

柠条对盐碱地植被组成及土壤特性的影响

张丽珍¹, 牛 伟², 牛 宇³, 牛西午^{2,*}

(1. 山西大学生命科学与技术学院, 太原 030006; 2. 山西省农业科学院, 太原 030006;
3. 山西省农业科学院农业资源综合考察研究所, 太原 030006)

摘要:研究了山西省大同盆地毛皂试验站盐碱滩地人工种植柠条后植被组成、微生物数量、土壤养分特征及变化规律。结果表明:(1)人工种植柠条后,增加了植物物种的丰富度,植物科、属、种的数量均有所增加。不同生境中植物组成结构发生变化,主要优势种发生了根本性变化,披碱草在盐碱地中为绝对优势种,在柠条林下已消失。(2)不同生境中土壤真菌、细菌、放线菌数量的变化规律为:多年生柠条林地土壤>火扰后柠条林地土壤>盐碱地土壤,柠条根际真菌数量最多,而对于细菌和放线菌并没有表现出明显的根际效应。(3)由于成土基质相同,多年生人工柠条林与其毗邻的原生盐碱滩地的全氮、全磷、全钾含量基本一致,但速效养分显著提高,有效磷、速效钾、硝态氮、氨态氮和有机质含量柠条林分别是盐碱滩地的 3.4、1.4、1.2、1.4 倍和 1.7 倍。多年生人工柠条林土壤全盐量比原生盐碱滩地显著减少($p < 0.01$),阳离子交换量和微量营养元素 Fe、Mn、Zn 的含量比原生盐碱滩地的显著增加($p < 0.05$)。随着柠条的定植,土壤养分保蓄功能以及保证植物良好生长的生态功能明显改善。

关键词:盐碱滩地;柠条;植被恢复;微生物数量;土壤营养

文章编号:1000-0933(2009)09-4693-07 中图分类号:Q142,Q948 文献标识码:A

Impact of *Caragana* Fabr. plantation on plant community and soil properties of saline-alkali wasteland

ZHANG Li-Zhen¹, NIU Wei², NIU Yu³, NIU Xi-Wu^{2,*}

1 College of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

2 Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan 030006, China

3 Integrated Review Institute of Agriculture Resources, Shanxi Academy of Agriculture Science, Taiyuan 030006, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4693 ~ 4699.

Abstract: The effects of planting of *Caragana* Fabr. on vegetation, microbial community and characteristics and changes in soil nutrients of saline-alkali wasteland were investigated in Maozao Experimental Station located in Datong Basin (113°E, 39°55'N), Shanxi Province, China. After the planting of *Caragana*, the number of plant families, genus and species increased, indicating that the improvement of plant diversity, and vegetation profile underwent changes. *Elymus dahuricus* had been the absolute dominant species on saline-alkali wasteland but disappeared in *Caragana*-distributed lands, showing an alteration in dominant species in the community. The number of fungi, bacteria and actinomycetes in soils of different habitats showed a trend as follows: perennial *Caragana* Fabr. forest > *Caragana* forest after fire disturbance > Saline-alkali. The largest number of fungi were found in *Caragana* rhizosphere in comparison to other plants, but there was no obvious increase in the bacteria and actinomycetes found. Total nitrogen, phosphorus and potassium content remained essentially unchanged in areas with perennial *Caragana* compared to the primary saline-alkali wasteland. However, available nutrients in *Caragana*-distributed land increase significantly, with phosphorus, potassium, nitrate, ammonia nitrogen and organic matter increasing by 3.4 times, 1.4 times, 1.2 times, 1.4 times and 1.7 times, respectively

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划专题资助项目(2006BAD01A16);山西省青年基金资助项目(2008021036-1);山西省留学人员科研资助项目(2008-119);太原市科技局资助项目(2008)

收稿日期:2009-02-20; 修订日期:2009-04-27

致谢:山西省生物技术研究所周建英研究员在标本辨认、山西省土壤环境与养分资源重点实验室在土壤化验中给与帮助,特致谢意。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: niuxiwu1947@163.com

compared to those of the saline-alkali wasteland. Furthermore, the total salt content of soil in *Caragana* Fabr. forest was significantly lower than that of the soil from saline-alkali wasteland ($p < 0.01$). There was significant increase in content of available Fe, Mn, Zn in *Caragana* Fabr. forest compared to saline-alkali wasteland soil ($p < 0.05$). From the results, we conclude that growing of *Caragana* exerts positive effects on fertility preserving capacity of soil and helps improve ecological function of soil to provide better environment for other plant species in saline-alkali wasteland.

