels in the roots and shoots. Mg<sup>2+</sup> concentration in roots and shoots does not vary with the concentration of Na<sup>+</sup>. The ratios of K/Na, Ca/Na and Mg/Na in roots and shoots decrease with increased salinity.

**Key Words:** salt-stress; *Festuca arundinacea*; seeding growth; ion homeostasis

全世界盐渍土面积为  $9.5438 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 我国各类盐渍土总面积约  $0.99 \times 10^8 \text{ hm}^2$  [1], 盐胁迫对农业、森林和牧草等生产活动造成很大影响, 土壤盐分对植物的伤害作用, 主要是盐离子毒害作用(盐的原初作用)和盐离子导致的渗透胁迫和养分亏缺(盐的次生作用) [2,3]。盐分胁迫下, 植物主要依靠吸收和积累无机盐离子进行渗透调解, 增加细胞浓度, 降低细胞渗透势, 防止细胞脱水 [4,5]; 但高盐环境导致 Na<sup>+</sup> 大量涌入胞内, 影响植物细胞的离子稳态, 不仅破坏细胞中已形成的 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 平衡状态, 而且影响 K<sup>+</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 的胞内分布 [6,7]。盐胁迫环境下, 植物获得耐盐能力的一个重要策略是离子稳态重建, 参与离子跨膜运输的膜转运蛋白, 如 H<sup>+</sup>-ATPase、H<sup>+</sup>-PPase、Ca<sup>2+</sup>-ATPase、载体和各种离子通道蛋白参与了重建盐胁迫下细胞的离子稳态 [8,9,10,11]。盐胁迫下细胞质维持正常的 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 值是生存必须的, K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 的吸收及其原生质膜上 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 交换与植物耐盐性关系密切, 在器官和整株植物水平上, K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 的运输与分配也表现出截然不同的特点 [12,13]。

上海市临港新城位于东海和杭州湾交界的海陆交错带, 由盐渍淤泥淤积成陆, 自然作用和人为作用复杂, 长期受到海水侵蚀, 具有盐分高、养分低、结构差等阻碍植物生长的因素, 属于生态脆弱带, 具有不稳定性、敏感性以及易退化性等特点 [14]。由于植物受盐胁迫的影响因盐分种类的不同而有差异 [15], 本研究通过盆栽试验, 模拟临港新城盐渍土的盐分组成, 初步探寻高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 幼苗在不同 NaCl 浓度盐胁迫下生长情况, 以及 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 离子的吸收和分布状况, 进而分析高羊茅幼苗的耐盐性, 为该地区生态恢复和重建过程中的应用技术研究积累依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 土壤调查

2005 年 10 月在上海市南汇区临港新城 (30°54' N, 121°52' E) 地域采集土壤表层土 (0~10cm), 风干, 过筛 (2mm), 测定各项理化指标及分析土壤盐分组成 (表 1)。

表 1 上海市临港新城地域盐渍土理化性质与盐分组成

Table 1 Soil properties of saline soil in Lingang District, Shanghai

土壤质地 Soil character	pH	EC	盐分组成 Characteristics of salt						
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/kg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (g/kg)	Cl <sup>-</sup> (g/kg)	Ca <sup>2+</sup> (g/kg)	Mg <sup>2+</sup> (g/kg)	Na <sup>+</sup> (g/kg)	K <sup>+</sup> (g/kg)
粉砂壤土 Silt	8.94	0.84	0.231	0.308	1.924	0.040	0.046	1.112	0.131

### 1.2 材料准备

试验植物品种为冷季型草坪草高羊茅, 又名苇状羊茅, 禾本科羊茅属, 原产欧洲, 常见的多年生冷季型草坪 [16], 广泛用于城市园林绿化和水土保持草坪的建植。所有试验均在上海大学环境与化工学院人工气候室中进行, 培养条件控制: 白天温度 25℃, 夜间温度 20℃, 每天光照 12h, 相对湿度 75%。将草种浸泡于 95% 的无水乙醇中消毒 10min, 用蒸馏水冲洗 6 次, 然后播种在口径 15cm, 高 12cm, 装有已经消毒的干净砂粒的塑料花盆中, 每天用 1/4 强度的 Hoagland 营养液进行培养。

