

不同土壤条件下荒漠盐生植物根际盐分特征研究*

弋良朋^{1,2} 马健¹ 李彦^{1†}

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

SOIL SALT REGIME IN RHIZOSPHERE OF DESERT HALOPHYTES IN DIFFERENT SOILS

Yi Liangpeng^{1,2} Ma Jian¹ Li Yan^{1†}

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

关键词 根际; 荒漠盐生植物; 盐分; 不同土壤
中图分类号 156.4 文献标识码 A

新疆是我国最干旱、盐渍化土壤分布面积最广、土壤积盐最重的地区^[1]。这里特定的自然环境条件下发育着丰富的盐生植物,是中国盐生植物种类最多、分布最广的区域^[2]。1995年, Breckle 将盐生植物分成三个类型: 泌盐盐生植物、稀盐盐生植物(肉质化盐生植物)和拒盐盐生植物(假盐生植物)^[3]。这三种类型的盐生植物在干旱区盐生荒漠上均有广泛的分布。根际是土壤-植物生态系统物质交换的活跃界面^[4]。目前,国内外对盐生植物的研究,多是集中在盐分对植物地上部分的形态、生理特征以及种子萌发等方面的影响^[5],而对于盐生植物根际土壤的化学特征,以及根际在土壤-根际-植物系统中的作用很少有人关注,对不同类型荒漠盐生植物根际化学的差异也了解甚少。为此,本项目选择新疆干旱区荒漠中 Breckle 分类的三种类型的盐生植物,对它们的根际土壤的盐分特征是否相同,在对环境的适应中所起的作用是否相同等方面作一些探索研究。

本研究使用根袋法模拟装置来评估几种不同类型的荒漠盐生植物根际土壤的盐分特征,以期初步探明不同类型的荒漠盐生植物根际土壤与土体之间盐分特征的差异,并比较这些植物与非盐生植物的异同,了解根际在荒漠盐生植物的土壤-根际-植物

系统中的作用,提高理解根际在荒漠盐生植物适应环境中的作用。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验选用古尔班通古特沙漠南缘的 6 种最常见的荒漠盐生植物: 囊果碱蓬 (*Suaeda physophora* Pall.)、盐爪爪 (*Kalidium foliatum* (Pall.) Moq.)、钠猪毛菜 (*Salsola nitraria* Pall.)、刚毛柽柳 (*Tamarix hispida* Willd.)、琵琶柴 (*Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim.) 和芦苇 (*Phragmites communis* Trin.) ,其中钠猪毛菜、囊果碱蓬和盐爪爪是稀盐盐生植物,刚毛柽柳和琵琶柴是泌盐盐生植物,芦苇是拒盐盐生植物。它们都是典型的荒漠盐生植物,对盐渍和干旱瘠薄的荒漠土壤环境有很强的适应性。供试植物种子于 2005 年 10 月在距中国科学院阜康荒漠生态试验站东南约 3 km 的盐生荒漠采集。

从生长有盐爪爪、琵琶柴、囊果碱蓬和钠猪毛菜等盐生植物的盐生荒漠和当地棉田分别采集 0~40 cm 土壤样品,阴干后粉碎并充分混匀,过 0.5 mm 筛,然后加蒸馏水至土壤含水量 140 g kg^{-1} ,备用。两种土壤的基本特征见表 1。

* 国家自然科学基金项目(40471048)资助

† 通讯作者: E-mail: liyan@ms.xjb.ac.cn

作者简介: 弋良朋(1974~),男,新疆河子人,博士研究生,主要从事植物生态学研究。E-mail: yiliangp@mails.gucas.ac.cn

收稿日期: 2007-01-06; 收到修改稿日期: 2007-04-05

表 1 实验所用的荒漠盐土和棉田土壤的主要性质

土壤	总盐 (g kg ⁻¹)	pH	(g kg ⁻¹)								(mg kg ⁻¹)		
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	有效氮	有效磷	速效钾
荒漠盐土	14.25	8.42	0.018	0.174	0.751	7.154	2.634	0.149	1.485	0.195	30.18	12.63	384
棉田土壤	5.06	7.85	0.011	0.136	0.387	2.483	0.612	0.195	0.832	0.231	70.14	38.46	595

