

文章编号:1673-0062(2012)04-0025-06

煤矿矿区生态恢复研究实践

——以耒阳石界煤矿为例

田 超¹, 曾凡勇², 谢水波^{1*}, 廖建军³, 胡凯光⁴

(1. 南华大学 城市建设学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 湖南省国际工程咨询中心, 湖南 长沙 410000;
3. 南华大学 设计与艺术学院, 湖南 衡阳 421001; 4. 南华大学 核资源工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 为了对湖南耒阳石界煤矿矿区进行生态恢复, 首先对矿区约 1.05 km² 开采区域进行了实地调查分析, 并运用矿山模糊综合评价方法对矿山地质环境影响进行评估。调查结果表明, 矿区土壤 pH 值约为 6.0 且约 0.35 km² 矿区土壤结构严重破坏。采用城市污泥作为矿区土壤改良剂和肥料, 并利用当地优势植物进行矿区生态恢复。实践表明, 城市污泥不仅可以改良矿区的土壤特性, 还可以增强矿区土壤的保水性能并能促进植物生长。综合城市污泥对土壤环境及植物生长状况的改良情况, 结果表明在矿区土壤进行污泥堆肥的基础上进行混合植株种植较单植有更显著的土壤改良效果。

关键词: 煤矿区; 生态恢复; 城市污泥; 植物样方

中图分类号: X506; X171.4 **文献标识码:** B

Coal Mine Areas and Ecological Restoration Practice

——with Shijie Maple Coal as an Example

TIAN Chao¹, ZENG Fan-yong², XIE Shui-bo^{1*}, LIAO Jian-jun³, HU Kai-guang⁴

(1. School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2. Hunan International Engineering Consulting Center, Changsha, Hunan 410000, China;
3. School of Design and Art, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
4. School of Nuclear Resource Engineering, University of South China,
Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In order to carry on the ecology restoration to the Hunan Leiyang Shi jie coal mine mining area, a field investigation and analysis was carried out on approximately

收稿日期: 2012-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11175081; 21177053); 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6081); 湖南省安全科技重点基金资助项目(HN09-27)

作者简介: 田 超(1985-), 男, 湖南永顺人, 南华大学城市建设学院硕士研究生。主要研究方向: 环境规划与管理。

* 通讯作者。

1.05 km² mining region, and fuzzy comprehensive evaluation method was utilized to assess the impact on geological environment in mines. The survey results demonstrated approximately 0.35 km² mine soil structure was severely damaged at pH of 6.0. Municipal sewage sludge as a soil amendment and fertilizer and local advantages of plants were used for mining area ecological restoration. The results showed that municipal sewage sludge could improve mine soil characteristics and strengthen mine soil water retention performance as well as accelerate plant growth. Considering municipal sludge on soil environment and plant growth condition improvement situation, in the mining area the sludge compost soil based on mixed plant planting is better than single plant planting.

key words: coal mining area; ecological restoration; municipal sewage sludge; plant quadrat

0 引言

随着煤矿的开采,矿区的环境问题越来越严重.造成矿区环境破坏的主要原因是煤矿山开采过程中所产生的尾矿、煤矸石等废弃物堆积占用土地和耕地资源以及矿区开采过程所导致的地表塌陷^[1-3].煤矿开采对当地的土地结构、自然植被和生态物种造成严重的破坏^[4-5].因此在矿区的生态恢复过程中主要是增强矿区土地适应性^[6-7],修复植被物种的多样性,重新构建一个多样性的生态系统^[8-10].

对矿区进行生态恢复,除了对植物修复物种的选择外,还必须解决矿区土壤含水量和土壤的密度,以及速效养分等土壤理化特性等一系列问题.国内外的大量实践研究表明:城市污泥堆肥施用于林木、花卉、草坪及用作林木容器育苗基质,对土壤的化学及生物学性质均有改善,除此之外,城市污泥堆肥还可用于矿山废弃地复垦^[11-12].

1 耒阳石界煤矿区概况

耒阳市石界煤矿区位于龙塘镇通水村境内,距耒阳市 20 km.矿区于 1958 年建矿,2005 年停产.矿区总开采总面积约为 1.05 km².矿井含煤岩系为二叠系上统龙潭组,其上段为主要可采煤层赋存段,全段厚约 146.95 m.矿区共含煤 1~7 层,其中 5 煤层、7 煤层属较不稳定的主要可采煤层,可采煤层总厚 2.44 m,可采含煤系数为 1.7%.其开采方式分为露天开采和井下开采,年生产能力为 6×10^4 t.

