

白云岩石漠化坡地土壤改良盆栽试验研究报道

——以种植黑麦草为例

邢学刚^{1 2 3}, 彭 韬^{1 2,*}, 王世杰^{1 2}, 蔡先立^{1 2},
欧阳自远¹, 张信宝⁴, 孟凡德^{1 2}, 张 林^{1 2}

(1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所 山地环境演变与调控重点实验室, 成都 610041)

摘 要: 本文针对白云岩坡地土壤漏水、漏肥问题, 通过对白云岩坡地土壤施用保水剂和活性炭, 开展土壤改良的盆栽试验, 探讨保水剂和活性炭对白云岩坡地土壤的理化性质和水分养分流失以及黑麦草生物量的影响。结果表明: (1) 通过添加保水剂, 可以有效改善土壤理化性质、减少水分渗漏, 提高植物可利用水分。添加 0.5% 和 1% 的保水剂, 渗漏水量和容重明显降低, 孔隙度、土壤含水量、全氮、碱解氮、速效钾和有机质含量显著提高, 总生物量分别比未添加保水剂处理增加了 15.71% 和 22.79%。(2) 添加活性炭, 可以有效减少养分淋失, 增加农作物产量, 缓解白云岩坡地土壤“漏肥”问题。添加 3% 和 5% 的活性炭, 土壤全氮、速效磷、速效钾和有机质含量显著增加, 总生物量分别比不添加活性炭处理增加了 42.55% 和 64.76%。(3) 保水剂和活性炭的建议添加比例分别为 1% 和 5%。保水剂和活性炭作为土壤改良剂, 可以有效改善土壤物理结构, 降低土壤水分渗漏量, 减少养分漏失, 提高作物产量, 为白云岩石漠化坡地土壤的“漏水”和“漏肥”问题探寻一种新的解决途径, 提高土地生产力。

关键词: 喀斯特; 白云岩; 土壤改良; 盆栽试验; 保水剂; 活性炭

中图分类号: S153 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2017)01-0229-07 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2017.02.015

我国南方喀斯特区域面积约 54 万 km²^[1], 是全球三大喀斯特集中连片分布区之一^[2]。由于不合理的人为活动和土地利用方式, 该区域土壤退化严重, 石漠化面积已达 12.00 万 km²^[3], 生态环境极为脆弱。喀斯特地区的土壤具有成土速率低、土层稀薄、土壤总量少、土-石直接突变接触、岩层孔隙和孔洞发育^[4-8]的岩土组构特点, 导致降雨难以形成径流^[9], 入渗强烈^[10], 使得土壤水极易渗入岩石裂隙进而进入地下暗河, 并携带土壤养分随渗漏水淋失, 造成喀斯特地区土壤“缺水”和“缺肥”的问题。

近十年来, 不少学者认识到喀斯特地区土壤保水性差及养分缺乏的特点^[6], 分析土壤存在的障碍性问题, 开展了一系列石灰土土壤改良研究, 取得

了重要进展。罗为群^[11]等应用返还农作物秸秆和平衡施肥的方法对石灰岩发育的土壤进行改良研究, 发现平衡施肥和作物秸秆还土改良石灰土, 可以改善土壤物理结构和化学性质, 显著提高作物产量; 陈洪松等^[12]通过施用化肥、农家肥和秸秆三种措施改良新垦石灰土, 发现三种土壤改良措施都可以提高土壤有机质、有效氮和有效钾, 相对于施用化肥, 大量施用农家肥和秸秆对石灰土改良效果更好。还有一些学者利用生物炭作为石灰土改良措施开展了一些尝试性工作。其中, 刘方等^[13]在连作蔬菜地土壤中施用生物炭后, 发现生物炭的施用能明显提高土壤有效钾、有效磷和有效氮的含量, 土壤含水量也显著提高, 进而增加蔬菜产量; 李青芳

收稿日期: 2016-04-15; 改回日期: 2016-06-28

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2013CB956702); 国家自然科学基金项目(41403112); 中国科学院“西部之光”人才培养计划; 贵州省自然科学基金项目(20132292); 贵州省社会发展科技攻关计划项目(SY20143041)。