Key Words: saline-alkali wasteland; *Caragana* Fabr.; vegetation restoration; microbe number; soil nutrient

盐碱地的改良与利用一直是人们重视的问题。大同盆地现有盐碱地 20 万 hm^2 , 占山西省盐碱地总面积的 60% 以上^[1]。地处山西大同盆地的毛皂试验站是典型的苏打型盐化潮土, 建植柠条是该区域多年来改良盐碱地危害的重要措施之一。柠条是锦鸡儿属(*Caragana* Fabr.) 植物栽培种的通称, 为豆科灌木类植物^[2], 具有抗盐碱、抗旱、耐寒、耐瘠薄等特点。关于柠条定植对人工固沙区植被演替及土壤理化性状影响的报道较多^[3,4], 对盐碱地上种植柠条后土壤与植物种演替的植物-土壤反馈(plant soil feedback)的研究尚未见报道。本文以山西省大同盆地毛皂试验站内人工种植柠条改良的盐碱滩地为研究对象, 研究了人工种植的多年生柠条林与原生盐碱滩地的土壤性状、土壤微生物活性以及植物群落特征, 旨在从土壤微生物活性、土壤养分以及植被变化的角度, 试图为理解种植柠条改良盐碱地的生态恢复机理及其开发利用提供一定参考。

1 研究地区自然概况

试验设在山西省农业科学院高寒作物研究所毛皂试验站, 海拔 1029m, $\text{E}113^\circ$, $\text{N}39^\circ 55'$, 年平均温度 6.7°C , 无霜期 139d, 年均降水量 411.1mm, 年均蒸发量 1898mm, 相对湿度 56%, 年平均日照时数 2882h。柠条种植的株行距为 $1.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$, 调查时 6 年生柠条平均冠幅为 $89\text{ cm} \times 89\text{ cm}$, 火扰后 2a 萌生柠条平均冠幅为 $39\text{ cm} \times 39\text{ cm}$ 。

2 研究方法

2.1 植被调查

2008 年 6 月进行了野外取样调查。分别在研究区原生盐碱滩地(H0)、与其毗邻的 6 年生人工种植柠条灌木林(H1)、人工柠条灌木林受火干扰后自然萌发的 2 年生柠条灌木林内(H2), 随机设置 4 个 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的样地, 在对角线东西方向设 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方, 记录各样地和小样方内的植物种名、高度、盖度等。

2.2 土壤取样和分析

在 H0、H1 样地内用 5 点法随机采集 0~20cm 土壤样品, 每个样品 5 次重复。土壤样品带回室内常规方法化验土壤理化性质。含盐量用干涸残渣法, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 用滴定法, CEC、 Na^+ 和 K^+ 用火焰光度计法, 有机质用高温外热重铬酸钾氧化容量法, 全氮用开氏法, 全磷用钼锑抗比色法, 全钾用原子吸收分光光度法, 有效磷用盐酸-氟化铵法, 速效钾用乙酸铵提取法, 有效铁、有效锰、有效铜、有效锌用 DTPA-原子吸收分光光度法。以上测定的具体方法见参考文献^[5]。

2.3 土壤微生物数量分析

对 H0、H1、H2 样地内采集 0~20cm 的土样与柠条根际土样进行微生物数量测定, 细菌用牛肉膏蛋白胨培养基, 真菌用马丁氏培养基, 放线菌用高氏 1 号合成培养基, 于 28°C 培养箱中培养, 各 5 个重复, 以菌落形成单位(CFU)对微生物菌落计数。细菌和放线菌的数量单位为 $\text{CFU} \cdot 10^6\text{ g}^{-1}$ 干土, 真菌数量单位 $\text{CFU} \cdot 10^3\text{ g}^{-1}$ 干土。

