



# 应用黄花草木樨斯列金 1 号防治退化土壤研究

李月芬<sup>1</sup>, 龚河阳<sup>1</sup>, 林年丰<sup>2</sup>, Viengsouk Lasoukanh<sup>1</sup>, 赵一赢<sup>1</sup>

1. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061
2. 吉林大学环境与资源学院, 长春 130012

**摘要** 土地退化是一个世界性的环境问题, 中国是世界上土地退化最严重的国家之一, 松嫩平原是一个正处于退化发展过程中的典型地区。目前, 松嫩平原大约有 22% 的土地发生了不同程度的退化, 也称荒漠化。至今还没有大面积治理退化土地的有效方法。通过对种植黄花草木樨样地的监测, 根据土壤物理化学性质的变化分析了防治退化土壤的效果。结果表明, 在种植黄花草木樨后, 土壤中的有机质、水解性氮、全氮含量都明显增加。土壤脱盐率较高, 土壤中盐分含量、pH 值和碱化度明显降低。土壤中硒和钼含量普遍减少。黄花草木樨还可有效地改善土壤的通透性能, 土壤容重变小, 孔隙度增大。土壤的含水量及田间持水量提高, 保水持水能力增强。种植黄花草木樨斯列金 1 号可提高土壤肥力, 改善土壤物理性状, 防止或减缓水土流失, 而且还可提供丰富的优质牧草, 其种籽有重要的经济开发价值。

**关键词** 黄花草木樨; 引进品种; 土地退化; 水土流失; 综合开发应用

中图分类号 S156.44

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.34.011

## Effect of Applying *Melilotus Officinalis Sligen 1* on Improving Degradated Soil

LI Yuefen<sup>1</sup>, GONG Heyang<sup>1</sup>, LIN Nianfeng<sup>2</sup>, LASOUKANH Viengsouk<sup>1</sup>, ZHAO Yiying<sup>1</sup>

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130012, China

**Abstract** Soil degradation is a worldwide environment problem, and China is one of the countries with most serious soil degradation problem. The Songnen Plain is a typical area in degenerating, where degradation of different degrees, i.e., desertification, has so far taken place in around 22 percent areas. At present there is no effective method to improve the degenerated soil in such an immense area. Therefore, *Melilotus officinalis Sligen 1* has been introduced from Russia, and the experiments on planting, reproducing, soil improvement, etc. are being conducted all successfully. This article studies the effects of planting *Melilotus officinalia* on improving the degraded soil through the analysis of the physical and chemical properties of soil. The results show that planting *Melilotus officinalia* can increase organic matter, total N, and hydrolytic N. After planting *Melilotus officinalia*, the desalinization rate is very high and total salt content, pH and exchangeable sodium percentage in soil all decrease. In addition, after planting *Melilotus officinalia*, selenium and molybdenum in soil present a downward trend. The planting of *Melilotus officinalia* can effectively improve the ventilation of soil, and the soil bulk density decreases while total porosity of soil increases. Water content and field capacity both increase, showing that the water-holding capacity increases. In a word, to plant *Melilotus officinalis Sligen 1* could enhance the fertility, improve the physical properties, prevent or decrease the loss of water and soil, and offer abundant high quality pastures whose seeds are valuable for economy exploitation.

**Keywords** *Melilotus officinalis*; introduced species; soil degradation; loss of water and soil; integrative exploitation and application

收稿日期: 2013-07-22; 修回日期: 2013-09-01

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(200903031); 吉林省自然科学基金项目(201215017); 吉林大学创新项目(200903033)

