

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.06.001

\*\*\*\*\*  
试  
验  
研  
究  
\*\*\*\*\*

# 人工与自然恢复方式对流动沙地土壤与 植被特征的影响

刘任涛<sup>1,2</sup>, 朱凡<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,  
宁夏 银川 750021; 2. 巴伊兰大学 生命科学学院, 以色列 拉马特甘 5290002)

**摘要:** [目的] 分析不同固沙措施对土壤—植被系统恢复的生态效应, 为该地区沙化草地选取合理的固沙措施、草场管理与利用以及沙漠化治理提供依据。[方法] 以宁夏地区盐池沙地围封自然恢复草地和灌丛人工固沙林地作为研究对象, 以周围流动沙地为对照, 对不同处理措施样地土壤性质和地表植被特征进行调查。[结果] (1) 两种恢复措施均能够显著增加土壤黏粉粒含量、土壤有机碳和全氮含量 ( $p < 0.001$ ), 降低土壤温度、容重和含水量 ( $p < 0.05$ ), 并显著提高草本植物丰富度、个体数和平均高度 ( $p < 0.05$ )。 (2) 自然围封草地土壤黏粉粒含量、草本植物个体数和丰度分别是人工灌丛林地的 2.1, 2.8, 1.4 倍; 而其土壤含水量下降幅度是人工灌丛固沙林地的 1.7 倍。人工灌丛固沙林地土壤有机碳、全氮含量以及草本植物平均高度分别是自然恢复草地的 2.1, 2.0, 2.2 倍; 而其土壤容重下降幅度是自然恢复草地的 2.5 倍。 (3) 随着流动沙地固定和草本植被恢复, 植物群落以一年生草本植物为特征逐渐演替到以一年生草本植物为主且伴生有多年生植物的草地生态系统。但一年生和多年生植物个体数和物种数自然恢复草地均明显高于人工灌丛固沙林地。[结论] 围封自然恢复对于宁夏地区盐池沙地土壤质地与植被系统稳定性的恢复质量优于灌丛人工恢复措施, 人工灌丛固沙因其能够有效改良土壤营养条件亦可作为重要辅助恢复手段。

**关键词:** 自然恢复; 人工固沙; 土壤; 植被; 流动沙地; 生态效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)06-0001-07

中图分类号: S154.5

## Effects of Artificial Revegetation and Natural Restoration on Soil and Vegetation Properties in Desert Land

LIU Rentao<sup>1,2</sup>, ZHU Fan<sup>1</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;  
2. The Mina & Everard Goodman Faculty of Life Sciences, Bar-Ilan University, Ramat-Gan 5290002, Israel)

**Abstract:** [Objective] Ecological effects of different measures of revegetation and sand fixation on soil-vegetation system were evaluated to provide some theoretical bases for sand fixation and desertification control, grassland management and utilization. [Methods] In desert land of Yanchi County in Ningxia Hui Autonomous Region, a naturally restored grassland and a manually afforested shrub land were selected as sampling sites, the adjacent shifting sand land was taken as control for comparison. Soil properties and vegetation characteristics were sampled and measured. [Results] (1) In addition to herbaceous plant richness, density and height ( $p < 0.05$ ), soil clay plus silt content, soil organic carbon and total nitrogen content ( $p < 0.001$ ) were markedly increased by the both measures. Whereas soil temperature, bulk density and soil moisture decreased ( $p < 0.05$ ). (2) Soil clay plus silt content, herbaceous richness and density in naturally restored grassland were 2.1, 2.8, 1.4 times greater than those of manually afforested shrub land, respectively. The decreasing rate of soil moisture in naturally restored grassland was 1.7 times more than that of manually af-

收稿日期: 2014-09-25

修回日期: 2014-11-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“荒漠草原土壤节肢动物多样性及分布对降雨变化的响应”(41101050); 高校博士学科点专项基金(20126401110003); 国家留学基金委与巴伊兰大学联合基金项目; 中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室开放基金项目(KLDD-2014-003)

第一作者: 刘任涛(1980—), 男(汉族), 河南省邓州市人, 博士, 副研究员, 主要从事荒漠生态学与土壤生态学相关研究。E-mail: liubarlanu@gmail.com。

forested shrub land. Soil organic carbon and total nitrogen content, and herbaceous height in manually afforested shrub land were 2.1, 2.0 and 2.2 times greater than those in naturally restored grassland, respectively. The decreasing magnitude of soil bulk density in manually afforested shrub land was 2.5 times more than that in naturally restored grassland. (3) Along with the succession and stabilization of shifting sand land, some annual herbaceous plants were gradually replaced by perennial plants. Herbaceous individual numbers and species richness of both annual and perennial plants were remarkably high in naturally restored grassland in comparison with the corresponding values of manually afforested shrub land. [Conclusion] Naturally restored management overmatched manually afforested management on the stability recovery of vegetation-soil system. The manually afforested management could be considered as an important supplementary way with efficient fertility improvement in desert ecosystems of Yanchi County in Ningxia Hui Autonomous Region.