2.4 数据分析

实验数据均为 5 个重复的平均值, 数据用 SPSS12.0 进行方差分析。

3 结果与分析

3.1 对植被恢复的影响

表 1 是不同样地类型植物科、属、种组成情况, 调查中共记录草本植物 42 种, 隶属于 15 科 39 属。在原生

盐碱滩地上的植被由 4 科 14 属 15 种组成:含属数最多的科为菊科,有 6 属 7 种;禾本科有 4 属 4 种;豆科和蓼科各有 2 属 2 种。受火干扰的柠条林下植被由 7 科 17 属 20 种组成:菊科最多有 6 属 8 种;禾本科有 4 属 5 种;出现伞形科和大戟科的个别种。在多年生柠条林下植被有 12 科 24 属 28 种:豆科最多有 5 属 7 种;禾本科有 4 属 4 种;菊科有 4 属 5 种;出现紫薇科、紫草科、旋花科、罂粟科、藜科、柽柳科,有田旋花、车前等偶见种。由表 2 可知,随着人工柠条灌丛群落的逐渐发育,植物科、属、种的数量不断增加,但不同科植物种增加的速率不同。总的趋势是:禾本科植物与蓼科植物种类数比较稳定,但种类数所占比例有迅速下降的趋势;菊科植物种数明显下降,而豆科植物种数显著增加。原生盐碱滩地的自然条件很差,植被种类主要是禾本科的披碱草,盖度高达 70% 以上;伴生种主要是禾本科的芦苇、披针叶黄花、针茅等多年生植物。随着人工柠条灌木林的生长发育,人工植物群落环境开始形成,此时侵入的植物种类增加,种类丰富度可以达到 28 种,植被盖度和个体数增加,此时以披碱草、披针叶黄花等由最初的主导地位逐渐消退,在调查中披碱草已消失,披针叶黄花已成为偶见

表 1 不同样地类型植物科、属、种组成的变化
Table 1 Compositions of plant family, genus and species in different habitats

植被 Vegetation	生境 Habitat		
	盐碱滩地 Saline-alkali wasteland	火扰柠条地 Caragana Fabr. forest after fire disturbance	多年生 柠条地 Perennial Caragana Fabr. forest
科 Family	4	7	12
属 Genus	14	17	24
种 Species	15	20	28
禾本科 Gramineae	4	5	4
菊科 Compositae	7	8	4
蓼科 Polygonaceae	2	1	2
旋花科 Convolvulaceae			1
伞形科 Umbelliferae		1	1
大戟科 Euphorbiaceae		1	
紫草科 Boraginaceae		2	2
紫薇科 Bignoniaceae			1
唇形科 Labiatae			2
车前科 Plantaginaceae			1
豆科 Leguminosae	2	2	7
罂粟科 Papaveraceae			1
藜科 Chenopodiaceae			1
柽柳科 Tamaricaceae			1

表 2 种植柠条改良盐碱地过程中不同生长阶段植物群落特征
Table 2 Plant community characters in the different succession stages due to Caragana Fabr. plantation

