



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112913374 B

(45) 授权公告日 2023.03.17

(21) 申请号 202110394513.5

(22) 申请日 2021.04.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112913374 A

(43) 申请公布日 2021.06.08

(73) 专利权人 中国科学院昆明植物研究所  
地址 650221 云南省昆明市盘龙区蓝黑路  
132号

(72) 发明人 赵高卷 韩小汇 张士宇 杨建波  
张进 冯尚军 李雄 桂恒  
许建初

(74) 专利代理机构 北京睿智保诚专利代理事务  
所(普通合伙) 11732  
专利代理师 周新楣

(51) Int.Cl.

A01C 1/00 (2006.01)

A01C 1/06 (2006.01)

A01G 17/00 (2006.01)

A01G 22/00 (2018.01)

A01G 22/40 (2018.01)

审查员 孙家祺

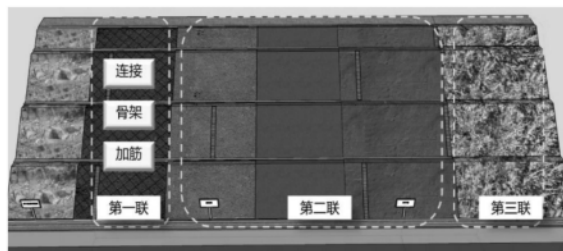
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法

(57) 摘要

本发明提供一种高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法,包括以下步骤:根据不同微生物组合萌发物种特性,最终筛选出10个植物树种,包括2乔木、3草本和5灌木;同时筛选出10个最适用于高陡边坡植被修复的微生物组合;喷播10cm深的土壤;采用三层生态防护,包括由物理防护层、抗蚀防护层和植被生态修复防护层。本发明依靠豆科植物的固氮作用,形成豆科植物-非豆科植物组合,构建乔木-灌木-草本植物组成,促进土壤营养物质的转换和循环,改善了萌发物种的生存和生长;微生物菌剂能够促生豆科根瘤菌形成和生长,且不同微生物菌剂组合的效应存在差异。



1.干热河谷中高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法,其特征在于,包括以下步骤:

#### S1.土壤喷播试验树种的选择和种子的收集

根据干热河谷特殊的立地条件和适地适树原则,选取该区域23个优势树种,包括4乔木,山黄麻、清香木、印楝和合欢;8草本,紫花苜蓿、蔓草虫豆、糖蜜草、青苜、高羊茅、龙爪茅、波斯菊、画眉草;11灌木,黄花槐、虾子花、洋金凤、攀援羊蹄甲、西卡柱花草、山蚂蝗、椭圆叶木蓝、白花灰叶豆、猪屎豆、木豆、戟叶酸模;收集其种子用于土壤喷播试验;

#### S2.土壤微生物菌剂的培养和组合

以5种微生物为对象,经过人工培养成微生物菌剂;按照单种、三种和五种进行正交组合,共形成16组微生物,即A、B、C、D、E、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE、BCD、BCE、BDE、CDE、ABCDE,将不同组进行土壤喷播试验;

微生物:A青霉菌属*Penicillium*、B粘质沙雷氏菌*Serratia marcescens*、C玫瑰库克氏菌*Kocuria rosea*、D产酯型放线微杆菌*Thermoactino myces*和E阿耶波多氏芽孢杆菌*Bacillus aryabhatai*;

#### S3.土壤喷播过程

分三层进行土壤喷播:第一层是基材层,主要包括种植土、稻壳、绿料、有机质和凝固剂;第二层是微生物层,主要包括种植土、微生物菌剂和保水剂;第三层是种子层,主要包括种植土、有机质、稻壳和混合种子;喷播总厚度为10 cm;

具体流程如下:

##### (1)坡面准备和清理

在土壤喷播前,清除坡顶处和坡面上危石和松动的岩块,消除局部冲刷沟槽及破碎岩石,使整个边坡形成一个平整面;然后沿坡面铺上5cm\*5cm的镀锌铁丝网,再用30-40 cm的钢筋打入土壤将铁丝网固定在坡面上;