2 耒阳石界煤矿区生态破坏现状调查

2.1 调查内容

2010 年 10 月对耒阳市石界煤矿区进行了现

场调查,调查内容包括:矿区的土地资源破坏情况、矿业活动所引起的地质灾害现状、矿区植被破坏情况以及矿区周边环境中的植被生长状况.同时还对耒阳市城市污水处理厂的污泥进行取样.

2.2 调查方法

矿区土壤的调查,采用实地取样分析法对矿区矸石山、粉煤灰堆场、挖损地和采煤剥离物堆积地等矿区表层土壤进行 30 cm 取样,同时对不同区域的土壤结构以及矿业活动引起的地质灾害进行对比分析,并详细记录不同区域土壤结构的破坏程度、地质灾害影响程度,同时参考已有的历史记录.

矿区植被调查,采用详细记录法对矿区矸石山、粉煤灰堆场、挖损地和采煤剥离物堆积地以及矿区周边的植物生长状况和种类进行记录.

2.3 评估与分析方法

模糊综合评价是以模糊的数学为基础,应用模糊关系合成的原理,对一些边界不清,不易量化的因素量化、进行综合评价的一种方法.该方法是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化,然后利用模糊变换原理对各指标进行综合.

矿区土壤和城市污泥的理化分析按 GB/T 15618—1995《土壤环境质量标准》规定执行.其中 pH 值用 GB/T 6920—1986 方法 pH 测试仪测定,有机质用 GB 9843—88 测定,全氮用 NY/T 53—1987 测定,全钾用 GB 9836—1988 测定,全磷用 NY/T 88—1988 测定,重金属用 GB 15618—1995 测定.

2.4 调查评估与分析

1) 运用矿山模糊综合评价方法来对石界煤矿以及周边地区环境进行评估,其评估结果如表 1.

表 1 石界煤矿区以及周边地区环境评估结果

Table 1 Environmental assessment results of Shijie coal mining areas and its surrounding

区号 及代 号	区	矿山地质环境影响程度严重区(I)						矿山地质环境影响程度较轻区(II)					
	评估项目	矸石堆破坏		环境影响严重									
	分布地段	井口附近的矸石堆											
评估阶段及影响程度		现状评估		预测评估		总体评估		现状评估		预测评估		总体评估	
环境问题		单项	总	单项	总	单项	总	单项	总	单项	总	单项	总
土地 资源 土地 环境	废石堆破坏土地	严重		严重		严重		较轻		较轻		较轻	
	矿业活动占用土地	较轻	严重	较轻	严重	较轻	严重	较轻	较轻	较轻	较轻	较轻	较轻
	地表变形破坏土地	严重		严重		严重		较轻	较轻	较轻		较轻	
	土壤污染	严重		严重		严重		较轻		较轻		较轻	
地质 灾害	采空区地面塌陷	严重		严重		严重		较轻		较轻		较轻	
	矿坑突水	严重	严重	较轻	较轻	严重	严重	较轻	较轻	较轻	较轻	较轻	较轻
	井巷冒顶	较轻		较轻		较轻		较轻	较轻	较轻		较轻	
	矸石流	严重		较轻		严重		较轻		较轻		较轻	
面积/km ²		0.35						0.70					
地表景观								影响程度较轻					
人居环境								影响程度较轻					
地面与斜坡稳定性								基本稳定					

2) 对采集的煤矿区不同地质区域的土壤样品以及城市污泥进行特性分析,分析结果如表 2.

表 2 矿区土壤以及城市污泥特性分析

Table 2 Analysis of mine soil and municipal sludge properties

土壤深度(0~30 cm)	密度/(g·cm ⁻³)	含水量/%	pH 值	有机质/(g·kg ⁻¹)	全氮/(g·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)
矽石山	1.41	4.6	5.24	3.35	0.36	6.5	0.21
粉煤灰堆场	1.37	5.7	5.75	7.38	0.43	7.2	0.19
挖损地	1.49	8.4	6.12	9.63	0.78	12.3	0.48
剥离区	1.56	11.2	6.05	11.84	0.88	16.5	0.53
城市污泥	—	78.7	7.24	321.58	44.92	21.42	18.44
土壤深度(0~30 cm)	铅 Pb/(mg·kg ⁻¹)	镉 Cd/(mg·kg ⁻¹)	铬 Cr/(mg·kg ⁻¹)	铜 Cu/(mg·kg ⁻¹)	锌 Zn/(mg·kg ⁻¹)	镍 Ni/(mg·kg ⁻¹)	汞 Hg/(mg·kg ⁻¹)
矽石山	41.54	0.44	27.54	136.21	124.19	18.62	0.26
粉煤灰堆场	35.42	0.22	24.14	161.21	133.56	16.54	0.13
挖损地	24.55	0.16	16.35	155.41	96.21	12.25	0.20
剥离区	30.12	0.24	14.21	142.53	75.12	10.15	0.15
城市污泥	30.60	0.87	48.50	80.20	397.00	26.00	2.01
农用标准	pH<6.5	300	5	600	800	2 000	100
	pH≥6.5	1 000	20	1 000	1 500	3 000	200

