(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115720819 A
(43)申请公布日 2023.03.03

(21)申请号 202211399583.0
(22)申请日 2022.11.09
(71)申请人 华能澜沧江水电股份有限公司
地址 650214 云南省昆明市官渡区世纪城中路1号
申请人 中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司
中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所
(72)发明人 卢吉 曹学兴 迟福东 陈凡 王小丹 李金洁 秦鑫 梅增荣 洪江涛 吴建波 鄢燕 孙荣 孔维林 周云 胡存宝
(74)专利代理机构 昆明正原专利商标代理有限公司 53100
专利代理师 徐玲菊
(51)Int.Cl.
A01G 22/00(2018.01)
A01G 20/10(2018.01)
A01G 17/00(2006.01)

权利要求书4页 说明书15页 附图6页

(54)发明名称

一种高海拔水电开发区域植被恢复方法

(57)摘要

本发明公开了一种高海拔水电开发区域植被恢复方法，基于藏东南干暖河谷多砾石、气候干旱的生态条件，提出渣场人工草地和经果林建植技术、亚高山土料场草-灌-林人工植被恢复技术和高寒区土料场草皮移植与人工草地建植技术。本发明摸清了自然环境要素的现状，模拟施工情景，监测区域环境要素的动态变化特征，开展水电开发扰动下的高原高山峡谷区域植被恢复研究，集成监测和情景模拟，形成针对性、科学的恢复技术和模式，填补高寒区域该领域相关的空白。

CN 115720819 A

1.一种高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，包括适应于藏东南不同海拔梯度的干暖河谷植被恢复、亚高山植被恢复和高寒草甸恢复，具体包括以下操作：

1)海拔在2000~3000m的干暖河谷，采用人工草地建设和经果林建设进行植被恢复；其中：

人工草地建设是：将待修复的区域进行平整并铺设农用薄膜进行防渗处理，然后覆该厚度20～30cm的土层并添加牛羊粪肥进行土壤改良，以燕麦和/或紫花苜蓿为草种、以深种浅出的方式进行沟播；播种后及时灌溉；

经果林建设是：通过挖掘种植穴并在底部铺设农用薄膜进行防渗，然后覆盖厚度为40～50cm的土壤，并添加牛粪肥进行土壤改良，再覆盖30～40cm土壤，最后用农用塑料薄膜进行铺盖；定植前将树苗根部用生根粉溶液浸泡或用泥浆蘸根，种植时在根部播撒生根粉；将苗木在整好的坑中部打窝定植，定植时边回土边踏实，覆土后在种植穴播撒苜蓿，然后覆膜；种植后修建土垄，高出地平面10-20cm；栽后灌水并进行田间管理；

2)海拔在3400~4000m的亚高山区域采用乔木、灌丛和亚高山草甸进行植被恢复；其中亚高山草甸区域需覆盖厚度30~50cm的表层客土，选择垂穗披碱草、老芒麦和/或紫花苜蓿草种单播或混播；撒播时采用深种浅出，播种深度3～5cm；当天播种当天压实，播种后覆盖地膜，再覆盖5～10cm粒径的砾石，砾石面积比例占表土40%，出苗后揭开地膜并及时浇水，保留砾石；

乔木/灌丛采用移植或栽植，保持待移栽的灌木苗、乔木苗根系湿润，然后将根系蘸上泥浆或保水剂后装入植苗桶，植苗桶内注入浸过苗根的水，提桶植苗栽培；栽后平整栽植穴表面，覆盖表土厚度为20~25cm；栽培结束一周内，对苗木进行扶踩；

3)海拔在4000m以上的高山区域为高寒草甸，采用草皮移植或建植的方式进行植被恢复，其中：

草皮移植是通过草皮剥离、堆存养护、回植实现植被恢复；

建植是以老芒麦和披碱草作为植被恢复草种，采用人工建植草地的方式进行植被恢复；

草皮移植时，原草皮切割区域最长边不大于50cm、最短边不小于25cm，草皮转运堆放时预留一定空间；草皮回植时，先回填有机土层上并在10cm下放置砾石，并保证回植平顺，使草皮根部与土壤无缝衔接；草皮回植后，草隙用腐殖土填塞密实，将草皮轻轻拍实；草皮回植后及时恢复其原有的生长环境；

人工建植草地时，将表层土壤剥离后，采用块状整地方式整地，开沟并留出行距15cm～20cm，草种单播或混播，沟播时深种浅出；播后及时压实，播种后及时进行田间管理；草叶枯黄后将草皮覆盖。

2.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，所述干暖河谷人工草地建设具体包括以下操作：

1)整地：将渣场平整后铺设厚度0.05～0.07mm的农用薄膜进行防渗处理；

2)覆土：在薄膜覆土，土层覆盖厚度为20～30cm；

3)土壤改良：以1000～1300kg/ 亩的添加量添加牛羊粪肥进行土壤改良；

4)人工草地种植：采用深种浅出的沟播方式，种子纯度和净度不低于95%，发芽率不低于90%；

沟播时挖沟深10～15cm，宽10～15cm，选择燕麦与苜蓿混播，两者质量比为0.8~1:1~1.2；

5)在播种后进行平地，然后进行灌溉；

在燕麦三叶期、五至六叶期、拔节后期至开花期和乳熟期进行灌水。

3.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，所述干暖河谷经果林建植具体包括以下操作：

1)整地：在平整过的渣场，挖掘种植穴80cm×80cm×80cm，行距3m×3m；

2)种植穴整理：将厚度0.05mm 农用薄膜铺设在种植穴底部进行防渗，覆盖40～50cm土壤；添加牛粪肥4～5kg/穴进行土壤改良，再覆盖30～40cm 土壤；最后用厚度0.05～0.07mm 的薄膜进行铺盖；

3)经果林种植：种植期选择在2～3 月份，选择树径3cm～4cm 核桃苗种植；树苗定植以前将苗木的伤根及烂根剪除，将树根用100mg.kg^{-1}ABT生根粉溶液浸泡1 天，或者用泥浆蘸根；种植时在根部播撒生根粉；

然后在整好的坑中部打窝定植，定植时边回土边踏实，要做到苗正、舒展根系；

覆土后在种植穴播撒苜蓿，防止土壤水分蒸发和增加固氮效应，然后覆膜，保水；

然后修建土垄，高出地平面20cm；

4)管理施肥：在发芽前、落花后、7 月上旬果实硬核期和土地封冻前分四次施肥；以厩肥、绿肥配合复合肥混合施用，成年树每株需厩肥或绿肥100～200kg；

灌溉：在冬春季要进行灌溉，每两周灌溉一次。

4.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，所述亚高山草甸的植被恢复包括以下操作：

A整地：

春季播种前在草地规划区域覆表层客土，厚度30~50cm；覆土后翻地、耙细、拖平；然后施入复合肥，并使土壤和肥料充分混合，再耙平耙细、打畦、筑埂；

B播种：

播种期为5月1日～5月30日，开沟条播，行距20～30cm；单播或混播垂穗披碱草、老芒麦和/或紫花苜蓿草种，播种量30g/m²；撒播时采用深种浅出，播种深度3～5cm；当天播种当天压实，播种后覆盖地膜，再覆盖5～10cm粒径的砾石，砾石面积比例占表土40%；出苗后揭开地膜，保留砾石；

C田间管理：

出苗后一个月内，每周浇水一次；之后期结合实际降雨情况浇水。

5.如权利要求4所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，若人工草地为混播草种，则草地底面覆盖土层厚度为30cm；

若人工草地为单播垂穗披碱草，则草地底面覆盖土层厚度为40cm；

若人工草地为单播紫花苜蓿，则草地底面覆盖土层厚度为50cm；

若人工草地为边坡单播老芒麦，则覆盖土层厚度为30cm。

6.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，所述亚高山区域的乔木、灌丛的植被恢复包括以下操作：

A整地：

在雨季前提前进行整地；对于土层深厚肥沃的熟耕地和土壤湿润、杂草覆盖率不高的新采伐迹地随整随栽；

栽培密度为3330～5000株hm²；穴栽坑规格为宽×深:50cm×30 cm，株距根据栽培密度确定；

B栽培：

保持待移栽的灌木苗、乔木苗根系湿润，运到栽培地后修剪受伤的根系、发育不正常的偏根、过长的主根和侧根；然后将根系蘸上泥浆或保水剂后装入植苗桶，植苗桶内注入浸过苗根的水，提桶植苗栽培；

种植时间在4月末5月初进行，以土壤解冻深度达到或超过苗木根长20cm～25cm 为宜；

在定苗点直立开缝，随插锹随重复前推后拉，缝隙宽3cm～5cm；深送浅提，舒展根系，深度埋没地基径处1cm～2cm，脚踩定苗；离苗5cm左右垂直下锹，先拉后推，挤实苗根，重复一次，最后半锹堵住锹缝；平整穴面，覆盖表层喧土厚度为20～25cm；

栽培结束一周内，对苗木进行扶踩，于次年春季解冻后再次进行苗木复植和扶踩；

C管理：

每年定期进行除杂管理，除保留苗木根系周围5cm 的杂草外，其余全部割除，并将割掉的篙草清理至林地外。

7.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，高寒草甸的植被恢复采用草皮回植，包括以下操作：

A草皮剥离：

剥离时间为每年的6月～8月，待原生草皮厚连根系生长至15～30cm、下层腐殖土厚10～20cm时才具备剥离条件；

将剥离的草皮进行分块，边长控制在30cm～50cm之间；草皮剥离后，将下层腐殖土收集堆放；

B草皮堆放：

平铺存放：草皮存放时腐殖土堆放在下部，堆放厚度30～40cm，草皮单层平铺在上部，草皮之间留3～5cm的间隔，间隔之间覆收集的腐殖土；

叠置存放：叠置存放草皮时，下部堆放腐殖土，草皮以3～5 层呈“品”字型叠置存放，草皮及腐殖土堆高1.0～1.5m；草皮存放区以草甸土块挡墙进行挡护，草甸土块挡墙采用梯形断面，叠置摆放草甸土块；