生长阶段 Successions	建群种 Dominant species	主要伴生种 Companion species	建群种高度 Dominant species height(cm)	盖度 Coverage (%)
盐碱滩地 Saline- alkali wasteland	披碱草 <i>Elymus dahuricus</i> , 戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> , 披针叶黄花 <i>Thermopsis lanceolata</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i> , 戈壁针茅 <i>Stipa tianschanica</i> , 狗尾草 <i>Setaria viridis</i> , 黄花蒿 <i>Artemisia annua</i> , 猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> , 草地风毛菊 <i>Saussurea amara</i> , 苦菜 <i>Ixeris chinensis</i> , 阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> , 蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i> , 扁蓄蓼 <i>Polygonum aviculare</i> , 猪毛菜 <i>Salsola collina</i> , 扁蓿豆 <i>Melissitus ruthenicus</i> , 狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i> , 披针叶黄花 <i>Thermopsis lanceolata</i>	32	50
火扰的柠条林地 Caragana forest after fire disturbance	柠条 <i>Caragana</i> Fabr. 披碱草 <i>Elymus dahuricus</i>	芦苇, 戈壁针茅, 克氏针茅 <i>Stipa krylovii</i> , 狗尾草, 黄花蒿, 猪毛蒿, 大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i> , 草地风毛菊, 甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i> , 还阳参 <i>Crepis crocea</i> , 苦菜, 蒲公英, 扁蓄蓼, 狭叶米口袋, 砂珍棘豆 <i>Oxytropis psammocharis</i> , 石防风 <i>Peucedanum terebinthaceum</i> , 乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i> , 紫筒草 <i>Stenosolenium saxatile</i> , 细叶砂引草 <i>Messerschmidia sibirica</i>	58	60
柠条林地 Perennial Caragana forest	柠条 <i>Caragana</i> Fabr.	芦苇, 戈壁针茅, 黄花蒿, 猪毛蒿, 苦菜, 山莴苣 <i>Lactuca indica</i> , 猪毛菜 <i>Salsola collina</i> , 达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i> , 扁蓿豆 <i>Melilotoides ruthenica</i> , 狭叶米口袋, 砂珍棘豆, 糙叶黄芪 <i>Astragalus scaberrimus</i> , 田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i> , 细叶砂引草, 角蒿 <i>Incarvillea sinensis</i> , 黄芩 <i>Scutellaria baicalensis</i> , 车前 <i>Plantago asiatica</i> , 披针叶黄花, 狭苞斑种草 <i>Bothriospermum kusnezowii</i> , 禾叶小苦苣 <i>Treridium gramineum</i> , 硬阿魏 <i>Ferula bungeana</i> Kitag, 柽柳 <i>Tamarix chinensis</i> Lour., 角茴香 <i>Hypecoum erectum</i> L., 四翅滨藜 <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt., 西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i> Laxm.	116	85

种,豆科植物成为常见种。2005 年冬由于一场野火使部分柠条灌木群落的地上部分全部烧毁,2006 年春季柠条又逐渐萌芽生长,调查时相当于平茬后的 2 年生苗,在该地段,因为受外界火干扰因素,原有群落中的物种在竞争中处于非平衡状态,首先入侵的是一些 1 年生的猪毛蒿、黄花蒿、狗尾草、蒲公英、石防风等。

3.2 对土壤养分和盐分的影响

盐碱滩地种植柠条后土壤有机质含量显著增加(图 1),林下土壤中的有机质含量是与其毗邻的原生盐碱滩地的 1.4 倍。随着柠条灌木的生长发育,光合作用固定的 C 通过枝叶凋落物和根系的运转进入土壤。此外,林下植被丰富度的增加和植被覆盖程度的提高,枯枝落叶归还土壤后经微生物分解后能提高群落的生物量,从而归还到土壤中的有机物较多。

由于成土母质一样,且营造的柠条林年限较短,土壤中全氮、全磷、全钾含量比较稳定(图 1)。盐碱滩地土壤中的全氮、全磷、全钾含量(%)分别为 0.053、0.058、0.38,柠条林下土壤中的分别为 0.064、0.066、0.40,但还是表现出柠条林下土壤中的全氮、全磷、全钾含量比盐碱滩地土壤中的全氮、全磷、全钾含量高的趋势,这表明在盐碱滩地的改良过程中,柠条具有提升土壤供氮、供磷、供钾的潜力。

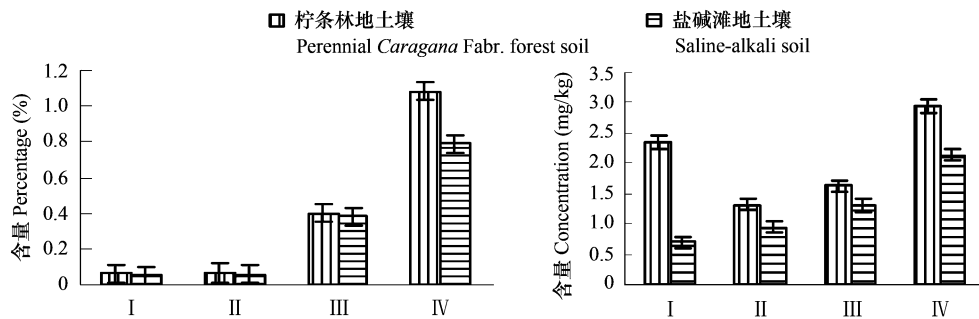


图 1 种植柠条对土壤养分的影响

Fig. 1 Effect of *Caragana* Fabr. plantation on soil nutrients

I 全氮 Total nitrogen; II 全磷 Total phosphate; III 全钾 Full potassium; IV 有机质 Organic; V 有效磷 Available phosphorus; VI 0.01X 速效钾 Quick potassium; VII 硝态氮 Nitrate nitrogen; VIII 铵态氮 Ammonia nitrogen

