



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115466153 A

(43) 申请公布日 2022.12.13

(21) 申请号 202211203447.X

A01G 20/00 (2018.01)

(22) 申请日 2022.09.29

A01G 22/00 (2018.01)

(71) 申请人 中国科学院南京土壤研究所

地址 210008 江苏省南京市玄武区北京东路71号

(72) 发明人 田芷源 贺燕子 朱绪超 梁音  
马瑞 曲丽莉

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

专利代理师 唐循文

(51) Int. Cl.

C05G 3/80 (2020.01)

A01B 79/02 (2006.01)

A01C 21/00 (2006.01)

A01G 17/00 (2006.01)

权利要求书1页 说明书7页

(54) 发明名称

一种保水保肥材料及其制备方法和应用

(57) 摘要

一种保水保肥材料及其制备方法和应用,其包括有机肥78.6~83.7份、保水剂0.8~3.1份、矿物肥12.3~15.7份和尿素2.5~4.9份。该保水保肥材料可结合牧草种植、果树栽培和坡面绿化等方式对尾砂土壤进行改良,其具有培肥土壤、保水保肥、固土抗蚀和促进植物生长等综合效果;保水保肥材料中保水剂调节土壤物理结构,矿物肥调节土壤酸碱度,与有机肥混施后能提升土壤肥效,同时也可以使有机肥和尿素中的养分保持在土壤耕层,并缓慢释放供应植物生长,此外,通过促进地表径流下渗及提高植被对降雨动能的消减能力,综合防治土壤侵蚀发生。本发明提供的保水保肥材料属于土壤改良领域,其应用场景多、改良效果好、种植收益高,且制备过程简单易行,适合在废弃稀土矿山大面积推广。

1. 一种保水保肥材料,其特征在于:由以下原料按重量份数制成,有机肥78.6~83.7份、保水剂0.8~3.1份、矿物肥12.3~15.7份和尿素2.5~4.9份。

2. 根据权利要求1所述保水保肥材料,其特征在于,所述的有机肥为腐熟完全的固体有机物料,所述有机物料为秸秆、粪肥中的至少一种。

3. 根据权利要求1所述保水保肥材料,其特征在于,所述的保水剂为腐殖酸保水剂,粒度为0.18~2mm。

4. 根据权利要求1所述保水保肥材料,其特征在于,所述的矿物肥为由磷石膏或钾长石煅烧而成的含硅钙钾镁的碱性肥料,其pH值8~11,含Ca $\geq$ 20wt.%、Mg $\geq$ 2wt.%、Si $\geq$ 9.2wt.%和K<sub>2</sub>O $\geq$ 3wt.%。

5. 权利要求1-4任一所述保水保肥材料的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:将有机肥平铺开;依次将保水剂、矿物肥和尿素均匀撒在有机肥表面;将所有配料充分混合;堆放3日后装袋。

6. 权利要求1-4任一所述保水保肥材料在废弃稀土矿山尾砂土壤上进行牧草种植、果树栽培或坡面绿化中的应用。

7. 根据权利要求6所述的应用,其特征在于,当进行牧草种植时,保水保肥材料配比为:有机肥82.0份、保水剂0.8份、矿物肥12.3份和尿素4.9份,施肥量为12.2t/hm<sup>2</sup>;当进行果树栽培时,保水保肥材料配比为:有机肥78.6份、保水剂3.1份、矿物肥15.7份和尿素2.6份,施肥量为12.7kg/棵;当进行坡面绿化时,保水保肥材料配比为:有机肥83.7份、保水剂1.2份、矿物肥12.6份和尿素2.5份,施肥量为7.2t/hm<sup>2</sup>。

8. 权利要求6所述的应用,其特征在于,包括以下步骤:平整土地,根据尾砂地改良面积,称取保水保肥材料;将肥料沟施、穴施或撒施在土壤表层,所述沟施和穴施的土壤深度为10~15cm,撒施后翻耕的土壤深度为5~15cm;覆土:沟施和穴施时,将开沟时的表层土壤覆盖于原处;撒施时,可通过旋耕、犁地等翻地方式将肥料与表层土壤混合,或挖取附近尾砂土覆盖于肥料上层;灌水,充分湿润施肥区域;栽种植物并浇水;常规田间管理。

