

不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究

肖克飏^{1,3}, 吴普特¹, 雷金银^{2*}, 班乃荣²

(1.北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 银川 750002; 3.广西交通规划勘察设计院, 南宁 530011)

摘要:为探求不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良效果及其机理,促进盐碱土作为后备耕地资源开发利用和盐碱地产业的发展,在宁夏银北地区以盐碱荒地作为对照,选取3种有代表性的不同类型耐盐植物(柽柳、苇状羊茅、油葵)进行试验研究。经过3年(2008—2010)的试验,观测分析了不同类型耐盐植物对盐碱土理化性质、盐分含量及其微生物特性的影响。结果表明:种植柽柳、苇状羊茅、油葵对盐碱土(0~20 cm)土壤容重的降低最为显著,分别较对照降低了24.16%、27.53%和24.72%;不同类型耐盐植物对地表的覆盖度不同,表现出“抑制春季土壤返盐,增强秋季洗盐”效应,导致土壤含水率及其垂直剖面分布不同;与对照相比,柽柳、苇状羊茅、油葵土壤的初始入渗率分别提高至9.96、3.74倍和1.49倍,稳定入渗率分别提高至5.33、3.49倍和1.65倍;3种耐盐植物种植有效降低土壤全盐含量,改善土壤肥力水平,种植柽柳、苇状羊茅、油葵分别降低土壤表层盐分86.4%、71.5%、46.1%,分别增加表层有机质73.7%、38.2%、21.3%。同时,种植柽柳、苇状羊茅、油葵改善了盐碱地微生物特征,分别增加表层0~20 cm土壤微生物含量6.4、5.5倍和4.1倍,20~40 cm土壤微生物含量分别增加了7.0、6.6倍和5.5倍。由此可知,耐盐植物通过盐分吸收、运移对盐碱地具有一定生物改良作用,依据耐盐植物的耐盐特性及其作用效果构建盐碱地生物改良模式,是盐碱地产业发展的新方向、新理念和新思路。

关键词:耐盐植物;盐碱土;生物改良;宁夏北部地区

中图分类号:S156.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)12-2433-08

Bio-reclamation of Different Halophytes on Saline-alkali Soil

XIAO Ke-biao^{1,3}, WU Pu-te¹, LEI Jin-yin^{2*}, BAN Nai-rong²

(1.College of resources and environment, Northwest A & F University, Yangling Shanxi 712100, China; 2.Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan 750002, China; 3.Guangxi Communications Planning, Surveying and Designing Institute, Nanning 530011, China)

Abstract: In order to investigate further effects and mechanisms of different halophytes growing in saline-alkali soil, and to promote the development and utilization of this kind of soil as a supplemental land resource, a saline-alkali soil was planted with three representative halophyte (*Tamarix ramosissima* Ledeb., *Festuca arundinacea* Schreb., *Helianthus annuus*) monocultures in the north region of Yin Chuan City, Ningxia. Uncultivated soil was used as a control for comparison. The field experiment was conducted for 3 years (2008—2010) and soil chemical and physical properties, soil salt content and microbiological properties were analyzed. The bulk density of the surface soil (0~20 cm) decreased notably, and under *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Festuca arundinacea* Schreb. and *Helianthus annuus* the bulk densities were 24.16%, 27.53% and 24.72% lower than the control, respectively. Planting these three kinds of halophytes increased the surface coverage, which could be shown to affect the soil by inhibiting salt movement to the soil surface in spring and enhancing salt leaching through the soil profile in autumn. Compared with the control, the initial soil infiltration rate under *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Festuca arundinacea* Schreb. and *Helianthus annuus* increased by 9.96 times, 3.74 times and 1.49 times, respectively, and the stable soil infiltration rate increased by 5.33 times, 3.49 times and 1.65 times (i.e., in the same order). The total salt contents of the soil were reduced and soil fertility levels were effectively improved. The total salt content of surface soil under *Tamarix ramosissima* Ledeb., *Festuca arundinacea* Schreb. and *Helianthus annuus*

收稿日期:2012-07-03

基金项目:宁夏回族自治区自然科学基金项目(NZ0972)

作者简介:肖克飏(1976—),男,内蒙古呼盟人,博士研究生,高级工程师,主要从事土壤侵蚀与土壤改良等方面研究。E-mail: xkbiao@126.com

* 通信作者:雷金银 E-mail: lejinyin@yahoo.com.cn

decreased by 86.4%, 71.5%, and 46.1%, respectively, and their organic matter contents increased by 73.7%, 38.2%, and 21.3%. Furthermore, the microbial environment of the soil was improved, which was indicated by increases in the microbial number of the soil surface(0~20 cm) of 6.4 times, 5.5 times and 4.1 times that of the control, and similar increases in the microbial number of the 20~40 cm soil layer of 7.0 times, 6.6 times and 5.5 times that of the control. It was concluded that absorption of salt by the plants and migration of salt in the soil could increase the quality of the saline-alkali soil. Developing a halophyte-reclamation model, based on the biological effects of salt on halophytes, would be a new direction for research and a new idea for a tool that could be used for the development and utilization of saline-alkali soils.