### 1.3 盐胁迫处理

高羊茅出苗后 5d, 挑选长势一致的植物幼苗进行盐处理, 根据调查土壤的盐分组成特点 (表 1), 模拟配

制盐溶液,采用 1 个强度的 Hoagland 营养液配制的 NaCl 盐溶液,盐处理浓度分别为 50、100、200、300、400mmol/L,为了避免盐激作用对于幼苗的影响,采用每天递增 50mmol/L,直至达到最终盐浓度,以后每天用相应的盐浓度浇灌,浇灌量以塑料盆下面的小孔流出为止,同时设置仅用营养液浇灌的为空白试验对照,每处理 3 个平行。

## 1.4 测定指标和方法

### 1.4.1 幼苗生长和组织含水量测定

幼苗经盐胁迫处理后,在第 15 天进行采样,用自来水洗去砂粒,用蒸馏水冲洗干净,用吸水纸擦干植物表面水分,将植物的根部和地上部分分开,分别称量鲜重  $W_f$ ,测定株高和根长,然后在烘箱中 105℃ 杀青 10min, 75℃ 烘干 48h,然后称量干重  $W_d$ 。组织含水量(%) =  $(W_f - W_d) / W_f \times 100\%$ 。

### 1.4.2 离子含量测定

植物的营养元素  $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  离子含量进行根部和地上部分的测定,样品烘干粉碎研磨后,过 40 目筛,精确称量约 0.5000g,用  $H_2SO_4:H_2O_2 = 3:1$  (ml/ml) 消煮,定容于 100ml,经适量稀释,采用 ICP-AES(美国,LEEMAN 公司 Prodigy)测定含量。

## 1.5 数据统计

所有的数据均采用 SPSS13.0 进行 ANOVA 分析(Duncan 检验)和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对高羊茅生长情况和含水量的影响

