

doi:10.7668/hbxb.2014.05.038

# 种植耐盐植物对滨海盐碱地土壤盐分的影响

王立艳<sup>1</sup>, 潘洁<sup>1</sup>, 肖辉<sup>1</sup>, 程文娟<sup>1</sup>, 杨勇<sup>2</sup>

(1. 天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192; 2. 天津市农作物研究所, 天津 300112)

**摘要:**为了揭示不同耐盐植物根际土壤与对照之间的盐分差异,通过大田试验研究了田菁、苜蓿、苏丹草、碱蓬4种耐盐植物不同生长期各土层可溶性盐分和盐分离子测定分析,研究了4种耐盐植物根际土壤与对照土壤中的可溶性盐分和主要盐分离子的运移特征。结果表明:种植耐盐植物对表层土壤具有明显的脱盐效果,其中田菁对表层及0~80 cm土层的脱盐效果最好。10月份耐盐植物处理表层土脱盐效果顺序为田菁>苏丹草>苜蓿>碱蓬;0~80 cm整体各处理的脱盐顺序为田菁>苜蓿>苏丹草>碱蓬。 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 均在对照的0~10 cm土层中含量最高,耐盐植物根际土壤0~10、10~20 cm土层中 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 含量要显著低于对照土壤的含量。种植耐盐植物后,根际土壤中可溶性 $\text{Ca}^{2+}$ 含量增加,使更多的 $\text{Na}^+$ 被取代后将其移除到耕层以下,说明种植耐盐植物处理对 $\text{Na}^+$ 的移除效果比较明显。

**关键词:**土壤;耐盐植物;可溶性盐分;盐分离子

**中图分类号:**S156.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)05-0226-06

## Effect of Soluble Salt on Planting Salt-tolerant Plants of Coastal Saline Soil

WANG Li-yan<sup>1</sup>, PAN Jie<sup>1</sup>, XIAO Hui<sup>1</sup>, CHENG Wen-juan<sup>1</sup>, YANG Yong<sup>2</sup>

(1. Tianjin Institute of Agricultural Resources and Environment, Tianjin 300192, China;

2. Tianjin Crops Research Institute, Tianjin 300112, China)

**Abstract:** Field experiments were conducted to investigate the characteristics of soluble salt contents and main salt contents of rhizosphere soil from four different salt-tolerant plants and comparison treatment. The aim of these experiments was to reveal the salt contents difference between the rhizosphere soil of four salt-tolerant plants and comparison treatment. The results showed that four salt-tolerant plants treatments had obvious function of restraining salt accumulation in surface layer. *Sesbania cannabina* Pers. had best effects on restraining the accumulation of soil salinity in surface layer and 0–80 cm layers. The reduced water-soluble salt sequence in surface layer from high to low was *Sesbania cannabina* > *Sorghum sudanense* > *Medicago sativa* > *Suaeda salsa* on October, 18th, 2013; the reduced water-soluble salt sequence from high to low for all over the 0–80 cm layers was *Sesbania cannabina* > *Medicago sativa* > *Sorghum sudanense* > *Suaeda salsa*.  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  exhibited enrichment in 0–10 cm layer of comparison treatment;  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  reduced significantly in the rhizosphere soil of four tested plants than comparison treatment for 0–10 cm and 10–20 cm layers.  $\text{Ca}^{2+}$  increased significantly in the rhizosphere soil of four tested plants than comparison treatment among the whole layers. More and more  $\text{Na}^+$  was replaced by  $\text{Ca}^{2+}$  with the cultivating four salt-tolerant plants, therefore the effects was extremely obvious for  $\text{Na}^+$  removal by planting salt-tolerant plants.