Keywords: halophytes; saline-alkali soil; bio-reclamation; the north part of Ningxia

盐碱胁迫是当前影响农业生产和土地生产力的最主要胁迫因子之一。全球 25%的土地面积受盐渍化影响^[1-6]。且盐碱地面积每年以 $(1\sim1.5)\times10^6\text{ hm}^2$ 的速度在增加^[4]。迄今为止,中国盐渍化面积约为 1 亿 hm^2 ,约占全球盐碱地面积的 10%^[7],且约有 80%的盐碱地尚未得到开发利用^[8]。在基本农田保护过程中,随着人口增长和国民经济的发展,人增地减的矛盾日益突出,盐碱地改良利用也随之成为研究热点问题之一。在人类农业科研的历程中,从来就不缺乏对盐碱地改良的研究,纵观国内外盐碱地改良研究领域,先后提出了“种稻改碱”农业改良措施,“灌水洗盐”工程改良措施,以及利用石膏、氯化钙、工业废酸、燃煤烟气脱硫物等化学改良措施^[7,9-10]。这些措施见效快,取得了显著成果。但是改良成本高,资源耗费大,且产生养分流失、污染下游、改良效果不稳定、容易返盐等问题。近年来,在长期研究成果的基础上,人们从恢复生态学的角度逐渐认识到把盐碱地的改良和利用结合起来,即“寓改良到利用中,改良与利用并行”,以生物利用为核心的生态恢复技术是未来盐碱地改良修复的突破口。目前,生物改良研究主要集中在提高耐盐植物的耐盐性能、耐盐植物的脱盐效果等方面^[3-4],但为指导合理开发利用盐碱地资源,针对不同类型耐盐植物的生物改良效益进行对比分析研究较少。

本文在前人对耐盐植物筛选的基础上,分别选用代表灌木、多年生草本和经济作物的 3 种不同类型耐盐植物进行试验,系统研究不同类型耐盐植物对盐碱土物理、化学、生物性状等的改良效果,进一步探求生

物改良机理,为盐碱土改良利用提供新的思路,以利于盐碱土作为后备耕地资源开发和盐碱地产业发展。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

惠农县地处鄂尔多斯与阿拉善台块之间,位于宁夏回族自治区最北端,地处引黄灌区末梢,地下水位高,全年干旱少雨,致使盐碱土及盐渍化土地大面积分布。区内年平均气温 8.2℃,年降水量 243.1 mm,年平均蒸发量 2 443.5 mm。日照充足,热量丰富,年平均日照时数 3000 h 以上,日照率 70%,太阳辐射年总量 606.36 $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。试验区土壤类型为弱碱性盐土,基本性质见表 1。

1.2 试验设计

本研究以盐碱荒地作为对照,选取 3 种有代表性的不同类型耐盐植物为供试植物,灌木为柽柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb)、草本为芨芨草(*Festuca arundinacea* Schreb)、经济作物为油葵(*Helianthus annuus*)。采用大田对比完全随机试验设计,重复 3 次,小区面积为 10 m×30 m。柽柳于 2008 年 4 月 22 日一次性移栽,株高 60 cm,株行距 100 cm×100 cm;芨芨草于 2008 年 4 月 20 日一次性播种,采取条播形式,间距 25 cm,播种量为 75 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,每年(7 月、9 月)刈割;油葵为每年春季播种,株行距 30 cm×40 cm,秋季收获留茬,隔年春季翻耕耙耱除残茬后播种。各处理田间管理主要为灌水,每年灌水 3 次,分别为播种前、生长旺盛期和秋收后(冬灌),各处理同时灌水且灌水量相同。

表 1 试验区 0~60 cm 土壤性质
Table 1 Soil properties of 0~60 cm depth in test area

类型	土层深度/cm	质地	pH 值	全盐含量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱化度(ESP)/ %	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
弱碱性盐土	0~20	沙壤土	8.36±0.20	10.20±1.68	14.60±2.10	5.13±3.01	21.7±6.20	3.7±1.00	137.0±29.75
	20~40	沙壤土	8.13±0.21	4.88±1.46	9.68±1.27	3.78±1.42	15.22±7.19	3.3±1.10	106.5±27.21
	40~60	沙壤土	8.03±0.29	3.34±0.81	7.47±4.15	2.44±0.54	9.29±1.11	2.8±0.42	72.9±22.79

1.3 测定项目与方法

在 2008—2010 年试验期间,每年春季 4 月 23 日和秋季 10 月 6 日按照“X”法分别采取混合土样,重复 3 次^[11,19],采样深度 60 cm,每 20 cm 取一层,共分 3 层(0~20、20~40、40~60 cm),用于室内分析。测定土壤肥力指标如下。

(1)物理指标:

①土壤容重,采用环刀法测定^[12];②土壤含水率,采用烘干法测定(土壤水分测试深度 0~100 cm);③土壤水分入渗率,采用双环入渗仪测定^[13]。

(2)化学指标

①有机质,采用 K₂Cr₂O₇ 容量法-外加热法^[22]测定;②碱解氮,采用碱解扩散法^[14,20]测定;③速效磷,采用 NaHCO₃ 浸提-分光光度计法^[13,17]测定;④速效钾,采用乙酸氨浸提-火焰光度计法^[12,14]测定;⑤土壤 pH 值,采用 1:1 水土混合液测定^[22];⑥土壤可溶性盐分,采用 5:1 的水土比提取待测液测定^[22];⑦全盐,采用重量法测定^[22];⑧K⁺、Na⁺采用火焰光度法,Mg²⁺、Ca²⁺采用原子吸收法测定^[22];⑨SO₄²⁻采用 EDTA 容量法测定,Cl⁻采用 AgNO₃ 滴定法测定^[22];⑩碱化度按下式计算

$$\text{碱化度(ESP)} = \frac{\text{交换性钠离子含量}}{\text{阳离子含量}} \times 100\%$$

(3)生物学指标

土壤微生物的分离计数采用稀释平板涂沫法^[15-16,18]。细菌培养基采用牛肉膏-蛋白胨琼脂^[15-16,18];真菌培养基采用马铃薯葡萄糖琼脂^[15-16,18];放线菌培养基采用高氏 1 号琼脂^[15-16,18]。

2 结果与讨论

2.1 不同耐盐植物对土壤物理性质的影响

2.1.1 土壤容重

从表 2 可以看出,与 CK 相比,3 种不同类型耐盐植物均不同程度的降低了耕作层土壤容重。经过 3 年的种植,表层 0~20 cm 容重降低最为显著,其中苇状羊茅表层土壤容重下降最高,怪柳、油葵次之,分别比

CK 降低了 27.53%、24.16%和 24.72%。20~40 cm 土层分别降低了 18.82%、26.47%和 14.12%,40~60 cm 土层分别降低了 1.70%、19.32%和 1.08%。不同类型耐盐植物对土壤容重改善程度不同,主要与植物根系分布深度、根系生长活动分泌物、根系穿插活动强烈程度及土壤种植植物后脱盐有关。

2.1.2 土壤含水率

水分是盐分迁移的载体,“盐随水来、盐随水去”,土壤水分的运动变化是影响土壤盐分变化的最直接因子。不同类型耐盐植物对盐碱土土壤含水率有很大的影响,这由于不同耐盐植物的地表覆盖度和耗水特征不同所致。同时,不同生长季节土壤水分变化也有所不同。从图 1a 可以看出,春季(4 月 23 日),苇状羊茅、怪柳表层土壤含水率明显高于油葵和 CK,其中以苇状羊茅表层土壤含水率最高,可保持在 15%以上,有效抑制春季土壤返盐。这与多年生牧草地表盖度高有关,而油葵为一年生作物,对土壤水分的保持不显著。不同类型耐盐植物对土壤含水率垂直剖面分布规律也有影响,由于 CK 地表蒸发剧烈,表现为土壤含水率随土层深度不同变化复杂,呈现出先增加后减少再增加的变化趋势。苇状羊茅处理下土壤水分变化平缓,抑制土壤返盐。怪柳由于其需水量大及根系发达,对深层(80 cm 以下)土壤含水率影响亦显著,有明显的生物排水作用^[21]。

同样地,秋季(10 月 6 日)土壤处于洗盐阶段,苇状羊茅、怪柳表层 0~20 cm 内的土壤含水率明显高于 CK,油葵表层含水率与对照没有显著差异(图 1b)。从土壤水分垂直剖面变化规律来看,怪柳和苇状羊茅处理下土壤含水率变化幅度较油葵大,表现为先减少又增加的变化趋势,表明土壤水分向下淋洗作用明显。

2.1.3 土壤水分入渗率

土壤水分入渗率的高低是衡量土壤物理结构改善的重要指标,是土壤盐分淋洗作用强弱的决定性因子。土壤入渗率越高越利于土壤盐分随水分下渗而迁

表 2 不同耐盐植物对土壤容重的影响
Table 2 Effects of different halophytes on soil bulk density

土层深度/cm	土壤容重/g·cm ⁻³						
	CK	怪柳	与 CK 相比减少/%	苇状羊茅	与 CK 相比减少/%	油葵	与 CK 相比减少/%
0~20	1.78Aa	1.35Bb	24.16	1.29Bb	27.53	1.34Bb	24.72
20~40	1.70Aa	1.25Cd	26.47	1.38Bc	18.82	1.46Bb	14.12
40~60	1.76Aa	1.42Bb	19.32	1.72Aa	2.27	1.73Aa	1.70

