

DOI: 10.11686/cyxb2016467

<http://cyxb.lzu.edu.cn>

景鹏成, 王树林, 陈乙实, 鲁为华, 马春晖. 耐盐牧草对南疆地区盐渍土的适应和改良研究. 草业学报, 2017, 26(10): 56-63.

JING Peng-Cheng, WANG Shu-Lin, CHEN Yi-Shi, LU Wei-Hua, MA Chun-Hui. Adaptation of salt-tolerant forage grasses to saline soil and their ability to improve saline soil utilization in southern Xinjiang region. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(10): 56-63.

耐盐牧草对南疆地区盐渍土的适应和改良研究

景鹏成, 王树林, 陈乙实, 鲁为华*, 马春晖

(石河子大学动物科技学院, 新疆 石河子 832000)

摘要:以4种耐盐碱牧草(紫花苜蓿、苏丹草、美国饲用甜高粱和墨西哥玉米)为研究对象,采用生物防治盐碱化方法来分析其对南疆地区盐碱化土壤改良的可行性,以期为改良利用盐渍土壤提供理论基础。结果表明,墨西哥玉米对南疆盐渍土的改良最为显著($P < 0.05$),其农艺性状和产草量也最佳;其次是紫花苜蓿,其抗逆性强、生产性能较好、营养丰富、经济价值高以及兼有固氮和提高土壤肥力等优点,使其成为改良南疆盐渍土合适的选择。在南疆盐渍区形成以墨西哥玉米和紫花苜蓿为主,美国饲用甜高粱和苏丹草为辅的种植模式,可有效地降低土壤盐分。

关键词:盐渍土;耐盐牧草;牧草改良

Adaptation of salt-tolerant forage grasses to saline soil and their ability to improve saline soil utilization in southern Xinjiang region

JING Peng-Cheng, WANG Shu-Lin, CHEN Yi-Shi, LU Wei-Hua*, MA Chun-Hui

College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi 832000, China

Abstract: In order to provide a theoretical basis for the utilization of saline soil, we used controlled salinization to analyze the feasibility of improving saline soil utilization using four different salt-tolerant forage grasses (alfalfa, Sudan grass, wild forage sorghum and Mexico corn) in southern Xinjiang. The results show that maize had significantly better yield performance on saline soil ($P < 0.05$), followed by alfalfa which also produced good yields with good nutritive value and with the advantages of biological nitrogen fixation and high economic value, making it the most appropriate plant species for saline soil in southern Xinjiang. The use of both maize and alfalfa with selective use of sweet sorghum and Sudan grass can effectively reduce the limitation of saline soil in southern Xinjiang.

Key words: saline soil; salt tolerant forage grass; forage improvement

盐碱胁迫对目前农业生产有着重要的影响,全球的盐渍化土地面积约占土地总面积的25%,并且盐碱地的面积每年都在以 $(1\sim 15)\times 10^6\text{ hm}^2$ 的速度不断增加^[1-2]。我国土地面积辽阔,位居世界前三,但是有效耕地面积却有限,不能满足农业发展需求,其原因是有大面积的地区属于植物难以生长的区域。盐渍土壤的困扰不仅是全球农业面临的难题,也是限制我国农业发展的主要瓶颈之一。我国的盐渍土面积达到35万 km^2 ,约占全球盐碱地总面积的10%,但仅仅只有20%的盐碱地可以利用,还有80%的盐碱地尚未得到开发利用^[3-4]。盐碱地在全

收稿日期:2016-12-08;改回日期:2017-02-10

基金项目:国家牧草产业技术体系项目(CARS-35)和兵团博士资金专项(2012BB017)资助。

作者简介:景鹏成(1992-),男,甘肃民勤人,硕士。E-mail:1107463928@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail:winnerlwh@sina.com

国 23 个省市都有分布,是世界上土壤盐渍化最严重的国家^[5]。在农业生产过程中,随着人口的增长、经济的发展,人多地少的矛盾日渐突出,盐渍土的改良和利用也随之成为国内外研究的热点问题之一。

新疆的盐碱土种类繁多^[6],有着“世界盐碱土博物馆”之称。新疆地区的盐渍土面积^[7]达到 8.426 万 hm^2 ,约占全疆耕地面积的 3.58%,尤其是在南疆地区分布最广。南疆由于气候因子的影响,常年干旱,季度总降水量只有 4.5 mm,再加上蒸发强度大,造成了土壤的盐渍化较为严重。近年来,南疆地区耕地盐渍化^[8]的现象虽然有了改观,但是并没有从根本上得到遏制,严重影响了南疆区域的农业发展。在目前我国人均耕地面积严重不足的情况下,合理的改善盐渍化土壤,不但可以增加可利用耕地的面积,促进农业经济的健康发展,还能解决当前新疆的一个重要生态环境问题。