由图 1(A)可知,高羊茅幼苗在不同的 NaCl 浓度下,根长与盐浓度呈负相关( $r = -0.922, P < 0.01$ );在

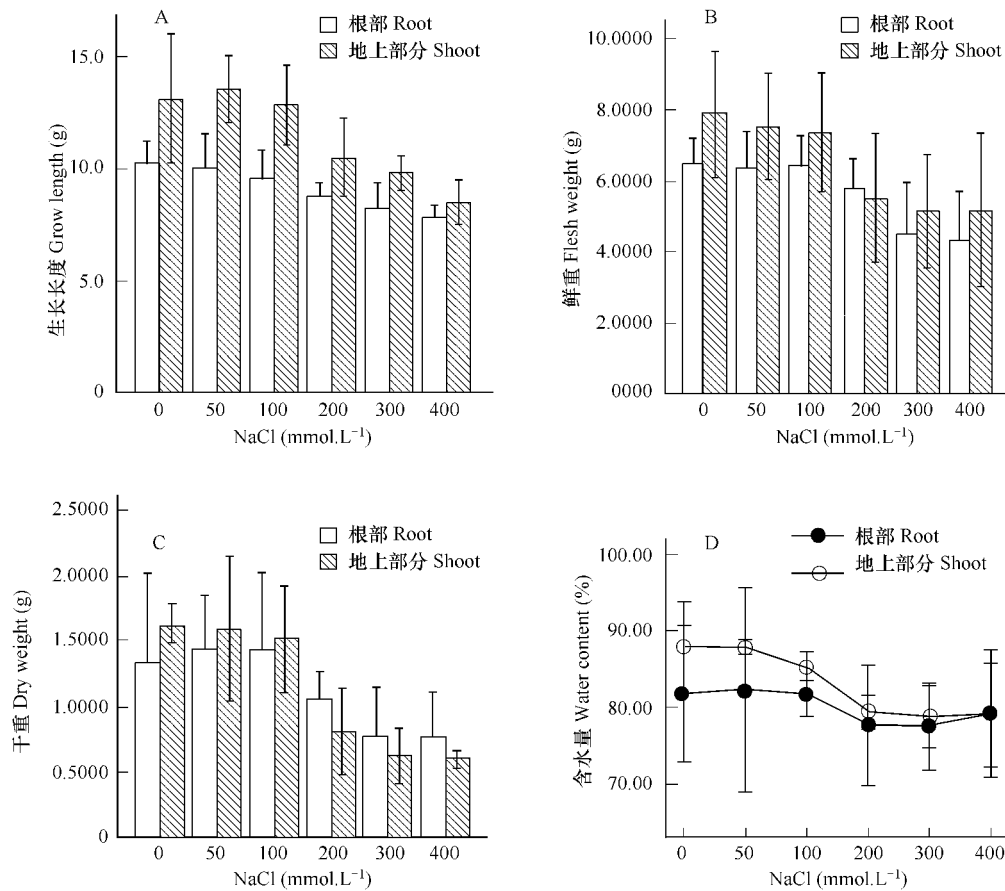


图 1 盐胁迫下高羊茅的生长情况和组织含水量变化

Fig. 1 Effects of seedlings growth and water content of *Festuca arundinacea* under different salinities

低盐环境 ( $\text{NaCl} \leq 100 \text{mmol/L}$ ) 中, 根长与对照没有显著性差异, 而高浓度的盐胁迫则存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 如图 1(B) 和图 1(C) 所示, 在盐胁迫下, 每盆高羊茅地下部分的鲜重 ( $r = -0.893, P < 0.01$ ) 和干重 ( $r = -0.819, P < 0.01$ ) 都与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关, 在高浓度盐分 ( $\geq 300 \text{mmol/L}$ ) 下, 与对照组存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。地上部分在盐胁迫下, 株高同样与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关性 ( $r = -0.931, P < 0.01$ ), 当浓度  $\geq 200 \text{mmol/L}$  时, 株高与对照组存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 每盆高羊茅地上部分的鲜重 ( $r = -0.840, P < 0.01$ ) 和干重 ( $r = -0.921, P < 0.01$ ) 同样与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关, 也是当  $\text{NaCl} \geq 200 \text{mmol/L}$  时, 存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。高羊茅的地上部分和根部的含水量都随着盐度的增加而减少, 见图 1(D), 当  $\text{NaCl} \geq 200 \text{mmol/L}$  时, 地上部分含水量与对照产生显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 但是根部含水量没有产生显著性差异。

高羊茅幼苗在  $\text{NaCl}$  盐分胁迫下, 根部和地上部分的生长受到了不同程度的抑制, 而且地上部分的生长更容易受到盐浓度的影响, 根部在高盐环境 ( $\text{NaCl} \geq 300 \text{mmol/L}$ ) 胁迫下生长受到明显抑制, 说明高羊茅能够在低浓度的盐分环境中保持根部的正常生长, 逆境下保持良好的根系是植物适应逆境的重要方式。

## 2.2 高羊茅不同组织中 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 含量

高羊茅在  $\text{NaCl}$  盐胁迫下, 根部 ( $r = 0.991, P < 0.01$ ) 和地上部分 ( $r = 0.978, P < 0.01$ ) 的  $\text{Na}^+$  含量都与盐浓度呈正相关, 见图 2(A), 根部在  $\text{NaCl} \leq 50 \text{mmol/L}$  时, 与对照组没有显著性差异, 其余都存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 地上部分的  $\text{Na}^+$  含量, 盐处理组与对照组均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。由图 2(B) 可知, 植物体内  $\text{K}^+$  的含量与盐浓度呈负相关: 根部 ( $r = -0.859, P < 0.01$ ); 地上部分 ( $r = -0.707, P < 0.01$ )。根部  $\text{K}^+$

