

新型土地复垦基质配比试验及盐分冲洗定额研究

张蕾娜¹, 冯永军², 王兆锋¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 泰安, 271018)

摘要: 在室内进行了粉煤灰与有机物料(糠醛渣)不同组成的基质配比盆栽试验, 探讨了各种基质在不同管理条件下的物理特性和营养元素的变化与循环, 结果表明: 糠醛渣与粉煤灰混合后, 在一定程度上可以改善粉煤灰的特性, 经过合理的水管理, 基本上可以满足作物生长, 混合基质中糠醛渣的最佳配比比例为 5% ~ 20%。另外, 研究中发现, 盐分含量是抑制作物正常生长的主要因素之一, 实例中设计的盐分冲洗定额为 $4.39 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 能将盐分控制在作物正常生长的范围之内。

关键词: 土地复垦; 基质配比; 粉煤灰; 糠醛渣; 冲洗定额

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0268-05

0 引言

我国每年因采煤塌陷土地 70 km^2 ^[1], 占采煤当年破坏土地的 70% ~ 80%^[2], 是矿区环境恢复的重中之重。目前我国广泛采用的采煤塌陷地复垦方式为充填覆土, 不仅工作量大, 而且取土来源难以保证。寻求新型复垦基质, 促进塌陷区土地可持续利用已成为当务之急。

粉煤灰是火力发电厂排出的堆放量最大的工业无机废渣之一, 其利用问题得到了世界各国的重视, 并且在工农业利用方面都取得了很大进展^[3-6]。本研究拟采用粉煤灰与糠醛渣两种工业废渣混合配比新型复垦基质, 以解决覆土复垦的不足。进行二者不同比例的配比试验, 探讨各基质理化性质的变化规律, 结合作物生长状况, 寻求粉煤灰与糠醛渣的最佳配比; 同时, 对基质的

冲洗定额进行估算。拟建立一种面向环境与经济协调发展的废物利用与管理模式, 为“变废为宝、化害为利”和新型有机无机物料直接进行土地复垦提供参考。

1 试验材料和方法

1.1 供试样品采集与配制

供试样品取自山东省肥城市石横火力发电厂的粉煤灰和山东省泰安市糠醛厂的糠醛渣。根据粉煤灰和糠醛渣的主要化学性质(表 1), 以粉煤灰为对照, 把糠醛渣从少到多按一定的比例和粉煤灰混合(各处理糠醛渣的质量配比比例分别为 5%、10%、20%、30%、40%、50%, 编号分别为处理 1、2、3、4、5、6, 对照编号为 CK, 每处理以 2.5 kg 样品装入直径和盆高皆为 20 cm 的试验盆中。共做 6 个处理, 2 次重复。

表 1 粉煤灰与糠醛渣主要化学成分

Table 1 Main chemical components of coal ash and furfural residue

样品	速效氮/mg · kg ⁻¹	速效钾/mg · kg ⁻¹	速效磷/mg · kg ⁻¹	有机物/%	全盐/g · kg ⁻¹	氯离子/g · kg ⁻¹	pH 值
粉煤灰	5	50	10	20.37	5.1	0.13	7.5
糠醛渣	81	7200	519	86.05	89.6	10.5	1.68

1.2 试验方法

试验在室外自然状态下进行, 观测期间日平均温度 21.5。为了满足作物所需要的水分及样品中盐分的淋溶, 每隔一周浇一次水, 每次每盆各灌水 1000 mL (相当于 $0.05 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)。灌水一个月后在盆钵中各播 3 粒玉米, 每盆施入 2.36 g (相当于 $50 \text{ kg}/\text{hm}^2$) 复合肥做基肥, 同时观察记录其长势。

1.3 样品测定

为了分析各处理肥力对作物的影响及不同阶段理化性质的变化, 分别在两者混合后、灌水后、种植后进行了取样(其时间间隔为 50 d), 测定了不同处理的理化性质。物理性质包括透水率、灌水 24 h 后的持水量; 化学

性质包括速效氮、磷、钾, 有机物, 全盐, pH 值, 氯离子等。透水率采用铁环法; 持水量采用烘干法; 速效氮测定采用扩散定氮法; 速效磷测定采用钼锑抗比色法; 速效钾采用火焰光度计法; 有机物的测定采用灼烧法; 全盐的测定采用烘干残渣法; pH 值的测定采用酸度计法; 氯离子的测定采用硝酸银滴定法。

