

# 民勤绿洲盐生草生境土壤盐分特征及离子组成

张鸣<sup>1,2</sup>, 张力<sup>1,2</sup>, 石晓妮<sup>1,2</sup>, 叶鹤琳<sup>1,2</sup>, 李雪<sup>1,2</sup>, 高天鹏<sup>1,3</sup>

(1. 兰州城市学院 化学与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 城市环境污染控制高校省级重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 兰州城市学院 城市生态与环境生物技术中心, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 对民勤绿洲盐生草周围不同距离范围内的总体盐分状况、盐分离子组成及离子之间的相关性进行了研究。结果表明, 盐生草具有一定的聚盐作用, 在其周围形成了一定的“盐岛”效应。在距盐生草 0—60 cm 范围内, 土壤剖面中的土壤盐渍化程度随土层的加深而加重, 土壤阴离子主要有  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子主要有  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙, 其次是氯化镁和硫酸镁。其中在盐生草周围 0—40 cm 范围内, 垂直剖面 0—20 cm 土层土壤全盐含量为 0.98~1.52 g/kg, 属于非盐渍化土壤, 20—40 cm 土层土壤全盐含量达到了 2.25~2.30 g/kg, 属于轻度盐渍化土壤, 40—60 cm 土层土壤全盐含量达到了 3.10~3.16 g/kg, 属中度盐渍化; 在距盐生草 60 cm 处, 垂直剖面 0—40 cm 土层土壤全盐含量为 0.83~1.86 g/kg, 属非盐渍化, 40—60 cm 土层土壤全盐含量达到了 2.43 g/kg, 属轻度盐渍化。除  $\text{HCO}_3^-$  外, 土壤盐分含量与各盐分离子之间均呈极显著正相关。

**关键词:** 盐生草; 民勤绿洲; 土壤; 盐分离子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0231-05

中图分类号: S156.4

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.048

## Characteristics of Soil Salinity and Ion Composition in Habitat Soil of *Halogeton Glomeratus* in Minqin Oasis

ZHANG Ming<sup>1,2</sup>, ZHANG Li<sup>1,2</sup>, SHI Xiao-ni<sup>1,2</sup>, YE He-lin<sup>1,2</sup>, LI Xue<sup>1,2</sup>, GAO Tian-peng<sup>1,3</sup>

(1. School of Chemistry and Environmental Science, Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Provincial Key Laboratory of Gansu Higher Education for City Environmental Pollution Control, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. Centre of Urban Ecology and Environmental Biotechnology, Lanzhou City University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Soil total salt, salt ions composition and correlations of different salt ions in habitat of *Halogeton glomeratus* in Minqin Oasis were studied. Results showed that *H. glomeratus* can accumulate salts and formed a certain salt island around its habitat. In the horizontal direction 0—60 cm away from *H. glomeratus*, the soil salinization degree aggravated with soil depth increases in 0—60 cm on the soil profile, among which anions were mainly  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$  and cations were  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$ . The main soil salinity were sodium chloride, calcium chloride, sodium sulfate and calcium sulfate, followed by magnesium chloride and magnesium sulfate. In 0—40 cm distance away from plant, the total salinity contents of the 0—20 cm soil layer on the soil profile were 0.98~1.52 g/kg and belonged to non-salinization soil, while that of the 20—40 cm and 40—60 cm soil layers were 2.25~2.30 g/kg and 3.10~3.16 g/kg, which belonged to light salinization soil and medium salinization soil, respectively. Furthermore, in the horizontal direction 60 cm distance away from the *H. glomeratus*, the total salinity content of 0—40 cm and 40—60 cm soil layers on the soil profile were 0.83~1.86 g/kg and 2.43 g/kg, which belonged to non-salinization and light salinization. There were extremely significantly positive correlations between soil salt content and ions contents except the content of  $\text{HCO}_3^-$ .

