

民勤绿洲盐生草生境土壤盐分空间分布特征^①

张 鸣^{1,2}, 高天鹏^{1,3}, 朱彦荣^{1,2}, 杨彩玲^{1,2}, 霍彩霞^{1,2}

(1 兰州城市学院化学与环境科学学院, 兰州 730070; 2 城市环境污染控制高校省级重点实验室, 兰州 730070;

3 兰州城市学院城市生态与环境生物技术中心, 兰州 730070)

摘 要:通过对民勤绿洲盐生草生境土壤盐分空间分布特征进行研究, 旨在其在民勤绿洲乃至全国盐碱地生物修复中的应用提供理论依据。结果表明, 在距盐生草水平方向 0 ~ 60 cm 范围内, 阴离子主要是 SO_4^{2-} 和 Cl^- , 阳离子主要是 Na^+ 和 Ca^{2+} , 土壤盐分主要是硫酸钠、硫酸钙、氯化钠和氯化钙。其中 0 ~ 40 cm 土层土壤属于氯化物-硫酸盐型, 40 ~ 60 cm 土层土壤属于硫酸盐-氯化物型。土壤 pH 在垂直剖面上随土层深度的增加而降低, 在水平方向上, 40 cm 处低于 20 cm 和 60 cm 处, 其中在土壤垂直剖面 0 ~ 20 cm 范围内, 20 cm 处高于 60 cm 处; 而土壤垂直剖面 20 ~ 60 cm 范围内正好相反。土壤盐渍化程度在垂直方向上随土层的加深而加重, 其中在距盐生草水平方向 0 ~ 40 cm 范围内, 垂直剖面 0 ~ 20 cm 土层土壤非盐渍化, 20 ~ 40 cm 土层土壤轻度盐渍化, 40 ~ 60 cm 土层土壤中度盐渍化; 在距盐生草水平方向 40 ~ 60 cm 范围内, 垂直剖面 0 ~ 40 cm 土层土壤非盐渍化, 40 ~ 60 cm 土层土壤轻度盐渍化。在水平方向上, 盐生草具有一定的聚盐效果。

关键词:盐生草; 民勤绿洲; 土壤盐分

中图分类号: S156.4

我国是世界盐渍土分布最多的国家, 长期以来, 土壤盐渍化严重影响和制约着我国生态环境和农业的可持续发展^[1-3]。甘肃作为我国盐渍化土壤分布最广、土壤积盐最严重的地区之一, 目前受盐渍化影响的土壤面积已接近 $3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 约占全国盐渍土面积的 8.2%, 约占全省总耕地面积的 87.2%^[4], 其中河西走廊每年因土壤盐渍化而损失的粮食多达 $2 \times 10^8 \text{ kg}$ ^[5]。而民勤绿洲处于全国荒漠化监测与防治的最前沿, 是阻隔巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠合拢的“绿色楔子”, 也是西部风沙线上的一座桥头堡, 其兴衰存亡不仅关系到民勤绿洲的安全, 而且关系整个河西绿洲乃至整个国家的生态安全, 无论从生态安全的角度还是从经济安全的角度都至关重要。近年来却由于水资源日益枯竭和水质不断恶化, 天然植被和人工造林迅速萎缩和逆行演替, 已是我国荒漠化和盐渍化最严重的地区之一。目前国内外关于盐渍土改良利用的研究报道很多, 而且大量研究表明, 以生物利用为核心的生态恢复技术是未来盐渍土改良修复的突破口, 它将在盐渍土开发利用、维持生态平衡方面起着重要作用^[6-7]。目前, 国内外对盐生植物的研究主

要集中在两个方面, 一者为土壤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^[8-10], 二者为盐生植物对土壤中盐分的影响, 而这一方面的研究目前主要集中在盐生植物对根际土壤的影响^[7,11], 而对盐生植物生境土壤盐分空间分布特征的研究报道鲜见。同时盐生植物是甘肃荒漠植被带最基本的植物类型^[12], 为此, 本研究以民勤绿洲较为典型的盐生植物盐生草为研究对象, 对其生境土壤盐分空间分布特征进行研究, 旨在其在民勤绿洲乃至全国盐碱地生物修复中的应用提供理论依据。