2 试验结果与分析

2.1 化学性质变化

2.1.1 养分状况

从图 1 可以看出, 虽然粉煤灰中速效氮含量极低, 但与糠醛渣混合后速效氮含量达到 20~89 mg/kg。灌水后速效氮含量有所减少, 这是因为速效氮有少量被淋洗掉, 而施肥后速效氮含量普遍升高。由于糠醛渣处在极酸性条件下, 速效磷的含量极高, 与粉煤灰混合后, 因 pH 值的升高, 速效磷含量急剧下降, 但一般都超过了 16 mg/kg, 特别是施肥后速效磷含量有较大的增加, 都

收稿日期: 2003-08-26 修订日期: 2004-05-14

基金项目: 山东省教育厅科技攻关项目(J02L07)

作者简介: 张蕾娜(1976-), 女, 博士生, 主要从事土地开发与治理及土地利用、土地覆被变化环境效应的学习研究。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: zhangln@igsnrr.ac.cn

达到了 20 mg/kg 以上(表 2)。从图 2 可以看出, 混合后速效钾含量很高。这是因为纯糠醛渣的速效钾含量高达 7200 mg/kg, 是混合样品速效 K 的主要来源, 但是速效钾容易被淋洗掉, 所以灌水后含量明显降低。经过两个多月的灌溉淋洗后, 一般含量在 70~ 400 mg/kg 之间, 与一般土壤的速效钾含量差异不大。因此, 在一定的肥水管理条件下, 各处理的速效氮、磷、钾含量基本可以满足作物生长的需要。图 3 表明, 各处理随着糠醛渣的增加, 有机物不断增加, 一般在 20%~ 45% 之间; 随冲洗时间和次数的增加, 有机物缓慢分解而减少, 这将成为各处理样品营养的主要来源, 它不仅会为作物长期供给大量的养分, 而且可改善样品结构, 维持一定的肥力水平。

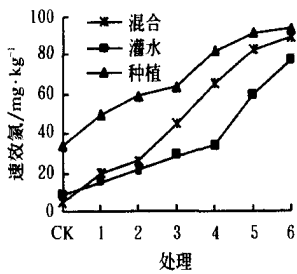


图 1 速效氮变化曲线
Fig. 1 Change of rapidly available nitrogen

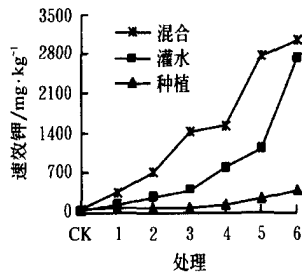


图 2 速效钾变化曲线
Fig. 2 Change of rapidly available potassium

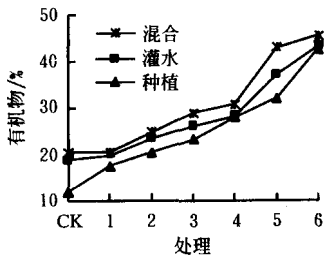


图 3 有机物变化曲线
Fig 3 Change of organic material

表 2 各处理不同阶段速效磷含量

Table 2 Content of rapidly available phosphorus

	mg · kg ⁻¹						
处理	CK	1	2	3	4	5	6
混合	10	17	21	22	21	23	25
灌水	8	16	20	19	21	18	19
种植	19	43	41	27	28	21	30

2.1.2 pH 值

由于纯糠醛渣的酸性很强, pH 值在 2 左右, 所以混合后 pH 值普遍偏低, 通过灌水直至种植后 pH 值逐渐升高, pH 值升高的主要原因是灌溉水为中性, 对酸性处理有着中和作用; 另外, 在酸性条件下, 溶液中的活性 H⁺ 可交换与中和粉煤灰中的 Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺ 等盐基离子, 使 pH 值升高。总之, 灌溉一定时间后 pH 值接近一般土壤(中性), 不会影响作物生长, 变化曲线见图 4。