**Keywords:** *Halogeton glomeratus*; Minqin Oasis; soil; salt ions

干旱、半干旱地区发育了广阔的盐渍化土壤, 成为当地土地资源可持续开发利用的限制性因素之

一<sup>[1-3]</sup>。为应对日趋严重的荒漠化、盐渍化, 恢复受损生态系统, 近年来, 国内外学者<sup>[4-8]</sup>对荒漠旱生、盐生

收稿日期: 2014-01-10

修回日期: 2014-01-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“石羊河下游(民勤)典型荒漠植物适应逆境胁迫的调控机制研究”(31160118); 兰州城市学院教学研究项目(2012-JY-40)

作者简介: 张鸣(1979—), 女(汉族), 甘肃省临洮县人, 硕士, 讲师, 主要从事环境科学方面的教学与科研工作。E-mail: zhangmingl@163.com。

植物开展了大量研究。但研究对象相对集中于建群种、优势种和特有种的灌木或半灌木,而对草本植物的研究相对较少<sup>[9]</sup>。盐生草作为一种广泛分布于西北内陆荒漠或半荒漠地区的天然盐生植物<sup>[10]</sup>,对其的研究报道主要集中在种子特征<sup>[11]</sup>和种子萌发<sup>[12-13]</sup>方面。由于不同地区的生物组成、气候特点和成土母质不同,致使土壤盐渍化成因存在差异,进而土壤总体盐分状况、盐分离子组成及离子之间的相关性不同<sup>[14]</sup>,而相关研究却鲜见报道。民勤绿洲作为全球环境变化的敏感区,近年来,绿洲荒漠化面积不断增加,植被衰退和土壤盐渍化等问题日益突出,研究当地荒漠植物对土壤盐分特征及离子组成的影响,对该区乃至西北内陆荒漠或半荒漠地区的生态恢复及土地资源可持续开发利用意义重大。为此,本研究以民勤绿洲为研究区域,以广泛分布于民勤绿洲的盐生植物盐生草为研究对象,对其周围不同距离范围内的总体盐分状况、盐分离子组成及离子之间的相关性进行研究,旨在为民勤绿洲乃至西北内陆盐渍化土壤生态修复中提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

民勤绿洲位于河西走廊石羊河流域下游,地处腾格里沙漠西缘,南部为红崖山和阿古拉山,东北与巴丹吉林沙漠接壤,三面被沙漠和戈壁包围,地理位置为北纬  $38^{\circ}05' - 39^{\circ}26'$ ,东经  $101^{\circ}59' - 104^{\circ}12'$ ,海拔  $1\ 180 \sim 1\ 500\ \text{m}$ ,总面积  $1.6 \times 10^8\ \text{km}^2$ ,其中绿洲面积约占 9%。属于典型的温带大陆性荒漠气候,气候干旱,平均降水量  $113\ \text{mm}$ ,年均蒸发量  $2\ 625\ \text{mm}$ ,年均气温  $8.3\ ^{\circ}\text{C}$ ,年均扬沙日数  $59\ \text{d}$ ,年均沙尘暴日数  $27\ \text{d}$ ,气候环境十分恶劣。地貌类型为平原、沙漠和低山丘陵,土壤类型包括风沙土、灰棕漠土、草甸土和草甸沼泽土,灰棕漠土和草甸土等经过长期灌溉、淋溶以及耕作、施肥等人为作用,形成了以绿洲灌漠土为主的特殊非地带性土壤。

### 1.2 采样区布设与样品采集

供试土壤于 2012 年 10 月中旬采集于甘肃省民勤治沙综合试验站的沙生植物园内,供试植物选取该区具有代表性的沙生植物盐生草(*Halogeton glomeratus*),它为典型的荒漠盐生植物,是苋科(Amaranthaceae)盐生草属(*Halogeton*)一年生草本植物,别名蛛丝蓬、灰蓬、水蓬、蓬蒿等。取样点地理坐标为北纬  $38^{\circ}59'47''$ ,东经  $102^{\circ}57'38''$ ,海拔  $1\ 368.80\ \text{m}$ 。采样时在盐生草分布相对均匀的样地上随机划分 3 个  $10\ \text{m} \times 10\ \text{m}$  的样方,每个样方中随机选取长势和大