盐碱滩地种植柠条后土壤中可被植物直接吸收利用的有效养分均明显增加。由图 1 可见,柠条林下土壤中有有效磷、速效钾、硝态氮、铵态氮的含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)为 2.35、132.0、1.63、2.94,盐碱滩地土壤中的分别为 0.70、93.9、1.31、2.13,前者分别是后者的 3.4 倍、1.4 倍、1.2 倍、1.4 倍 1.7 倍。

由表 3 可见,盐碱滩地种植柠条后土壤全盐量显著减少,其中钙离子和镁离子含量显著减少,但钠离子、钾离子含量显著增加;阳离子交换量是指土壤胶体所能吸附的各种阳离子的总量,能反映土壤保肥能力。盐碱滩地种植柠条后土壤阳离子交换量显著增加,盐碱滩地种植柠条后植物生长所必需的微量元素含量,包括土壤有效铁、锰、锌的含量显著增加,但铜的变化不明显。

3.3 微生物数量与组成

土壤中生活着的微生物种类很多,他们各自具有不同的生理习性,产生各种作用。由于各种土壤给予微生物的生存条件的差异,所以土壤中微生物群落的组成和数量也各不相同。如图 2 所示,盐碱地上种植柠条后土壤微生物主要类群真菌、细菌、放线菌数量发生变化。真菌、细菌、放线菌数量的变化规律均为:多年生柠条林下土壤数量最多,受火干扰后的柠条林下土壤中的数量居中,而盐碱滩地土壤的最少。柠条根际真菌数量最多,以青霉和曲霉为主,青霉和曲霉体内含有较多的磷酸酶和植酸酶^[6,7],这些真菌借助酶的作用能分解土壤中较稳定的植素类物质,释放出可溶性的磷素。而对于细菌和放线菌并没有表现出明显的根际效应。

4 讨论与结论

4.1 土壤盐碱化是土地可持续性利用的主要障碍,盐碱土壤影响植被的生长。改良盐碱土壤和提高植被覆盖对生态环境有重要的影响。研究表明在沙地土壤上种植锦鸡儿属灌木后能加速植被恢复进程^[3,8]。本文

表 3 种植柠条对土壤盐分及微量元素含量的影响

Table 3 Effects of *Caragana* Fabr. plantation on soil saline and trace elements

生境 Habitat	全盐量 Total salt (g·kg ⁻¹)	阳离子 交换量 CEC (cmol·kg ⁻¹)	K ⁺ 含量 K ⁺ content (mg·kg ⁻¹)	Na ⁺ 含量 Na ⁺ content (mg·kg ⁻¹)	Ca ⁺ 含量 Ca ⁺ content (mg·kg ⁻¹)
②盐碱滩地土壤	0.75	6.6	3.0	46.2	225.6
①多年生柠条林地土壤	0.71 **	7.0 **	4.6 **	78.0 **	182.8 **
生境 Habitat	Mg ²⁺ 含量 Mg ²⁺ content (mg·kg ⁻¹)	有效 Fe Available Fe (mg·kg ⁻¹)	有效 Mn Available Mn (mg·kg ⁻¹)	有效 Cu Available Cu (mg·kg ⁻¹)	有效 Zn Available Zn (mg·kg ⁻¹)
②盐碱滩地土壤	33.4	5.49	9.58	1.30	0.55
①多年生柠条林地土壤	21.2 **	5.56 *	11.66 **	1.31NS	1.14 **

①多年生柠条林地土壤 Perennial *Caragana* Fabr. forest soil;②盐碱滩地土壤 Saline-alkali soil

* 表示在 $p < 0.05$ 水平上差异显著; ** 表示在 $p < 0.01$ 水平上差异显著;NS 表示没有显著性差异 Superscript * denotes significant difference at $p < 0.05$; ** denotes significant difference at $p < 0.01$;NS denotes no significant difference