1.2 植物的根袋培养及根际土壤和植物样品采集

试验采用根袋法模拟装置^[6]进行。将 30 μm 孔径的尼龙网纱用塑料封口机制成直径 3 cm、高 15 cm 的根袋,每个根袋内装入准备好的土样 240 g。将土样装入高 40 cm、直径 30 cm 的盆中,然后在盆中央埋入事先做好的根袋一个。在每个根袋内播入露白的植物种子 15 粒,于日光型温室中生长,保持通风,每个根袋定苗后留苗 6 株。生长期内每 15 d 浇水一次,每个处理每次只浇等量的蒸馏水 3 L,不做其他任何处理。6 种植物的每种植物均选择出苗和长势基本一致的 12 盆留作采样,即 12 个重复。另外设置有 12 个相同的未埋放根袋的盆,生长期内的处理与根袋的处理相同,在取根际土的同时取其土壤作为土体(非根际土)的土样。

植物生长 100 d 后,取出根袋中 2 cm 以下的土壤即为根际土,在取根际土时尽量少破损植物根系,对于混杂于根际土中的根系要彻底去除。方法是:将采集的根际土在室内通风晾干,在土样半干时将大土块捣碎,晾干后的根际土样,倒入塑料板上,用有机玻璃棍研细,捡尽肉眼能看到的根段残体,然后取一块绸布,包裹有机玻璃棍用力摩擦几下,以产生静电,在土面扫一遍,以去除细残根,多次重复,尽可能地去除土样中的细根。

取根际土时,迅速打开根袋,挑取袋内较完整的、与土壤能分开的根系,用小刷迅速小心地刷掉上面黏附的土壤,作为植物地下部分的测定样品,同时取植物地上部分待测。

1.3 分析测定

取风干土按土水比 1:5 制备待测液,用于盐分测定。总盐采用干涸残渣法^[7]测定;Na⁺和 K⁺采用火焰光度计法^[7]测定;CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺和 Mg²⁺采用土壤盐分常规滴定法^[7]测定;pH 采用电位法^[7]测定。

植物样品的测定:将植物样品放入烘箱中,80 条件下烘 24 h,然后粉碎,用于测定。Ca²⁺和 Mg²⁺采用 EDTA 络合滴定法^[7]测定;Cl⁻采用 AgNO₃滴定法^[7]测定;Na⁺和 K⁺采用火焰光度法^[7]测定;

SO₄²⁻采用 EDTA 间接滴定法^[7]测定。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 12.0 进行方差分析和多重比较,用 Origin 7.0 和 Excel 2003 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 根际土壤盐分含量的比较

分析图 1 可知,6 种植物根际土壤的 pH 相对土体均有所升高,但升幅不大,差异不显著,说明其碱性变化不明显,这是由于 CO₃²⁻和 HCO₃⁻在根际内的少量富集造成的。在荒漠盐土中种植的盐生植物,囊果碱蓬、盐爪爪、钠猪毛菜、刚毛柽柳、琵琶柴和芦苇的根际土总盐含量较土体的增加量分别为 107.57%、92.43%、61.02%、69.71%、48.11%和 9.25%;除芦苇外,其余植物的根际土中总盐、Cl⁻、SO₄²⁻、Na⁺、Mg²⁺的含量均显著高于土体,而根际土中 Ca²⁺的含量与土体比较,差异不显著;除芦苇和钠猪毛菜外,其余植物根际土中 K⁺的含量显著高于土体。在芦苇的根际,与土体相比,总盐的含量也有所增加,但差异不显著,只有 Na⁺的含量增加达到了显著水平。在盐分含量很轻的棉田土壤中种植的这 6 种盐生植物,总盐、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺的含量也均高于土体,囊果碱蓬、盐爪爪、钠猪毛菜、刚毛柽柳、琵琶柴和芦苇的根际土总盐含量较土体的增加量分别为 55.25%、52.75%、43.41%、42.05%、36.33%和 5.76%,但与荒漠盐土比较,除 Ca²⁺外,其余盐离子富集程度较低。在棉田土壤中,刚毛柽柳、琵琶柴根际土壤中的 K⁺与土体差异不显著,而其他植物均表现出显著亏缺,说明植物对 K⁺的吸收很强,造成其亏缺,由于刚毛柽柳和琵琶柴相对于其他供试植物生长慢,所以对 K⁺的需求也相对较少,其根际的亏缺也较其他植物小。在荒漠盐土中,稀盐盐生植物和泌盐盐生植物根际对盐分的富集作用显著高于拒盐盐生植物。从两种土壤的比较来看,棉田土壤中,各种盐生植物根际土中各种盐离子的含量差异性没有荒漠盐土的大。荒漠土