C草皮堆放养护：

草皮临时堆存时选择背风面、地势高且平坦的地段；

表土堆表面以防雨布进行全面覆盖遮挡；在草皮临时堆存区域洒水，保持土壤湿润；

D草皮回植：

草皮回植时，先回填有机土层，并保证回植平顺，使草皮根部与土壤无缝衔接；草皮回植后，草隙用腐殖土填塞密实，将草皮轻轻拍实，防止翘角和鼓包；

E草皮回植后养护：

在草皮回植后10天之内尽量减少对回植草皮区域的人为或外力扰动，草皮恢复较差区域应相应延长养护期限，使其恢复生长；

草皮回植后及时清除下层原生植被上洒落的腐殖土，恢复其原有的生长环境，促使其

及时返青。

8.如权利要求7所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，回植时草皮切割区域最长边不要大于50cm、最短边不要小于25cm；开挖时基本就可以按以上边长控制分块，边长控制在30cm~50cm之间，可人工采用锄头分块；

堆放空间要满足草皮块不要重叠堆放的要求，留出10cm~20cm的距离；

回植时草皮底部与土壤完全接触：回植整地后修整地形，覆土场平，草隙用腐殖土填塞密实；轻轻拍实草皮，防止翘角和鼓包，保证回植和堆放时底部与土壤完全接触。

9.如权利要求1所述的高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，高寒草甸区域的植被恢复采用人工建植，包括以下操作：

A整地：

将表层土壤剥离后，采用块状整地方式，利用机械进行翻耕，疏松土壤，然后用钉齿耙平整土地；耙深4～10cm，施入农家肥，破碎土块、平整地面，掩埋肥料，使土肥相融；

二次翻耕地，施入农家肥2kg/m²，均匀铺散后进行整地1 次，耕翻深度18～20cm，使土壤和肥料充分混合，并耙平耙细土壤；

B种植：

播种期为5月下旬-6月初，草种单播或混播；

播种方式为撒播或条播，利用机械或者人力开沟，行距15cm～20cm，人工均匀撒播，播种量200~300kg/hm²，深种浅出，播种深度3～5cm，播后及时压实；

在播种后及时进行灌溉，浇透水，使种子与水、土、肥充分接触；

C田间管理：

垂穗披碱草为多年生牧草，播种当年应注意禁牧。

一种高海拔水电开发区域植被恢复方法

技术领域

[0001] 本发明属于水电站弃渣场植被恢复技术领域，涉及一种高海拔水电开发区域植被恢复方法。

背景技术

[0002] 自从三峡水电站建成运行以来，掀起了水电建设的高潮，但是对于水电工程引起的生态问题的修复研究才刚刚起步。目前的水电开发区域的生态修复技术多集中于低海拔地区和干热河谷弃渣区和库区消落带的生态恢复技术研究。对库区消落带植被恢复和水土流失治理研究较多的是三峡库区，取得了较多的成果。在三峡库区消落带建立基于3S技术的消落带生态环境问题监测预警系统，并划分功能区、优化土地利用政策、调整农村产业合理利用消落带区域，采用被混凝土护坡绿化技术和厚层基材喷射植被护坡技术进行边坡稳固，植被恢复采取不同高程恢复不同植被类型，并采用乔、灌、草、藤的合理搭配进行植被恢复，同时采用边坡绿化技术治理面源污染问题。

[0003] 我国对水电站弃渣场植被恢复研究多集中于低海拔地区的干热河谷的渣场植被恢复技术。由于多数水电站处于低海拔区域，温度充足，通过植物自然演替植被可以得到一定恢复。我国学者张信宝等(1996)认为岩土渣场水土流失严重、岩体裸露或土质瘠薄是影响其植被恢复的重要限制因子，提出岩土渣场植被恢复模式应依据岩土类型，结合气候、土壤及地形等条件来确定恢复策略，把适宜的植物种的选择放到首位。卢炜丽等(2011)对金沙江干热河谷水电站弃渣场进行调查发现，经过5年后恢复，植物种类有49种，分属23科45属，植物群落处于次生演替的初级阶段。穆军等(2010)对金沙江干热河谷水电站弃渣场植被恢复技术研究表明，保水剂+保水缓释肥处理在干热河谷水电站弃渣场植被恢复中具有一定的应用价值。

[0004] 总而言之，由于目前我国水电站工程大多处于低海拔区域，温度充足，工程区经过略微的人工改造，通过自然演替植被可以得到一定恢复。但是对于高海拔、多海拔梯度的水电开发还有较多的生态修复技术难题需要进一步研究和攻关。

发明内容

[0005] 本发明解决的技术问题在于提供一种高海拔水电开发区域植被恢复方法，提出渣场人工草地和经果林建植技术、亚高山土料场草-灌-林人工植被恢复技术和高寒区土料场草皮移植与人工草地建植技术，加快生态脆弱区水电站渣场的植被恢复。

[0006] 本发明是通过以下技术方案来实现：

[0007] 一种高海拔水电开发区域植被恢复方法，其特征在于，包括适应于藏东南不同海拔梯度的干暖河谷植被恢复、亚高山植被恢复和高寒草甸恢复，具体包括以下操作：

[0008] 1)海拔在2000～3000m的干暖河谷，采用人工草地建设和经果林建设进行植被恢复；其中：

[0009] 人工草地建设是：将待修复的区域进行平整并铺设农用薄膜进行防渗处理，然后

覆该厚度20～30cm的土层并添加牛羊粪肥进行土壤改良，以燕麦和/或紫花苜蓿为草种、以深种浅出的方式进行沟播；播种后及时灌溉；

[0010] 经果林建设是：通过挖掘种植穴并在底部铺设农用薄膜进行防渗，然后覆盖厚度为40～50cm的土壤，并添加牛粪肥进行土壤改良，再覆盖30～40cm土壤，最后用农用塑料薄膜进行铺盖；定植前将树苗根部用生根粉溶液浸泡或用泥浆蘸根，种植时在根部播撒生根粉；将苗木在整好的坑中部打窝定植，定植时边回土边踏实，覆土后在种植穴播撒苜蓿，然后覆膜；种植后修建土垄，高出地平面10-20cm；栽后灌水并进行田间管理；

[0011] 2)海拔在3400～4000m的亚高山区域采用乔木、灌丛和亚高山草甸进行植被恢复；其中亚高山草甸区域需覆盖厚度30～50cm的表层客土，选择垂穗披碱草、老芒麦和/或紫花苜蓿草种单播或混播；撒播时采用深种浅出，播种深度3～5cm；当天播种当天压实，播种后覆盖地膜，再覆盖5～10cm粒径的砾石，砾石面积比例占表土40％，出苗后揭开地膜并及时浇水，保留砾石；

[0012] 乔木/灌丛采用移植或栽植，保持待移栽的灌木苗、乔木苗根系湿润，然后将根系蘸上泥浆或保水剂后装入植苗桶，植苗桶内注入浸过苗根的水，提桶植苗栽培；栽后平整栽植穴表面，覆盖表土厚度为20～25cm；栽培结束一周内，对苗木进行扶踩；

[0013] 4)海拔在4000m以上的高山区域为高寒草甸，采用草皮移植或建植的方式进行植被恢复，其中：

[0014] 草皮移植是通过草皮剥离、堆存养护、回植实现植被恢复；

[0015] 建植是以老芒麦和披碱草作为植被恢复草种，采用人工建植草地的方式进行植被恢复；

[0016] 草皮移植时，原草皮切割区域最长边不大于50cm、最短边不小于25cm，草皮转运堆放时预留一定空间；草皮回植时，先回填有机土层上并在10cm下放置砾石，并保证回植平顺，使草皮根部与土壤无缝衔接；草皮回植后，草隙用腐殖土填塞密实，将草皮轻轻拍实；草皮回植后及时恢复其原有的生长环境；

[0017] 人工建植草地时，将表层土壤剥离后，采用块状整地方式整地，开沟并留出行距15cm～20cm，草种单播或混播，沟播时深种浅出；播后及时压实，播种后及时进行田间管理；草叶枯黄后将草皮覆盖。

[0018] 与现有技术相比，本发明具有以下有益的技术效果：

[0019] 本发明基于藏东南干暖河谷多砾石、气候干旱的生态条件提出渣场人工草地和经果林建植技术、亚高山土料场草-灌-林人工植被恢复技术和高寒区土料场草皮移植与人工草地建植技术。本发明摸清了自然环境要素的现状，模拟施工情景，监测区域环境要素的动态变化特征，开展水电开发扰动下的高原高山峡谷区域植被恢复研究，集成监测、试验平台和情景模拟，形成针对性、科学的恢复技术和模式，填补高寒区域该领域相关的空白。

[0020] 本发明在干暖河谷利用薄膜的覆盖有利于保持土壤水分，防止水分从渣石缝隙中渗出与流失，薄膜可以随着时间的变化逐渐降解，不污染环境；而采取生物量大和固氮植物燕麦和紫花苜蓿为种植植物；燕麦生长速度快，生物量大，而且还可以结实，有利于增加当地牧民收入；苜蓿是豆科植物，自身可以固氮，改良土壤，而且苜蓿饲用价值比较高；两种植物的混合有利于提高植被恢复效率和提高当地牧民收入。本发明的人工草地建植选择苜蓿与燕麦组合，成活率较高，现状盖度达90％以上；选择核桃经果林进行种植，成活率均在