## 一种保水保肥材料及其制备方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于土壤改良领域,具体涉及一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料及其制备方法和应用。

### 背景技术

[0002] 废弃稀土矿山开采后产生了大量尾砂地,其土质松散、土壤养分含量低,且土体有浸提剂和未开采完全的矿物元素等残留,自然状态下植物难以生长,加之水土流失严重,当地生态环境愈发恶劣,亟待开展生态恢复治理。

[0003] 目前,废弃稀土矿山尾砂地主要采用种植植被的生态修复方式。由于尾砂土土壤基质条件恶劣,植物修复过程缓慢且不稳定,为此多采取在土壤中添加有机肥的方式快速提升土壤肥力,但存在诸多不足之处。(一)单独施用有机肥用量较大,且其供肥效果会随淋洗次数增加而逐渐下降,导致种植的植被“昙花一现”,难以长期存活;(二)尾砂土存在土壤酸碱度失衡、养分缺乏、漏水漏肥和水土流失等多种复合问题,单一材料对土壤的修复效果有限。因此研发能综合解决上述问题的复合型土壤改良剂迫在眉睫。

[0004] 当前废弃稀土矿区研发的土壤改良剂应用场景单一,农业种植主要应用于水稻,草被种植主要应用于狗尾草、香根草等先锋植物。土壤改良剂用于其他非试验植物时,不仅用量难确定,应用效果也难估计,并不能适应地方经济发展所需的多样化生态修复模式选择。基于此,本发明将利用复合型土壤改良剂进行牧草种植、果树栽培和坡面绿化等多场景应用,实现一项发明服务多种应用场景,更有效地解决废弃稀土矿区土壤改良模式选择难、生态效益和经济利益兼顾难、不同场景土壤改良剂用量确定难等问题。

[0005] 在众多应用场景中,大生物量牧草,如皇竹草、象草等根系发达,对改善土壤孔隙结构、提升土壤有机质和养分方面具有良好的效果。然而,当前土壤改良剂在大生物量牧草种植应用中存在改良剂用量大和效果增幅小等情况,如 $30\text{kg}/\text{m}^2$ 蚯蚓粪使桂牧1号象草增产21.86%(钟云平,雷小文,李建军,刘瑞平,邱光忠,刘忠俊,苏州.利用蚯蚓粪种植桂牧1号象草对稀土尾矿土壤的改良作用[J].江西科学,2016,34(02):178-181.); $20\text{kg}/\text{m}^2$ 蚯蚓粪配施沼液使皇竹草增产79.84%(雷小文,邱静芸,李建军,陈荣强,郭礼荣,李建明,欧阳克蕙.蚯蚓粪及沼液处理对赣南稀土尾矿种植皇竹草及改良土壤的影响[J].江苏农业科学,2021,49(11):191-196.)。因此,本发明还将对牧草种植效益进行评估,促进复合型土壤改良剂发挥出更大的生态和经济效益。

### 发明内容

[0006] 解决的技术问题:本发明提供一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料及其制备方法和应用,所述材料对于综合解决废弃稀土矿山尾砂土壤酸碱度失衡、养分缺乏、漏水漏肥和水土流失等问题,促进植被生长和土壤改良,具有良好的应用效果;同时本发明材料应用将为稀土矿山土壤改良提供多样化生态修复模式,促进复合型保水保肥材料发挥更大的生态和经济效益。

[0007] 技术方案：一种保水保肥材料，由以下原料按重量份数制成，有机肥78.6~83.7份、保水剂0.8~3.1份、矿物肥12.3~15.7份和尿素2.5~4.9份。