注:污泥堆肥农用控制标准参考污泥农用标准 GB 18918—2002

3) 植被调查记录表明:矿区的植被生长状况相对矿区周边植被生长状况较差,约 0.12 km² 区域植被覆盖率几乎为零.当地的优势物种主要为野豇豆、三叶草、狗尾草、蒲公英等草本,黄杨、沙棘、杜鹃、女

贞等灌木,以及马尾松、樟树、杨树、刺槐等乔木.

2.5 结果分析

评估结果显示,石界煤矿区的矿业活动对地表景观和人居环境的影响程度较轻,约 0.70 km²

区域土地资源环境破坏状况以及地质灾害情况较轻.但是矿区约 0.35 km² 区域土壤结构破坏严重,矿区剥离区到处是荒草地和稀疏的杂林地.矿区中土壤 pH 值约为 6.0,破坏后的土壤中含有大量的石块和石砾,空隙率较大养分易流失,从而导致土壤含水量和速效养分的含量偏低,矿区表层土壤甚至呈现沙化的迹象.

城市污泥特性分析表明,城市污泥含有植物生长所需的大量水分以及植物的生长所需要的氮、磷、钾等丰富的营养元素.同时污泥 pH 值约为 7.24,对于 pH 值约为 6.0 的矿区土壤具有一定的中和改良效果.表中的城市污泥中的 Cu、Cd、Cr、Zn、Pb、Ni、Hg 等重金属元素含量均符合污泥农用标准,因此不会对景观植物的生长产生影响.

3 矿区生态恢复实践

2010 年 11 月,对耒阳市石界煤矿区约 0.12 km² 区域土壤进行修复,主要运用城市污泥进行堆肥(污泥来自于耒阳市城市污水处理厂),污泥堆肥槽尺寸:宽 30 cm、深 50 cm、长 100 m.堆肥槽布置采用纵向与横向垂直相交方式,从而将矿区土壤分隔成为 10 m×10 m 井格单元,并将修

复的区域围合成井格网状结构,从而实现矿区土壤堆肥目的.

对矿区堆肥的土壤和未堆肥的土壤,运用当地优势物种分别进行样方设置,样方分为草本种植样方 10 m×10 m(三叶草、野豇豆等)、灌木种植样方 20 m×20 m(沙棘、黄杨等)、乔木种植样方 20 m×20 m(马尾松、刺槐等)、混合种植样方 30 m×30 m(三叶草、野豇豆等草本、沙棘、黄杨等灌木、马尾松、刺槐等乔木混合种植),样方设置主要避免植株的单因素个体性差异对研究观测结果的影响.每 2 个月详细记录矿区堆肥土壤样方植株以及矿区未堆肥土壤样方植株的平均生长量,进行对比分析.

2011 年 11 月,对耒阳市石界煤矿区堆肥与未堆肥样方土壤(30 cm)分别进行取样并对 12 个月矿区堆肥土壤样方植被以及矿区未堆肥土壤样方植株的生长动态数据进行统计.

3.1 污泥堆肥、植被生长对矿区土壤理化特性的影响

矿区土壤污泥堆肥 12 月后,对各样方土壤进行样品采集,并测定矿区土壤理化特性,结果见表 3.

表 3 污泥堆肥、植被生长对矿区土壤理化特性影响

Table 3 The influence of sludge compost and vegetation growth on the mine soil physicochemical properties								
特性	样方土壤	密度 /(g·cm ⁻³)	含水量 /%	pH 值	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全钾 /(g·kg ⁻¹)
深度 0~30 cm	堆肥草本样方土壤	1.64	15.4	6.43	16.21	0.86	1.34	21.6
	堆肥灌木样方土壤	1.72	18.6	6.45	18.86	0.91	1.42	23.1
	堆肥乔木样方土壤	1.74	18.4	6.53	19.10	0.95	1.57	24.0
	堆肥混种样方土壤	1.76	19.7	6.50	19.54	0.97	1.53	24.2
	未堆肥草本样方土壤	1.60	12.4	6.18	13.13	0.61	0.97	17.8
	未堆肥灌木样方土壤	1.70	13.1	6.21	13.54	0.68	1.12	18.9
	未堆肥乔木样方土壤	1.72	13.4	6.24	14.04	0.70	1.15	19.3
	未堆肥混种样方土壤	1.73	13.8	6.28	14.62	0.73	1.16	20.5
	单纯污泥堆肥土壤	1.62	14.6	6.36	15.86	0.76	1.26	19.8
	对照剥离区土壤	1.56	11.2	6.05	11.84	0.53	0.88	16.5