小相对一致 3 株盐生草为研究对象,以植株为圆心,以 20、40 和 60 cm 为半径,分别利用多点取样法采集距离植株 20、40 和 60 cm 处的土样,采样剖面深度划分为 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 和 40—60 cm 共 4 个层次。土样自然风干后剔出植物根系及石砾等杂物,磨碎,过 1 mm 筛,放于干燥的密封袋中备用。

### 1.3 土壤盐分测定方法

取上述风干处理样,按水土比 5 : 1 制备待测液,参照《土壤农化分析》<sup>[15]</sup>进行土壤  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  测定,其中  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  采用火焰光度计法测定; $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  采用 EDTA 络合滴定法测定; $\text{Cl}^-$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定, $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 间接滴定法测定, $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂滴定法测定,其中  $\text{CO}_3^{2-}$  未检出。土壤全盐含量为各盐分离子量之和。试验数据采用 Excel 和 DPS 3.01 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐生草生境土壤盐渍化程度

在距盐生草 0—60 cm 范围内,0—60 cm 土层剖面中的全盐含量随土层的加深而递增(图 1),说明在盐生草周围,随着土层的加深,土壤盐渍化程度有所加重。这是因为研究区域的水分来源主要是地下水,地表水几乎为零,而采样区域的表层土壤为沙质土,缺乏有机质,难以形成团粒结构,土壤孔隙较大,缺乏毛管孔以保存水分,内部排水快,蓄水少,而蒸发失水强烈,水汽由大孔隙扩散至表层而损失,进而使得表层盐分容易缺失所致。同时研究结果表明,距离盐生草 0—40 cm 范围内的全盐含量要高于距离盐生草 60 cm 处(图 1),说明盐生草具有一定的聚盐作用,形成了一定的“盐岛”效应,这是因为盐生草的根系需要尽可能地吸收土壤水分来弥补蒸腾过程中水分的散失,从而使得大量盐分随土壤水分运动到了根系周围。其中在 0—20 cm 土层中,距离盐生草 40 cm 处的全盐含量要高于距离盐生草 20 cm 处,而在 20—60 cm 土层中正好相反(图 1),这是因为盐生草的根系主要分布于 20 cm 土层以下,从而导致 20 cm 土层以下的土壤水盐移动相对表层剧烈,同时由于表层土壤为沙质土,水盐水平方向的移动相对较小所致。同时根据半荒漠境及荒漠境区土壤盐化分级指标<sup>[16]</sup>,在盐生草周围 0—40 cm 范围内,垂直剖面 0—20 cm 土层土壤全盐含量为  $0.98 \sim 1.52\ \text{g/kg}$ ,属于非盐渍化土壤,20—40 cm 土层土壤全盐含量为  $2.25 \sim 2.30\ \text{g/kg}$ ,属于轻度盐渍化土壤,40—60 cm 土层土壤全盐含量为  $3.10 \sim 3.16\ \text{g/kg}$ ,属中度盐渍化;在距盐生草

60 cm处,垂直剖面 0—40 cm 土层土壤全盐含量为 0.83~1.86 g/kg,属非盐渍化,40—60 cm 土层土壤全盐含量为 2.43 g/kg,属轻度盐渍化(图 1)。

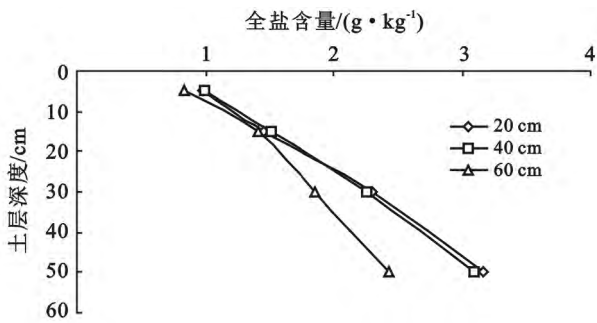


图 1 盐生草生境土壤盐渍化程度

### 2.2 盐生草生境土壤盐分组成

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<sup>[17]</sup>。Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>在剖面上层(0—20 cm)距离盐生草越近,比值越小,而在下层(60 cm),距离盐生草越近比值越大。Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>

