



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117181799 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 08

(21) 申请号 202311158745.6

(22) 申请日 2023.09.08

(71) 申请人 中国科学院地球化学研究所

地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72) 发明人 刘意章 周旺旺 宁增平 刘承帅

(74) 专利代理机构 北京预立生科知识产权代理有限公司 11736

专利代理师 朱萍

(51) Int. Cl.

B09C 1/08 (2006.01)

B09C 1/10 (2006.01)

C09K 17/40 (2006.01)

C09K 109/00 (2006.01)

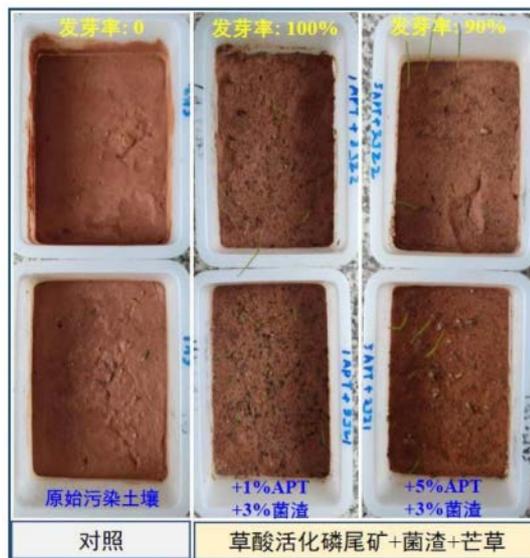
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

## (54) 发明名称

一种联合植物稳定化固定土壤重金属的固体废弃物改良材料及土壤改良方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种联合植物稳定化固定土壤重金属的固体废弃物改良材料及土壤改良方法,属于环境污染绿色修复与固废资源化利用领域。本发明中的修复材料主要基于酸活化磷尾矿材料和菌渣。本发明利用磷尾矿、菌渣等固体废弃物改良钝化联合植物稳定化固定土壤重金属,实现了“以废治废”的矿区污染酸性土壤/尾矿的绿色修复,对矿区污染退化土壤中的重金属进行有效固定,抑制重金属扩散。



1. 一种固体废弃物改良材料,其特征在于,所述固体废弃物改良材料包括草酸活化磷尾矿材料和菌渣材料;

所述草酸活化磷尾矿材料采用以下步骤制备:

将磷尾矿风干过筛,与草酸混合搅拌,干燥,得到草酸活化磷尾矿材料;

所述菌渣材料采用以下步骤制备:

将食用菌菌棒风干粉碎过筛备用。

2. 根据权利要求1所述的固体废弃物改良材料,其特征在于,所述草酸活化磷尾矿材料与菌渣材料的质量比为(1-5):3;

优选地,所述磷尾矿与草酸的质量浓度为1:0.5;

优选地,所述草酸活化磷尾矿材料制备过程中使用20目筛;

优选地,所述草酸的浓度为0.1mol/L;

优选地,所述磷尾矿与草酸搅拌时间为3天;

优选地,所述菌渣材料过筛使用20目筛。

3. 一种固体废弃物改良材料联合植物稳定化固定土壤重金属的方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

1) 将权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料与待修复土壤混合,混合均匀后喷水,保持1天;

2) 将预先浸种的种子播入土壤,维持土壤含水量。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述方法还包括检测待修复土壤的pH值和重金属含量及最大田间持水量的步骤;

优选地,所述土壤重金属包括土壤水溶性重金属;

优选地,所述固体废弃物改良材料与待修复土壤的混合质量比为(4-8):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与待修复土壤的混合质量比为(1-5):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与待修复土壤的混合质量比为3:100;

优选地,所述方法步骤1)中喷水需要是被修复土壤最大田间持水量的65%;

优选地,所述方法步骤2)中维持土壤含水量范围为被修复土壤最大田间持水量的45%-65%;

优选地,所述方法中使用的植物为芒草;

优选地,所述植物浸种时间为1天;

优选地,所述方法步骤2)中维持土壤的含水量的时间为40天。

5. 一种修复酸性尾矿堆的方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

1) 将权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆混合,混合均匀后喷水,保持1天;