经过长期对盐碱胁迫的适应和研究,国内外学者对许多盐生植物的耐盐碱机理有了新的发现^[9-10]。近年来,利用生物措施改良盐渍化土壤的研究不断深入,在盐渍化土壤中直接种植耐盐植物,进行常规田间管理,通过植物根系和水向下运动的双重作用,将土壤盐分随根系向下推移^[11],利用盐生植物自身特性来吸收盐分。生物措施改良盐渍化土壤的整个过程不需要大量的经济投资,在操作管理上也比较简单可行,既没有严格的条件要求,也不会造成大量的水资源浪费^[12]。为了改善我国盐渍化土壤,恢复生态环境,有学者提出了种稻洗盐^[13]的方法,其原理是运用重力将表层的盐碱溶到根层后通过排渠排出,这种方法虽然可以暂时性降低土壤盐碱度,但是其用水量对于水资源相对匮乏的南疆来说是很难支撑的。本研究通过对 4 种耐盐碱牧草[紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、苏丹草(*Sorghum sudanense*)、美国饲用甜高粱(*Sorghum bicolor*)和墨西哥玉米(*Purus frumentum*)]的试验,分析这些牧草对南疆地区盐碱化土壤改良的可行性,为探索新疆地区生态环境保护提供了科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地设在新疆生产建设兵团农一师沙井子灌区,海拔 1053.9 m,东经 $79^{\circ}57'$,北纬 $45^{\circ}43'$,年平均气温 10.7°C ,多年平均蒸发量为 1905.2 mm,多年平均降水量为 47.8 mm,气候类型属于暖温带大陆性荒漠气候,土壤类型是盐碱土,0~1 m 土层含盐量 2%~10%,土壤质地为重壤。

1.2 试验材料

由石河子大学草学实验室提供紫花苜蓿(三得利品种)、苏丹草、美国饲用甜高粱和墨西哥玉米 4 种牧草种子。

1.3 试验方法

试验设 5 个处理:(A)种植紫花苜蓿;(B)种植苏丹草;(C)种植美国饲用甜高粱;(D)种植墨西哥玉米;(E)盐渍土荒地杂草(CK)。

2015 年 5 月 14 日种植,人工整地、撒播,播深 5 cm。紫花苜蓿、苏丹草、美国饲用甜高粱和墨西哥玉米播种量分别为 $18\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $12\text{ kg}/\text{hm}^2$ 、 $16\text{ kg}/\text{hm}^2$ 和 $22\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。小区面积为 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$,每个处理 3 次重复,随机区组设计。牧草的整个生育期不施任何肥料,完全自然状态生长,仅进行田间人工除草。

1.4 测定项目与方法

2015 年 9 月 18 日分别在试验小区内按 S 形路线布点,采集 0~20 cm 土层土样 4 kg,用四分法带回 1 kg 混合土样,风干后过 1 mm 筛,供室内化验分析。土壤容重采用环刀法测定,用环刀采集原状土,不进行风干,大于 0.25 mm 团聚体使用干筛法^[14-15]。土壤中的全 N 用半微量凯氏法测定;碱解 N 采用碱解扩散法测定^[16];全 P 和速效 P 采用分光光度法测定^[17];全 K 和速效 K 采用火焰光度法测定^[18];有机质采用重铬酸钾容量法测定^[19];株高测定时每种牧草随机选 10 株,不够 10 株的全部测定,共 3 次重复;根系生物量测定时,在小区内选取标准地段,在标准地段内选取标准株为待测样株,采用挖掘剖面壁法挖取根系,挖取深度为 30 cm,然后测出鲜重, 105°C 烘箱杀青 30 min, 80°C 烘干至恒重后测定干重。

$$\text{土壤总孔隙度} = (1 - \text{土壤容重} / \text{土壤比重}) \times 100\%$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}(\%) = \text{土壤毛管持水量}(\%) \times \text{土壤容重}$$

土壤非毛管孔隙度 = 总孔隙度 - 毛管孔隙度

土壤自然含水量 = (湿土重 - 烘干土重) / 烘干土重 × 1000

饱和持水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度

毛管持水量 = 面积 × 毛管孔隙度 × 土层深度

非毛管持水量 = 面积 × 非毛管孔隙度 × 土层深度

1.5 数据处理

用 Excel 2003 软件对试验基本数据进行了求和及排序,采用 DPS 13.0 软件进行数据分析,LSR 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同类型牧草的农艺性状变化和产量变化特征