##### (2)土壤、种子和微生物菌种准备和配比

筛土:去除石头和颗粒过大的土块,将表土过1cm\*1cm的网筛;

种子处理:将采集或者购买的种子初选后,根据不同植物种子特性,对种子进行温水浸泡催芽处理备用;

微生物菌剂配比:将已经培养好的微生物菌剂进行配比,保持每组所用的微生物菌剂总量相等;

##### (3)土壤喷播

按照喷播流程,通过空压机按照基材层、微生物层和种子层将混合均匀的土壤输入管道,同时用水泵将水输入另一根管道,输送土壤的管道和输送水的管道在管道出口处汇合,分别调整输送土壤和输送水的管道,均匀的将潮湿土壤喷播在坡面上;为了防止土壤水分快速蒸发,喷播后采用遮荫网进行临时遮荫,同时对不同处理进行标记;

#### S4.10种最优边坡修复树种和10组微生物组合的评估和筛选

在土壤喷播1年后,根据16组微生物菌剂的物种丰富度、密度和幼苗形态指标,对不同树种和微生物菌剂组进行综合比较和评估,最终筛选出以下10个树种,包括2乔木,山黄麻和合欢;3草本,龙爪茅、糖蜜草和画眉草;5灌木,木豆、猪屎豆、椭圆叶木蓝、白花灰叶豆和虾子花;10组微生物菌剂,包括A、B、D、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE和BCD。

## 高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于生态修复技术领域,具体涉及一种高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法。

### 背景技术

[0002] 云南山高坡陡、地质复杂,形成干热河谷和喀斯特等脆弱生态系统,植被恢复困难;云南矿产资源丰富,被誉为“有色金属王国”,矿山废弃地治理任务十分艰巨;云南交通落后,高速公路建设任重道远,复杂地形地貌区的道路施工造就了众多高陡边坡。山体陡坡和边坡裸露岩壁等区域的植被修复日益受到社会各界的广泛关注。

[0003] 早期三沿(沿路、沿河和沿湖)边坡治理研究通常采用自然恢复、锚杆/锚索框格梁+植生袋、拱形骨架+植草、主动防护网等的圪工防护与绿化相结合的模式(毛士成和杨鼎,2019;夏明强,2020)。研究表明这些方法不仅施工成本高和景观视觉差,还会影响植被的组成结构和根系间的串通协作,导致一些边坡出现“只见幼苗不见幼树”的现象。

[0004] 土壤喷播是以团粒剂使客土形成团粒化结构,加筋纤维在其中起到类似植物根茎的网络加筋作用,从而造就有一定厚度的具有耐雨水、风侵蚀、牢固透气、与自然表土相类似的多孔稳定土壤结构。最新研究采用了挂网+土壤喷播技术对湿润区石质坡面做了生态防护取得显著的效果,形成花、灌、草结合的植物群落(钱晶晶和方江平,2014)。研究表明以表层土壤为主要外部土壤基质进行坡面客土喷播绿化,可有效提高坡面植被盖度,显著促进坡面植被向归化植物群落演替,并形成自然群落(Maxmiller et al.,2015;Zhou et al.,2019;Zhao et al.,2020)。此外,研究还表明活性土壤微生物菌被制作成的菌剂或菌肥被广泛应用在农业生产、山体复绿和生态修复等方面,效果非常显著(Wubs et al.,2016;王鹰翔,2017;马静等,2020)。但是,目前仍然缺乏豆科-非豆科植物组合+微生物菌剂+土壤喷播技术在干热河谷高陡边坡修复中的应用,忽视了豆科植物的固氮作用以及微生物对豆科根瘤菌的促生效应,阻碍了土壤营养物质的转换和根际相互效应,致使很多物种萌发后不能存活,最终导致植被盖度低和景观视觉差。