第一作者简介: 邢学刚(1990-), 男, 硕士研究生, 从事西南喀斯特土壤改良研究。E-mail: 625445562@qq.com。

* 通讯作者: 彭韬(1984-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向为环境地球化学。E-mail: pengtao@mail.gyig.ac.cn。

等^[14]用蔗渣生物炭来改良石灰土,发现生物炭能改善石灰土的养分状况和促进玉米及大豆生长。国内外对喀斯特坡地土壤改良研究基本都是对石灰土进行改良,而对白云岩坡地土壤改良的相关研究几乎未见报道。

我国南方白云岩分布面积广泛,李瑞玲等^[15]研究表明,与白云岩相关类型岩石(如白云岩夹碎屑岩、白云岩与碎屑岩互层、白云岩与灰岩混合岩类)可占到贵州省总面积的20%以上,连续性白云岩类型岩石占全省总面积13.06%。白云岩形成的节理密集而均匀,使风化作用可以相对集中于地表或近地表进行,有利于岩石的整体风化作用的进行^[16],使得白云岩区溶蚀残余物质相对均匀地分布于地表,土体连续,但土层薄,石砾含量高^[17-18]。另外,白云岩“糖砂层”机械组成以砂粒含量为主,饱和导水率高(表1),持水性能差,水分和养分都易渗漏进入表层岩溶带,造成养分流失。在自然立地条件下,白云岩坡地表层土壤水分和养分都无法满足植被良好生长,植物根系只能扎根于土壤和岩石之间水分和养分都及其匮乏的“糖砂层”中,来获取植物所需养分和水分。因此,如何阻控白云岩“土壤层”和“糖砂层”水分和养分漏失是解决喀斯特白云岩石漠化坡地土壤障碍问题的关键。

保水剂是一种具有强吸水、保水及反复吸水功能的高分子聚合物^[19],能够改善土壤结构,促进团聚体的形成,减少土壤水分渗漏和蒸发,称为土壤中的“微型水库”^[20-21]。大量研究表明,在土壤中施用保水剂,可有效调节土壤三相比例分配,使得土壤容重降低,土壤孔隙度、毛管孔隙度增加,土壤团聚体上升^[22-23]。同时,由于保水剂的强吸水和保水功能,可防止水土流失,抑制土壤水分的无效损耗,提高土壤有效利用水^[24],缓解干旱对作物造成的伤害,从而促进作物的生长发育^[25]。目前,国内外应用的保水剂主要有丙烯酸胺-丙烯酸盐交联共聚物、聚丙烯酰胺(polyacrylamide, PAM),分解后的残留单体(如丙烯酰胺)具有较强的神经毒性和致癌作用^[26],但就保水剂分解条件和施用量对于土壤生态

是否可能造成影响等相关生态安全风险评价等方面工作目前仍在探索中,对于土壤环境造成影响仍尚无定论^[27]。另外,最新研发的复合型保水剂具有强吸水、保水、耐盐、稳定和安全等特点^[24],替代传统成型保水剂,也是今后保水剂研究的重要方向。活性炭是用有机物质经过炭化、活化等工序制成的一种无定形炭,是一种优良的吸附剂^[28]。由于其特殊的表面结构特性、表面化学特性和电学性质,使得活性炭具有很强的吸附性能^[29],近年来,已被运用于农业生产中促进植物的生长^[30]。国内外学者研究表明,添加活性炭一方面可吸附根系分泌物中的化感物质,从而缓解根系分泌物的毒害作用^[31],另一方面它可作为提高土壤肥力的一种手段来促进植物生长^[32-33]。冯浩等^[34]通过淋雨试验表明随着活性炭用量的增加,土壤入渗能力先增强后减弱,土壤累积蒸发量逐渐减小,土壤淋溶液中硝态氮和可溶性有机碳的浓度持续减小。Wurst等^[35]研究发现添加活性炭会增加百脉根的节数、根长、开花数,在没有化感效应存在的情况下,其归因于活性炭处理后提高了土壤N和P的含量。