2.1.1 农艺性状分析 从表 1 可以看出,墨西哥玉米、美国饲用甜高粱、苏丹草和紫花苜蓿的株高、单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重均明显的上升了。与 CK 相比,墨西哥玉米、美国饲用甜高粱、苏丹草和紫花苜蓿的株高分别上升了 3.08, 2.48, 2.42 和 2.15 倍,均为差异极显著 ($P < 0.01$), 4 种耐盐牧草的株高上升幅度由大到小依次为:墨西哥玉米 > 美国饲用甜高粱 > 苏丹草 > 紫花苜蓿 > CK。4 种耐盐牧草的单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重与 CK 相比明显的升高了,都表现为差异极显著 ($P < 0.01$),墨西哥玉米的单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重与 CK 相比分别增大了 13.91, 12.13, 5.93 和 5.98 倍;美国饲用甜高粱的单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重与 CK 相比分别增大了 11.69, 11.61, 5.80 和 5.86 倍;紫花苜蓿的单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重与 CK 相比分别增大了 10.20, 10.13, 5.24 和 5.19 倍;苏丹草单株鲜重、单株干重、根系鲜重和根系干重与 CK 相比分别增大了 3.01, 3.00, 2.99 和 3.02 倍;它们的上升幅度由大到小依次为:墨西哥玉米 > 美国饲用甜高粱 > 紫花苜蓿 > 苏丹草 > CK。

表 1 不同类型牧草的农艺性状变化和产草量变化

Table 1 Changes of agronomic characters and yield of different types of forage grasses

试验处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	单株鲜重 Fresh weight (g/plant)	单株干重 Dry weight (g/plant)	根系鲜重 Fresh root weight (g/plant)	根系干重 Dry weight of root system (g/plant)	鲜草产量 Fresh grass yield (t/hm ²)	干草产量 Hay yield (t/hm ²)
紫花苜蓿 Alfalfa	41.20dC	17.95cC	6.28cC	6.34cC	2.18cC	21.25cC	7.43cC
苏丹草 Sultan grass	46.40cB	5.29dD	1.86dD	3.62dD	1.27dD	14.87dD	5.21dD
美国饲用甜高粱 Sweet sorghum	47.60bB	20.57bB	7.20bB	7.02bB	2.46bB	42.51bB	14.87bB
墨西哥玉米 Mexico corn	59.10aA	24.48aA	7.52aA	7.18aA	2.51aA	85.04aA	29.76aA
CK	19.20eD	1.76eE	0.62eE	1.21eE	0.42eE	8.88eE	3.11eE

注:同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

Note: The different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), different capital letters indicate significant difference ($P < 0.01$). The same below.

2.1.2 产草量分析 由表 1 可知,4 种耐盐牧草的产草量与 CK 相比有了明显的提高,不同类型的耐盐牧草之间,产量提高的程度有着差异。与 CK 相比,墨西哥玉米的产草量提高最为明显,鲜草产量和干草产量分别提高了 9.58 和 9.57 倍,差异极显著 ($P < 0.01$);美国饲用甜高粱的产草量仅次于墨西哥玉米,鲜草产量和干草产量分别提高了 4.79 和 4.78 倍,差异极显著 ($P < 0.01$);紫花苜蓿和苏丹草的产草量依次排于墨西哥玉米和美国饲用甜高粱之后,也表现为差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 耐盐牧草对土盐碱土物理性质的影响

土壤容重是土壤重要的物理性质,是计算土壤孔隙度的重要参数^[20-25]。由表 2 可以看出 4 种牧草对土壤容

重的影响各不相同,都不同程度地降低了耕作层的土壤容重。与 CK 相比,墨西哥玉米和紫花苜蓿的表层土壤容重分别下降了 8.15%和 5.93%,差异极显著($P < 0.01$);美国饲用甜高粱和苏丹草的表层土壤容重分别下降了 2.22%和 0.70%,差异不显著($P > 0.05$)。不同类型的牧草对表层土壤容重的降低程度不同,其主要原因是因为不同牧草的根系分布以及根系活动强度不同。

从表 2 可以看出,栽种 4 种牧草后,土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和团聚体都不同程度的有了提高。与 CK 相比,墨西哥玉米和紫花苜蓿的总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度增加最为显著,总孔隙度分别增加了 5.46%和 6.16%,毛管孔隙度分别增加了 8.42%和 6.11%,非毛管孔隙度分别增加了 8.47%和 6.17%,都表现为差异极显著($P < 0.01$);美国饲用甜高粱和苏丹草的总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度也略有增加,但不是很明显,表现为差异不显著($P > 0.05$)。墨西哥玉米、紫花苜蓿、美国饲用甜高粱和苏丹草的团聚体与 CK 相比都明显增大,分别增大了 38.16%,31.91%,29.29%和 7.92%,都表现为差异极显著($P < 0.01$)。