2) 将预先浸种的种子播入尾矿堆,维持尾矿堆含水量。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述方法还包括检测酸性尾矿堆的pH值、重金属含量及最大田间持水量的步骤;

优选地,所述酸性尾矿堆包括酸性铅锌矿尾矿堆;

优选地,所述固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆的混合质量比为(4-8):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与酸性尾矿堆的混合质量比为(1-5):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与酸性尾矿堆的混合质量比为3:100;

优选地,所述方法步骤1)中喷水需要是酸性尾矿堆最大田间持水量的65%;

优选地,所述方法步骤2)中维持尾矿堆含水量范围为被修复尾矿堆最大田间持水量的45%-65%;

优选地,所述方法中使用的植物为芒草;

优选地,所述植物浸种时间为1天;

优选地,所述方法步骤2)中维持尾矿堆的含水量的时间为40天。

7.权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料联合植物在稳定化固定土壤重金属中的应用。

8.权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料联合植物在清除土壤重金属中的应用;

优选地,所述土壤重金属为土壤水溶态重金属;

优选地,所述土壤水溶态重金属包括铅、锌、镉、铜。

9.一种稳定化固定土壤重金属的系统,其特征在于,所述系统包括:

第一处理单元,用于将权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料与待修复土壤混合,混合均匀后喷水,保持1天;

第二处理单元,用于将预先浸种的植物种子播入土壤,维持土壤含水量;

优选地,所述系统还包括检测单元,用于检测待修复土壤的pH值和重金属含量及最大田间持水量;

优选地,所述系统还包括浸泡单元,用于浸泡植物种子;

优选地,所述土壤重金属包括土壤水溶性重金属;

优选地,所述固体废弃物改良材料与待修复土壤的混合质量比为(4-8):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与待修复土壤的混合质量比为(1-5):100;

优选地,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与待修复土壤的混合质量比为3:100;

优选地,所述第一处理单元中喷水需要是被修复土壤最大田间持水量的65%;

优选地,所述第二处理单元中维持土壤含水量范围为被修复土壤最大田间持水量的45%-65%;

优选地,所述第二处理单元中使用的植物为芒草;

优选地,所述第二处理单元中维持土壤的含水量的时间为40天。

10.权利要求1或2所述的固体废弃物改良材料联合植物在稳定化固定土壤重金属的系统中的应用;

优选地,所述土壤重金属包括土壤水溶态重金属;

优选地,所述植物包括芒草。

## 一种联合植物稳定化固定土壤重金属的固体废弃物改良材料及土壤改良方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于土壤改良技术领域,涉及一种联合植物稳定化固定土壤重金属的固体废弃物改良材料及土壤改良方法。

### 背景技术

[0002] 矿产资源开发和加工过程等人类活动将大量含硫化物矿物暴露于地表,硫化物在有氧环境下氧化产酸导致矿区土壤/尾矿等环境介质严重酸化( $\text{pH}<3$ ),造成土壤生态功能退化、地表植被破坏甚至完全裸漏,且酸化还会导致土壤中重金属迁移活性增加。大面积无植被覆盖的土壤/尾矿暴露于地表,在地表径流、风力等自然作用下,溶解态或细颗粒物中的重金属通过淋滤、扬尘等方式迁移扩散,造成周边环境污染,威胁区域人群健康。随着环保政策的日趋严格,许多小型矿冶企业被关停,遗留大量废弃污染矿区,长期污染区域生态环境。因此开展矿区土壤/尾矿的修复固定具有重要的现实意义。

