

草原煤矿排土场 2 种常用生物工程 措施植被恢复效果评价

高迪^{1,2}, 王占义¹, 陈国清¹, 王亮¹, 陈丽丽¹, 王明玖¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019; 2. 山东省淄博市高青县检验检测中心, 山东 淄博 256300)

摘 要:以锡林郭勒草原乌兰图嘎煤矿排土场为主要研究对象,通过对生物笆与沙障 2 种不同治理措施下的土壤状况(温度、湿度、有机质、pH 值)和植被状况(种类组成、密度、盖度)的测定与分析,对其植被恢复效果进行了评价。初步分析表明,生物笆区的表土温度比沙障区低 2~5℃,生物笆具有遮阴性;生物笆区的表土湿度比沙障区增加 0.60%~1%,生物笆具有增湿性。在措施实施 5 a 后,生物笆区的表土有机质比沙障区增加了 2~5.80 g/kg。在整个植物群落中,多年生草本所占植物种类总数的比例,生物笆区比沙障区多 13.84%;生物笆区以多年生植物的重要值较大并占有绝对优势,沙障区以一年生植物占优势;生物笆区的植被平均密度比沙障区多 2.60 株/m²,盖度大 18.50%。在锡林郭勒草原矿区目前常用的生物笆(单网格 20 cm×20 cm)治理措施比沙障(行距 30 cm,株距 10 cm)更有利于植被恢复。

关键词:煤矿;排土场;生物笆;沙障;土壤;植被恢复

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0260-05

Evaluation for Effectiveness of Vegetation Restoration of Two Kinds of Bio-engineering Measures commonly Used in Mine Dump in Grassland

GAO Di^{1,2}, WANG Zhan-yi¹, CHEN Guo-qing¹, WANG Liang¹, CHEN Li-li¹, WANG Ming-jiu¹

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot 010019, China; 2. Inspection and Testing Center of Gaoqing County, Zibo, Shandong 256300, China)

Abstract: The dump of Wulantuga coal mine in Xilin Gol Grassland was taken as the research site, the vegetation restoration effectiveness of bio-fence and sand barrier fence was evaluated by analyzing the soil properties (temperature, humidity, organic matter, and pH value) and vegetation parameters (plant species, density, and coverage). Preliminary analysis indicated that top soil temperature in the biological fence areas was 2~5℃ which was lower than in the sand barrier zone. Bio-fence could protect the plants by shading. Topsoil moisture in bio-fence areas increased by 0.6%~1% compared with the sand barrier areas. Bio-fence could help increase the humidity. Organic matter of topsoil in bio-fence areas increased by 2~5.80 g/kg compared with the sand barrier areas after 5 years of measures implementation. In the plant communities, the proportion of perennial herbaceous plant species was 13.84% more than that in the sand barrier fence zone. The average density of plant and total cover of vegetation in bio-fence areas were 2.60 m² and 18.50% higher than those in the sand barrier areas, respectively. The effectiveness of vegetation restoration for bio-fence (with a single grid of 20 cm×20 cm) currently used in the coal mine of Xilin Gol Grassland was better than for the sand barrier (line space of 30 cm×10 cm).

Key words: coal mine; dump; bio-fence; sand-barrier fence; soil properties; vegetation restoration

内蒙古草原上的大型露天煤矿多处于干旱、半干旱的生态脆弱区,长期的资源开发带来了严重的环境

和生态问题^[1]。内蒙古是我国重要的煤炭能源开发基地之一,已查明和预查的煤炭总储量居各省市之

收稿日期:2014-01-08

修回日期:2014-03-10

资助项目:内蒙古自治区科技创新引导奖励资金计划“煤矿开采区生态修复技术与示范——锡林郭勒草原煤矿区植被重建、生态修复关键技术研究与示范”(20121604);内蒙古农业大学博士科研启动项目(BJ2013C-3)

作者简介:高迪(1988—),女,山东德州人,在读硕士,主要从事草地生态学研究。E-mail:gdnmgnydx@163.com

通信作者:王明玖(1961—),男,内蒙古赤峰人,教授,主要从事草地生态学研究。E-mail:wangmj_0540@163.com

首^[2]。随着经济发展对能源需求的日益强烈,煤矿开采活动在内蒙古草原逐渐增多。露天煤矿的开采必然伴随着对土地资源的破坏,主要表现在露天采场的外排土场压占土地(压占是指挖损过程中产生的废弃岩土堆置于原土地上,造成原地貌功能的丧失^[3])。外排土场的压占直接破坏了表层的植被,导致了这一区域相对稳定的系统受到干扰,区域内的土地利用、植被覆盖、地貌、保水力等因素发生相应的变化^[4]。据统计,在各类矿山废弃地中,排土场占露天采矿矿山用地的 40%~55%,具有物质松散、层序紊乱、地表非均匀沉降与形变剧烈、水土流失及土地荒漠化严重的特^[5-6]。因此,排土场的植被恢复与治理十分重要。