表 2 对土壤物理性质的影响

Table 2 Effect on soil physical properties

试验处理 Treatment	容重 Bulk density (g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity (%)	毛管孔隙度 Capillary porosity (%)	非毛管孔隙度 Noncapillary porosity (%)	团聚体 Aggregate (%)	饱和持水量 Saturation moisture capacit (t/hm ²)	毛管持水量 Capillary moisture capacity (t/hm ²)	非毛管持水量 The non capillary water capacity (t/hm ²)
紫花苜蓿 Alfalfa	1.27bB	52.08bA	15.62bA	36.46bA	30.63bA	1041.60bA	312.40bA	729.20bA
苏丹草 Sultan grass	1.34aA	49.43cB	14.83cB	34.60cB	25.06cB	988.60cA	296.60cA	692.00cA
美国饲用甜高粱 Sweet sorghum	1.32aA	50.19cB	15.06cA	35.13cB	30.02bA	1003.80cA	301.20cA	702.60cA
墨西哥玉米 Mexico corn	1.24cB	53.21aA	15.96aA	37.25aA	32.08aA	1064.20aA	319.20aA	745.00aA
CK	1.35aA	49.06cB	14.72cB	34.34cB	23.22dC	981.20cA	294.40cA	686.80cA

土壤水分运动直接影响土壤盐分含量的变化^[26],其可以作为盐分的载体,使盐分随着水分而运动。由表 2 可知,4 种不同类型的牧草种植后,土壤的持水量整体呈增加的趋势。墨西哥玉米和紫花苜蓿的饱和持水量、毛管持水量和非毛管持水量增加最为明显,饱和持水量分别增加了 8.46%和 6.16%,毛管持水量分别增加了 8.42%和 6.11%,非毛管持水量分别增加了 8.47%和 6.14%,都表现为差异显著($P < 0.05$);美国饲用甜高粱和苏丹草的饱和持水量、毛管持水量和非毛管持水量也略有增加,表现为差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 盐渍土有机质和速效养分变化特征

从表 3 可以看出,通过种植耐盐牧草,盐渍土的有机质和速效养分整体呈上升趋势,不同类型的耐盐牧草之间,上升程度有差异。种植墨西哥玉米的盐碱土有机质和速效养分上升趋势最为明显,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾分别上升了 46.83%,63.75%,57.96%和 12.64%。种植紫花苜蓿和美国饲用甜高粱的盐碱土有机质和速效养分上升幅度依次次于墨西哥玉米,种植苏丹草的盐碱土有机质和速效养分上升幅度最小,但是种植了 4 种耐盐牧草的盐碱土有机质和速效养分的含量与 CK 相比,都表现为差异极显著($P < 0.01$)。

2.4 盐渍土全盐量及 pH 值变化分析

由表 4 可以看出,耐盐牧草的种植能够有效降低盐渍土壤全盐含量,改善土壤肥力水平。与 CK 相比,种植墨西哥玉米、紫花苜蓿、美国饲用甜高粱和苏丹草盐渍土的 pH 值、EC 值和全盐量均有不同程度的降低,其中种植墨西哥玉米的下降幅度最大,分别降低了 2.60%,50.65%和 50.63%,种植紫花苜蓿、美国饲用甜高粱和苏丹草盐渍土的 pH 值、EC 值和全盐量降低幅度依次低于种植墨西哥玉米的盐渍土的值。整体上,种植 4 种耐盐牧草的盐渍土的 EC 值和全盐量与 CK 相比,表现为差异极显著($P < 0.01$)。不同类型的耐盐牧草脱盐率也有所差异,种植墨西哥玉米后的盐渍土脱盐率最高,达到 50.63%,种植紫花苜蓿和美国饲用甜高粱后的盐渍土脱盐率次于种植墨西哥玉米的脱盐率,分别为 50.00%和 49.62%,种植苏丹草的盐渍土脱盐率最低,为 45.36%。

