

丽色画眉 (*Eragrostis spectabilis*) 耐盐特征研究

陈超^{1,2}, 刘潇红^{1,3}, 张奇^{1,4}, 刘宏¹, 袁小环^{1,2*}

(1. 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097; 2. 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 100097;

3. 中国林业科学研究院, 北京 100091; 4. 北京农学院, 北京 102206)

摘要: 采用石英砂作为基质, 以不同比例的海水浓度浇灌丽色画眉进行盆栽实验。结果表明, 随海水浓度的增加, 丽色画眉的总生物量、叶宽呈现先增后降的趋势; 分蘖数和叶绿素相对含量呈现下降的趋势, 但没有显著的差异; 比较所有浇灌海水的处理组和对对照组, 丽色画眉的根冠比都极显著降低($P < 0.01$)。丽色画眉地上和地下部分盐分离子分析表明, 其地上生物量随 Na^+ 、 Cl^- 含量增加而先升后降; 对于地下部分, Na^+ 、 Cl^- 含量和地下生物量成幂数关系, 各处理组 K^+ 含量没有明显的差异。丽色画眉根系有选择性地地上部分运输盐分离子特征, 但对于阳离子 K^+ 、 Na^+ 的吸收存在差异, 无海水添加时, 优先选择吸收 K^+ ; 海水浓度增加时, Na^+ 的吸收增加而 K^+ 的吸收受到抑制。

关键词: 根冠比; 海水; 丽色画眉

中图分类号: S688.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)03-0449-05

Salt tolerance of purple lovegrass (*Eragrostis spectabilis*)

CHEN Chao^{1,2}, LIU Xiaohong^{1,3}, ZHANG Qi^{1,4}, LIU Hong¹, YUAN Xiaohuan^{1,2}

(1. Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing 100097;

2. Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, Beijing 100097;

3. Chinese Academy of Forestry Science, Beijing 100091;

4. Beijing University of Agriculture, Beijing 102206)

Abstract: In this study, a pot experiment was conducted to analyze the effect of seawater on purple lovegrass using quartz sand as a substrate. The results showed that biomass and leaf width of purple lovegrass slightly increased with a low concentration of seawater and a decrease was observed with an increase of salt concentration in the irrigation water. However, the relative content of chlorophyll and the tiller number showed a slight decrease trend with the irrigation treatment. Compared to the control group, there was a downward trend on the root-shoot ratio with a significant difference ($P < 0.01$). The analysis also showed a significantly negative correlation between salt ions (Na^+ , Cl^-) and aboveground biomass. Contents of Na^+ and Cl^- in the underground biomass presented an exponential relationship. K^+ content in treatment groups had no obvious difference. Moreover, purple lovegrass roots selectively translocated salt ions to the above ground part. It preferred to K^+ absorption with no seawater addition and Na^+ absorption increased, but K^+ uptake was restrained with the increasing seawater concentration.

Key words: root-shoot ratio; sea water; purple lovegrass

丽色画眉 (*Eragrostis spectabilis*) 为禾本科画眉草属多年生草本植物, 是近年来引入我国的新型观赏草, 以其大而艳丽花序而极具观赏性, 同时也因其广泛的适应性而在园林中应用。丽色画眉原产于北美洲, 分布于美国的东部地区以及加拿大的东南部, 有很强的耐旱性和广泛适应性^[1], 曾被考

虑用作道旁护坡的潜力植物^[2]。在我国, 丽色画眉引入时间较短, 关于其研究也刚起步, 主要针对其种子萌发特征^[3]和耐阴性研究^[4], 相关的耐盐性初步评价也有开展^[5], 但其耐盐特性则少有涉及。

关于禾本科植物耐盐性的研究较多, 尤其是作物, 例如小麦^[6]、大麦^[7]、玉米^[8-9]以及高粱^[10]等;

