

煤矸石在高原地区土壤修复中的应用探讨

曾 颖, 杨 虎*, 万 星, 陈 龙, 楚海通, 李祥祥

(中国地质调查局军民融合地质调查中心, 成都 610036)

摘要:土壤修复治理是生态环境修复中的重要一环,尤其在高原高寒恶劣环境条件下尤为重要,加入特殊材质改善土壤环境,使土质得以提升,有利于植被生长和生态改善;煤矸石作为煤炭资源开发利用流程中的固态废弃物,同时也是一种新型的土壤修复改良材料,在治理污染土壤、提高土壤质量、改善生态系统等方面具有天然优势和巨大潜力;本次工作以受沙漠化影响的高原地区俊巴村作为修复试验的观测区位,在区内设置两组样地作对比试验,其中加入煤矸石材料(保水剂 120g 和煤矸石)的一组作为一号样地,未加入煤矸石材料(保水剂 120g)的对照组作为二号样地,在同密度播种下,经过长期观察测量可知,一号样地植被(优势植被菊叶香藜 98 株、披碱草 97 株)发育数量明显优于二号样地(优势植被菊叶香藜 38 株、披碱草 24 株),且长势状况亦优于二号样地(一号样地披碱草叶宽 0.6cm、二号样地披碱草叶宽 0.3cm);从而可以说明,煤矸石在高原地区土壤修复中有积极有效的作用,建议在其他类似环境下,进行土壤修复的推广使用。

关键词:煤矸石;高原地区;土壤修复;实验对比

DOI:10.48014/cesr.20230927001

引用格式:曾颖,杨虎,万星,等.煤矸石在高原地区土壤修复中的应用探讨[J].中国地球科学评论,2023,2(4):46-53.

0 前言

煤矸石是煤炭资源开发利用过程中一定会产生的固态废弃物,其排放量巨大,占煤炭开发总比 10%~20%^[1]。煤矸石的排放堆积不但会造成大量空间资源浪费,而且带来空气污染、水资源污染和地质灾害等生态环境问题^[2],在生态修复治理过程中,将煤矸石变废为宝可有效地改善目标区内生态系统,达到事半功倍的效果。

在环境改善治理过程中,对目标区进行土壤物理化学性质的改善改良,是修复生态环境的重要环节之一^[3]。煤矸石作为一种很好的土壤改良剂,其富含植物生长所需的各类营养及微量元素组分(如有机质、B、Mn、Cu、Co、Zn 等),在对土壤修复改善过程中,可以调节土壤的不良状态,同时由于其颗

粒大小及含量结构,可提高土壤质地的空隙透性能^[4],增强储水保水能力,促进植被的根系生长^[5,6]。Blagodatskaya 等^[5]发现在煤矸石能够增加微生物的发育种类和数量,并促进其活性状态,从而改善土壤质量,有益于植物的生长环境。焦赫等^[6]研究发现煤矸石应用于复垦中的土壤时,不但能从其理化性质上得到改善,且土壤结构表面微生物种群相对来说,具有较高的丰度优势;王顺等^[7]对煤矸石对重构后土壤水分分布做了大量研究工作,结果表明,煤矸石作为一种生态修复材料,可对目标土壤区域有阻水效果,从而使得保水持水能力增强。由以上前人成果表明,煤矸石在生态修复中,对土壤的改善过程具有积极有效的作用,并能从土壤理化性质上进行改良;但在实地应用中,应发挥其积极有效的生态修复中的作用,尽量减少其使用