**Keywords:** naturally restored management; manually afforested management; soil; vegetation; shifting sand land; ecological effect

在中国北方干旱、半干旱地区,由于人类活动干扰和气候因素的双重影响,大面积草地发生沙漠化<sup>[1]</sup>。具体表现为生产力下降、生物多样性丧失、土壤沙化、生态环境恶化等,实质上是土壤—植被—土壤生物系统的退化过程<sup>[2]</sup>。目前,在生产实践中采取围栏封育自然恢复或者种植灌丛进行人工固沙等各种措施,来治理沙漠化、恢复草地植被和提高草地生产力,改善草地环境<sup>[1]</sup>。但是,不同的固沙恢复措施所采用的具体方法不同,将对退化草地生态系统恢复的生态效应和恢复效果产生不同的影响<sup>[3]</sup>。所以,研究沙质草地两种主要恢复措施(即围封自然恢复与种植灌丛人工恢复)对流动沙地土壤性质和植被群落的影响,对于揭示区域沙化草地土壤—植被系统恢复效果、草场管理、沙漠化防治等均具有重要的理论与实践意义。近些年来,关于采取固沙恢复措施对流动沙地土壤—植被系统影响的研究开展较多。张金鹏<sup>[4]</sup>和赵哈林等<sup>[5]</sup>分别在呼伦贝尔沙地和科尔沁沙地开展了退化草地退化进行围栏封育后土壤与植被特征的变化研究。结果表明,围栏封育可以促进草地植被的正向演替速度,草本植物高度、密度、盖度、地下根量等显著提高<sup>[4]</sup>。王占军等<sup>[6]</sup>、蒋齐等<sup>[7]</sup>和赵哈林等<sup>[8]</sup>分别在毛乌素沙地及其南缘和科尔沁沙地开展了人工种植灌丛对流沙土壤和植被特征的影响及其固沙效应。结果表明,人工植被恢复技术包括栽种冰草、锦鸡儿、黄柳等固沙植物,可以快速提高植被覆盖度,增加地表粗糙度,降低贴地面风速,减少风沙流对地表的吹蚀,有利于多种生物的活动和繁衍,促进土壤的形成,增加土壤有机质含量,改善土壤肥力,达到快速防风阻沙、固沙的目的<sup>[3,6-8]</sup>。综合分析表明,围封自然恢复与种植灌丛人工恢复两种主要措施均可以有效固定流沙,改良土壤性质与恢复地表植被<sup>[9-10]</sup>。在宁夏自治区盐池沙地,大面积种植灌木人工林被广泛应用于治沙实践中进行流沙固定与植被

恢复,并由此相继开展了一系列关于人工林固沙对土壤性质<sup>[7]</sup>、植被恢复<sup>[6]</sup>以及节肢动物群落<sup>[11]</sup>等方面的研究。同时,自 2003 年以后在全县范围内进行退牧还草工程项目建设,目前围栏封育草场规模已经形成,流动沙地得到固定,草地植被覆盖度增加了 20%<sup>[12]</sup>。但是,关于人工林固沙与自然围封恢复措施对土壤和植被特征的影响比较,以及对沙质草地的恢复效果及其生态效应进行评价的报道较少。鉴于此,在宁夏自治区盐池沙地选取围封自然恢复草地与人工柠条灌丛恢复草地为研究样地,以周围流动沙地为对照,通过调查不同处理样地土壤性质和地表植被特征,旨在揭示不同固沙恢复措施对沙化草地土壤—植被系统的恢复效果,为该地区沙化草地采取合理的固沙措施、草场管理与利用以及沙漠化治理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地区概况

研究样地位于宁夏自治区盐池县城东北部 10 km 处(37°49'N,107°30'E)。该区域属于中温带半干旱区,年平均气温 7.7 °C,最热月(7 月)平均气温 22.4 °C,最冷月(1 月)平均气温 -8.7 °C;≥10 °C 的年积温 2 751.7 °C。年降水量为 280 mm,主要集中在 7—9 月,占全年降水量的 60% 以上,且年际变率大,年蒸发量 2 710 mm。年无霜期为 120 d。年平均风速 2.8 m/s,冬春风沙天气较多,每年 5 m/s 以上的扬沙达 323 次。地带性土壤主要有黄绵土与灰钙土(淡灰钙土);非地带性土壤主要有风沙土、盐碱土和草甸土等,其中风沙土在中北部分布广泛。研究样地土壤为风沙土。草本植被以沙米(*Agriophyllum arenarium*)、白草(*Pennisetum flaccidum*)、沙蒿(*Artemisia salsolodes*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、牛枝子(*Lespedeza pataninii*)、草木犀