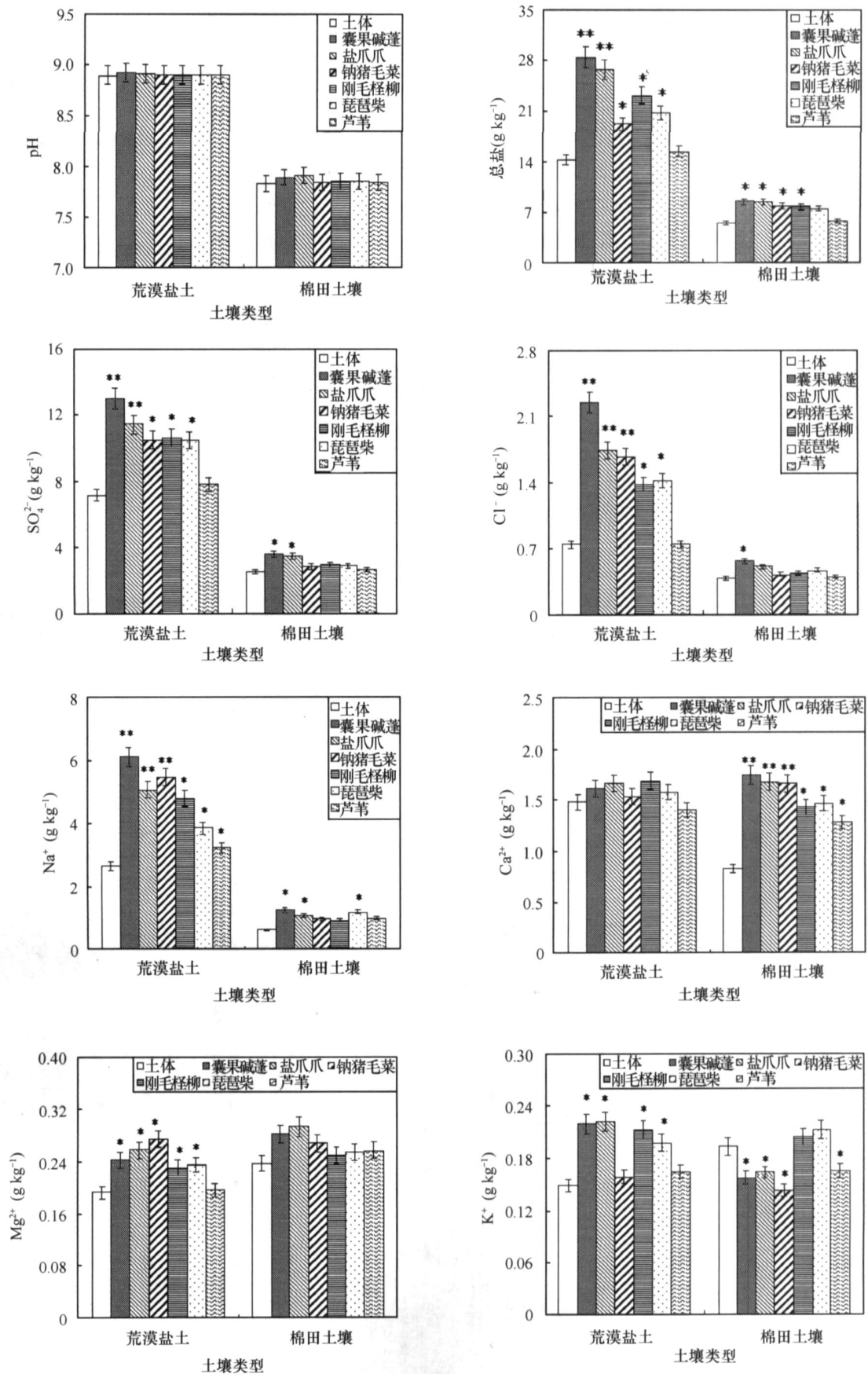


图 1 土体和根际土壤的 pH、总盐及主要盐离子的含量 (* p_{0.05}, ** p_{0.01})