收稿日期: 2014-12-15

基金项目: 草种质资源收集、评价与创新 (KJCX20140103) 资助。

作者简介: 陈超, 博士, 助研。E-mail: xiaoyingwulu@163.com

* 通信作者: 袁小环, 副研究员。E-mail: sunringner@163.com

对于牧草、草坪草^[11-12]、能源草^[13]等也有相关的研究。但是对于园林中观赏草耐盐性的研究较少^[14-15]。在现代化大都市,由于淡水资源的缺乏,微咸水(包括再生水)越来越多地用于干旱半干旱地区的城市园林绿地灌溉,造成土壤的次生盐碱化,严重影响园林植物的生长和景观效果^[5]。观赏草以其广泛的适应性和低维护需求,成为新兴的园林造景植物。因此,开展观赏草的耐盐性研究对于城市绿化,尤其是低维护的生态园林绿化有重要意义。相关的研究表明^[5],丽色画眉有较强的耐盐性,在 $15\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl胁迫35 d时仍有37.5%的植株可以存活。但是,对于丽色画眉的耐盐性性状表现和生理变化尚缺乏详尽的研究。本研究通过不同浓度海水浇灌对丽色画眉的耐盐性进行探讨,以期为丽色画眉的耐盐性研究、耐盐性品种的选育提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

采用石英砂培育丽色画眉进行盆栽实验。实验的盐分梯度设置为海水的不同稀释比例(体积比):75.0%(重度)、50.0%(中度)、25.0%(适度)和0%(对照),海水取自天津塘沽,所用海水盐分含量 $24.39\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (平均电导率为 $51.71\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)。实验于北京市农林科学院内(包括温室和旱棚)进行,丽色画眉为2012年12月穴盘播种的实生苗,穴播为1~3株·穴⁻¹(多为1株·穴⁻¹),于2013年5月进行移栽。移栽时,选择大小相近、长势一致的单株进行培育;缓苗1个半月后选择长势均匀一致的株苗进行试验处理。盆栽基质采用1~2 mm的酸洗石英砂(不含营养成分),以双层纱布垫底,花盆下托盘中盛有恒定稀释倍数的海水,在整个实验过程中(2013年7月至2013年11月)保持盐胁迫程度相对恒定。

实验采取随机区组设计,4个处理,每个处理5盆,3个重复,共计 $20\times 3=60$ (盆)。花盆规格:上内径19.0 cm,下内径14.0 cm,高17.0 cm。实验于遮雨棚内进行,每2 d浇水1次,每次等量浇灌,夏天特别干旱时适当增加浇灌频率。

1.2 测定指标

1.2.1 电导率和叶绿素测定 培养液电导率采用便携式电导仪测定,分别于处理当天(2013年7月10日)和丽色画眉植株枯黄时(2013年10月25日)各测定1次,测定的培养液为花盆下托盘内渗出溶液;叶绿素相对含量(SPAD值)采用便携式叶绿素计 SPAD-502(日本柯尼卡公司生产)测定,测

定时间为2013年10月20日。叶片枯黄表现为叶片叶缘、叶尖开始出现枯黄、叶片变色,枯黄时间为10月下旬至11月上旬。

1.2.2 叶宽、分蘖数测定 丽色画眉植株地上部分开始枯黄时,进行叶宽、分蘖数测量。叶宽测定时以植株顶端完全展开的叶片为第1片,进行逆序计数,测定其下1/3叶片最宽处的宽度(总叶片数为5~6片,此时为丽色画眉的孕穗期);分蘖数计数时,以出现2个叶片作为一个新的分蘖株。

1.2.3 生物量测定 丽色画眉叶片全部出现枯黄(11月上旬)时,将植物整株从基质中取出,用清水冲洗干净,分为地上和地下2部分分别进行测定:105℃杀青30 min,80℃下烘干至恒重,计算总质量和根冠比。总质量=地上部分干重+地下部分干重;根冠比=地下部干重/地上部干重。

1.2.4 盐离子测定 盐离子含量采用沸水提取法测定,分为丽色画眉植株地上和地下两部分分别进行测定,即称取0.200 g植物粉末样品放入消化试管中,加去离子水80 mL,控制加热保持沸腾态2 h,冷却后定容至100 mL容量瓶中,取过滤后的清液用于离子测定。离子测定方法参照文献和土壤农化分析:Na⁺、K⁺采用原子吸收光谱仪测定^[16];Cl⁻测定采用化学滴定法^[17]。测定后,同时计算离子运输 $ST=(\text{地上 } K^+/\text{Na}^+)/(\text{地下 } K^+/\text{Na}^+)$ ^[18]。