注:同一土层不同植物之间进行方差分析,大写字母表示在 0.01 水平显著差异,小写字母表示在 0.05 水平显著差异,CK 为对照组,下同。

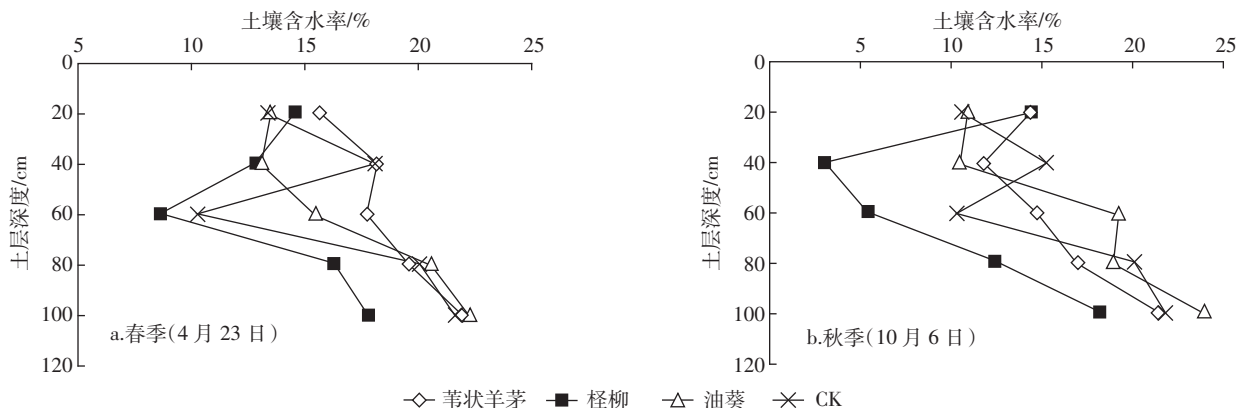


图1 不同类型耐盐植物对土壤含水率的影响

Figure 1 Effects of different halophytes on soil water content

移出土壤耕作层,降低耕作层土壤盐分含量,从而淡化耕层、利于植物生长,进而达到改善土壤性状的目的。从图2可以看出,3种耐盐植物经过3年种植后,土壤初始入渗率和稳定入渗率分别都比CK有所增加,其中柽柳入渗率最高,苇状羊茅居中,油葵次之。初始入渗率分别是CK的9.96、3.74倍和1.49倍,稳定入渗率分别是CK的5.33、3.49倍和1.65倍^[21]。不同耐盐植物处理较CK显著缩短了稳渗时间,柽柳、苇状羊茅、油葵和CK 4个处理下达到稳渗所需时间分别为51.31、72.42、174.31、194.05 min。

2.2 不同耐盐植物对土壤化学性质及盐分的影响

2.2.1 土壤化学性质

从图3可以看出,耐盐植物的种植能够有效降低土壤全盐含量,改善土壤肥力水平。与CK相比,各处理的不同土层深度的盐分均有不同程度的降低,土壤表层盐分含量降低量最大。3种处理中,柽柳土壤盐分降低量最大(表层降低了86.4%),其次为植苇状羊茅(表层降低了71.5%),最少的为油葵(表层降低了

46.1%)。与CK相比,各处理的不同土层深度的ESP均有不同程度的降低,表层土(0~20 cm)降低最大;3种处理的土壤有机质均有不同程度的增加,其中柽柳土壤中有有机质增加最显著,0~20、20~40、40~60 cm土层有机质分别增加了73.7%、42.9%和43.0%,苇状羊茅和油葵0~40 cm土层有机质增加较明显,40~60 cm土层有机质增加不明显,这与其根系分布深度有关。碱解氮除种植柽柳较对照有增加外,其他2种植物土壤都呈现下降趋势;速效磷除种苇状羊茅较对照降低外,其他2种植物都有不同程度的增加,其中油葵表层土增加显著;油葵土壤中速效钾增加明显,其他2种植物土壤都呈现下降趋势。这与不同耐盐植物在盐分胁迫下对离子的选择吸收有关。

2.2.2 盐分离子

通过种植耐盐植物,土壤盐分离子浓度也呈下降趋势,不同类型耐盐植物之间,下降程度有差异。从图4可以看出,种植柽柳使土壤中各盐分离子下降明显,表层土尤其明显, SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 分别下降了74.9%、86.2%、73.6%、87.1%、76.9%和64.2%。种植苇状羊茅土壤中各盐分离子下降幅度次于柽柳,种植油葵土壤中各盐分离子下降幅度最小,但是苇状羊茅表层土壤中 Mg^{2+} 下降幅度达96.4%,油葵表层土壤中 Cl^- 下降幅度达95.6%。对比2种植物作用下土壤的水分入渗率可以看出,盐分离子的变化不但与随水分迁移有关,与植物选择性吸收亦有密切的关系,这是除生物改良法以外其他改良方法无法替代的。