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 $38^\circ 05' \sim 39^\circ 26' \text{N}$, $101^\circ 59' \sim 104^\circ 12' \text{E}$, 海拔 1 180 ~ 1 500 m, 总面积 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 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 mm, 年均蒸发量 2 625 mm,

基金项目: 国家自然科学基金项目(31160118、30960060)和兰州城市学院教学研究项目(2012-JY-40)资助。

作者简介: 张鸣(1979—), 女, 甘肃临洮人, 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

年均气温 8.3℃，年均扬沙日数 59 天，年均沙尘暴日数 27 天，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 38°59'47"N, 102°57'38"E，海拔 1 368.80 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 m × 10 m 的样方，每个样方中随机选取长势和大小相对一致的 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，利用多点取样法分别采集距离植株 20、40 和 60 cm 处圆周上的土样，采样剖面深度划分为 0~10、10~20、20~40 和 40~60 cm 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 测定方法

取上述风干处理样，按水土比 5：1 制备待测液，Na⁺ 和 K⁺ 采用火焰光度计法测定；Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 采用 EDTA 络合滴定法测定；Cl⁻ 采用 AgNO₃ 滴定法测定，CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 采用双指示剂滴定法测定，其中 CO₃²⁻ 未检出，SO₄²⁻ 采用 EDTA 间接滴定法测定。

土壤全盐含量为各盐分离子量之和^[13]。土壤 pH 采用电位法测定^[13]。

2 结果与分析

2.1 盐生草生境土壤盐渍化类型

由表 1 可以看出，在距盐生草水平方向 0~60 cm 范围内，Cl⁻/2SO₄²⁻ 随距离的增加而减小，在 0~60 cm 垂直剖面范围内，Cl⁻/2SO₄²⁻ 随着土层的增加而增加，说明盐生草对 Cl⁻ 的富集程度要高于 SO₄²⁻。同时根据我国盐渍化土壤类型划分标准^[14]，试验区土壤剖面 0~40 cm 土层土壤属于氯化物-硫酸盐型，40~60 cm 土层土壤属于硫酸盐-氯化物型。

2.2 盐生草生境土壤盐渍化程度

由表 2 可以看出，根据半漠境及漠境区土壤盐化分级指标^[14]，在盐生草周围 0~40 cm 范围内，垂直剖面 0~20 cm 土层土壤非盐渍化，20~40 cm 土层土壤轻度盐渍化，40~60 cm 土层土壤中度盐渍化；在盐生草周围 40~60 cm 范围内，垂直剖面 0~40 cm 土层土壤非盐渍化，40~60 cm 土层土壤轻度盐渍化。

2.3 盐生草生境土壤的 pH

由图 1 可以看出，土壤 pH 在垂直剖面上，随土层深度的增加而降低；在水平方向上，距盐生草 40 cm 处要低于 20 cm 和 60 cm 处，其中在土壤垂直剖面 0~20 cm 范围内，20 cm 处高于 60 cm 处，在土壤垂直剖面 20~60 cm 范围内正好相反。出现这种现象的主要原因有以下 3 种：盐生草对无机阴阳离子的不平衡吸收引起植物分泌物组成和数量改变；植物根系和根际微生物呼吸以及土壤有机质的分解释放 CO₂，引起根际酸化^[15]；根尖细胞在伸

表 1 盐生草生境土壤盐渍化类型
Table 1 Types of soil salinization in habitat soil of *Halogeton glomeratus*

