

# 赤泥基质改良及种植植物的筛选研究

张乐观<sup>1,2</sup>, 王国贞<sup>1</sup>, 段璐淳<sup>2</sup>

(1. 河南城建学院 环境与市政工程系, 河南 平顶山 467044; 2. 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**采用四因素三水平正交改良方案对盐分含量较高的赤泥基质进行了改良研究和植物种植试验。结果表明:4 种改良剂均能降低土壤的 pH 值, 其中磷石膏对赤泥基质的 pH 影响最大; 赤泥基质的持水率则主要受膨润土的影响, 膨润土对赤泥基质的盐分具有一定的吸附或交换作用, 添加量为 20% 时, 赤泥可溶性盐含量降低了 50%; 3 种供试植物中黑麦草最适宜改良后的赤泥基质种植。

**关键词:**赤泥; 改良; 植物修复  
**中图分类号:** X 705 **文献标识码** A **文章编号:** 1001—0009(2010)22—0031—03

目前, 虽然已有许多研究发现了赤泥能在诸多领域应用, 但赤泥的消耗量仍相当有限, 大量赤泥仍然弃置在堆场无法处置, 成为区域生态环境的盲区。赤泥碱性强、养分贫乏、土壤结构性质差, 植物难以存活, 裸露的赤泥堆场边坡水土流失严重, 不仅不利于堆场自身的稳定而且污染周围环境。采用植物修复赤泥堆场, 初期既可减少赤泥中有害物质污染水体和土壤, 又能绿化矿区、改善空气质量, 后期修复则可生产赤泥砖、草坪花卉基质, 实现赤泥的资源化利用。多年来, 国内外有一些研究报道添加改良成分改良赤泥性质种植植物, 利用植被恢复生态, 或者绿化护坡抑制水土流失, 如 Jonathab<sup>[1]</sup> 研究用石膏和污泥作为赤泥的改良剂绿化赤泥堆场。试验证明污泥能为植物的生长提供丰富的营养物, 产物的干重增加明显, 同时土壤的性质也得到了改善。李小平<sup>[2]</sup> 采用客土连续覆盖, 植被护坡工艺对中铝广西分公司露天堆放的赤泥进行了现场试验, 实现边坡植被覆盖度 80% 以上, 改善了坝区生态环境。周富华<sup>[3]</sup> 长期研究赤泥堆场边坡绿化防护, 提出了改良客土喷播绿化技术。

赤泥的土壤改良主要依靠就近找到合适的改良剂和筛选到适合生长的植物品种, 用作大面积改良种植的植物的利用途径也是需要考虑的一个问题。近年来, 生物质能源的开发为投资改良大面积的赤泥堆场种植能源植物生产清洁能源带来了新的契机。现对在赤泥土壤中添加磷石膏、膨润土、泥炭和锯末等不同改良剂后分别种植黑麦草、披碱草和苏丹草进行研究, 对解决赤

泥堆场的环境问题具有一定的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验的改良土壤基质为河南开曼铝业公司提供的拜耳法赤泥。赤泥的基本理化性质如下: 含水率 17.4%, 可溶性盐含量约 1.02%, pH 11.08。赤泥的化学组成见表 1。改良剂磷石膏为贵州平坝化肥厂生产磷肥的废渣, 呈灰白色, 主要成分  $\text{CaSO}_4$  (质量分数: 70.5%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (质量分数: 1.14%), 溶解度 662 mg/L, pH 2.3。含水率约 29.8%。试验选用锯末作为生物质改善土壤的物理结构。生物质锯末的工业分析和元素分析如表 2。所选锯末的粒径分布见表 3。膨润土由上海试剂四厂生产, 化学纯。阳离子交换容量由氯化铵—无水乙醇法<sup>[4]</sup> 测得为  $0.98 \times 10^{-3} \text{ mol}/100\text{g}$ , pH 9.3。泥炭的有机质含量 58.3%, 腐植酸含量 34.7%。试验筛选种植的 3 种植物分别为黑麦草、披碱草和苏丹草。

表 1 赤泥的化学组成

成分	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
质量分数/%	10.81	29.45	26.1	0.43	19.21	6.13	4.87

表 2 锯末的工业分析与元素分析

工业分析/ wt%		元素分析/ wt%	
高位热值/(kJ/kg)	19 496	C	43.54
水分	10.05	H	4.88
挥发份	70.44	O	34.30
固定碳	17.66	N	1.08
灰分	0.95	S	0.20