[0003] 植物稳定化是较常用的绿色修复技术,通过重构污染矿区地表生态系统,可有效减少土壤/尾矿中重金属的自然扩散,切断重金属污染来源,以达到保护区域生态环境的目标。然而,矿区污染土壤/尾矿通常具有酸性强、重金属含量高、营养元素缺乏等特征,植物在多重逆境胁迫下难以存活和生长,这是植物稳定化技术的难点和瓶颈,因此,酸性重金属污染土壤的改良和钝化是实施植物稳定化固定重金属的关键。磷尾矿是磷矿石浮选后的固体废弃物,含有碳酸盐矿物、磷酸盐矿物、粘土矿物等组分,磷尾矿存量较大、资源化利用率低,磷尾矿固体废弃物的资源化利用已成为制约磷化工产业发展的瓶颈问题,亟需解决其资源化安全利用的难题。菌渣是一种农业废弃物,我国食用菌产量占全球总产量的70%以上,菌渣产生量巨大,如何处理菌渣已成为亟待解决的环境问题。因此,利用酸活化磷尾矿调节土壤pH,释放磷酸根与重金属形成金属磷酸盐沉淀以降低重金属活性,同时为植物生长提供矿物元素,利用菌渣为植物生长提供碳、氮生源要素,从而促进矿区裸地植被恢复,实现重金属元素的双重固定,可为“以废治废”修复污染矿区环境提供参考。

[0004] 目前针对矿区酸性污染土壤的原位修复技术,主要包括添加石灰、生物炭、绿肥、矿物材料等材料改良土壤环境条件,或通过覆土处理后,再进行植物稳定化修复,其缺点在于所添加材料的成本较高、覆土工程量较大,难以大规模应用于废弃矿区,也不符合绿色可持续发展的目标。

### 发明内容

[0005] 为了弥补现有技术的不足,本发明以矿区污染环境绿色修复与固废资源化利用为目的,具体提供了一种利用工农业固体废弃物改良联合植物稳定化双重固定土壤重金属的方法,其目的在于提供一种利用酸活化磷尾矿、菌渣等废弃物材料改良土壤环境、固定土壤重金属,并联合植物稳定化,双重固定土壤重金属的绿色修复方法,同时该方法也适用于酸性尾矿堆中重金属的固定/稳定化。具体的技术方案包括:

[0006] 本发明的第一方面提供了一种固体废弃物改良材料,所述固体废弃物改良材料包括草酸活化磷尾矿材料和菌渣材料。

[0007] 所述草酸活化磷尾矿材料采用以下步骤制备:

[0008] 将磷尾矿风干过筛,与草酸混合搅拌,干燥,得到草酸活化磷尾矿材料。

[0009] 所述菌渣材料采用以下步骤制备:

[0010] 将食用菌菌棒风干粉碎过筛备用。

[0011] 进一步,所述草酸活化磷尾矿材料与菌渣材料的质量比为(1-5):3。

[0012] 在某些具体的实施方案中,所述草酸活化磷尾矿材料与菌渣材料的质量比为1:3、2:3、3:3、4:3、5:3。

[0013] 进一步,所述磷尾矿与草酸的质量浓度为1:0.5。

[0014] 进一步,所述草酸活化磷尾矿材料制备过程中使用20目筛。

[0015] 进一步,所述草酸的浓度为0.1mol/L。

[0016] 进一步,所述磷尾矿与草酸搅拌时间为3天。

[0017] 进一步,所述菌渣材料过筛使用20目筛。

[0018] 在某些具体的实施方案中,所述草酸活化磷尾矿材料制备方法为:将磷尾矿风干,过20目筛,然后与0.1mol/L草酸按照1:0.5的质量浓度(w/v)混合搅拌3天。然后干燥、研磨,过20目筛,得到草酸活化磷尾矿材料。

[0019] 术语“磷尾矿”属于工业废弃物,磷尾矿主要来自于选矿提取精矿以后剩下的尾矿渣,磷尾矿的主要化学成分为氧化钙、二氧化硅和氧化镁,一般外观呈灰色,粉末状,其中夹杂些颗粒较大的碎石和瓦砾。

[0020] 本发明的第二方面提供了一种固体废弃物改良材料联合植物稳定化固定土壤重金属的方法,所述方法包括如下步骤:

[0021] 1) 将本发明第一方面所述的固体废弃物改良材料与待修复土壤混合,混合均匀后喷水,保持1天;