本试验利用保水剂的保水性能和活性炭的缓释功效,改良白云岩坡地土壤,开展盆栽试验。通过对不同处理白云岩坡地土壤理化性质和渗漏水变化进行测定和分析,并结合黑麦草生长状况,来研究保水剂和活性炭对白云岩坡地土壤的作用效果,及黑麦草生长的影响,获得了保水剂和活性炭的最佳施用量,为白云岩石漠化坡地的植被恢复和生态产业发展探索新途径提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验采集的土壤为贵州省普定县城关镇沙湾村的白云岩坡地表层土壤和基岩之间的白云岩“糖砂层”土壤,对采集的土壤用1 cm筛进行了筛分,然后测白云岩坡地土壤的基本理化性质(见表1和表2)。白云岩坡地土壤呈碱性,养分含量极低,容重较大,孔隙度较低,最大持水量低,主要以砂粒

表1 白云岩坡地土壤“糖砂层”土壤基本物理性质

Table 1 Soil physical properties of dolomite slope land

测量指标	容重	比重	孔隙度/%	最大持水量/%	粘粒(<0.002 mm)/%	粉粒(0.002~0.02 mm)/%	砂粒(0.02~2 mm)/%
白云岩坡地土壤	1.42	2.85	0.50	0.33	3.33	11.11	85.02

表 2 白云岩坡地土壤“糖砂层”土壤) 基本化学性质

Table 2 Soil chemical properties of dolomite slope land

测量指标	pH 值	电导率/($\mu\text{S}/\text{cm}$)	全氮/(g/kg)	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	有机质/%
白云岩坡地土壤	8.58	99.90	0.15	14.70	35.72	33.99	4.38

组成。保水剂主要成分为聚丙烯酰胺,经测定保水剂在去离子水和自来水中的吸水倍率分别为 480 倍和 230 倍;活性炭为粉末活性炭;复合肥料主要成分为 N、P 和 K,比例为 1:1:1,总养分大于 45%;盆栽试验作物为黑麦草。

1.2 试验处理

盆栽试验于 2013 年 11 月 15 日~2014 年 5 月 15 日期间在普定喀斯特生态系统观测研究站($105^{\circ}45'E$, $26^{\circ}22'N$)完成。试验共有 5 个处理,每个处理有 3 个重复,总共种植黑麦草 15 桶。首先,向底部开孔后的试验桶($d=44\text{ cm}$, $h=50\text{ cm}$)装入 5 kg 过 3 cm 筛的碎石,覆盖桶的底部;其次,将保水剂和活性炭按照不同比例梯度与过 1 cm 筛的白云岩坡地土壤混合后装入试验桶,并添加一定比例的复合肥料,一桶总重大约 50 kg。黑麦草种子千粒重为 2.52 g,每桶播种 0.5 g 的黑麦草种子。试验具体的改良处理措施如表 3 所示。

表 3 白云岩坡地土壤“糖砂层”土壤) 改良盆栽试验处理
Table 3 Experimental treatment of soil improvement for dolomite slope soil

处理序列	保水剂比例/%	复合肥料比例/%	活性炭/%
处理 1	0	1	3
处理 2	0.5	1	3
处理 3	1	1	3
处理 4	0.5	1	5
处理 5	0.5	1	0

注:保水剂添加比例为质量百分比,0.5%和 1%保水剂分别为 210 g 和 420 g;复合肥料为质量百分比,1%复合肥料为 420 g;活性炭为体积百分比,3%和 5%活性炭分别为 390 g 和 650 g。

1.3 测定方法

测量指标由土壤理化性质指标,渗漏水指标和生物量指标 3 部分组成。土壤理化性质指标分别为土壤容重、比重、孔隙度、土壤含水量、pH 值、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质含量等,其中土壤容重采用环刀法;比重采用比重瓶法;土壤孔隙度结果由孔隙度($\%$)= $(1-\text{容重}/\text{比重})\times 100$ 公式计算得到;土壤含水量采用烘干法,共测定 6 次;pH 值采用 pH 计电位法;全氮采用半微量开氏法;碱

