

矿山固体废物土壤化改良试验研究

张大勇¹, 杨小牛², 刘立波², 白杨², 李朝阳³

(1. 长春黄金研究院有限公司; 2. 内蒙古太平矿业有限公司; 3. 河南中原黄金冶炼厂有限责任公司)

摘要:为解决西北干旱草原地区黄金矿山生态修复客土资源短缺的难题,选用以玉米秸秆、牛羊粪便、生物菌剂等为原料制备的理化性质改良材料对某黄金矿山排土场废石进行土壤化改良试验研究,用以代替表土资源进行生态修复。通过分析不同改良配比废石粉的理化性质指标变化和植物生长指标,验证了黄金矿山固体废物土壤化改良的可行性。结果表明:①添加理化性质改良材料对废石粉进行土壤化改良,既可有效将废石粉碱性基质调节至中性,又可降低废石粉密度至满足常规土壤要求,还可以有效提高废石粉持水保水能力。②理化性质改良材料可以有效增加废石粉中植物生长所需营养物质,使土壤化改良后的废石粉满足植被生长所需要的基本条件。③综合黑麦草的植株发芽率、植株高度、植株根茎长和植株生长量等指标,确定理化性质改良材料添加量15%较为适宜废石粉的土壤化改良。

关键词:固体废物;理化性质改良材料;废石粉;生态修复;土壤化改良

中图分类号:TD88

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2024)06-0091-05

doi:10.11792/hj20240617

引言

黄金工业提金与其他金属提取有所区别,大部分黄金矿山金品位较低,回收有价值物质后会产生大量废石,其堆积占用大量土地。随着国内黄金开采量逐年增加,金矿开采特别是露天开采占用和破坏的土地面积也逐年增加,造成生态系统破坏程度也越来越大,特别是在一些生态环境脆弱区域,如西北草原地区,一旦生态环境遭到破坏,恢复难度较大^[1-2]。《土地复垦条例》明确规定,生产建设活动损毁的土地,按照“谁损毁,谁复垦”原则,由生产建设单位或个人负责复垦^[3-4]。因此,黄金矿山企业积极实施矿山土地资源复垦和环境综合治理,恢复和提高矿山土地生产力。通过处理固体废物、改良土壤、合理重建地面排水和大规模生态复垦等,可有效防止大气、水体、土壤的污染和水土流失,改善和提高矿山生态环境水平,使土地资源得到高效、充分利用。

传统矿山生态修复多采用表面覆土结合植被恢复的方式,但西北干旱草原地区的一些矿山企业面临表土资源短缺难题,无法采用传统覆土方式进行生态修复^[5]。如果能够将矿山现有固体废物通过土壤化改良用以代替表土进行无土、少土生态修复,既可以实现固体废物再利用,减少固体废物堆存对周边环境

造成的安全隐患,又可以解决矿山企业面临的表土资源紧缺难题^[6-7]。因此,开展针对矿山固体废物的土壤化改良研究对于缺土地区的生态修复工作具有重要意义。

本文选用以玉米秸秆、牛羊粪便、生物菌剂等为原料制备的理化性质改良材料,对某黄金矿山排土场废石粉进行土壤化改良,将改良后的废石粉代替土壤进行植被种植试验研究,探讨不同理化性质改良材料添加量对排土场废石粉基质改良效果的影响,以及在不同配比条件下植被生长的差异性,为矿山固体废物土壤化改良和无土、少土生态修复提供依据。

1 试验部分

1.1 试验材料

试验所用理化性质改良材料以玉米秸秆、牛羊粪便、生物菌剂等为原料,采用“高温气解”“发酵堆肥”等技术制备而成;固体废物为西北干旱草原地区某黄金矿山排土场的废石粉,对其理化性质进行检测分析,结果见表1;选取多年生黑麦草种子进行植被种植试验。

由表1可知:废石粉pH值为8.38,呈碱性,不利于常规植物的生长。土壤密度可以反映土壤的孔隙状况,是表征土壤松紧度的一个指标;正常土壤密

表 1 排土场废石粉理化性质分析结果

Table 1 Analysis results of physicochemical property of waste rock powder in the dump