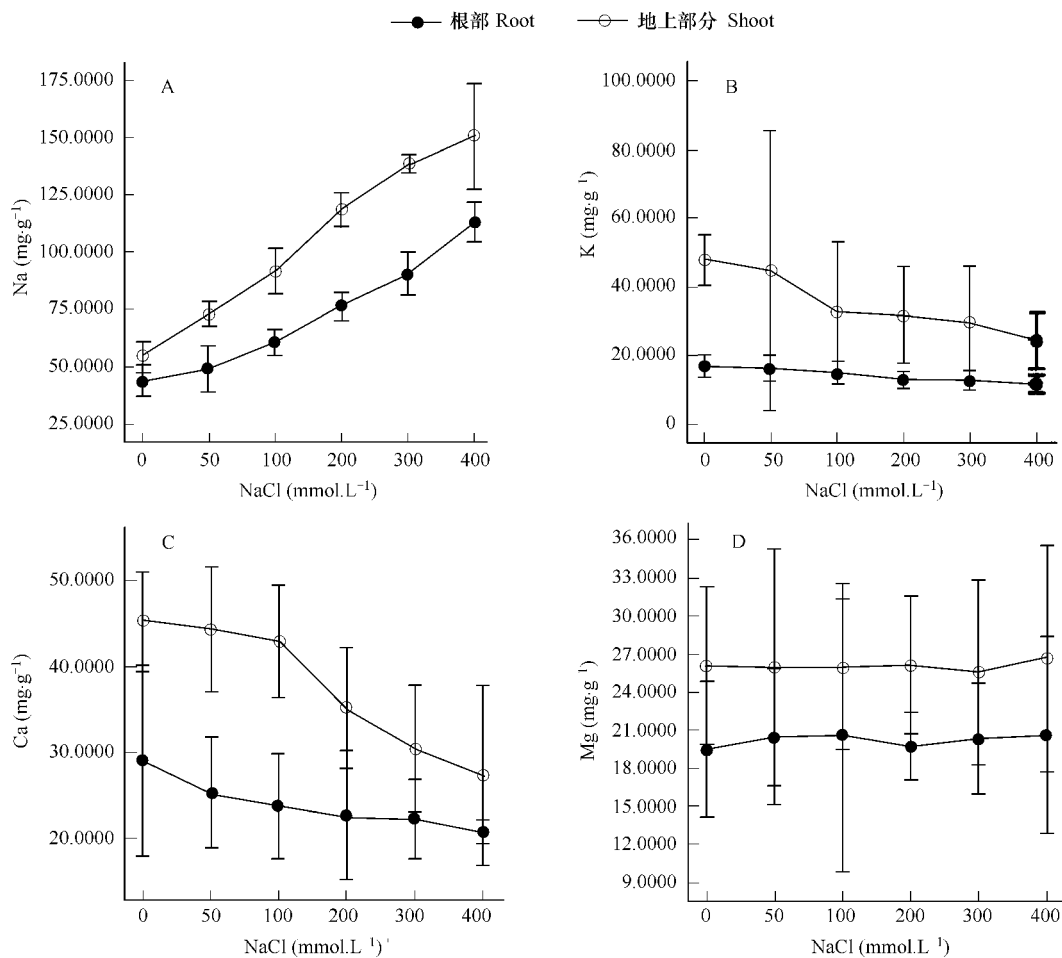


图2 盐胁迫下高羊茅根部和地上部分的离子含量

Fig. 2 Effects of mineral accumulation in seedlings of *Festuca arundinacea* under different salinities

含量,在  $\text{NaCl} \geq 200 \text{mmol/L}$  时,存在显著性差异( $P < 0.05$ ),而地上部分  $\text{K}^+$  含量,只在高盐环境下( $400 \text{mmol/L}$ )存在显著性差异( $P < 0.05$ )。无论是地上部分,还是根部,盐胁迫下  $\text{Mg}^{2+}$  的含量和对照组的都没有显著性差异,见图 2(D)。如图 2(C)所示,在盐胁迫下,根部的  $\text{Ca}^{2+}$  含量只有  $400 \text{mmol/L}$  时与对照组存在显著性差异( $P < 0.05$ ),与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关性( $r = -0.677, P < 0.01$ ),而地上部分则是  $\text{NaCl} \geq 200 \text{mmol/L}$  时存在显著性差异( $P < 0.05$ ),与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关性( $r = -0.931, P < 0.01$ )。

土壤环境中盐浓度的增加,直接导致了植物体内  $\text{Na}^+$  的积累,在低盐环境中, $\text{Na}^+$  积累的幅度不大,但是在  $\text{NaCl} \geq 100 \text{mmol/L}$  时,高羊茅体内  $\text{Na}^+$  积累比较显著;盐胁迫同时造成  $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  等营养元素的缺乏,如图 2,但是高羊茅幼苗能够在低浓度  $\text{NaCl}$  环境中保持正常的离子含量,在高盐环境中, $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  元素的缺乏表现比较严重;无论是地上部分,还是根部,高羊茅体内的  $\text{Mg}^{2+}$  含量都没有受到盐胁迫的影响。