90%以上;所建立的经果林也可以通过收获果实,产生直接的经济收入。

[0021] 本发明在亚高山区选择垂穗披碱草和紫花苜蓿作为人工草地建植物种,或者选择垂穗披碱草、老芒麦作为单播草种,结果表明人工草地长势良好,盖度达到80%以上;进一步建议在覆改的表土上层置放砾石,有利于土壤保温、保水和保肥,进而促进植物根系生长;本发明通过探索人工草种建植及其比例搭配、砾石促进植物生长的置放技术、表土覆盖厚度最佳方案、乔灌木移植和养护手段、以及芒苞草草皮移植等技术,通过3年的连续监测,构建了良好的植被恢复方案:经过两个生长季的养护后云杉树种存活率接近100%,表明云杉作为当地的乡土种对环境的适应能力较强,是今后植被恢复的理想乔木。

[0022] 本发明提供的高寒区土料场草皮移植与人工草地建植方法,充分考虑到高寒区土料场草皮的特殊性,注意到了高寒草甸草皮块在切割时的大小和厚度与存活性的关联性,提出切割区域最长边不要大于50cm、最短边不要小于25cm,防止分块过小切断植物根系导致草皮枯死,而过大既不利于搬运又影响草皮回铺后与地面的贴合进而降低成活率;并且在回植和堆放时需要做到草皮底部与土壤完全接触,这样草皮块能通过冬季锻炼,完全返青存活;同时堆放空间要满足草皮块不要重叠堆放的要求,以免因浇水不及时,草皮块与草皮块之间因空气缺乏导致草皮死亡。本发明在草皮移植过程中克服了技术偏见,保障了高寒区土料场草皮移植的过冬,实现其在严苛环境存活。

附图说明

[0023] 图1为不同覆土厚度及有无防渗措施土壤体积含水量;

[0024] 图2为人工草地不同草种组合地上部生物量;

[0025] 图3为不同覆土厚度及有无防渗措施核桃树苗成活率;

[0026] 图4为不同覆土厚度及有无防渗措施土壤体积含水量;

[0027] 图5-1、图5-2均为根系“包裹”着砾石生长的展示图;

[0028] 图6-1为砾石置放层次对土壤温度的影响;

[0029] 图6-2为砾石置放层次对土壤湿度的影响;

[0030] 图7-1～图7-3为砾石置放层次对垂穗披碱草春季返青的影响,分别为砾石覆盖表层、砾石置于中层、砾石置于下层;

[0031] 图8为高寒人工草种筛选试验示意图;

[0032] 图9为密度与施肥对披碱草第一年生物量分配的影响。

具体实施方式

[0033] 下面结合实施例对本发明做进一步详细描述,所述是对本发明的解释而不是限定。

[0034] 一种高海拔水电开发区域植被恢复方法,具体以绒曲渣场、拉乌1#和拉乌山土料场植被恢复试验场地来进行说明渣场人工草地和经果林建植技术、亚高山土料场草-灌-林人工植被恢复技术和高寒区土料场草皮移植与人工草地建植技术。

[0035] 拉乌山试验场:设置了围栏、标识牌、简易板房等设施,选择高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾作为人工草地建植物种,现各草种长势良好,冬季也无需再进行保暖,草种来年仍可以返青,盖度达80%以上;草皮移栽区域采用单层移栽,各草皮均已成活,成活率接近

100%。

[0036] 拉乌1#试验场:设置了围栏、蓄水池、径流场、标识牌、简易板房等设施,目前均能正常运行,本试验场筛选垂穗披碱草和紫花苜蓿作为人工草地建植物种,现状长势良好,盖度达到80%以上。此外,本试验场进行了云杉种植试验,经过两个生长季的养护后云杉树种存活率接近100%,目前场地内云杉仍成活。

[0037] 绒曲沟试验场:设置了围栏、标识牌等设施,目前保存良好。人工草地建植选择苜蓿与燕麦组合,成活率较高,现状盖度达90%以上;此外,根据当地实际,选择苹果、核桃、桃树等经果林进行种植,成活率均在90%以上,整个试验区基本覆盖植被,治理效果良好。

[0038] 实施例1干暖河谷人工草地植被恢复

[0039] 具体以海拔2000~3000m的干暖河谷渣场的植被恢复来进行说明。该干暖河谷渣场(绒曲渣场)为典型的藏东南地质条件,生态环境脆弱,渣场区域主要由弃渣堆积形成,渣场区域立地条件差(全部为砾石),气候干旱,植被恢复难度大,其植被恢复技术可推广至2000~3000m海拔的相关工程扰动区域。

[0040] 为了筛选生态与经济效益兼具的渣场人工草地建植恢复模式,通过渣场土壤改良、防渗处理、覆土厚度、草种组合处理和恢复效果监测开展人工草地建植模式筛选。

[0041] 1、地基改良及防渗处理

[0042] 土壤改良:由于渣场会存在相当几率的砾石暴露,因此选择直径10cm~40cm的砾石混合,铺设厚度为30cm~40cm模拟渣场情景;

[0043] 在平整过的渣场,添加牛粪肥2kg/m^2进行土壤改良;牛羊粪肥属于有机肥,可以在改善土壤质地的同时,为植物生长提供有效的养分,利于植物生长。

[0044] 防渗处理及覆土厚度:土层厚度决定了土壤持水能力,设覆土厚度分别10cm、20cm、30cm和40cm进行筛选;

[0045] 防渗处理:选择0.05~0.07mm的薄膜进行铺盖,薄膜的覆盖有利于保持土壤水分,防止水分从渣石缝隙中渗出与流失;薄膜可以随着时间的变化逐渐降解,不污染环境。

[0046] 进行以上处理后同时监测土壤水分、温度和植物生长状况。

[0047] 不同覆土厚度及有无防渗措施土壤体积含水量结果如图1所示;结果表明:在土壤深10cm处的含水量较低,这是由于在绒曲渣场位置,属于干暖河谷,气温高,日照强,因此土壤水分蒸发快,导致表层土壤体积含水量较低。

[0048] 在设有防渗层和无防渗层的土壤体积含水量有较大的区别,在无防渗层(15cm-CK,30cm-CK)处理中的土壤15cm处的体积含水量较高,在土壤30cm(30cm-CK)处土壤体积含水量最低,这可能是由于底部全部为渣石,保水性差,所以在土壤体积含水量较低;在15cm处含水量较大,这可能是由于土壤结皮,导致水分蒸散减少,同时水分通过毛细作用上升,这可能导致了在土壤15cm处体积含水量较高。在有防渗层处理中(15cm-FS,30cm-FS)土里15cm处和30cm处的土壤含水量不存在较大差异,说明土壤保水性得到保持。

[0049] 土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾碱解氮和阳离子交换量的含量随着覆土厚度的增加而增加,说明覆土厚度增加有利于增加植物的生长。而且在覆土20cm时,防渗层可以增加有机质、全氮、有效磷、速效钾的含量,而在覆土30cm时,防渗层对土壤营养元素不存在显著影响。

[0050] 在覆土10cm后,植被可以自然恢复。但是地上生物量不如人工草地生物量高。覆土

20cm和覆土30cm的地上生物量高于覆土10cm的地上生物量。在覆土20cm和30cm有防渗措施和无防渗措施的地上生物量不存在显著的差异。地下生物量在覆土10cm中生物量较高，在覆土20cm和30cm有防渗措施和无防渗措施处理中地下生物量没有显著差异。从以上研究结果可以看出，覆土10cm也可以让植被恢复，但是生物量较低，而增加覆土厚度可以增加生物量。

[0051] 所以，选择20～30cm土层厚度并进行防渗处理可以在干暖河谷蒸发量大的情况下，维持土壤含水量，保证植物的存活。

[0052] 2、草种筛选：

[0053] 在该干暖河谷(海拔2000～3000m)开展植物多样性调查。

[0054] 采用植物区系学和植物群落学相结合的调查方法，初步将披碱草、老芒麦、苜蓿、燕麦4种物种来作为候选的草种。

[0055] 然后建立人工草地进一步筛选：在每平米播种20g种子的时候，单独植物种植时，燕麦的地上部生物量最大，而单独种植披碱草和老芒麦的地上部生物量最小；

[0056] 两种植物组合种植时，苜蓿与燕麦生物量最大，披碱草和老芒麦生物量最小；

[0057] 三种植物组合时，苜蓿燕麦老芒麦组合地上部生物量最大，苜蓿披碱草老芒麦组合地上部生物量较小；

[0058] 四种物种组合种植时，4种物种地上部生物量没有1种或者2种植物组合生物量高。

[0059] 筛选结果如图2所示，表明由于燕麦生物量大，生长速度快，苜蓿可以固氮，增加土壤氮，而老芒麦和披碱草虽然可以成活，但是生物量较小，不适宜在绒曲渣场种植，因此绒曲渣场的人工草地建植选择苜蓿与燕麦组合比较合适。

[0060] 进一步，对不同覆土厚度及有无防渗措施的燕麦和苜蓿叶片营养元素含量的分析。燕麦全氮、全碳和全磷含量随着土壤覆土厚底的增加呈增加的趋势，但是不存在显著差异。

[0061] 苜蓿叶片全氮、全碳和全磷含量随着土壤覆土厚底的增加呈增加的趋势，但是不存在显著差异。苜蓿叶片全氮含量显著高于燕麦叶片全氮含量，这是由于苜蓿是固氮植物，所以叶片全氮含量较高。