作者简介: 李月芬, 副教授, 研究方向为土壤改良、土壤地球化学, 电子信箱: yfli@jlu.edu.cn

## 0 引言

土地退化、荒漠化是一个世界性的环境问题,中国是世界上受荒漠化危害最严重的国家之一。联合国粮农组织 1971 年发表的《Land Degradation》首次提出了土地退化概念,随后,一些学者和国际学术组织又针对土地退化的类型和成因进行了深入探讨,而《Soil Degradation》(1990)等一系列专著的相继出版,标志着土地退化研究的活跃和日益成熟<sup>[1]</sup>。自 1985 年以来,林年丰等<sup>[2-6]</sup>在新疆塔里木盆地、松嫩平原等地开展了以荒漠化为主的生态环境系统研究。研究表明,上述地区气候变暖,干旱缺水,人口增加和水、土资源被过度开发利用是导致荒漠化的主要原因,在上述因素综合作用下,更加速了荒漠化的发展。同时,现代荒漠化的发展与古气候和地质环境密切相关,并有一定的继承性<sup>[7]</sup>。对荒漠化形成的天体因素,人类无能为力。对于温室效应,目前全世界正在行动,但在短期内难以奏效。然而,制止荒漠化的人为因素是可行的,大面积地改良退化土壤,可以作为追求的目标。松嫩平原是一个正处于荒漠化发展过程的典型地区。由于人类经济活动的加剧和全球变暖等因素的影响,导致水土流失、土地沙化、盐碱化、贫瘠化。土地资源受到破坏,甚至到了难以逆转的程度。近 50 年来,松嫩平原大约有 22% 的土地发生了不同程度的盐碱荒漠化和沙质荒漠化,其面积约 333 万  $\text{hm}^2$ 。土地的盐碱化速率为  $2.64\%/a$ ,沙化的速率为  $0.66\%/a$ 。若以此速度任其发展,50 年后将有 1/2 的土地沦为荒漠<sup>[8-9]</sup>。因此,开展应用黄花草木樨斯列金 1 号防治退化土壤的研究,对于增加土地覆盖度,改良退化土壤,防止水土流失,保护生态环境,发展畜牧业具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 草木樨的利用和引进

草木樨 (*Melilotus Mill*) 为多年生的野生草本植物,在自然界以白花草木樨 (*Melilotus albus*, MA) 和黄花草木樨 (*Melilotus officinalis*, MO) 为多。远在 2000a 前,地中海地区的居民将其做为绿肥植物和蜜源植物来栽培利用。1900 年,在美国肯塔基州,人们采用草木樨改良贫瘠土壤。20 世纪 30 年代,俄罗斯采用黄花草木樨进行草田轮作,欧、美等国利用苜蓿和草木樨等豆科牧草改良贫瘠土地<sup>[10]</sup>。20 世纪 40 年代初,中国在甘肃天水地区开展了草木樨的栽培推广试验,1952 年陆续在陕、甘、青、晋、新等 16 省区推广种植。由于草木樨具有耐贫瘠、耐干旱、抗盐碱、适应性广、繁殖力强,产量高等特点,既能肥田、改良土壤、保持水土,又可为牛、羊、马等诸多的养殖动物提供牧草饲料,被西北农民誉为“宝贝草”。至 1978 年,全国推广面积达 80 万  $\text{hm}^2$ 。20 世纪 80 年代末期,种植面积又迅速萎缩。

布里亚特共和国应用黄花草木樨斯列金 1 号与小麦、燕麦进行轮作,以达到防风,固沙,改良沙、碱土,保持水土,提高作物产量的目的。中国松嫩平原沙、碱土分布区的自然条件与俄罗斯西伯利亚地区的自然条件很相似,或者说更优越

些。如能在中国推广种植,这对保护生态环境、改良土壤、促进农、牧业的发展将会起到重要作用。林年丰在 1998—2000 年间,引进了 160kg 黄花草木樨斯列金 1 号种籽,在松嫩平原西南部(吉林西部)进行培育和试种。