**Key words:** Soil; Salt-tolerant plants; Soluble salt; Soil ions

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。据资料报道,全球25%的土地面

积受盐渍化影响<sup>[1]</sup>。我国盐碱地有 $2.6 \times 10^7 \text{ hm}^{[2]}$ ,主要分布在东北、华北、西北内陆地区的灌

收稿日期:2014-05-23

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAD05B08);天津市农业科学院院长基金项目(11012)

作者简介:王立艳(1981-),女,黑龙江海伦人,助理研究员,硕士,主要从事盐碱地改良及植物营养研究。

通讯作者:潘洁(1968-),女,江苏溧阳人,副研究员,主要从事盐碱地改良研究。

溉农业区或干旱农业区以及长江以北沿海地带。

天津市农业耕地面积为 44.52 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>, 其中盐渍化耕地的总面积为 24.27 万  $\text{hm}^2$ , 占 54.51%。近年来, 随着滨海新区生态园林城市步伐的加快, 在实施滨海新区开发开放的战略中, 面临的最突出的问题即是如何利用盐碱地进行绿化。当前我国盐碱地改良的措施主要包括物理改良<sup>[4-6]</sup>、化学改良<sup>[7-10]</sup>、生物改良<sup>[11-14]</sup>等。物理改良和化学改良以大水浇灌和换土为前提, 并需要有大量资金投入作保证; 而生物改良措施则具有投入成本低、有效、环保等优点<sup>[15]</sup>。天津淡水资源和客土资源都十分紧张, 因此, 开展生物改良盐碱地研究对天津环境的可持续发展具有重要意义。

国内外对耐盐植物的研究, 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的影

响等方面<sup>[16]</sup>, 而对于耐盐植物根际土壤化学特征方面的研究却很少。本研究选择 4 种耐盐草本植物, 通过大田试验研究了 4 种耐盐植物根际土壤与对照土壤的可溶性盐分和主要盐分离子的运移特征, 以期揭示不同耐盐植物根际土壤与对照之间的盐分差异, 以及不同耐盐植物根际土壤主要盐分离子的迁移规律, 对进一步了解根际微环境在耐盐植物适应盐渍环境中的作用具有重要的指导意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地点

试验设在天津市大港农场, 年降雨量 580 ~ 695 mm, 但分布不均, 70% 集中在 6 ~ 8 月份, 年均蒸发量 1 100 mm, 地下水位 0.9 ~ 1.5 m。试验田土壤各层盐碱情况见表 1、离子组成见表 2。

表 1 土壤各层全盐及 pH 值(2013 年 4 月 26 日)

Tab. 1 Salinity and pH of experimental plot on April, 26th, 2013

土层/cm Soil depth	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80
全盐/% Total salinity	0.377 ± 0.030	0.364 ± 0.032	0.341 ± 0.029	0.329 ± 0.023	0.324 ± 0.018
pH 值 pH value	8.18	8.27	8.35	8.38	8.46

表 2 供试土壤各层离子组成

Tab. 2 Salt ions composition of soil

g/kg

土层/cm Soil depth	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
0 ~ 10	-	0.072 9 ± 0.018	1.615 ± 0.007	0.676 ± 0.082	0.256 ± 0.030	0.156 ± 0.027	0.997 ± 0.120	-
10 ~ 20	-	0.098 1 ± 0.015	1.387 ± 0.007	0.740 ± 0.080	0.197 ± 0.021	0.123 ± 0.011	1.064 ± 0.112	-
20 ~ 40	-	0.099 5 ± 0.010	1.419 ± 0.005	0.561 ± 0.043	0.124 ± 0.009	0.099 ± 0.008	1.091 ± 0.085	-
40 ~ 60	-	0.097 5 ± 0.008	1.354 ± 0.005	0.554 ± 0.036	0.110 ± 0.007	0.071 ± 0.005	1.093 ± 0.077	-
60 ~ 80	-	0.101 3 ± 0.003	1.326 ± 0.004	0.533 ± 0.033	0.103 ± 0.006	0.076 ± 0.005	1.091 ± 0.064	-

注: “-”代表未检出。

Note: “-” represent not detected.