[0022] 2) 将预先浸种的种子播入土壤,维持土壤含水量。

[0023] 进一步,所述方法还包括检测待修复土壤的pH值和重金属含量及最大田间持水量的步骤。

[0024] 进一步,所述土壤重金属包括土壤水溶性重金属。

[0025] 进一步,所述土壤包括酸性土壤。

[0026] 在本发明的具体实施方案中,所述修复的土壤中可以是任何已知的金属,但通常会“重金属”或“过渡金属”。所述金属通常是由于采矿或如熔炼、鞣革或涂料生产的另一工业过程而引入至该场地的。如本文所使用的,术语“重金属”是指具有高原子量的金属元素,例如,汞、铬、镉、砷、银、金、铀和铅。具体地,重金属是与水相比,比重为约5.0或更高的金属。如本文所使用的,“重金属离子”是指带有净电荷的元素性重金属颗粒或元素性重金属颗粒系统。重金属的非限制性实例包括钒、钴、铬、铁、砷、锗、钼、金、铋、锡、铋、锌、铜、钨、镓、铀、硒、镍、铅、汞、镉、银、锰、钨和铂。术语重金属离子包含重金属离子复合物(络合物)。

[0027] 术语“修复”是指为了缓和或最大程度降低对动物健康或环境所造成的损害而减少、分离或除去污染场地的污染的方法。

[0028] 进一步,所述固体废弃物改良材料与待修复土壤的混合质量比为(4-8):100。

[0029] 在某些具体的实施方案中,所述固体废弃物改良材料与待修复土壤的质量比为4:100、5:100、6:100、7:100、8:100。

[0030] 进一步,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与待修复土壤的混合质量比为(1-5):100。

[0031] 在某些具体的实施方案中,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与待修复土壤的质量比为1:100、2:100、3:100、4:100、5:100。

[0032] 进一步,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与待修复土壤的混合质量比为3:100。

[0033] 进一步,所述方法步骤1)中喷水需要是被修复土壤最大田间持水量的65%。

[0034] 进一步,所述方法步骤2)中维持土壤含水量范围为被修复土壤最大田间持水量的45%-65%。

[0035] 在某些具体的实施方案中,所述步骤2)中维持的土壤含水量为45%、46%、47%、48%、49%、50%、51%、52%、53%、54%、55%、56%、57%、58%、59%、60%、61%、62%、63%、64%、65%。

[0036] 进一步,所述植物浸种时间为1天。

[0037] 在本发明的具体实施方案中,使用的植物可以是任何适合的类型。在一些具体的实例中,所述植物对于所述场地的地理位置来说是本地生的。例如,所述植物或它们的生物质(包括与根有关的细菌)可以是“金属型植物”,即可以耐受具有高金属水平的基础(如土壤或沉积物)的植物。

[0038] 金属型植物对特定的金属种类具有特别高的耐受性或独特的耐受性谱。可以通过选择对特定场地的金属种类具有特别高的耐受性的金属型植物来优化本发明所述的方法。在本发明所述的方法中可以使用一种或多种金属型植物品种。

[0039] 进一步,所述方法中使用的植物为芒草。

[0040] 进一步,所述方法步骤2)中维持土壤的含水量的时间为40天。

[0041] 在某个具体的实施方案中,所述固体废弃物改良材料联合植物稳定化固定土壤重金属的方法的具体步骤包括:使用本发明第一方面提供的固体废弃物改良材料与需修复土壤以质量比(4-8):100进行充分混合,加水使土壤含水量为被修复土壤最大田间持水量的65%,维持1天;像上述土壤中播种已浸种1天的芒草种子,喷水使土壤含水量维持在被修复土壤最大田间持水量的45%-65%,维持培养40天。

[0042] 本发明的第三方面提供了一种修复酸性尾矿堆的方法,所述方法包括如下步骤:

[0043] 1) 将本发明第一方面所述的固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆混合,混合均匀后喷水,保持1天;

[0044] 2) 将预先浸种的种子播入尾矿堆,维持尾矿堆含水量。

[0045] 进一步,所述酸性尾矿堆包括酸性铅锌矿尾矿堆。

[0046] 进一步,所述方法还包括检测酸性尾矿堆的pH值、重金属含量及最大田间持水量的步骤。

[0047] 进一步,所述固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆的混合质量比为(4-8):100。

[0048] 在某些具体的实施方案中,所述固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆的质量比为4:100、5:100、6:100、7:100、8:100。