状黄芪(*Astragalus melilotoides*)、牛心朴子(*Cynanchum mongolicum*)等适应沙区生长的沙生植物为主。灌丛主要包括柠条(*Caragana species*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)等。

## 1.2 研究方法

选择土壤、地形基本一致且处于围栏封育状态的自然恢复草地和人工柠条灌丛林地作为研究样地(两者均已封育 16 a),以周围流动沙地为对照,各有 3 个重复。在流动沙地和自然恢复草地中各设置 5 个调查样点,在灌丛林地中标记 4 株灌丛(间隔 5~8 m)作为调查样点。在每个调查样点,采用样方法进行地表草本植被特征调查,包括物种数、个体数、高度。同时,在每个调查样点,利用环刀(100 cm<sup>3</sup>)取土样进行土壤容重测定,利用土钻另取 1 混合土样用于土壤机械组成、全氮、有机碳、含水量测定。在上述调查前,用温度计测定 0—10 cm 土层温度,连续测定 3 d,取平均值。调查时间为 2012 年 7—8 月。土壤容重采用环刀法,土壤机械组成采用 MS 2000 激光粒度仪冯尔文法,土壤有机碳采用重铬酸钾氧化外加加热法,土壤全氮采用开氏定氮法(意大利产 DK6,UDK140 分析仪),土壤含水量采用称重法进行测定。具体测定方法参考文献[13]。

利用 one-way ANOVA 进行方差分析和 post

hoc 多重比较,统计分析前先进行正态分布性检验。采用 Pearson 相关系数分析地表植被特征与土壤性质间的相关性。所有统计处理采用 SPSS 15.0 软件进行,在  $p < 0.05$  水平上进行显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤性质

从表 1 可以看出,围封自然恢复和人工灌丛林地固沙均对流动沙地土壤性质产生了显著影响,土壤黏粉粒、土壤全氮和有机碳含量显著增加( $p < 0.001$ ),而土壤温度、土壤含水量和容重显著降低( $p < 0.05$ )。但不同恢复方式对流动沙地土壤性质的影响程度不同。相对于流动沙地,自然围封恢复草地和人工灌丛固沙土壤黏粉粒含量分别增加 23 倍和 10 倍,土壤有机碳含量分别增加 2.6 倍和 6 倍,土壤全氮含量分别增加 1.3 倍和 4 倍。但是,两种恢复方式下流动沙地土壤含水量下降幅度均比较大,自然恢复和人工灌丛固沙分别下降了 82.9%和 48.2%;其次是土壤温度,分别下降了 29.7%和 22.9%;而土壤容重下降幅度较小,分别下降了 3.4%和 8.5%。综合分析,自然围封恢复措施对土壤粒径组成、土壤含水量和表层土壤温度的影响较大,而人工灌丛固沙恢复措施对土壤有机碳和全氮含量以及土壤容重的影响较大。

表 1 不同处理样地土壤基本特性

样地	粗沙/% >0.25 mm	细沙/% 0.25~0.05 mm	黏粉粒/% <0.05 mm	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	含水量/ %	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	温度/ °C
流动沙地	26.32±2.98 <sup>a</sup>	73.26±3.02 <sup>b</sup>	0.42±0.04 <sup>c</sup>	0.07±0.00 <sup>c</sup>	0.46±0.03 <sup>b</sup>	4.71±0.70 <sup>a</sup>	1.39±0.03 <sup>a</sup>	35.20±0.65 <sup>a</sup>
人工灌丛林地	12.90±1.14 <sup>b</sup>	82.46±0.96 <sup>a</sup>	4.65±0.60 <sup>b</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>	3.36±0.15 <sup>a</sup>	2.44±0.48 <sup>b</sup>	1.27±0.01 <sup>b</sup>	27.13±0.38 <sup>b</sup>
自然恢复草地	33.40±2.83 <sup>a</sup>	56.43±2.33 <sup>c</sup>	10.17±1.16 <sup>a</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>	1.67±0.15 <sup>a</sup>	0.80±0.14 <sup>b</sup>	1.34±0.02 <sup>ab</sup>	24.74±0.23 <sup>c</sup>

注:数值为测定值±标准差;同列不同字母表示显著差异( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.2 地表植被