[0008] 优选的，上述有机肥为腐熟完全的固体有机物料，所述有机物料为秸秆、粪肥中的至少一种。

[0009] 优选的，上述保水剂为腐殖酸保水剂，粒度为0.18~2mm。

[0010] 优选的，上述矿物肥为由磷石膏或钾长石煅烧而成的含硅钙钾镁的碱性肥料，其pH值8~11，含Ca $\geq$ 20wt.%、Mg $\geq$ 2wt.%、Si $\geq$ 9.2wt.%和K<sub>2</sub>O $\geq$ 3wt.%。

[0011] 上述保水保肥材料的制备方法，包括以下步骤：将有机肥平铺开；依次将保水剂、矿物肥和尿素均匀撒在有机肥表面；将所有配料充分混合；堆放3日后装袋。

[0012] 上述保水保肥材料在废弃稀土矿山尾砂土壤上进行牧草种植、果树栽培或坡面绿化中的应用。

[0013] 具体应用方法为：当进行牧草种植时，保水保肥材料配比为：有机肥82.0份、保水剂0.8份、矿物肥12.3份和尿素4.9份，施肥量为12.2t/hm<sup>2</sup>；当进行果树栽培时，保水保肥材料配比为：有机肥78.6份、保水剂3.1份、矿物肥15.7份和尿素2.6份，施肥量为12.7kg/棵；当进行坡面绿化时，保水保肥材料配比为：有机肥83.7份、保水剂1.2份、矿物肥12.6份和尿素2.5份，施肥量为7.2t/hm<sup>2</sup>。

[0014] 包括以下步骤：平整土地，根据尾砂地改良面积，称取保水保肥材料；将肥料沟施、穴施或撒施在土壤表层，所述沟施和穴施的土壤深度为10~15cm，撒施后翻耕的土壤深度为5~15cm；覆土：沟施和穴施时，将开沟时的表层土壤覆盖于原处；撒施时，可通过旋耕、犁地等翻地方式将肥料与表层土壤混合，或挖取附近尾砂土覆盖于肥料上层；灌水，充分湿润施肥区域；栽种植物并浇水；常规田间管理。

[0015] 有益效果：本发明可以综合解决废弃稀土矿山尾砂地存在的酸碱度失衡、土壤结构差、养分缺乏、水土流失严重和植被生长缓慢等问题。其中保水剂调节土壤物理结构，矿物肥调节土壤酸碱度，两者混施有机肥后均能提升土壤肥效，同时也可以使有机肥和尿素中的养分保持在土壤耕层，缓慢释放养分供应植物生长。此外，保水保肥材料还通过促进地表径流下渗及提高植被对降雨动能的消减能力，综合防治水土流失。具体效果如下：

[0016] (1) 促进植物生长。使牧草(皇竹草)增产104.60%~182.63%、果树(脐橙)0cm地径、株高和冠幅分别增加17.14%、38.46%和219.30%、坡面绿化植被(宽叶雀稗)覆盖率提升122.62%~478.24%；

[0017] (2) 改善土壤孔隙状况。使土壤毛管孔隙度和总孔隙度分别增加2.24%~6.09%和0.47%~2.86%；

[0018] (3) 调节土壤酸碱度和提升土壤肥力。使土壤pH值和有机质分别增加1.76%~25.76%和5.73%~28.02%；

[0019] (4) 固土抗蚀。使产流量减少33.96%~100%，产沙量减少84.57%~100%；

[0020] (5) 提高经济收益。使种植牧草(皇竹草)收益提高169.97%。

[0021] 由于保水保肥材料在改良土壤、减少水土流失、促进植物生长和提高经济收益等方面具有的有益效果，适合进行大面积推广应用。

## 具体实施方式

[0022] 为了使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案予以实施,下面结合具体实施例对本发明进一步说明,但所举实施例不作为对本发明的限定。本发明的描述中,如未特殊说明,所用试剂均可在市场上购得,所用方法均为本领域常规技术。

[0023] 实施例1

[0024] 考察保水保肥材料对牧草种植的促进作用。

[0025] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料,由原料按以下重量份数制成:有机肥82.0份、保水剂0.8份、矿物肥12.3份和尿素4.9份。