颜色	pH 值	$w/(g \cdot kg^{-1})$				含水率/ %	密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)
		全氮	全磷	全钾	有机质		
褐色	8.38	0.33	0.14	8.5	6.82	3~5	2.18

度一般为 1.0~1.8 g/cm³^[8],废石粉密度为 2.18 g/cm³,明显高于正常土壤,说明废石粉的透气性较差,不利于植物的生长。全氮、全磷、全钾、有机质质量分数分别为 0.33 g/kg、0.14 g/kg、8.5 g/kg、6.82 g/kg,对照全国第二次土壤普查养分分级标准^[9](见表 2)可知,全氮和全磷含量为六级土壤标准,全钾和有机质含量为五级土壤标准,说明废石粉中营养物质极度匮乏,必须在废石粉中补充营养物质才能实现废石粉的土壤化改良。

表 2 全国第二次土壤普查养分分级标准

Table 2 Nutrient grading standards of the second national soil census

级别	全氮	全磷	全钾	有机质
一级	>2	>1	>25	>40
二级	1.5~2	0.8~1	20~25	30~40
三级	1~1.5	0.6~0.8	15~20	20~30
四级	0.75~1	0.4~0.6	10~15	10~20
五级	0.5~0.75	0.2~0.4	5~10	6~10
六级	<0.5	<0.2	<5	<6

1.2 试验方法

本试验共设置 7 组不同理化性质改良材料添加量的对比水平,在温室大棚中进行。将理化性质改良材料和排土场废石粉按照设计配比混合均匀装入花盆中,花盆长 40 cm、宽 16 cm、高 10 cm,每个花盆装 5 kg 改良后废石粉,压实,种植黑麦草,定期浇水。改良后废石粉盆栽试验方案见表 3。

表 3 试验方案

Table 3 Experimental schemes

序号	理化性质改良材料添加量/%	废石粉添加量/%
M1	0	100
M2	5	95
M3	10	90
M4	15	85
M5	20	80
M6	25	75
M7	30	70

注:各组分配比为质量比。

1.3 测定项目及分析方法

土壤 pH 采用玻璃电极法测定,有机质采用重铬酸钾滴定法测定,全氮采用自动定氮仪法测定,全磷采用分光光度法测定,全钾采用电感耦合等离子体(ICP)法测定。

2 结果与讨论

2.1 改良废石粉理化性质分析

2.1.1 酸碱度

不同配比改良废石粉 pH 变化见图 1。由图 1 可知:未改良废石粉 pH 值为 8.38,呈碱性,不利于植被生长。随着理化性质改良材料添加量的增加,改良废石粉基质 pH 逐渐降低,由弱碱性降低为中性;在理化性质改良材料添加量达到 30 % 时,改良废石粉 pH 值降低至 7.5。理化性质改良材料可以改善废石粉 pH 是因为其主要的制备原材料——玉米秸秆在发酵过程中会产生大量腐殖酸和黄腐酸,二者呈弱酸性,可有效调节废石粉酸碱度,使其达到适宜植被生长的水平^[10-11]。

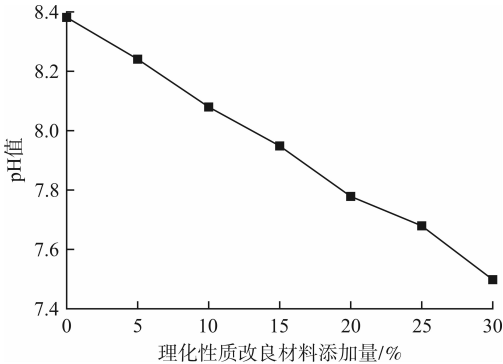


图 1 不同配比改良废石粉 pH 变化

Fig. 1 pH variation of modified waste rock powder with different ratios

2.1.2 密 度

不同配比改良废石粉密度变化见图 2,不同配比改良废石粉孔隙度变化见图 3。由图 2、图 3 可知:随着理化性质改良材料添加量的增加,改良废石粉的密度逐渐降低,孔隙度逐渐增加。在理化性质改良材料添加量达到 15 % 时,改良废石粉密度降低到 1.8 g/cm³ 以下,达到正常土壤密度。理化性质改良材料之所以能够有效改善废石粉的土壤结构,是因为其本身密度较小,并且有较大的孔隙度,与废石粉混合可机械性改善废石粉颗粒的组成,提升其疏松程度。同时,理化性质改良材料中黄腐酸和腐殖酸分解产生的有机胶结物质具有适度的黏结性,可进一步促进废石粉颗粒间的团聚和大粒径团聚体的形成,从而起到改善土壤结构、增加土壤孔隙度、降低土壤密度的作用。