在垂直方向上,上下层高,中层低,在水平方向上,距盐生草 40 cm 处最低,而 20 和 60 cm 处的比值在垂直方向上交替变化,基本呈上层 60 cm 处高于 20 cm 处,下层 20 cm 处高于 60 cm 处。Na<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup>在垂直方向上同样呈现出上下层高,中层低的变化趋势,而在水平方向上没有明显变化趋势。Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在垂直剖面上,随土层的加深而递增,而在水平方向上,Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在上层距离盐生草越近,比值越高,而在下层,60 cm 处最高,40 cm 处最低,20 cm 处居中(图 2)。Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup> 和 Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>在盐生草周围不同区域内的变化差异主要是因为根系对离子的选择吸收和吸收速率不同造成的,土壤溶液中的盐分通过质流到达根表,当离子迁移至根表的速率慢于根系吸收的速率时表现为离子亏缺,而当离子向根表迁移的速率快于根系的吸收速率时则表现为离子富集。同时也说明盐生草在吸收养分和离子时,Na<sup>+</sup>和 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 之间处于竞争状态,根系土壤中 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的聚集,将有助于减少对 Na<sup>+</sup> 的吸收。

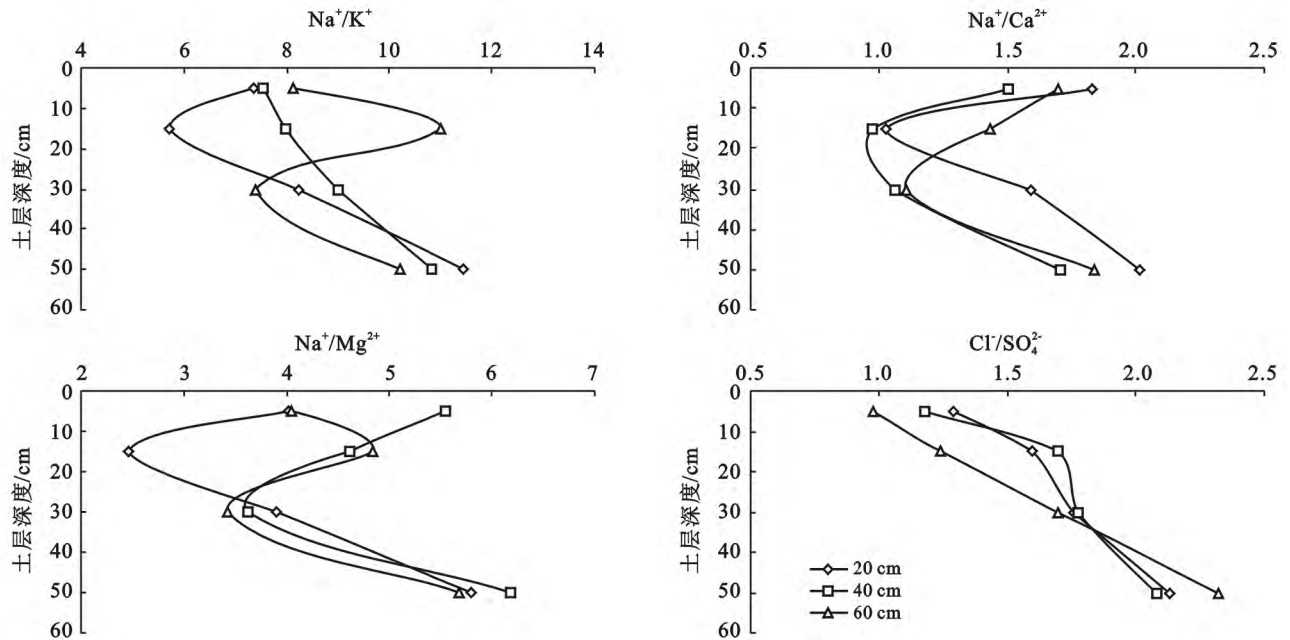


图 2 盐生草生境土壤盐分组成

### 2.3 土壤中水溶性盐分离子之间的相关性分析

2.3.1 盐生草水平方向 20 cm 处各盐分离子的相关矩阵 从盐生草水平方向 20 cm 处各盐分离子的相关矩阵(表 1)可以看出,土壤全盐含量与 Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup> 呈极显著正相关,但是相关性未达到显著水平,其中与其相关性最高的阴阳离子分别为 Cl<sup>-</sup> 和 Na<sup>+</sup>, 其次是 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup>。Cl<sup>-</sup> 除与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 呈极显著负相关外,与其它离子均呈极显著正相关,其中与其相关性最高的阳离子为 Ca<sup>2+</sup>, 相关系数

为 0.916 6, 其次为 Na<sup>+</sup>, 相关系数为 0.916 1; Na<sup>+</sup> 除与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 呈负相关外,与其它离子均呈极显著正相关,其中与其相关性最高的阴离子为 Cl<sup>-</sup>, 相关系数为 0.916 1, 其次为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 相关系数为 0.848 5; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 除与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 呈极显著负相关外,与其它离子均呈极显著正相关,其中与其相关性最高的阳离子为 Mg<sup>2+</sup>, 相关系数为 0.945 6, 其次为 Ca<sup>2+</sup>, 相关系数为 0.928 5; Ca<sup>2+</sup> 除与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 呈负相关外,与其它离子均呈极显著正相关,其中与其相关性最高的阴离子为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,