### 1.2 斯列金 1 号黄花草木樨的种植试验

2000—2011 年,本课题组曾先后在吉林省大安市姜家甸草场、前郭县查干乡、伊通县马场等地开展了黄花草木樨的种植和土壤改良试验。5 期试验情况如下。

第 1 期,种籽出苗率和适应性试验(2000 年 5 月 8 日至 5 月 25 日),结果表明黄花草木樨的出苗率高达 98%,生长状况良好,枝繁叶茂。第 2 期,种植试验(2001 年 5—9 月),选择 pH 值为 9.0 的荒草地  $1.3\text{hm}^2$ ,开展了二年生黄花草木樨的种植试验,试验结果表明,黄花草木樨出苗率达 95%,生长茁壮,收干草  $3000\text{kg}/\text{hm}^2$ 。次年初秋收获种籽  $1000\text{kg}/\text{hm}^2$ ,平均株高 1.6m,最高达 2.07m,比同期的紫花苜蓿高 0.6m,种籽多  $750\text{kg}/\text{hm}^2$ 。比俄罗斯黄花草木樨高 0.4~0.6m,每公顷土地多产种籽 300kg。第 3 期,种籽繁殖试验(2002—2003 年),鉴于前两期的试验均获得成功,为了达到种籽本土化和自给的目的,特选择  $10\text{hm}^2$  土地建设种籽基地,2003 年秋季获得种籽 1000kg。第 4 期,种籽繁殖及花岗岩风化壳土壤改良。伊通马场  $8.5\text{hm}^2$  试验场地(2003 年 5 月至 2004 年 8 月)。通过试验,每公顷收干草 5000kg,种籽 1200kg。原来为不能种粮食的荒地,经改良后,土层疏松,氮素、有机质大量增加。在其上种植玉米获得中等收成。第 5 期,黄花草木樨斯列金 1 号防治土壤退化与综合开发示范试验。基地位于吉林省大安市姜家甸草场,面积  $100\text{hm}^2$ (2010 年 5 月至今)。通过试验,黄花草木樨对于碱化、强碱化土壤都可起到全面的改良作用。

主要试验地在姜家甸草场进行。姜家甸位于洮儿河下游的低平原区,海拔 130~135m,多年平均降水量为 413.7mm,多年平均蒸发量 1610mm,年均干燥度 1.15,土壤为亚沙土、黏沙土,夹亚黏土。有机质为 1%,pH 值为 9.02。选择样地面积  $10\text{hm}^2$ <sup>[10]</sup>。

选定黄花草木樨一年生样地、黄花草木樨二年生样地的土样作为测试样本,每一测点挖 60cm 深的剖面,分为 A、B、C、D 4 层,即 0~10cm, 10~20cm, 20~40cm, 40~60cm, 分层取样测试。每次在相应样地进行多点蛇形采样,混匀装入土袋风干备用。采样时间为 2002 年 6 月( $T_1$ )和 10 月( $T_2$ ), 2010 年 6 月( $T_3$ )和 10 月( $T_4$ ),即从黄花草木樨的发芽或返青期到成熟收割期。

### 1.3 测定项目及方法

pH 值测定采用 pHS-25 型酸度计法;土壤有机质测定采用电热板加热——重铬酸钾容量法;土壤碱解氮测定采用碱解扩散法;土壤全氮采用半微量开氏定氮法;土壤可溶性盐总量测定采用质量法;土壤容重测定采用环刀法;土壤总孔隙度( $\%$ )=(1-土壤体积质量/土壤密度) $\times 100\%$ ;Se 采用原子荧光光谱法(AFS)测定;Mo 采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP)测定;土壤含水量采用烘干法测定;田间持水量采



用威尔科克斯 (Wilcoxon) 法测定<sup>[9-11]</sup>。

#### 1.4 数据处理

实验数据的统计分析采用 SPSS16.0 软件完成。

### 2 结果与分析

#### 2.1 土壤 pH 值、可溶盐总量和碱化度

种植黄花草木樨 1 年和 2 年后, 土壤 pH 值、可溶盐总

量、碱化度等方面发生了较大变化。由表 1 可知, 黄花草木樨脱盐率较高, 黄花草木樨二年生样地的 A、B 和 C 层土壤脱盐率较黄花草木樨一年生样地分别高 54.62%、34.19% 和 50.6%。D 层脱盐率相对较低, 一年生样地和二年生样地的脱盐率分别为 6.82% 和 13.33%。土壤 pH 均值从黄花草木樨一年生样地的 9.02 下降到黄花草木樨二年生样地的 8.1, 下降幅度为 10.2%。

表 1 斯列金 1 号黄花草木樨种植前后土壤盐分、pH 值和有机质变化

Table 1 Change of total salt, pH value and organic matter before and after cultivation of *Melilotus officinalis* Sligen 1