### 2.3 盐胁迫对不同组织中 $\text{K/Na}$ 、 $\text{Ca/Na}$ 、 $\text{Mg/Na}$ 的影响

如图 3(A)所示,高羊茅在  $\text{NaCl}$  盐胁迫下,根部和地上部分的  $\text{K/Na}$  值都与盐浓度呈负相关性:根部( $r = -0.937, P < 0.01$ );地上部分( $r = -0.832, P < 0.01$ ),除  $\text{NaCl} = 50 \text{mmol/L}$  的浓度处理,与对照组没有显著性差异,其余的都和对照组存在显著性差异( $P < 0.05$ )。由图 3(B)可知,地上部分和根部的  $\text{Ca/Na}$  值,同样与  $\text{NaCl}$  浓度呈负相关:根部( $r = -0.924, P < 0.01$ );地上部分( $r = -0.925, P < 0.05$ )。每个盐浓度处理与对照组都存在显著性差异( $P < 0.05$ )。 $\text{Mg/Na}$  值与前两者相似,根部( $r = -0.932, P < 0.01$ );地上部分( $r = -0.871, P < 0.01$ ),除  $\text{NaCl} = 50 \text{mmol/L}$  处理外,根部  $\text{Mg/Na}$  值在盐胁迫下都与对照组存在显著性差异( $P < 0.05$ ),而地上部分是盐胁迫处理都与对照组存在显著性差异( $P < 0.05$ ),见图 3(C)。

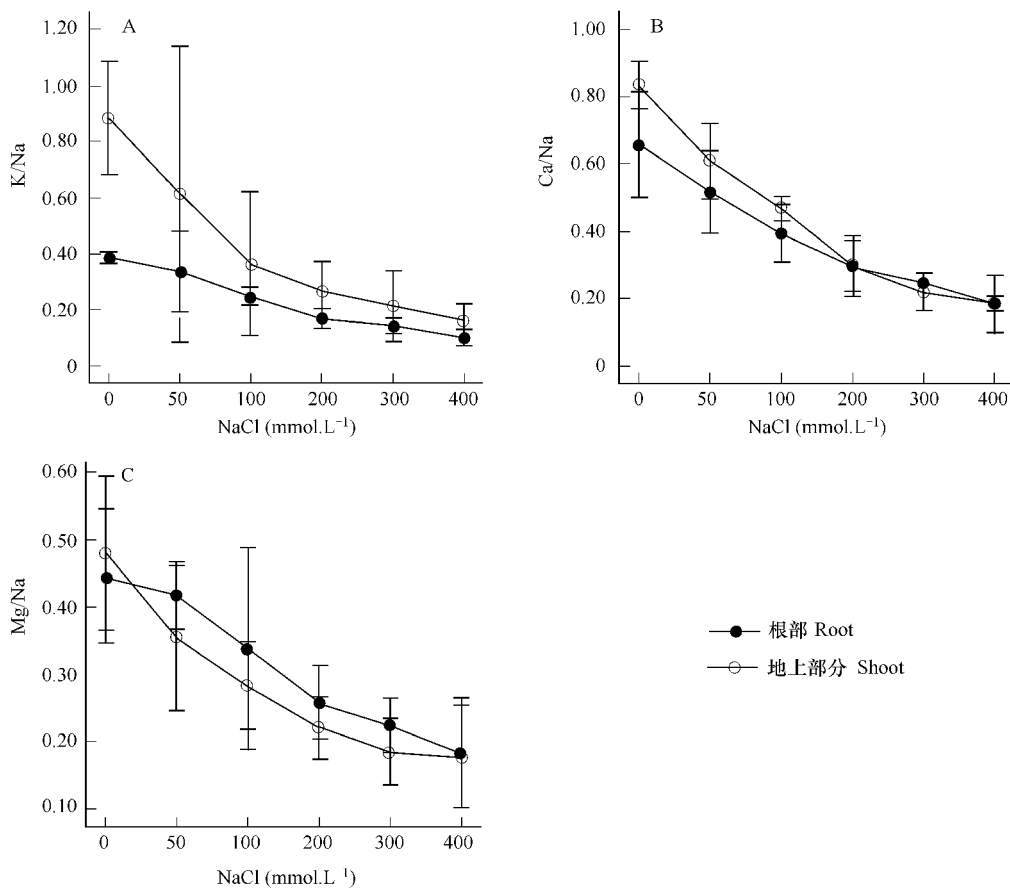


图3 盐胁迫下离子含量和 Na 含量的比值

Fig. 3 Effects of  $\text{K/Na}$ 、 $\text{Ca/Na}$ 、 $\text{Mg/Na}$  in seedlings of *Festuca arundinacea* under different salinities