2.3 不同耐盐植物对土壤微生物的影响

土壤微生物是土壤物质营养循环和能量代谢的主要参与者,也是土壤各种生物化学过程的主要调节

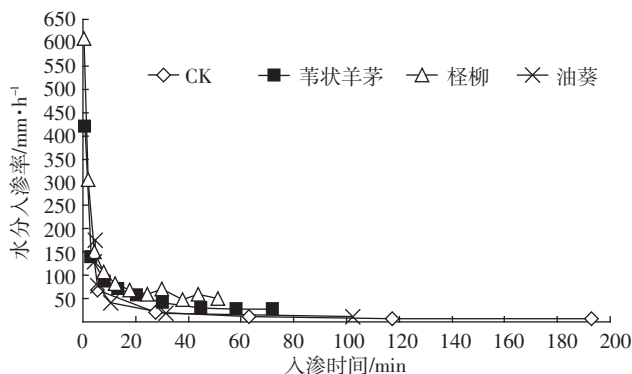
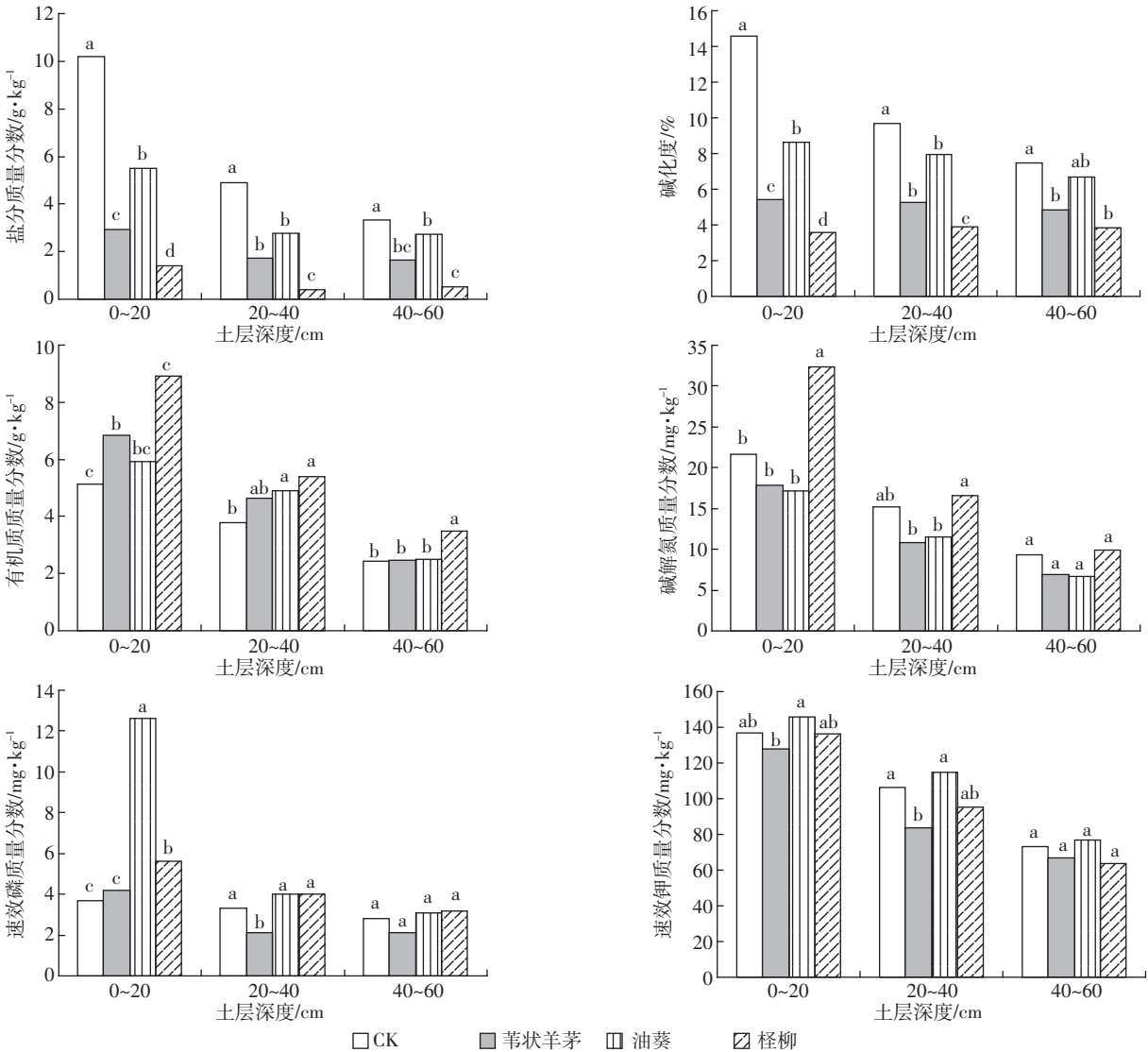


图2 不同耐盐植物改良下土壤水分入渗率与时间的关系

Figure 2 Relationship between soil infiltration rate and time for soil with different halophytes



同一土层不同植物之间进行方差分析,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

图 3 不同耐盐植物对盐碱土盐分、养分的影响

Figure 3 Effects of different halophytes on soil nutrition and salt content

者^[8]。土壤微生物的数量取决于土壤的质量,土壤微生物量一方面反映土壤中物质和能量代谢的旺盛程度,另一方面也是反映土壤质量好坏的重要指标^[9]。

通过 3 年的治理,3 种措施下土壤中细菌、真菌、放线菌均有不同程度的增加(表 3)。与 CK 相比,种植怪柳、芎状羊茅、油葵使 0~20 cm 土壤中微生物含量分别增加了 6.4、5.5 倍和 4.1 倍,使 20~40 cm 土壤中微生物含量分别增加了 7.0、6.6 倍和 5.5 倍。土壤微生物增加量由大到小的顺序为怪柳>芎状羊茅>油葵,这与土壤有机质的积累一致,与土壤的渗透性(通透性)的增加也是一致的。

2.4 相关性分析

从表 4 可知,土壤全盐含量和碱化度分别与土壤

细菌、真菌数量呈负相关,表明盐碱胁迫对土壤微生物的生存、繁殖具有很大的障碍作用,不利于土壤微生物环境的良好发展。有机质、速效钾分别与真菌、放线菌呈显著正相关,表明增加土壤有机肥可提高土壤微生物数量,改善土壤微生物环境。由此可知,盐碱地改良目标就是降低盐分含量、增加土壤肥力,从而改善土壤理化性质和微生态环境。