表 3 对土壤有机质和速效养分的影响

Table 3 Effects on soil organic matter and available nutrients

试验处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	碱解氮 Alkeline-N (mg/kg)	速效磷 Olsen-P (mg/kg)	速效钾 Olsen-K (mg/kg)
紫花苜蓿 Alfalfa	9.48bB	40.50bB	4.68bB	138.19bB
苏丹草 Sultan grass	8.93cC	33.03dD	4.47dB	131.11cB
美国饲用甜高粱 Sweet sorghum	9.02cC	37.14cC	4.55cB	132.90cB
墨西哥玉米 Mexico corn	11.13aA	47.52aA	4.96aA	145.11aA
CK	7.58dD	29.02eE	3.14eC	128.83dB

表 4 对土壤化学性质的影响

Table 4 Effect on soil chemical properties

试验处理 Treatment	pH	电导率 EC (ms/cm)	全盐 Total salt (g/kg)	脱盐率 Salt rejection (%)
紫花苜蓿 Alfalfa	8.26cA	4.99cB	3.99cB	50.00
苏丹草 Sultan grass	8.37bA	5.45bB	4.36bB	45.36
美国饲用甜高粱 Sweet sorghum	8.28cA	5.02cB	4.02cB	49.62
墨西哥玉米 Mexico corn	8.23cA	4.92cB	3.94cB	50.63
CK	8.45aA	9.97aA	7.98aA	/

3 讨论

容重是土壤主要的物理性质,与作物根系穿透阻力、土壤的含水量、土壤的通气性有很大的关联^[27-29],4种耐盐牧草的种植,都不同程度降低了土壤容重,4种牧草降低土壤容重的程度按大小依次为:墨西哥玉米>紫花苜蓿>美国饲用甜高粱>苏丹草>CK。耐盐牧草的种植降低了盐渍土壤容重,究其原因是4种不同类型的耐盐牧草种植后,土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和团聚体都有所增大,增大程度按大小依次为:墨西哥玉米>紫花苜蓿>美国饲用甜高粱>苏丹草>CK,牧草的根系活动可以增大土壤的孔隙度,从而直接降低土壤容重。不同类型的牧草对盐渍土土壤容重的影响不同,是因为它们的生活型各不相同。本试验所选耐盐牧草品种根系都很发达,因此4种耐盐牧草不但可以降低土壤容重,还可以提高土壤孔隙度和团聚体。

土壤水分运动直接影响土壤盐分含量的变化,其可以作为盐分的载体,使盐分随着水分而运动,“盐随水来、盐随水去”就是这个道理。在高温干旱地区种植牧草,可以有效地保持土壤水分^[30-31],这是因为良好的牧草覆盖度能够降低土壤水分蒸发。不同类型耐盐牧草对盐渍土的土壤持水量影响很大,本试验中所选的牧草品种都提高了盐渍土的土壤持水量,依据提高幅度按大小依次为:墨西哥玉米>紫花苜蓿>美国饲用甜高粱>苏丹草>CK,由此可以看出墨西哥玉米对盐渍土的地表覆盖效果最好,紫花苜蓿次之,而苏丹草由于形态结构的不同,对盐渍土的地表覆盖效果最小。

土壤中的有机质主要由动植物和土壤微生物残体分解后提供,耐盐牧草脱落的枯枝败叶在土壤中分解^[32-33],再由生草改善土壤的理化性质,使土壤微生物的数量增加,从而提高了土壤有机质的含量。氮、磷、钾是植物生长所必需的3种元素^[34],也是最容易缺乏的元素,当土壤中缺乏这3种元素时,植物生长就会受到抑制。一般认为,牧草本身的生长需要从土壤中吸收各种养分,种植牧草后会降低土壤中各种速效养分的含量。在本试验中,通过种植耐盐牧草,盐渍土的有机质和速效养分整体呈上升趋势,不同类型的耐盐牧草之间,上升程度有差异。有机质和速效磷二者之间存在正相关关系^[35],速效磷的含量随着有机质含量的增加而升高;土壤中的氮含量也相继提高,一是由于4种牧草都具有固氮作用,增加了土壤中的氮元素^[36-38];另一方面牧草植株死亡后氮素归还到土壤中,使土壤氮素更加丰富。种植墨西哥玉米的盐碱土有机质和速效养分上升趋势最为明显,是由于墨西哥玉米的根系较为发达,其固氮能力最为良好,紫花苜蓿次之。

与 CK 相比,4 种耐盐牧草的农艺性状和产量都明显或显著高于对照,不同类型的耐盐牧草之间,提高的程度有着差异。4 种耐盐牧草中,墨西哥玉米的农艺性状和产量都排在首位,由此可以看出墨西哥玉米是盐碱地区种植牧草的首选。

