

DOI:10.12119/j.yhj.202004011

## 柴达木盆地尕斯库勒湖区盐生植物改良 土壤盐渍化效应及其贡献评价

余冬梅<sup>1,2</sup>, 祁兆鑫<sup>1,2</sup>, 胡夏嵩<sup>1,3</sup>, 刘亚斌<sup>1,3</sup>, 王建萍<sup>1,2</sup>, 李姜瑶<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008;  
2. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 青海大学, 青海 西宁 810016)

**摘要:**在柴达木盆地尕斯库勒盐湖区, 通过对芦苇、赖草、海韭菜、无脉苔草、冷草、盐地风毛菊、羊齿天门冬、小花棘豆和白刺9种盐生植物生长区土壤容重、含水量、全盐量、pH值、全氮、速效钾、速效磷进行测试分析, 研究其对盐渍化土壤的改良效果。试验结果表明: 9种盐生植物均可降低土壤容重、全盐量和pH值, 提高土壤含水量, 其平均全盐量较裸地降低了3.79%~85.40%, 平均降低幅度为44.99%, 小花棘豆降低土壤容重相对较为显著(17.39%), 无脉苔草相对较差(1.37%); 盐地风毛菊降低土壤pH值的能力相对较强(5.11%), 羊齿天门冬相对较弱; 赖草提高土壤含水量相对较为显著(26.05%), 白刺相对较差(1.85%)。9种盐生植物可不同程度增加土壤全氮含量, 且随取样深度增加全氮含量呈逐渐降低的变化趋势; 9种盐生植物坡面地表以下垂直方向0~20 cm土体速效磷含量表现出增加趋势, 其中在地表以下20~50 cm位置速效磷含量增加相对较为显著, 土体速效磷含量增加的程度由大至小依次为: 小花棘豆、赖草、无脉苔草、海韭菜、白刺、羊齿天门冬、芦苇、冷草和盐地风毛菊。研究结果对于利用盐生植物防治土壤盐渍化, 以及进一步提高土壤可持续利用有实际价值。

**关键词:**柴达木盆地; 尕斯库勒盐湖区; 盐生植物; 土壤盐渍化; 贡献评价

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2020)04-0091-11

土地盐渍化现象已成为影响生态环境和制约地区经济发展的重要因素之一, 以生物措施为主要内容的生态修复是盐碱地防治和改良利用的重要途径之一<sup>[1-2]</sup>。盐生植物的生长增加了地表覆盖度, 有助于减少土壤水分蒸发, 削弱土壤返盐动力, 由于盐生植物枯枝落叶和根系生理活动, 增加了土壤有机质和养分含量, 起到提高土壤肥力作用, 促进土壤微生物生长和繁殖, 进一步改善土壤理化性质<sup>[3-5]</sup>。对库拉—阿拉斯生长的骆驼刺(*Alhagi pseudalhagi*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、鞑靼滨藜(*Atriplex tatarica*)等盐生植物的降盐试验结果表明<sup>[6]</sup>, 这些盐生植物具有提高盐渍化土壤生产力、修复生态系统的功能。牛东玲等<sup>[7]</sup>在柴达木盆地德令哈地区尕海农场种植人工草地,

2a后耕作层土壤全盐量显著下降, 土壤脱盐率达94.3%, 由撂荒状态的盐土转变为轻度盐渍化土壤, 有机质含量增加15.27%。杨洪涛<sup>[8]</sup>通过对不同植被覆盖下松嫩平原苏打盐渍土的研究发现, 芦苇(*Phragmites australis* Trin.)、养草(*Leymus chinensis* Tzvel.)等5种植物生长区土壤钠吸附比(SAR)较碱斑裸地降低80.86%~34.54%, 有机碳和水分入渗率则显著高于碱斑裸地。乔斌等<sup>[9]</sup>通过研究宁夏吉震湖滩湿地怪柳(*Tamarix* sp.)、盐角草(*Salicornia europaea*)等4种典型盐生植物群落多样性以及土壤盐碱度的结果表明, 怪柳群落土壤pH值随土层加深依次降低, 3种盐生草甸土壤pH值随土层深度变化表现为先增大后保持不变。

收稿日期: 2018-06-08; 修回日期: 2020-02-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0406605); 国家自然科学基金面上项目(41471454, 41671521); 青海省创新平台项目(2018-ZJ-T10, 2018-ZJ-T03); 第二次青藏高原综合科学考察项目(2019QZKK0805)共同资助

作者简介: 余冬梅(1986-), 女, 助理研究员, 主要从事地质灾害防治以及环境生态等方面的研究工作。Email: ydm2011@isl.ac.cn。

通信作者: 胡夏嵩(1965-), 男, 教授, 主要从事环境岩土工程与地质工程等方面的教学与研究。Email: huxiasong@tsinghua.org.cn。

土壤养分全氮、速效钾、速效磷作为植物生长发育所需的物质基础,同时亦为土壤因子中易于被调控的因子,氮、钾和磷均具有不同存在形式和转化过程<sup>[10]</sup>。谢文军等<sup>[11]</sup>在环渤海重度盐渍化地区种植田菁(*Sesbania cannabina*),使重度盐渍化土壤速效氮和速效钾含量增加 46.31% 和 47.52%,有效磷含量降低 31.85%。许毅等<sup>[12]</sup>认为,通过种植羊草(*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvel.)可起到加速盐渍土改良进程,培肥盐渍化土壤的作用。王合云等<sup>[13]</sup>采用隶属函数法分析榆树(*Ulmus pumila* L.)、桑树(*Morus alba* Linn. Sp.)等 8 种林木全氮、全磷、全钾等肥力指标,指出不同造林树种均对盐碱土有一定改良作用。郭全恩等<sup>[14]</sup>通过在甘肃白银市东大沟盐渍化土壤种植四翅滨藜(*Atriplex canescens*)、柳枝稷(*Panicum virgatum* L.),探讨了对种植区土壤剖面盐分及离子迁移的影响。祁通等<sup>[15]</sup>在南北疆地区开展了盐地碱蓬(*Suaeda glauca* (Bunge) Bunge)和海蓬子(*Salicornia europaea* L.)的田间试验,结果表明分布于北疆盐生植物的吸盐能力相对强于南疆,其中海蓬子的吸盐能力强于盐地碱蓬。