### 1.2 材料

分别为田菁 (*Sesbania cannabina*)、苜蓿 (*Medicago sativa*)、苏丹草 (*Sorghum sudanense*)、碱蓬 (*Suaeda salsa*), 其中, 田菁种子为市售种子; 苜蓿种子为中国农业科学院畜牧研究所选育的中苜一号; 苏丹草种子为天津农学院农学系选育; 碱蓬为试验地周围自然生长。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 试验设 5 个处理, 分别为田菁、苜蓿 (中苜一号)、苏丹草、碱蓬、对照 (裸地)。每个处理重复 4 次, 每小区面积为 20  $\text{m}^2$ , 共 20 个小区, 随机区组排列。其中田菁和苜蓿既是耐盐植物又是优良的绿肥作物; 苏丹草是优良的耐盐牧草, 又是目前渔业养殖的主要饲料作物; 碱蓬耐盐能力强, 也是盐碱地种植的优良植物。

种植时间为 2013 年 5 月 15 日, 田菁、苜蓿、苏丹草均采用种子种植, 碱蓬采用移栽方式种植。种植密度为: 田菁播种量 150  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 苜蓿 40  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; 苏丹草 30  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

各处理于 2013 年 5 月 28 日, 6 月 19 日各浇一次淡水, 灌水量为 600  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ , 水的矿化度为 0.69  $\text{g}/\text{L}$ 。间苗、锄草等日常管理同常规。

1.3.2 样品采集及分析 分别在 2013 年 7 月 8 日、8 月 20 日、10 月 18 日, 即在苗期、旺盛生长期、收获期各采样一次, 每次均分 5 层 (0 ~ 10, 10 ~ 20, 20 ~ 40, 40 ~ 60, 60 ~ 80  $\text{cm}$ ) 采集土壤样品。

将采集的土样在室内风干并过 2 mm 筛, 取风干土按水土比 5:1 制备待测液, 用于可溶性盐分总量及盐分离子的测定。可溶性盐分总量 (EC 值) 用电导法;  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  用火焰光度计法;  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  采

用 EDTA 络合滴定法;  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂滴定法;  $\text{Cl}^-$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法;  $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 容量法<sup>[17]</sup>。

#### 1.4 数据处理

数据统计采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤电导率随时间变化趋势

从图 1 中可以看出, 种植耐盐植物有利于降低根际土壤的盐分含量, 尤其是对表层土壤的脱盐效果更明显。7、8、10 月份生长同期的耐盐植物处理土壤脱盐效果由高到低的顺序一致, 均为田菁 > 苏丹草 > 苜蓿 > 碱蓬。

不同生长期, 种植耐盐植物的处理 0~80 cm 各土层的电导率均表现出表层电导率最低, 同时由表层到深层土壤含盐量是逐渐增加的; 而对照则表现为表层电导率最高, 由表层到深层含盐量是逐渐减少的。经多重比较得出, 种植田菁、苏丹草、苜蓿、碱蓬与对照间的差异达显著水平, 各个处理间差异也达显著水平。

种植耐盐植物与对照相比, 0~10、10~20 cm 根际土壤脱盐效果比较明显。7 月份时, 4 种耐盐植物 0~10、10~20 cm 脱盐率分别为 57.28%~64.58% 和 40.09%~50.89%; 8 月份时, 脱盐率分别为 60.24%~64.70% 和 34.80%~46.41%; 10 月份时, 脱盐率分别为 46.91%~52.24% 和 27.34%~39.71%。

随着耐盐植物生育期的延长, 20~40 cm 土层的脱盐效果要小于 0~10、10~20 cm。7 月份时, 20~40 cm 土层 4 种耐盐植物脱盐率为 11.49%~