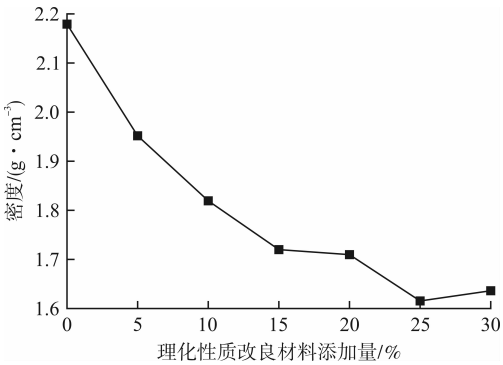


图 2 不同配比改良废石粉密度变化

Fig. 2 Density variation of modified waste rock powder with different ratios

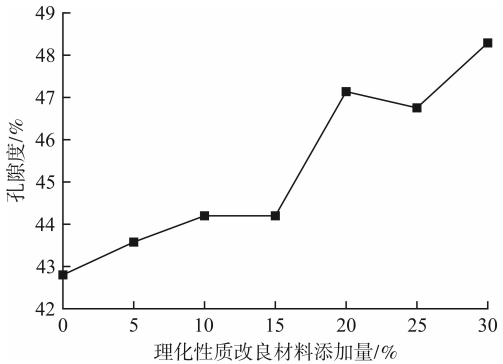


图 3 不同配比改良废石粉孔隙度变化

Fig. 3 Porosity variation of modified waste rock powder with different ratios

2.1.3 持水保水能力

本试验的持水量为 5 kg 土壤在饱水状态下自然放置 24 h 后的剩余持水量,剩余持水量与土壤总体积之比为持水度。不同配比改良废石粉持水量变化见图 4,不同配比改良废石粉持水度变化见图 5。由图 4、图 5 可知:随着理化性质改良材料添加量的增加,改良废石粉的持水量和持水度逐渐升高;原因是理化性质改良材料本身具有很大的孔隙度和较强持水保水能力,可有效改善废石粉持水保水性能,这对于西北干旱草原地区的生态修复尤其重要。因为该地区降雨量少,蒸发强度大,改良废石粉持水保水能力的提高意味着可以减少水分的损失,更有利于植物生长^[12-13]。

2.1.4 营养物质含量

不同配比改良废石粉有机质质量分数变化见图 6,不同配比改良废石粉全氮、全磷、全钾质量分数变化见图 7。由图 6、图 7 可知:随着理化性质改良材料添加量的增加,改良废石粉中的全氮、全磷、全钾和有机质含量均有不同程度的提高。对照全国第二次土壤普查养分分级标准中的等级划分可知,在理化性质改良材料添加量为 10 % 时,对比未改良废石粉,改良废石粉全氮含量由六级土壤标准变为一级土壤标

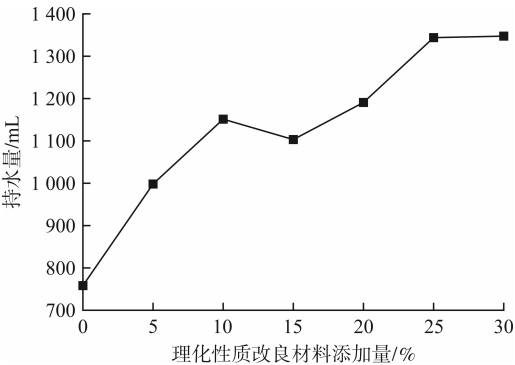


图 4 不同配比改良废石粉持水量变化

Fig. 4 Water reservation volume variation of modified waste rock powder with different ratios