* 通讯作者 Corresponding author: 杨虎, 936668188@qq.com

收稿日期:2023-09-27; 录用日期:2023-10-09; 发表日期:2023-12-28

不善而带来的污染风险,科学合理的发挥在区域土壤修复过程中的作用。

高原高寒环境中,由于先天恶劣气候及环境,生态治理修复是一项重要的工作,能有效改善区域居住适宜性,同时也能改善区域生态环境;本次工作选取拉萨市曲水县俊巴村为试验基地,地理位置:90°44′14″E,23°21′5″N;检测山坡和耕地环境针对沙化条件下而进行人工干预修复和实验,布置监测仪器进行空气温、湿度、风速、风向、气压、雨量等进行监测,从而理解地面生物量的生长环境,分析煤矸石实际使用中人工干预状态下生态修复所产生的作用及影响。

1 试验区环境背景

青藏高原由于地理环境位置特殊,是我国境内海拔最高的区域,同时也是世界屋脊、亚洲水塔,是地球第三极^[8];在生态环境方面,青藏高原也是极其

重要的生态安全屏障。作为海拔最高的区域,形成了地球上最独特的地质-地理-生态单元,对研究地球演化、生命起源、地球圈层相互作用、人类与自然相互关系等提供了得天独厚的试验场地^[7]。近50年,由于区内自然和社会环境的巨大变化,从而也使得其气候变暖幅度较高,变化值约是同期全球平均值的2倍^[8],为全球变暖趋势下,变化最不确定区域;同时,环境变化带来了水系冰川的改变,区内生态环境和水循环强烈异变,如冰川退化、草地退化、泥石流频发等,对当地人民生活及生态环境可持续发展造成了重大影响^[10]。

为了调查青藏高原拉萨市曲水县沙漠化改善,分析山坡耕地沙化对曲水县俊巴村耕地环境的影响,修建立自然修复生态实验场,进行自然修复和降雨量的监测,在样地区域内,进行试验研究,分别选取不同样地,研究煤矸石对区域土壤的改善改良情况,以及在生态修复中所产生的作用。

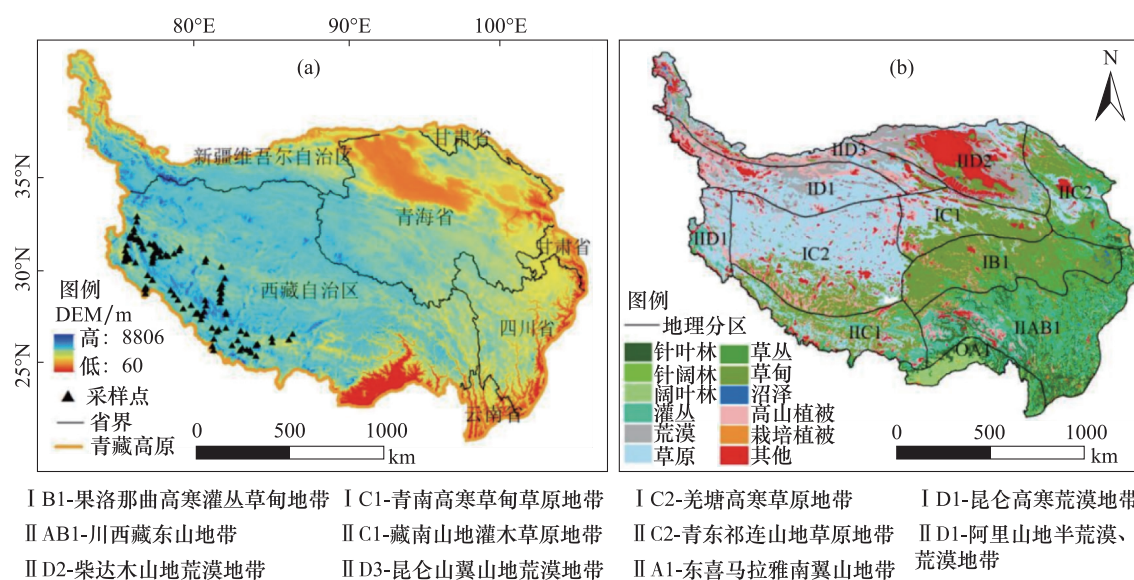


图1 青藏高原背景生态环境背景分区图^[9]