国内外学者开展的研究主要分为由于盐生植物的存在使得土壤物理化学性能和土壤养分改变两方面。不过,盐渍土壤的改良不是单个方面的体现,宜从多个方面不同指标进行全面系统评价。采用系统性分析评价盐生植物改良土壤盐渍化作用和效果研究目前并不多,尤其是对于柴达木盆地盐生植物改良盐渍土作用和效果等方面的研究尚处于起步阶段,研究成果相对较少。鉴于以上实际情况,本项研究将盐生植物生长区的土壤容重、含水量、含盐量、pH 值、土壤全氮、速效钾、速效磷等 7 项指标综合起来,系统性分析评价盐生植物改良土壤盐碱化作用及其效果。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验材料

在对研究区柴达木盆地尕斯库勒盐湖及周边地区盐生植物开展野外调查和采样等工作基础上,筛选出的主要盐生植物种包括,芦苇(*Phrag-*

*mites australis* Trin.)、赖草(*Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel.)、海韭菜(*Triglochin maritimum* Linn.)、无脉苔草(*Carex enervis* C. A. Mey.)、洽草(*Koeleria cristata* (L.) Pers.)、盐地风毛菊(*Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.)、羊齿天门冬(*Asparagus filicinus* Ham.)、小花棘豆(*Oxytropis glabra* DC.)和白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.) 9 种优势盐生植物。

### 1.2 试验方法

对 9 种盐生植物生长区土壤理化性质指标,包括容重、含水量、全盐量、pH 值,以及土壤养分指标,包括全氮、速效钾、速效磷,进行了测试,使用 SPSS19.0 进行数据分析和研究。试样采集方法为,选取生长态势良好且周围无其它植物影响、生长环境基本相似的典型不同盐生植物(每种植物至少选取 3 株),以植物根茎处为中心,采用现场开挖剖面法,由地表向地下分别按照 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm 和 40~50 cm 5 个深度依次采集试样,同时选取无植物生长的裸地作为试验对照组,裸地试样采集方法与植物采集方法相同,试样采集如图 1 所示。将现场所采集试样装入自封袋,及时运回实验室开展相关试验检测。

9 种盐生植物地表以下不同深度土壤物理化学指标(容重、含水量、全盐量和 pH 值)和土壤养分指标(全氮、速效钾、速效磷)的测试方法分别为<sup>[16]</sup>:土壤容重采用环刀法测定;土壤含水量采用烘干法测定;易溶盐总盐蒸干法测定;pH 值(酸碱度)采用电测法测定;土壤全氮(Total nitrogen, TN)采用凯式定氮法;土壤速效钾(Available potassium, AK)、土壤速效磷(Available phosphorus, AP)含量采用 ICP-63000 测定。

## 2 结果和分析

### 2.1 土壤容重及其特征

表 1 为研究区域内海韭菜、芦苇、赖草等 9 种盐生植物生长区土壤容重试验测试结果。与裸地容重相比,研究区域内 9 种盐生植物地表以下 0~10 cm 深度位置处土壤容重的降低幅度为 1.14%~22.84%,其中以小花棘豆降低幅度相对

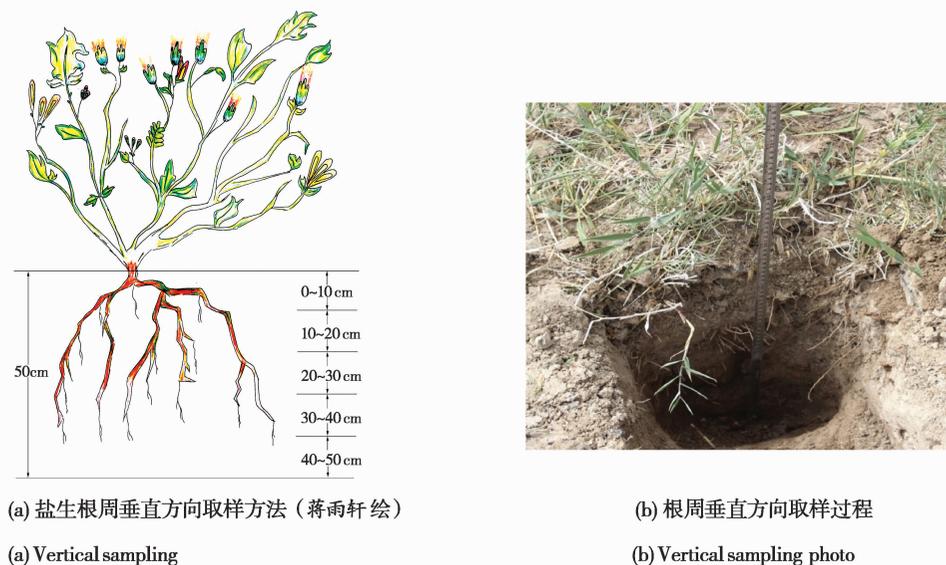


图1 研究区盐生植物地表以下根周土体垂直方向取样位置示意图

Fig. 1 The schematic diagram vertical sampling of soil around halophytes roots in test area