[0005] 干热河谷是横断山脉地区由于河谷深切和山脉对气流的阻挡而形成的特殊地貌和气候类型,其特点是热量有余、降水不足(赵高卷等,2016)。极端恶劣的环境条件和人为干扰造就了众多的裸露山坡和高陡边坡(马焕成等,2020)。早期三沿边坡治理主要采用自然恢复、锚杆/锚索框格梁+植生袋、拱形骨架+植草、主动防护网等的圪工防护与绿化相结合的模式(毛士成和杨鼎,2019;夏明强,2020),该方法不仅施工成本高和景观视觉差,植被覆盖率也很低和植被结构不合理。

[0006] 土壤微生物是土壤的重要组成成分,在土壤的生化过程包括有机质降解,养分矿化和循环中起关键作用(Smith and Paul,1990)。从地质演变的历史看,多数微生物均比植物起源要早,植物是在微生物改造的地球环境中出现和演变的,植物的生存和繁衍离不开微生物的协助(马焕成等,2020)。研究表明,植物和微生物组成共生体影响植物的生存和适应性,尤其对于荒漠化和半荒漠化地区的植物来说,与微生物形成共生系统尤其重要

(Daffonchio et al.,2015;Kaur and Kaur,2018;Jeffries et al.,2002);同时土壤微生物多样性对植物多样性的维持具有重要作用(李骁和王迎春,2006)。研究表明活性土壤微生物菌被制作成的菌剂或菌肥被广泛应用在农业生产、山体复绿和生态修复等方面,效果非常显著(Wubs et al.,2016;王鹰翔,2017;马静等,2020)。但是,它们都忽视了多种微生物菌剂混合使用对植被恢复的促进作用。

[0007] 土壤喷播以团粒剂使客土形成团粒化结构,加植物纤维在其中起到类似植物根系的网络保护作用,从而造就有一定厚度的具有耐雨水、风侵蚀,牢固透气,与自然表土相类似土壤结构(钱晶晶和方江平,2014)。该技术是集安全防护与生态修复为一体的创面生态修复技术,在高陡边坡和石质坡面生态防护方面取得显著的效果,形成花、灌、草结合的植物群落(黄骤屹等,2020)。但是,他们都忽视了喷播土壤的厚度、土壤中混合的基质组成以及种子配置等对整个群落构建的影响。

## 发明内容

[0008] 本发明的目的在于提供一种高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法。本发明的目的是这样实现的,所述的高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法包括边坡修复树种初选和配置、微生物菌剂培养和组合、土壤喷播技术实施、土壤喷播后存活物种的调查以及最终树种和菌种组合的评估和筛选等,旨在最终筛选出最适用于该区域高陡边坡修复的10个植物树种(2乔木,3草本和5灌木)、10个微生物菌剂组合和10cm深的喷播土壤,简称“三个十组合”土壤喷播方法。

[0009] 具体技术方案为:

[0010] 高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法,包括以下步骤:

[0011] S1.土壤喷播试验树种的选择和种子的收集

[0012] 根据干热河谷特殊的立地条件和适地适树原则,选取该区域23个优势树种(包括4乔木、8草本和11灌木),收集其种子用于土壤喷播试验;

[0013] S2.土壤微生物菌剂的培养和组合

[0014] 以本课题组前期分离和提取出来的5种微生物为对象,经过培养成微生物菌剂。按照单种、三种和五种微生物菌剂进行正交组合,共形成17个微生物组合(A、B、C、D、E、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE、BCD、BCE、BDE、CDE、ABCDE和空白对照)进行土壤喷播试验。

[0015] 微生物A青霉菌属、B粘质沙雷氏菌、C玫瑰库克氏菌、D产酯型放线微杆菌和E阿耶波多氏芽孢杆菌。

[0016] S3.土壤喷播过程和标记

[0017] 采用三层生态防护(物理防护层、抗蚀防护层和植被生态修复防护层)进行土壤喷播,喷播厚度为10cm。按照不同微生物组合进行标记。

[0018] S4.10种最优边坡修复树种和10种微生物组合的评估和筛选

[0019] 在土壤喷播1年后,根据17种微生物组合下物种丰富度、密度和幼苗形态指标,对不同物种和微生物菌剂组合进行综合评估,最终筛选出以下10个物种(包括2乔木(山黄麻和合欢)、3草本(龙爪草、糖蜜草和画眉草)和5灌木(木豆、猪屎豆、椭圆叶木蓝、白花灰叶豆和虾子花))和10种微生物菌剂组合(包括A、B、D、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE和BCD)。