[0062] 综上，在绒曲渣场人工草地建植可以采用燕麦和紫花苜蓿组合，虽然覆土10cm也可以让植被恢复，但是地上生物量较低。而通过分析土壤含水量的变化趋势，建议渣场人工草地覆土厚度应在20cm-30cm，可以保证草本植物的正常生长，而且采取防渗措施，有利于保证植物较好的生长。

[0063] 下面给出该干暖河谷草地具体的恢复措施

[0064] 1)人工草地种植

[0065] A整地

[0066] 在平整过的渣场，选择0.05～0.07mm的薄膜进行铺盖。薄膜的覆盖有利于保持土壤水分，防止水分从渣石缝隙中渗出与流失，0.05～0.07mm的薄膜可以随着时间的变化逐渐降解，不污染环境。

[0067] B覆土

[0068] 土层覆盖厚度20～30cm。土层厚度决定了土壤持水能力，20～30cm土层厚度可以在干暖河谷蒸发量大的情况下，维持土壤含水量，保证植物的存活。

[0069] C土壤改良

[0070] 添加牛羊粪肥1000～1300kg/亩进行土壤改良。牛羊粪肥属于有机肥，可以在改善土壤质地的同时，为植物生长提供有效的养分，利于植物生长。

[0071] D人工草地种植

[0072] 种植种子符合国家种子分级标准，纯度和净度不低于95％，发芽率不低于90％，种子不得携带检疫对象。燕麦生长速度快，生物量大，而且还可以结实，有利于增加当地牧民收入；苜蓿是豆科植物，自身可以固氮，改良土壤，而且苜蓿饲用价值比较高；两种植物的混合有利于提高植被恢复效率和提高当地牧民收入。

[0073] E播种深度

[0074] 针对西藏地区春旱严重、易跑墒、保苗难的特点，要采用深种浅出的保苗措施。改良过的土壤，挖沟深10～15cm，宽10～15cm。选择燕麦与苜蓿种子混播比例0.8:1.2～1:1；10～13kg/亩进行沟播。

[0075] F田间管理

[0076] 在播种后，进行平地，然后进行灌溉。

[0077] 在燕麦三叶期、五至六叶期(时间约在三叶期后15d左右)、拔节后期至开花期和乳熟期进行灌水，这是燕麦丰产的保证。

[0078] 在干暖河谷中，由于在5月至8月份蒸发量大，降雨少，应增加灌溉次数，10天灌溉一次。同时防止土壤水分过大，造成燕麦倒伏。

[0079] 实施例2干暖河谷经果林植被恢复

[0080] 鉴于对干暖河谷的生态条件，选择核桃进行模拟渣场经果林种植，通过模拟渣场情景、防渗处理、覆土厚度处理和恢复效果监测开展核桃经果林建植模式筛选：

[0081] 在种植穴内铺设厚度为30cm～40cm，直径10cm～40cm的砾石混合，模拟渣场情景；种植穴内覆土厚度分别50～60cm、70～80cm和90～100cm以及防渗处理；添加牛粪肥4～5kg.m^{-2}穴进行土壤改良；选择树径3cm～4cm核桃种植，核桃树根用100mg.kg^{-1}生根粉溶液浸泡；每个处理种植10株核桃树苗，同时监测土壤水分和植物成活率。

[0082] 不同覆土厚度及有无防渗措施核桃树苗成活率如图3所示、不同覆土厚度及有无防渗措施土壤体积含水量如图4所示；结果表明，在土壤深15cm处的含水量较低，这是由于在绒曲渣场位置，属于干暖河谷，气温高，日照强，因此土壤水分蒸发快，导致表层土壤体积含水量较低；

[0083] 在设有防渗层和无防渗层的土壤体积含水量有较大的区别，在无防渗层(60cm-CK，80cm-CK)处理中土壤体积含水量在土壤深度60cm处和80cm处与土壤15cm处的体积含水量相近，这可能是由于底部全部为渣石，保水性差，所以在土壤体积含水量较低，而且含水量会随着时间的变化有较大的变化；

[0084] 在有防渗层处理中(60cm-FS，80cm-FS)土壤深度60cm处和80cm处的土壤含水量不存在较大差异，说明土壤保水性得到保持，而且与土壤深度100cm处，有无防渗措施土壤体积含水量差别不明显。

[0085] 综上，根据核桃树苗的存活率和土壤体积含水量的变化以及覆土厚度的经济成本，建议在渣场核桃经果林建植过程中覆土厚度在70～80cm，同时采取一定的防渗措施(经果林建植采用种植穴铺设薄膜防渗，覆土80cm)，可以保持土壤水分和养分。根据土壤水分

的监测，在干暖河谷气候下，注意冬春季的灌溉，每周灌溉一次，有利于经果林树木存活。

[0086] 实施例3亚高山植被恢复

[0087] 针对高寒/亚高山地区(乌山1#土料场区，属于横断山西部的三江并流区)生态环境具有敏感性、脆弱性、异变性特征进行植被恢复。如美坝址所在区内河谷深切，河谷与两岸山顶气候生态环境迥异，当地土壤资源稀缺，尤其是耕地资源尤为宝贵。

[0088] 本发明通过模拟开挖、人工种草、乔灌木移栽、养分控制、野外监测等试验手段，探索人工草种建植及其比例搭配、砾石促进植物生长的置放技术、表土覆盖厚度最佳方案、乔灌木移植和养护手段、以及芒苞草草皮移植等技术，下面对其分别进行说明。

[0089] 3.1)筛选垂穗披碱草、老芒麦和紫花苜蓿作为人工草地建植物种

[0090] 根据表1所示的草种试种后的生物量情况，以生物量现存量和耐牧性两个角度来分析，建议拉乌山1#土料场选择垂穗披碱草、老芒麦作为单播草种较为合适。

[0091] 表1不同草种的播种方式的生物量

[0092]

播种方式	草种	总生物量(g/m^2)		地上生物量(g/m^2)		地下生物量(g/m^2)	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
单播	垂穗披碱草	228.00±26.61	848.87±72.25	103.20±20.83	318.73±50.65	125.60±13.39	530.13±40.04
	老芒麦	225.47±62.85	810.67±24.69	72.00±6.50	382.33±9.62	153.46±56.80	428.33±28.14
	紫花苜蓿	96.80±19.00	174.13±37.90	31.20±7.55	60.13±15.08	65.60±15.23	114.00±25.36
	燕麦	41.87±6.03	798.60±59.19	16.13±2.87	595.40±56.82	25.73±4.13	203.20±2.50
混播	燕麦+垂穗披碱草	170.80±51.48	489.67±65.01	48.00±10.51	243.47±29.27	122.80±42.64	246.20±35.75
	燕麦+紫花苜蓿	90.40±10.28	493.53±62.61	26.50±1.76	260.60±15.79	63.87±11.49	232.93±61.02
	垂穗披碱草+老芒麦	184.00±38.71	421.07±13.26	50.00±5.23	261.27±18.91	134.00±33.71	159.80±18.38
	紫花苜蓿+垂穗披碱草	68.13±5.27	399.03±48.63	47.47±3.01	205.37±32.81	38.67±2.47	193.67±16.08
	紫花苜蓿+老芒麦	217.47±54.48	330.93±32.84	61.20±4.61	181.67±21.88	156.27±50.15	149.27±24.57
	燕麦+老芒麦	150.93±27.72	523.60±27.49	55.60±3.49	261.07±45.79	95.33±24.35	262.53±56.94

[0093] 倘若需要综合考虑生态恢复后期豆科植物的固氮效应，建议选择垂穗披碱草和老芒麦与紫花苜蓿混播较为合适；垂穗披碱草、老芒麦和紫花苜蓿采取混播，生物量不易分开统计，现存地上生物量约245g/m^2。从草种选择时，便考虑了一定的耐牧性，以上搭配耐牧性强。

[0094] 3.2)优选不同表土覆盖厚度下人工牧草生长的最佳方案

[0095] 表土覆盖厚度为30cm是混播草种生长较为有利且效益较高的恢复方式，该方案可以使得冠层生物量、根系0-25cm以及根系25-50cm在2015年分别达到111.47、139.47和51.87g/m^2；而在2016年分别达到86.67、99.53、27.07g/m^2(表2所示)。

[0096] 表2筛分表土厚度(包括砾石比例)对混播草种生物量的影响

[0097]

表土厚度(cm)	砾石比例(%)	冠层生物量 (g/m^2)		根系生物量 0-25cm (g/m^2)		根系生物量 25-50cm (g/m^2)	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
50cm	0%	92.93±4.87a	65.53±5.48b	138.80±20.42a	68.13±11.92bc	17.20±3.49bc	9.13±3.49b
40cm	20%	94.80±9.95a	71.47±7.29ab	128.93±17.54a	78.63±8.33ab	40.93±12.36 ab	29.80±6.72a

[0098]

30cm	40%	111.47± 10.74a	86.67± 2.24a	139.47± 10.63a	99.53± 10.34a	51.87± 17.55 a	27.07± 1.73a
20cm	60%	39.07± 2.70b	39.00± 6.52c	54.53± 8.98b	39.87± 4.49c	13.20± 1.39c	7.03± 1.59b

[0099] 注:不同的小写字母代表存在显著性差异差异性(P=0.05)

[0100] 表3筛分表土厚度(砾石比例)对紫花苜蓿生物量的影响

[0101]