Fig. 1 Map of background ecological environment context zoning on the Qinghai-Tibetan Plateau^[9]

2 试验技术及方法

在目标试验样地中,分区做对比试验,在一组样地中加入煤矸石(其主要成分是 Al_2O_3 、 SiO_2 , 次要成分为 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 SO_3 和微量元素 Ga、V、Ti、Co),另一组作为空白对照组,在同种情况下自然生长,进行为期一年的试验观测。从而观察煤矸石在对土壤生态修复过程

中的效果与作用,最为直接的观察其实验结果,从而分析其改变沙地特性增强粘性加大沙地保水量对生态修复中所产生的影响。

(1) 煤矸石应用及简介

煤矸石是指煤矿资源开发利用过程中产生的固态废弃物,主要由煤炭碎片、岩石碎片、泥炭、矿石等组成。在土壤人工修复中,煤矸石可以发挥以下作用:

① 增加土壤有机质含量:煤矸石中的泥炭和其他有机物质可以提供土壤所需的有机质,改良土壤结构,增加土壤持水性能和营养度。

② 改良土壤结构:煤矸石中的岩石碎片和矿石可以提供土壤所需的矿物质,改良土壤结构,增加土壤孔隙度和蓄水性能。

③ 修复酸性土壤:煤矸石中的矿石和煤炭碎片含有较高的碳酸盐含量,可以改良修复酸性土质,提高土壤的酸碱中和值。

④ 修复矿山废弃地:煤矸石可以用于填埋和覆盖矿山废弃地,减少土壤侵蚀和水土流失,改善矿山环境。

需要注意的是,煤矸石中可能含有一些有害物质,如重金属和放射性元素,因此在使用煤矸石修复土壤时需要进行必要的处理和监测,以确保修复效果和环境安全。

(2)煤矸石做土壤的方法

煤矸石具有吸附、固定、脱附等特性,可以对污染物进行改变、分解和转运。因此,将煤矸石应用于土壤修复中,可以有效地改善土壤环境质量。具体操作如下:

① 筛分:首先需要将煤矸石进行筛分处理,以去除煤渣、泥石等杂质,保证煤矸石的纯度和质量(GB/T 29163—2012 煤矸石利用技术导则)。

② 制备煤矸石修复材料:将筛分过后的煤矸石进行预处理,加入适量的活性炭、发酵菌、微量元素等,制备成煤矸石修复材料。

③ 土壤改良:将制备好的煤矸石修复材料铺在污染土壤表面上,形成一层 5~10cm 的覆盖层。覆盖层与土壤进行充分混合,形成人工土壤,有利于植物的生长发育。

(3)煤矸石修复技术的应用案例

煤矸石在土壤修复中的应用具有广泛的应用前景。下面介绍几个应用案例:

① 煤矸石受污染地区的修复:采用煤矸石作为修复材料,处理受污染的土壤区域,取得了良好的效果。

② 工厂废水污染地区的治理:将煤矸石投入污水管道中,吸附废水中的大颗粒及重金属等污染物,净化了水质。

③ 煤矸石修复荒漠化土壤:将煤矸石与磷酸盐

等添加剂混合,用于改良干旱地区的土壤,取得较好的效果。

3 区内实验设置

(1)场地设置

拉萨市曲水县俊巴村,为中国地质调查局军民融合地质调查中心青藏高寒区资源与环境调查监测与评价项目组设立观察样地,地理坐标:90°44′14″E,23°21′5″N,交通便利,是具有特色的山坡沙化地带,沙化大小为 3m×3m,利用监测设备(表 1、表 2),现场对其气候条件、不同处理的土壤湿度、温度、电导率、pH 进行实时监测(图 2)。

	东 (6m)		
北 (6m)			南
	A1实验点	A2实验点	
	A3	A4小气象	
	西		

图 2 俊巴村生态修复试验布设示意图

Fig. 2 Schematic layout of the ecological restoration experiment in Junba Village