土层 (cm)	距盐生草 20 cm		距盐生草 40 cm		距盐生草 60 cm	
	Cl ⁻ /2SO ₄ ²⁻	盐渍化类型	Cl ⁻ /2SO ₄ ²⁻	盐渍化类型	Cl ⁻ /2SO ₄ ²⁻	盐渍化类型
0~10	0.65	氯化物-硫酸盐型	0.59	氯化物-硫酸盐型	0.49	氯化物-硫酸盐型
10~20	0.80	氯化物-硫酸盐型	0.85	氯化物-硫酸盐型	0.62	氯化物-硫酸盐型
20~40	0.88	氯化物-硫酸盐型	0.89	氯化物-硫酸盐型	0.85	氯化物-硫酸盐型
40~60	1.07	硫酸盐-氯化物型	1.04	硫酸盐-氯化物型	1.16	硫酸盐-氯化物型

表 2 盐生草生境土壤盐渍化程度
Table 2 Salinization degrees in habitat soil of *Halogeton glomeratus*

土层 (cm)	距盐生草 20 cm		距盐生草 40 cm		距盐生草 60 cm	
	土壤含盐量 (g/kg)	盐渍化程度	土壤含盐量 (g/kg)	盐渍化程度	土壤含盐量 (g/kg)	盐渍化程度
0~10	0.979 7	非盐渍化	0.995 0	非盐渍化	0.828 5	非盐渍化
10~20	1.459	非盐渍化	1.517	非盐渍化	1.405	非盐渍化
20~40	2.303	轻度盐渍化	2.252	轻度盐渍化	1.855	非盐渍化
40~60	3.160	中度盐渍化	3.096	中度盐渍化	2.435	轻度盐渍化

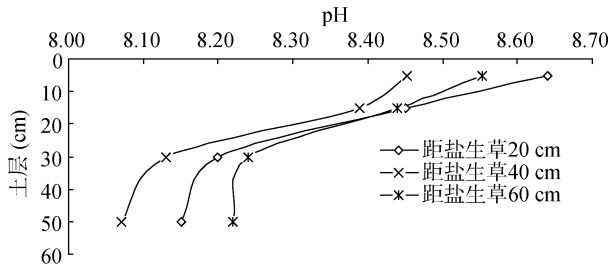


图 1 盐生草生境土壤的 pH
Fig. 1 Change of pH in habitat soil of *Halogeton glomeratus*

长过程中能分泌离子 (H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^-) 和有机酸, 而植物的生长速度以及对营养的需求量等影响了根系有机酸和离子 (H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^-) 的释放率, 进而影响土壤的 pH^[16]。