多种治理措施已被运用于排土场坡面的治理工作中。沙障作为沙漠治理和矿山排土场治理的一种有效生物工程措施,许多学者进行了大量的研究。生物笆是近年来在锡林郭勒草原矿区使用最多的一种生物工程措施。李胜军等人已经对其应用效果进行了初步的调查^[7],植被恢复效果良好,但是生物笆促进植被恢复的机理有待研究。为此,在锡林郭勒草原选择典型矿区,对 2 种治理措施实施 5 a 后植被和土壤性质的变化进行了比较研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古锡林浩特乌兰图嘎锺煤矿,地理坐标 116°06′41″—116°14′11″E,44°02′07″—44°07′05″N。这一地区地处内蒙古高原中部,中温带干旱大陆性气候特征明显,多年平均降水量 276.30 mm,平均蒸发量 1 811.30 mm,平均风速 3.50 m/s,多年平均气温 1.50℃,≥10℃ 积温 2 802.60℃,最大冻土深度 2.89

m,无霜期 106 d;研究区周边草地植被类型属典型草原,植被盖度 50%左右,土壤类型为栗钙土^[8]。

乌兰图嘎锺煤矿于 1997 年建成投产,露天开采,目前年产量为 7.30×10^6 t。研究试验区设在煤矿 2 号排土场 1 平台,该平台建于 2007 年,植被恢复措施也开始于本年度。

1.2 试验处理

试验区设生物笆治理区和直立式沙障治理区(简称生物笆区和沙障区)。两个区位于同一坡面,具有相同的坡度(30°)和坡长(30 m)。植物种植时间都在 2007 年完成,种植的植物中,一年生及一二年生草本主要为大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、黄花草木樨(*Melilotus officinalis*)、白花草木樨(*Melilotus albus*)等;多年生草本主要为冰草(*Agropyron cristatum*)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等;灌木主要为小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、山杏(*Prunus ansu*)等。播种方式是将所有植物种子混合后人工撒播,各植物种的混播比例系数是:沙打旺(3),紫花苜蓿(3),小叶锦鸡儿(3),冰草(2),老芒麦(2),大籽蒿(2),黄花草木樨(1),白花草木樨(1),柠条锦鸡儿(1),山杏(1)。

生物笆单个网格规格是 20 cm×20 cm,由黄柳(*Salix gordejewii*)枝条编织而成,其结构包括经条和纬条,铺盖在坡面上之后用绑丝连接在一起,并用 20 cm 长的枝条插在每 2 块生物笆的连接处加以固定。沙障是用相同长度的黄柳枝条插入土壤形成行列式网格,本试验中使用的沙障以行距 30 cm,株距 10 cm 垂直插入坡面土壤,所用柳条长度 40 cm,入土深度 15 cm(图 1 A,B)。



(A)



(B)

图 1 生物笆(A)和沙障(B)实物图

1.3 采样与测定方法

1.3.1 土壤样品采集和有机质测定 2011 年 8 月在 2 个治理区的坡上、坡中、坡下 3 个位置挖土壤剖面,每个位置 3 次重复,共挖 9 个剖面。考虑到枯枝落叶对土壤结皮层的影响更大,因此按 0—3 cm 和 3—6 cm 分层采样。采样后混合,四分法取样装入袋中并标记。

土壤有机质采用重铬酸钾容量法—稀释热法,利用浓硫酸和重铬酸钾氧化,硫酸亚铁滴定测定^[9]。pH 值采用电位法,水土比为 5 : 1,用 PHS—3C 型酸度计测定。

1.3.2 土壤温度和地表湿度测定 土壤温度采用便携式土壤温度计 (AXBP—B1,北京)测定,测定在气温最冷 (6:00)和最热 (14:00)2 个时段进行。在 2 个治理区的坡上、坡中、坡下 3 个位置挖土壤剖面,每个位置 3 次重复,共挖 9 个剖面。各剖面按 0—5,5—10,10—15,15—20 cm 分层测定。地表湿度采用手持气象站 (NK4 000,美国)贴近地面测定^[10]。