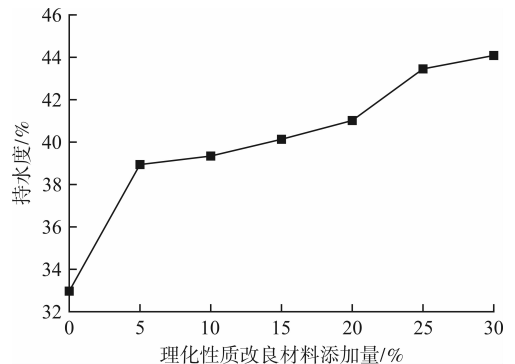


图 5 不同配比改良废石粉持水度变化

Fig. 5 Water reservation degree variation of modified waste rock powder with different ratios

准,有机质含量由五级土壤标准变为一级土壤标准,全磷含量由六级土壤标准变为二级土壤标准,全钾含量由五级土壤标准变为二级土壤标准。这说明理化性质改良材料中的全氮、全磷、全钾和有机质等营养物质含量丰富,可以有效改善废石粉中营养物质匮乏问题,使改良废石粉基质更加适宜植物生长。

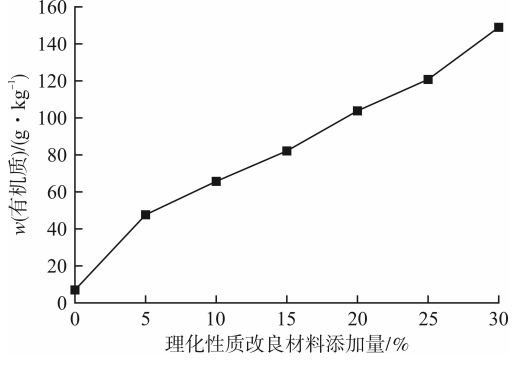


图 6 不同配比改良废石粉有机质质量分数变化

Fig. 6 Organic matter mass fraction variation of modified waste rock powder with different ratios

2.2 黑麦草生长状况差异性分析

对不同改良配比下黑麦草的发芽率和不同时期的植株高度进行记录,并在黑麦草生长期结束后对其根长、茎长、鲜质量和干质量等进行检测。不同改良

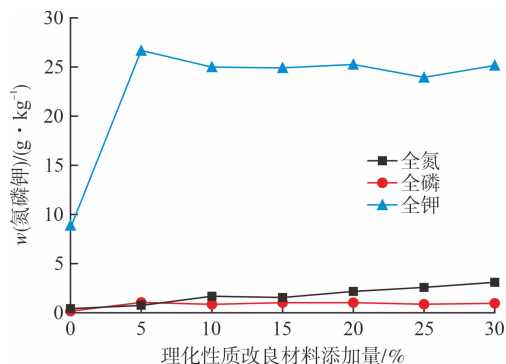


图7 不同配比改良废石粉全氮、全磷、全钾质量分数变化

Fig.7 Full nitrogen,full phosphorus and full potassium mass fraction variation of modified waste rock powder with different ratios

配比下黑麦草生长情况见图8(从左到右依次为:M2、M3、M4、M5、M6、M7)。试验发现,M1中黑麦草发芽率较低,且发芽后全部死亡。



图8 不同改良配比下黑麦草生长情况

Fig.8 Growth of ryegrass under different modification ratios

2.2.2.1 植株发芽率

不同改良配比下黑麦草发芽率变化见图9。由图9可知:未改良废石粉不适于黑麦草生长,其发芽率仅为36.7%;当理化性质改良材料添加量为10%~20%时,黑麦草发芽率大于90%;当理化性质改良材料添加量增加到20%~30%,黑麦草发芽率有所降低,说明理化性质改良材料添加量并非越高越好,应当适量。因此,从发芽率指标来考虑,改良废石粉中理化性质改良材料添加量在10%~20%时较为适宜。

2.2.2.2 植株高度

不同改良配比下黑麦草不同生长期高度变化见图10。由图10可知:在黑麦草生长前20d内,不同改良配比废石粉中植株高度差异较小;生长时间为60d时,各组别植株高度出现明显差异。随着理化性质改良材料添加量的增加,植株高度明显增加,当理化性质改良材料添加量达到15%时,对比添加量小于15%的3组,植株高度有明显增加,但当理化性质改良材料添加量继续增加时,植株高度趋于稳定,不再有明显的增加。因此,从植株高度指标来考虑,