相关系数为 0.928 5, 其次为  $\text{Cl}^-$ , 相关系数为 0.916 6。可见, 距盐生草水平方向 20 cm 区域内, 土壤阴离子主要为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子主要为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 而

$\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  主要与  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  相伴出现, 说明土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙, 其次是氯化镁和硫酸镁。

表 1 盐生草水平方向 20 cm 处各盐分离子的相关矩阵

项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$	1						
$\text{Cl}^-$	-0.533 8**	1					
$\text{SO}_4^{2-}$	-0.532 5**	0.970 8**	1				
$\text{Ca}^{2+}$	-0.269 8	0.916 6**	0.928 5**	1			
$\text{Mg}^{2+}$	-0.323 7	0.913 0**	0.945 6**	0.968 9**	1		
$\text{K}^+$	0.085 2	0.714 0**	0.730 2**	0.881 8**	0.872 5**	1	
$\text{Na}^+$	-0.240 4	0.916 1**	0.848 5**	0.890 0**	0.833 6**	0.742 8**	1
全盐	-0.308 9	0.962 4**	0.937 4**	0.968 9**	0.938 8**	0.828 9**	0.969 0**

注: \* 表示  $p < 0.05$  时的显著性水平; \*\* 表示  $p < 0.01$  时的显著水平。下同。

2.3.2 盐生草水平方向 40 cm 处各盐分离子的相关矩阵 从盐生草水平方向 40 cm 处各盐分离子的相关矩阵(表 2)可以看出, 土壤全盐含量同样与  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$  呈极显著正相关, 而与  $\text{HCO}_3^-$  呈负相关, 但是相关性未达到显著水平, 其中与其相关性最高的阴阳离子分别为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 其次是  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Na}^+$ 。 $\text{Cl}^-$  除与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关, 与其相关性最高的阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ , 相关系数为 0.974 4, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ , 相关系数为 0.921 0;  $\text{SO}_4^{2-}$  除与  $\text{HCO}_3^-$  呈显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阳离子为