24.65%, 8 月份和 10 月份除了田菁表现出一定的脱盐率外, 其他 3 种植物表现出了轻微的积盐。

40~80 cm 土层, 田菁在 7、8 月份的脱盐率为 3.82% 和 4.68%, 而苜蓿、苏丹草、碱蓬在 7 月份和 8 月份时的积盐率分别为 12.40%, 13.20%, 7.09% 和 8.12%, 8.52%, 5.29%。10 月份时, 4 种耐盐植物积盐率由大到小的顺序为苏丹草 > 苜蓿 > 碱蓬 > 田菁, 分别为 38.70%, 33.30%, 30.20%, 19.80%。

0~80 cm 整体各处理的脱盐效果也存在差异, 田菁在 7、8、10 月份脱盐率分别达到 29.55%, 25.18%, 10.81%; 苜蓿在 7、8、10 月份脱盐率分别达到 20.98%, 17.58%, 4.03%; 苏丹草在 7、8、10 月份脱盐率分别达到 19.90%, 18.04%, 0.97%; 碱蓬在 7、8 月份脱盐率分别达到 18.94%, 15.01%, 10 月份碱蓬与对照相比积盐率为 0.50%。

随着生长期的延长, 4 种耐盐植物与种植前相比, 每种耐盐植物的 0~20、0~80 cm 整体的脱盐率均表现出逐渐增大的趋势。到 10 月份时, 田菁在 0~20、0~80 cm 与种植前相比脱盐率为 43.24% 和 34.99%; 苜蓿在 0~20、0~80 cm 与种植前相比脱盐率为 40.91% 和 30.67%; 苏丹草在 0~20、0~80 cm 与种植前相比脱盐率为 41.24% 和 28.76%; 碱蓬在 0~20、0~80 cm 与种植前相比脱盐率为 33.95% 和 26.15%。

综合 4 种耐盐植物整个生长期脱盐效果的比较, 田菁对于 0~20、0~80 cm 土层的脱盐效果最好, 苏丹草和苜蓿次之, 碱蓬脱盐效果最差。这表明, 不同品种的盐植物其耐盐能力存在很大的差异, 耐盐植物对滨海盐碱地土壤脱盐效果的差异可能还与植物的根系形态、根系生物量、根际作用等植物根系生物学特性相关<sup>[18]</sup>。

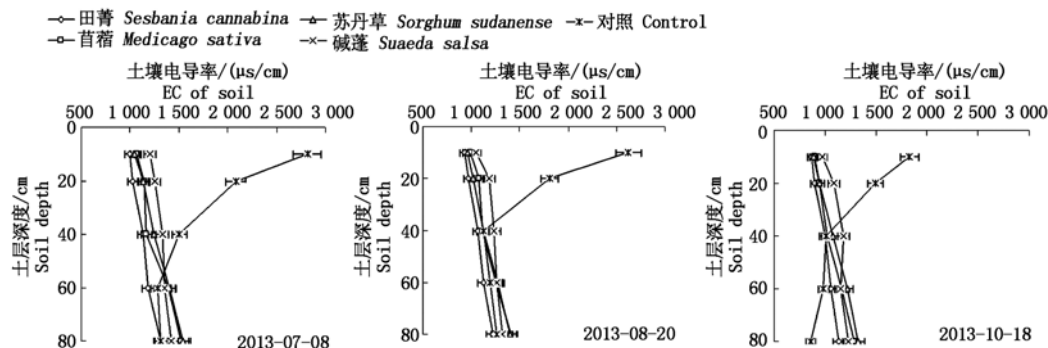


图 1 根际土壤各层电导率变化

Fig. 1 EC changes in different layers of rhizosphere soil

### 2.2 土壤主要盐分离子的运移特征

10 月份时,  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{K}^+$  在 4 种耐盐植物根际土壤和对照土中均未检出, 说明种植这 4 种耐盐植物

对提高土壤  $\text{K}^+$  的效果不显著。从图 2 可知,  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  含量与同一生长时期的对照土壤相比因离子种类的不同、植物种