[0026] 其中有机肥购买自江西省赣州锐源生物技术有限公司,NPK含量分别为1.02wt.%、1.24wt.%和1.35wt.%,有机肥为秸秆和粪肥;保水剂购买自山东华潍膨润土有限公司,为接枝共聚方法制备的可生物降解且对环境友好的腐植酸-黏土-聚丙烯酸类高吸水性树脂材料,pH7.5,粒度0.18~2mm,自来水中的吸水倍数为74g/g,重复吸水后保水剂中养分得到释放,吸水倍数增加至96g/g;矿物肥为金正大集团生产的硅钙钾镁肥,是磷石膏、钾长石在高温下煅烧而成的碱性肥料,pH值8~11、 $\text{Ca} \geq 20\text{wt.}\%$ 、 $\text{Mg} \geq 2\text{wt.}\%$ 、 $\text{Si} \geq 9.2\text{wt.}\%$ 、 $\text{K}_2\text{O} \geq 3\text{wt.}\%$ ;尿素购买自赣州市定南县肥料站,含氮量46.67wt.%。

[0027] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料的制备方法,包括以下步骤:

[0028] S1:选取保水保肥材料中的四种配料;

[0029] S2:对配料进行称重;

[0030] S3:将有机肥平铺开;

[0031] S4:依次将保水剂、矿物肥和尿素均匀撒在有机肥表面;

[0032] S5:将所有配料充分混合;

[0033] S6:堆放3日后装袋。

[0034] 将制备完成的保水保肥材料于2021年3月底,在江西省赣州市某废弃离子型稀土矿区尾砂地进行为期一年多的皇竹草种植应用,施用量 $12.2\text{t}/\text{hm}^2$ 。该试验地土壤基本理化性质为砂粒、粉粒和黏粒含量分别为77.68wt.%、17.68wt.%和4.64wt.%,pH4.28,有机质、全氮、硝态氮、铵态氮、速效磷和速效钾含量分别为0.99g/kg、0.15g/kg、40.21mg/kg、60.82mg/kg、2.04mg/kg、67.50mg/kg,可以看出该尾砂地土壤贫瘠、水土流失严重、植物生长缓慢,亟待开展矿山生态恢复。

[0035] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料应用时的施肥方法,包括以下步骤:

[0036] M1:平整土地,并划定4m长、5m宽、面积为 $20\text{m}^2$ 的试验小区,然后称取保水保肥材料;

[0037] M2:小区内开沟起垄,共4条垄、3条沟道,中间沟道作为排水沟、两侧沟道作为施肥沟,将肥料作基肥沟施在10~15cm的土壤表层;

[0038] M3:将开沟时的表层土壤覆盖于原处;

[0039] M4:在施肥沟内灌水,充分湿润施肥区域;

[0040] M5:每条垄上栽种5株皇竹草插扞苗,每个小区共20株,然后浇水定植;