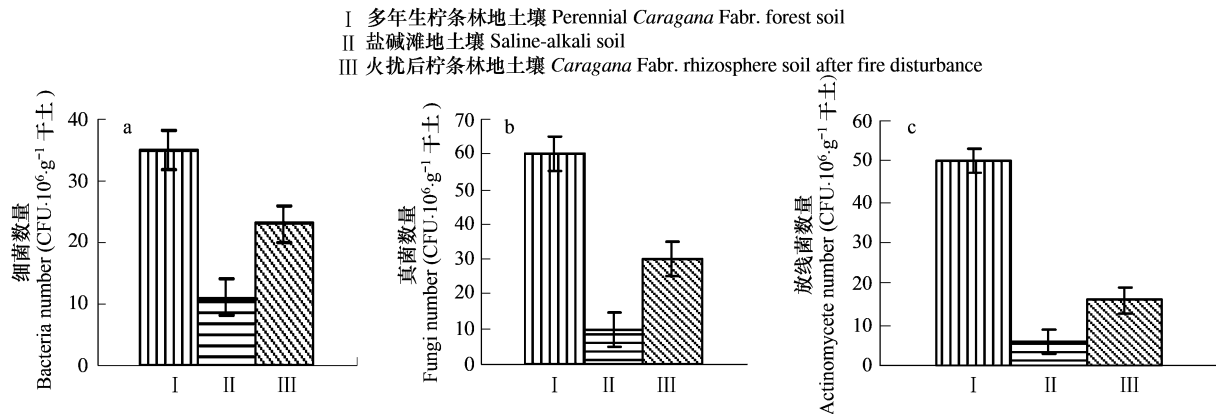


图 2 种植柠条对土壤微生物数量的影响

Fig. 2 Effects of *Caragana* Fabr. plantation on microbial number

(a) 细菌 bacteria (b) 真菌 fungi (c) 放线菌 actinomycetes

的植被调查结果显示,种植柠条后对盐碱滩地的植被群落结构及物种组成产生了一定的影响,也能促进盐碱地上植被恢复进程。首先物种丰富度发生变化,盐碱滩地上种植柠条后,植物科、属、种的数量增加。其次物种组成发生变化,在养分瘠薄的盐碱滩地上,盐生植物,如披碱草、披针叶黄花是该立地上的优势种,而定植柠条后,由于其属于豆科植物,可以进行共生固氮,显著提高了土壤中氮的水平,原有的优势种植物披碱草已完全消失,有毒杂草如披针叶黄花、砂引草逐步减少,而豆科植物如达乌里胡枝子、棘豆、黄芩等则发生了从无到有、从少到多的变化。

对于人工改良盐碱土壤的植物群落来说,能否持续的发挥稳定的改良土壤质地,并且不出现植被意外破坏后返盐碱的现象,不仅应具备正常生长发育和自我更新的能力,还应对外界干扰具有抵抗性和恢复性。根据本项目实验的观察记载,虽然 2005 年冬的一场野火造成人工种植的部分柠条灌木地上部分被完全烧枯,但第二年受火扰的该片区域土壤并未出现返盐碱现象,且在来年春季,由于柠条自身旺盛的萌发能力,在本年度调查时,平均高度已达 56cm,部分植株已结荚,且林下植被的丰度仍高于盐碱滩地上的。这表明柠条用于改良盐碱地时对于外界强度干扰具有较强的稳定性,表现为改良效果的稳定性。柠条灌木林一旦定植,就能在植被的恢复与重建发挥重要作用。

4.2 改善土壤理化性状有利于土地的持续利用和盐碱土壤的改良。盐生植物对盐碱地和滨海盐渍土有明显的生物修复作用,如林学政等^[9]通过比较滨海盐碱地种植盐地碱蓬土壤和对照土壤有机质和总氮的差异,结

果有机质和总氮与对照土壤相比分别增加 43% 和 18%, 说明种植盐地碱蓬对改善滨海盐碱地的生态有明显的效果; 郝金标^[10]等人实验表明, 种植盐生植物可以有效地促进土壤盐分的脱除, 改善土壤结构, 降低土壤盐度, 增加土壤的孔隙率。沙地或草地上的柠条锦鸡儿灌木会引起土壤理化性状的改变^[4,11,12]。本文研究结果表明在盐碱滩地上通过人工种植柠条后, 可以减少土壤含盐量, 改良盐碱化现状, 提高可利用的土壤养分含量, 增加植物生长所必需微量营养元素。在盐碱滩地, 土壤板结, 极低的持水性能和瘠薄的养分状态不利于植物的生存。随着柠条灌木的种植和生长发育, 盐碱斑逐渐消失, 有效养分含量增加, 植被覆盖度逐渐增加。