取样时间	层位	黄花草木樨一年生样地			黄花草木樨二年生样地		
		盐分/%	pH 值	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	盐分/%	pH 值	有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	A	0.13	8.41	30.90	0.10	8.44	32.30
	B	0.22	8.87	22.40	0.23	8.59	23.90
	C	0.21	9.39	8.50	0.56	7.76	19.80
	D	0.44	9.39	5.70	0.30	7.62	11.20
	均值	0.25	9.02	16.88	0.30	8.10	21.80
T <sub>2</sub>	A	0.11	7.75	35.50	0.03	7.60	35.70
	B	0.19	7.83	29.50	0.12	7.80	29.80
	C	0.20	8.15	22.30	0.25	8.13	22.40
	D	0.41	8.91	13.20	0.26	8.89	12.80
	均值	0.23	8.16	25.13	0.17	8.11	25.18
变化幅度/%	A	-15.38	-7.85	14.89	-70.00	-9.95	10.53
	B	-13.64	-11.72	31.70	-47.83	-9.20	24.69
	C	-4.76	-13.21	162.35	-55.36	4.77	13.13
	D	-6.82	-5.11	131.58	-13.33	16.67	14.29

由表 2 可知, 黄花草木樨一年生样地、二年生样地土壤碱化度分别从 T<sub>1</sub> 的 5.68% 和 4.39% 下降为 T<sub>2</sub> 的 2.90% 和 1.57%, 下降幅度分别为 48.94% 和 64.24%。另外, 从土壤可溶

盐的含量、土壤 pH 值和碱化度的变化来看, 斯列金 1 号黄花草木樨生物改良有一定的抑制盐分表聚的作用, 这与赵兰坡等<sup>[12]</sup>的研究结果基本一致。

表 2 斯列金 1 号黄花草木樨种植前后土壤理化性质变化

Table 2 Change of soil physical and chemical properties before and after cultivation of *Melilotus officinalis* Sligen 1

取样时间	黄花草木樨一年生样地					黄花草木樨二年生样地				
	碱化度/ %	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/ %	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解性氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	碱化度/ %	土壤容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/ %	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解性氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
T <sub>1</sub>	5.68	1.25	50.40	0.275	91.24	4.39	1.18	54.10	0.3711	69.92
T <sub>2</sub>	2.90	1.19	57.60	1.980	93.90	1.57	1.13	57.70	1.3920	95.33
变化幅度/%	-48.94	-4.80	14.29	620.00	2.92	-64.24	-4.24	6.65	275.10	36.34

#### 2.2 土壤 C、N 含量

由表 1 可知, 从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>2</sub>, 黄花草木樨一年生样地在 A、B、C、D 土层, 有机质含量分别增加 0.46%、0.71%、1.38% 和 0.75%, 增长幅度达 14.89%、31.7%、162.35% 和 131.58%。黄花草木樨二年生样地在 4 个土层, 有机质含量分别增加 0.34%、0.53%、0.22% 和 0.15%, 增长幅度达 10.53%、22.18%、11.11% 和 13.39%。

由表 2 可知, 从 T<sub>1</sub> 到 T<sub>2</sub>, 一年生样地和二年生样地全氮分别从 0.275 和 0.3711g·kg<sup>-1</sup> 上升至 1.98 和 1.392g·kg<sup>-1</sup>, 分别增加了 1.705 和 1.0209g·kg<sup>-1</sup>, 增长幅度分别为 620% 和

275.1%。一年生样地和二年生样地水解性氮分别从 91.24 和 69.92mg·kg<sup>-1</sup> 上升至 93.9 和 95.33mg·kg<sup>-1</sup>, 分别增加了 2.66 和 25.41mg·kg<sup>-1</sup>, 增长幅度分别为 2.92% 和 36.34%。

#### 2.3 土壤 Se、Mo 含量

微量元素作为有机体酶等生物活性物质的组成成分, 参与机体一系列的物质代谢过程, 具有重要的生理生化作用。例如, 硒具有抗氧化、拮抗重金属、抗逆境等多种生物学活性<sup>[13]</sup>。钼可提高植株固氮酶、谷氨酰胺合成酶、硝酸还原酶高活性及天冬酰胺合成酶活性, 使地上部氮含量增加<sup>[14]</sup>。

种植黄花草木樨后土壤中硒和钼有普遍减少的现象。硒均值从 0.204mg·g<sup>-1</sup> 下降至 0.130mg·g<sup>-1</sup>, 下降了 0.074mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅度为 36.27%。下降最小的样点下降了 0.008mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅度为 5.06%。下降最大的样点下降了 0.167mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅

度为 53.35%。钼均值从 0.644mg·g<sup>-1</sup> 下降至 0.580mg·g<sup>-1</sup>, 下降了 0.064mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅度为 9.94%。下降最小的样点下降了 0.006mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅度为 1.23%, 下降值最大的样点下降了 0.167mg·g<sup>-1</sup>, 下降幅度为 25.11%(表 3)。

表 3 斯列金 1 号黄花草木樨种植前后土壤硒、钼含量变化

Table 3 Change of soil Se and Mo contents before and after cultivation of *Mellilotus officinalis* Sligen 1

采样点	T <sub>3</sub>		T <sub>4</sub>		硒含量均值差/ 钼含量均值差/		硒下降幅度/ 钼下降幅度/	
	硒/(mg·kg <sup>-1</sup> )	钼/(mg·kg <sup>-1</sup> )	硒/(mg·kg <sup>-1</sup> )	钼/(mg·kg <sup>-1</sup> )	(mg·kg <sup>-1</sup> )	(mg·kg <sup>-1</sup> )	%	%
1	0.268	0.81	0.104	0.645	-0.164	-0.165	61.19	20.37
2	0.176	0.67	0.135	0.603	-0.041	-0.067	23.30	10.00
3	0.194	0.605	0.115	0.481	-0.079	-0.124	40.72	20.50
4	0.313	0.653	0.146	0.595	-0.167	-0.058	53.35	8.88
5	0.183	0.665	0.156	0.498	-0.027	-0.167	14.75	25.11
6	0.210	0.766	0.126	0.772	-0.084	0.006	40.00	-0.78
7	0.158	0.488	0.150	0.482	-0.008	-0.006	5.06	1.23
8	0.129	0.625	0.105	0.590	-0.024	-0.035	18.60	5.60
总均值	0.204	0.644	0.130	0.580	-0.074	-0.064	36.27	9.94

2.4 土壤孔性

由表 2 可知,一年生样地和二年生样地土壤容重分别从 T<sub>1</sub> 的 1.25 和 1.18g/cm<sup>3</sup> 下降至 T<sub>2</sub> 的 1.19 和 1.13g/cm<sup>3</sup>, 分别下降了 0.06 和 0.05g/cm<sup>3</sup>。且二年生样地明显低于一年生样地。土壤总孔隙度均有不同程度的提高,一年生样地和二年生样地分别从 T<sub>1</sub> 的 50.4% 和 54.1% 上升至 T<sub>2</sub> 的 57.6% 和 57.7%。

2.5 土壤水分

由于土壤含水量及田间持水量受季节影响较大,不同季节没有可比性,因此仅对同一时间不同地段的试验数据进行了分析比较(表 4)。由表 4 可知,T<sub>3</sub> 种植区土壤含水量较未种植区高,而 T<sub>4</sub> 较未种植区稍低,这是因为 6—10 月黄花草木樨生长茂盛,植物根系吸收较多水分所致,且 2010 年 6—10 月这段时间大安市严重干旱,降水量仅为 170.3mm,草场严重缺水,所以土壤中水分含量也相应降低。T<sub>3</sub> 种植区田间持水量与未种植区相差不大,而 T<sub>4</sub> 相差较大。这说明黄花草木樨种植后使土壤性质得到改善,田间持水量增加,即土壤有效水分含量增加,逐渐有利于作物生长<sup>[15]</sup>。

表 4 土壤含水量及田间持水量对比分析  
Table 4 Comparison of soil moisture and field moisture capacities

项目	月份	种植区	未种植区
土壤含水量/%	T <sub>3</sub>	19.78	16.97
	T <sub>4</sub>	11.74	12.39
田间持水量/%	T <sub>3</sub>	21.50	21.86
	T <sub>4</sub>	24.70	23.19

