

大型煤矸石山植被重建的土壤限制性因子分析^{*}

魏忠义,王秋兵^{*}

(沈阳农业大学 土地与环境学院,沈阳 110161)

摘 要:煤矸石是我国第一大固体废弃物,巨量煤矸石堆积压占了大量土地,并影响矿区及周边水土环境,煤矸石山的植被重建是解决上述问题的经济而有效的途径。国内外研究与实践表明,表层土壤特性是矸石山植被重建成功与否的决定性因素。由于表层物料组成以及所处地域等因素,目前对煤矸石山各限制性因子及其重要性看法有所不同,从而影响了措施设计及植被效果。本文以抚顺西露天煤矿等煤矸石山为例,对大型煤矸石山植被恢复的诸多限制性因素进行了分析论述,认为表层风化物的主要限制性因子依次为质地、水分、养分、pH、盐分、表层温度、重金属等,这与以往研究有所不同,体现了该煤矸石山的区域特色。研究结果可为制定适宜的煤矸石山及其类似废弃物堆场的植被恢复措施提供依据。

关键词:煤矸石山; 植被恢复; 限制因子; 土壤重构

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)01-0179-04

Research on Limited Factors of Reclaimed Soil in the Large Coal Wastes Pile in Fushun West Opencast Coal Mine

WEI Zhong-yi, WANG Qiu-bing

(Land and Environment College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: Coal wastes are the most solid waste in China, which occupies a great deal of land, and affects surrounding environment in water and soil. Revegetation is a kind of economic and effective way to solve the problem. Research and practice at home and abroad indicate that the restoration of surface layer soil is the most important for successful vegetation. The understanding for the limited factors is different, which has affected the planning, design and effect of revegetation. In case of the coal waste pile of west openpit mine of Fushun, this paper analyzes the limited factors of revegetation. The results show that the limited factors in the coal wastes pile orderly are soil texture, soil moisture, nutrients, pH, salts, soil temperature and heavy metals, which are different from many other piles in China, and the order is of region characteristic. The conclusion can serve for revegetation measures design and surface soil reconstruction in coal wastes piles and similar mining wastes dumps.

Key words: coal wastes pile; revegetation; limited factors; soil reconstruction

煤矸石是我国第一大固体废弃物,是煤矿剥采、掘进、洗选等生产过程中废弃物的总称,其物料成分复杂。辽宁、山西、内蒙古、山东、河南、河北、云南、黑龙江等省/自治区的大型矿区历史上均堆积了大量煤矸石。据估计,仅辽宁阜新市煤矸石存量就达 20~30 亿 t;在抚顺西露天矿,煤矸石山占地面积高达 20 km² 以上,其中最大的西舍场面积 12 km²。据估计,目前我国每年仅洗选煤矸石新增约 2 亿 t,大量积存的煤矸石压占了大量的土地,造成矿区及

其周边环境污染、景观破坏和生态破坏。限于技术和成本,我国煤矸石的综合利用率目前仍然较低,植被恢复是解决上述问题的经济而有效的途径,是国内外普遍采取的措施,近 20 年来在我国得到推广应用。实践表明,表层土壤的恢复是矸石山种植绿化成功与否的决定性因素,对各种限制性因子及其重要性还缺乏深入了解,这将会导致错误的措施设计,往往是煤矸石山种植失败和植被群落后期退化的重要原因^[1-5]。

^{*} 收稿日期:2008-07-06

^{*} 合作导师

基金项目:辽宁省教育厅创新团队项目(2006T120);辽宁省自然科学基金项目(2040520)