[0041] M6:进行除虫等田间管理措施

- [0042] 该实施例小区重复数为3个,于2021年8月、10月和2022年6月各收割1次,每次收割后测量鲜草产量,并在2021年10月底测定土壤理化性质。
- [0043] 对比例1-1
- [0044] 为实施例1的对照,不做任何施肥处理。
- [0045] 对比例1-2
- [0046] 为实施例1的对照,仅施用 $0.2\text{t}/\text{hm}^2$ 保水剂。
- [0047] 实施例2
- [0048] 考察保水保肥材料对果树栽培的促进作用。
- [0049] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料,由以下原料按重量份数制成:有机肥78.6份、保水剂3.1份、矿物肥15.7份和尿素2.6份。
- [0050] 原料来源及制备方法同实施例1。
- [0051] 将制备完成的保水保肥材料于2021年3月底,在江西省赣州市某废弃离子型稀土矿区尾砂地进行为期一年多的脐橙栽培应用,施用量 $12.7\text{kg}/\text{棵}$ 。试验地基本情况同实施例1。
- [0052] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料应用时的施肥方法,包括以下步骤:
- [0053] M1:选择试验地内2年生脐橙树,称取保水保肥材料;
- [0054] M2:在脐橙树周围30cm处开一圈15cm左右深的施肥沟,将肥料作基肥沟施在10~15cm的土壤表层;
- [0055] M3:将开沟时的表层土壤覆盖于原处;
- [0056] M4:在施肥沟内灌水,充分湿润施肥区域;
- [0057] M5:试验地内已有脐橙,不再进行栽种;
- [0058] M6:进行除虫、剪枝等田间管理措施,同时脐橙作为经济果树,8~9月期间追施4次复合肥 $0.15\text{kg}/\text{棵}$ ,2021年10月底施有机肥 $10\text{kg}/\text{棵}$ 作为冬肥。
- [0059] 该实施例重复数为8棵树,于2021年10月底测定土壤理化性质,2022年6月底测定脐橙生长状况。
- [0060] 对比例2-1
- [0061] 为实施例2的对照,按当地常规施肥,2021年3月底和10月底分别施有机肥 $10\text{kg}/\text{棵}$ 作基肥和冬肥,8~9月期间追施4次复合肥 $0.15\text{kg}/\text{棵}$ 。
- [0062] 对比例2-2
- [0063] 为实施例2的对照,在对比例2-1基础上,2021年3月底基施 $0.10\text{kg}/\text{棵}$ 保水剂,即2021年3月底施有机肥 $10\text{kg}/\text{棵}$ 和保水剂 $0.10\text{kg}/\text{棵}$ 作基肥,10月底冬肥施有机肥 $10\text{kg}/\text{棵}$ 作冬肥,8~9月期间追施4次复合肥 $0.15\text{kg}/\text{棵}$ 。
- [0064] 实施例3
- [0065] 考察保水保肥材料对坡面固土防蚀的促进作用。
- [0066] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料,由原料按以下重量份数制成:有机肥83.7份、保水剂1.2份、矿物肥12.6份和尿素2.5份。
- [0067] 原料来源及制备方法同实施例1。
- [0068] 将制备完成的保水保肥材料于2022年5月底,在江西省赣州市某废弃离子型稀土

矿区尾砂地进行为期三个月的宽叶雀稗护坡绿化应用,施用量 $7.2\text{t}/\text{hm}^2$ 。试验地基本情况同实施例1。

[0069] 一种用于废弃稀土矿山尾砂土壤改良的保水保肥材料应用时的施肥方法,包括以下步骤:

[0070] M1:在尾矿区选取一片自然坡地,平整为 $15^\circ$ 坡面并划分长2m、宽0.8m、间隔0.5m的坡面小区,称取保水保肥材料;

[0071] M2:将肥料与1kg干土混合均匀后撒在土表;

[0072] M3:翻耕,使下层土壤与表层肥料充分混合;

[0073] M4:坡面洒水,充分湿润施肥区域;

[0074] M5:按照 $6\text{g}/\text{m}^2$ 的施用量均匀播撒宽叶雀稗草籽,上覆干土,然后在坡面洒水,促进草籽生长;

[0075] M6:不进行任何田间管理措施,基肥养分满足护坡植物生长需求,不进行追肥。

[0076] 该实施例重复数为4个小区,于2022年7~8月测定植被覆盖度。为防止不同小区间水肥相互影响,在平整土地时,将50cm宽镀锌铁皮插入土层35cm、露出地面15cm;为收集坡面径流泥沙,在小区下方安装V型集流槽,于2022年7~8月观测产流产沙量。