2.2.1 植物群落组成与种群分布 从表 2 可以看出,流动沙地以沙米为优势种,个体数占总个体数的 89%之多,而两种恢复方式均促使地表植物群落组成发生了显著变化。自然恢复草地以猪毛蒿为主,伴生有砂蓝刺头、虫实、地锦、叉枝丫葱和中亚百草等植物种,其个体数占其总个体数的 86%。人工灌丛固沙林地以猪毛蒿和赖草为主,伴生有砂蓝刺头、猪毛菜、地锦和山苦菜等植物种,其个体数占其总个体数的 87%。其中,流动沙地只有一年生植物,人工固沙林有 14 种一年生植物与 7 种多年生植物,而自然恢复草地除了 17 种一年生植物外,还有 9 种多年生植物。

2.2.2 群落数量特征 从图 1 可以看出,随着流动

沙地固定和草地植被恢复,植物平均个体数、丰富度和高度均呈现出增加趋势。但不同恢复方式对植物群落数量特征的影响程度不同,表现为自然围封恢复草地和人工灌丛固沙林地植物平均个体数分别是流动沙地的 8.8 和 3.1 倍,植物丰富度分别是流动沙地的 6.2 和 4.2 倍,而植物平均高度则分别是流动沙地的 1.4 倍和 3.1 倍。自然围封措施对植物平均个体数和丰富度的恢复要优于人工灌丛固沙措施,而对植物平均高度的影响要小于人工灌丛固沙措施。从表 1 也可以看出,一年生植物密度表现为自然恢复草地显著高于人工灌丛固沙林地( $p < 0.05$ ),二者均显著高于流动沙地( $p < 0.05$ )。多年生植物密度表现为自然恢复草地显著高于人工灌丛固沙林地( $p < 0.05$ ),而流动沙地无多年生植物个体出现。

表 2 不同处理样地植物种群密度分布

科/属/种	流动沙地		人工灌丛林地		自然恢复草地	
	种群密度/ (个·m <sup>-2</sup> )	百分比/%	种群密度/ (个·m <sup>-2</sup> )	百分比/%	种群密度/ (个·m <sup>-2</sup> )	百分比/%
沙米	51.7±11.5	89.1	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0
猪毛蒿	0.0±0.0	0.0	83.3±24.2	46.1	333.4±69.8	64.8
砂蓝刺头	0.0±0.0	0.0	13.1±4.1	7.2	25.0±6.0	4.9
赖草	3.3±2.4	5.7	36.6±19.0	20.3	9.2±7.9	1.8
阿尔泰狗娃花	0.0±0.0	0.0	3.6±1.4	2.0	2.4±1.6	0.5
细弱隐子草	0.0±0.0	0.0	3.3±3.3	1.8	4.4±1.7	0.9
猪毛菜	0.0±0.0	0.0	16.6±9.3	9.2	9.7±2.4	1.9
狗尾草	2.3±1.5	4.0	2.6±2.6	1.4	3.3±3.3	0.6
草木樨状黄芪	0.0±0.0	0.0	0.9±0.9	0.5	1.5±0.9	0.3
远志	0.0±0.0	0.0	0.9±0.9	0.5	1.9±0.9	0.4
虫实	0.7±0.7	1.1	1.0±1.0	0.6	31.5±31.0	6.1
米口袋	0.0±0.0	0.0	0.7±0.7	0.4	1.3±0.9	0.3
乳浆大戟	0.0±0.0	0.0	2.6±1.3	1.4	5.3±1.8	1.0
地锦	0.0±0.0	0.0	3.7±2.3	2.0	14.1±7.8	2.7
山苦菜	0.0±0.0	0.0	4.1±0.4	2.3	1.0±0.6	0.2
禾本科	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	2.3±2.3	0.5
稗草	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	6.3±2.8	1.2
蒿属	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.3±0.3	0.1
个体数(株·m <sup>-2</sup> )	58.0±14.7 <sup>c</sup>		172.7±33.6 <sup>b</sup>		453.1±47.5 <sup>a</sup>	
物种数	4		14		17	
苦豆子	0.0±0.0	0.0	1.5±0.9	0.8	2.1±1.2	0.4
砂珍棘豆	0.0±0.0	0.0	0.7±0.3	0.4	7.0±2.1	1.4
牛枝子	0.0±0.0	0.0	0.7±0.7	0.4	9.4±3.2	1.8
沙葱	0.0±0.0	0.0	0.3±0.3	0.2	1.7±1.7	0.3
叉枝丫葱	0.0±0.0	0.0	1.7±1.2	0.9	23.0±22.5	4.5
中亚白草	0.0±0.0	0.0	0.7±0.7	0.4	16.0±7.1	3.1
菟丝子	0.0±0.0	0.0	0.3±0.3	0.2	0.7±0.3	0.1
老瓜头	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.8±0.4	0.2
猫头刺	0.0±0.0	0.0	0.0±0.0	0.0	0.3±0.3	0.1
个体数/(株·m <sup>-2</sup> )	0.0±0.0		7.8±1.6 <sup>b</sup>		61.0±18.3 <sup>a</sup>	
物种数	0		7		9	

注:砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*),赖草(*Legmus secabinus*),阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*),细弱隐子草(*Cleistogenes gracilis*),狗尾草(*Setaria viridis*),草木樨状黄芪(*Astragalus melilotoides*),远志(*Polygala tenuifolia*),虫实(*Corispermum declinatum*),米口袋(*Gueldenstaedtia verna*),乳浆大戟(*Euphorbia esula*),地锦(*Parthenocissus tricuspidata*),山苦菜(*Ixeris chinensis*),稗草(*Echinochloa crusgalli*),砂珍棘豆(*Oxytropis racemosa*),沙葱(*Allium mongolicum*),叉枝鸦葱(*Scorzonera divaricata*),中亚白草(*Pennisetum centrasiaticum*),菟丝子(*Cuscuta chinensis*),老瓜头(*Cynanchum mongolicum*),猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)。

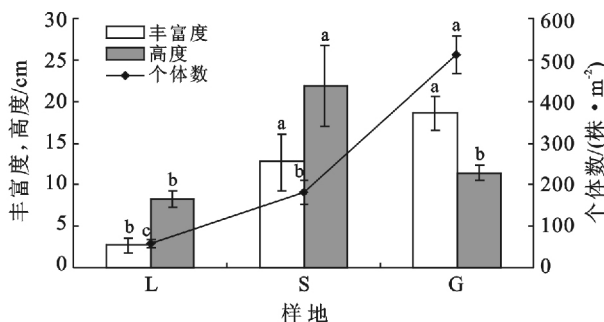


图 1 不同处理样地植物群落密度、丰富度和高度分布

### 2.3 土壤性质与植物群落间的相关性

表 3 为研究区土壤与植物数量特征间的相关系数。从表 3 可以看出,地表植物个体数与土壤细沙含量、土壤含水量和土壤温度呈显著负相关( $p < 0.01$ ),而与土壤黏粉粒呈极显著正相关( $p < 0.001$ )。地表植物物种丰富度与土壤含水量( $p < 0.05$ )和土壤温度呈负相关( $p < 0.01$ ),而与土壤黏粉粒呈正相关( $p < 0.05$ )。地表植物平均高度与土壤有机碳和全氮含量呈正相关( $p < 0.05$ )。

表 3 土壤与植物数量特征间的相关系数

项目	粗沙/% (>0.25 mm)	细沙/% (0.25~0.05 mm)	黏粉粒/% (<0.05 mm)	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	含水率/ %	容重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	土壤温度/ ℃
植物个体数	-0.021	-0.859**	0.902***	0.085	0.157	-0.880**	-0.083	-0.810**
植物丰度	-0.192	-0.587	0.784*	0.396	0.475	-0.756*	-0.351	-0.894**
植物高度	-0.761*	0.413	0.296	0.788*	0.765*	-0.239	-0.526	-0.346

注: \* 表示在  $p < 0.05$  水平显著相关, \*\* 表示在  $p < 0.01$  水平显著相关, \*\*\* 表示在  $p < 0.001$  显著相关。

### 3 讨论与结论

在流动沙地采取围栏封育和人工种植灌丛林等措施均被认为是固定流沙、恢复沙化草地生态系统的有效手段<sup>[6-7,14-15]</sup>。在宁夏自治区盐池沙地无论是围封后自然恢复,还是人工种植柠条灌丛固沙,均对沙化草地生态系统恢复产生非常重要的积极作用,表现为土壤粗化度降低、黏粉粒含量增加,土壤养分含量显著增加,土壤性质明显改善,同时植物个体数和物种丰富度增加。在围栏封育后,盐池沙地在 280 mm 年均降雨量的气候条件下,排除人为干扰,地表植被的自然恢复可以有效减少土壤风蚀、固定沙地,而植物根系的生长可以进一步促进土壤养分的增加和土壤性质的改良,如植物根系的定居生存可以降低土壤容重,这与 Su 等<sup>[14]</sup>在科尔沁沙地与蒋齐<sup>[7]</sup>在宁夏自治区盐池沙地的研究结果相吻合。同样,与流动沙地相比,人工灌丛林地土壤有机碳和全氮含量显著提高,除了植物丰富度和个体数显著增加外,植物高度亦显著增加,这与王占军等<sup>[6]</sup>和蒋齐等<sup>[7]</sup>的研究结果一致。特别是在流动沙地柠条灌丛形成“肥岛”产生资源岛效应,加速土壤改良与流沙固定,可以有效促进地表植被恢复<sup>[14,16]</sup>。相对于流动沙地,两种恢复措施下土壤含水量均显著降低。由于流动沙地具有表层的干沙层可以有效阻挡下层土壤水分的蒸发,因此流动沙地土壤水分较高,但是随着流动沙地的固定,土壤含水量均急剧下降,这与地表蒸发量增加、地表植被蒸腾耗水密切相关<sup>[15]</sup>,而地表植被的恢复和覆盖度的增加将有效的降低表层土壤温度<sup>[15]</sup>。