1.3 数据分析

数据整理和绘图采用Microsoft Excel 2007,显著性分析采用SASS软件。数据表示为平均值±标准差,显著性水平设为0.05。

2 结果与分析

2.1 电导率

培养液电导率测定表明:处理当天Y₁和植株枯黄Y₂时,海水浓度和培养液电导率都呈明显的线性关系 $Y_1=50.69X+0.34$ ($R^2=0.98$); $Y_2=12.33X+1.00$ ($R^2=0.99$)(表1)。丽色画眉对于盐分的吸收随培养液浓度的增加而增加,当海水浓度比例达到75.0%时,丽色画眉对于盐分依然有较强的吸收。但是,长时间高浓度的盐胁迫影响丽色画眉的存活:75.0%海水浓度处理90 d后,丽色画眉植株枯死,平均死亡率为40.0%。

2.2 叶宽和叶绿素含量

对丽色画眉新生叶片叶宽的测定表明:随海水浓度的增加,叶宽呈现先增后降的趋势;当浓度达到75.0%时,叶片开始枯死。对于新生叶片,第3片叶开始出现处理间的差异,逆序至第1片叶各处

表 1 不同海水浓度梯度下的电导率测定

Table 1 Conductivities under different gradients of seawater

ms·cm⁻¹

材料 Material	处理 Treatment	Y ₁ 电导率 Conductivities of Y ₁	Y ₂ 电导率 Conductivities of Y ₂
丽色画眉 Purple Lovegrass	CK	0.71±0.02	1.17±0.05
	T-25.0%	14.10±0.49	3.76±0.23
	T-50.0%	22.43±1.57	7.31±0.91
	T-75.0%	40.17±2.87	10.27±2.45

表 2 丽色画眉叶宽和叶绿素相对含量

Table 2 Leaf width and SPAD of purple lovegrass

处理 Treatment	叶宽/cm Leaf width				SPAD
	第 1 片 The 1 st leaf	第 2 片 The 2 nd leaf	第 3 片 The 3 rd leaf	第 4 片 The 4 th leaf	
CK	1.01±0.08 ^b	1.01±0.09 ^b	0.95±0.11 ^b	0.95±0.14 ^a	32.4±1.7 ^a
T-25.0%	1.10±0.08 ^a	1.12±0.07 ^a	1.10±0.11 ^a	1.03±0.09 ^a	27.9±3.1 ^a
T-50.0%	0.91±0.08 ^c	0.95±0.11 ^b	0.93±0.12 ^b	0.90±0.11 ^a	25.2±4.8 ^a
T-75.0%	-	-	-	-	27.0±5.6 ^a

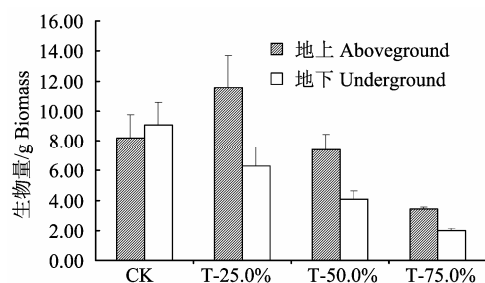


图 1 丽色画眉地上和地下生物量

Figure 1 Underground and aboveground biomass of purple lovegrass

理组间差异显著 (表 2)。丽色画眉叶绿素相对含量的分析表明, 随盐分浓度升高, 叶绿素相对含量呈现下降趋势, 但差异不显著。

2.3 生物量、根冠比和分蘖数

对生物量、根冠比和分蘖数的研究表明: 改变培养液盐分水平, 丽色画眉生物量、根冠比有显著的变化; 分蘖数有降低的趋势, 但处理间差异不明显。随盐分浓度增加, 总量、地上部分生物量呈现先增后降的趋势; 而地下部分生物量、根冠比