[0077] 对比例3-1

[0078] 实施例3的对照,不做任何施肥处理。

[0079] 对比例3-2

[0080] 实施例3的对照,仅施 $0.09\text{t}/\text{hm}^2$ 的保水剂。

[0081] 实验结果

[0082] 表1实施例1和对比例1-1、1-2的皇竹草产量和土壤理化性质测定结果

指标类型	测定指标	实施例 1	对比例 1-1	对比例 1-2	增幅 1/%	增幅 2/%
植物生长指标	产量 1	32.81±3.73	11.61±6.83	20.61±20.51	182.63%	59.19%
	产量 2	22.82±6.24	11.16±7.81	19.64±6.39	104.60%	16.19%
	产量 3	73.48±7.12	30.73±7.37	25.16±8.51	139.12%	192.05%
土壤物理指标	毛管孔隙度/%	39.94±4.34	39.06±2.54	39.97±0.79	2.24%	-0.15%
	总孔隙度/%	46.53±3.27	45.23±2.14	45.19±0.97	2.86%	2.97%
土壤化学指标	pH 值	5.58±0.08	5.48±0.23	5.50±0.03	1.76%	1.45%
	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	5.12±0.85	4.00±0.19	3.52±0.56	28.02%	45.45%

[0083] 注:产量1~3分别为2021年8、10月和2022年6月测得;土壤理化性质为2021年10月测得;增幅1、2分别为实施例1相比对比例1-1、1-2的增加幅度。

[0085] 表1表明,实施例1与对比例1-1对比,施用保水保肥材料相比不施材料使皇竹草增产104.60%~182.63%,土壤毛管孔隙度和总孔隙度分别增加2.24%和2.86%,土壤pH值和有机质增加1.76%和28.02%;对比实施例1与对比例1-2,施用保水保肥材料相比单施保水剂使皇竹草增产16.19%~192.05%,土壤毛管孔隙度和总孔隙度分别降低0.15%和2.97%,土壤pH值和有机质增加1.45%和45.45%。

[0086] 表2实施例2和对比例2-1、2-2的脐橙生长指标和土壤理化性质测定结果

指标类型	测定指标	实施例 2	对比例 2-1	对比例 2-2	增幅 1/%	增幅 2/%
[0087] 植物生长指标	0cm 地径/cm	4.69±0.5	4.00±0.57	3.60±0.00	17.14%	30.16%
	株高/cm	126.00±12.90	91.00±45.25	119.00±6.00	38.46%	5.88%
	冠幅/cm <sup>2</sup>	13708±4220	4293±3280	7830±970	219.30%	53.18%
土壤物理指标	毛管孔隙度/%	40.08±3.25	37.78±1.25	38.45±0.78	6.09%	4.25%
	总孔隙度/%	47.02±5.68	46.80±0.78	43.20±1.45	0.47%	8.85%
土壤化学指标	pH 值	5.88±0.37	4.67±0.49	5.01±0.15	25.76%	17.25%
	有机质/g·kg <sup>-1</sup>	7.14±1.39	6.75±0.10	6.87±1.01	5.73%	3.82%

[0088] 注：冠幅面积为树冠投影在水平和垂直两个方向长度的乘积；植物生长指标为2022年6月22日测得，土壤理化性质为2021年10月测得；增幅1、2分别为实施例2相对比例2-1、2-2的增加幅度。

[0089] 表2表明，对比实施例2与对比例2-1，施用保水保肥材料相比田间常规施用有机肥使脐橙0cm地径、株高和冠幅分别增加17.14%、38.46%和219.30%，土壤毛管孔隙度和总孔隙度分别增加6.09%和0.47%，土壤pH值和有机质分别增加25.76%和5.73%；对比实施例2与对比例2-2，施用保水保肥材料相比田间常规施有机肥基础上单施保水剂，使脐橙0cm地径、株高和冠幅分别增加30.16%、5.88%和53.18%，土壤毛管孔隙度和总孔隙度分别增加4.25%和8.85%，土壤pH值和有机质分别增加17.25%和3.82%。