2.1.3 盐分含量

从玉米的生长情况来看, 幼苗长势较弱, 有黄化现象, 而且生长缓慢。只有处理 1~ 3 长势较好, 其它处理

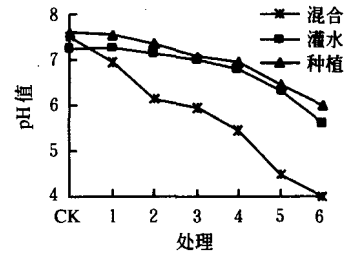


图 4 pH 值变化曲线
Fig 4 Change of pH

明显营养不良, 生长受抑制。所以我们又进一步测定了全盐含量和氯离子含量。

纯糠醛渣的全盐含量高达 89.6 g/kg, 与粉煤灰混合后全盐量也很高, 经过多次灌水后, 全盐含量呈明显下降趋势(图 5), 但是仍然较高, 只有处理 1、2、3 可以基本适应作物的生长(一般含盐量 1~ 3 g/kg)。虽然处理 4、5、6 作物也可以生长, 但是长势较差, 生长明显受抑制, 只有继续冲洗脱盐后才能种植利用。

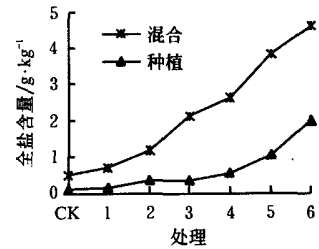


图 5 全盐含量变化曲线
Fig 5 Change of salt content

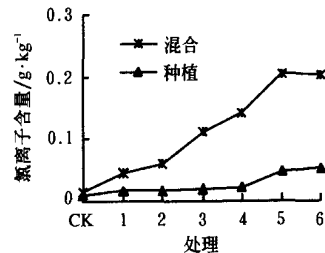


图 6 氯离子变化曲线
Fig 6 Change of Cl⁻ content

纯糠醛渣的氯离子含量为 10.5 g/kg, 是普通土壤的数十倍以上, 混合后氯离子含量依然很高。从图 6 的结果看, 混合后氯离子含量也超过一般土壤的十几倍, 氯离子含量过高会影响其它养分的吸收, 使其它养分失调, 造成盐害。灌水淋洗后氯离子含量已明显下降, 这是因为氯离子不易被胶体吸附, 在多次灌水后部分氯离子已被淋洗掉。处理 1~ 4 氯离子含量较低(一般在 0.1~ 0.5 g/kg), 基本上可以适应作物的生长。由此可见, 解决氯离子含量过高的方法是在种植前多灌水淋洗。

2.2 物理性质变化

试验结果表明: 透水率随糠醛渣掺入量的增加而增大。纯粉煤灰孔隙度小^[7], 透水率较低, 而且在干燥时呈粉末状, 遇风易飞扬; 而糠醛渣是有机物质, 通气透水性好, 持水性也好, 所以掺入糠醛渣之后, 透水率会有明显

的提高^[8,9]。其中处理 1、2、3 的透水率比较理想,一般为 1.4~3.6 mm/min。而后 3 个处理透水率依次增大,漏水较快。粉煤灰以粉粒为主,持水能力较低,随着糠醛渣的增加,持水量不断增大(图 7,灌水 24 h 后测定结果),超过了 100%,这主要是由于不仅糠醛渣本身吸水量大,而且样品的结构得到了改善,有效孔隙增多而使持水量增加。

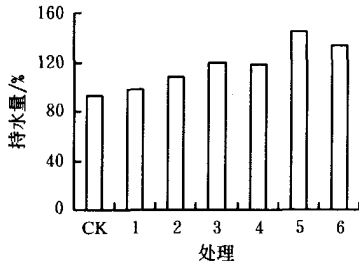


图 7 混合基质持水量

Fig 7 Water holding capacity of medium

2.3 最佳配比基质的选择

以上分析表明:经过一定时间的管理后,各个处理的养分基本达到了作物生长的要求,但从作物的长势来看,处理 1、2、3 长势较好,其余处理所种作物出现黄化现象甚至无法生长。各个处理的酸碱度表明,灌溉及种植一定时间后 pH 值接近一般土壤(中性),基本上不会对作物生长造成危害,氯离子及全盐含量过高可能是影响作物正常生长的主要因素。通过淋洗,处理 1、2、3 的氯离子及全盐含量大大减少,可以适宜作物的生长。后三个处理由于糠醛渣含量太高,淋洗后盐分含量依然太高,而且随着糠醛渣的慢性分解,可能有更多的盐分产出,不宜采用。从透水率和持水量来看,掺入糠醛渣以后,粉煤灰的通透性和保水性已明显改善,前三个处理比较适宜作物的生长,但后三个处理透水率和持水量明显过高。各项指标的分析表明,运用处理 1、2、3 的比例配比粉煤灰与糠醛渣作为基质来改造采煤沉陷地是完全可行的,最佳比例应在 5%~20% 之间。