与对照剥离区土壤相对比,经单纯污泥堆肥后的样方土壤的各项理化指数均有不同程度的上升,密度、含水量、pH 值增幅分别为 3.84%、30.36%、5.12%.土壤密度的增大,水分的增加使得矿区土壤 0~30 cm 表层土壤开始凝结成块,土壤沙化迹象得到了改善.同时使原剥离区土壤 pH 值上升至 6.36,土壤的 pH 值趋于中性,更易于植物的生长.其中有机质从对照的 11.84 g/kg 上升

到 15.86 g/kg,增幅达到 25.35%.全 P、N、K 含量明显上升,增幅分别为 43.39%、30.16%、20.00%,表明污泥堆肥可明显增加矿区土壤有机质及营养元素含量.

与对照剥离区土壤相对比,各单纯用植物修复(草本、乔木、灌木、混种植)样方土壤的理化特性有所改良,其中 0~30 cm 表层土壤密度、含水量、pH 值增加幅度分别为 2.56%~10.89%、

10.71% ~ 23.21%、2.15% ~ 5.12%, 结果显示样方植被对矿区土壤的密度、含水量以及 PH 值等物理特性具有一定的改良效果. 同时样方植被还升高了矿区土壤营养元素含量, 其中有机质以及全 P, N, K 增幅分别为 10.89% ~ 23.48%、15.09% ~ 37.73%、10.23% ~ 31.81%、7.88% ~ 24.24%, 以上结果表明植被种植对矿区土壤理化特性有一定改良作用.

堆肥后的样方土壤, 经草本、灌木、乔木及三种植株混合种植后, 其土壤特性与对应相同植株修复但未经堆肥的样方土壤相比均有不同程度改善, 表明在堆肥基础上再进行植被种植有更好的土壤修复效果. 综合表 3 各项土壤的理化特性数据变化, 结果显示三种植株混种样方土壤改善效果最佳, 乔木、灌木次之, 草本改善效果最差. 表明堆肥后混合植株比三种植株单植有更好的样方土壤改良效果.

3.2 污泥堆肥对矿区植物生长的影响

对 12 个月植株生长动态观测数据运用 Origin-pro 8 绘图软件进行处理, 分析结果如图 1 ~ 图 3.