[0090] 表3实施例3和对比例3-1、3-2的植被覆盖度和产流产沙量测定结果

指标类型	测定指标	实施例 3	对比例 3-1	对比例 3-2	变化率 1/%	变化率 2/%
[0091] 植物生长指标	植被覆盖度 1/%	63.70±12.52	11.02±5.55	14.58±14.41	增加 478.24%	增加 336.92%
	植被覆盖度 2/%	98.75±2.50	35.81±19.39	61.14±19.89	增加 175.76%	增加 61.53%
	植被覆盖度 3/%	98.88±2.24	44.42±30.49	74.30±19.87	增加 122.62%	增加 33.09%
土壤侵蚀指标	产流量 1/L·m <sup>-2</sup>	2.86±1.77	5.27±2.20	4.97±2.30	减少 45.74%	减少 42.51%
	产流量 2/L·m <sup>-2</sup>	10.15±3.65	23.89±4.15	19.13±3.74	减少 57.52%	减少 46.93%
	产流量 3/L·m <sup>-2</sup>	11.37±0.61	17.21±0.35	15.35±2.01	减少 33.96%	减少 25.96%
	产流量 4/L·m <sup>-2</sup>	0	1.24±0.43	1.79±0.69	减少 100.00%	减少 100.00%
	产沙量 1/g·m <sup>-2</sup>	5.72±4.92	37.08±35.48	20.15±11.48	减少 84.57%	减少 71.61%
	产沙量 2/g·m <sup>-2</sup>	15.67±13.88	165.17±98.28	40.05±13.23	减少 90.51%	减少 60.88%
	产沙量 3/g·m <sup>-2</sup>	8.42±4.27	96.43±70.62	26.56±17.21	减少 91.27%	减少 68.30%
	产沙量 4/g·m <sup>-2</sup>	0	1.85±1.00	3.12±3.71	减少 100.00%	减少 100.00%

[0092] 注：植被覆盖度1~3分别于2022年7月5日、7月21日和8月26日测得；产流量/产沙量1~4分别于2022年7月21日、8月3日、8月11日和8月26日测得；变化率1、2分别为实施例3相对比例3-1、3-2的变化幅度。

[0093] 表3表明，对比实施例3与对比例3-1，施用保水保肥材料相比不施材料使坡面宽叶雀稗覆盖率提升122.62%~478.24%，使产流量减少33.96%~100%，产沙量减少84.57%~100%；对比实施例3与对比例3-2，施用保水保肥材料相比单施保水剂使坡面宽叶雀稗覆盖率提升33.09~336.92%，使产流量减少25.96%~100%，产沙量减少60.88%~100%。

[0094] 以上表明，相比不施肥、常规施肥或单独施用保水剂等方式，施用保水保肥材料在尾砂土进行生态修复应用时更具优势。该材料通过提升土壤物理结构和土壤肥力，改善了尾砂土壤基质状况，促进了皇竹草、脐橙和宽叶雀稗等植物生长，并减少了坡面径流和侵蚀量。由于脐橙未挂果、坡面绿化不具备经济收益，因此仅对皇竹草进行收益测算，结果如表4所示。施用保水保肥材料相比不施肥料和单施保水剂，分别使种植皇竹草的总利润提升169.97%和144.76%，因此适合将保水保肥材料在废弃稀土矿山进行大面积推广应用。



[0095] 表4收益测算表

应用类型	案例	肥料投入 /万元·hm <sup>-2</sup>	劳动力投入 /万元·hm <sup>-2</sup>	总投入 /万元·hm <sup>-2</sup>	总收益 /万元·hm <sup>-2</sup>	总利润 /万元·hm <sup>-2</sup>
牧草种植 (皇竹草)	实施例 1	2025	7200	9225	45189	35964
	对比例 1-1	0	5400	5400	18722	13322
	对比例 1-2	1000	7200	8200	22894	14694
果树栽培 (脐橙)	实施例 2	39520	10000	49520		
	对比例 2-1	11840	10000	21840		
	对比例 2-2	15840	10000	25840		
坡面绿化 (宽叶雀稗)	实施例 3	1275	450	1725		
	对比例 3-1	0	0	0		
	对比例 3-2	450	0	450		

[0097] 注:以上收益核算中皇竹草鲜草价格为330元/t,总收益为2021年8、10月和2022年6月三茬收益总和,劳动力为120元/天,有机肥、保水剂、矿物肥、尿素的肥料费用分别为1元/kg、50元/kg、1.5元/kg和5元/kg。

[0098] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。