作者简介:魏忠义(1967-),男,河北河间人,博士,教授,研究方向为矿区土地复垦与水土保持。E-mail:drweizy@163.com

1 抚顺西露天矿矸石山概况

抚顺西露天矿是我国开采较早的大型露天煤矿,位于抚顺市望花区,属长白山支脉西南延续部分低山丘陵地区,地带性土壤为棕壤,矿区位于浑河谷南部,地形较为平缓,年均降水量 880 mm,年均蒸发量 365.9 mm,为湿润的温带大陆性气候区。该矿已有近百年的开采历史,形成亚洲第一大矿坑,排弃了大量煤矸石,形成大面积矸石山。煤矸石在原地貌分层堆置,其中仅西舍场占地面积 17.5 km²,堆积高度达到 100 m 以上。矸石山对矿区及周边生态环境构成严重威胁,近 20 a 来,种植了 30 多种乔、灌、草与作物品种,取得了显著效果,但同时也存在许多问题需要进一步研究解决。

该矸石山表层矸石的岩性组成主要是易风化的页岩、泥岩等软质岩石和少量砂岩等硬质岩石。其矿物组成主要有石英、长石、云母、黏土矿物、碳酸盐类矿物和铁矿等,其中黏土矿物主要是高岭石、伊利石和蒙脱石。西露天矿矸石山表层以炭质页岩、绿泥岩为主,易于风化。种植的多数植被在软岩矸石风化物上生长良好,条件较好的区域种植作物和蔬菜得到了中等产量,作物种植是该矸石山植被恢复的特色。

表 1 页岩、泥岩煤矸石风化物样品的机械组成

样 品	> 1 mm	0.5 ~ 1 mm	0.25 ~ 0.5 mm	< 0.25 mm	0.1 ~ 0.05 mm	0.05 ~ 0.002 mm	< 0.002 mm
页岩煤矸石	12.94	25.58	15.12	11.13	2.84	23.76	8.63
泥岩煤矸石	11.05	33.30	20.06	10.40	11.75	10.98	2.46
对照土壤	0.69	6.18	10.71	9.19	13.64	51.81	7.78

与土壤相比,页岩与泥岩在 0.002 ~ 0.05 mm 之间颗粒,土壤为 51.81 %,页岩为 23.76 %,泥岩为 10.98 %。页岩 0.05 ~ 0.1 mm 之间颗粒,页岩仅为 2.84 %;土壤为 13.64 %,泥岩为 11.75 %。0.5 ~ 1 mm 之间颗粒,土壤为 6.18 %,页岩为 25.58 %,泥岩为 33.3 %。翻耕(特别是多次翻耕)可有效改善矸石风化状况,翻耕是较好的低成本表层质地改良措施。

表 2 是煤矸石山主要植被、作物种类及其生长情况,在低于一般农田的管理措施下,大部分作物与植被生长良好。松树生长不良与土壤和栽植方式有关。

2.2 表层风化物水分状况

由于煤矸石山风化层薄,大孔隙多,表层持水性差,水分往往是矸石山作物种植的主要限制性因子。另一方面,风化表层毛管孔隙少,水分散失速率低,在春夏季少雨时段,可以为耗水少的植被品种提供一段时间的水分供应。

2 煤矸石山植被恢复的土壤限制性因子

煤矸石山植被恢复往往存在质地、水分、温度、养分、pH、盐分、重金属等限制性因子,表层土壤层恢复是矿业废弃地植被恢复的基础,土壤恢复与构造研究对改善煤矸石山绿化与种植效果具有重要意义。煤矸石山复垦条件往往存在较大差别,在抚顺西露天矿煤矸石山,成功的植被恢复与作物种植需要考虑以下一些方面的问题。