1.3.3 植被调查方法 对生物篱区和沙障区的坡面同时在 2011 年 8 月进行调查,在坡上、坡中、坡下 3 个位置分别取样,样方面积 1 m×1 m,每个位置 3 次重复。对植物的种属、投影盖度、平均密度进行统计^[11],采用 (相对密度+相对盖度+相对频度)/3 来计算各物种的重要值。

1.3.4 数据处理与分析 采用 Microsoft Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行数据统计及分析。为了分析影响不同治理区植被生长差异的原因,用 SAS 9.0 软件对不同治理区的土壤温度、湿度、有机质含量、pH 值及植被的平均密度、盖度进行单因素方差 (one-way ANOVA)分析。

2 结果与分析

2.1 不同治理区土壤性质的变化

(1) 土壤温度。土壤温度反映了土壤的热量状况,其高低对于土壤水分及土壤生物具有重要影响。一日内,气温最高时段,2 个治理区的土壤温度分别在 0—5 cm 和 5—10 cm 土层有显著性差异 ($P < 0.05$)。生物篱区比沙障区在 0—5 cm 土层低 5℃,在 5—10 cm 土层低 2.43℃;在 10 cm 以下土层无显著性差异 ($P > 0.05$)。气温最低时段,2 个治理区的土壤温度在各个土层均无显著性差异 ($P > 0.05$) (表 1)。

(2) 地表湿度。地表湿度反映了表层土壤的水分状况。土壤水分是土壤肥力诸多因素中最活跃、最重要的指标。一日内,气温最低时段,沙障治理区地

表湿度平均为 43.73%±0.03%,生物篱治理区地表湿度平均为 44.37%±0.07%,生物篱区比沙障区高 0.63%;气温最高时段,沙障治理区地表湿度平均为 15.57%±0.26%,生物篱治理区地表湿度平均为 16.57%±0.60%。

表 1 不同治理区 1 日气温最高、最低时段土壤温度差异 (平均值±标准误)

时段	土壤深度/ cm	生物篱治理 区地温/℃	沙障治理 区地温/℃
气温最高时段	0—5	26.83±0.32b	31.83±1.64a
	5—10	23.13±0.13b	25.57±0.57a
	10—15	22.87±0.18a	23.80±0.53a
	15—20	22.73±0.12a	23.07±0.23a
气温最低时段	0—5	21.90±0.22a	20.70±0.84b
	5—10	23.90±0.17a	21.70±1.10a
	10—15	24.30±0.15a	24.20±0.09a
	15—20	24.50±0.18a	24.90±0.34a

注:同一行平均数后有相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

(3) 土壤有机质含量。土壤有机质是植物矿物营养的源泉,主要来源于地上植物的凋落物及地下根系,其积累是一个缓慢的过程。通过几年的处理,生物篱治理区有机质含量平均为 25.20 g/kg,沙障治理区有机质含量平均为 19.40 g/kg,2 个治理区的土壤有机质含量在 0—3 cm 土层发生了显著性变化 ($P < 0.05$),生物篱区比沙障区高 5.80g/kg;在 3—6 cm 土层无显著性差异 ($P > 0.05$)。

(4) 土壤 pH 值。pH 值是土壤的基本性质,直接反映土壤酸碱度状况及决定土壤元素和养分的存在状态、转化和有效性。排土场土壤 pH 值往往较高,是植物生长的主要限制因素之一。生物篱区的土壤 pH 值在 0—3 cm 和 3—6 cm 土层为 8.55 和 8.61;沙障区在相同土层为 8.53 和 8.64,均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 不同治理区植被生长情况

2.2.1 群落植物组成 在植被样方调查中,生物篱区共有 8 科,14 属,15 种不同的植物 (表 2)。其中,禾本科 4 种,豆科 4 种,菊科 2 种,其余各科均为 1 种。占物种总数的比例,一年生及一二年生草本为 26.67%,多年生草本为 60%,灌木及半灌木为 13.30%。

在沙障区共有 6 科,10 属,13 种植物 (表 2)。其中,豆科 8 种,其余各科均为 1 种。占物种总数的比例,一年生及一二年生草本为 30.77%,多年生草本为 46.16%,灌木及半灌木为 23.08%。