类的不同而有差异,同一盐分离子在不同土层的运移也存在着差异。

从图 2 可以看出,在 0~10 cm 土层中, $\text{HCO}_3^-$  在对照中含量最高,在耐盐植物中的含量由高到低的顺序为田菁>碱蓬>苜蓿>苏丹草,经差异显著性分析可知,对照土层中的  $\text{HCO}_3^-$  含量与 4 种耐盐

植物之间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ),4 种耐盐植物间除了苜蓿和碱蓬间差异不显著外,其他的每 2 种耐盐植物间差异达显著水平。其他 4 个土层中  $\text{HCO}_3^-$  含量均是在田菁中最高,且 4 种耐盐植物和对照间差异均达显著水平。

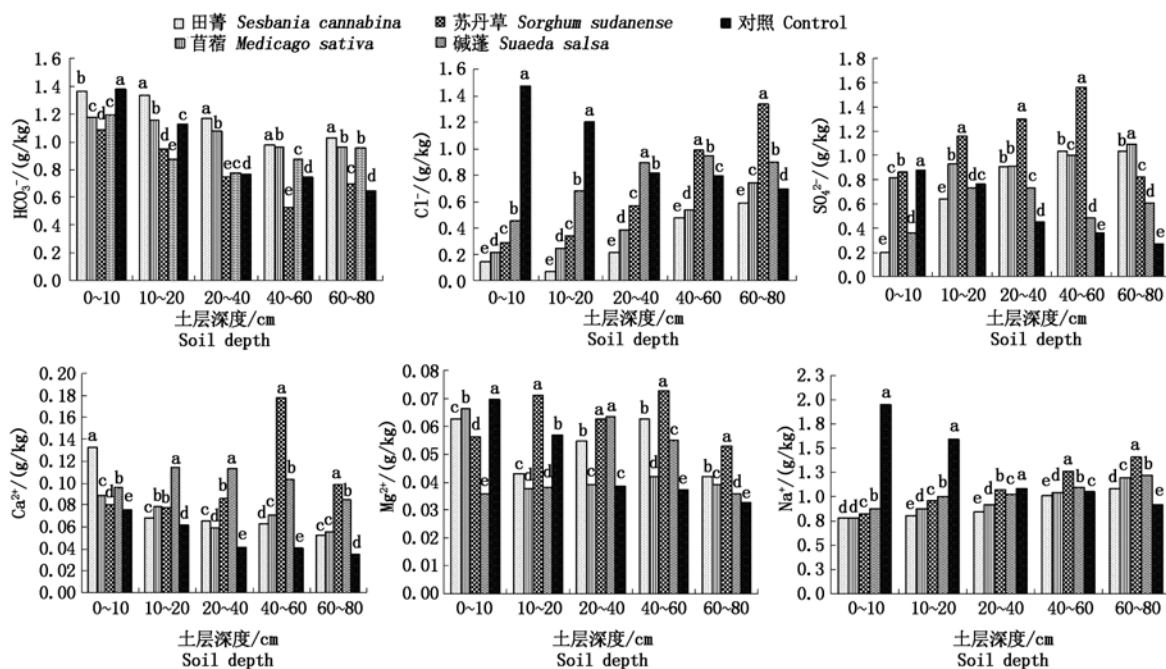


图 2 不同耐盐植物根际土壤和对照主要盐分离子含量

Fig. 2 Main salt contents of rhizosphere soil from different salt-tolerant plants and comparison treatment

$\text{Cl}^-$  在 5 个土层中均表现出耐盐植物和对照之间的差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。在 0~10, 10~20 cm 土层, 对照的  $\text{Cl}^-$  含量要显著高于其他 4 种耐盐植物 ( $P < 0.05$ ), 说明  $\text{Cl}^-$  在对照的 0~10, 10~20 cm 土层中出现明显增加。0~10, 10~20 cm 土层的  $\text{Cl}^-$  含量由高到低的顺序为对照>碱蓬>苏丹草>苜蓿>田菁; 其他 3 个土层中,  $\text{Cl}^-$  含量的高低在耐盐植物处理中表现不一。20~40 cm 土层  $\text{Cl}^-$  表现最富集的耐盐植物是碱蓬; 40~60, 60~80 cm 土层  $\text{Cl}^-$  表现最富集的耐盐植物是苏丹草。