2.1 表层矸石风化层厚度问题

表层矸石的风化层薄是主要的限制性因子,风化层薄是导致表层矸石风化物的质地、孔隙、水分等问题的根源。西舍场调查表明,堆积后未扰动过的风化层种植 5 a 林灌下风化表层厚度仅为 10 cm,翻耕扰动过的区域风化层达到 15 cm;苜蓿地仅播种前翻耕 1 次,种植 5 a,风化层厚度 15 cm 左右,但矸石小碎块较多。筛分法测定,种植 5 a 林地 0 - 10 cm 风化表层风化物,小于 0.25 mm 颗粒仅占 10.3 %;大于 1 mm 为 11.3 %。种植 5 a 苜蓿地小于 0.25 mm 颗粒为 13.6 %;大于 1 mm 为 15.9 %。各类型煤矸石风化物的质地有所差别,吸管法测定的典型样品煤矸石的颗粒分析见表 1 所示,其中页岩和泥岩矸石风化物来源于西舍场表层,对照土壤为棕壤。

样点调查测定显示,刺槐林地表层 0 - 10 cm 由于枯枝落叶较多,水分含量较高,虽然植被年限较长,但 10 - 20 cm 风化仍然很弱,矸石碎块多,水分含量低。灌木林地植树年限较短,密度较高,表层风化较差。苜蓿地表层水分含量较高,种前一次翻耕,含水量较高。黄豆地片状页岩较多,表层水分较差。谷子地位于坡脚位置,厚层坡积了绿泥岩风化碎屑,含水量虽高,但风化物过于黏重,反而造成作物生长较差,产量低。表 3 是不同利用方式和处理措施下各取样点的水分含量,个别样点剖面 10 - 20 cm 范围由于大块矸石风化微弱,水分含量未测。

西露天矿煤矸石山调查表明,水分是决定作物产量的最重要因子,表层风化物质地改善是水分特性改良的基础。

2.3 表层风化物养分状况

矿业废弃地土壤往往缺乏 N、P 养分。表 4 为

表层页岩与泥岩风化物样品的养分含量,与中华人民共和国行业标准 N Y/ T391 - 2000 比较,该标准规定了绿色食品产地土壤肥力分级参考指标,2 级为尚可。西舍场苜蓿地与黄豆地样点分析结果与之比较,速效钾含量较高,速效磷与全氮含量较低,种植豆科牧草与固氮作物可以不施或少施氮肥。虽然泥岩全磷含量较高,但速效磷含量较低,这与泥岩风化物中磷元素固定有关。

表 2 煤矸石山主要植被/作物种类及其状况

植被/作物	风化厚度/cm	种植年限/a	管理措施	种植方式	生长状况/产量
刺槐	10	18		大苗坑植	良好
火炬树	6	5		小苗	很好
松树	6	5		大苗坑植	不好
苜蓿	15	5		翻耕播种	良好
黄豆	15	5	施 P 肥	翻耕	2250 ~ 4500 kg/ hm ²
玉米	15	5	施 N 肥	翻耕	3750 ~ 7500 kg/ hm ²
谷子	15	5	施 N 肥	翻耕	3750 ~ 7500 kg/ hm ²
豆角	15	5	不施肥	翻耕	一般
西瓜	15	5	不施肥	翻耕	中等

表 3 不同利用方式和处理措施下的水分含量

土地利用类型	种植年限/a	生长状况	风化厚度/cm	不同剖面深度水分含量/ %		其它情况
				0 - 10 cm	10 - 20 cm	
刺槐林地	18	树高 12 m	10	5.42	2.87	平盘,平整
阳坡刺槐	5	树高 6 m	10	5.72	6.25	陡坡,35°
灌木林地	4	树高 5 m	10	3.15	-	平盘,平整
苜蓿地	5	生长良好	15	6.32	-	平盘,翻耕
黄豆地	5	生长较好	15	3.67	-	平盘,翻耕
谷子地	8	生长较差	15	19.25	15.08	坡脚,翻耕

表 4 表层页岩与泥岩风化物样品的养分含量

指 标	苜蓿地页岩		苜蓿地泥岩		黄豆地页岩	黄豆地泥岩	N Y/ T391 - 2000
	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	0 - 10 cm	10 - 20 cm	2 级标准
全 氮/(mg · kg ⁻¹)	0.35	0.18	0.15	0.17	0.38	0.16	0.8 ~ 1.0
速效磷/(mg · kg ⁻¹)	4.39	4.39	2.29	1.72	5.73	3.63	5 ~ 10
速效钾/(mg · kg ⁻¹)	195.3	134.7	208.8	171.8	222.3	212.8	80 ~ 120