在盐胁迫下,植物体内维持正常的矿质营养元素与  $\text{Na}^+$  比值是植物耐盐性的生理表现之一,对于不同矿

质营养的吸收、分配和调控机理,是植物适应盐胁迫环境的重要机理,尤其以 K/Na 比值为衡量植物耐盐性指标。在 NaCl 胁迫下,高羊茅的 K/Na、Ca/Na 和 Mg/Na 等比值都与 NaCl 呈负相关,说明植物体内的矿质营养元素平衡在 NaCl 胁迫下,受到显著的影响,而且高盐环境中,高羊茅受到的影响更加明显,同时地上部分的影响比根部要明显。

### 3 讨论与结论

土壤中盐分是普遍存在的,而且是土壤的必要组成部分,也是植物生长的营养元素,但是过量盐分会对植物造成渗透胁迫和干扰营养离子平衡<sup>[17]</sup>,通过抑制和诱导多种酶系统来影响植物的新陈代谢<sup>[18]</sup>。生物量是植物对盐胁迫反应的综合体现,即对盐胁迫的综合适应,也是植物耐盐性的直接指标<sup>[19,20]</sup>。盐胁迫浓度的增加导致高羊茅生长量的减少,株高下降,而且随着盐胁迫浓度的增加,生物量、干重和株高的降低幅度增大,同时根冠比增加,表明盐分对高羊茅地上部分生长的抑制作用大于根系,这与前人的一些研究一致<sup>[21]</sup>。盐胁迫对于地上部分含水量的影响大于根系,说明盐胁迫对高羊茅根系的水分吸收和利用的影响较小,但是会降低植株的蒸腾或抑制水分从根系向茎叶运输,因而地上部分含水量下降。这正是植物在盐分胁迫初期,原初生长降低是由于水分供应受到限制造成的<sup>[22,23]</sup>。

土壤中过量盐离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ )的存在,改变植物的营养平衡<sup>[24]</sup>,一般通过以下两种途径:(1)由于盐离子与营养元素之间相互竞争,减少了植物对营养元素的吸收;(2)盐离子影响了生物膜对离子的选择性,进而影响了根系对营养元素的吸收<sup>[25]</sup>。盐胁迫影响了高羊茅组织内  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  吸收、运输和分配。随着 NaCl 浓度的增加,高羊茅的体内  $\text{Na}^+$  含量迅速提高,目前还没有研究表明,植物存在  $\text{Na}^+$  离子通道,由于  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  有相似的离子半径和水合能,两者之间会相互竞争转运体的同一结合位,所以  $\text{Na}^+$  往往利用  $\text{K}^+$  的途径进入植物体内<sup>[26,27]</sup>;近期研究表明, $\text{Na}^+$  进入植物还有其它的途径:非选择性阳离子通道(nonselective cation channels, NSCCs)可能是主要途径。 $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  之间的相互竞争,造成了植物体内  $\text{K}^+$  的亏缺<sup>[28,29]</sup>,这一点也在高羊茅上得到了体现,无论是根部,还是地上部分,都随着 NaCl 浓度的增加而降低,在低盐环境中,高羊茅的体内的  $\text{K}^+$  没有受到明显的干扰,地上部分只是在 400mmol/L 时, $\text{K}^+$  含量才表现出差异,根部和地上部分的 K/Na 在低盐环境(50mmol/L)与对照组没有差异,也说明高羊茅能够在低盐环境中有相当的适应性。矿质营养元素与  $\text{Na}^+$  比值的降低来自于两个方面:一是组织中  $\text{Na}^+$  的净增加;二是营养元素水平的降低。高羊茅体内的  $\text{Mg}^{2+}$  含量在盐胁迫下基本上没有受到影响,但是由于受到  $\text{Na}^+$  大量增加的影响,Mg/Na 值也是随着浓度的增加而降低, $\text{Mg}^{2+}$  是叶绿素分子的重要组成部分,盐胁迫下植物光合作用的降低可能与此有关<sup>[30]</sup>。高羊茅的根部和地上部分的  $\text{Ca}^{2+}$  含量在低盐环境中也没有受到干扰, $\text{Ca}^{2+}$  对于保持植物细胞膜的完整性和稳定性具有重要作用,近年来,胞内  $\text{Ca}^{2+}$  水平作为植物信号传导中的重要第二信使,与 ABA(脱落酸)、ROS(活性氧物质)等一起参与植物抗逆性的信号传递和表达被大量研究证实,与植物的耐盐性能力有重要关联<sup>[31,32]</sup>。在盐胁迫下,细胞质膜上  $\text{Ca}^{2+}$  可能被  $\text{Na}^+$  所取代,降低了细胞膜的选择性和稳定性,从而导致盐离子的大量进入和营养物质的外泄。