耐盐牧草的种植能够有效降低盐渍土壤全盐含量,改善土壤肥力水平。与 CK 相比,种植墨西哥玉米、紫花苜蓿、美国饲用甜高粱和苏丹草盐渍土的 pH 值、EC 值和全盐量均有不同程度的降低,其中种植墨西哥玉米的下降幅度最大,其盐渍土脱盐率也最高,达到 50.63%。

4 结论

在盐渍土荒地上种植耐盐牧草,降低了土壤容重,增大了土壤孔隙度和团聚体,使得土壤结构改善,从而改善了土壤的持水量,改善程度按大小依次为:墨西哥玉米>紫花苜蓿>美国饲用甜高粱>苏丹草>CK。

耐盐牧草显著增加了土壤的有机质和速效养分,与 CK 相比,4 种耐盐牧草都不同程度改良土壤的物理性状,增加有机质等土壤养分,降低土壤 pH 值,墨西哥玉米表现最明显,产量也明显高于对照,按大小依次为:墨西哥玉米>美国饲用甜高粱>紫花苜蓿>苏丹草>CK。

耐盐牧草显著降低了盐渍土的盐分,土壤盐分降低顺序为:墨西哥玉米>紫花苜蓿>美国饲用甜高粱>苏丹草>CK,种植墨西哥玉米后的盐渍土脱盐率最高,达到 50.63%,种植紫花苜蓿和美国饲用甜高粱后的盐渍土脱盐率次于种植墨西哥玉米的脱盐率,分别为 50.00%和 49.62%,种植苏丹草的盐渍土脱盐率最低,为 45.36%。

墨西哥玉米对南疆盐渍土的改良最为显著,其农艺性状和产草量也是最理想的牧草选择;其次为紫花苜蓿,紫花苜蓿可作南疆盐渍土合适的选择。因此在南疆盐渍区可以形成以墨西哥玉米和紫花苜蓿为主,美国饲用甜高粱和苏丹草为辅的种植模式,从而较好的改善周围的生态环境。

参考文献 References:

- [1] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 2009, 27(1): 84-93.
- [2] Spanò C, Balestri M, Bottega S, *et al.* *Anthemis maritima* L. in different coastal habitats: A tool to explore plant plasticity. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2013, 129(5): 105-111.
- [3] Zhou X W. Study on Improving Alkali-saline Soil by Adding Thecoal Ash and Sewage Sludge Reasonably in Zhenglu and Hua-feng Shandong Province[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006: 8-9.
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.
- [4] Xing S J, Zhang J F, Xi J B, *et al.* Effect of *Nitraria sibirica* afforestation on soil amelioration in heavy saline-alkalisoils. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 31(6): 96-98.
邢尚军, 张建锋, 郗金标, 等. 白刺造林对重盐碱地的改良效果. *东北林业大学学报*, 2003, 31(6): 96-98.
- [5] Wang Z Q. Salinized Soil of China[M]. Beijing: Science Press, 1993: 130-136.
王周琼. 盐渍化土壤的中国[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 130-136.
- [6] Xu P. Ecological characteristics, problems and developmental strategy of plain desert in Northern Xinjiang. *Acta Prataculturae Sinica*, 1997, (4): 6-10.
许鹏. 新疆北疆平原荒漠生态特征, 问题与对策. *草业学报*, 1997, (4): 6-10.
- [7] Chen Y L. Harm and prevention measures of the formation mechanism of saline soil in Xinjiang area. *Heilongjiang Science and Technology Information*, 2008, (9): 21.
陈永利. 新疆地区盐渍土的形成机理危害性及防治措施. *黑龙江科技信息*, 2008, (9): 21.
- [8] Zhu L Y, Zhang G P, Wu Y. Technique measures of controlling salt-basification in Southern Xinjiang Region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(4): 166.
朱连勇, 张戈平, 吴英. 新疆地区治理盐碱化技术措施初探. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 166.
- [9] Li X Y, Lin J X, Li X J, *et al.* Growth adaptation and Na⁺ and K⁺ metabolism responses of *Leymus chinensis* seedlings under salt and alkali stresses. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(1): 201-209.
李晓宇, 蔺吉祥, 李秀军, 等. 羊草苗期对盐碱胁迫的生长适应及 Na⁺、K⁺ 代谢响应. *草业学报*, 2013, 22(1): 201-209.
- [10] Lu J H, Lv X, Wu L, *et al.* Germination responses of three medicinal licorices to saline environments and their suitable ecological regions. *Acta Prataculturae Sinica*, 2013, 22(2): 195-202.