壤中的盐分以 Na_2SO_4 为主,而根际土中富集的盐离子也以 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的含量最高。

2.2 根际土壤盐分组成的比较

盐分组成是盐土的一个重要性质,盐分组成的改变可以影响盐分对植物的危害程度。由图 1 可以看出,在荒漠盐土中,除芦苇外,在样品分析测定的 6 种离子中, Cl^- 和 Na^+ 在根际土壤中的富集程度高于其他 4 种离子,与土体相比,增加量均超过了 50%,囊果碱蓬和盐爪爪根际中的 Cl^- 较土体增加了 248.4% 和 169.6%。囊果碱蓬、盐爪爪、钠猪毛菜和刚毛柺柳根际中的 Na^+ 含量较土体增加了

212.9%、148.0%、111.8% 和 130.8%。由表 2 可知,除钠猪毛菜外,其余的稀盐盐生植物和泌盐盐生植物根际土中的 $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ 比值显著低于土体的, $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ 比值的降低表明在这些植物根际 Cl^- 的富集程度较 SO_4^{2-} 高;拒盐盐生植物芦苇根际 SO_4^{2-} 的富集程度较 Cl^- 高。6 种植物根际土中的 Na^+ / K^+ 、 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$ 的比值均较土体有显著增加。芦苇为典型的拒盐盐生植物,其根际土的 Na^+ / K^+ 、 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$ 相对实验中的其他盐生植物均增加最小。

表 2 不同类型荒漠盐生植物根际土壤盐分组成

	$\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$		Na^+ / K^+		$\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$		$\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$		
	荒漠盐土	棉田土壤	荒漠盐土	棉田土壤	荒漠盐土	棉田土壤	荒漠盐土	棉田土壤	
土体(非根际土)	9.55 a	6.54 a	17.70 d	3.19 e	1.78 d	0.74 ab	13.74 d	2.61 c	
根际土	囊果碱蓬	5.74 c	6.26 a	27.84 b	7.93 a	3.79 a	0.72 bc	25.31 a	4.44 a
	盐爪爪	6.53 bc	6.73 a	22.70 c	5.75 c	3.04 b	0.63 d	19.62 b	3.67 b
	钠猪毛菜	6.23 bc	6.65 a	34.40 a	6.73 b	3.56 a	0.58 e	19.96 b	3.60 b
	刚毛柺柳	7.65 b	6.60 a	22.45 c	4.48 d	2.83 b	0.64 cd	20.79 b	3.69 b
	琵琶柴	7.31 b	6.16 a	19.41 cd	5.58 c	2.44 c	0.81 a	16.36 c	4.68 a
	芦苇	10.49 a	6.68 a	19.62 cd	5.99 c	2.31 c	0.77 ab	16.52 c	3.88 b

注:表中 $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ 、 Na^+ / K^+ 、 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$ 表示样品中不同离子含量的比值。表中小写字母表示各种指标在不同盐生植物之间差异显著性的检验结果(SSR法), $p < 0.05$

在棉田土壤中,6 种植物的 $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ 比值在土体与根际中差异均不显著,说明在盐分含量很低的土壤中,土体中的 SO_4^{2-} 和 Cl^- 与根际土壤中的富集量相当;根际中的 Na^+ / K^+ 和 $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$ 均显著高于土体,说明 Na^+ 在根际的富集量高于 K^+ 和 Mg^{2+} ;

在根际土中,对于 $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$,囊果碱蓬、琵琶柴和芦苇中差异不显著,但在盐爪爪、钠猪毛菜和刚毛柺柳较土体显著降低。