3 结论

(1)耐盐植物的种植降低了土壤容重,与 CK 地相比,怪柳治理下的土壤在 0~60 cm 范围容重均有明显的降低,芎状羊茅治理下的土壤 0~40 cm 范围内容重均有明显的降低,油葵治理下的土壤仅在 0~20 cm

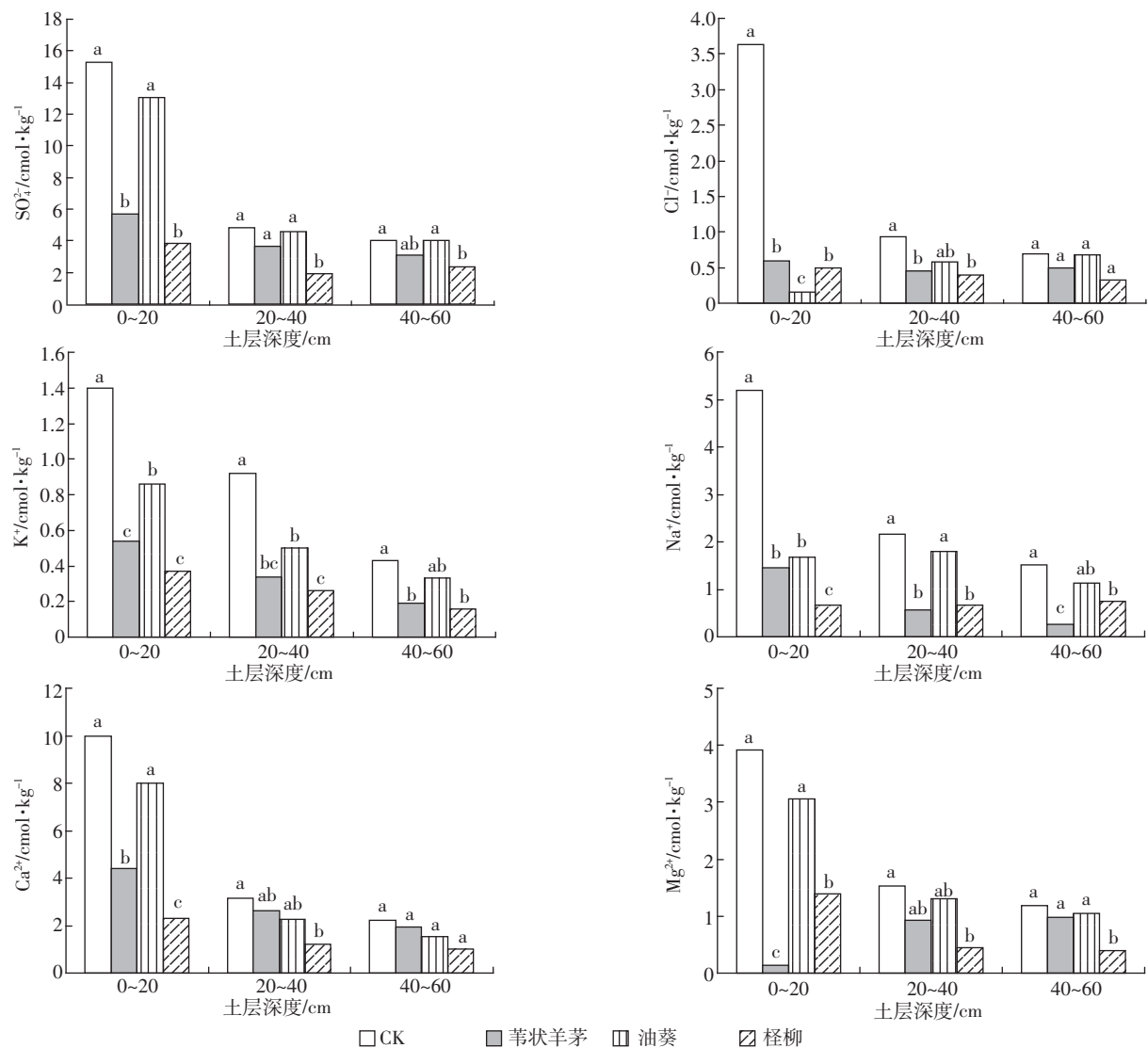


图 4 不同耐盐植物对盐碱土盐基离子含量的影响

Figure 4 Effects of different halophytes on salt ions of soil

表 3 不同耐盐植物对土壤微生物数量的影响

Table 3 Effects of different halophytes on microbial quantity in soil

耐盐植物	土层深度/cm	细菌/ $10^6 \cdot \text{g}^{-1}$			放线菌/ $10^6 \cdot \text{g}^{-1}$			真菌/ $\times 10^3 \cdot \text{g}^{-1}$			总数/ $10^6 \cdot \text{g}^{-1}$		
		CK 值	试验值	增加/倍	CK 值	试验值	增加/倍	CK 值	试验值	增加/倍	CK 值	试验值	增加/倍
柽柳	0~20	1.64±0.56	12.73±1.65a	6.8	0.52±0.16	3.30±0.30b	5.3	1.73±0.54	27.93±5.74a	15.1	2.16±0.61	16.06±1.80a	6.4
	20~40	1.08±0.28	7.55±1.10a	6.0	0.22±0.05	2.81±0.15a	11.8	0.75±0.25	19.13±3.23a	24.5	1.30±0.32	10.38±1.18a	7.0
苇状羊茅	0~20	1.64±0.56	10.07±0.61b	5.1	0.52±0.16	4.03±0.54a	6.8	1.73±0.54	25.05±4.13b	13.5	2.16±0.61	14.13±0.88ab	5.5
	20~40	1.08±0.28	7.89±1.22a	6.3	0.22±0.05	1.93±0.18b	7.8	0.75±0.25	10.65±3.24c	13.2	1.30±0.32	9.83±1.31ab	6.6
油葵	0~20	1.64±0.56	7.33±0.13c	3.5	0.52±0.16	3.64±0.35ab	6.0	1.73±0.54	23.83±6.13c	12.8	2.16±0.61	10.99±0.31b	4.1
	20~40	1.08±0.28	6.24±1.35a	4.8	0.22±0.05	2.22±0.36ab	9.1	0.75±0.25	15.74±1.85b	20.0	1.30±0.32	8.48±1.53b	5.5

注:不同小写字母表示同一土层不同植物间差异显著($P < 0.05$),CK 为对照组。

范围容重降低明显,容重的降低表明土壤结构的改善,从而改善了水盐运移状况。“盐随水来、盐随水去”春季,苇状羊茅、柽柳表层土壤含水率明显高于油葵

和 CK,其中以苇状羊茅表层土壤含水率最高,保持在 15%以上,有效抑制春季土壤返盐。秋季,各耐盐植物同样地保持表层土壤含水量少受损失,明显高于 CK,

表 4 盐碱土主要质量指标相关性分析