综上所述,上海临港新城地域的滨海盐渍土主要成分为 NaCl,高羊茅幼苗的盐胁迫表明:该草坪草能在一定的盐浓度胁迫下生存,但是其耐盐机制的运作需要很大的能耗,在盐渍环境中生存要以生长降低为代价;低盐环境中能维持正常的离子平衡,K/Na 值可以作为高羊茅幼苗鉴定的一个指标;营养离子的缺失是高羊茅幼苗遭受盐胁迫的重要症状,可以考虑通过提高营养离子浓度来增加高羊茅耐盐性。

### References:

- [1] Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P, et al. Chinese salt-affected soils. Beijing: Science Press, 1993. 1—4, 322—375.
- [2] Zheng Q S, Liu L, Liu Y L, Liu Z P. Effects of salt and water stresses on osmotic adjustment and osmotic accumulation in *Aloe vera* seedlings. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2003, 29(6): 585—588.
- [3] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60: 324—349.
- [4] Yang X H, Jiang W J, Wei M, Yu H J. Review on plant response and resistance mechanism to salt stress. *Journal of Shandong Agricultural*

- University ( Natural Science ), 2006,37(2): 302—305.
- [ 5 ] Yand S H, Ji J, Wang G. Effects of salt stress on plants and the mechanism of salt tolerance. World Sci-Tech R&D, 2006, 28(4): 70—76.
- [ 6 ] Niu X, Bressan R A, Hasegawa P M, Pardo J M. Ion homeostasis in NaCl stress environments, Plant Physiol. , 1995,109: 735—742.
- [ 7 ] Ramoliya P J, Patel H M, Pandey A N. Effect of salinization of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Salvadora persica*(Savadoraceae). Forest Ecology and Management, 2004, 202:181—193.
- [ 8 ] Li P H, Zhang H, Wang B S. Ionic homeostasis of plant under salt stress. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. , 2003,23(10):1810—1817.
- [ 9 ] Ramon S, Alonso R N. ion homeostasis during salt stress in plants. Current Opinion in Cell Biology, 2001, 13:399—404.
- [10] Zhu J K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology, 2003,6:441—445.
- [11] Wang J Y, Zhang G H, Su Q, An L J, Liu Z P. Research advances about the relation between membrane spanned ion transporter and salt tolerance in plants. Acta Bol. Boreal. Occident. Sin. , 2006,26(3):635—640.
- [12] Bai W B, Li P F. Effects of salt stress on growth of absorption and transportation of  $K^+$  and  $Na^+$  in *I. Lactea* var. *Chinensis*. Soils, 2005,37(4): 415—420.
- [13] Mao G L, Xu X, Xu Z Z. Advance in Physiological research of salt tolerance in plant. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(1): 43—46.
- [14] Xiao D N, Xie F J, Wei J B. Regional ecological construction and mission of landscape ecology. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(10): 1731—1736.
- [15] Li Y Y, Guo J R, Yang M F, Wang B S. Effects of KCl and NaCl treatment on growth and water metabolism of halophyte *Suaeda salsa* seedlings. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003,29(6):576—580.
- [16] Emmons R D, Turfgrass Science and Management. 2<sup>nd</sup> ed. New York; Delamar Publishers, 1994. 62—81.
- [17] Ali H, Tucher T C, Thompson T L, Salim M. Effects of salinity and mixed ammonium and nitrate nutrition on the growth and nitrogen utilization of barley. Agron. Crop Sci. , 2001,186:223—228.