和分蘖数成明显下降趋势。在生物量方面: 盐分浓度在 25.0% 时, 丽色画眉的总量和对照组差异不显著, 而地上部分生物量和对照组比较有显著增加, 地下部分显著降低 (图 1); 随浓度进一步增加, 总量、地上和地下生物量都显著降低。在根冠比方面: 和对照组相比, 所有处理组丽色画眉的根冠比都极显著降低 ($P < 0.01$); 但是, 各盐分添加处理组之间变化不明显 (表 3)。

2.4 盐分离子

丽色画眉离子含量的分析表明, 随海水浓度增加, 丽色画眉地上和地下部分 Na⁺、Cl⁻ 相对含量都显著增加, 和海水浓度呈现明显的线性关系: 地上 Cl⁻ 相对含量 $Y = 7.50X + 0.66$ ($R^2 = 0.92$); 地下 Cl⁻ 相对含量 $Y = 5.71X + 0.38$ ($R^2 = 0.75$); 地上 Na⁺ 相对含量 $Y = 4.10X - 0.14$ ($R^2 = 0.96$); 地下 Na⁺ 相对含量 $Y = 3.43X - 0.09$ ($R^2 = 0.87$)。但是, K⁺ 的相对含量随浓度变化呈现 V 型变化趋势, 地上部分的含量要高于地下部分, 而各处理梯度没有显著的变化 (表 4)。

表 3 丽色画眉生物量、根冠比和分蘖数

Table 3 Biomass, tiller number and root shoot ratio of purple lovegrass

项目 Item	处理 Treatment			
	CK	T-25%	T-50%	T-75%
总生物量/g Total biomass	17.26±2.90 ^a	17.86±2.92 ^a	11.45±1.59 ^b	5.42±0.04 ^c
地上生物量/g Aboveground biomass	8.19±1.57 ^b	11.55±2.16 ^a	7.40±1.03 ^b	3.42±0.13 ^c
地下生物量/g Underground biomass	9.07±1.52 ^a	6.31±1.26 ^b	4.05±0.58 ^c	2.00±0.12 ^d
根冠比 Root shoot ratio	1.12±0.14 ^a	0.55±0.12 ^b	0.55±0.03 ^b	0.58±0.06 ^b
分蘖数/个 Tiller number/individual	22±5 ^a	22±3 ^a	20±3 ^a	17±2 ^a

丽色画眉地上部分生物量和离子的含量分析表明: 在 25.0% 海水浓度比例时, 其地上生物量有显

著的提高; 随后随浓度增加而降低。通过对地下生物量和盐分离子含量的分析表明: Cl⁻ 含量和地下生

物量成幂数关系 $Y_{Cl}=10.82X^{1.09}$ ($R^2=0.96$); Na^+ 含量和地下生物量成幂数关系 $Y_{Na^+}=11.81X^{1.79}$ ($R^2=0.90$); 各处理梯度 K^+ 含量没有显著的变化(图2)。通过对丽色画眉的离子分析表明: 相对于地下部分, 地上部分 K^+ 、 Na^+ 以及 Cl^- 的含量都更大(图3); K^+/Na^+ 的分析表明对照组的地上和地下部分

K^+/Na^+ 值较大, 而所有处理组的 K^+/Na^+ 都极显著降低 ($P<0.01$)。另外, 通过对 ST 的计算表明, 对照组有较高的 ST, 平均为 6.89 ± 1.90 ; 而各处理组都显著降低 ($P<0.05$)。无海水添加时, 丽色画眉优先选择吸收 K^+ 并将其运输到地上部分; 增加海水浓度, Na^+ 的含量增加而 K^+ 的吸收受到抑制。

表 4 丽色画眉地上、地下部分盐分离子相对含量
Table 4 Relative content of salt on the aboveground and underground of Purple Lovegrass %