施用磷肥、非固氮作物施氮肥是煤矸石山作物种植应该采取的措施。在适当的施肥措施和一般农田管理措施下,玉米、黄豆、谷子等作物产量达到了中等农田产量水平。

2.4 表层风化物的 pH

pH 是煤矸石山复垦土壤特性的关键性指标之一,煤矸石风化物 pH 变化的原因较为复杂。表 5 表层未风化石与矸石风化物 pH 的平均值大于 7.5,表层风化物 0 - 20 cm pH 为 7.69;20 - 40 cm 为 7.59。绿色泥岩的 pH 最高,为 8.60;页岩风化物 pH 较低。对于表层淋溶水样,pH 的平均值大于 7.5,呈中性偏碱,与煤矸石物料混杂排放有关。但是仍有 1/3 风化表层样品的 pH 介于 5.5 ~ 7.0,表明存在局部酸化现象,可能是由于硫铁矿晶粒风化、长期淋溶、施肥等方面原因,需要进一步研究。

试验表明,表层页岩与泥岩的掺混、表层混入土壤、施用石灰等措施的使 pH 得到不同程度地改善。

另外,不同的种植利用方式可在一定程度上改变 pH。

2.5 表层风化物的盐分

高盐分含量是国内外矸石风化物植被恢复的常见问题,在半干旱区盐分含量可达 1.0 g/ kg 以上。西舍场样品分析测定表明,非表层弱淋溶样品水溶性盐总量达到 1.2 g/ kg;而林地表层 0 - 10 cm 水溶性盐总量 0.96 g/ kg,10 - 20 cm 风化物为 0.97 g/ kg,苜蓿地表层 0 - 10 cm 水溶性盐总量为 0.82 g/ kg,这与该矸石山表层强烈的雨水淋溶有关。图 1 是抚顺煤矸石山煤矸石风化样品颗粒的 SEM 图像,放大倍率 500X。可以清晰看到风化碎屑边缘水分蒸发后形成的盐斑。

2.6 表层风化物的温度

煤矸石山表层颜色较深,一般呈黑色或灰黑色,阳光照射时表层温度较高或很高。在西舍场,由于地处湿润区,作物生长季节降雨频繁,表层水分含量相对较大,矸石山未观察到明显的作物及乔灌烧伤痕迹。国内半干旱区某些煤矸石山夏季表层温度很

高,可达 50 以上,会引起植物严重烧伤。表层温度往往成为干旱半干旱区煤矸石山植被恢复初期的主要限制性因子之一,薄层或厚层覆土是改善矸石温度特性的有效措施。

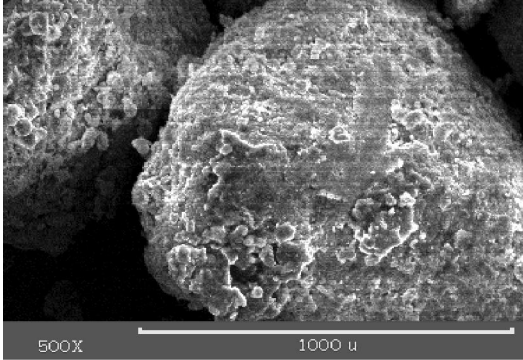


图 1 煤矸石风化样品颗粒的 SEM 图像

2.7 表层风化物的重金属含量

样品分析表明,西舍场煤矸石山部分区域表层重金属 Cd,Ni 含量较高。从表 5 中可以看出,在绿色泥岩和炭质页岩中 Cd 含量较高,其它 4 种重金属离子在 3 种表层排弃物料中含量较低。表层风化物土壤 0 - 40 cm 层次中 Cd 的平均含量超过《中华人民共和国土壤环境质量标准》(GB 15618 - 1995)的 2 级标准。表层风化物 Ni 平均含量超过土壤环境质量 2 级标准,但表层排弃矸石中 Ni 含量很低,分析认为高 Ni 含量来源于附近冶炼厂降尘。