$\text{SO}_4^{2-}$  与  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  表现一致, 在对照 0~10 cm 土层中含量最高, 在耐盐植物中  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量由高到低的顺序为苏丹草>苜蓿>碱蓬>田菁, 经差异显著性分析可知, 对照与 4 种耐盐植物之间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 4 种耐盐植物间差异达显著水平。 $\text{SO}_4^{2-}$  在耐盐植物的 20~80 cm 土层中显著高于对照。在 10~20, 20~40, 40~60 cm 土层中,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量最高的耐盐植物是苏丹草; 在 60~80 cm 土层  $\text{SO}_4^{2-}$  含量最高的耐盐植物是苜蓿。

$\text{Ca}^{2+}$  在各个土层中的表现一致, 4 种耐盐植物和对照之间的差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。在

0~10 cm 土层, 田菁的  $\text{Ca}^{2+}$  含量要显著高于其他 4 个处理。其他 4 个土层中,  $\text{Ca}^{2+}$  在 4 种耐盐植物处理中表现不同。10~20, 20~40 cm 土层中, 碱蓬的  $\text{Ca}^{2+}$  含量显著高于其他几种耐盐植物; 40~60, 60~80 cm 土层中, 苏丹草的  $\text{Ca}^{2+}$  含量最高, 对照的  $\text{Ca}^{2+}$  含量最低。

$\text{Mg}^{2+}$  在不同土层、不同植物间表现不同。在 0~10 cm 土层中,  $\text{Mg}^{2+}$  的含量由高到低的顺序为对照>苜蓿>田菁>苏丹草>碱蓬, 经差异显著性分析可知, 对照土层中的  $\text{Mg}^{2+}$  含量与 4 种耐盐植物之间的差异也达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 4 种耐盐植物之间的差异也达显著水平。在 20~40 cm 土层中, 碱蓬中  $\text{Mg}^{2+}$  含量最高。其他 3 个土层中, 苏丹草中  $\text{Mg}^{2+}$  含量最高。

$\text{Na}^+$  在 0~10 cm 土层中含量由高到低的顺序为对照>碱蓬>苏丹草>田菁>苜蓿, 经差异显著性分析可知, 对照土层中的  $\text{Na}^+$  含量与 4 种耐盐植物之间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 4 种耐盐植物之间的差异除了田菁和苜蓿之间差异不显著之外, 其他 2 种耐盐植物间差异也达显著水平。在 10~20, 20~40 cm 土层中,  $\text{Na}^+$  在对照土层中的含量显

著高于耐盐植物处理; 40 ~ 60, 60 ~ 80 cm 土层中, 苏丹草的  $\text{Na}^+$  含量最高。

从表 3 可以看出, 同一土层的  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ , 耐盐植物处理要小于对照, 表明  $\text{Na}^+$  相对于  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  在土壤中的含量降低了, 种植耐盐植物对钠离子的移除效果是显著的。在同一耐盐植物处理中,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$  从表层到深层比值呈逐渐增大的趋势, 说明  $\text{Na}^+$  由表层至深层相对于  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  增加比例大。  $\text{Na}^+$  在土壤中的移动性强, 导致耐盐植物处理  $\text{Na}^+$  含量底层高于表层,  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$  相对在底层的比值大。  $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$  存在着同一土层的不同耐盐植物处理要小于对照, 表明  $\text{Cl}^-$  相对于  $\text{SO}_4^{2-}$  在耐盐植物根际土壤中的含量也相对降低了, 种植耐盐植物对  $\text{Cl}^-$  的移除效果也是显著的。

表 3 不同耐盐植物根际土壤盐分组成的变化

Tab.3 Salt components changes of rhizosphere soil in different plants during different layers