较为显著,为22.84%;地表以下0~10 cm深度处土壤容重降低幅度均大于10~20 cm和20~30 cm深度。10~20 cm深度处土壤容重降低幅度相对较大的是小花棘豆,为19.28%,无脉苔草降低幅度相对较小,为1.04%;20~30 cm深度处土壤容重洽草降低幅度较为显著,为11.30%,无脉苔草降低幅度相对较低,为1.92%。0~30 cm土壤容重平均降低幅度为1.37%~17.39%,容重的降低幅度由大至小依次为:小花棘豆、洽草、海韭菜、羊齿天门冬、盐地风毛菊、芦苇、赖草、白刺和无脉苔草,其中以小花棘豆降低幅度相对较大,

为17.39%,无脉苔草降低幅度相对较小,为1.37%。

盐生植物生长区土壤容重均较未生长植物裸地表现出不同程度降低,这表明由于盐生植物根系对其生长区土体的穿插作用使得土壤质地变得疏松,且增加了土壤中的团聚含量,使得单位体积内的土壤质量减小和容重降低<sup>[17]</sup>。进一步研究还表明,不同植物由于其根系分布深度、根系密度、根系生长时分泌物和根系穿插活动程度等不同,使得容重降低效果存在差异性<sup>[18]</sup>。

表1 研究区9种盐生植物生长区土壤容重试验结果

Table 1 Test results of soil bulk density in growing site of nine halophytes in test area

植物名称	地表以下不同取样深度土体容重及降低幅度/(g·cm <sup>-3</sup> ,%)					
	0~10 cm	容重降低幅度	10~20 cm	容重降低幅度	20~30 cm	容重降低幅度
海韭菜	1.34 ±0.10b	17.59	1.46 ±0.09b	12.35	1.54 ±0.11ab	9.17
芦苇	1.48 ±0.29ab	8.37	1.52 ±0.26ab	8.65	1.61 ±0.25ab	4.71
无脉苔草	1.60 ±0.09ac	1.14	1.64 ±0.07abc	1.04	1.66 ±0.07ab	1.92
赖草	1.43 ±0.07b	11.83	1.57 ±0.15ab	5.59	1.62 ±0.13ab	3.91
洽草	1.30 ±0.06b	19.69	1.43 ±0.10b	13.98	1.50 ±0.08b	11.30
小花棘豆	1.25 ±0.06b	22.84	1.34 ±0.02b	19.28	1.52 ±0.04ab	10.06
盐地风毛菊	1.37 ±0.03b	15.49	1.57 ±0.03ab	5.30	1.59 ±0.07ab	5.68

续表 1:

植物名称	地表以下不同取样深度土体容重及降低幅度/(g·cm <sup>-3</sup> ,%)					
	0~10 cm	容重降低幅度	10~20 cm	容重降低幅度	20~30 cm	容重降低幅度
羊齿天门冬	1.40 ±0.04b	13.40	1.46 ±0.07b	12.17	1.52 ±0.04ab	10.00
白刺	1.51 ±0.03ab	6.79	1.56 ±0.05ab	6.02	1.59 ±0.05ab	5.92
裸地	1.62 ±0.09a	-	1.66 ±0.07a	-	1.69 ±0.08a	-

①表中数据为平均值±标准差,样本数为3个,同列不同小写字母表示不同植物在相同取样深度容重差异性显著(最小显著差数法,即LSD法), $P < 0.05$ ;②容重降低幅度指的是研究区域内9种植物在地表以下0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm深度处,其平均容重较裸地在相同深度处平均容重的降低幅度;③“-”为无该项数据

## 2.2 土壤含水量及其特征

土壤含水量是衡量土壤物理性状改善的重要指标。表2为研究区域内海韭菜、芦苇、赖草等9种盐生植物生长区土壤含水量试验测试结果。由该表可知,不同植物生长区土壤含水量均有不同程度提高,且不同植物提高含水量程度表现出不同的变化规律。与无盐生植物生长裸地相比较,地表以下0~10 cm深度位置处土壤含水量提高幅度相对较为显著,含水量提高幅度为3.46%~29.90%,其中以赖草提高幅度相对较大,为29.90%。地表以下0~10 cm深度处土壤水分含量提高幅度高于10~20 cm和20~30 cm,赖草提

高地表以下10~20 cm和20~30 cm深度处土壤含水量幅度相对较大,分别为24.78%和23.47%;白刺提高含水量幅度相对较小,分别为0.81%和1.28%。地表以下0~30 cm深度处土壤含水量平均提高幅度为1.85%~26.05%,且由大至小依次为:赖草、芦苇、海韭菜、小花棘豆、盐地风毛菊、洽草、无脉苔草、羊齿天门冬和白刺,其中以赖草提高幅度相对较大,为26.05%,白刺提高幅度相对较小,为1.85%。含水量提高的主要原因在于,因植物根系穿插作用及地表枯枝落叶分解等的影响,对土壤的通透性产生一定程度改善,土壤孔隙度增加,使得含水量得到一定程度的提高<sup>[17]</sup>。

表2 研究区9种盐生植物生长区土壤含水量试验测试结果

Table 2 Test results of soil moisture content in growing site of nine halophytes in test area %

植物名称	地表以下不同取样深度土体含水量及提高幅度					
	0~10 cm	含水量提高幅度	10~20 cm	含水量提高幅度	20~30 cm	含水量提高幅度
海韭菜	26.54 ±3.47ab	16.35	29.23 ±3.92ab	12.64	35.47 ±5.31ab	22.61
芦苇	28.67 ±2.67ab	25.69	31.25 ±2.46ab	20.42	35.27 ±2.52a	21.91
无脉苔草	24.82 ±1.18ab	8.81	27.33 ±2.53ab	5.32	31.03 ±5.21a	7.26
赖草	29.63 ±6.25a	29.90	32.38 ±6.89a	24.78	35.72 ±8.35a	23.47
洽草	24.65 ±1.65ab	8.07	28.34 ±1.90ab	9.21	31.24 ±2.27a	7.98
小花棘豆	29.13 ±2.07ab	27.71	27.37 ±2.64ab	5.47	33.74 ±3.29a	16.63
盐地风毛菊	25.55 ±2.89ab	12.01	31.56 ±2.09ab	21.62	31.78 ±1.62a	9.85
羊齿天门冬	24.16 ±2.25b	5.92	26.25 ±2.48b	1.16	29.82 ±0.86a	3.08
白刺	23.60 ±2.79b	3.46	26.16 ±3.08b	0.81	29.30 ±1.73a	1.28
裸地	22.81 ±2.43b	-	25.95 ±1.67b	-	28.93 ±2.02a	-