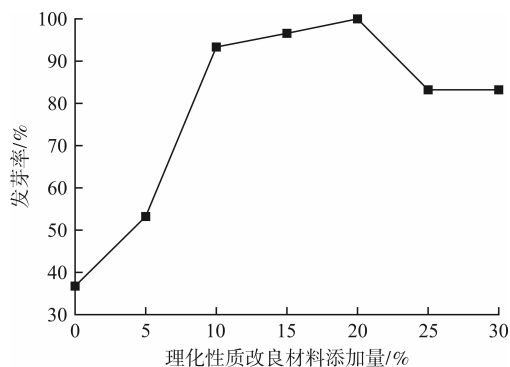


图9 不同改良配比下黑麦草发芽率变化

Fig.9 Germination rate variation of ryegrass under different modification ratios

改良废石粉中理化性质改良材料添加量达到15%时即可满足植被的生长需求。

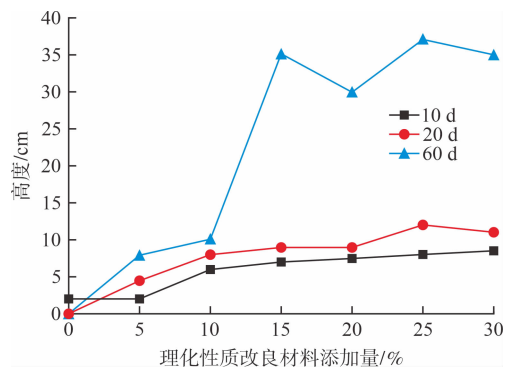


图10 不同改良配比下黑麦草不同生长期高度变化

Fig.10 Height variation of ryegrass in different growth periods under different modification ratios

2.2.2.3 植株根茎长

不同改良配比下黑麦草根长变化见图11,不同改良配比下黑麦草茎长变化见图12。由图11和图12可知:黑麦草植株的根长和茎长变化规律具有一致性,均随理化性质改良材料添加量的增加先增加后趋于稳定。当理化性质改良材料添加量达15%时,黑麦草植株的根长和茎长均达到最高;继续增加理化性质改良材料添加量,根长和茎长趋于稳定,不再有明显增长。因此,从植株根长和茎长指标来考虑,改良废石粉中理化性质改良材料添加量达到15%时即可满足植被的生长需求。

2.2.2.4 植株生长量

在黑麦草生长期结束后,将植株根部泥土清洗干净,用吸水纸吸干水分,测量植株鲜质量,然后在60℃烘箱中恒温将黑麦草植株烘干至恒定质量,测量黑麦草植株干质量。不同改良配比下黑麦草生长量变化见图13。由图13可知:当理化性质改良材料添加量达到10%时,对比添加量小于10%的2组,植株生长量明显增加;之后随着理化性质改良材料添

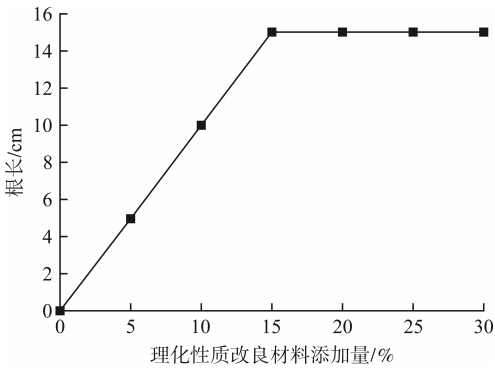


图 11 不同改良配比下黑麦草根长变化
Fig. 11 Root length variation of ryegrass under different modification ratios

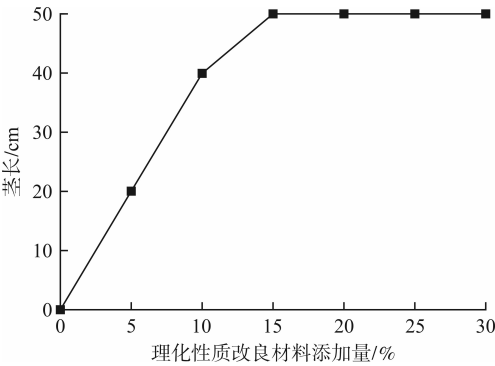


图 12 不同改良配比下黑麦草茎长变化
Fig. 12 Stem length variation of ryegrass under different modification ratios