在重要值方面,生物篱治理区的多年生植物紫花苜蓿、小叶锦鸡儿、冰草的重要值较大,均在 0.15 以上。沙障治理区的一年生草本大籽蒿、蒙古猪毛菜的重要值较大,均在 0.19 以上 (表 2)。

表 2 不同治理区植物组成

种名(拉丁名)	属名	科名	生活型	重要值	
				生物笆治理区	沙障治理区
蒙古猪毛菜(<i>Salsolai konnikovii</i>)	猪毛菜属	藜科	一年生草本	0.098	0.192
大籽蒿(<i>Artemisia sieversiana</i>)	蒿属	菊科	一二年生草本	0.056	0.335
黄花草木樨(<i>Melilotus officinalis</i>)	草木樨属	豆科	二年生草本	0.015	0.019
紫花苜蓿(<i>Medicagosativa</i>)	苜蓿属	豆科	多年生草本	0.154	0.048
披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)	披碱草属	禾本科	多年生草本	0.057	0.019
沙打旺(<i>Astragalus adsurgens</i>)	黄芪属	豆科	多年生草本	0.015	0.090
小叶锦鸡儿(<i>Caragana microphylla</i>)	锦鸡儿属	豆科	灌木	0.182	0.065
牻牛儿苗(<i>Erodium stephanianum</i>)	牻牛儿苗属	牻牛儿苗科	一二年生草本	0.050	—
冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	冰草属	禾本科	多年生草本	0.187	—
糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	隐子草属	禾本科	多年生草本	0.033	—
迷果芹(<i>Sphallerocarpus gracilis</i>)	迷果芹属	伞形科	一年生草本	0.024	—
兴安天门冬(<i>Asparagus dauricus</i>)	天门冬属	百合科	多年生草本	0.023	—
田旋花(<i>Convolvulus arvensis</i>)	旋花属	旋花科蒿属	多年生草本	0.020	—
克氏针茅(<i>Stipa krylovii</i>)	针茅属	禾本科	多年生草本	0.018	—
白沙蒿(<i>Artemisia sphaerocephala</i>)	蒿属	菊科	半灌木	0.068	—
白花草木樨(<i>M. albus</i>)	草木犀属	豆科	二年生草本	—	0.041
草木樨状黄芪(<i>Astragalus melilotoides</i>)	黄芪属	豆科	多年生草本	—	0.056
叉分蓼(<i>Polygonum divaricatum</i>)	蓼属	蓼科	多年生草本	—	0.023
多枝棘豆(<i>Oxytropis ramosissima</i>)	棘豆属	豆科	多年生草本	—	0.017
柠条锦鸡儿(<i>C. korshinskii</i>)	锦鸡儿属	豆科	灌木	—	0.059
山杏(<i>Prunus ansu</i>)	李属	蔷薇科	灌木	—	0.036

注:“—”表示没有。

2.2.2 植被生长状况 治理区恢复效果是通过植被的平均密度和盖度来反映的。2 个治理区植被的平均密度有显著性差异($P<0.05$),生物笆区比沙障区多 2.60 株/m²;2 个治理区植被的盖度也表现出了显著性差异($P<0.05$),生物笆区比沙障区大 18.50%。生物笆区植被平均密度和盖度明显高于沙障区,说明

生物笆的使用在一定程度上促进了植物的生长,提高了植物的成活率(表 3 和图 2)。

表 3 不同治理区植物平均密度和盖度(平均值±标准误)

处理区域	平均密度/(株·m ⁻²)	总盖度/%
生物笆治理区	4.80±0.48a	41.00±5.00a
沙障治理区	2.30±0.37b	22.50±5.50b

注:同一列平均数后有相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。



(A)



(B)