①表中数据为平均值±标准差,样本数为3个,同列不同小写字母表示不同植物在相同取样深度含水量差异性显著(最小显著差数法,即LSD法), $P < 0.05$ ;②含水量提高幅度指的是研究区域内9种植物在地表以下0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm深度处,其平均含水量较裸地在相同深度处平均含水量的提高幅度;③“-”为无该项数据

### 2.3 土壤全盐量及其特征

图2为研究区域内海韭菜、芦苇、赖草等9种盐生植物生长区地表以下0~50 cm深度位置处土壤全盐量的变化规律。由该图可知,与未生长盐生植物裸地相比,9种盐生植物生长区土壤全盐量呈不同程度的降低趋势,且不同植物降低程度亦不相同,即地表以下0~10 cm和10~50 cm深度处,土壤平均全盐量较裸地降低31.26%和47.23%。盐生植物生长活动过程中,依据水盐运移规律,根系吸收水分的同时需从土壤中吸收盐分并在体内积累,降低根系活动范围内的盐分,从而有利于土壤脱盐和改善盐渍化程度<sup>[19]</sup>。已有研究表明,土壤盐分含量作为影响盐渍土壤结构、肥力等的关键因素,亦为盐渍土的固有属性,降低土壤全盐量则为盐碱地改良的主要目的<sup>[20]</sup>。

研究区域内地表以下0~10 cm深度处赖草、海韭菜、盐地风毛菊、白刺和羊齿天门冬地表土壤盐分表现出相对较高的特征,说明芦苇因其根系拒盐,将根系吸收的盐分聚集在根周表层,由根系吸收且在根系中积累亦较多,这种相类似的变化规律体现在赖草对其根周盐分的吸收。据相关研究可知<sup>[21-22]</sup>,耐盐能力愈强的盐生植物,其根际富集的盐分和地上茎叶部分积累的盐分也愈多。海韭菜、盐地风毛菊、白刺和羊齿天门冬等4种植物属于真盐生植物,其茎叶具有不同程度肉质化,且耐盐能力较强,这些植物根周表层0~10 cm土壤全盐量较高;同时,上述盐生植物生长区地表10~50 cm深度处土壤全盐量,较裸地均表现出有不同程度降低趋势(如图2所示),这表明盐生植物可减少水分蒸发抑制盐分上移,防治土壤返盐,从而起到有效降低土壤盐分含量的作用<sup>[22]</sup>。

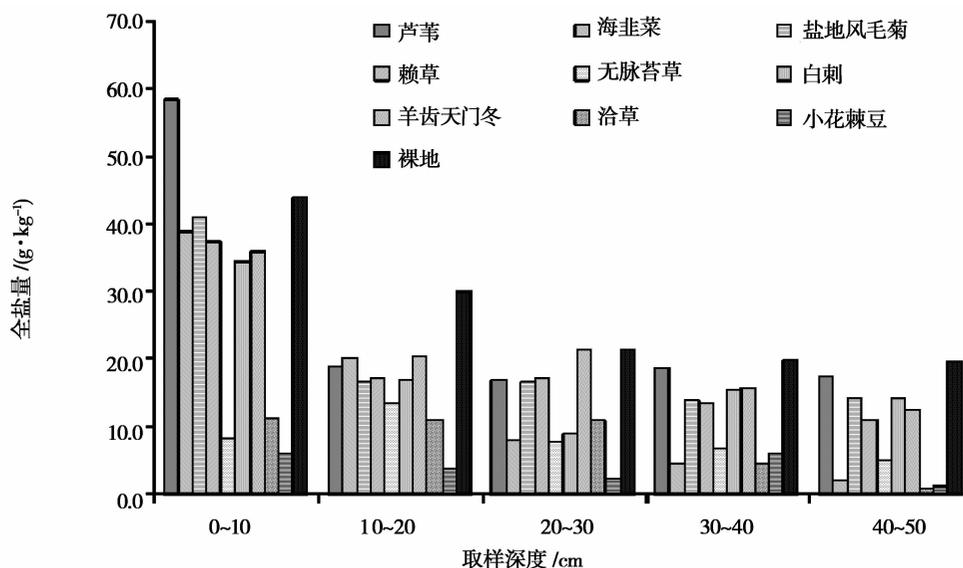


图2 研究区9种盐生植物生长区取样深度与土壤全盐量之间关系

Fig. 2 Relationship between sampling depth and total salt content in growing site of nine halophytes in test area

表3为研究区域内9种盐生植物生长区地表以下0~50 cm深度的土壤脱盐率结果。由该表可知,海韭菜、芦苇等9种植物生长区地表以下0~50 cm深度处土壤脱盐效果较为显著。地表以下0~10 cm深度处土壤脱盐效果相对较显著的为小花棘豆,盐地风毛菊脱盐效果相对较低。地表以下10~20 cm、20~30 cm深度处土壤脱盐率较为显著的为小花棘豆,羊齿天门冬相对较低。海韭菜和小花棘豆在地表以下30~40 cm和40~