- 陆嘉惠, 吕新, 吴玲, 等. 三种药用甘草种子对盐渍环境的萌发响应及其适宜生态种植区. 草业学报, 2013, 22(2): 195-202.
- [11] Peng B, Xu W, Shao R, *et al.* Growth of *Suaeda salsa* in response to salt stress in different habitats. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(4): 81-90.
彭斌, 许伟, 邵荣, 等. 不同生境种源盐地碱蓬幼苗生长发育对盐分胁迫的响应和适应. 草业学报, 2016, 25(4): 81-90.
- [12] Wang S, Wang Q J, Zhou B B, *et al.* Effect of interplanting halophyte in cotton fields with drip irrigation under film to improve saline-alkali soil. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(3): 362-367.
王升, 王全九, 周蓓蓓, 等. 膜下滴灌棉田间作盐生植物改良盐碱地效果. 草业学报, 2014, 23(3): 362-367.
- [13] Watanabe M, Takahashi M, Sasano K, *et al.* Bioethanol production from rice washing drainage and rice bran. Journal of Bio-science & Bioengineering, 2009, 108(6): 524-526.
- [14] Gao F, Jia Z K, Han Q F, *et al.* Effects of different organic fertilizer treatments on distribution and stability of soil aggregates in the semiarid area of South Ningxia. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(3): 100-106.
高飞, 贾志宽, 韩清芳, 等. 有机肥不同施用量对宁南土壤团聚体粒级分布和稳定性的影响. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 100-106.
- [15] Wen Q, Zhao X R, Chen H W, *et al.* Distribution characteristics of microbial biomass phosphorus in different soil aggregates in semi-arid area. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 37(2): 91-95.
文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征. 中国农业科学, 2005, 37(2): 91-95.
- [16] Li Y K, Wu X P, Mei X R, *et al.* Effects of nitrogen application on ammonia volatilization in greenhouse soil under condition of conventional irrigation. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 23-30.
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. 农业工程学报, 2011, 27(7): 23-30.
- [17] Lebissonais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. 1. Theory and Methodology, 1996, 47(4): 425-437.
- [18] Bai G S, Du S N, Geng G J, *et al.* Effects of planting hole on partial soil physical properties and apple growth. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(6): 26-33.
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. 农业工程学报, 2009, 25(6): 26-33.
- [19] Xiao K B, Wu P T, Lei J Y, *et al.* Bio-reclamation of different halophytes on saline-alkali soil. Journal of Agro-Environment Science, 2012, (12): 2433-2440.
肖克飏, 吴普特, 雷金银, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究. 农业环境科学学报, 2012, (12): 2433-2440.
- [20] Mohawesh O, Fukumura K, Ishida T, *et al.* Soil hydraulic properties in a cassava field as a function of soil dry bulk density. Journal of Japan Society of Hydrology & Water Resources, 2005, 18(2): 156-166.
- [21] Wang Y, Wang B, Zhao G D, *et al.* Soil moisture physical characteristics of three forest types in Dagangshan Mountain in Jiangxi Province. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(1): 151-153.
王燕, 王兵, 赵广东, 等. 江西大岗山3种林型土壤水分物理性质研究. 水土保持学报, 2008, 22(1): 151-153.
- [22] Li D S, Zhang P, Zhang S L, *et al.* Study on water resource conservation function of vegetation and its selection in Huangqian Reservoir Area. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(4): 128-131.
李德生, 张萍, 张水龙, 等. 黄前库区流域植被水源涵养功能及植被类型选择的研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 128-131.
- [23] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[M]//Advances in Soil Science. New York: Springer, 1985: 1-70.
- [24] Martínez-Mena M, Williams A G, Ternan J L, *et al.* Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment. Soil and Tillage Research, 1998, 48(1): 71-80.
- [25] Nielsen G A, Quimby W F. Spatial distribution of soil attributes on reconstructed minesoils. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(3): 782-786.
- [26] Hu Y, Wang L, Fu X, *et al.* Salinity and nutrient contents of tidal water affects soil respiration and carbon sequestration of high and low tidal flats of Jiuduansha wetlands in different ways. Science of the Total Environment, 2016, 565: 637-648.
- [27] Chen, Kumar A, Sadek M A, *et al.* Soil cone index in relation to soil texture, moisture content, and bulk density for no-tillage and conventional tillage. Agricultural Engineering International; The CIGR e-journal, 2012, 14(1): 26-37.
- [28] Vaz C M P, Manieri J M, Maria I C D, *et al.* Scaling the dependency of soil penetration resistance on water content and bulk density of different soils. Soil Science Society of America Journal, 2013, 77(5): 1488-1495.
- [29] So H B, Nye P H. The effect of bulk density, water content and soil type on the diffusion of chloride in soil. European Journal of Soil Science, 1989, 40(4): 743-749.
- [30] Nelson J A, Morgan J A, Lecain D R, *et al.* Elevated CO₂, increases soil moisture and enhances plant water relations in a long-term field study in semi-arid shortgrass steppe of Colorado. Plant and Soil, 2004, 259(1): 169-179.