处理 Treatment	地上 Aboveground			地下 Underground		
	Na^+	K^+	Cl^-	Na^+	K^+	Cl^-
CK	0.04 ± 0.03^c	0.97 ± 0.06^a	1.20 ± 0.05^c	0.15 ± 0.04^d	0.54 ± 0.05^a	1.09 ± 0.34^c
T-25%	0.78 ± 0.21^c	0.76 ± 0.05^b	2.10 ± 0.34^{cb}	0.70 ± 0.19^c	0.34 ± 0.03^b	1.39 ± 0.21^{cb}
T-50%	1.59 ± 0.44^b	0.74 ± 0.08^b	3.66 ± 1.06^b	1.05 ± 0.20^b	0.38 ± 0.07^b	1.93 ± 0.44^b
T-75%	3.19 ± 0.69^a	0.89 ± 0.10^{ab}	6.93 ± 1.72^a	2.89 ± 0.12^a	0.55 ± 0.03^a	5.67 ± 0.00^a

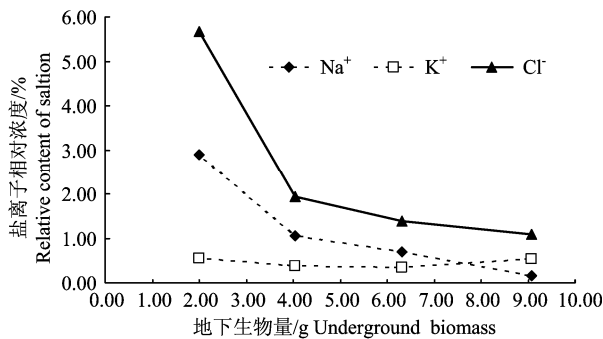


图 2 丽色画眉地下生物量和盐离子含量

Figure 2 The relative contents of salt ions according to underground biomass of Purple Lovegrass

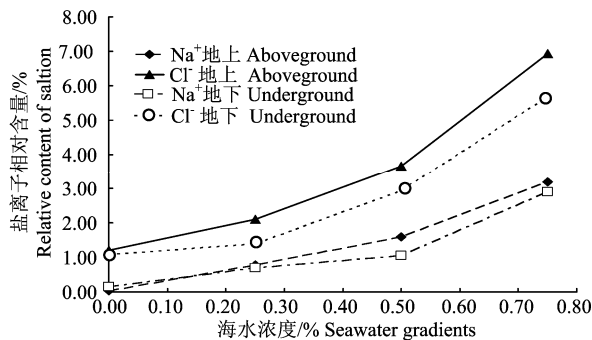


图 3 海水浓度和盐离子相对含量关系

Figure 3 The relative contents of salt ions according to seawater gradients

3 讨论

丽色画眉是近些年引入我国园林的新型观赏植物, 目前对于丽色画眉耐盐性的研究较少^[5]。本研究通过海水的梯度浇灌来探讨丽色画眉盐胁迫的性状表现和生理变化。试验表明, 海水处理前后其浓度梯度和培养液电导率都呈明显的线性关系, 说明丽色画眉对于盐分的吸收随海水浓度的增加而增加; 植株地上和地下部分的盐离子测定也表明, 随

海水浓度增加其盐离子 (Na^+ 、 Cl^-) 含量升高。而且在 25.0% 海水浓度比例时, 其地上生物量和总量和对照组比较有显著的提高, 有明显的地浓度促进生长现象。再者, 在植株的分蘖生长和叶绿素含量方面, 丽色画眉也表现较强的盐分耐受性: 分蘖数和叶绿素相对含量随海水浓度增加仅呈现下降趋势而无明显差异。当海水浓度达 50.0% 时, 其单株分蘖数仅比对照组时少 2 个; 而叶绿素相对含量随海水浓度增加而下降的趋势不明显。叶绿素相对含量在海水浓度为 75% 时有略微增加的现象, 这可能是测定时该处理组叶片的枯黄影响了实验结果 (测定结果为绿色的叶片, 枯黄的叶片无法进行有效测定)。但是, 长时间盐胁迫影响其成活: 75.0% 海水浓度处理 45 d 时部分丽色画眉叶片开始枯黄, 60 d 时开始枯死, 90 d 时死亡率达到 40%。袁小环等^[5]的研究表明, 丽色画眉在 $15g\cdot L^{-1}NaCl$ 胁迫 35 d 时有 37.5% 的植株可以存活。所以, 盐胁迫强度和胁迫的时间共同影响着丽色画眉对于盐分的耐受性。