(2)试验处理情况

本次试验设置两个试验场地,分别是试验场地 A1、试验场地 A2 具体处理情况如下:

A1:除去沙地碎石和其他杂质松动沙地和铺煤矸石厚度 6cm,混合保水剂 120g。

A2:除去沙地碎石和其他杂质松动沙地,混合保水剂 120g。

表 1 小气象观测点情况

Table 1 Small meteorological observation points

仪器名称	规格型号	数量
数据采集器	CR1000X 数据采集器	1
通道扩展板	AM16/32B	1
空气温湿度传感器	TN-HMP155	1
风速风向传感器	T034B	1
气压传感器	CS106	1
翻斗式雨量筒	TE525MM	1
太阳辐射传感器	TCNR4	1
无线传输模块	无线网桥	1

续表

仪器名称	规格型号	数量
供电系统	含 80W 太阳能板及 100AH 蓄电池、太阳能充电控制器、电池箱及防护装置	1
3m 不锈钢塔和基础	3m 不锈钢塔和基础	1

表 2 植被物候观测点情况

Table 2 Vegetation phenologica observation points

仪器名称	规格型号	数量
物候相机 1-4 (含: 2 × 1.0 电缆 5m)	JL-NetCam	4 套
野外防盗球机 (含: 2 × 1.0 电缆 5m)	DH-SD-49D423XB-GNR-DG	1 套
全网通 4G 路由器 (含: 5DVC 电源模块 1 个)	JL-900T	1 套
数据采集器	JL1000X	1 台
蓄电池 (含电池箱 1 个)	胶体 12V/120AH	1 套
太阳能电池板 (含支架 1 套)	120W	1 套

(3)实验监测条件

通过一年的降雨量、空气温湿度、风速风向、气压、雨量等监测,分析如下:2022 年 5 月至 12 月年平均降雨量(图 3)0.419mL,2023 年 1 月至 7 月年平均降雨量 0.597mL,6、7 月是拉萨市曲水县俊巴村降雨量逐渐增加,加大了植被良好的生长环境,促进了植被的生长条件。区内常年风向(图 4)为南风(150°~180°),风速(图 5)为 1.5~2.4m/s,温度适宜,场地常年温度(图 6)在 0°以上,每年 4—10 月温度为 10~20℃,湿度(图 7)保持在 15%~60%,较为适宜植物生长。

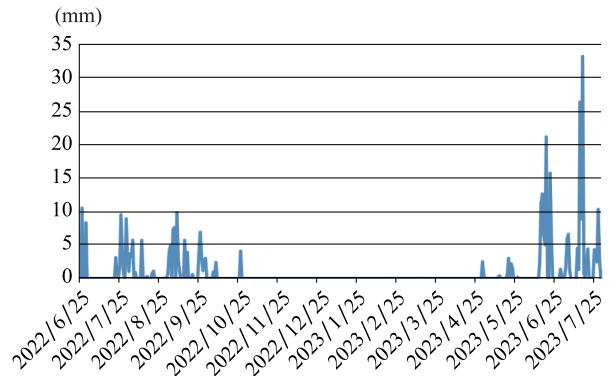


图 3 俊巴村生态修复试验降雨量图
Fig. 3 Rainfall map of Junba village ecological restoration experiment

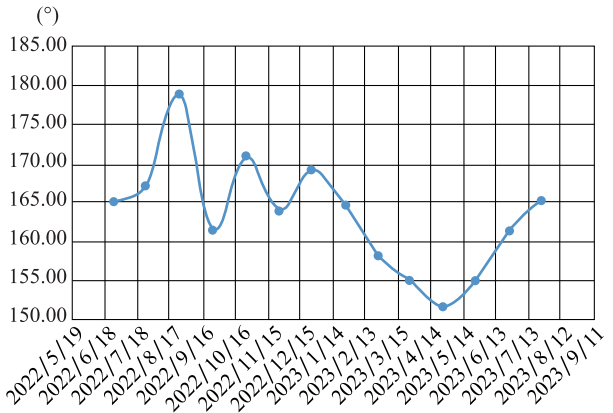


图 4 俊巴村生态修复试验风向图
Fig. 4 Wind direction map of Junba Village ecological restoration experiment