- [31] Wei L, Zhang B, Wang M. Effects of antecedent soil moisture on runoff and soil erosion in alley cropping systems. *Agricultural Water Management*, 2007, 94(1, 3): 54-62.
- [32] Besnard E, Chenu C, Balesdent J, *et al.* Fate of particulate organic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*, 1996, 47(4): 495-503.
- [33] Soane B D. The role of organic matter in soil compactibility; a review of some practical aspects. *Soil & Tillage Research*, 1990, 16(1, 2): 179-201.
- [34] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, *et al.* Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 485-496.
- [35] Wang Q R, Li J Y, Li Z S, *et al.* Adapted responses in the rhizosphere of P-efficient wheat genotype to stress of phosphorus deficiency. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2000, 20(1): 1-7.
王庆仁, 李继云, 李振声, 等. 磷高效基因型小麦对缺磷胁迫的根际适应性反应. *西北植物学报*, 2000, 20(1): 1-7.
- [36] Zhang W X, Luan S. Alfalfa fertilization soil and determination of annual nitrogen fixation. *Journal of Northeast Agricultural University*, 1987, (1): 85-87.
张婉娴, 栾双. 紫花苜蓿培肥土壤及年固氮量的测定. *东北农业大学学报*, 1987, (1): 85-87.
- [37] Yao Y Y, Chen M, Zhang X Z. Effects of planting patterns on dinitrogen fixation of alfalfa and transfer of fixed. *Acta Agriculturae. Nuclear Sinica*, 1993, 7(3): 137-157.
姚允寅, 陈明, 张希忠. 种植模式对苜蓿固氮和固氮产物转移的影响. *核农学报*, 1993, 7(3): 157-137.
- [38] Chen W X, Chen W F. Play the role of biological nitrogen fixation to reduce the amount of chemical nitrogen fertilizer. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2004, 6(6): 3-6.
陈文新, 陈文峰. 发挥生物固氮作用 减少化学氮肥用量. *中国农业科技导报*, 2004, 6(6): 3-6.

欢迎订阅 2018 年《中国农业科学》

《中国农业科学》是由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办的综合性学术期刊,是中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国精品科技期刊、CSCD Q1 区期刊、中国权威学术期刊 A+ 期刊、中国最具国际影响力学术期刊,是了解中国农业相关领域科研进展的首选期刊。《中国农业科学》以研究论文、综述、简报等形式报道农牧业基础科学和应用基础科学最新成果。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学;耕作栽培·生理生化·农业信息技术;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;食品科学与工程;畜牧·兽医·资源昆虫等栏目。读者对象为国内外农业科研院(所)、大专院校的科研、教学与管理人员。

《中国农业科学》大 16 开,每月 1、16 日出版,国内外公开发行。每期 208 页,定价 49.50 元,全年定价 1188.00 元。国内统一连续出版物号:CN11-1328/S,国际标准连续出版物号:ISSN 0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

欢迎订阅 2018 年 Journal of Integrative Agriculture(JIA)

《农业科学学报》(Journal of Integrative Agriculture, JIA)由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办,是综合性英文学术期刊,月刊。JIA 前身为 2002 年创刊的《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China, ASC),2012 年更名为 JIA。JIA 2006 年起与 Elsevier 合作,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行;2009 年被 SCI 收录,最新影响因子为 1.042,位于 JCR 农业综合类 Q2 区前列位次。JIA 是中国科技核心期刊;连续 5 年获得“中国最具国际影响力学术期刊”称号;2016 年入选中国科协“中国科技期刊国际影响力提升计划”及“中国科技期刊登峰行动计划”项目,是我国农业领域领衔学术期刊,并具有较高国际影响力。

JIA 大 16 开,每月 20 日出版,国内外公开发行。每期 180 页,国内订价 80.00 元,全年 960.00 元。国内统一连续出版物号:CN 10-1039/S,国际标准连续出版物号:ISSN 2095-3119,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

全国各地邮局均可订阅,也可直接向编辑部订购。

地址:北京中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部;邮政编码:100081;网址:www.ChinaAgriSci.com;

电话:010-82109808,82106281;传真:010-82106247;E-mail:zgnykx@caas.cn;联系人:林鉴非