50 cm深度处其土壤脱盐率较为显著,而芦苇相对较低。地表以下0~50 cm深度土壤脱盐率为8.24%~84.25%,且由大至小依次为:小花棘豆、洽草、无脉苔草、海韭菜、白刺、赖草、盐地风毛菊、羊齿天门冬和芦苇,其中以小花棘豆脱盐率相对较高,脱盐效果相对较好,而芦苇脱盐效果相对较差。其主要原因在于小花棘豆地表覆盖度相对较为密集,可起到有效减小地表土壤水分蒸发和抑制盐分表聚现象,同时该植物属多年生深根型,

表 3 研究区 9 种盐生植物生长区土壤脱盐率计算结果

植物名称	不同取样深度的土体脱盐率				
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	30 ~ 40 cm	40 ~ 50 cm
海韭菜	11.77	32.04	61.26	75.90	88.32
芦苇	-32.77	36.44	21.46	6.86	10.09
无脉苔草	80.71	54.77	63.65	64.77	73.31
赖草	15.05	42.04	19.32	32.02	42.98
洽草	73.96	62.11	48.25	75.82	93.87
盐地风毛菊	6.80	43.76	22.91	29.97	25.72
羊齿天门冬	18.20	31.56	0.87	21.29	35.17
小花棘豆	85.92	86.42	87.36	68.90	92.65
白刺	21.68	42.95	58.04	22.18	26.71

表中 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 50 cm 指的是 9 种植物在地表以下 5 个取样深度位置

降低土壤盐分效果较为显著;而芦苇为拒盐盐生植物,根系吸收的盐分聚集在根系表层,脱盐效果相对不显著。

#### 2.4 土壤 pH 值及其特征

土壤 pH 值也是土壤酸碱度的主要指标,pH 值大于 10.0 的土壤中植物一般不宜生长<sup>[23]</sup>。表 4 为 9 种盐生植物生长区土壤 pH 值检测结果,盐生植物可不同程度地降低土壤 pH 值,其中地表以下 0 ~ 10 cm 深度处以盐地风毛菊降低土壤 pH 值较为显著,为 5.74%;地表以下 10 ~ 20 cm 深度处以洽草降低土壤 pH 值较显著,为 7.36%;地表以下 20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 50 cm 深度

处以盐地风毛菊降低土壤 pH 值效果相对较为显著,分别降低 3.79%、4.15%、6.41%。综上所述,在地表以下 0 ~ 50 cm 深度,降低土壤 pH 值的能力由大至小依次为:盐地风毛菊、洽草、海韭菜、芦苇、白刺、无脉苔草、赖草、小花棘豆和羊齿天门冬,盐地风毛菊降低土壤 pH 值的能力相对较强,土壤 pH 值平均降低 5.11%,羊齿天门冬降低土壤 pH 值的能力相对较弱。曾玉彬<sup>[23]</sup>研究结果表明,生长期为 5a 的柽柳、西伯利亚白刺等 10 种盐生植物,其修复后的盐渍化土壤 pH 值均有不同程度的降低,且对地表以下 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 深度处土壤 pH 值改善程度显著强于地表以下 20 ~ 30 cm 深度。

表 4 研究区 9 种单一盐生植物生长区土壤 pH 值试验结果

Table 4 Test results of soil pH value in growing site of nine single halophytes in test area

植物名称	不同取样深度的土体 pH 值				
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	30 ~ 40 cm	40 ~ 50 cm
芦苇	7.90	7.84	8.01	7.91	7.88
海韭菜	7.92	7.91	7.90	7.94	7.84
盐地风毛菊	7.86	7.71	7.87	7.81	7.67
赖草	8.22	8.13	8.12	8.05	8.04

续表4:

植物名称	不同取样深度的土体 pH 值				
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	30 ~ 40 cm	40 ~ 50 cm
无脉苔草	8.00	7.92	7.99	7.89	7.89
白刺	7.96	8.00	7.93	7.93	7.84
羊齿天门冬	8.48	8.35	8.38	8.23	8.34
洽草	7.91	7.55	8.01	7.86	8.03
小花棘豆	8.17	8.45	8.43	8.37	8.47
裸地	8.33	8.15	8.18	8.14	8.19

表中 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 50 cm 指的是研究区域内 9 种植物在地表以下 5 个取样深度位置

### 2.5 土壤全氮含量及其变化规律

土壤中的氮素绝大多数以有机态形式存在,有机氮在耕作等一系列条件下,经过土壤微生物的矿化作用,转化为无机氮供植物吸收利用<sup>[16]</sup>。土

壤中有机态氮与无机态氮的总和称为土壤全氮,全氮含量代表土壤氮素的总贮量和供氮潜力,可作为土壤的主要肥力指标之一<sup>[17]</sup>。研究区 9 种盐生植物根周地表以下 0 ~ 50 cm 深度土壤全氮含量及分布规律如图 3 所示。

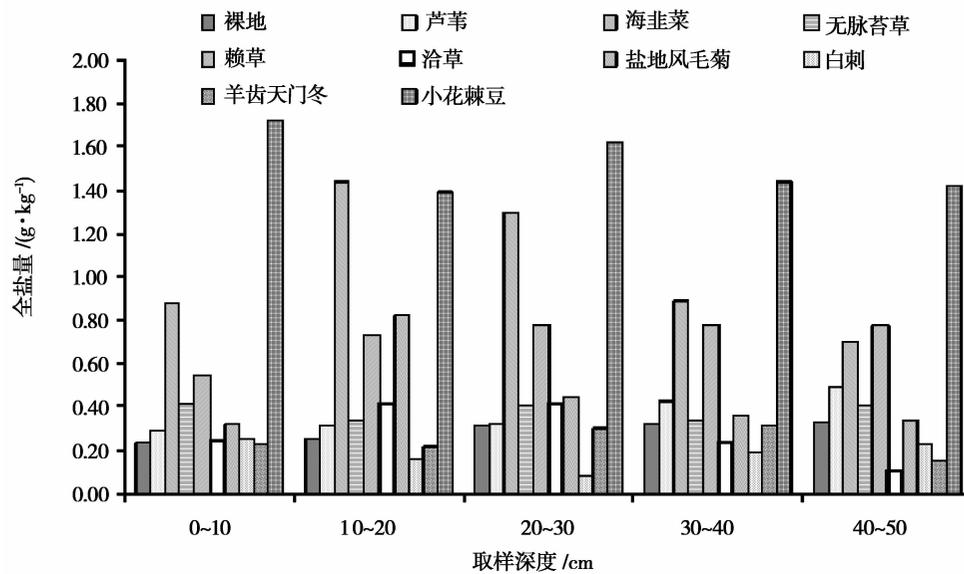


图3 研究区 9 种盐生植物根周土壤垂直方向取样深度与土壤全氮含量之间的关系  
Fig. 3 The distribution of total nitrogen content of soil around nine halophytes roots in test area