4.3 土壤微生物是构成生态环境的重要组成部分, 土壤微生物群落结构的变化对植物枯枝分解^[13]、养分吸收^[14]、氮循环^[15]、碳循环^[16]和其它土壤性质改变^[17~19]起重要作用。土壤中微生物的类群、数量、分布和组成直接受土壤植被、水分状况和养分含量等因素的影响, 不同生态环境条件下的土壤微生物区系存在较大差异。本文研究结果表明, 由于柠条发达的根系改良了土壤通气和土壤湿度条件, 使得土壤微环境发生变化, 从而创造了一个促进微生物生长的有利环境。板结的盐碱土壤微生物数量均较少, 建立人工植被后显著提高; 且随着定植时间的增加土壤微生物得以更好的发育, 6 年生柠条地中的土壤微生物数量明显高于火干扰后自然更新的 2 年生柠条地中的土壤微生物数量。在多年生的柠条林中, 根际土中真菌数量明显高于根围土中的。这可能是因为柠条锦鸡儿根际既有根瘤菌^[20]又定殖着丛枝菌根真菌^[21]。无论是根瘤菌还是丛枝菌根真菌均有助于柠条对土壤中氮磷元素的吸收利用, 这使柠条林下微环境得到改善, 创造了一个微生物生长的有利环境。随着时间的推移, 由于地下根系的传递作用, 土壤微生物活性逐渐提高。

综上所述, 大同盆地盐碱滩地上种植的柠条目前已起到改良盐碱土壤的作用。“植物-土壤-微生物”间的反馈可能是柠条影响盐碱地植被组成及土壤特性的重要机制。柠条发达的根系创造了一个促进微生物生长的有利环境; 进而由于土壤微生物在物质循环和能量代谢中的重要作用, 促进了养分的有效性, 盐分减少, 植物生长必需微量元素增加, 这为物种的发育和长期生存提供了物质基础和能量保障。也为在改良后的土壤上实现灌草间作(如柠条与牧草)或灌木与灌木间作(如柠条与经济植物甘草等)提供了必备的土壤条件, 为实现更大的经济效益创造了条件。

References:

- [1] Zhen B Z. Recent Developments of the Improvement and Utilization of Saline-alkali Soil in Shanxi. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1999, 27(4): 89–91.
- [2] Niu X W. *Caragana Research*. Beijing: Science Press, 2003.
- [3] Cao C Y, Jiang D M, Alamsa, *et al.* Ecological process of vegetation restoration in *Caragana microphylla* sand-fixing area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(3): 349–354.
- [4] Su Y Z, Zhao H L, Zhang T H, Li Y L. Characteristics of plant community and soil properties in the plantation chronosequence of *Caragana Microphylla* in Horqin sandy land. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(1): 93–100.
- [5] Lu R K. *Analysis methods on soil agriculture chemistry*. Beijing: Agriculture Science and Technology Press, 2000.
- [6] Liu H L, Wu Y Z, Li Q, *et al.* Studies on the fermentation conditions of phytase from *Penicillium* sp. LQ-7. *Biotechnology*, 2003, 13(1): 10–11.
- [7] Li X M, Cheng Y R, Luo Y J. Culture of compost microorganism and phosphatase Activity(I) — The phosphatase production Activity of aspergillus. *Chinese J Soil Science*, 2006, 37(4): 757–760.
- [8] Cao C Y, Jiang D M, Luo Y M, *et al.* Stability of *Caragana microphylla* plantation for wind protection and sand fixation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1178–1186.
- [9] Lin X Z, Shen J H, Liu K Z, *et al.* Study on remediation effects of *Suaeda salsa* L. planting on coastal saline soil. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(1): 65–69.
- [10] Xi J B, Zhang F S, Cheng Y, *et al.* A preliminary study on salt contents of soil in root-canopy area of halophytes. *Chinese J Applied Ecology*, 2004, 15(1): 53–58.
- [11] Li X Z, Zhang S M, Xing X R. Spatial variation of plant biomass and soil chemical element contents induced by *Caragana microphylla*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(1): 24–30.
- [12] Zhang Q, Cheng B, Yang Z P, *et al.* Nutritional characteristics of *Caragana jubata* shrub and distribution pattern s of soil nutrients in Luya