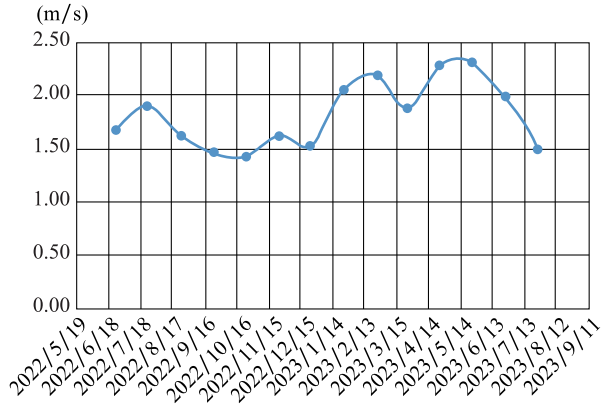


图 5 俊巴村生态修复试验风速图
Fig. 5 Wind speed map of Junba Village ecological restoration experiment

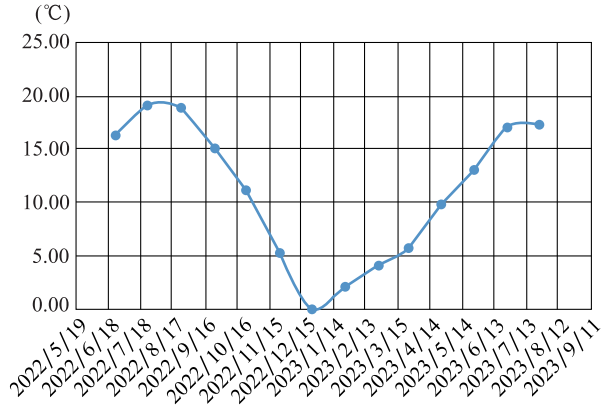


图 6 俊巴村生态修复试验温度图
Fig. 6 Temperature map of Junba Village ecological restoration test

(4)实验结果

经过一年的观测,同密度播种等同等外部条件

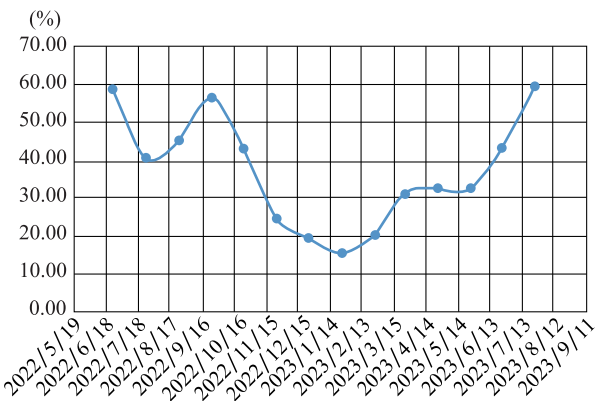


图 7 俊巴村生态修复试验湿度图
Fig. 7 Humidity of Junba Village ecological restoration test

下,调查样地地面生物量进行两个样方采样的随机 1 : 1 比较发现:观察采样实验分析从地面生物机质实验对一号实验样地除去沙地碎石加入保水剂 120g 和煤矸石(其主要成分是 Al_2O_3 、 SiO_2 ,另外还含有数量不等的 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 、 SO_3 和微量稀有元素 Ga、V、Ti、Co)对比二号样地除去沙地碎石和其他杂质松动沙地,混合保水剂 120g,比原来沙化土质有明显的改善;1 号样地加入煤矸石材料(保水剂 120g 和煤矸石)后,经过长期观察测量可知(表 3、表 4,图 8、图 9),一号样地植被(优势植被菊叶香藜 98 株、披碱草 97 株)长势明显优于未加入煤矸石的二号样地(优势植被菊叶香藜 38 株、披碱草 24 株),且长势发育亦优于二号样地(1 号样地披碱草叶宽 0.3cm、1 号样地披碱草叶宽 0.3cm)。