3 冲洗定额设计

在粉煤灰与糠醛渣最佳配合比例的基础上,对以最佳比例(粉煤灰与糠醛渣的比例为 4:1)配比的基质作了深入探讨,详细的试验方案与管理略^[10,11]。其中选择了可能的适宜作物(月季、谷子、菠菜、黑麦草、苜蓿、高羊茅、早熟禾)进行对照,基质覆盖与基质不覆盖的处理试验,对照为中壤质潮土。经过一年多的种植管理,基质性状有了明显的改善(表 3)。速效氮、磷可以稳定在作物正常生长允许的范围内,各个处理的速效钾和盐分含量的变化基本一致,而且,普遍表现出覆盖优于不覆盖,不覆盖优于对照的态势。分析其原因,主要是因为一方面覆盖物的分解矿化,增加了基质有机质的含量,另一方面,覆盖条件下,保证了基质一定的含水量,更有利于有机物的矿化分解,有机质的增加提高了速效氮的含量。经过一定时期的灌溉淋洗,基质中的盐分含量明显降低,而覆盖条件在一定程度上阻止了干旱期基质的返

盐,因而,覆盖处理的基质的全盐含量的降低更为明显。

表 3 基质养分状况(2003 年 4 月)

Table 3 Fertility of medium (April 2003)

处理	月季	谷子	菠菜	黑麦草	苜蓿	高羊茅	早熟禾
速效氮 /mg·kg ⁻¹	对照	30.22	45.18	42.63	44.54	41.68	47.40
	覆盖	81.76	80.17	78.90	74.45	85.90	80.17
	不覆盖	73.17	75.40	75.08	77.63	79.86	57.90
速效磷 /mg·kg ⁻¹	对照	9.56	5.17	3.73	6.51	2.38	5.55
	覆盖	10.72	3.44	3.03	17.88	22.04	20.37
	不覆盖	20.26	15.58	7.27	1.21	4.05	2.43
速效钾 /mg·kg ⁻¹	对照	275.81	217.34	219.35	154.84	112.50	185.08
	覆盖	650.81	711.29	372.58	541.94	348.39	759.68
	不覆盖	687.10	590.32	650.81	675.00	517.74	578.23
有机质 /%	对照	0.95	0.98	0.95	1.07	0.87	0.94
	覆盖	1.33	1.32	1.57	1.92	2.27	2.64
	不覆盖	0.95	1.00	0.97	1.20	1.63	1.59
全盐 /g·kg ⁻¹	对照	4.69	2.20	3.11	1.68	2.77	2.32
	覆盖	6.34	7.69	5.44	12.18	4.08	5.28
	不覆盖	8.27	9.58	7.50	10.68	9.72	7.78

3.1 冲洗定额

通过以上的研究发现,基质中高浓度的盐分含量是制约作物生长的主要因素,基质中的盐分主要来源于糠醛渣,而糠醛渣是经盐酸或硫酸酸化后的残渣,其盐分成分以氯化物或硫酸盐为主,其改良措施与盐渍土的改良基本一致。其中最简便易行且行之有效的方法是冲洗淋盐。下面以实验用的经盐酸酸化后的糠醛渣为例,依据山东省泰安市的气象水文条件,计算基质在管理中的冲洗定额。

3.1.1 公式选取

冲洗的原则是用尽可能少量的水,洗掉更多的盐。计算冲洗定额的公式很多,可根据改良地区盐分含量和水文地质条件等选用,实践中采用最多的是以下公式

$$Q = W_1 + W_2 + n_1 + n_2 - O \quad (1)$$

$$W_1 = 10H \cdot r(B_1 - B_2) \quad (2)$$

$$W_2 = \frac{10H \cdot r(S_1 - S_2)}{K} \quad (3)$$

式中 Q ——冲洗定额, m^3/hm^2 ; W_1 ——冲洗前灌至田间最大持水量所需的水量, m^3/hm^2 ; W_2 ——冲洗盐分需要的水量, m^3/hm^2 ; n_1 ——冲洗期间蒸发损失的水量, m^3/hm^2 ; n_2 ——冲洗期间无益下渗水量, m^3/hm^2 ; O ——冲洗期间降雨量, m^3/hm^2 ; H ——冲洗计划层深度, m ; r ——冲洗计划层土壤容重, g/cm^3 ; B_1 ——冲洗计划层最大持水量, g/kg ; B_2 ——冲洗计划层冲洗前土壤自然含水量, g/kg ; S_1 ——冲洗计划层冲洗前土壤含盐量, g/kg ; S_2 ——冲洗计划层冲洗后土壤含盐量, g/kg ; K ——排盐系数, g/cm^3 。