目前,草地围栏封育自然恢复,是人类有意识调节草地生态系统中草食动物与植物关系,进行草地管理的有效手段。由于其投资少,已成为当前退化草地恢复与重建的重要措施之一<sup>[3]</sup>。人工灌丛植被通过形成“肥岛”和“虫岛”以及参与生态系统演替过程,能够形成适应当地环境的、改变当地小气候、具有自我调节能力的稳定的生态系统,能够快速固定流沙、增加地表覆盖度而受到欢迎<sup>[16]</sup>。但是,不同固沙恢复措施对流动沙地可能产生不同的生态效应<sup>[3]</sup>,而评价与选择最适合当地沙化草地治理实际的恢复模式已成

为是当前继续迫切解决的重大科学问题。

本研究中自然围封恢复草地与人工固沙灌丛林对土壤性质的恢复效果不同,这与 2 种恢复措施样地地表植被覆盖恢复及其生态效应密切相关。相对于人工灌丛林地,自然围封恢复草地土壤风蚀降低,较多的一年生和多年生草本植物个体和物种分布,是主要影响因素。土壤性质与植物群落数量特征间相关性分析证明了这一点。自然围封恢复草地每年大量草本植物根系死亡并归还土壤,特别是一年生植物补充土壤,促进土壤黏粉粒的增加、土壤质地的改善,这与 Su 等<sup>[14]</sup>和 Liu 等<sup>[15]</sup>在科尔沁沙地的研究结果相一致。柠条人工灌丛林地中,尽管灌丛本身能够防风固沙,促进流动沙地固定和退化草地系统恢复<sup>[8]</sup>,但由于灌丛与草本植物间存在着对干旱、缺水、缺肥等有限资源条件的激烈竞争<sup>[17]</sup>,相对于灌丛来说,草本植物的生长处于竞争劣势。所以,相对于人工灌丛林地来说,自然围封恢复草地对土壤黏粉粒的影响要高于人工灌丛林地固沙措施,具有相对较高的地表植被密度和物种丰度,说明自然恢复草地有利于土壤质地的改善和草本植物多样性的提高。同时,相对于人工灌丛林地来说,自然恢复草地中较多草本植被的分布及较高的草本植被覆盖度亦较大幅度的降低了表层土壤温度<sup>[15]</sup>。相关性分析结果表明土壤温度与植物个体数与丰度呈显著负相关。实测到柠条灌丛林地中灌丛间植被覆盖度较低,土壤温度相对较高可能是灌丛林地相比于自然恢复草地土壤温度下降幅度较小的原因之一。

土壤含水量作为土壤重要的理化指标,不仅是对气候变化较为敏感的环境因子,也是制约沙区植物生长发育的重要因子<sup>[1]</sup>。土壤含水量受多种因素的影响,其中降水分布、地上植被、土壤类型、人为干扰等均能对土壤含水量变化产生影响<sup>[18]</sup>。因此,有关土壤含水量的研究对于揭示沙化草地恢复过程有重要意义。在自然恢复草地中,更多浅根性草本植物生存也意味着消耗更多的土壤水分,相对流动沙地,自然恢复草地土壤水分下降更多。而柠条灌丛具有茎流而产生集流,除了灌丛本身截留和穿透雨外,其茎流则可以有效提高降雨的利用效率<sup>[19]</sup>,同时,柠条灌丛本