与未生长盐生植物裸地相比,研究区域内 9 种盐生植物对盐碱土壤中全氮含量总体上都有不同程度的增加。地表以下 0 ~ 10 cm 深度小花棘豆增加土壤全氮含量较为显著,较裸地增加幅度为 616.67%;地表以下 10 ~ 20 cm 深度增加土壤全氮含量较为显著的为海韭菜 453.85%;地表以下 20 ~ 30 cm、30 ~ 40 cm、40 ~ 50 cm 深度小花棘

豆增加全氮含量较为显著,分别增加了 417.02%、345.36% 和 321.78%。

研究区域内 9 种盐生植物增加地表以下 0 ~ 50 cm 土壤全氮含量,由大至小依次为小花棘豆、海韭菜、赖草、盐地风毛菊、无脉苔草、芦苇、洽草、羊齿天门和白刺,其中小花棘豆增加全氮含量相对较为显著,其平均增加幅度为 427.09%。

## 2.6 土壤速效钾含量及其变化规律

速效钾为水溶性钾和交换性钾的总称,可直接被植物快速吸收利用,速效钾含量高低是反映

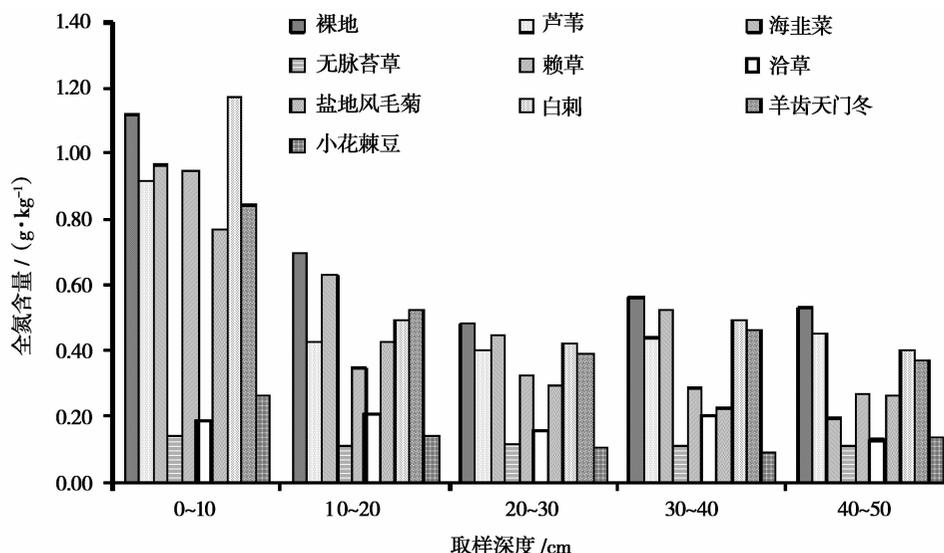


图 4 研究区 9 种盐生植物根周垂直方向取样深度与土壤速效钾含量之间的关系

Fig. 4 The distribution of available K content of soil around nine halophytes roots in test area

与未生长盐生植物裸地相比,9 种盐生植物不同程度降低了地表以下 0~50 cm 深度土壤速效钾含量,且随深度的增加速效钾含量呈降低趋势。在地表以下 0~10 cm 深度土壤速效钾含量相对较高,但与裸地相比白刺增加了速效钾含量,增加量 5.09%。无脉苔草降低 0~10 cm 和 10~20 cm 速效钾含量相对较为显著,分别降低 87.43% 和 84.93%;小花棘豆降低 20~30 cm 和 30~40 cm 土壤速效钾含量相对较为显著,分别为 79.17% 和 83.83%;无脉苔草降低 40~50 cm 土壤速效钾相对较为显著,为 80.19%。研究区域内 9 种盐生植物降低地表以下 0~50 cm 深度土壤速效钾含量,由大至小依次为无脉苔草、小花棘豆、洽草、盐地风毛菊、赖草、羊齿天门冬、芦荻、海韭菜和白刺,其中无脉苔草降低速效钾含量相对较为显著,平均降低 81.94%,而白刺降低程度相对较低,速效钾含量平均降低 14.72%。土壤速效钾的含量与土壤本身钾含量有关,不同植物的种植对土壤的速效钾含量不具有显著的差异性,植物的种类、土地利用强度和耕作方式对土壤速效钾影响不明显<sup>[25]</sup>。

土壤钾肥肥力的主要指标<sup>[24]</sup>。研究区芦荻、海韭菜等 9 种盐生植物,其根周地表以下垂直方向 0~50 cm 土壤速效钾含量及分布规律如图 4 所示。