解氮含量采用扩散吸收法测定;速效磷含量采用 Olsen 法测定;速效钾采用醋酸铵溶液浸提-火焰光度计法测定;土壤有机质含量测定采用 TOC 法。渗漏水指标分别为渗漏水,渗漏水 pH 值和电导率,分别采用 pH 计电位法和电导仪来测定渗漏水 pH 值和电导率。生物量指标为黑麦草地上与地下部分的生物量。

2 试验结果

2.1 保水剂和活性炭对土壤理化性质的影响

2.1.1 保水剂和活性炭对土壤物理性质的影响

表 4 为保水剂和活性炭对土壤物理性质的影响。表明保水剂的加入降低了土壤容重,增加了土壤总孔隙度,改善了土壤透气性,显著提高了土壤含水量,有效地改善了土壤的物理性质。和未添加保水剂(处理 1)相比较,添加 0.5%(处理 2)和 1%(处理 3)保水剂的土壤孔隙度、土壤平均含水量、最大含水量分别增加 1.99%、7.13%、8.75% 和 8.83%、11.6%、14.5%,容重分别降低 2.38% 和 10.55%。添加相同比例保水剂的情况下,添加不同比例活性炭(处理 5、处理 2 和处理 4)对白云岩坡地土壤容重、孔隙度、平均含水量、最大含水量和最小含水量均无显著差异。

表 4 保水剂和活性炭对土壤“糖砂层”土壤) 物理性质的影响($n=3$)

Table 4 Effect of water retaining agent and activated carbon on soil physical properties($n=3$)

处理序列	容重 (kg/m^3)	孔隙度 (%)	含水量/%		
			平均值	最大值	最小值
处理 1	1.30 \pm 0.02	54.44 \pm 0.78	18.07 \pm 1.18	30.18 \pm 3.19	11.52 \pm 1.38
处理 2	1.27 \pm 0.03	55.52 \pm 0.96	19.36 \pm 0.48	32.82 \pm 1.24	11.90 \pm 0.78
处理 3	1.16 \pm 0.05	59.24 \pm 1.60	20.17 \pm 0.71	34.57 \pm 1.25	11.55 \pm 1.08
处理 4	1.23 \pm 0.04	56.98 \pm 1.54	19.10 \pm 1.10	32.21 \pm 1.71	11.15 \pm 1.56
处理 5	1.21 \pm 0.03	57.39 \pm 1.08	18.87 \pm 1.18	31.78 \pm 3.19	11.52 \pm 1.38

注:平均值、最大值和最小值分别为 6 次白云砂土壤含水量的平均、最大和最小。

2.1.2 保水剂和活性炭对土壤化学性质的影响

表 5 为保水剂和活性炭对土壤养分含量的影

表5 保水剂和活性炭对土壤“糖砂层”土壤养分含量的影响($n=3$)Table 5 Effect of water retaining agent and activated carbon on soil nutrient content($n=3$)

处理序列	pH 值	全氮/(g/kg)	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	有机质/%
处理 1	7.87±0.04	0.77±0.01	38.50±1.23	39.14±4.54	39.88±4.66	9.73±0.87
处理 2	7.67±0.08	0.82±0.03	24.73±0.89	53.82±2.68	49.00±3.78	9.94±1.22
处理 3	7.35±0.02	0.98±0.00	38.85±0.95	59.42±3.62	84.64±6.39	11.83±0.56
处理 4	7.39±0.06	0.91±0.01	25.07±2.45	54.07±0.98	65.10±2.33	11.12±0.48
处理 5	7.74±0.01	0.78±0.04	23.10±1.65	41.52±1.12	39.96±0.99	3.10±0.13