2.4 盐生草生境土壤盐分的空间分布

土壤水溶性盐类的定量化分析, 是研究土壤盐分动态变化、确定土壤盐渍化程度以及进行盐渍土改良应用的关键环节之一^[17]。由图 2 可以看出盐生草周

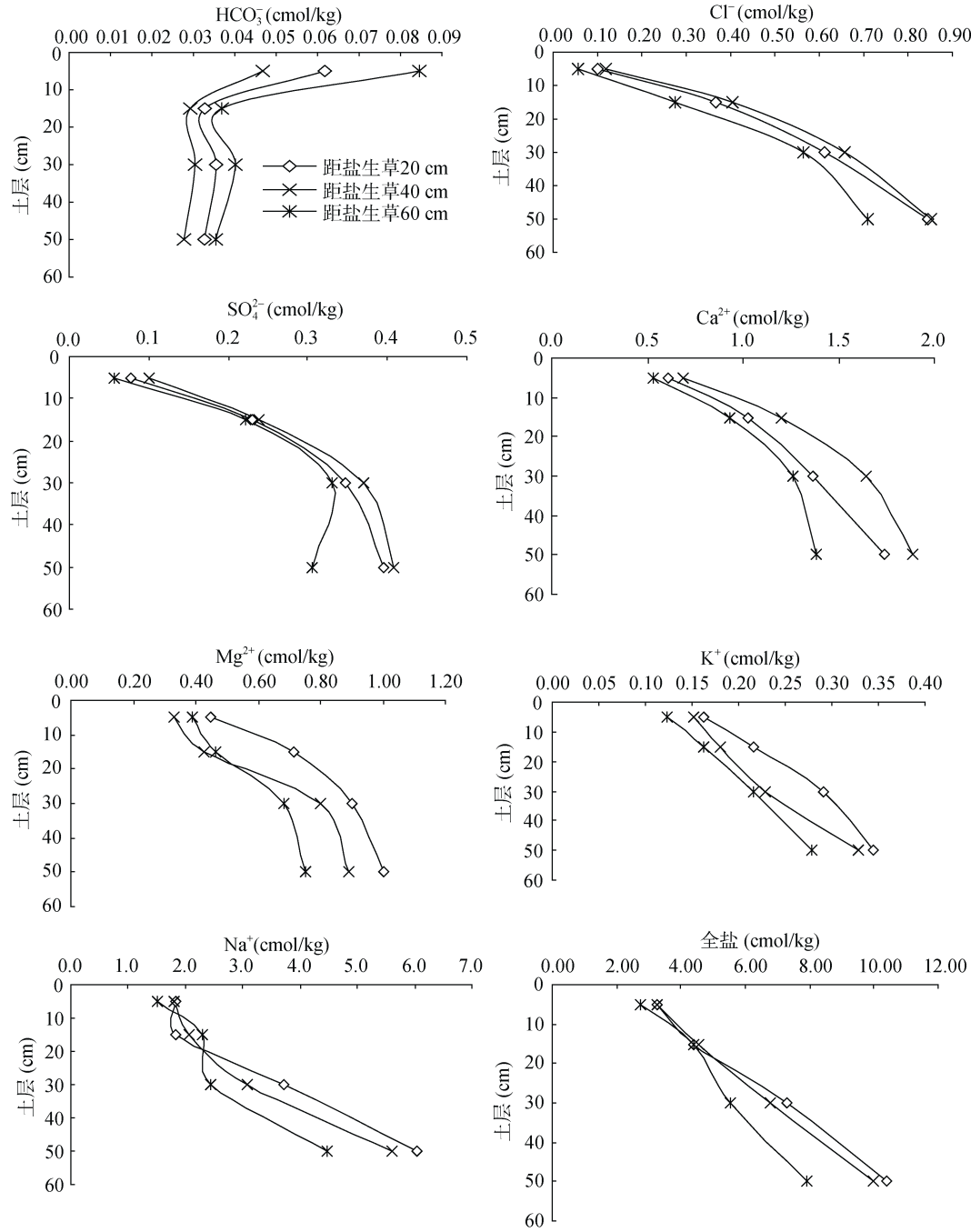


图 2 盐生草生境土壤盐分的空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of soil salinity in habitat soil of *Halogeton glomeratus*

围土壤的盐分离子组成,阴离子主要是 Cl^- , 其次为 SO_4^{2-} , 在距盐生草水平方向 20、40 和 60 cm 处, 它们分别占阴离子总量的 61.35%、61.91%、59.08% 和 33.46%、34.01%、33.67%。阳离子主要是 Na^+ , 其次为 Ca^{2+} , 在距盐生草水平方向 20、40 和 60 cm 处, 它们分别占阳离子总量的 60.30%、58.89%、59.89% 和 21.33%、25.45%、22.95%。由此可以推断该区土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙。