[0049] 进一步,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与酸性尾矿堆的混合质量比为(1-5):100。

[0050] 在某些具体的实施方案中,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与酸性尾矿堆的质量比为1:100、2:100、3:100、4:100、5:100。

[0051] 进一步,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与酸性尾矿堆的混合质量比为3:100。

[0052] 进一步,所述方法步骤1)中喷水需要是酸性尾矿堆最大田间持水量的65%。

[0053] 进一步,所述方法步骤2)中维持尾矿堆含水量范围为酸性尾矿堆最大田间持水量的45%-65%。

[0054] 在某些具体的实施方案中,所述步骤2)中维持的尾矿堆含水量为酸性尾矿堆最大田间持水量的45%、46%、47%、48%、49%、50%、51%、52%、53%、54%、55%、56%、57%、58%、59%、60%、61%、62%、63%、64%、65%。

[0055] 进一步,所述植物浸种时间为1天。

[0056] 进一步,所述方法中使用的植物为芒草。

[0057] 进一步,所述方法步骤2)中维持尾矿堆的含水量的时间为40天。

[0058] 在某个具体的实施方案中,所述修复酸性尾矿堆的方法的具体步骤包括:使用本发明第一方面提供的固体废弃物改良材料与酸性尾矿堆以质量比(4-8):100进行充分混合,加水使尾矿堆含水量为酸性尾矿堆最大田间持水量的65%,维持1天;像上述尾矿堆中播种已浸种1天的芒草种子,喷水使尾矿堆含水量维持在酸性尾矿堆最大田间持水量的45%-65%,维持培养40天。

[0059] 本发明第四方面提供了第一方面所述的固体废弃物改良材料联合植物在稳定化固定土壤重金属中的应用。

[0060] 本发明第五方面提供了第一方面所述的固体废弃物改良材料联合植物在清除土壤重金属中的应用。

[0061] 进一步,所述土壤重金属为土壤水溶态重金属。

[0062] 进一步,所述土壤水溶态重金属包括镉、铜、汞、锰、铅、镍、锌、钴、铀和准金属砷。

[0063] 进一步,所述土壤水溶态重金属包括铅、锌、镉、铜。

[0064] 本发明第六方面提供了一种稳定化固定土壤重金属的系统,所述系统包括:

[0065] 第一处理单元,用于将本发明第一方面所述的固体废弃物改良材料与待修复土壤混合,混合均匀后喷水,保持1天;

[0066] 第二处理单元,用于将预先浸种的植物种子播入土壤,维持土壤含水量;

[0067] 进一步,所述系统还包括检测单元,用于检测待修复土壤的pH值和重金属含量及最大田间持水量。

[0068] 进一步,所述系统还包括浸泡单元,用于浸泡植物种子。

[0069] 进一步,所述土壤重金属包括土壤水溶性重金属。

[0070] 进一步,所述固体废弃物改良材料与待修复土壤的混合质量比为(4-8):100。

[0071] 进一步,所述固体废弃物改良材料中草酸活化磷尾矿材料与待修复土壤的混合质量比为(1-5):100。

[0072] 进一步,所述固体废弃物改良材料中菌渣材料与待修复土壤的混合质量比为3:

100。

[0073] 进一步,所述第一处理单元中喷水需要是被修复土壤最大田间持水量的65%。

[0074] 进一步,所述第二处理单元中维持土壤含水量范围为被修复土壤最大田间持水量的45%-65%。

[0075] 进一步,所述第二处理单元中使用的植物为芒草。

[0076] 进一步,所述第二处理单元中维持土壤的含水量的时间为40天。

[0077] 本发明中的术语“单元”是指是指起到一定作用的软件或硬件组件,诸如现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)、可操作性医疗部件、可视化部件等。然而,术语“单元”不限于软件或硬件。术语“单元”可以被配置在可寻址的存储介质中,或者可以被配置为再现一个或多个处理器。因此,例如,术语“单元”可以指诸如软件组件、面向对象的软件组件、类组件和任务组件之类的组件,并且可以包括进程、函数、属性、过程、子例程、程序代码段、驱动程序、固件、微代码、电路、数据、数据库、数据结构、表格、数组和变量。组件和“单元”中提供的功能可以组合成更少的组件和“单元”,或者可以进一步分成附加的组件和“单元”。此外,组件和“单元”可以被实施来操作设备或安全多媒体卡中的一个或多个中央处理单元(CPU)。