[0020] 优选的,S3和S4的具体流程如下:

[0021] (1) 坡面准备和清理

[0022] 在土壤喷播前,清除坡顶处和坡面上危石和松动的岩块,消除局部冲刷沟槽及破碎岩石,使整个边坡形成一个平整面;然后沿坡面铺上5cm\*5cm的镀锌铁丝网,再用30-40cm的钢筋打入土壤将铁丝网固定在坡面上;

[0023] (2) 土壤、种子和微生物菌种准备和配比

[0024] 筛土:去除石头和颗粒过大的土块,将表土过1cm\*1cm的网筛;

[0025] 种子处理:将采集或者购买的种子初选后,根据不同植物种子特性,对种子进行温水浸泡催芽处理备用;

[0026] 微生物菌剂配比:将已经培养好的微生物菌剂进行总量相等配比;

[0027] (3) 土壤喷播

[0028] 按照喷播流程,通过空压机按照基材层、微生物层和种子层将混合均匀的土壤输入管道,同时用水泵将水输入另一根管道,输送土壤的管道和输送水的管道在管道出口处汇合,分别调整输送土壤和输送水的管道,均匀的将潮湿土壤喷播在坡面上;为了防止土壤水分散失,喷播后采用遮荫网进行临时遮荫,同时对不同处理进行标记。

[0029] (4) 10种边坡修复树种和10种微生物组合的评估和筛选

[0030] 在土壤喷播1年后,记录和统计17种微生物组合下存活物种的丰富度和密度,同时测量各物种幼苗的地径和高度,旨在筛选出10种最优树种和10种微生物组合。

[0031] 本发明技术方案带来的有益效果:

[0032] (1) 依靠豆科植物的固氮作用,形成豆科植物-非豆科植物组合,构建乔木-灌木-草本植物组成结构,促进土壤营养物质的转换和循环,改善了萌发物种的生存和生长;

[0033] (2) 微生物菌剂能够促生豆科根瘤菌形成和生长,且不同微生物菌剂组合的效应存在差异。

## 附图说明

[0034] 图1为本发明三层生态防护示意图;

[0035] 图2为本发明边坡清理和挂网示意图;

[0036] 图3为本发明土壤喷播过程和处理标记示意图;

[0037] 图4为土壤喷播后不同处理幼苗情况。

## 具体实施方式

[0038] 结合实施例说明本发明的具体技术方案。

[0039] 一种高陡边坡植被恢复的“三个十组合”土壤喷播方法,包括以下步骤:

[0040] S1. 土壤喷播试验树种的选择和种子的收集

[0041] 极端困难地段植被恢复一定要根据立地条件来选择树种,而不是根据造林任务来决定地块。因此,树种的选择变得至关重要,决定了植被恢复的成败和流域生态恢复的质量。本发明根据适地适树原则,以云南省红河干热河谷为研究对象,根据路线元江-红河-元阳,以乡土物种为主,调查和收集了该区域优势树种的种子23种(表1),依靠豆科植物的固氮作用,形成豆科植物-非豆科植物组合,构建乔木-灌木-草本植物组成结构,旨在促进土壤喷播后土壤营养物质的转换和循环,最终筛选出10个(2乔木,3草本和5灌木)最适用于

干热河谷区高陡边坡修复植物树种。

[0042] 根据适地适树原则,为了最终能更准确和有效地选出既有抗逆性又有观赏性的植物种,本研究以云南省红河干热河谷边坡为研究对象,初步选择和收集11种豆科植物和12种非豆科植物种子进行喷播实验。