从盐生草生境土壤盐分的垂直剖面分布来看(图 2), 除 HCO_3^- 外, 全盐、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 含量随土层的加深而递增, 说明盐生草周围土壤盐渍化程度在垂直方向上随土层的加深而加重。这主要是由于取样区域表层土壤为砂质土, 土壤孔隙较大, 水分主要来源于地下水, 地表水几乎为零, 土壤表层缺乏有机质, 而且砂质土难以形成团粒结构, 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, 土壤难以保持团粒结构, 使得表层盐分容易缺失。从盐生草生境土壤盐分的水平分布来看, 除 HCO_3^- 外, 土壤中的全盐、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 含量随距离的增加整体呈递减趋势(60 cm 处低于 20 cm 和 40 cm 处), 说明盐生草在水平方向上有一定的聚盐效果, 这是因为土壤盐类离子迁移的载体是水, 植物生长过程中, 土壤溶液中的盐分通过质流到达根表, 受根系吸水影响, 靠近根系区域的盐分离子浓度远远高于远离根系区域, 在干旱半干旱地区这种蒸腾作用使较多的盐离子向根系迁移, 造成根系区域盐分富集^[7,18]。而 HCO_3^- 与全盐、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 含量表现出了不同的分布特征, 在盐生草根系区域以外的土壤中, HCO_3^- 与其他离子含量空间分布的不同, 主要取决于植物蒸腾作用下土壤盐分离子的迁移能力大小; 而在盐生草根系范围内, HCO_3^- 与其他离子含量空间分布的不同, 则是离子迁移和植物根系对离子选择性吸收共同作用的结果。

从不同离子的空间具体分布特征来看(图 2), 在距盐生草水平方向上, HCO_3^- 在 60 cm 处含量最高, 20 cm 处次之, 40 cm 处最低。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 均为 40 cm 处最高, 20 cm 处次之, 60 cm 处最低; K^+ 在 20 cm 处最高, 40 cm 处次之, 60 cm 处最低; Mg^{2+} 在 20 cm 处要高于 40 cm 和 60 cm 处, 其中在土壤剖面 0~20 cm 范围内, 60 cm 高于 20 cm 处, 而在土壤剖面 20~60 cm 范围内正好相反。 Na^+ 除土壤剖面 10~20 cm 范围内, 60 cm 处最高, 40 cm 处次之, 20 cm 处最低外; 土壤剖面 0~10 cm 和 20~60 cm 范围内均为 20 cm 处最高, 40 cm 处次之,

60 cm 处最低。而在垂直剖面上, 除 HCO_3^- 在 0~60 cm 土层内随土层的加深总体上呈递减趋势外, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 均随土层的加深而增加。

3 结论

(1) 在距盐生草水平方向 0~60 cm 范围内, 阴离子主要是 Cl^- 和 SO_4^{2-} , 阳离子主要是 Na^+ 和 Ca^{2+} , 土壤盐分主要是氯化钠、氯化钙、硫酸钠和硫酸钙。其中 0~40 cm 土层土壤属于氯化物-硫酸盐型, 40~60 cm 土层土壤属于硫酸盐-氯化物型。

(2) 在距盐生草水平方向 0~40 cm 范围内, 垂直剖面 0~20 cm 土层土壤非盐渍化, 20~40 cm 土层土壤轻度盐渍化, 40~60 cm 土层土壤中度盐渍化; 在盐生草周围 60 cm 处, 垂直剖面 0~40 cm 土层土壤非盐渍化, 40~60 cm 土层土壤轻度盐渍化。

(3) 在距盐生草水平方向 0~60 cm 范围内, 土壤 pH 随土层深度的加深而降低, 在水平方向上, 40 cm 处要低于 20 cm 和 60 cm 处, 其中在土壤垂直剖面 0~20 cm 范围内, 20 cm 高于 60 cm 处; 而土壤垂直剖面 20~60 cm 范围内正好相反。

(4) 在距盐生草水平方向 0~60 cm 范围内, 土壤盐渍化程度在垂直方向上随土层的加深而加重。其中除 HCO_3^- 外, 全盐、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 含量随土层的加深而递增。而在水平方向上, 盐生草具有一定的聚盐效果, 其中除 HCO_3^- 外, 土壤全盐、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 含量随距离的增加整体呈递减趋势。

参考文献:

- [1] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. Biotechnology advances, 2009, 27(1): 84-93
- [2] Li FH, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study[J]. Pedosphere, 2009, 19(4): 465-475
- [3] 杨劲松, 姚荣江, 邹平, 刘广明. 海涂区不同植被类型下土壤盐渍剖面及其电磁感应响应特征[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2 117-2 124
- [4] 郭全恩, 王益权, 郭天文, 刘军, 南丽丽. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4): 664-669
- [5] 李昂. 不同绿色覆盖模式的抑盐效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005: 6-7
- [6] 肖克飏, 吴普特, 雷金银, 班乃荣. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 31(12): 2 433-2 440

- [7] 董利苹, 曹靖, 李先婷, 代立兰, 苏怡兵. 不同耐盐植物根际土壤盐分的动态变化[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2 813–2 821
- [8] 杨景宁, 王彦荣. NaCl 胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 32–38
- [9] 李得禄, 王继和, 李爱德, 刘虎俊, 安富博. 3 种驼绒藜属植物种子萌发期耐盐性试验研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(6): 1 009–1 014
- [10] 张满效, 陈拓, 肖雯, 周吉俊, 贾恢先. 不同盐碱环境中宁夏枸杞叶生理特征和 RAPD 分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 391–396
- [11] 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): 1 139–1 143
- [12] 南丽丽, 师尚礼, 贡旭疆, 李晓芳, 厚彦明, 张小甫. 甘肃省盐生植物区系的初步研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(6): 232–236
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 163–199
- [14] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培, 黎立群, 单光宗, 尤文瑞, 曾先修, 张粹雯, 张丽君, 宋荣华. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 132–133
- [15] 李志刚, 侯扶江. 黄土高原不同地形封育草地的土壤呼吸日动态与影响因子分析[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 42–49
- [16] Calba H, Jaillard B, Fallavier P. Agarose as a suitable substrate for use in the study of Al dynamics in the rhizosphere[J]. Plant and Soil, 1996, 178(1): 67–74
- [17] 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 247–252
- [18] 王珺, 刘茂松, 盛晟, 徐驰, 刘小恺, 王汉杰. 干旱区植物群落土壤水盐及根系生物量的空间分布格局[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4 120–4 127

Spatial Distribution Characteristics of Soil Salinity in Habitat Soil of *Halogeton glomeratus* in Minqin Oasis

ZHANG Ming^{1,2}, GAO Tian-peng^{1,3}, ZHU Yan-rong^{1,2}, YANG Cai-ling^{1,2}, HUO Cai-xia^{1,2}

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

Abstract: Spatial distribution characteristics of soil salinity in habitat soil of *Halogeton glomeratus* in Minqin Oasis were studied in order to provide a theoretical basis for application of the salt-affected land bioremediation in Minqin Oasis and entire country. The results showed that in the horizontal direction 0 – 60 cm distance from the *Halogeton glomeratus*, anions component of salts were mainly SO_4^{2-} and Cl^- , cations component of salts were Na^+ and Ca^{2+} , soil salinity were mainly sodium sulfate, calcium sulfate, sodium chloride and calcium chloride. 0 – 40 cm depth belonged to chloride - sulfate type while 40 – 60 cm depth belonged to sulfate - chloride type. Soil pH decreased with the soil depth increases in the vertical profile. In the horizontal direction, soil pH of the 40 cm distance from plant was less than those of 20 cm and 60 cm distances, and within 0 – 20 cm depth, soil pH of the 20 cm distance from plant was higher than that of 60 cm distance. But soil pH of in 20 – 60 cm depth was just opposite to that in 0 – 20 cm depth. Degree of soil salinization aggravated with soil depth increases, in 0 – 40 cm distance from plant, 0 – 20, 20 – 40 and 40 – 60 cm depths belonged to non-salinization, light salinization and medium salinization, respectively. In the horizontal direction 40 – 60 cm distance from the *Halogeton glomeratus*, 0 – 40 cm depth belonged to non-salinization while 40 – 60 cm depth belonged to light salinization. *Halogeton glomeratus* has the role of gather salt in the horizontal direction.

Key words: *Halogeton glomeratus*, Minqin Oasis, Soil salinity