[0078] 本发明第七方面提供了第一方面所述的固体废弃物改良材料联合植物在稳定化固定土壤重金属的系统中的应用。

[0079] 进一步,所述土壤重金属包括土壤水溶态重金属。

[0080] 进一步,所述植物包括芒草。

[0081] 本发明的优点和有益效果:

[0082] 本发明使用的酸活化磷尾矿材料,不仅可以调节土壤酸度,改善植物生长环境,溶解释放的磷酸根离子可与阳离子态重金属形成稳定的金属磷酸盐沉淀,从而降低土壤中水溶态重金属含量,减少对植物的毒性,并为植物生长提供必要的钙、镁、磷等矿物营养元素。相对于高温活化,低浓度草酸活化磷尾矿可释放更少的二氧化碳。磷尾矿是磷矿精选产生的大宗固体废弃物,将其用于矿区酸性土壤改良修复可实现其资源化安全利用。

[0083] 本发明采用食用菌菌渣进一步为植物生长提供生源要素,菌渣是一种农业废弃物,菌渣中含有大量的有机质,与传统农业废弃物如秸秆等相比菌渣养分释放更直接,能为植物提供生长所需的氮、磷、钾等必需元素,也可为极酸性土壤中微生物生长提供所需碳源。

[0084] 本发明采用芒草做先锋植物,其具有较高的抗逆性,对养分要求低,生长速度快成活率高,能够在较恶劣的土壤环境下生存,生物量较大,发达的根系能够对松散的土壤进行固持,较大的盖度能够减少土壤重金属的扩散。

[0085] 本发明所提出的技术方案符合绿色可持续发展的理念,使用原材料来源于工农业废弃物,原料配方简单、成本极低、可操作性强。在实现典型固体废弃物资源化利用的同时,还能极大降低矿区污染土壤修复的成本。

## 附图说明

[0086] 图1是不同组40天修复处理后的植物生长统计图。

## 具体实施方式

[0087] 下面结合实施例对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换,都包含在本发明的保护范围之内。若未特别指明,实施例中所用的技术手段为本领域技术人员所熟知的常规手段。

[0088] 实施例1、1%草酸活化磷尾矿与3%菌渣改良土壤联合植物固定土壤重金属

### [0089] 1、实验方法

[0090] (1) 分别称取过20目的矿区酸性污染土壤100g于聚乙烯盒中,对照组不加入其余材料,实验组a加入与土壤质量比1%的酸活化磷尾矿材料与3%的菌渣材料,并充分混合均匀,然后对实验组a和对照组加水保持土壤最大持水量的65%,使土壤以此状态保持1天。

[0091] (2) 向上述土壤中播种已浸种1天的芒草种子10颗,称重喷水使土壤含水率维持在45%~65%培养40天,测定种子发芽率/存活率、植物株高、生物量,并测定土壤pH值,采用《固体废物浸出毒性浸出方法—水平振荡法》(HJ 557—2010)测定土壤重金属含量。

### [0092] 2、实验结果

[0093] 在完成土壤试验之后,发现修复后的对照组土壤pH值极低(pH=2.77),修复后的实验组a土壤pH值上升至7.31,明显改善了土壤酸性(表1)。修复后对照组土壤中芒草种子发芽率为0%,修复后的实验组a土壤中芒草种子发芽率为100%,植物株高为116mm,生物量为0.21g,结果如图1所示。

[0094] 表1不同组处理后土壤pH、植物发芽率、株高和生物量统计结果

	对照土壤	1%酸活化磷尾矿+3%菌渣	5%酸活化磷尾矿+3%菌渣
[0095] 土壤 pH	2.77	7.31	8.80
发芽率 (%)	0	100	90
株高 (mm)	0	116	133
生物量 (g)	0	0.21	0.38