2.6 黄花草木樨的生物有效成分含量

斯列金 1 号黄花草木樨具有许多重要的特性、功能和经济价值。在俄罗斯尽管黄花草木樨早被利用,但是他们对黄

花草木樨的价值和功能的认识仅停留在土壤改良和草谷轮作的水平上。对黄花草木樨的开发、利用包括许多方面:大力推广种植黄花草木樨,改良沙、碱、贫瘠土壤,保护土地资源,防治荒漠化;沤制绿肥,或制成复合生物肥料,逐步减少或取代对化肥的施用;建设无污染、无公害的绿色食品生产基地;开发优质牧草饲料,草粉、草饼及合成剂等,为发展畜牧业提供优质饲料<sup>[16]</sup>;开发黄花草木樨中的生物有效成分,如蛋白质、氨基酸、亚油酸、亚麻酸,黄酮等,建立保健医药原料基地。从表 5 可以看出,蛋白质含量,种籽高于大豆 6.86%;高于玉米 31.91%,为玉米含量的 4.8 倍。氨基酸含量,种籽高于大豆 5.25%;高于玉米 26.26%,为玉米含量的 5.21 倍。8 种必需氨基酸的含量,种籽高于大豆 4.15%。由此可见,就蛋白质、氨基酸而言,种籽的营养成分高于大豆,远高于玉米。黄花草木樨的种籽有重要的开发利用价值,可作为人类、畜禽类的后备食物。

表 5 斯列金 1 号黄花草木樨种籽、大豆和玉米中生物有效成分含量

Table 5 Biological effective components of *Mellilotus officinalis* seeds, soybean and maize

	粗蛋白/%	氨基酸/%	粗脂肪/%	8 种必需氨基酸*/%
种籽	40.21	31.300	4.55	15.61
大豆	33.35	26.050	23.67	11.46
玉米	8.30	5.045	—	—

注:\*,8 种必需氨基酸分别是苯丙氨酸、蛋氨酸、赖氨酸、苏氨酸、色氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸。

Notes:\*, the eight kinds of essential amino acids are phenylalanine, methionine, lysine, threonine, tryptophan, leucine, isoleucine, and valine, respectively.

### 3 结论

以上研究结果表明,斯列金1号黄花草木樨可改善表层土壤的结构性,提高土壤水分入渗能力,减少地表水分蒸发,土壤的保水与持水能力增强,抑制盐分表聚<sup>[7-9]</sup>;黄花草木樨强大的根群和发育的根瘤,经微生物的分解作用,使其能较快地融于土壤中,从而增加了耕作层的有机质,大大提高了全氮和水解氮的含量,展现了强大的固氮作用,使土壤肥力显著提高<sup>[6]</sup>;黄花草木樨可以大幅度地降低土壤的pH值、碱化度;另外,斯列金1号黄花草木樨还是一种富硒、钼能力较强的优质饲料资源。

由于人口快速增长,人类对自然资源的过度开发利用和全球干暖化的影响,土地退化迅速发展,许多地区的土地退化已到了不可逆转的程度。人类消耗自然资源的速度已超过自然资源的再生速度,土地资源危机已影响到世界的粮食安全。松嫩平原的土地退化表现为黑土浅色化、土地沙化、盐碱化、贫瘠化和草地退化。由于长期过量地使用化肥,使土地板结、通透性降低,加速了土地退化的进程,致使生物量锐减,覆盖度降低,地面蒸发量增加,提高了地面温度和干燥度,加重了土地风蚀和水蚀的风险。斯列金1号黄花草木樨对改良退化土壤,防治水土流失和土地风蚀有着重要的现实意义和长远的生态学意义。另外,人们可从牧草中得到丰富的蛋白质、氨基酸等重要营养物质,人类的粮食安全将可得到保障。斯列金1号黄花草木樨适合用于大面积退化土壤的改良,是一项很值得推广的土壤生物改良技术。