处理 Treatments	土层/cm Soil depth	$\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$
田菁 <i>Sesbania</i>	0 ~ 10	5.88e	12.50e	0.77a
	10 ~ 20	11.86d	18.64b	0.11e
<i>cannabina</i>	20 ~ 40	12.96c	15.43d	0.23d
	40 ~ 60	16.13b	16.13c	0.46c
	60 ~ 80	20.70a	25.88a	0.57b
苜蓿 <i>Medicago</i>	0 ~ 10	8.78e	11.71e	0.26d
	10 ~ 20	11.23d	23.20d	0.26d
<i>sativa</i>	20 ~ 40	15.54b	23.31c	0.42c
	40 ~ 60	14.67c	24.71b	0.53b
	60 ~ 80	21.79a	26.02a	0.68a
苏丹草 <i>Sorghum</i>	0 ~ 10	10.33d	14.76c	0.33d
	10 ~ 20	12.26c	13.45d	0.29e
<i>sudanense</i>	20 ~ 40	12.59c	17.20b	0.43c
	40 ~ 60	13.38b	17.27b	0.63b
	60 ~ 80	14.26a	26.55a	1.62a
碱蓬 <i>Suaeda</i>	0 ~ 10	9.22c	24.58c	1.26c
	10 ~ 20	8.78e	26.34b	0.93e
<i>salsa</i>	20 ~ 40	9.03d	16.13e	1.22d
	40 ~ 60	10.67b	20.00d	1.96a
	60 ~ 80	14.45a	27.10a	1.47b
对照 Control	0 ~ 10	25.79d	27.94d	1.81d
	10 ~ 20	25.92c	28.08c	1.58e
	20 ~ 40	28.32a	30.68a	1.94c
	40 ~ 60	25.98c	28.15c	2.17b
	60 ~ 80	26.21b	28.39b	2.44a

注: 图中同一处理不同土层不同小写字母表示在  $P < 0.05$  水平上差异显著。

Note: Different small letters in the different depth mean the significant difference of the same treatment at 0.05 level.

### 3 结论与讨论

与以往的研究结果一致<sup>[12-13]</sup>, 本研究表明在滨海盐碱地上种植耐盐植物可以有效地促进土壤脱盐, 但不同耐盐植物的脱盐效果存在差异。4 种耐盐植物中, 田菁对于表层土和 0 ~ 80 cm 土层的脱盐效果最好, 苏丹草和苜蓿次之, 碱蓬脱盐效果最差。10 月份时, 耐盐植物处理的 0 ~ 20 cm 土层与对照相比平均脱盐率为 45.97%, 44.06%, 43.75%, 37.12%; 0 ~ 80 cm 整体各处理的脱盐顺序为田菁 > 苜蓿 > 苏丹草 > 碱蓬, 田菁、苜蓿、苏丹草与对照相比脱盐率分别达到 10.81%, 4.03%, 0.97%, 但是碱蓬却表现一定的积盐现象, 与对照相比积盐率为 0.5%。

有关植物根际  $\text{K}^+$  含量状况的结论并不一致<sup>[19-20]</sup>。本研究结果是种植耐盐植物对提高土壤  $\text{K}^+$  的效果不显著。  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  含量与同一生长时期的对照土壤相比, 因离子种类的不同、植物种类的不同而有差异, 同一盐分离离子在不同土层的运移也存在着差异。

耐盐植物处理, 由于植物的覆盖作用, 减少了土壤水分的蒸发, 有效抑制了土壤盐分的表聚发生, 有利于土壤脱盐<sup>[21]</sup>, 4 种耐盐植物根际土壤的 0 ~ 10, 10 ~ 20 cm 中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  含量要显著低于对照土壤的含量。种植耐盐植物后, 由于植物的根际效应, 使得根际土壤中可溶性  $\text{Ca}^{2+}$  含量增加, 使更多的  $\text{Na}^+$  被取代后将其移除到耕层以下, 且同一土层相比, 4 种耐盐植物根际土壤的  $\text{Ca}^{2+}$  含量均高于对照土壤, 种植耐盐植物处理对  $\text{Na}^+$  的移除效果比较明显。