表土厚度(cm)	砾石比例(%)	冠层生物量 (g/m^2)		根系生物量 0-25cm (g/m^2)		根系生物量 25-50cm (g/m^2)	
		2015	2016	2015	2016	2015	2016
50cm	0%	16.53± 1.74a	61.33± 6.97a	44.80± 6.28a	104.73± 11.96a	19.20± 1.80a	26.73± 2.92a
40cm	20%	12.13± 0.74b	41.93± 11.45a	22.93± 4.14b	76.27± 15.74a	20.13± 2.55a	27.60± 2.39a
30cm	40%	7.33± 0.35c	12.53± 1.00b	19.33± 0.71b	23.60± 1.36b	18.00± 0.69a	11.87± 0.81b
20cm	60%	9.47± 0.48bc	11.90± 1.69b	19.87± 0.74b	20.40± 2.37b	3.20± 0.69b	5.27± 1.05c

[0102] 注:不同的小写字母代表存在显著性差异差异性(P=0.05)

[0103] 表土覆盖厚度为50cm是紫花苜蓿生长较为有利且效益较高的恢复方式,该方案可以使得冠层生物量、根系0-25cm以及根系25-50cm在2015年分别达到16.53、44.80和19.20g/m2,而在2016年分别达到61.33、104.73、26.73g/m2(表3所示)。

[0104] 表土覆盖厚度为40cm是垂穗披碱草生长较为有利且效益较高的恢复方式,该方案可以使得冠层生物量、根系0-25cm以及根系25-50cm分别达到62.93、125.33和33.33g/m^2(如表3所示)。

[0105] 表3未筛分表土厚度(砾石比例)对垂穗披碱草生物量的影响

[0106]

表土厚度(cm)	砾石比例(%)	冠层生物量(g/m^2)	根系生物量 0-25cm(g/m^2)	根系生物量 25-50cm(g/m^2)
50cm	0%	62.93±2.77a	125.33±2.09a	33.33±4.33a
40cm	20%	58.27±2.92a	111.86±8.23a	43.73±4.04a
30cm	40%	42.40±2.20b	92.67±4.42b	36.67±6.63a
20cm	60%	38.67±0.93b	86.00±2.88b	41.20±3.21a

[0107] 注:不同的小写字母代表存在显著性差异差异性(P=0.05)

[0108] 总体而言,表土厚度过薄,砾石比例大,有利于冬季保温,但不利于保水;表土过厚,缺乏砾石的保温作用,因此冬季土壤温度较低,但土层孔隙度小,利于保水。

[0109] 土层覆盖厚度对0-10cm土壤pH、有机质、全氮影响不显著。紫花苜蓿样地中较薄的表土覆盖(20～30cm)土壤全磷和有效磷含量较高,而种植混播草种的土壤全磷和有机磷最高值位于深厚度的表土覆盖(40～50cm)样地。有效氮最高值位于种植紫花苜蓿20cm表土覆盖的样地中,可能与豆科植物具备一定的固氮能力有关。下层土壤(10-20cm)全氮、有效磷和有效氮含量在不同物种和表土厚度下差异不显著,而全磷含量最高值位于种植紫花苜蓿

30cm表土覆盖的样地中。

[0110] 低水平的复合肥(20g/m^2)就可以有效改善土壤养分含量。

[0111] 3.3)促进植物根系生长的土壤砾石置放技术

[0112] 在拉乌山1#亚高山地区，砾石置放在表层(0-10cm)、中层(20-30cm)和下层(40-50cm)，均会显著促进该层植物根系的生长。相较于砾石置放于下层，砾石置放表层可以促进总生物量提高76～100％(2015年)和43～61％(2016年)。有意思的是植物根系呈现“包裹”砾石生长的特征(如图5-1、图5-2所示)，由于本地区降水较少，且蒸发旺盛，土壤中水分不易保存。而土壤中砾石具有一定的孔隙，本身具有一定的吸水性能，起到了保存水分的作用，因此砾石层的存在有利于植物根系的生长。这种促进作用在砾石置于表层和中层样方内表现的更为明显。

[0113] 砾石覆盖于土壤表层还有利于冬季保温，平均温度可以提高4℃(图6-1、图6-2所示)。此外，砾石置放层次对土壤肥力影响显著，砾石覆盖于土壤表层，有利于保持土壤肥力，避免肥料被雨水冲刷流失。

[0114] 因此，拉乌山1#土料场的植被恢复试验，在回覆的表土中，适当混进一定比例的砾石，特别是砾石置放于土壤表层，有利于植物根系生长。另外研究发现，表层覆盖砾石由于可以拦截降雪，减少土壤蒸发的作用(降雪减少所以蒸发量小，有利于保温)，有利于植物春季萌发和返青(与草本在亚高山越冬时温度影响比水分影响更大相符合，如图7-1、图7-2、图7-3所示)。

[0115] 3.4)优选边坡不同表土覆盖厚度下人工牧草生长的方案

[0116] 表土覆盖厚度为30cm和40cm是老芒麦生态效益最高的恢复方式，该方案可以使得冠层生物量、根系生物量和总生物量达到最高。考虑到表土覆盖成本问题，建议在边坡上覆盖表土厚度为30cm。

[0117] 3.5)芒苞草草皮移植和养护技术

[0118] 经过一年的观察，发现芒苞草种子萌发较为困难，可以判定芒苞草并非以种子方式进行繁殖，而是通过根分蘖形式进行繁殖。建议芒苞草以草皮整体保护为主。就地保护的芒苞草草皮基本都可以成活。但迁地保护由于海拔、地形和气候等环境要素的改变，经过养护后，仍有小部分死亡率，多数草皮可以成活率。

[0119] 3.6)云杉异地建植

[0120] 一是现场试验，成活率90％以上，二是芒康县至如美镇的行道树选择了云杉，整个成活率较高，长势较好；

[0121] 经过两个生长季的养护后云杉树种存活率接近100％，表明云杉作为当地的乡土种对环境的适应能力较强，是今后植被恢复的理想乔木。

[0122] 圆柏和高山栎移植方法和技术

[0123] 移植区在下层土壤中进行移栽(模拟取土场)，回填表土和回填下层土壤存活率均较低。圆柏经过两个生长季的观察，低于10％。高山栎移植成活率低于50％。

[0124] 实施例4亚高山植被恢复包括以下操作：

[0125] 1)人工草地建植

[0126] A整地

[0127] 春季播种前在无表土区域覆表层客土：若人工草地为混播草种(按垂穗披碱草与

紫花苜蓿以1:1的质量比混合，或者按老芒麦与紫花苜蓿以1:1)，则草地底面覆盖土层厚度为30cm；若人工草地为单播垂穗披碱草，则草地底面覆盖土层厚度为40cm；若人工草地为单播紫花苜蓿，则草地底面覆盖土层厚度为50cm；若人工草地为边坡单播老芒麦，则覆盖土层厚度为30cm；

[0128] 覆盖土层翻后耙细、拖平。整地后施入复合肥30g/m^2，复合肥中氮磷钾比例1:0.5:1.5；利用人工或者农机具使土壤和肥料充分混合，并耙平耙细土壤。

[0129] 播前灌水是垂穗披碱草种子萌发、生长、成活的关键。在春翻地的基础上，打畦、筑埂进行灌水。播前灌溉一定要提高灌水技术，保证灌水质量，防止漏灌和洼地积水，以免影响播种期。

[0130] B播种

[0131] 适宜播种期为5月1日～5月30日。利用机械或者人畜力开沟条播，行距:20～30cm，人工均匀撒播，播种量:300kg/hm^2。

[0132] 针对西藏干暖河谷地区春旱严重、保墒难、保苗难等特点，要采用深种浅出的保苗措施，适宜的播种深度3～5cm。

[0133] 播种后要及时进行镇压，做到当天播种当天镇压，防止跑墒，最好做到顺播横压，提高镇压效果。播种后覆盖地膜可起到保温保水的作用，薄膜四周用石块和土壤压实，避免被风吹走，直至出苗。出苗后，可揭开地膜。播种后覆盖5～10cm粒径的砾石，可以起到保温保水的作用，直至出苗。出苗后，砾石保留。

[0134] C田间管理

[0135] 垂穗披碱草苗期生长缓慢，播种当年，应注意除杂、禁牧。出苗后一个月内，每周浇水一次，保证垂穗披碱草生长。后期灌水可根据实际降雨情况浇水，发现旱情要及时灌水1～2次，同时防止土壤水分过大，造成垂穗披碱草倒伏。

[0136] 2)云杉种植

[0137] A整地

[0138] 除冬季土壤冻结时，其余季节均可整地(雨量少、冬春干旱的地方，整地必须在雨季前进行)。春季栽培应在前一年的雨季前整地，最迟在前一年秋季整地。在土层深厚肥沃的熟耕地上和土壤湿润、杂草覆盖率不高的新采伐迹地也可不提前整地，随整随栽。

[0139] 人工穴状、水平沟整地用于多风、雨量偏少、地形破碎，土层中厚、不积水地段。规格为宽×深:50cm×30cm，株距根据栽培密度确定。栽培密度要根据当地立地条件和经营价值取向确定适宜的密度，一般为3330株/hm^2～5000株hm^2。

[0140] B栽培

[0141] 保持根系湿润，苗木运到栽培地后装桶，提桶植苗栽培。

[0142] 在运输过程中，不得重压、日晒，注意保湿、防捂(采用三角支撑防重压、并设无纺布苫盖防晒、加强初期浇水管理注意保湿)。

[0143] 就地假植，栽前装入植苗桶(注入浸过苗根的水或用保水剂蘸，保水剂为爱森保水剂)，提桶栽培。

[0144] 种植时间以土壤解冻深度达到或超过苗木根长20cm～25cm为宜，一般在4月末5月初进行。当修剪受伤的根系、发育不正常的偏根、过长的主根和侧根。将根系蘸上稀稠适当的泥浆或保水剂。