响。添加相同活性炭的情况下,随着保水剂施用量的增加,全氮、速效磷、速效钾和有机质含量依次增加,碱解氮含量和 pH 值变化不明显。和未添加保水剂(处理 1)相比较,添加 0.5%(处理 2)和 1%(处理 3)保水剂的全氮、速效磷、速效钾、有机质含量分别增加 7.36%、37.51%、22.86%、2.08%和 27.74%、51.82%、112.23%、21.59%。添加相同保水剂的情况下,随着活性炭施用量的增加,添加 3%(处理 2)和 5%(处理 4)活性炭的全氮、速效磷、速效钾、有机质含量分别增加 5.09%、29.62%、4.92%、207.48%和 15.49%、30.22%、39.39%、259.72%。表明向白云岩坡地土壤添加保水剂和活性炭,可以提高土壤有效养分,增强土壤肥力。

2.2 保水剂和活性炭对土壤渗漏水的影响

2.2.1 保水剂和活性炭对渗漏水总量的影响

前期研究表明,喀斯特坡地的地表径流系数均非常小,介于 0.01%~12.81%,地表径流易于入渗转化为地下径流,形成渗漏水^[7]。渗漏水总量大小可直接反映白云岩糖砂层土壤蓄水能力及植物蒸散发量。

图 1 为保水剂(图 1a)和活性炭(图 1b)对土壤渗漏水量的影响。研究结果表明,随着保水剂施用量的增加,观测时段渗漏水量呈下降趋势。渗漏水总量处理 1>处理 2>处理 3,分别为 64.15 mm、56.26 mm、48.17 mm,在施入 3%活性炭条件下,与不添加保水剂相比,添加 0.5%和 1%保水剂渗漏水总量分别下降 12.31%和 24.92%。说明保水剂的施用可以提高白云岩坡地土壤的保水蓄水功能,有效降低土壤水分的漏失,提高土壤植物可利用水量。另外,由图 1 也可看出,渗漏水总量处理 5>处理 2>处理 4,分别为 56.42 mm、56.26 mm、52.23 mm,在施入 0.5%保水剂条件下,随着活性炭施用量的增加,各处理间渗漏水总量呈下降趋势,但差异不显著,表明活性炭的施用对白云岩坡地土壤的保水持水功能无显著作用。

2.2.2 保水剂和活性炭对渗漏水 pH 的影响

图 2 为保水剂和活性炭对土壤渗漏水 pH 值的影响。处理 1、处理 2、处理 3、处理 4 和处理 5 的平均 pH 值分别为 7.18、6.33、7.03、6.57 和 7.03,各处理之间渗漏水酸碱性差异不显著,并且所有渗漏

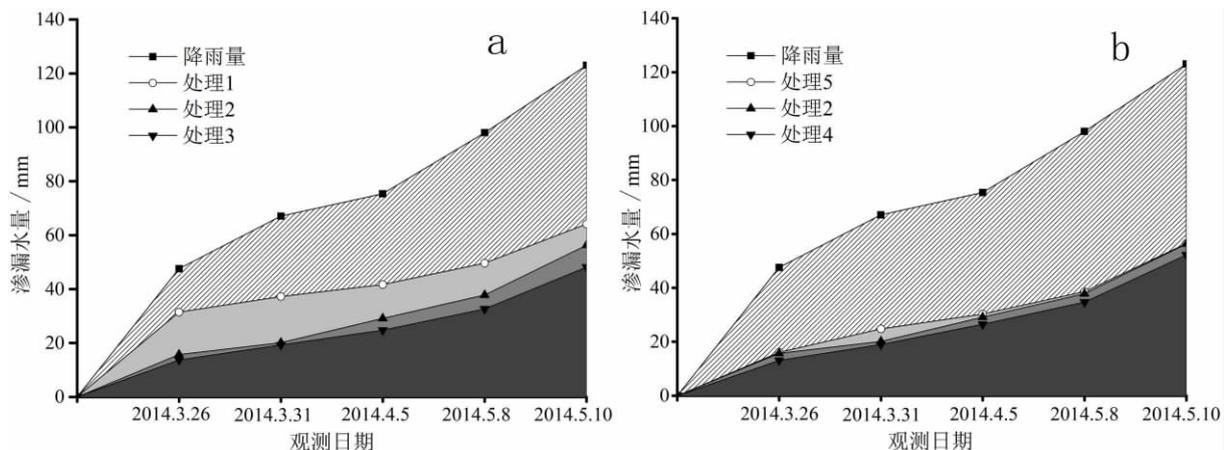


图 1 保水剂(a)和活性炭(b)对土壤渗漏水量的影响

Fig.1 Effect of water retaining agent(a) and activated carbon(b) on soil water leakage