丽色画眉在不同浓度盐分胁迫下, 其植株地上和地下部分存在不同的效应。在生物量方面: 盐分浓度在 25.0% 时, 丽色画眉的总量和对照组差异不显著, 而地上部分生物量和对照组比较有显著增加, 地下部分显著降低; 随浓度进一步增加, 总量、地上和地下生物量都显著降低。该结果和 Scheiber 等^[14]对羽绒狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*) 的研究结果是一致的。但樊瑞苹等^[19]对高羊茅盐胁迫的研究表明, 高羊茅的生物量 (根质量和茎叶) 有上升后下降的趋势。本实验的结果表明, 丽色画眉仅地上部分呈现同样的趋势; 地下生物量呈现显著的下降趋势。这可能和测定的时间有关。本实验结果为丽色画眉整个生长期 (160 d) 的生物量, 而高

羊茅^[19]呈现先生后降的趋势表现为短时期内(14 d)的情况,而更长时间的结果表现为显著的下降趋势,具体的变化趋势可能还需要进一步的研究。植物根系是感受盐分胁迫的敏感部位,根系吸收的钠盐,经传输而进入地上部分,在地上部分存留而使得盐分在地上部分积累,表现丽色画眉较强的吸盐能力,通过叶片将多余的盐分运输出去。孙小芳等^[20]将 K^+/Na^+ 作为衡量植物耐盐性的指标,刘友良等^[21]也认为 K^+/Na^+ 值越大材料的耐盐性越好。本实验通过对丽色画眉的 K^+/Na^+ 分析表明,对照组的地上和地下部分 K^+/Na^+ 值较大,分别为 31.91 ± 15.21 和 4.00 ± 0.77 ,而所有处理组的 K^+/Na^+ 都极显著降低 ($P < 0.01$)。本实验的结果也表明,相对于地下部分,地上部分 K^+ 、 Na^+ 以及 Cl^- 的含量都更大。相关研究表明对于小麦^[22]、大麦^[23]、牧草^[24]等的耐盐品种,存在根系向地上部选择性运输 K^+ 、 Na^+ 的特性。而对于阳离子的选择吸收方面,对照组的丽色画眉 ST 值较大,对 K^+ 的选择性运输能力较强,和蒋乔峰等^[25]对于沟叶结缕草 (*Zoysia matrella*) 的研究一致。该结果表明丽色画眉具有耐盐植物对于盐分离子的吸收特征,在一定程度上表明丽色画眉是较为耐盐的植物种类。

和传统园林地被植物比较,丽色画眉是较为耐盐的植物。扈明明^[26]对麦冬和玉簪的土壤电导率观测表明,麦冬在电导率大于 $1.7 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 后植株严重盐害后死亡;玉簪在大于 $1.4 \text{ ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 后植株严重盐害至死亡。丽色画眉在海水浓度达到 50%,电导率 (22.4 ± 1.6) $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 时,依然表现良好的生长状态。骆建霞等^[27]研究表明,丛生福禄考在盐浓度 $6.5 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 处理下出现明显盐害症状。丽色画眉植株地上和地下盐分含量测定表明,盐分 (NaCl) 浓度达到 $9.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 时其生长受到抑制,表现为较耐盐的植物种类。但是,有关植物形态指标研究大多数是在实验控制条件下进行的,与田间自然状况存在很大差别,较难在实际环境下得到应用。因此,关于丽色画眉在盐胁迫下反应机制还需要进一步深入探讨。

参考文献:

- [1] Erin A, Scheiber S M, Richard C, et al. Drought tolerance responses of purple lovegrass and 'Adagio' maiden grass[J]. Hortscience, 2007, 42(7): 1695-1699.
- [2] Brown R N, Percivalle C, Narkiewicz S, et al. Relative rooting depths of native grasses and amenity grasses with potential for use on roadsides in New England [J]. Hortscience, 2010, 45: 393-400.
- [3] 秦衍雷, 武菊英, 徐迎春, 等. 遮荫对观赏草丽色画眉生长、光合以及生物量的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(5): 921-927.
- [4] 秦衍雷, 武菊英, 滕文军, 等. 观赏草丽色画眉种子萌发特性研究[J]. 植物分类与资源学报, 2013, 35(2): 165-170.
- [5] 袁小环, 孙男, 滕文军, 等. 9 种观赏草苗期耐盐性评价及 NaCl 胁迫对芨芨草生长的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(3): 69-75.
- [6] 刘艳丽, 许海霞, 刘桂珍, 等. 小麦耐盐性研究进展[J]. 中国农艺科学, 2008, 24(11): 202-207.
- [7] 袁金娥, 刘家娴, 先锐, 等. 大麦耐盐性鉴定方法及耐盐机理研究进展[J]. 大麦与谷类科学, 2011(4): 11-15.
- [8] 段显德, 周波, 杨国会, 等. 玉米耐盐性研究[J]. 通化师范学院学报, 2001, 2(2): 67-69.
- [9] 杜锦, 张烈, 韩芸, 等. 玉米耐盐性研究现状与趋势[J]. 杂粮作物, 2009, 29(6): 379-382.
- [10] 韩芸, 孙守钧, 裴忠有, 等. 高粱耐盐性研究进展[J]. 河南农业科学, 2012, 41(6): 1-8.
- [11] 张秀云. 草坪草耐盐性研究进展[J]. 草原与草坪, 2000(2): 8-11.
- [12] 谢振宇, 杨光穗. 牧草耐盐性研究进展[J]. 草业科学, 2003, 20(8): 11-17.
- [13] 张蕴薇, 李洪超, 杨富裕, 等. 我国能源草耐盐性研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(6): 159-164.
- [14] Scheiber S M, David S, Erin A, et al. Effect of salt spray concentration on growth and appearance of 'Gracillimus' maiden grass and 'Hamelin' fountain grass[J]. Horttechnology, 2008, 18(1): 34-38.
- [15] Gao J Q, Gu M M, Niu G H, et al. Effects of salinity on three *Pennisetum* cultivars[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(3/4): 1005-1007.
- [16] 周斌, 栗红, 李小明. 植物样品中盐分离子的几种分析方法比较[J]. 干旱区研究, 2000, 17(3): 35-39.
- [17] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1986: 132-134.
- [18] Wang C M, Zhang J L, Liu X S, et al. *Puccinellia tenuiflora* retains a low Na^+ level under salt stress by limiting unidirectional Na^+ influx resulting in a high selectivity for K^+ over Na^+ [J]. Plant Cell and Environment, 2009, 32: 486-496.
- [19] 樊瑞苹, 周琴, 周波, 等. 盐胁迫对高羊茅生长及抗氧化系统的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 112-117.
- [20] 孙小芳, 刘友良. NaCl 胁迫下棉花体内 Na^+ 、 K^+ 分布与耐盐性[J]. 西北植物学报, 2000, 20(6): 1027-1033.
- [21] 刘友良, 丁念诚, 沈丽娟. 大麦的抗盐性与抗盐机理 [C]//中国作物学会大麦专业委员会. 中国大麦文集, 北京: 中国农业科技出版社, 1986: 267-263.
- [22] 李长润, 刘友良. 盐胁迫下小麦幼苗离子吸收运输的选择性与叶片耐盐量[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(1): 16-20.
- [23] Torres B C, Bingham F T. Salt to tolerance of Mexican wheat: effect of NO_3^- and NaCl on mineral nutrition, growth, and grain production of four wheats[J]. Soil Sci Soc Amer Proc, 1973, 37: 711-715.
- [24] 翁森红, 聂素梅, 徐恒刚, 等. 禾本科牧草 K^+/Na^+ 与其耐盐性的关系[J]. 四川草原, 1998(2): 22-24.
- [25] 蒋乔峰, 陈静波, 宗俊勤, 等. 盐胁迫下磷素对沟叶结缕草生长及 Na^+ 和 K^+ 含量的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 162-168.
- [26] 扈明明. 园林植物麦冬和玉簪耐盐能力对比试验[J]. 山东林业科技, 2006(5): 22-23.
- [27] 骆建霞, 柴慈江. 盐胁迫对 7 种草本地被植物生长及光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(9): 50-54.