由于表层矸石与风化物 pH 较高,重金属的活性较低。实地玉米、黄豆籽粒样品 ICP 测定数据显示,Cd,Ni 含量远远低于国家粮食卫生标准或未检出。

表 5 矸石山表层岩石及其风化物中重金属含量 mg/kg

表层物料	pH	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni
绿色泥岩	8.60	0.82	94.42	41.04	58.81	未检出
炭质页岩	7.80	1.06	85.42	48.79	50.09	15.08
风化物 0 - 20 cm	7.69	0.74	78.46	39.82	41.73	62.43
物 20 - 40 cm	7.59	0.87	81.52	41.33	37.93	73.20
土壤环境质量 2 级标准	>7.5	0.60	250	100	350	60

2.8 微生物与土壤动物

土壤微生物与动物可作为矿区复垦土壤恢复的阶段性指标。西舍场表层样品分析表明,真菌、细菌、放线菌的数量与普通土壤相比相差很大,三者相比放线菌数量较多。多处挖掘显示土壤动物较少或很少。表 6 为西舍场不同利用方式下复垦土壤微生物群落数量变化。

表 6 三种复垦利用方式下 0 - 20 cm 表层风化物微生物种类及数量

利用方式	细菌 ($\times 10^8$ 个/g 干土)	真菌 ($\times 10^5$ 个/g 干土)	放线菌 ($\times 10^7$ 个/g 干土)
耕地	0.77	0.32	1.28
林地	0.24	0.54	0.98
牧草地	0.46	0.19	0.99

表 6 显示,在不同利用方式整体水平上细菌表现为农用地 > 牧草地 > 林地;真菌表现为林地 > 农用地 > 牧草地;放线菌表现为农用地 > 牧草地 > 林地。比较而言,农用复垦地上更适合微生物群落的生长,与耕作、施肥等措施有关。

3 结语

煤矸石山植被重建是国内外普遍采用的经济而有效的途径。抚顺西露天矿煤矸石山处于湿润区,与干旱半干旱区其它类似煤矸石山相比,其植被重建的条件有所不同。研究认为,风化物各主要限制性因子依次为质地、水分、养分、pH、温度、盐分等,与半干旱区煤矸石山在次序上有所不同,这体现了该煤矸石山的区域特色。矸石山表层土壤特性是矸石山植被重建成功与否的决定性因素,本研究可为制定适宜的煤矸石山及其类似废弃物堆场的植被恢复措施,以及有效地进行水土保持与土地复垦规划设计提供依据。

参考文献:

[1] John K B, Robert J H. Direct revegetation of four coal waste sites in Pennsylvania: four approaches[C]// Symposium on National Mined Land Reclamation Conference. Southern Illinois University Press,1987,385-429.

[2] 王毓军,谢维,孙翠玲,等. 抚顺西露天矿排土场环境状况质量研究[J]. 辽宁城乡环境科技,2005,25(5):36-38.

[3] Schulz D. Recultivation of mining waste dumps in the Ruhr area,Germany[J]. Water Air and Soil Pollution, 1996,91(1/2):89-98.

[4] 王伟,张洪江,张成梁. 煤矸石山植被恢复影响因子初探:以山西省阳泉市 280 煤矸石山为例[J]. 水土保持通报,2008,28(2):52-56.

[5] Maiti S K,Saxena N C. Biological reclamation of coalmine spoils without topsoil: An amendment study with domestic raw sewage and grass-legume mixture[J]. International Journal of Surface Mining,Reclamation and Environment, 1998,12(2):87-90.