$\text{Ca}^{2+}$ , 相关系数为 0.974 9, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ , 相关系数为 0.933 5;  $\text{Na}^+$  除与  $\text{HCO}_3^-$  呈负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阴离子为  $\text{Cl}^-$ , 相关系数为 0.874 5, 其次为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 相关系数为 0.818 3;  $\text{Ca}^{2+}$  除与  $\text{HCO}_3^-$  呈显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阴离子为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 相关系数为 0.974 9, 其次为  $\text{Cl}^-$ , 相关系数为 0.974 4。可见, 距盐生草水平方向 40 cm 区域内, 土壤阴离子主要为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子主要为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 而  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  主要与  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  相伴出现, 说明土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙, 其次是氯化镁和硫酸镁。

表 2 盐生草水平方向 40 cm 处各盐分离子的相关矩阵

项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$	1.000 0						
$\text{Cl}^-$	-0.449 0**	1.000 0					
$\text{SO}_4^{2-}$	-0.413 1*	0.980 7**	1.000 0				
$\text{Ca}^{2+}$	-0.338 4*	0.974 4**	0.974 9**	1.000 0			
$\text{Mg}^{2+}$	-0.133 5	0.921 0**	0.933 5**	0.939 3**	1.000 0		
$\text{K}^+$	0.242 5	0.704 0**	0.696 5**	0.764 0**	0.823 9**	1.000 0	
$\text{Na}^+$	-0.154 7	0.874 5**	0.818 3**	0.849 5**	0.871 5**	0.806 2**	1.000 0
全盐	-0.246 2	0.965 6**	0.942 6**	0.962 1**	0.954 9**	0.825 7**	0.957 5**

2.3.3 盐生草水平方向 60 cm 处各盐分离子的相关矩阵 从盐生草水平方向 60 cm 处各盐分离子的相关矩阵(表 3)可以看出, 土壤全盐含量与  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$  呈极显著正相关, 与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关, 其中与其相关性最高的阴阳离子分别为  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 其次是  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Na}^+$ 。 $\text{Cl}^-$  除与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ , 相关

系数为 0.949 3, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ , 相关系数为 0.873 6;  $\text{SO}_4^{2-}$  同样除与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ , 相关系数为 0.942 6, 其次为  $\text{Mg}^{2+}$ , 相关系数为 0.818 3;  $\text{Na}^+$  同样除与  $\text{HCO}_3^-$  呈极显著负相关外, 与其它离子均呈极显著正相关, 其中与其相关性最高的阴离子为  $\text{Cl}^-$ , 相关系数为 0.858 4, 其次为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 相关系数为 0.686 5。 $\text{Ca}^{2+}$  同样除与  $\text{HCO}_3^-$

呈极显著负相关外,与其它离子均呈极显著正相关,其中与其相关性最高的阴离子为  $\text{Cl}^-$ , 相关系数为 0.949 3, 其次为  $\text{SO}_4^{2-}$ , 相关系数为 0.942 6。可见, 距盐生草水平方向 60 cm 区域内, 土壤阴离子主要为

$\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子主要为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 而  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  主要与  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  相伴出现, 说明土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙, 其次是氯化镁和硫酸镁。

表3 盐生草水平方向 60 cm 处各盐分离子的相关矩阵

项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$	1.000 0						
$\text{Cl}^-$	-0.663 2**	1.000 0					
$\text{SO}_4^{2-}$	-0.753 2**	0.926 5**	1.000 0				
$\text{Ca}^{2+}$	-0.588 1**	0.949 3**	0.942 6**	1.000 0			
$\text{Mg}^{2+}$	-0.330 7*	0.873 6**	0.818 3**	0.938 7**	1.000 0		
$\text{K}^+$	-0.145 1	0.721 0**	0.666 3**	0.835 1**	0.892 1**	1.000 0	
$\text{Na}^+$	-0.454 9**	0.858 4**	0.686 5**	0.839 4**	0.820 3**	0.798 8**	1.000 0
全盐	-0.553 6**	0.959 8**	0.879 1**	0.971 8**	0.931 6**	0.855 3**	0.939 9**