[0145] 在定苗点直立开缝，随插锹随重复前推后拉，缝隙宽3cm～5cm左右。深送浅提，舒展根系(深度埋没地基径处1cm～2cm)，脚踩定苗。离苗5cm左右垂直下锹，先拉后推，挤实苗根，重复一次，最后半锹堵住锹缝。平整穴面，覆盖表层喧土厚度为25cm。栽培结束一周内，对苗木进行扶踩，于次年春季解冻后再次进行苗木复植和扶踩。

[0146] C管理

[0147] 由于云杉幼苗期生长缓慢，需要每年定期进行进行除杂管理。除保留苗木根系周围5cm左右的杂草外，其余全部割除，并将割掉的篙草及灌木清理至林地外。

[0148] 本发明通过探索人工草种建植及其比例搭配、砾石促进植物生长的置放技术、表土覆盖厚度最佳方案、乔灌木移植和养护手段、以及芒苞草草皮移植等技术，通过连续3年的连续监测，构建了良好的植被恢复方案：经过两个生长季的养护后云杉树种存活率接近100％。

[0149] 实施例5高寒植被恢复

[0150] 具体以拉乌山来进行说明；其地处芒康县西侧，距芒康县直线距离约7Km，经度：98.5234669°，纬度：29.7027983°。该区域高海拔，温差大，降水少，蒸发量大为主要气候特点，植被恢复需克服高海拔、低降水，大温差等难题。加之区域属于生态脆弱区，生态系统结构稳定性较差，自我修复能力较弱，生态系统一旦发生退化难以恢复。

[0151] 鉴于在海拔约4000m以上的高原高海拔区域原生植被被破坏后，由于生态系统脆弱，自我恢复能力低，土壤内无种子库。同时通过连续观测发现，该区域表土被剥离后，先锋物种很少出现，3年时间仅出现几株蒿类植物和1株早熟禾。因此通过建立先锋物种搭建物种框架的办法在短期内很难恢复生态功能，因此本区域内植被恢复需通过人工介入。

[0152] 植被回植主要指对原区域的草皮进行剥离，灌木进行移栽，区域利用完毕后，将草皮和灌木又移栽回原区域；建植是重新购买植被种对扰动区域进行植被恢复。回植充分利用原区域的树草种资源，但需考虑移栽场地，在高寒区多次移栽成活率难以保证；建植无需考虑移栽场地，但对原生植被保护不够，建植需考虑植被购买，运输等其他费用。

[0153] 下面对拉乌山土料场植被恢复与模式进行说明。

[0154] 5.1)人工草地建植及其越冬

[0155] 通过对人工草地选择，种植1年(如图8所示)，经历了近6个月的冬季锻炼(如不经过冬季考验，不清楚第二年是否能存活，不能评价恢复长期效果)后，结果表明紫花苜蓿、无芒燕麦在海拔4200m左右的区域不太适合，第一年长势良好，但经历一个冬季，第二年未能存活返青；而无芒燕麦属于一年生禾草虽然长势较好，但不适合取土场的长期恢复(一年生不适宜长期)。

[0156] 披碱草和老芒麦，在海拔4200m左右的区域生长较为适合，披碱草和老芒麦，同属披碱草属，是旱中生牧草，适应性广，特耐寒抗旱，在冬季-41℃的地区能安全越冬，生长期4-5年，故在本区域能生长较好。

[0157] 高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾混合草种在经过一个冬季的锻炼，第二年也未能返青存活。但是采取一定的保暖措施——即覆盖一层秸秆，来年这几种禾草也能生长较好。

[0158] 因此所筛选适宜该区域的物种为披碱草、老芒麦，其分类情况如表1所示。

[0159] 表1适宜乌拉山的植被恢复物种

[0160]

物种中文名	老芒麦	垂穗披碱草

物种拉丁名	Elymus sibiricus Linn	Elymus nutans Griseb.
界	植物界	植物界
门	被子植物门	被子植物门
纲	单子叶植物纲	单子叶植物纲
目	禾本目	禾本目
科	禾本科	禾本科
亚科	早熟禾亚科	早熟禾亚科
族	小麦族	小麦族
属	披碱草属	披碱草属

[0161] 5.2)草皮层剥离、养护和回植技术

[0162] 扰动区的土壤改良：表土回填前清理回填区域建筑垃圾，填坑补凹进行地面修整，修整完成后边坡一般采用人工覆土，覆土厚度10～20cm，平地区域采取机械覆土，厚度多为30cm。

[0163] 将土料场剥离的草皮部分回植于改良后的扰动区的土壤上(施以有机肥2kg/m^2)或化肥(30g/m^2)或无处理，部分仍堆放在堆放区。

[0164] 从2015年7月剥离、回植后，经过近1年的养护，特别是经历了6个月的冬季(11月至4月)锻炼后，于2016年6月观察发现，这些草皮基本已返青存活。

[0165] 在剥离、回植过程中，注意到了高寒草甸草皮块在切割时的大小和厚度与存活性的关联性，提出切割区域最长边不要大于50cm、最短边不要小于25cm，防止分块过小切断植物根系导致草皮枯死，而过大既不利于搬运又影响草皮的存活性；因此，高寒草甸草皮块在切割时应注意大小和厚度，

[0166] 本发明提出以下草皮块切割的实现方式：草皮分块的边长控制在30cm～50cm之间，根据反复试验的成果，开挖时基本就可以按以上边长控制分块，可人工采用锄头分块，分块不用非常规格。

[0167] 同时草皮块不要重叠堆放，以免因浇水不及时，草皮块与草皮块之间因空气缺乏，导致草皮死亡。

[0168] 在回植和堆放时应注意底部与土壤完全接触：进行整地，修整地形，覆土场平，草隙用腐殖土填塞密实；轻轻拍实草皮，防止翘角和鼓包，以上措施可保证回植和堆放时底部与土壤完全接触。这样草皮块能通过冬季锻炼，完全返青存活。具体的回植采用机械，人工运输，人工回植，资金来源于水保概算，以保障回植工作。

[0169] 5.3)人工草地建植

[0170] 人工草地草种筛选，选择了紫花苜蓿、无芒燕麦、披碱草、老芒麦以及高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾混合草种，种植1年，经历了近6个月的冬季锻炼。

[0171] 结果表明紫花苜蓿、无芒燕麦在海拔4200m左右的区域不太适合，第一年长势良好，但经历一个冬季，第二年未能存活返青。这可能是由于紫花苜蓿生长的最适气温为15～25℃，高于30℃生长变缓或出现休牧，低于5℃地上部生长停滞，低于-2.2℃地上部死亡。而在拉乌山区域，冬季气温明显低于-2.2℃；从12月至3月上旬，土壤表层温度在-0.05～2.53℃之间，含水量也非常低，表明土壤非常干旱。因此即便采取一定的保暖措施(秸秆覆盖)，也未能存活生长。

[0172] 无芒燕麦属于一年生禾草虽然长势较好，但不适合取土场的长期恢复。披碱草和老芒麦，在海拔4200m左右的区域生长较为适合。这可能是因为披碱草和老芒麦，同属披碱草属，是旱中生牧草，适应性广，特耐寒抗旱，在冬季-41℃的地区能安全越冬，生长期4-5年，故在本区域能生长较好。

[0173] 高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾混合草种在经过一个冬季的锻炼，第二年也未能返青存活。但是采取一定的保暖措施——即覆盖一层秸秆(冬季植株已经枯了，覆盖主要是保温，保障第二年能返青)，来年这几种禾草也能生长较好。

[0174] 从植物群落演替1年观测分析来看，拉乌山试验场海拔在4200m左右，选种了披碱草、老芒麦、紫花苜蓿、无芒燕麦和高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾混合草种等草种。结果表明披碱草和老芒麦适合在拉乌山区域种植；而紫花苜蓿和无芒燕麦不太适合；高羊茅、紫羊茅、黑麦草和早熟禾混合草种如若冬季无越冬措施，来年也无法返青存活。

[0175] 经过1年多的生长，拉乌山土料场试验区老芒麦和披碱草长势良好，植株高度可达80-90cm左右；当年播种的无芒燕麦植株高度可达60-70cm，开花后需第二年再重新种植；紫花苜蓿基本无法存活。

[0176] 因此，拉乌山土料场的人工草地建植选择披碱草和无芒燕麦为宜。但如果从经济角度考虑，建议选择披碱草。

[0177] 5.4)草种密度和施肥对披碱草人工草地生物量的影响

[0178] 通过密度和施肥及两者的交互作用分析发现，密度和施肥都对生物量有显著的影响。进行了30g/m^2、40g/m^{2}和50g/m^{2}的密度试验，发现30g/m^{2}种植密度的地上生物量在任何施肥条件下都显著大于其它密度的地上生物量。地下生物量除了在添加农家肥时，密度30g/m^{2}的地下生物量显著大于其他密度的地下生物量外，其他密度或其他施肥条件下的地下生物量均无明显差异；结果如图9所示。

[0179] 结果与理论假设不相符，通常认为理论播种量是最适密度，即在40g/m^{2}达到高产。但试验结果却发现低密度30g/m^{2}的地上生物量和地下生物量(农家肥条件下)最高，而40g/m^{2}和50g/m^{2}的地上生物量和地下生物量无显著差异。这说明40g/m^{2}的理论播种量在本地区中非最适密度，而是播种密度偏大，这就使得每个个体植株平均占有的资源空间小，使个体生长受阻，反而无法获得预想的较高的生物量。因此本发明认为30g/m^{2}为最适播种密度