### 参考文献 (References)

- [1] 杜子涛, 杨小明, 颜树强, 等. 奈曼旗土地退化遥感监测研究 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 154-161.  
Du Zitao, Yang Xiaoming, Yan Shuqiang, et al. Transactions of the CSAE, 2012, 28(3): 154-161.
- [2] 林年丰, 汤洁. 新疆塔里木西部平原生态环境地质综合研究[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1992: 228-239.  
Lin Nianfeng, Tang Jie. Synthetical study on eco-geological environment in the west of Tarim basin in Xinjiang[M]. Changchun: Jilin University Press, 1992: 228-239.
- [3] 林年丰. 第四纪地质环境的人工再造作用与土地荒漠化[J]. 第四纪研究, 1998(2): 128-135.  
Lin Nianfeng. Quaternary Sciences, 1998(2): 128-135.
- [4] 林年丰, 汤洁, 卞建民, 等. 东北平原第四纪环境演化与荒漠化问题[J]. 第四纪研究, 1999(5): 448-455.  
Lin Nianfeng, Tang Jie, Bian Jianmin, et al. Quaternary Sciences, 1999(5): 448-455.
- [5] 林年丰, 汤洁. 第四纪环境演变与中国北方的荒漠化 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33(2): 183-191.  
Lin Nianfeng, Tang Jie. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33(2): 183-191.
- [6] 林年丰, 汤洁, 斯葛, 等. 松嫩平原荒漠化的 EOS-MODIS 数据研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 265-273.  
Lin Nianfeng, Tang Jie, Si Ai, et al. Quaternary Sciences, 2006, 26(2): 265-273.
- [7] 林年丰, Vinliam Bounlom, 汤洁, 等. 松嫩平原盐碱土的形成与新构造运动关系的研究[J]. 世界地质, 2005, 24(3): 282-288, 311.  
Lin Nianfeng, Vinliam Bounlom, Tang Jie, et al. Global Geology, 2005, 24(3): 282-288, 311.
- [8] 张保烈, 文荣威. 草木樨[M]. 北京: 农业出版社, 1989.  
Zhang Baolie, Wen Rongwei. *Melilotus officinalis*[M]. Beijing: Agriculture Press, 1989.
- [9] 李月芬, 汤洁, 林年丰, 等. 黄花草木樨改良盐碱土的试验研究 [J]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 8-11.  
Li Yuefen, Tang Jie, Lin Nianfeng, et al. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2004, 24(1): 8-11.
- [10] 汤洁, 李月芬, 林年丰, 等. 应用生物技术改良退化土壤的效果——以黄花草木樨改良盐碱化土壤为例 [J]. 生态环境, 2004, 13(1): 51-53, 60.  
Tang Jie, Li Yuefen, Lin Nianfeng, et al. Ecology and Environmental, 2004, 13(1): 51-53, 60.
- [11] 李西开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.  
Li Youkai. Routine analysis method of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: Science Press, 1983.
- [12] 赵兰坡, 冯君, 王宇, 等. 不同利用方式的苏打盐渍土剖面盐分组成及分布特征[J]. 土壤学报, 2011, 48(5): 904-911.  
Zhao Lanpo, Feng Jun, Wang Yu, et al. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(5): 904-911.
- [13] 王楠, 李晓忠, 秦彧, 等. 西藏日喀则地区栽培牧草中7种微量元素的分布特征[J]. 草业科学, 2010, 27(10): 160-165.  
Wang Nan, Li Xiaozhong, Qin Yu, et al. Pratacultural Science, 2010, 27(10): 160-165.
- [14] Steinberg R A. Relation of accessory substance to heavy metal including molybdenum, in the nutrition of spergillussniger[J]. Agues, 1936, 52: 439-448.
- [15] 卞建民, 刘彩虹, 杨占梅, 等. 种植黄花草木樨对盐碱地土壤水、盐状况的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(2): 176-179, 183.  
Bian Jianmin, Liu Caihong, Yang Zhanmei, et al. Journal of Jilin Agricultural University, 2012, 34(2): 176-179, 183.
- [16] 杨运生. 绿肥译丛[M]. 北京: 农业出版社, 1984.  
Yang Yunsheng. Translated collection of green manure[M]. Beijing: Agriculture Press, 1984.
- [17] Clarke C J, George R J, Bell R W, et al. Dryland salinity in south-western Australia: Its origins, remedies, and future research directions [J]. Australia Journal Soil Research, 2002, 40(1): 93-113.
- [18] Richard G B, Nico E M, Swaminathan T, et al. Species differences in transpiration on saline discharge site[J]. Agriculture Water Management, 2001, 50(1): 65-81.
- [19] 张为政. 草地土壤次生盐渍化——松嫩平原次生盐碱斑成因的研究 [J]. 土壤学报, 1993, 30(2): 78-91.  
Zhang Weizhen. Acta Pedologica Sinica, 1993, 30(2): 78-91.
- [20] 刁治民, 戴海珍. 浅谈根瘤菌与豆科牧草的共生固氮作用[J]. 青海草业, 1994, 3(5): 27-29.  
Diao Zhimin, Dai Haizhen. Qinghai Prataculture, 1994, 3(5): 27-29.

(责任编辑 吴晓丽)