加量的增加,黑麦草植株鲜质量缓慢增加;当理化性质改良材料添加量达到 20 % 时,黑麦草植株干质量达到最大。因此,从植株生长量指标来考虑,改良废石粉中理化性质改良材料添加量在 10 % ~ 20 % 时较为适宜。

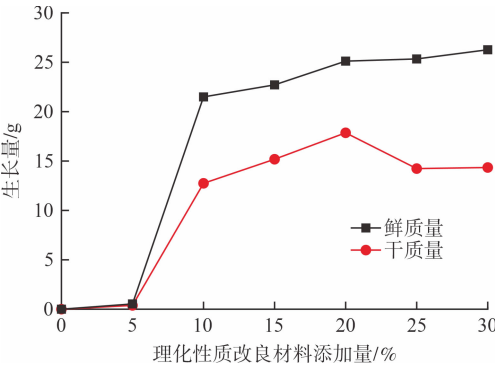


图 13 不同改良配比下黑麦草植株生长量变化
Fig. 13 Plant growth variation of ryegrass under different modification ratios

3 结 论

1)通过采用“高温气解”“发酵堆肥”等技术制备出的理化性质改良材料富含黄腐酸和腐殖酸等

物质,既可以改善废石粉的碱性基质,又可降低废石粉密度。同时,由于理化性质改良材料具有很大的孔隙度和较强持水保水能力,可以有效改善废石粉的持水保水性能,更有利于干旱地区植物的生长。

2)理化性质改良材料中的全氮、全磷、全钾和有机质等营养物质含量丰富,通过在废石粉中添加适量比例的理化性质改良材料,可以有效改善废石粉中营养物质匮乏问题,使改良后的废石粉能够满足植物生长需求。

3)通过对不同改良配比废石粉中黑麦草的生长状况考察发现,在理化性质改良材料添加量为 15 % 时,黑麦草的植株发芽率、植株高度、植株根茎长和植株生长量等指标均较优,因此确定 15 % 的理化性质改良材料添加量为废石粉土壤化改良的最佳配比。

[参考文献]

[1] 吴晓丽,朱宇,陈广仁,等. 矿区土地复垦与生态重建——机遇与挑战[J]. 科技导报,2009,27(17):19-24.

[2] YU H X,ZAHIDI I,LIANG D F. Mine land reclamation,mine land reuse,and vegetation cover change:An intriguing case study in Dartford,the United Kingdom[J]. Environmental Research,2023,225:115613.

[3] 魏远,顾红波,薛亮,等. 矿山废弃地土地复垦与生态恢复研究进展[J]. 中国水土保持科学,2012,10(2):107-114.

[4] 崔柳,王瑞国,徐立升. 露天矿土地复垦考核评价方法及应用[J]. 金属矿山,2017(11):145-151.

[5] 李渊,刘双全,刘华驹. 矿山土地复垦与生态恢复治理方法分析与探索[J]. 住宅与房地产,2020(3):281.

[6] 李振,雪佳,朱张磊,等. 煤矸石综合利用研究进展[J]. 矿产保护与利用,2021,41(6):165-178.

[7] GUO L,WU D Q. Study of recycling Singapore solid waste as land reclamation filling material[J]. Sustainable Environment Research, 2017,27(1):1-6.

[8] 赵亚丽,王云强,张兴昌. 黄土高原生态工程区土壤容重及饱和导水率的分布特征[J]. 农业工程学报,2020,36(10):83-89.

[9] 霍佳,吕刚,李坤衡. 辽西半干旱区典型城市土壤质量评价[J]. 生态科学,2023,42(5):181-187.

[10] 陈小娟. 腐殖酸类肥料的生产应用研究进展[J]. 现代盐化工, 2017,44(5):1-3,10.

[11] WANG R X,LI D,DENG F,et al. Production of artificial humic acid from rice straw for fertilizer production and soil improvement[J]. Science of the Total Environment,2024,906:167548.

[12] 杜韬,王冬梅,张泽洲,等. 煤矸石植生基质保水性能对黑麦草生长的影响[J]. 中国水土保持科学,2019,17(4):75-84.

[13] 刘影,迟崇哲,杨小牛,等. 基于农业固废资源化利用的土壤改良试验研究[J]. 黄金,2023,44(10):95-99.