[0180] 在施肥第一年，农家肥或复合肥后均能显著增加地上生物量，但对地下生物量仅是施农家肥表现出较高的地下生物量。碱解氮在施用农家肥和复合肥后均显著高于不施肥条件，而速效磷则表现出在复合肥施用后显著高于农家肥和不施肥条件。

[0181] 施肥第二年，复合肥或农家肥使得披碱草生物量(包括地上生物量、地下生物量、总生物量和根冠比)均显著高于不施肥，并且复合肥对生物量的效果明显高于农家肥。

[0182] 实施例6高寒植被恢复包括以下操作：

[0183] 6.1)高寒草甸草皮剥离、堆放和回植

[0184] A草皮剥离

[0185] 原生草皮厚(连根系)需约15～30cm，下层腐殖土厚需约10～20cm，方具备剥离条件。剥离应注意季节的选择，尽量选择在降雨较丰富、气候较湿润的季节，一般为每年的6月～8月之间，该季节高寒草甸处于生长期，植物具有较强的生命力，同时气候温暖、湿润，植物易于存活。

[0186] 将扰动范围内的草皮和腐殖土利用机械进行人工剥离，为了便于运输和存放，需将剥离的草皮进行分块，边长控制在30cm～50cm之间，防止分块过小切断植物根系导致草皮枯死。草皮剥离后，下层腐殖土对草皮的回植成活十分重要，应将其集中堆放，以便回植草皮时使用。

[0187] B草皮临时堆放

[0188] 平铺存放：如堆放场地相对宽裕，可采取平铺存放。存放时腐殖土堆放在下部，堆放厚度30～40cm，草皮单层平铺在上部，草皮之间留3～5cm的间隔，间隔之间覆腐殖土，便于草皮生长和后期移植。

[0189] 叠置存放：如堆放场地有限，且施工时间较短，则剥离的草皮存放时间基本也不会太长(不超过3个月)的话，可以选择叠置存放。叠置存放对草皮有一定的影响，但若移植后加强管护，则回铺后还是能在较短时间内恢复植被的。叠置存放草皮时，下部堆放腐殖土，草皮一层一层叠置存放在表面(可叠置3～5层)，叠置存放时需留有一定的交叉空间，以便透气和渗水，草皮及腐殖土堆高1.0～1.5m。草皮存放区以草甸土块挡墙进行挡护，草甸土块挡墙采用梯形断面，叠置摆放草甸土块。

[0190] C草皮临时堆放养护

[0191] 草皮临时堆存时，应尽量选择背风面、地势平坦的地段，如有条件，草皮表面可用防风透气的密目网进行覆盖，避免大风带走蓄含水分，保证草皮存活。表土堆表面以防雨布进行全面覆盖遮挡，避免风力扬沙。在草皮临时堆存区域洒水，保持土壤湿润，保证草皮的需水量。同时应将草皮临时堆存区域设置在较高的地段，如无条件，堆放区域周围应设置水沟，可将大雨时段的多余降水及时排走，避免草皮长期处于淹没状态而腐烂死亡。

[0192] D草皮回植

[0193] 土料扰动前，需对表土进行剥离，有机土来源于前期剥离的表土，砾石覆盖防在表土以下10cm，用土壤对空隙进行回填。草皮回植时，先回填有机土层，并保证回植平顺，使草皮根部与土壤无缝衔接；

[0194] 草皮回植后，草隙用腐殖土填塞密实；回植和填缝均为人工操作，可将草皮轻轻拍实，防止翘角和鼓包。

[0195] E草皮回植后养护

[0196] 应根据实际环境条件和回植草皮生长发育的季节需要，适时对其进行施肥、浇水养护(施肥平均一季度一次，浇水次数根据当年的天气不定，平均一月一次，施肥量：复合肥用量为500kg/hm^2，有机肥20000kg/hm^2。用水量3m^3/100m^2。)，以满足植被对营养和水分的需要。回植后的草皮比较脆弱，需要一段时间才能与底层土壤结合，因此，在草皮回植后10天之内，尽量减少对回植草皮区域的人为或外力扰动，草皮恢复较差区域应相应延长养护期限，使其恢复生长。草皮回植后，应及时清除下层原生植被上洒落腐殖土，恢复其原有的生长环境，促使其及时返青。

[0197] 越冬采用无纺布苫盖保温。

[0198] 6.2)人工草地建植

[0199] A整地

[0200] 将表层土壤剥离后，依据地形是坡地，采用块状整地方法，利用机械进行翻耕，疏松土壤，然后用钉齿耙平整土地。耙深4～10cm，施入农家肥，破碎土块、平整地面，掩埋肥

料，使土肥相融。结合翻耕地，施入农家肥(牛粪或羊粪)2kg/m^2，均匀铺散后进行整地1次，耕翻深度18～20cm，使土壤和肥料充分混合，并耙平耙细土壤。

[0201]　B种植

[0202]　单播或混播。选用垂穗披碱草为主，也可与老芒麦等草种混播。根据实际情况科学、合理地搭配混播比例(草种按1:1进行混合，混合后撒播，用种量200～300kg/hm^2)。适宜播种期为5月下旬-6月初。撒播或条播，以条播为主，利用机械或者人力开沟，行距15cm～20cm，人工均匀撒播，播种量300kg/hm^2。播后及时压实。针对研究区地面多砾石，土壤少的特点，要采用深种浅出(适宜的播种深度3～5cm)的保苗措施，适宜的播种深度3～5cm。在播种后，应及时进行灌溉，浇透水，使种子与水、土、肥充分接触。

[0203]　C田间管理

[0204]　垂穗披碱草为多年生牧草，苗期生长缓慢，播种当年，应注意禁牧。

[0205]　本发明回植或建植的草皮，目前长势均较好，成活率在90％以上，各草皮基本成活，种植的披碱草长势良好，植株高度可达80-90cm左右。

[0206]　以上给出的实施例是实现本发明较优的例子，本发明不限于上述实施例。本领域的技术人员根据本发明技术方案的技术特征所做出的任何非本质的添加、替换，均属于本发明的保护范围。

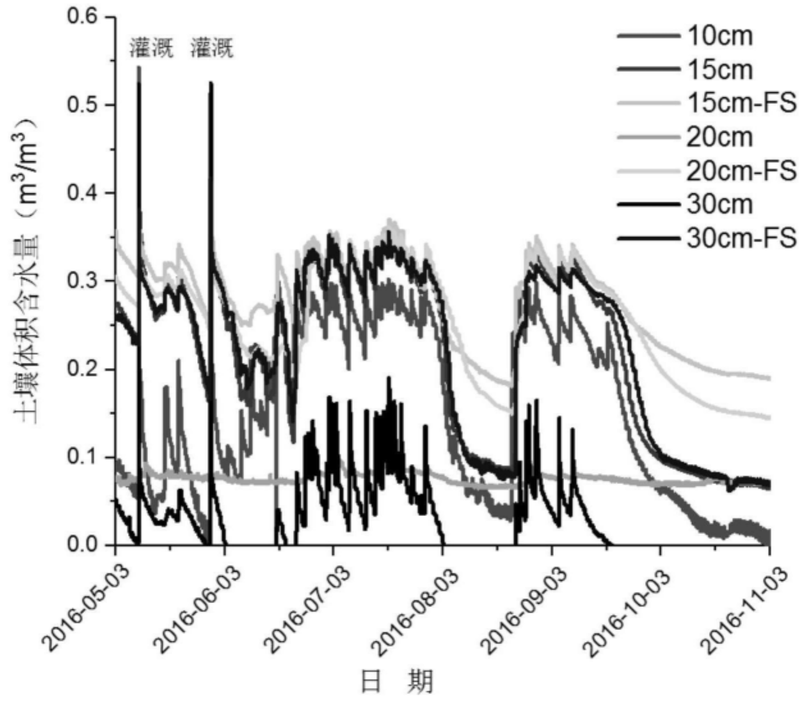

0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
灌溉
灌溉
10cm
15cm
15cm-FS
20cm
20cm-FS
30cm
30cm-FS
土壤体积含水量（m^3/m^3）
2016-05-03
2016-06-03
2016-07-03
2016-08-03
2016-09-03
2016-10-03
2016-11-03
日　期

图1

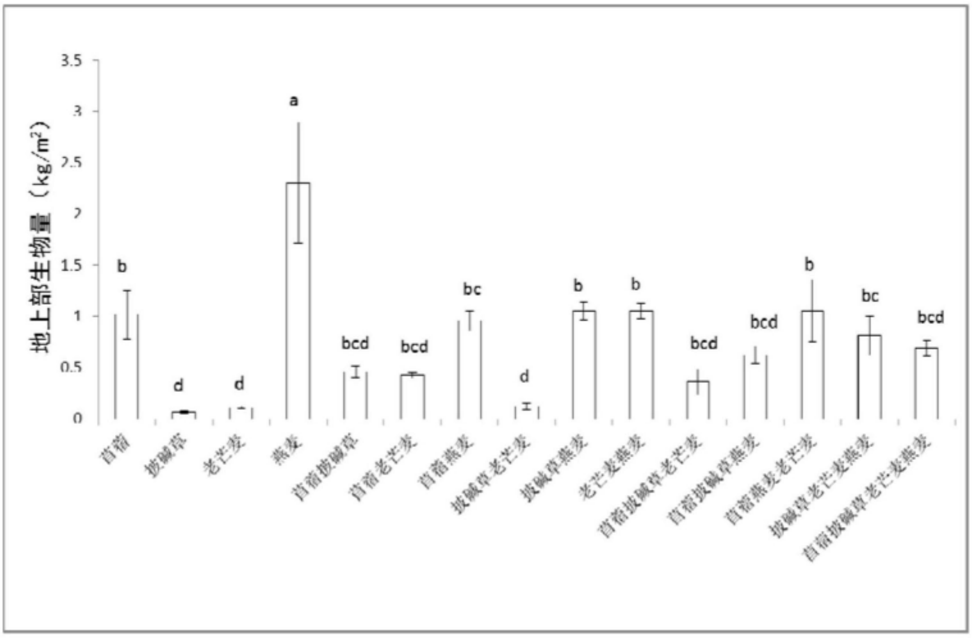

3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
地上部生物量（kg/m^2）
b
d
d
a
bcd
bcd
bc
d
b
b
bcd
bcd
b
bc
bcd
苜蓿
披碱草
老芒麦
燕麦
苜蓿披碱草
苜蓿老芒麦
苜蓿燕麦
披碱草老芒麦
披碱草燕麦
老芒麦燕麦
苜蓿披碱草老芒麦
苜蓿披碱草燕麦
苜蓿燕麦老芒麦
披碱草老芒麦燕麦
苜蓿披碱草老芒麦燕麦