身发达的深根系系统在固定流动沙地的过程中,在充分利用资源的同时保持了较高的土壤含水量<sup>[7]</sup>,这对于沙化草地水位循环过程及其恢复进程具有重要的作用。相对于自然恢复草地,人工柠条灌丛林地土壤水分下降幅度较低,这与蒋齐等<sup>[7]</sup>人的研究结果相似。土壤容重作为反映土壤紧实程度的重要物理指标,在表征土壤物理性质变化方面发挥着重要作用。本研究中,相对于自然恢复草地,在同样长的恢复时间内,人工灌丛林地土壤容重下降更多,这一方面说明柠条灌丛可以快速改善土壤物理结构,这主要和柠条本身的发达根系分布密切相关<sup>[8]</sup>。同时也说明了 16 a 的围封时间对于沙化草地系统自然恢复来说,土壤结构的变化是个由急到缓的过程<sup>[4]</sup>。随着容重的逐渐降低,土壤孔隙度增加,其地表土层的保水保肥能力逐步提高,为植物利用土壤资源创造了良好条件,进而将会促进了土壤的进一步恢复<sup>[1]</sup>。

土壤有机碳是动植物残体经土壤动物和土壤微生物共同作用而形成的高分子胶体物质,在干旱草原中其主要来源是根系的死亡和分解<sup>[20]</sup>,其含量水平是衡量土壤肥力水平的重要指标之一。大量研究<sup>[1]</sup>表明,在干旱半干旱区中,随着草地风蚀的加剧,其土壤养分快速流失,其中土壤有机碳的损失是直接导致其土壤贫瘠化的重要原因。因此有关不同恢复模式沙化草地中土壤有机碳方面的研究,对于揭示土壤养分恢复状况及土壤发育情况有重要意义。本研究中,相对于自然恢复草地,人工灌丛林地土壤有机碳含量增加的幅度较大。说明宁夏自治区盐池沙化草地人工种植灌丛后,经过一定时间的恢复,土壤有机碳含量的积累速率高于采用自然恢复措施,对于该地区沙化草地的恢复治理有重要指示作用<sup>[3]</sup>。这与呼伦贝尔沙地不同恢复治理模式研究中灌丛林地土壤有机碳增加幅度最大的结果<sup>[4]</sup>相吻合,但与黄土高原人工种植乔木林和自然恢复的研究结果<sup>[3]</sup>相悖。Zhao 等<sup>[3]</sup>研究了近 60 a 来黄土高原人工植树造林和植被自然恢复方式下 1 m 深度土层有机碳积累和无机碳迁移转化的差异,发现和人工植树造林相比,植被自然恢复更有利于黄土高原表层土壤有机碳的积累。这可能与沙地和黄土高原具有不同的土壤基质、气候条件以及土壤退还过程及其内在机制有关<sup>[21]</sup>。同样,土壤全氮含量亦表现为人工灌丛林地增加的幅度要高于自然恢复草地,这与灌丛本身的生物学、生理生态学<sup>[8]</sup>特性有关。柠条灌丛属于豆科灌丛,其根系分布的根瘤菌具有一定的固氮作用。从土壤水分、容重、有机碳和全氮含量的变化情况看,人工灌丛固沙林地对土壤的改良效应,呈现出“肥岛”现象<sup>[8]</sup>,可能更有利

于在灌丛林地间进行牧草补播<sup>[6-7]</sup>,作为促进草地有效恢复的补充措施。

除了对土壤性质和草本植被特征产生较大影响外,不同恢复措施对于草本植物物种组成亦产生较大影响。流动沙地实施不同的恢复措施后,由于外界干扰源的减少或消除,流动沙地的固定、生境逐渐稳定化,群落自身的再生能力和修复能力得以恢复,为群落中已经消退的物种再次侵入和群落演替创造了良好的条件<sup>[6]</sup>。在流动沙地,先锋固沙植物沙米在极端贫乏的养分条件下,利用其寡养型植物的特性,适应并成功定居密集生长,提高了基质表面的环境稳定性,为伴生种如赖草、狗尾草等的侵入创造了条件<sup>[1]</sup>。但受到严酷自然条件的限制,在该样地中尚无多年生植物群落出现。在人工灌丛固沙林地中,草本植被以猪毛蒿、赖草为主,伴生有砂蓝刺头、猪毛菜、阿尔泰狗娃花、细弱隐子草、乳浆大戟、山苦荬等一年生植物和少量多年生植物如苦豆子与叉枝丫葱等。在自然围封恢复草地中,草本植被以猪毛蒿为主,除了伴生有砂蓝刺头、虫实、地锦等一年生植物外,还出现了较多个体数的叉枝丫葱、中亚白草、和砂珍珠豆、牛枝子等一些多年生豆科植物。从群落稳定性来看,自然围封草地多年生植物的个体数显著高于人工灌丛固沙林地,而且多年生草本植物种类亦较多,这些均说明了自然围封恢复草地要比人工灌丛固沙林地对沙化草地植被系统稳定性的恢复较有明显的优势<sup>[6]</sup>。但这与呼伦贝尔沙地采用围封+草方格沙障+人工播种组合恢复措施(播种组合为冰草+羊柴+小叶锦鸡儿+小麦,播量比为 1:1:1:1)要优于自然围封恢复措施的结果<sup>[4]</sup>不完全一致。说明在宁夏自治区盐池沙地除了进行人工种植灌丛外,在灌丛间进行适当的牧草品种补播可能是进行沙化草地有效恢复的重要补充<sup>[11]</sup>。