根据国家气象局 1981~2000 年统计资料,泰安市 3 月份(分析气候、劳动力等因素,结合当地的种植习惯,最好在 3 月份进行基质冲洗)月均降水量为 26.87 mm,同期蒸发量为 119.11 mm。通过非毛管孔隙渗入底层的损失水量(n_2),可在洗盐前的翻地中消除,上述公式经整理得下式

$$Q = 10H \cdot r \left[(B_1 - B_2) + \left(\frac{S_1 - S_2}{K} \right) \right] + n_1 - O \quad (4)$$

3.1.2 排盐系数和脱盐标准的确定

在计算冲洗定额时,选择排盐系数和确定脱盐标准是至关重要的。排盐系数(K)与土壤含盐量、盐分性质、土壤质地、剖面结构、有无粘土夹层等因素有关。根据基质中盐分的类型和含盐量,参照经验数据^[12],基质的排盐系数选用 0.018 g/cm^3 。脱盐标准,一般含有两个指标,即冲洗后土壤含盐量和脱盐深度,冲洗后土壤含盐量以不影响作物的正常生长为宜。据经验数据^[12],冲洗后基质的含盐量选择 2.0 g/kg ,脱盐深度取 0.5 m 。

3.1.3 冲洗定额计算

根据选定的参数($H = 0.50\text{ m}$, $r = 0.48\text{ g/cm}^3$, $B_1 = 1329.9\text{ g/kg}$, $B_2 = 335.2\text{ g/kg}$, $S_1 = 10.07\text{ g/kg}$, $S_2 = 2.0\text{ g/kg}$, $K = 0.018\text{ g/cm}^3$, $n_1 = 1191.1\text{ m}^3/\text{hm}^2$, $O = 268.7\text{ m}^3/\text{hm}^2$),运用公式,得到基质的冲洗定额为 $4.39 \times 10^3\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

3.2 冲洗方法

3.2.1 水量分配

实践证明,冲洗定额中的各次水量以先大后小比平均分配的脱盐效果要好。前期冲洗水量大,有利于将基质中高浓度的“盐液”冲洗到下层而排走;后期水量小,主要是使基质中的盐分有较充分的溶解时间,以达到“小水溶盐,大水洗盐”的目的。

3.2.2 冲洗时期

冲洗时期与土壤的脱盐效果有着十分密切的关系,它的确定主要取决于土壤含盐量、盐分组成和冲洗时期的地温。盐类的溶解度与温度成正比,但不同的盐类受影响的程度有所不同,一般说来,氯化物盐类的溶解度受温度的影响要小于硫酸盐类,因此对经硫酸酸化后的糠醛渣组配的基质可进行秋冬洗盐或播种前洗盐,而对经硫酸酸化的糠醛渣组配的基质最好在温度较高的伏秋季节进行冲洗,脱盐效果较好。

3.2.3 冲洗方法

根据冲洗的原理,结合基质类型、含盐量和质地,最好采用分期冲洗的方法进行洗盐。即将总冲洗定额分成前后2次灌入,第一次冲洗用量约占总冲洗定额的 $2/3$,待冲洗田块的地下水位下降至“临界深度”时,再将余下的 $1/3$ 水量进行第二次冲洗,效果较佳。因土壤的冲洗用水量大,如一次性灌入,不仅冲洗历时较长,且易抬高该地段的地下水位,对淋盐水产生顶托作用,不利于土壤脱盐。考虑到基质质地疏松,且盐分含量较高,可适当增加冲洗次数,以 $3\sim 4$ 次为宜。结合先大后小的冲洗原则,各次分配水量的比例可以确定为冲洗定额的 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/6$ 。