### 3 结论

(1) 在距盐生草 0—60 cm 范围内, 0—60 cm 土层剖面中的土壤盐渍化程度随土层的加深而加重, 其中在 0—20 cm 土层中, 距离盐生草 40 cm 处的全盐含量要高于距离盐生草 20 cm 处, 在 20—60 cm 土层中正好相反。而在水平方向上盐生草具有一定的聚盐作用, 形成了一定的“盐岛”效应。

(2) 在盐生草周围 0—40 cm 范围内, 垂直剖面 0—20 cm 土层土壤全盐含量为 0.98~1.52 g/kg, 属于非盐渍化土壤, 20—40 cm 土层土壤全盐含量达到了 2.25~2.30 g/kg, 属于轻度盐渍化土壤, 40—60 cm 土层土壤全盐含量达到了 3.10~3.16 g/kg, 属中度盐渍化; 在盐生草 60 cm 处, 垂直剖面 0—40 cm 土层土壤全盐含量为 0.83~1.86 g/kg, 属非盐渍化, 40—60 cm 土层土壤全盐含量达到了 2.43 g/kg, 属轻度盐渍化。

(3) 在盐生草水平方向 0—60 cm 范围内, 除  $\text{HCO}_3^-$  外, 土壤盐分含量与各盐分离子之间均呈极显著正相关。土壤盐渍化阴离子主要是  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 阳离子主要是  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$ , 土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙, 其次是氯化镁和硫酸镁。

#### [ 参 考 文 献 ]

- Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. *Biotechnology Advances*, 2009, 27(1): 84-93.
- 李朝生, 杨晓晖, 于春堂, 等. 放牧对黄河低阶地盐化草场土壤水盐空间异质性的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(7): 2402-2408.
- LI Fahu, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation; A laboratory study[J]. *Pedosphere*, 2009, 19(4): 465-475.
- 彭飞, 黄翠华, 尤全刚, 等. 种植黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*) 对盐渍土盐分分布的影响[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(5): 1406-1412.
- 王海江, 王开勇, 刘玉国, 等. 膜下滴灌棉田不同土层盐分变化及其对棉花生长的影响[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(10): 2381-2385.
- 王志才, 牙库甫江·阿西木, 王艳, 等. 水盐胁迫对花柴种子萌发的影响[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(3): 750-755.
- 卢鑫萍, 杜茜, 闫永利, 等. 盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(13): 4071-4078.
- 王海珍, 韩路, 贾文锁. 胡杨 (*Populus euphraticu*) 与灰胡杨 (*Populus pruinosa*) 种子萌发对不同盐类胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(3): 743-750.
- 贺海波, 李彦. 干旱、盐胁迫条件下两种盐生植物生物量分配对策的研究[J]. *干旱区研究*, 2008, 25(2): 242-247.
- 王文. 白茎盐生草在西北盐碱地区生物治理中的作用[J]. *青海草业*, 2011, 20(1): 10-14, 4.
- 张德魁, 马全林, 刘有军, 等. 石羊河流域沙地 6 种一年生植物的种子特征[J]. *种子*, 2011, 30(1): 70-74.
- 布海丽且姆·阿卜杜热合曼, 严成, 魏岩. 盐生草种子萌发的耐盐性及幼苗的耐干燥特性研究[J]. *新疆农业大学学报*, 2011, 34(5): 387-392.
- 刘有军, 纪永福, 马全林, 等. 温度和光照对 3 种一年生植物种子萌发的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(4): 810-814.
- 付秋萍, 张江辉, 王全九, 等. 塔里木盆地土壤盐分变化特征分析[J]. *自然科学进展*, 2007, 17(8): 1091-1097.
- 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 中国农业出版社, 2000.
- 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 等. 中国盐渍土[M]. 科学出版社, 1993.
- 弋良朋, 马健, 李彦. 不同土壤条件下荒漠盐生植物根际盐分特征研究[J]. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1139-1143.