[0096] 修复后的实验组a土壤中阳离子态重金属的浸出浓度相对于对照组显著降低(表2)。

[0097] 表2不同组处理后土壤水溶态重金属含量降幅(%)

重金属	对照土壤	1%酸活化磷尾矿+3%菌渣	3%酸活化磷尾矿+3%菌渣	5%酸活化磷尾矿+3%菌渣
[0098] 铅	0	98.2	100	100
锌	0	98.3	100	100
镉	0	88.1	99.5	99.7
铜	0	99.8	98.9	98.2

[0099] 实施例2、5%草酸活化磷尾矿与3%菌渣改良土壤联合植物固定土壤重金属

### [0100] 1、实验方法

[0101] (1) 分别称取过20目的矿区酸性污染土壤100g于聚乙烯盒中,对照组不加入其余材料,实验组b加入与土壤质量比5%的酸活化磷尾矿材料与3%的菌渣材料,并充分混合均匀,然后对实验组b和对照组加水保持土壤最大持水量的65%,使土壤以此状态保持1天。

[0102] (2) 向上述土壤中播种已浸种1天的芒草种子10颗,称重喷水使土壤含水率维持在45%~65%培养40天,测定种子发芽率/存活率、植物株高、生物量,并测定土壤pH值,采用《固体废物浸出毒性浸出方法—水平振荡法》(HJ 557—2010)测定土壤重金属含量。

## [0103] 2、实验结果

[0104] 在完成土壤试验之后,发现修复后的对照组土壤pH值极低( $\text{pH}=2.77$ ),修复后的实验组b土壤pH值上升至8.80,明显改善了土壤酸性(表1)。修复后对照组土壤中芒草种子发芽率为0%,修复后的实验组b土壤中芒草种子发芽率为90%,植物株高为133mm,生物量为0.38g。修复后的实验组b土壤中阳离子态重金属的浸出浓度与对照组相比显著降低(表2)。

[0105] 实施例1与实施例2结果表明实验组a和实验组b能达到改良土壤环境条件、钝化土壤重金属、促进先锋植物生长和恢复土壤生态的效果。

[0106] 上述实施例的说明只是用于理解本发明的方法及其核心思想。应当指出,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也将落入本发明权利要求的保护范围内。

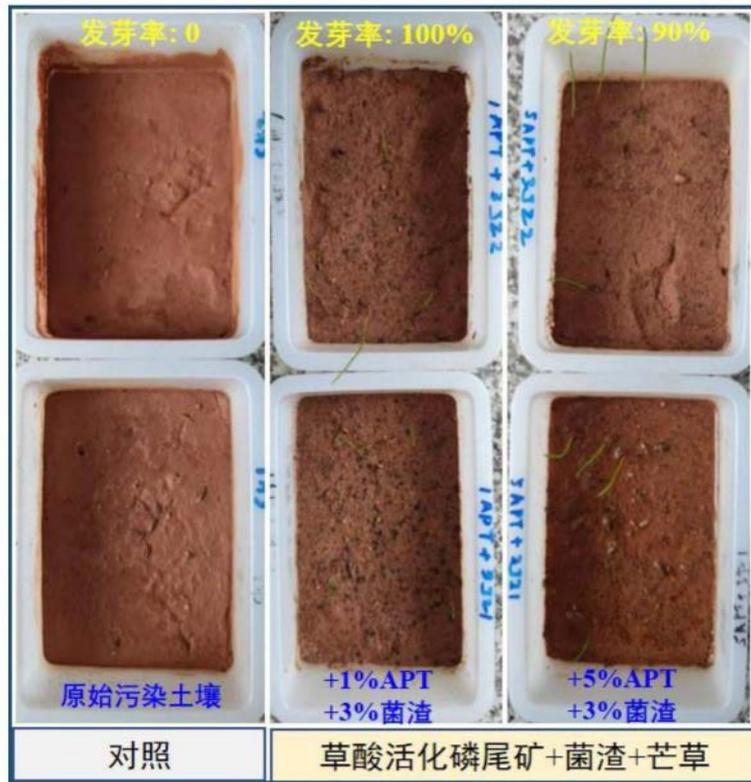


图1