[0043] 采用践踏方式进行红河干热河谷植被调查,路线为元江县—红河县—元阳县。对整个河谷进行植被初步调查,结合每个县引进景观树种,经过前期调查研究,初步选出以下11个豆科植物(乔木1种,灌木8种和草本2种)和12个非豆科植物(乔木3种,灌木3种和草本6种)(表1),收集植物种子用于边坡修复试验。

[0044] 表1红河干热河谷边坡修复初选试验物种

序号	属性	物种名	拉丁名	科名
[0045]				
1	乔木	山黄麻	<i>Trema tomentosa</i>	榆科
2		清香木	<i>Pistacia weinmannifolia</i>	漆树科
3		合欢	<i>Albizia julibrissin</i>	豆科
4		印楝	<i>Azadirachta Indica</i>	楝科
5	灌木	黄花槐	<i>Sophora xanthantha</i>	豆科
6		虾子花	<i>Woodfordia fruticosa</i>	千屈菜科
7		洋金凤	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	豆科
8		攀援羊蹄甲	<i>Bauhinia scandens</i>	豆科
9		西卡柱花草	<i>Stylosanthes guianensis</i>	豆科
10		山蚂蝗	<i>Desmodium racemosum</i>	豆科
11		椭圆叶木蓝	<i>Indigofera cassioides</i>	蝶形花科
12		白花灰叶豆	<i>Tephrosia candida</i>	豆科
13		猪屎豆	<i>Crotalaria pallida</i>	豆科
14		木豆	<i>Cajanus cajan</i>	豆科
15	戟叶酸膜	<i>Rumex acetosa</i>	蓼科	
16	草本	紫花苜蓿	<i>Medicago sativa</i>	豆科
17		蔓草虫豆	<i>Atylosia scarabacoides</i>	豆科
18		糖蜜草	<i>Melinis minutiflora</i>	禾本科
19		青葙	<i>Celosia argentea</i>	苋科
20		高羊茅	<i>Festuca elata</i>	禾本科
21		龙爪茅	<i>Dactyloctenium</i>	禾本科
22		波斯菊	<i>Cosmos bipinnata</i>	菊科
23		画眉草	<i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科
[0046]				

## [0047] S2. 土壤微生物菌剂的培养和组合

[0048] 本发明根据微生物能够促进植被恢复和促生豆科根瘤菌形成和生长,以中国科学院昆明植物研究所分离提取出来的5种微生物A(青霉菌属)、B(粘质沙雷氏菌)、C(玫瑰库克氏菌)、D(产酯型放线微杆菌)和E(阿耶波多氏芽孢杆菌)为对象,经过培养成微生物菌剂(表2)。按照单种、三种和五种微生物菌剂进行正交组合,共形成17个处理(A、B、C、D、E、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE、BCD、BCE、BDE、CDE、ABCDE和空白对照)进行土壤喷播试验,以不加微生物菌剂为对照。通过统计喷播后萌发植物种多样性、密度和形态指标,旨在筛选出10个最适用于该区域高陡边坡植被修复的微生物组合。

## [0049] 表2微生物基本特性和培养条件

代码	菌种学名	拉丁名	条件	培养基
A	青霉菌属	Penicillium	28℃, 5d	10g 葡萄糖, 0.5g 硫酸铵, 0.3g 氯化钠, 0.3g 氯化钾, 0.3g 7水合硫酸镁, 0.03g 七水硫酸亚铁, 0.03g 硫酸锰, 5g 碳酸钙, 0.3g 卵磷脂, 20g 琼脂, 1000ml 水。
B	粘质沙雷氏菌	Serratia marcescens	35℃, , 36h	蛋白栋 10g, 酵母粉 3g, 氧化钠 5g, 无菌水 1000ml
C	玫瑰库克氏菌	Kocuria rosea	35℃, , 36h	蛋白栋 10g, 酵母粉 3g, 氧化钠 5g, 无菌水 1000ml
D	产酯型放线微杆菌	Thermoactinomyces	35℃, , 36h	蛋白栋 10g, 酵母粉 3g, 氧化钠 5g, 无菌水 1000ml
E	阿耶波多氏芽孢杆菌	Bacillus aryabhatai	35℃, , 36h	蛋白栋 10g, 酵母粉 3g, 氧化钠 5g, 无菌水 1000ml