表 3 生物质锯末的粒径分布

粒径范围/mm	> 0.45	0.3~0.45	0.3~0.15	< 0.15
质量分数/%	34	17	14	35

第一作者简介: 张乐观(1975-), 女, 湖北黄冈人, 博士, 副教授, 现主要从事环境生态方面的研究工作。E-mail: zlg@hncj.edu.cn。  
收稿日期: 2010-08-23

1.2 试验方法

采用  $L_9(3^4)$  正交实验设计(表 4)配置改良赤泥基质。配制时先往赤泥中加磷石膏(B),再加膨润土(C),泥炭(A)最后加锯末(D),此添加顺序有助于混合均匀。将不同改良赤泥基质装入塑料花盆(20 cm×20 cm×15 cm)中,1 000 g/盆。基质稳定 1 周后播种,每盆播种 3 种草种,每种 20 颗,播种深度 2 cm 左右,然后覆土压实。播种完毕立即浇水,确保 10 cm 深处基质相对含水量为最大田间持水量的 70%左右,以后视基质干湿度浇水,满足草种发芽、植株生长需水。7 d 后计算发芽率,4 周后测量根长、株高和地表 4 cm 以上植株干重(留茬 4 cm 对于植物存活和再生有利)。

2 结果与分析

2.1 赤泥改良基质的物理特性

由表 4 可知,所有添加成分均能降低土壤的 pH 值,

表 4 土壤改良正交实验结果

次数		A /g·盆 <sup>-1</sup>	B /g·盆 <sup>-1</sup>	C /g·盆 <sup>-1</sup>	D /g·盆 <sup>-1</sup>	pH	水溶性盐 / %	持水率 / 100g
1		0	0	0	0	11.08	1.08	45
2		0	25	100	25	9.72	1.34	80
3		0	50	200	50	9.42	1.54	95
4		70	0	100	50	10.66	—	87.5
5		70	25	200	0	9.54	1.17	87.5
6		70	50	0	25	9.43	1.72	75
7		140	0	200	25	10.22	—	115
8		140	25	0	50	9.33	1.41	95
9		140	50	100	0	9.10	1.53	85
pH 值	k1	10.073	10.653	9.947	9.907			
	k2	9.877	9.530	9.827	9.790			
	k3	9.550	9.317	9.727	9.803			
	极差	0.523	1.336	0.220	0.117			
持 水 率	k1	73.333	82.500	70.000	72.500			
	k2	83.333	85.833	84.167	90.000			
	k3	96.667	85.000	99.167	90.833			
	极差	23.334	3.333	29.167	18.333			

2.2 正交实验的植物种植结果

播种 1 周后统计的植物发芽率及植物根系生长情况和土壤性质如表 5。由表 5 可知,3 种植物中黑麦草的适应力最强,不同改良组中均可发芽,同一组中发芽率也最高。但 3 种植物的生长状况都不好,表现为生长迟缓、发芽率低。其主要原因是植物生长需要一个综合有利的条件,改良赤泥的可溶性盐含量均过高。添加泥炭较多的第 7~9 组,植物生长普遍好于不加和加入量少的试验组。

综合考虑植物根系生长的状况,pH 值越接近中性植物生长状况越好。但 pH 值较为接近的第 3、5、6、8、9 组,植物根系生长状况有较大差异,这种差异主要与添加膨润土的量相关,反应了膨润土降低赤泥盐分对植物根系的有益作用。但另一方面根系生长较好发芽率不

添加量越多 pH 越低。其中,改良赤泥的 pH 主要受磷石膏的影响。故添加磷石膏能够有效降低赤泥 pH 值,使赤泥的 pH 值达到适合植物生长的范围。添加量较大的膨润土和泥炭对改良赤泥的持水率具有主导作用,随着添加量的增加,赤泥持水率显著升高。由极差分析可知,赤泥改良基质的持水率主要受膨润土添加量的影响,泥炭和锯末也起到一定的作用,磷石膏对土壤持水率几乎没有影响。在试验过程中,第 4 组和第 7 组的改良赤泥表现出油腻的性质,导致提取液无法通过微孔滤膜,水溶性盐含量无法测得。这可能是膨润土在强碱性条件下呈现出的特性,但其它各试验组的水溶性盐含量都非常高,有的甚至高出未改良赤泥的水溶性盐含量 1.06%,可见改良方案均无法降低赤泥土壤的水溶性盐含量。