由上述观测结果可知,煤矸石对拉萨市曲水县茶巴朗村土质沙化改善自理有明显的效果,可加大其应用规模及应用方法,从而优化沙化土质、改善耕地环境。

表 3 一号样地观测基本信息
Table 3 Basic observation information of Sample No. 1

物种名称	样品高度	样品宽度	叶宽、草径	株数
优势物种 菊叶香藜	最高 16cm	最宽 23cm	草径 0.6cm	98 株
披碱草	最高 4cm	最宽 5cm	草叶叶宽 0.6cm	87 株
伴生物种 毛马齿苑	最大宽 31cm		径 0.4cm	4 株
蒺藜	最大宽 22cm		草径 0.3	11 株



图 8 一号样地观测实测照片
Fig. 8 Measured photographs of Sample No. 1 observation

表 4 二号样地观测基本信息
Table 4 Basic observation information of Sample No. 2

物种名称	样品高度	样品宽度	叶宽、草径	株数
优势物种 菊叶香藜	最高 6cm	最宽 6.1cm		38 株
披碱草	最高 4cm	叶宽 2.5cm	草叶叶宽 0.3cm	24 株
伴生物种 毛马齿苑	最大宽 15cm		草径 0.4cm	4 株
蒺藜	最大宽 15cm		草径 0.3	8 株

4 结论

试验表明,经过一年周期的对比观察,加入保水剂 120g 和煤矸石的一号试验样地,植物生长状况较同环境下二号试验样地,长势及分布更好,较好地说明煤矸石作为一种新型的土壤修复材料,在治理污染土壤、提高土壤质量、改善生态环境等方面具有巨大



图9 二号样地观测实测照片

Fig. 9 Measured photographs of Sample No. 2 observation

的潜力和优势。随着人们对环境保护意识的日益增强,煤矸石修复技术的应用前景也越来越广泛。

煤矸石在本次试验过程中,观测发现其在土壤修复中具有的优点主要总结如下:

(1)一号样地(优势植被菊叶香藜 98 株、披碱草 97 株)植被长势明显优于未加入煤矸石的二号样地(优势植被菊叶香藜 38 株、披碱草 24 株),且长势发育亦优于二号样地,根据煤矸石微量元素含量丰富,孔隙分布均匀的特性,说明其在增加土壤通气性和水分透透性,有利于植物的生长;

(2)同环境对比参照试验下,植被的长势说明煤矸石常含多种植物生长所需的矿物质元素,能够较好促进植物生长状态;

(3)作为工业废渣的煤矸石,在高原高寒环境下,对沙漠化区域土壤的理化性质有一定改良改善作用,同时可对区内生态环境以及植被自我修复有促进作用,积极在区内推广并合理利用,可在减少煤矸石对环境的污染前提下变废为宝,对生态环境