4 结论及建议

粉煤灰与糠醛渣都是工业废弃物,粉煤灰中掺入糠醛渣后,粉煤灰的透水性和毛管水上升高度得到了显著

提高,结构也有所改善,容重和紧实度相应降低,粉煤灰中也增加了大量有机物质。两者混合后,经过合理的肥水管理,其养分状况基本能满足一般作物的正常生长,而且其酸碱性经过中和,已接近一般土壤,从而为作物良好生长营造了一个较合适的土壤环境。试验证明,混合基质中糠醛渣的最佳配比比例为 $5\% \sim 20\%$ 。为了将基质中的盐分含量控制在作物正常生长的范围之内,所设计的冲洗定额为 $4.39 \times 10^3\text{ m}^3/\text{hm}^2$,最好采用分期冲洗的方法进行,冲洗次数以 $3\sim 4$ 次为宜,水量分配比例为 $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/6$ 。当然,由于这种非土壤基质初期含盐量高,大量施肥会在一定程度上加大盐害,所以应控制施肥量,并选择合适的肥料和施用方法。另外,冲洗定额的推算是理论上的,应在实际中进行实验验证。

以粉煤灰和糠醛渣的混合物作为复垦基质,不仅解决了覆土复垦存在的问题,也为“变废为宝,化害为利”提供了一种新途径。但这种基质无论在理化性状,还是在耕作管理要求上都与普通土壤存在很大的差异,因此,要在实践上将其应用于复垦采煤沉陷区,必须对基质的理化性质尤其是基质的重金属含量进行长期的观测,并在适种作物的选择上开展进一步的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 张发旺,侯新伟,韩占涛,等. 采煤塌陷对土壤质量的影响效应及保护技术[J]. 地理与地理信息科学, 2003, (19) 3: 67- 70
- [2] 杨国治,陈怀满,毛景东,等. 徐州煤田塌陷地的复垦与利用[J]. 土壤, 1996, (6): 319- 323
- [3] Sim s J T, Vasilas B L, Ghodrati M. Evaluation of fly ash as a soil amendment for the Atlantic coastal plain: Soil chemical properties and crop growth [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1995, 81: 363- 372
- [4] Tiwari K N. Evaluation of fly ash and phrite for sodic soil rehabilitation in uttar pradesh, India [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1992, 6: 117- 126
- [5] 李贵宝,焦有,郭井水,等. 粉煤灰农业利用展望[J]. 粉煤灰综合利用, 1999, 3: 48- 52
- [6] 刘芳,韩振作,郭良宗,等. 施灰田及所产蔬菜的镉汞砷铬铅和铝含量变化及影响评价[J]. 农业环境保护, 2001, 2: 85- 87
- [7] 吕瑶姣,张季爽,裴清清,等. 活化粉煤灰的结构和组成研究[J]. 中国环境科学, 1996, 16(1): 51- 59
- [8] 胡树森. 增施糠醛渣改良岗底碱土的试验[J]. 土壤, 1987, (3): 130- 134
- [9] 秦嘉海,吕彪,南永慧,等. 糠醛渣的改土增产效益[J]. 土壤通报, 1994, (3): 237- 238
- [10] 王兆锋,冯永军,张蕾娜,等. 新型复垦基质对作物出苗的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, (2): 187- 189
- [11] 王兆锋. 新型复垦基质的适种植物选择[D]. 山东农业大学, 2003
- [12] 杨学良. 柴达木盆地内陆盐渍土的冲洗技术[J]. 水利水电技术, 1999, 235- 238

A kind of mixed media composed of fly ash and acid residue of furfural for land reclamation and its leaching requirement

Zhang Leina¹, Feng Yongjun², Wang Zhaofeng¹

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: Filling the subsided land with fly ash is the dominant land reclamation way in the coal mine area at present. In order to avoid some disadvantages of the fly ash such as nutrition element absence, high pH value, poor water holding capacity and harmful toxic element, a new kind of land media for land reclamation composed of different proportion of fly ash and the acid residue of furfural is developed based on pot tests in this paper. The results indicate that the properties of the fly ash is improved after the acid residue of furfural is added and this new medium is helpful for the plant growing by some normal planting management. The optimum proportion of acid residue of furfural in this new medium is 5% ~ 20%. It is also found out that salt may be the main factor restraining plant from normal growth. In order to keep suitable salt content, salt washing for this new medium, in an example case, is needed and the washing amount is suggested about $4.39 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

Key words: land reclamation; mixed media; fly ash; acid residue of furfural; leaching requirement