Table 4 Analysis on correlations among main quality indexes of saline-alkali soil										
	pH 值	全盐含量	碱化度	有机质	碱解氮	速效磷	速效钾	细菌	放线菌	真菌
pH 值	1	0.1	0.1	-0.23	-0.4	0.09	-0.05	0.28	-0.22	0.11
全盐含量		1	0.96**	-0.29	0.08	0.18	0.53	-0.48	0.38	-0.54
碱化度(ESP)			1	-0.49	-0.1	0.07	0.37	-0.58	0.14	-0.70*
有机质				1	0.83**	0.27	0.54	0.5	0.53	0.69*
碱解氮					1	0.2	0.61	-0.06	0.58	0.21
速效磷						1	0.65	0.33	0.62	0.4
速效钾							1	0.19	0.73*	0.21
细菌								1	0.21	0.92**
放线菌									1	0.43
真菌										1

注:** 表示在 0.01 水平显著,* 表示在 0.05 水平显著。

随着土壤深度的变化,各处理土壤含水量表现为先减少又增加的变化趋势,表明土壤水分向下淋洗作用明显。同时,耐盐植物的种植提高了土壤水分入渗率,各处理土壤初始及稳定入渗率均较 CK 明显升高,利于土壤盐分的淋洗。初始及稳定入渗率顺序依次为:柽柳>苇状羊茅>油葵>CK。

(2)耐盐植物明显降低耕层土壤盐分,土壤盐分降低顺序为柽柳>苇状羊茅>油葵,各处理均表现为表层(0~20 cm)脱盐量最显著,依次为底层(20~40 cm)和(40~60 cm)递减。土壤有机质均有不同程度的增加,其中柽柳土壤中有有机质增加最显著,苇状羊茅和油葵 0~40 cm 土层有机质增加较明显,40~60 cm 土层有机质增加不明显。各土壤盐分离子浓度呈下降趋势,下降幅度为柽柳>苇状羊茅>油葵。但是,苇状羊茅表层土壤中 Mg^{2+} 下降幅度达 96.4%,油葵表层土壤中 Cl^{-} 下降幅度达 95.6%,这表明盐分离子的变化不但与随水分迁移有关,与植物选择性吸收亦有密切的关系。

(3)耐盐植物显著增加土壤微生物量,与 CK 相比,种植柽柳、苇状羊茅、油葵使 0~20 cm 土壤微生物含量分别增加了 6.4、5.5 倍和 4.1 倍,使 20~40 cm 土壤微生物含量分别增加了 7.0、6.6 倍和 5.5 倍。

经综合分析认为,柽柳改良效果最显著,其次为苇状羊茅,油葵最次,说明多年生灌木和草本改良效果好,一年生油葵由于人为扰动频繁,土壤养分损失严重,减弱了其生物改良效果。但是,由于不同耐盐植物对盐分离子的选择吸收性不同,有针对性地根据盐碱地类型选择适宜的耐盐植物(如油葵选择吸收 Cl^{-} ,可在以 Cl^{-} 为主的盐碱地类型上种植进行改良利用),通过生态规划,采用“草、灌、经”相结合的盐碱地综合

生态修复利用模式,将会突显出更佳的改良效果。

参考文献:

[1] Yeo A R. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants[J]. *Sci Hortic (Amsterdam)*, 1999 (78): 159-174.