## 2.7 土壤速效磷含量及其变化规律

速效磷是指土壤中能当季植物吸收利用的磷组分,包括全部水溶性磷、部分吸附态磷及有机态磷,速效磷的含量作为土壤磷素养分供应水平高低的指标,也是判定土壤肥力的重要指标<sup>[25]</sup>。研究区芦荻、海韭菜等 9 种盐生植物根周地表以下垂直方向 0~50 cm 深度土壤速效磷含量及分布规律如图 5 所示。由该图可知,与未生长盐生植物裸地相比,地表以下 0~10 cm 深度海韭菜、白刺、羊齿天门冬和小花棘豆土壤速效磷含量均呈增加的趋势,其中以小花棘豆相对较为显著,其增加幅度为 75.10%,而芦荻、无脉苔草、赖草、洽草和盐地风毛菊速效磷含量则有所降低。地表以下 10~20 cm 深度,海韭菜、无脉苔草、赖草、羊齿天门冬和小花棘豆土壤速效磷含量均有所增加,其中以小花棘豆增加相对较为显著,幅度为 55.74%。

地表以下 20~30 cm 和 30~40 cm 深度,芦荻、海韭菜、无脉苔草、赖草、白刺、羊齿天门冬和小花棘豆土壤速效磷含量均有所增加,其中以小

花棘豆和无脉苔草分别增加 67.80% 和 58.97%, 较为显著;地表以下垂直方向 40~50 cm 深度处, 海韭菜、无脉苔草和小花棘豆土壤速效磷含量分别增加 10.06%、3.04% 和 266.33%。9 种盐生植物增加地表以下 0~50 cm 土壤速效磷含量,由大

至小依次为小花棘豆、赖草、无脉苔草、海韭菜、白刺、羊齿天门冬、芦苇、洽草和盐地风毛菊,其中小花棘豆增加速效磷含量较为显著,其平均增加幅度为 95.28%。

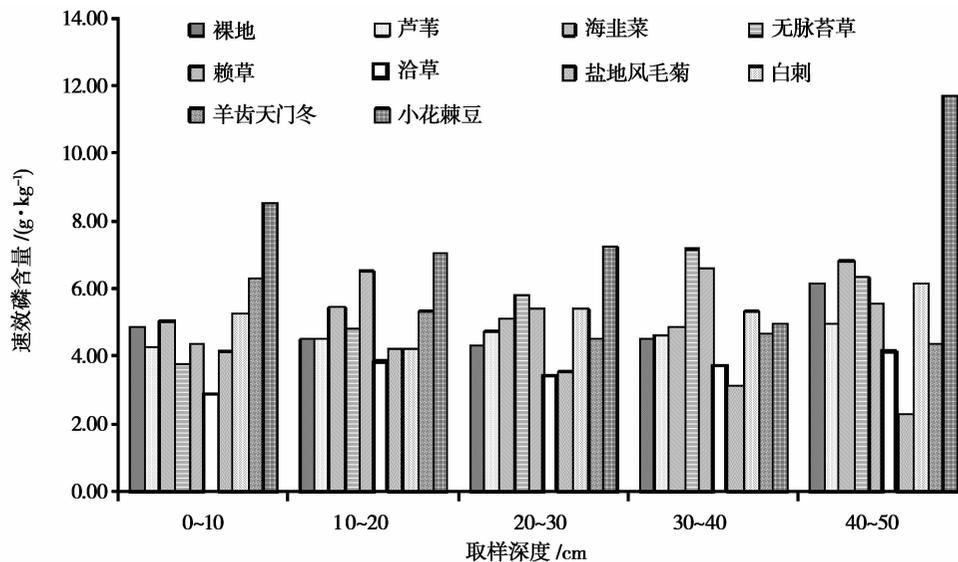


图5 研究区9种盐生植物根周垂直方向取样深度与土壤速效磷含量之间的关系

Fig. 5 The distribution of available P content of soil around nine halophytes roots in test area

### 3 讨论和结论

1)9 种盐生植物生长区,与未生长盐生植物裸地相比,其土壤全盐量呈不同程度的降低趋势,且不同植物降低程度亦不相同,在研究区地表以下 0~50 cm 深度处土壤脱盐效果较为显著,土壤脱盐率为 8.24%~84.25%,脱盐率排序由大至小依次为:小花棘豆、洽草、无脉苔草、海韭菜、白刺、赖草、盐地风毛菊、羊齿天门冬和芦苇,其中以小花棘豆脱盐率相对较高,脱盐效果相对较好。主要由于各种植物积盐作用,使得植物根部盐分产生积累趋势,形成盐岛效应,这种土壤盐分含量的增加和减少程度与盐生植物适应盐渍化生境(稀盐、泌盐和拒盐)不同密切相关。

2)9 种盐生植物均可降低土壤容重、全盐量和 pH 值,提高土壤含水量。小花棘豆降低土壤容重幅度相对较大,无脉苔草相对较小;小花棘豆土壤脱盐率相对较高,芦苇相对较低;盐地风毛菊降低土壤 pH 值的能力相对较强,羊齿天门冬降

低土壤 pH 值的能力相对较弱;赖草提高土壤含水量幅度相对较大,白刺相对较小。一般认为,土壤容重大表明土壤紧实、结构性差、孔隙少、水性和通气性不良,保水保肥能力差;pH 值的变化将直接影响土壤养分动态以及土壤微生物群落种类、数量和活性等,以及影响植物根系生长和发育。

不同植物种植对土壤的结构的影响程度不一样,所以土壤容重、pH 值等可以为水土流失、塌陷以及环境绿化提供有利的依据。不同的土质其主要影响因素不同,建议对不同土质上种植相同植物改良土壤作用,进行因子的综合系统的评估。

3)土壤中的全氮、速效钾、速效磷属于植物生长发育所必须的物质条件,而盐生植物可提高生长区盐渍土中全氮和速效磷含量。小花棘豆增加土壤全氮含量较为显著,全氮含量平均增加幅度为 427.09%;小花棘豆增加土壤速效磷含量较为显著,速效磷含量平均增加幅度为 95.28%。速效性养分在土壤中所占比例相对较小,但因其易被植物吸收利用,直接作用于植物的生长发育,