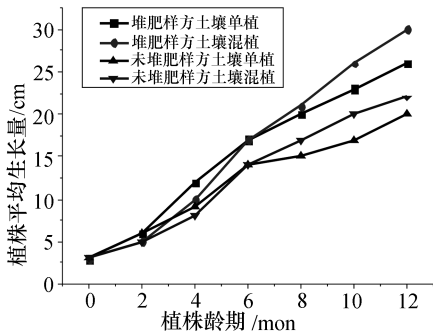


图 1 煤矿区草本植株生长过程
Fig.1 The growth process of herbaceous plant in coal mine area

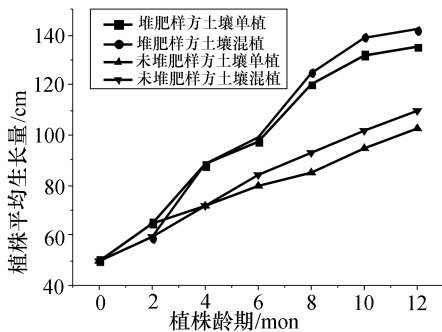


图 2 煤矿区灌木植株生长过程
Fig.2 The growth process of shrub plant in coal mine area

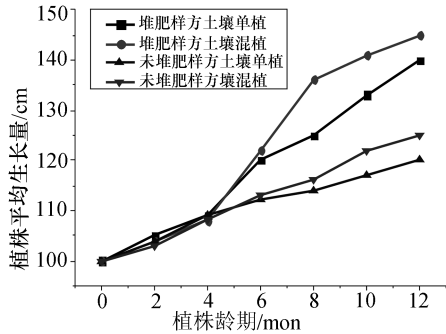


图 3 煤矿区乔木植株生长过程
Fig.3 The growth process of trees plant in coal mine area

从图 1、图 2、图 3 显示, 植株生长前期(草本、灌木植株 0 ~ 2 月, 乔木植株 0 ~ 4 月), 堆肥样方土壤单、混植与未堆肥样方土壤单、混植的植株平均生长量变化不大, 增幅也不明显. 污泥堆肥效果未显现, 提示此时期内, 污泥堆肥土壤样方植株还未对污泥中有机质、全氮、全钾、全磷等营养元素进行利用与吸收, 所以长势与未堆肥土壤样方植株相差不大. 但是, 在植物生长后期(草本、灌木: 2 ~ 12 月, 乔木: 4 ~ 12 月), 堆肥样方土壤单、混植植株平均生长量变化显著, 与未堆肥土壤相比经堆肥后样方土壤单、混植植物平均生长量明显升高, 增幅明显. 说明在此段时期内, 污泥堆肥已对土壤改良完成, 样方植株可对污泥中有机质、全氮、全钾、全磷等营养元素进行吸收与利用, 较未堆肥土壤样方植株长势更好. 并且在此时期内, 堆肥与未堆肥样方土壤中混植植株平均生长量均高于草本、灌木、乔木三种单植植株的生长量, 其平均增幅分别为 12.03%、3.87% 和 7.59%. 综合 12 个月草本、灌木、乔木单植及三种混植植株生长状况结果显示堆肥样方混植植株平均生长量明显高于其它单植组, 尤其 4 ~ 12 月龄期比灌木乔木单植组生长状态好. 说明植物多样性配置相比植株单物种配置生长优势要明显.

4 结 论

对煤矿矿区进行生态恢复过程中, 运用城市污泥作为矿区土壤改良剂和肥料. 实践结果表明, 经单纯污泥堆肥后的样方土壤其土壤密度增大, 水分增加, 土壤的 pH 值趋于中性, 有机质及全 P, N, K 含量上升表明污泥堆肥可明显改善矿区土壤的各项理化性质. 单纯用植物修复(草本、乔木、灌木, 混种植)样方土壤的理化特性较对照剥

离区土壤有所改良,表明样方植被对矿区土壤的密度、含水量以及 pH 值等物理特性具有一定的改良效果.堆肥后的样方土壤经草本、灌木、乔木及三种植株混合种植后,其土壤特性与对应相同植株修复但未经堆肥的样方土壤相比均有不同程度改善,其中堆肥后三种植株混植比单植有更好的样方土壤改良效果.因此在矿区土壤进行污泥堆肥的基础上进行多样性配置植物修复能使矿区的土壤具有防沙固土、防止水土流失能力,使矿区的生态系统具有更强的稳定性和安全性.

参考文献:

- [1] 王丽艳,韩有志,张成梁,等.不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征[J].生态学报,2011,31(21):6429-6441.
- [2] Swaine D J. The content sand some related aspects of trace elements in coals[M]. Environmental aspects of trace elements in coal residuals. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,1999:5-23.
- [3] 赵明鹏,张震斌.阜新矿区矸石山灾害与防治[J].辽宁工程技术大学学报,2003,22(5):711-713.
- [4] 尹伶俐,张芹芹.煤矿塌陷区的治理对策分析[J].绿色科技,2011(1):93-94.
- [5] 谢宏全,张光灿.煤矸石山对生态环境的影响及治理对策[J].北京工业职业技术学院学报,2002,1(3):27-30.
- [6] 秦明周.主成分分析法在土地资源评价中的应用[J].河南大学学报(自然科学版),1991,21(4):69-72.
- [7] 杨伦,范海英,刘茂华,等.矿区废弃土地资源评价因子及其权重的确定[J].矿山测量,2005(2):1-3.
- [8] 任小旭,蔡体久,王笑峰.不同植被恢复模式对矿区废弃地土壤养分的影响[J].北京林业大学学报,2010,32(4):151-154.
- [9] 刘国华,舒洪岚,张金池,等.南京幕府山矿区废弃地植被恢复模式研究[J].水土保持研究,2005,12(1):141-144.
- [10] 郭逍宇,张金屯,宫辉力,等.安太堡露天矿区人工植被的物种多度分布分析[J].林业科学,2007,43(3):118-121.
- [11] 于芳芳,常智慧,韩烈保.城市污泥和污泥堆肥在草坪的利用研究进展[J].草业学报,2011,20(5):259-265.
- [12] 陈桂梅,刘善江,张定媛,等.污泥堆肥的应用及其在农业中的发展趋势[J].中国农学通报,2010,26(24):301-306.