2.3 植物体中的盐分状况

从图 2 可以看出,在荒漠盐土中,除 Ca^{2+} 外,6

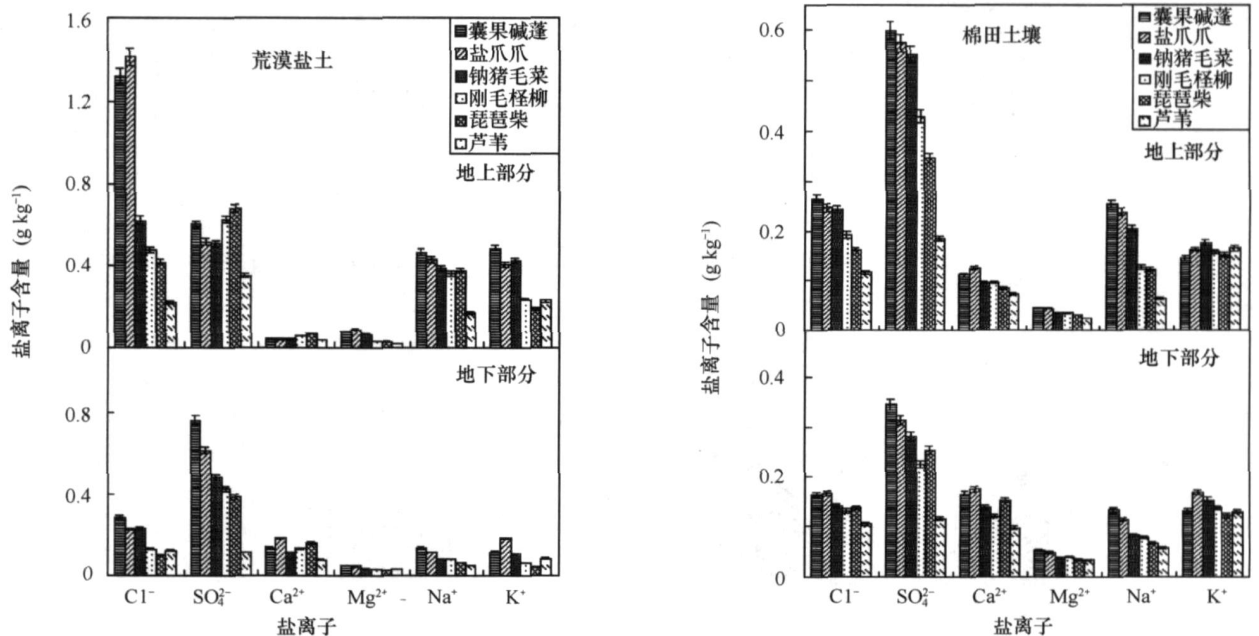


图 2 不同土壤条件下 6 种荒漠盐生植物体中主要盐离子的含量

种植物的地上部分的主要盐离子含量较地下部分高,特别是 Cl^- 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 K^+ ,而 3 种稀盐盐生植物地上部分较地下部分的增加量较其他两种类型的盐生植物均高,拒盐盐生植物的增加量最小,这可能与其各自的生理类型有关。结合图 1 和图 2,可以看出,在根际富集程度最高的 Cl^- 和 Na^+ ,植株的地上部分较地下部分增加的量也最高,尤其对于稀盐盐生植物和泌盐盐生植物。不同离子在地下部分的含量比较均匀,但在地上部分却差异很大,尤其对于稀盐盐生植物。在棉田土壤中种植的盐生植物,植物体中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 和 K^+ 的含量在地上部分也较地下部分高,但地上部分与地下部分盐离子含量的差异没有盐土中种植的植物大。比较两种不同土壤中生长的盐生植物的地上部分,可以发现,它们盐离子的含量相差很大,差别超过 1 倍,而它们的地下部分各种盐离子的含量却相差不大,这说明荒漠盐生植物在盐含量越高的土壤中其地上部分的盐含量也越高。

3 讨 论

一些以非盐生植物为材料进行的研究表明,植物根际有盐分积聚现象^[8~10]。与以往的非盐生植物根际土壤的盐分特征比较,荒漠盐生植物根际盐分表现出类似的特征,在盐土和非盐土上,主要盐离子在根际内都有富集。由本试验结果可以推测,在盐含量越高的土壤中荒漠盐生植物根际盐分富集的程度也越高。