在植物的生长过程中具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 贾恢先,孙学刚. 中国西北内陆盐生植物图谱[M]. 北京:中国林业出版社,2005.
- [2] 张建锋. 盐碱地生态修复原理与技术[M]. 北京:中国林业出版社,2007.
- [3] Kovda V A. Loss of Productive Land Due to Salinization[J]. *AMBIO-A Journal of the Human Environment*, 1983, 12(2): 91-93.
- [4] 王小生,章洪庆,薛明,等. 盐渍土地地区道路病害与防治[J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(10): 1178-1182.
- [5] 杨真,王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. *山东农业科学*, 2015, 47(4): 125-130.
- [6] Öztürk M, Ashraf M, Aksoy A, et al. Plants, Pollutants and Remediation[M]. New York: Springer, 2015: 63-98.
- [7] 牛东玲,王启基. 柴达木盆地海西州弃耕地盐渍化特征及其治理[J]. *土壤通报*, 2002, 33(5): 229-331.
- [8] 杨洪涛. 不同地表植被与改良处理下苏打盐渍土物理性质研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2015.
- [9] 乔斌,黄维,何彤慧,等. 宁夏震湖滩涂湿地盐生植物群落多样性与土壤盐碱度分析[J]. *西北植物学报*, 2018, 38(2): 324-331.
- [10] 吕贻忠. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.
- [11] 谢文军,王济世,靳祥旭,等. 田菁改良重度盐渍化土壤的效果分析[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(6): 119-123.
- [12] 许毅,徐彦虎,林启美,等. 羊草和脱硫石膏对内蒙古河套地区盐渍化土壤的改良效果[J]. *干旱地区农业研究*, 2015, 33(4): 112-116.
- [13] 王合云,李红丽,董智,等. 滨海盐碱地不同造林树种改良土壤效果研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 161-165.
- [14] 郭全恩,马忠明,曹诗瑜,等. 不同能源作物对土壤剖面盐分离子迁移的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5): 294-298.
- [15] 祁通,孙阳讯,黄建,等. 两种盐生植物在南北疆地区的适生性及吸盐能力[J]. *中国土壤与肥料*, 2017, (1): 144-148.
- [16] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(4): 53-56.
- [17] 候贺贺. 黄河三角洲盐碱地生物措施改良效果研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2014.
- [18] 雷金银,张建宁,班乃荣,等. 不同类型耐盐植物对盐碱土物理性质的影响[J]. *宁夏农林科技*, 2011, 52(12): 58-60.
- [19] 范亚文. 种植耐盐植物改良盐碱土的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2001.
- [20] 刘德江,刘耘华,盛建东,等. 北疆荒漠植被梭梭立地土壤盐分特征研究[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(2): 47-51.
- [21] Nosetto M D, Jpbaby E G, Toth T, et al. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(2): 65-65.
- [22] 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.
- [23] 曾玉彬. 种植不同耐盐植物对盐渍化土壤理化和生物学性质的影响[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2015.
- [24] 肖克颀. 宁夏银北地区耐盐植物改良盐碱土机理及试验研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学, 2013.
- [25] 陈银萍,罗永清,李玉强,等. 兰州地区农田土壤速效磷与速效钾含量的变化特征[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(4): 46-52.

## Effects and Contribution Assessment of Halophytes in Soil Salinization Improvement of Gas Hure Lake Region in Qaidam Basin

YU Dong-mei<sup>1,2</sup>, QI Zhao-xin<sup>1,2</sup>, HU Xia-song<sup>1,3</sup>, LIU Ya-bin<sup>1,3</sup>, WANG Jian-ping<sup>1,2</sup>, LI Jiang-yao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai

Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China; 2. Qinghai Provincial

Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China;

3. Department of Geological Engineering, Qinghai University, Xining, 810016, China)

**Abstract:** In this study, Gas Hure Salt Lake region in Qaidam Basin has been selected as the test site. By determining salt content and nutrient content in soil containing *Phragmites australis* Trin., *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel., *Triglochin maritimum* Linn., *Carex enervis* C. A. Mey., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Saussurea salsa* (Pall.) Spreng., *Asparagus filicinus* Ham., *Oxytropis glabra* DC. and *Nitraria tangutorum* Bobr., the distribution properties of soil bulk density, moisture content, pH value, total nitrogen content, rapidly available phosphorus content, rapidly available phosphorus content, rapidly available potassium have been identified. Results show that the nine species are capable of reducing soil bulk density, salt content and pH value, increasing moisture content, and mean total salt content in soil containing the nine species has reduced by 3.79% – 85.40%, and the average reduction percentage is 44.99%; *Oxytropis glabra* DC plays an excellent role in reducing soil bulk density (17.39%), *Carex enervis* C. A. Mey is relatively lower (1.37%); *Saussurea salsa* (Pall.) Spreng. has an excellent role in reducing pH value (5.11%), *Asparagus filicinus* Ham. is relatively weaker in reducing pH value (1.37%); *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. is capable of increasing soil moisture content and the corresponding percentage is 26.05% and *Nitraria tangutorum* Bobr. is relatively weak (1.85%). Generally, Halophyte can increase nitrogen content in soil, and with the sampling depth increasing, nitrogen content in soil decreases gradually. At 0 – 20 cm beneath the surface, rapid available phosphorus increase successively from large to small: *Oxytropis glabra* DC, *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel., *Carex enervis* C. A. Mey., *Triglochin maritimum* Linn., *Nitraria tangutorum* Bobr., *Asparagus filicinus* Ham., *Phragmites australis* Trin., *Koeleria cristata* (L.) Pers. and *Saussurea salsa* (Pall.) Spreng. The research can provide theoretical basis for preventing soil salinization through halophytes as well as for the sustainable utilization of soil in the study area.

**Key words:** Qaidam Basin; Gas Hure Lake; Halophytes; Salinization; Contribution evaluation