[0050]

## [0051] S3. 土壤喷播过程和挂牌

[0052] 三层生态防护技术(三联生态防护技术)是集安全防护与生态修复为一体的创面生态修复技术,由物理防护层(锚杆+镀锌金属网)、抗蚀防护层(生物粘结材料)和植被生态修复防护层(土壤生境系统构建+植被群落系统构建+物质循环系统构建)三重措施联合防护边坡,如图1所示。

[0053] 本发明以中国科学院昆明植物研究所红河山地未来种质资源创新中心边坡为对象,按照1.2的物种组成和1.3的微生物菌剂组合,在红河干热河谷完成了10cm的土壤喷播试验,每个处理设20m<sup>2</sup>,17个处理共340m<sup>2</sup>。土壤喷播过程分三层:第一层是基材层(5cm),主要由种植土、稻壳、绿料、有基质和凝固剂组成;第二层是微生物层,主要由种植土、微生物菌剂和保水剂组成;第三层是种子层,主要由种植土、有机质、稻壳和混合种子组成。具体流程如下:

## [0054] (1) 坡面准备和清理

[0055] 在土壤喷播前,清除坡顶处和坡面上危石和松动的岩块,消除局部冲刷沟槽及破碎岩石,使整个边坡形成一个平整面。然后沿破面铺上5cm\*5cm的镀锌铁丝网,再用30-40cm的钢筋打入土壤将铁丝网固定在坡面上,如图2所示。

## [0056] (2) 土壤、种子和微生物菌种准备和配比

[0057] 筛土:去除石头和颗粒过大的土块,将表土过1cm\*1cm的网筛;

[0058] 种子处理:将采集或者购买的种子初选后,根据不同植物种子特性,对种子进行温

水浸泡催芽处理；

[0059] 微生物菌剂配比：将已经培养好的5种菌种进行单种、三种和五种进行配比，按照每平方30ml微生物菌剂，保持每个处理所用的微生物菌剂总量相等，每个处理最终用量为600ml；

[0060] (3) 土壤喷播

[0061] 按照1.4.1的喷播流程，通过空压机按照基材层、微生物层和种子层将混合均匀的土壤及其他相关材料输入直径10cm的管道，同时用水泵将水输入另一根3cm的管道，输送土壤的管道和输送水的管道在管道出口处汇合，均匀的将潮湿土壤喷播在坡面上。此外，为了防止土壤水分散失，喷播后采用遮荫网进行临时遮荫，同时对不同处理进行标记，如图3所示。

[0062] S4.10种边坡修复树种和10种微生物组合的筛选

[0063] (1) 萌发物种数和密度

[0064] 设置1m\*1m的小样方对17个微生物菌剂组合下萌发特性进行统计，统计指标包括物种数和密度，每个组合设10个重复，分析各组合的物种数和密度差异。

[0065] (2) 存活幼苗形态指标的测定

[0066] 如图4为土壤喷播后不同处理幼苗情况。对不同组合下所有的物种进行形态指标测定，指标包括树高和地径，分析各组合间相同物种间和相同组合下不同物种间的差异，旨在筛选出10种优势的树种和微生物菌剂组合。

[0067] 根据17个微生物组合下萌发物种数、密度以及幼苗的形态指标(表3)，对不同树种和微生物组合进行评估和筛选。

[0068] 表3不同微生物组合萌发幼苗特征

[0069]

微生物组合	物种数量	密度 (株/m <sup>2</sup> )	优势种	优势种平均树高(cm)
对照	10	35	合欢、木豆、龙爪草	20
A	18	45	虾子花、黄花槐、椭圆叶木蓝、木豆、灰叶豆、龙爪草和画眉草	35
B	19	42	山黄麻、合欢、叶木蓝、木豆、虾子花、龙爪草和糖蜜草	37
C	14	42	合欢、木豆、龙爪草、小米菜	23



[0070]