通过对本研究得出的几种盐生植物根际盐分特征与以往的这些植物耐盐性的研究成果^[5,11]比较发现,耐盐能力越强的盐生植物,其根际具有更大程度的盐分富集,在盐土和非盐土中均有相同的表现。在本研究的几种荒漠盐生植物中,囊果碱蓬和盐爪爪具有最高的耐盐能力,而根际也具有最高的盐浓度,芦苇的耐盐性最小,其根际的盐分浓度也最低。根际盐分的富集程度与耐盐能力正相关,这也与非盐生植物类似。从形态学、生态学和生理学上对比,盐生植物和非盐生植物在许多指标上只是量的差异,而没有质的不同^[12],在根际上的研究也体现了这一点。

比较几种不同类型盐生植物的根际盐分特征,它们具有很多相似之处,特别是稀盐盐生植物和泌盐盐生植物,这反映了不同类型的盐生植物虽然其生理上适应盐渍土壤环境的方式不同,但其根际具有趋同适应的特征。芦苇根际的盐分特征与所研究的其他盐生植物有显著的差异,与许多非盐生植物的根际特征类似,这些均说明拒盐盐生植物与非盐

生植物更为接近。

已有研究表明,在逆境下植物能够感应外界胁迫,并能通过自身的调节系统,使之在生理和形态上发生适应性反应,以增强在胁迫条件下的生存机会^[13],根际土壤的特征是其重要表现之一^[14]。从植物-根际-土体这一系统来看,荒漠盐生植物根际对盐分的富集,在植物吸收盐分中起到了一个“盐泵”的作用,这可能是干旱荒漠区盐生植物适应干旱、贫瘠的荒漠土壤环境的有效方式之一,这方面可能对于荒漠盐生植物的耐盐耐旱机制至关重要,也与土壤调控密切相关。盐生荒漠中的“盐分岛”已经被认识^[5,15],而产生这种现象的原因是多方面的,从本研究结果可以看出,盐生植物根际的作用是其重要的因素之一,其机理有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 张丙乾. 新疆土壤盐碱化及其防治. 干旱区研究, 1993, 10(1): 66~71
- [2] 周三, 韩军丽, 赵可夫. 泌盐盐生植物研究进展. 应用与环境生物学报, 2001, 7(5): 496~501
- [3] Breckle S W. How do halophytes overcome salinity? In: Khan M A, Ungar I A. eds. Biology of Salt Tolerant Plants. Book Crafters, Michigan, USA, 1995. 199~213
- [4] 陆雅海, 张福锁. 根际微生物研究进展. 土壤, 2006, 38(2): 113~121
- [5] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理. 北京: 科学出版社, 2005. 72
- [6] McGrath S P, Shen Z G, Zhao F J. Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plume and soil*, 1997, 188: 153~159
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000
- [8] 沈其荣, 王建林. 两种不同耐盐大麦根际中离子的分布特征. 土壤学报, 1993, 30(4): 366~373
- [9] 丁应祥. 滨海土壤上杨树根际微区性状的研究. 南京林业大学学报(自然科学版), 1996, 20(2): 15~19
- [10] Riley D, Barber S A. Salt accumulation at the soybean *Glycine max* (L) Merrill root-soil interface. *Soil Science Society of America Journal*, 1970, 34: 154~155
- [11] 孙黎, 刘士辉, 师向东, 等. 10 种藜科盐生植物的抗盐生理生化特征. 干旱区研究, 2006, 23(2): 309~313
- [12] Munns R, Greenway H, Kirst G O. Halotolerant eukaryotes. In: Lange O, et al. eds. *Physiological Plant Ecology*. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 50~53
- [13] 冯锋, 张福锁, 杨新泉. 植物营养研究—进展与展望. 北京: 中国农业大学出版社, 2000. 12~21
- [14] Ma J, Cahoon T S, Nielsen N E. Phosphorus uptake from rhizosphere soil by two wheat cultivars. *Pedosphere*, 1998, 8(4): 325~330
- [15] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2295~2300