图 2 生物笆区(A)和沙障区(B)植被恢复后效果图

3 讨论

矿山开采对生态造成的不利影响越来越受到社

会各界的关注。植被恢复是矿山废弃地生态治理的重要目标,正确选择植被恢复措施是改善土壤理化性质,实现植被恢复的重要手段。

通过对试验区植物种属、平均密度、盖度的初步统计,发现生物笆区植被恢复效果好于沙障区(表2, 3)。从测定结果看,2种治理措施都能改善土壤温度、湿度、有机质含量以及土壤pH值等,使土壤向有利于植物生长的环境转化^[12]。在土壤温度方面,1日内气温最高时,生物笆区比沙障区低,说明生物笆在气温最高时候的遮阴效果明显,对表土起降温作用,可以防止温度过高造成土壤水分的快速蒸发,保护植物的出苗及生长;气温最低时,2个治理区的地表温度没有明显差异。地表湿度可能受高温的影响更为显著,1日内气温最高时,2个治理区地表水分都在加速蒸发,生物笆的遮阴作用虽可以降低地表温度,但降低的温度对蒸发速率的影响有限。而1日内气温最低时,由于生物笆区的温度高于沙障区,土壤中的水分活度较大,地表以上的微环境内空气能够容纳的水分子量较大,加之生物笆下面气流稳定,所以地表湿度也较大,因此,生物笆区土壤水热条件优于沙障区,导致生物笆区的植物种属都多于沙障区,生物笆区的多年生草本与灌木、半灌木在整个植物群落中所占的比例明显大于沙障区(表2)。随着时间的推移,一二年生的先锋植物(蒙古猪毛菜、大籽蒿等)慢慢衰退后退出植物群落,多年生草本(冰草、披碱草等)形成目标群落,在无人工养护条件下仍能健康茁壮生长^[13]。生物笆区的土壤有机质含量高于沙障区,可能与生物笆措施坡面枯枝落叶的保留能力强及生物笆原材料长期放置后部分地脱落降解到了土壤里有关,也与植物生长相对旺盛有关。由于治理时间较短,2种措施下相同深度土壤pH值差异不显著,这与王金满等在研究对草原露天煤矿排土场土壤质量时得出的结论相符^[14]。但是2个治理区表层土壤的pH值都小于下层土壤,可能是因为表层土壤中的微生物、动物及生物残体较下层土壤多,微生物、动物及生物残体会引起有机酸的积累,也可能与降雨的淋溶迁移有关^[15]。

4 结论

生物笆措施在煤矿排土场植被恢复方面优于沙障措施。生物笆治理措施的使用,对于地表的土壤具有一定的改良作用,对植被的发育具有良好的促进作用,更有利于了植物的生长。

在气温最高时,生物笆措施具有明显的遮阴降温作用;在气温最低时,生物笆区表土湿度比沙障区高0.63%,在干旱区草原,增加地表湿度有助于植物的

生长发育和植被恢复;0—3 cm 土层和 3—6 cm 土层,生物笆区的土壤有机质均高于沙障区。

在整个植物群落中各植物种所占植物种类总数的比例,生物笆区的多年生草本比沙障区多,一年生及一二年生草本比沙障区少。生物笆区多年生草本植物的重要值较大,沙障区一年生植物的重要值较大。生物笆区的植物种属、平均密度、盖度都多于沙障区。

参考文献:

- [1] 孙泰森,白中科.大型露天煤矿废弃地生态重建的理论与方法[J].水土保持学报,2001,15(5):56-59.
- [2] 崔国文.内蒙古自治区煤炭工业化进程特点及“十二五”发展建议[J].中国煤炭,2010(9):5-8.
- [3] 周伟,白中科,袁春,等.东露天煤矿区采矿对土地利用和土壤侵蚀的影响预测[J].农业工程学报,2007,23(3):55-60.
- [4] 王庆林,朱宗泽,张永领.山西省王庄煤矿生态恢复模式研究[J].水土保持研究,2010,17(5):265-267.
- [5] 范军富,刘志斌.露天煤矿排土场土地复垦及其生态学原理[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2005,23(6):851-851.
- [6] Li M S. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: A review of research and practice[J]. Science of the Total Environment,2006,357(1):38-53.
- [7] 李胜军,赵有富,贺广礼.“生物笆”技术恢复草原矿区植被的方法与效果[J].内蒙古草业,2012(4):19-21.
- [8] 贾飏,陈刚,杨耀.草原区露天煤矿排土场水土保持防治技术探索:以锡林郭勒盟乌兰图嘎铬煤露天矿为例[J].内蒙古水利,2010(2):25-26.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,1999.
- [10] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [11] 周丹丹,胡生荣,韩敏,等.沙柳沙障内植被恢复影响因素探究[J].水土保持研究,2008,15(6):115-118.
- [12] 闫玉厚,曹炜.黄土丘陵区土壤养分对不同植被恢复方式的响应[J].水土保持研究,2010,17(5):51-53.
- [13] 周连碧.矿山废弃地生态修复研究与实践[M].北京:中国环境科学出版社,2010.
- [14] 王金满,杨睿璇,白中科.草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型[J].农业工程学报,2012,28(14):229-235.
- [15] 宋娟丽,吴发启,姚军,等.弃耕地植被恢复过程中土壤理化性质演变趋势研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):168-173.