耐盐植物根际土壤离子发生变化的主要原因可能受基因型的影响, 不同耐盐植物根际对土壤中不同离子的选择性吸收作用不同, 这一机理可能是导致土壤中离子发生相对变化的主要原因。

#### 参考文献:

- [1] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers[J]. Biotechnology Advances, 2009, 27: 84-93.
- [2] 薛延丰, 刘兆普. 不同浓度 NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  处理对菊芋幼苗光合及叶绿素荧光的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 161-167.
- [3] 天津市统计局. 2007 天津统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007: 28-29.
- [4] 史文娟, 沈冰, 汪志荣, 等. 蒸发条件下浅层地下水埋沙夹砂层土壤水盐运移特征研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 23-26.
- [5] 杨振兴, 周怀平, 关春林, 等. 长期秸秆还田对旱地土

- 壤硝态氮分布与累积的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(3): 179 - 182.
- [6] 赵永敢, 逢焕成, 李玉义, 等. 秸秆隔层对盐碱土水盐运移及食葵光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(17): 5153 - 5161.
- [7] 郭建斌, 张宾宾, 王百田, 等. 土壤改良剂对沙生灌木生理生态因子的影响研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 611 - 618.
- [8] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 土壤碱化和化学改良对土壤团聚结构的影响不同改良剂对滨海盐渍土水盐特性的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 261 - 264.
- [9] 王文杰, 贺海生, 祖元刚, 等. 施加改良剂对重度盐碱地盐碱动态及杨树生长的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2272 - 2278.
- [10] 杨 军, 邵玉翠, 高 伟, 等. 不同改良剂对微咸水灌溉土壤盐分含量的影响[J]. 天津农业科学, 2012, 18(1): 40 - 45.
- [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): 1139 - 1143.
- [12] 董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等. 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): 2813 - 2821.
- [13] 刘玉新, 谢小丁. 耐盐植物对滨海盐渍土的生物改良试验研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2007, 38(2): 183 - 188.
- [14] 黄丽萍, 王立艳, 杨 勇, 等. 四种耐盐植物根际土壤盐分运移特征研究[J]. 天津农业科学, 2014, 20(6): 73 - 76.
- [15] 赵可夫. 盐生植物资源及盐碱土改良利用[J]. 资源与环境, 1989, 1(1): 40 - 43.
- [16] 赵可夫, 范 海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 72.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 183 - 199.
- [18] 董利苹, 曹 靖, 李先婷, 等. 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): 2813 - 2821.
- [19] 张彦东, 白尚斌. 氮素形态对数木养分吸收和生长的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2044 - 2048.
- [20] 弋良朋, 马 健, 李 彦. 两种土壤条件下荒漠盐生植物根际系统养分分布的实验研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 443 - 448.
- [21] 蔺海明, 贾恢先, 张有福, 等. 毛茛子对次生盐碱地抑盐效应的研究[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 58 - 62.

## 欢迎订阅 2015 年《山西农业科学》

《山西农业科学》是山西省农业科学院主办的大农业学术性期刊(中国科技核心期刊), 主要栏目有: 宏观农业、调查研究、生物技术、遗传育种、耕作栽培、生理生化、资源与环境、植物保护、畜牧兽医、水产渔业、贮藏与加工、信息技术、文献综述等。主要读者对象为: 农业研究机构科研人员、农业院校师生、涉农部门农业技术推广工作者。

本刊为月刊, 大 16 开本, 96 页码。每期定价 8.00 元, 全年 96.00 元。国内统一刊号 CN14 - 1113/S, 邮发代号 22 - 24。

**欢迎订阅, 欢迎投稿!**

地址: 太原市长风街 2 号

邮编: 030006

电话: 0351 - 7089783

E-mail: sxnykx@126.com