[2] Ashraf M. Developing salt-tolerant crop plants:Challenges and opportunities Toshio Yamaguchi and Eduardo Blumwald[J]. *Trends in Plant Science*, 2005, 12(10):615-620.

[3] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. *Biotechnology Advances*, 2009 (27): 84-93.

[4] Asish Kumar Parida, Anath Bandhu Das. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005(60):324-349.

[5] Clark G J, Dodgshun. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007(39):2806-2817.

[6] Li Fahu, Keren R. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation:A laboratory study[J]. *Soil Science Society of China Published by Elsevier Limited and Science Press*, 2009, 19(4):465-475.

[7] 周学武. 粉煤灰与污泥配施改良山东郑路、华丰盐碱地的实验研究[D]. 北京:中国地质大学, 2006:8-9.
ZHOU Xue-wu. Study on improving alkali-saline soil by adding the coal ash and sewage sludge reasonably in Zhenglu and Huafeng Shandong Province[D]. Beijing:China University of Geosciences, 2006:8-9.

[8] 邢尚军, 张建锋, 郝金标, 等. 白刺造林对重盐碱地的改良效果[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(6):96-98.
XING Shang-jun, ZHANG Jian-feng, XI Jin-biao, et al. Effect of *nitraria sibirica* afforestation on soil amelioration in heavy saline-alkali soils[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 31(6):96-98.

[9] 彭红春, 李海英, 沈振西, 等. 利用人工种草改良柴达木盆地弃耕盐碱地[J]. 草业学报, 2003(10):26-30.
PENG Hong-chun, LI Hai-ying, SHEN Zhen-xi, et al. Utilizing artifi-

- cial pasture to improve the abandoned arable land in the Chaidamu Basin[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003(10):26-30.
- [10] 钦佩,周春霖,安树青,等. 海滨盐土农业生态工程[M]. 北京:化学工业出版社, 2002:4-5.
- QIN Pei, ZHOU Chun-lin, AN Shu-qing, et al. Agriculture ecological engineering of seaside saline land[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002:4-5.
- [11] 李玉英,余常兵,孙建好,等. 蚕豆/玉米间作系统经济生态施氮量及对氮素环境承受力[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3):223-227.
- LI Yu-ying, YU Chang-bing, SUN Jian-hao, et al. Nitrogen environmental endurance and economically-ecologically appropriate amount of nitrogen fertilizer in faba bean/maize intercropping system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(3): 223-227.
- [12] 白岗栓,杜社妮,耿桂俊,等. 定植穴对局部土壤物理性质及苹果生长的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6):26-33.
- BAI Gang-shuan, DU She-ni, GENG Gui-jun, et al. Effects of planting hole on partial soil physical properties and apple growth[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(6): 26-33.
- [13] Bissonnais Y, Acrouays L D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility[J]. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48(12):39-49.
- [14] 李银坤,武雪萍,梅旭荣,等. 常规灌溉条件下施氮对温室土壤氨挥发的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7):23-30.
- LI Yin-kun, WU Xue-ping, MEI Xu-rong, et al. Effects of nitrogen application on ammonia volatilization in greenhouse soil under condition of conventional irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(7):23-30.
- [15] 程丽娟,薛泉宏. 微生物实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司, 2001:80-83.
- [16] 张成娥,刘国宾,陈小利. 坡地不同利用方式下土壤微生物和酶活性以及生物量的特征[J]. 土壤通报, 1999, 30(3):101-103.
- ZHANG Cheng-e, LIU Guo-bin, CHEN Xiao-li. With different land use activity characteristics of soil microbial biomass and enzyme in slope-land[J]. *Journal of Soil Science*, 1999, 30(3):101-103.
- [17] 梁丽娜,李季,杨合法,等. 不同蔬菜生产模式对日光温室土壤质量的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8):186-191.
- LIANG Li-na, LI Ji, LI He-fa, et al. Effect of organic, low-input and conventional production model on soil quality in solar greenhouse vegetable growing system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(8):186-191.
- [18] 米国全,袁丽萍,龚元石,等. 不同水氮供应对日光温室番茄土壤酶活性及生物环境影响的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7):124-127.
- MI Guo-quan, YUAN Li-ping, GONG Yuan-shi, et al. Influences of different water and nitrogen supplies on soil biological environment in solar greenhouse[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2005, 21(7):124-127.
- [19] 孙光闻,陈日远,刘厚诚. 设施蔬菜连作障碍原因及防治措施[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12):184-188.
- SUN Guang-wen, CHEN Ri-yuan, LIU Hou-cheng. Causes and control measures for continuous cropping obstacle in protected vegetable cultivation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(12):184-188.
- [20] 李元,司力珊,张雪艳,等. 填闲作物对日光温室土壤环境作用效果比较研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1):224-229.
- LI Yuan, SI Li-shan, ZHANG Xue-yan, et al. Comparative study on the effects of catch crops on soil environment in solar greenhouse[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(1):224-229.
- [21] 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.
- LEI Jin-yin, ZHANG Jian-ning, BAN Nai-rong, et al. The effects of different types of halophytes on saline-alkaline soil physical properties [J]. *Ningxia Journal of Agri and Fores Sci & Tech*, 2011, 52(12):58-60.
- [22] 李西开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社, 1983:100-133.