图2

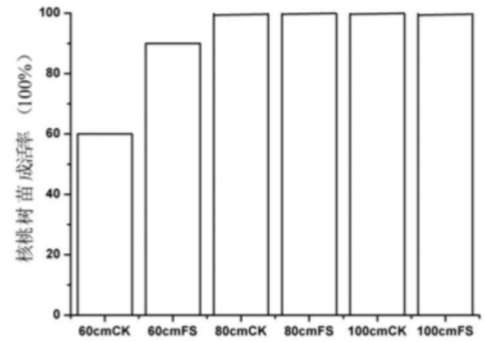

核桃树苗成活率（100%）
0
20
40
60
80
100
60cmCK
60cmFS
80cmCK
80cmFS
100cmCK
100cmFS

图3

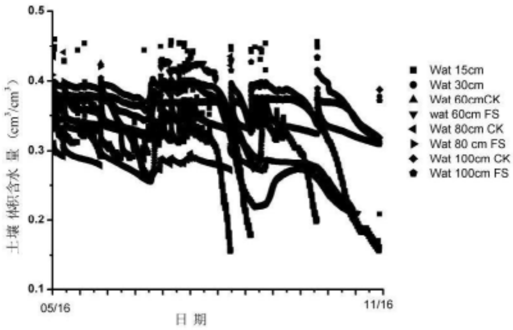

土壤体积含水量（cm³/cm³）
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
05/16
11/16
日期
Wat 15cm
Wat 30cm
Wat 60cmCK
wat 60cm FS
Wat 80cm CK
Wat 80 cm FS
Wat 100cm CK
Wat 100cm FS

图4

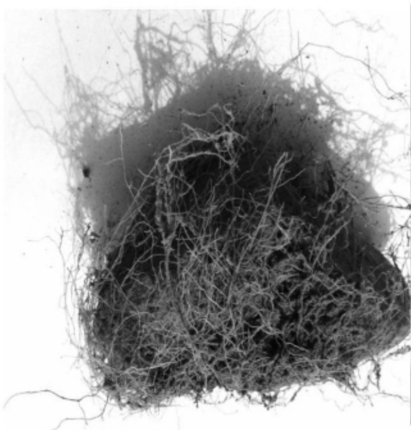


图 5-1　　图 5-2

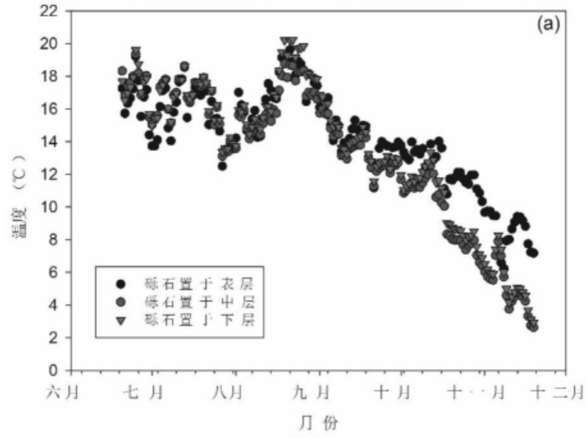

(a)
温度（℃）
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
砾石置于表层
砾石置于中层
砾石置于下层
六月
七月
八月
九月
十月
十二月
月份

图6-1

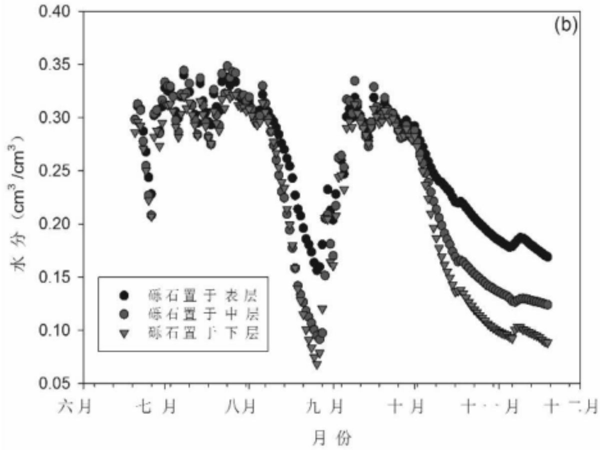

(b)
水分（cm^3/cm^3）
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
砾石置于表层
砾石置于中层
砾石置于下层
六月
七月
八月
九月
十月
月份

图6-2

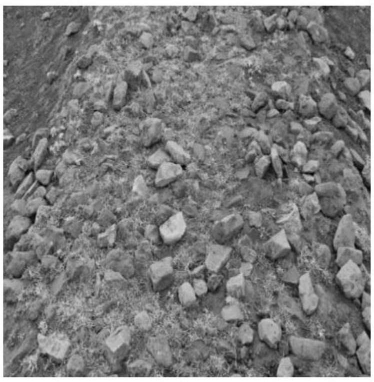


图7-1

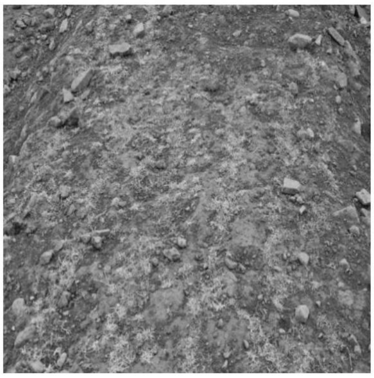
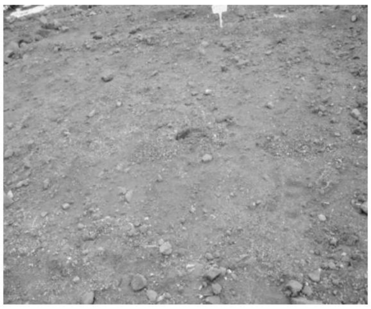


图7-2

图7-3

无芒燕麦（2015 年 7 月）

无芒燕麦（2015 年 11 月）



无芒燕麦（2016 年 6 月）

披碱草+老芒麦（2015 年 7 月）

披碱草+老芒麦(2015 年 11 月）

披碱草+老芒麦(2016年6月）

高羊茅+紫羊茅+黑麦草+早熟禾混合草种（2015 年 7 月）

高羊茅+紫羊茅+黑麦草+早熟禾混合草种（2015 年 11 月）

高羊茅+紫羊茅+黑麦草+早熟禾混合草种(2016 年 6 月）

图8

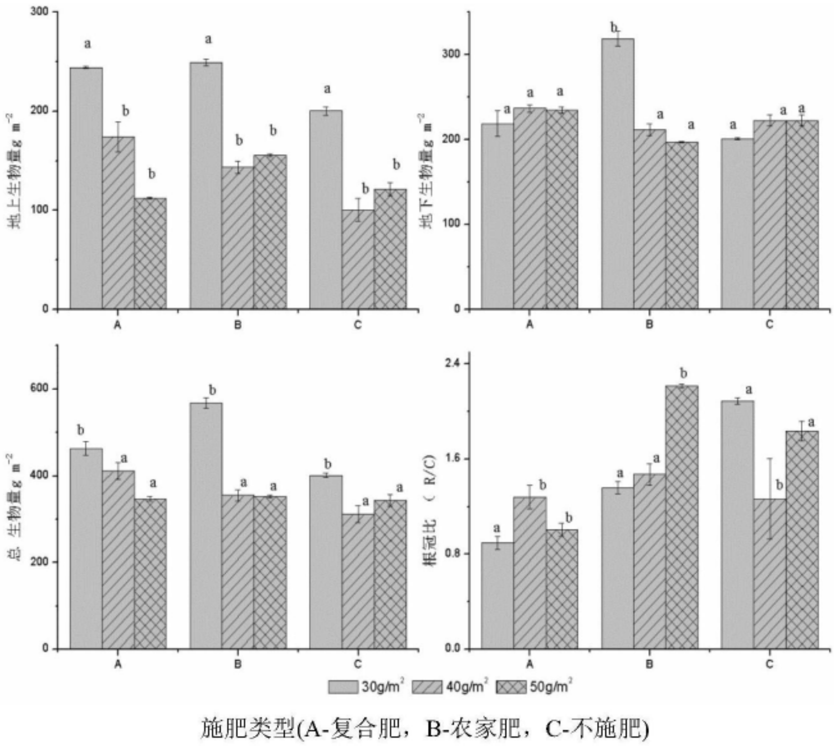

地上生物量g m^{-2}
地下生物量g m^{-2}
总生物量g m^{-2}
根冠比（R/C）
A
B
C
30g/m^2
40g/m^2
50g/m^2
施肥类型(A-复合肥，B-农家肥，C-不施肥)

图9