综合分析表明,围封自然恢复对土壤质地、土壤含水量以及草本植被个体数和物种分布影响较大,而人工灌丛固沙对土壤有机碳和全氮、容重以及草本植被的高度影响较大。相对于人工灌丛恢复,自然恢复草地具有较多的多年生植物分布而具有相对较高的土壤-植被系统稳定性。研究表明,围封自然恢复对于土壤-植被系统的恢复质量优于灌丛人工恢复,而人工灌丛固沙林改善土壤营养条件利于林间牧草补播的,成为一种重要辅助手段。

#### [参 考 文 献]

- [1] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等. 科尔沁沙地沙漠化过程及植被恢复机理[M]. 北京:海洋出版社,2004.

- [2] 李青丰,李福生,乌兰. 气候变化与内蒙古草地退化初探[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 2(4): 98-102.
- [3] Zhao Jin, Dong Yunshe, Wang Yunqiang, et al. Natural vegetation restoration is more beneficial to soil surface organic and inorganic carbon sequestration than tree plantation on the Loess Plateau of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 485/486(3): 615-623.
- [4] 张金鹏. 呼伦贝尔沙化草地植被恢复模式效果评价及动态分析[D]. 北京:北京林业大学, 2010.
- [5] 赵哈林,张铜会,赵学勇. 我国北方农牧交错带沙漠化的成因,过程和防治对策[J]. 中国沙漠, 2000, 20(S): 22-28.
- [6] 王占军,王顺霞,潘占兵,等. 宁夏毛乌素沙地不同恢复措施对物种结构及多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 464-466.
- [7] 蒋齐,李生宝,潘占兵,等. 人工柠条灌木林营造对退化沙地改良效果的评价[J]. 水土保持通报, 2006, 20(4): 23-27.
- [8] 赵哈林,苏永中,张华,等. 灌丛对流动沙地土壤特性和草本植物的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 385-390.
- [9] Cao Shixiong, Wang Guosheng, Chen Li. Questionable value of planting thirsty trees in dry regions[J]. *Nature*, 2010, 465(7294): 31.
- [10] Cao Shixiong, Chen Li, Shankman D, et al. Excessive reliance on afforestation in China's arid and semi-arid regions: lessons in ecological restoration[J]. *Earth-Science Review*, 2011, 104(4): 240-245.
- [11] 刘任涛,杨新国,柴永青,等. 荒漠草原区柠条林地地面节肢动物功能群对补播牧草和平茬措施响应[J]. 草业学报, 2013, 22(3): 78-84.
- [12] 刘玉宏. 盐池县建设围栏草场成效显著[J]. 草业与畜牧, 2008(3): 33-34.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005.
- [14] Su Yongzhong, Li Yulin, Cui Jianyuan, et al. Influences of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, Northern China[J]. *Catena*, 2005, 59(3): 267-278.
- [15] Liu Rentao, Zhao Halin, Zhao Xueyong. Influences of grazing exclusion on soil macro-invertebrate diversity in degraded sandy grassland (Inner Mongolia, China)[J]. *Polish Journal of Ecology*, 2012, 60(2): 375-385.
- [16] Chazdon R L. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands[J]. *Science*, 2008, 320(5882): 1458-1460.
- [17] Germino M J, Reinhardt K. Desert shrub responses to experimental modification of precipitation seasonality and soil depth: Relationship to the two-layer hypothesis and ecohydrological niche[J]. *Journal of Ecology*, 2014, 102(4): 989-997.
- [18] 吕世海,卢欣石. 呼伦贝尔草地风蚀沙化植被生物多样性研究[J]. 中国草地学报, 2006, 28(4): 6-11.
- [19] 赵奎,丁国栋,吴斌,等. 宁夏盐池毛乌素沙地柠条锦鸡儿茎流及蒸腾特征[J]. 干旱区研究, 2009, 26(3): 143-147.
- [20] Dormaar J F. Decomposition as a Process in Natural Grasslands[M]// Coupland R T. *Natural Grasslands: Introduction and Western Hemisphere*. New York: Elsevier Press, 1992: 121-136.
- [21] Wang Yafeng, Cao Shixiong. Carbon sequestration may have negative impacts on ecosystem health[J]. *Environmental Science Technology*, 2011, 45(5): 1759-1760.