具有友好的亲和性。

5 讨论

本次工作在煤矸石的应用上进行了长期观测,试验得到了一定结论,但成果尚在进一步研究及探讨中,对煤矸石具体作用效果及影响机制仍需工作加以分析,如在煤矸石的对土壤的保水性以及对土壤理化性质改变的测定上,本次工作将是下一步工作的起始与方向,后期工作将量化表述该种土壤改良剂的使用效果,以及对高原高寒特殊生态环境的保护上,具有重要意义。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 胡振琪,肖武,赵艳玲.再论煤矿区生态环境“边采 边复”[J].煤炭学报,2020,45(1):351-359.
<http://doi.org/10.13225/j.cnki.jccs.YG19.1694>
- [2] Li J Y, Wang J M. Comprehensive utilization and environmental risks of coal gangue: A review[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 239: 12-25.
<http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117946>
- [3] 张振佳,曹银贵,王舒菲,等.平朔黄土露天矿区复垦地表层土壤微生物与酶活性分析[J].生态学报,2021,41(1):110-123.
<http://doi.org/10.5846/stxb202002240326>
- [4] ANANYEVA K, WANG W, SMUCKER A J M, et al. Can intraaggregate pore structures affect the aggregate's effectiveness in protecting carbon? [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2013, 57: 868-875.
<http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.019>
- [5] 马腾辉,李蓉,王坤,等.时间序列下煤矸石充填复垦耕地和林地的土壤碳动态特征[J/OL]. [2022-10-07].
<http://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.ST21-024>
- [6] DU T, WANG D M, BAI Y J, et al. Optimizing the formulation of coal gangue planting substrate using wastes: The sustainability of coal mine ecological restoration[J]. Ecological Engineering, 2020, 143: 105669.
<http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105669>
- [7] BLAGODATSKAYA E, KUZYAKOV Y. Active micro-organisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 67: 192-211.

- <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.08.024>
- [8] 贾玉峰,李忠勤,金爽,等. 1959-2017 年天山乌鲁木齐河源 1 号冰川流域径流及其组分变化[J]. 冰川冻土, 2019,41(06):1302-1312.
<http://doi.org/10.7522/j.issn.1000-0240.2019.1197>
- [9] 张云霞. 2000-2020 年青藏高原生态质量时空变化及其影响因素[D]. 兰州:兰州大学,2023.
<http://doi.org/10.27204/d.cnki.glzhu.2023.003623>
- [10] 王欠鑫,曹巍,黄麟. 青藏高原生态系统功能稳定性演化特征及分区[J]. 地理学报,2023,78(05):1104-1118.
<http://doi.org/10.11821/dlxb202305004>

Discussion on the Application of Coal Gangue in Soil Remediation in Plateau Areas

ZENG Ying, YANG Hu^{*}, WAN Xing,
CHEN Long, CHU Haitong, LI Xiangxiang

(Civil-Military Integration Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu 610036, China)

Abstract: Soil remediation is an important part of ecological environment restoration, especially important in the harsh environmental conditions in the high and cold plateau. Adding special materials to improve the soil environment can improve the soil quality, which is conducive to vegetation growth and ecological improvement. As a solid waste in the process of coal resource development and utilization, coal gangue is also a new type of soil remediation and improvement material, which has natural advantages and great potential in controlling contaminated soil, improving soil quality and improving ecosystem. In this work, Junba Village in the plateau area affected by desertification was taken as the observation location of the restoration test, and two groups of sample plots were set up in the area for comparison tests. One group with coal gangue materials (water retaining agent 120g and coal gangue) was taken as the No. 1 plot, and the control group without coal gangue materials (water retaining agent 120g) was taken as the No. 2 plot. After long-term observation and measurement, the development quantity of vegetation in sample No. 1 (98 dominants and 97 dominants) was obviously better than that in sample No. 2 (38 dominants and 24 dominants), and the growth status was also better than that in sample No. 1 (0.6 cm in leaf width of alkali-grass) and that in sample No. 2 (0.3 cm in leaf width of alkali-grass). Thus, it can be shown that coal gangue has a positive and effective role in soil remediation in the plateau areas, and it is suggested to popularize the use of soil remediation in other similar environments.

Keywords: Coal gangue; plateau areas; soil remediation; experimental comparison

DOI: 10.48014/cesr.20230927001

Citation: ZENG Ying, YANG Hu, WAN Xing, et al. Discussion on the application of coal gangue in soil remediation in plateau areas[J]. Chinese Earth Sciences Review, 2023, 2(4): 46-53.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