高,反映了赤泥土壤粘度大对植物出土的阻碍。锯末对改良试验的种植结果没有明显影响。分析赤泥土壤返碱现象的成因发现,基本无返碱现象的第 1、4、7 组赤泥的共同特点是未添加磷石膏。可见,添加磷石膏降低土壤 pH 促使可溶性盐溶出是返碱现象产生的重要原因。添加了磷石膏的第 2、3、5、6、8、9 组均有不同程度的返碱现象发生。添加磷石膏同时添加膨润土的各组(第 2、3、5、9 组)返碱现象明显,这可能是由于降低赤泥 pH 值而溶出的可溶性盐分借助毛细管作用向表土迁移,而且赤泥本身的粒度很细,也具有一定的毛细管作用,而膨润土的加入大大增加了赤泥的毛细孔空隙率,显著增加了土壤表面返碱的现象。

2.3 验证试验

综合正交实验得到的有利植物生长的设计最优方

案为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>3</sub>, 在此改良方案的赤泥基质上种植 3 种植物 4 周后统计发芽率, 测定株高、根长和地表 4 cm 以上干重结果如表 6。改良配方中黑麦草的发芽率明显提高, 达到 50%。披碱草的发芽率变化不大, 苏丹草的根系仍然发育较好但发芽率非常低。说明苏丹草的根系生长主要依靠种植中的营养成分, 土壤环境不适合其生长。相比较而言, 所选的 3 种草中, 黑麦草是最适合在改良赤泥中种植的植物, 4 周干物质积累为 0. 0221 g/盆。植物生长缓慢、发芽率不高可能主要还是受到赤泥可溶性盐含量高的影响。

表 5 正交种植试验结果					
试验 次数	平均发芽数( 14 d 20 颗)			根系生长	返碱 现象
	黑麦草	苏丹草	披碱草	情况	
1	0	0	0	—	—
2	1	0	0	—	+++
3	2	1	1	++	+++
4	0	0	0	—	—
5	2	1	1	+	++
6	3	1	1	++	+
7	2	1	0	++	—
8	3	1	1	+++	+
9	2	1	0	++++	++++

注 — 表示无明显现象 + 表示有现象(+ 越多表示程度越明显)。

表 6 改良土壤试验结果			
	黑麦草	披碱草	苏丹草
发芽率/ %	50	24	1
株高/ cm	9. 5	5. 8	—
根长/ cm	2	1. 2	—
干重/ g · 盆 <sup>-1</sup>	0. 0221	0. 0051	0

3 结论

赤泥 pH 主要受磷石膏添加量的影响, 持水率则主要受膨润土的影响, 泥炭和锯末对提高赤泥土壤持水率也有相当大的作用, 而磷石膏对赤泥持水率几乎没有影响。膨润土对土壤盐分具有一定的吸附或交换作用, 添加量为 20%时, 赤泥可溶性盐含量降低了 50%。磷石膏在降低了赤泥碱性的同时显著增加了其中盐分的溶出, 同时添加磷石膏和膨润土时赤泥土壤返碱现象显著增强。在 3 种供试植物( 黑麦草、披碱草、苏丹草) 中黑麦草最适宜改良赤泥的植物种植。但总体来说, 3 种植物的生长效果都不佳, 盐分高可能是造成植物生长缓慢的主要因素。

参考文献

[ 1] Jonathab W G Wong Geon Ho. Sewage sludge as organic ameliorant for revegetation of fine bauxite residue[ J] . Resources Conservation and Recycling, 1994(11): 297-309.  
[ 2] 李小平. 平果铝赤泥堆场的边坡环境问题与治理对策研究[ J] . 有色金属( 矿山部分), 2007(2): 29-31.  
[ 3] 周富华. 改良客土喷播技术在赤泥堆场边坡防护中的应用[ J] . 轻金属, 2006(4): 58-62.  
[ 4] 张乃娴 李幼琴 赵慧敏, 等. 粘土矿物研究方法[ M] . 北京: 科学出版社, 1990: 180-186.

Study on Improvement of Red Mud Media and Planting Choosing

ZHANG Le-guan<sup>1,2</sup>, WANG Guo-zhen<sup>1</sup>, DUAN Lu-chun<sup>2</sup>

(1. Department of Environment and Municipal Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan, Henan 467044; 2. School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074)

**Abstract:** Orthogonal design experiments of planting *Lolium perenne* L., *Elymus dahuricus*, Sudan grass on the improved high-salts content red mud with acidic waste phosphogypsum, biomass sawdust, bentonite and peat were carried. The results showed that the four adding components could bring down the pH of red mud especially phosphogypsum, water holdup rate of red mud soil was mainly effected by bentonite. Bentonite shows a remarkable ability of retaining the soluble salts. Soluble salts of red mud decreased 50% when bentonite addition was 20%. Within the three specials plant, *Lolium perenne* L. was the most suitable plant for reclamation of the the best improved red mud media

**Key words:** red mud; improvement; phytoremediation