<b>D</b>	17	56	虾子花、合欢、灰叶豆、木豆、猪屎豆、柱花草和画眉草	36
<b>E</b>	13	57	合欢、木豆、龙爪草和糖蜜草	24
<b>ABC</b>	17	51	灰叶豆、黄花槐、虾子花、木豆、猪屎豆、龙爪草和画眉草	40
<b>ABD</b>	18	48	山黄麻、虾子花、叶木蓝、灰叶豆、猪屎豆、龙爪草和画眉草	38
<b>ABE</b>	19	62	山黄麻、合欢、虾子花、木豆、猪屎豆、龙爪草和小米菜	42
<b>ACD</b>	18	56	合欢、黄花槐、叶木蓝、灰叶豆、灰叶豆、柱花草和画眉草	44
<b>ACE</b>	17	42	山黄麻、合欢、虾子花、木豆、猪屎豆、龙爪草和糖蜜草	37
<b>ADE</b>	14	32	合欢、山黄麻、灰叶豆、灰叶豆、虾子花、龙爪草和小米菜	35
<b>BCD</b>	18	35	虾子花、合欢、叶木蓝、木豆、猪屎豆、柱花草和画眉草	30
<b>BCE</b>	12	25	木豆、黄花槐、灰叶豆、龙爪草、糖蜜草和小米菜	26
<b>BDE</b>	12	31	猪屎豆、龙爪草、虾子花、波斯菊和画眉草	24
<b>CDE</b>	13	34	灰叶豆、虾子花、龙爪草、波斯菊和画眉草	28
<b>ABCDE</b>	12	38	猪屎豆、柱花草、糖蜜草、画眉草和波斯菊	24

[0071] 经过不同组合幼苗评估后,最终筛选出如下10个物种(包括2乔木、3草本和5灌木)(表4)和10种微生物菌剂组合(包括A、B、D、ABC、ABD、ABE、ACD、ACE、ADE和BCD)。

[0072] 表4干热河谷边坡修复最优物种

[0073]

序号	属性	物种名	拉丁名	科名
1	乔木	山黄麻	<i>Trema tomentosa</i>	榆科
2		合欢	<i>Albizia julibrissin</i>	豆科
6	灌木	虾子花	<i>Woodfordia fruticosa</i>	千屈菜科
11		椭圆叶木蓝	<i>Indigofera cassioides</i>	蝶形花科

[0074]

12		白花灰叶豆	<i>Tephrosia candida</i>	豆科
13		猪屎豆	<i>Crotalaria pallida</i>	豆科
14		木豆	<i>Cajanus cajan</i>	豆科
18	草本	糖蜜草	<i>Melinis minutiflora</i>	禾本科
21		龙爪茅	<i>Dactyloctenium</i>	禾本科
23		画眉草	<i>Eragrostis pilosa</i>	禾本科

[0075] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

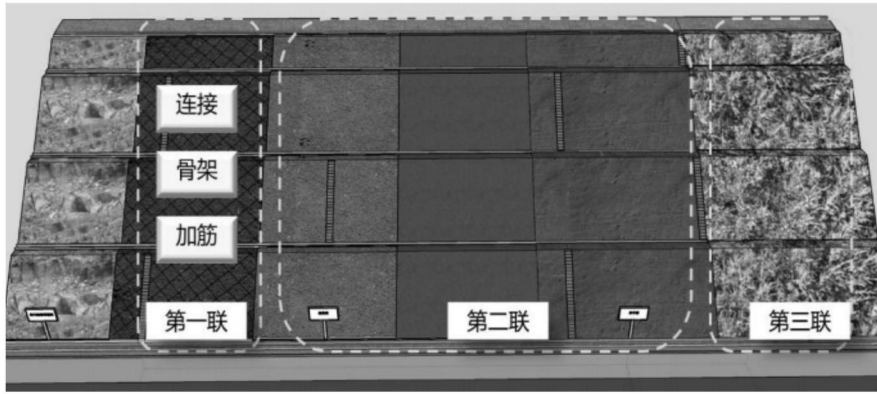


图1



图2



图3



图4