- [18] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. , 1980, 23:149—190..
- [19] Vicente O, Boscaiu M, Naranjo M A, Estrelles E, Belles J M, Soriano P. Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). Journal of Arid Environments, 2004,58: 463—481.
- [20] Levitt J. Response of plants to environmental stress. 2nd ed. New York: Academic Press, 1980. 365—434.
- [21] Cramer G R, Epstein E, Lauchli A. Effect of sodium potassium and calcium on salt-stressed barley ( II ). Elemental analysis. Physiol. Plant, 1991,81:197—202.
- [22] Lacerda C F, Cambraia J, Oliva M A, Ruiz H A, Prisco J T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. Environmental and Experimental Botany, 2003,49: 107—120.
- [23] Gulzar S, Khan M A, Ungar I A. Salt tolerance of a coastal salt marsh grass. Commun. Soil Sci. Plant Anal. , 2003,34: 295—2605.
- [24] Ramon S, Alonso R N. ion homeostasis during salt stress in plants. Current Opinion in Cell Biology, 2001, 13:399—404.
- [25] Grattan S R, Grieve C M. Mineral element acquisition and growth response of plant grown in saline environment. Agric. Ecosyst. Environ. , 1992, 38:275—300.
- [26] Amtmann A, Sanders D. Mechanisms of  $Na^+$  uptake by plant cells. Adv. Bot. Res. , 1999,29:75—112.
- [27] Blumwald E. Sodium transport and salt tolerance in plants. Current Opinion in Cell Biology, 2000, 12:431—434.
- [28] Dai S X, Chen S L. Research review on root ion channels of plants. Journal of Beijing Forestry University, 2005,27(3):98—103.
- [29] Chen J P. Possible pathways for sodium uptake by plant cells under salt stress. Natural Science Journal of Hainan University, 2005,23(4): 383—390.
- [30] Parida A K, Das A B, Mitra B. Effects of salt on growth, ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. Trees-Struct. Funct. , 2004, 18:167—174.
- [31] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 2002,7:405—410.
- [32] Knight H, Knight M R. Abiotic stress signaling pathways: specificity and cross-talk. Trends in Plant Science, 2001,6:262—267.

## 参考文献:

- [ 1 ] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土. 北京:科学出版社,1993. 1~4,322~375.
- [ 2 ] 郑青松,刘玲,刘友良,刘兆普. 盐分和水分胁迫对芦荟幼苗渗透调节和渗透物质积累的影响. 植物生理与分子生物学学报,2003,29(6):585~588.
- [ 4 ] 杨晓慧,蒋卫杰,魏珉,余宏军. 植物对盐胁迫的反应及其抗盐机理研究进展. 山东农业大学学报(自然科学版),2006,37(2):302~305.
- [ 5 ] 杨少辉,季静,王罡. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理. 世界科技研究与发展,2006,28(4):70~76.
- [ 8 ] 李平华,张慧,王宝山. 盐胁迫下植物细胞离子稳态重建机制. 西北植物学报,2003,23(10):1810~1817.
- [ 11 ] 王景艳,张高华,苏乔,安利佳,刘兆普. 植物跨膜离子转运蛋白与其耐盐性关系研究进展. 西北植物学报,2006,26(3):635~640.
- [ 14 ] 肖笃宁,解伏菊,魏建兵. 区域生态建设与景观生态学的使命. 应用生态学报,2004,15(10):1731~1736.
- [ 15 ] 李圆圆,郭建荣,杨明峰,王宝山. KCl 和 NaCl 处理对盐生植物碱蓬幼苗生长和水分代谢的影响. 植物生理与分子生物学学报,2003,29(6):576~580.
- [ 28 ] 戴松香,陈少良. 植物根细胞离子通道研究进展. 北京林业大学学报,2005,27(3):98~103.
- [ 29 ] 陈菊培. 盐胁迫下植物细胞吸收  $\text{Na}^+$  的可能途径. 海南大学学报自然科学版,2005,23(4):383~390.