- Mountain. Chines Journal of Applied Ecology. 2006, 17 (12): 2287—2291.
- [13] Hattenschwiler S, Tiunov A V, Scheu S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst., 2005, 36, 191—218.
- [14] Zak D R, Holmes W E, White D C, Peacock A D, Tilman D. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? Ecology, 2003, 84, 2042—2050.
- [15] Sprent J I, Parsons R. Nitrogen fixation in legume and non-legume trees. Field Crops Res., 2000, 65, 183—196.
- [16] Hogberg P, Nordgren A, Buchmann N, Taylor A F S, Ekblad A, Hogberg M N, *et al.* Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. Nature, 2001, 411, 789—792.
- [17] Li C H, Li Y, Xie J X, Tang L S. Comparative on microbial community composition and microbial activities in desert and oasis soils. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8): 3391—3399.
- [18] Maherali, H. & Klironomos, J. N. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. Science, 2007, 316, 1746—1748.
- [19] Rillig, M. C. & Mummey, D. L. Mycorrhizas and soil structure. New Phytol., 2006, 171, 41—53.
- [20] Niu X W, Shi Q L, Zhang Q, Zhou H P, Cheng B, Yang Z P. Study of resources distribution and ecology of *Rhizobium* sp. (*Caragana*) in Shanxi Province. Acta Bot Boreal Occident Sin., 2003, 23(6): 921—925.
- [21] He X L, Zhao L L, Yang H Y. Diversity and spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi of *Caragana korshinskii* in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3835—3840.

参考文献:

- [1] 郑必昭. 山西省盐碱地改良利用近况. 山西农业科学, 1999, 27(4): 89~91.
- [2] 牛西午. 柠条研究. 北京: 科学出版社, 2003.
- [3] 曹成有, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 小叶锦鸡儿人工固沙区植被恢复生态过程的研究. 应用生态学报, 2000, 11(3): 349~354.
- [4] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地不同年代小叶锦鸡儿人工林植物群落特征及其土壤特征. 植物生态学报, 2004, 28(1): 93~100.
- [5] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [6] 刘红蕾, 吴远征, 李强, 等. 青霉 LQ-7 植酸酶产生条件研究. 生物技术, 2003, 13(1): 10~11.
- [7] 李雪梅, 陈育如, 骆跃军. 堆肥微生物的培养与磷酸酶活性的研究(I)——曲霉的产磷酸酶活性的研究. 土壤通报, 2006, 37(4): 757~760.
- [8] 曹成有, 蒋德明, 骆永明, 等. 小叶锦鸡儿防风固沙林稳定性研究. 生态学报, 2004, 24(6): 1178~1186.
- [9] 林学政, 沈继红, 刘克斋, 等. 种植盐地碱蓬修复滨海盐渍土效果的研究. 海洋科学进展, 2005, 23(1): 65~69.
- [10] 郝金标, 张福锁, 陈阳, 等. 盐生植物根冠区土壤盐分变化的初步研究. 应用生态学报, 2004, 15(1): 53~58.
- [11] 李香真, 张淑敏, 邢雪荣. 小叶锦鸡儿灌丛引起的植物生物量和土壤化学元素含量的空间变异. 草业学报, 2002, 11(1): 24~30.
- [12] 张强, 程滨, 杨治平, 等. 芦芽山鬼箭锦鸡儿灌丛营养特征及土壤养分分布规律. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2287~2291.
- [17] 李晨华, 李彦, 谢静霞, 等. 荒漠-绿洲土壤微生物群落组成与其活性对比. 生态学报, 2007, 27(8): 3391~3399.
- [20] 牛西午, 史清亮, 张强, 等. 山西锦鸡儿根瘤菌分布与生态学研究. 西北植物学报, 2003, 23(6): 921~925.
- [21] 贺学礼, 赵丽莉, 杨宏宇. 黄土高原柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性及空间分布. 生态学报, 2006, 26(11): 3835~3840.