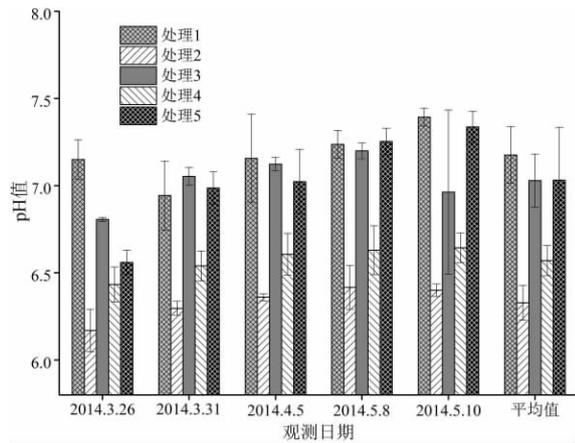


图 2 保水剂和活性炭对土壤渗漏水 pH 值的影响

Fig.2 Effect of water retaining agent and activated carbon on pH value of soil water leakage

水 pH 值呈弱酸性和中性,表明保水剂和活性炭的施用对土壤酸碱环境的影响不显著。

2.2.3 保水剂和活性炭对渗漏水电导率的影响

保水剂和活性炭对白云岩坡地土壤渗漏水电导率的影响如图 3 所示。不添加活性炭(处理 5)土壤渗漏水电导率下降趋势明显。同等 3% 活性炭,不同保水剂添加比例处理 1、处理 2、处理 3 的渗漏水电导率平均值分别为 25.45 mS/cm、26.53 mS/cm 和 27.21 mS/cm。随着保水剂施用量的增加,土壤渗漏水电导率略呈上升趋势,表明保水剂的保水蓄水功能,在保水的同时也可减少土壤养分随水淋失,保持土壤的植物可利用有效养分。在添加 0.5% 保水剂的情况下,添加 3% (处理 2) 和 5% 活性炭(处理 4) 土壤渗漏水电导率都表现为处理 5 < 处理 2 < 处理 4, 随着活性炭施用量的增加,土壤渗漏水电导率

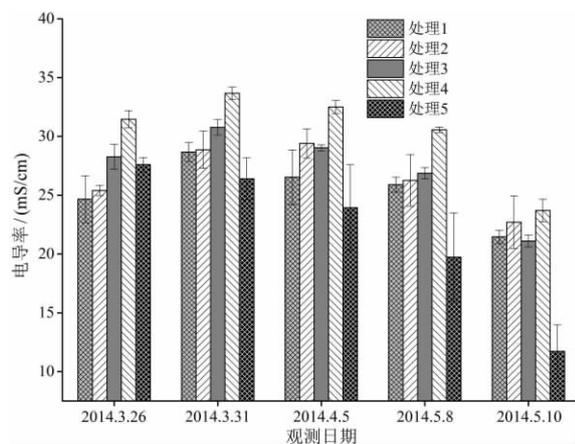


图 3 保水剂和活性炭对土壤电导率的影响

Fig.3 Effect of water retaining agent and activated carbon on soil electrical conductivity

水电导率也呈上升趋势,表明而活性炭较高的比表面积和官能团可活化土壤速效养分,增加土壤肥力。

2.3 保水剂和活性炭对植物生长的促进作用

保水剂和活性炭对生物量的影响如图 4 所示。从图中可以看出,黑麦草总生物量处理 4 > 处理 3 > 处理 2 > 处理 1 > 处理 5。等同添加 3% 活性炭的情况下,未施保水剂(处理 1)、施用 0.5% 保水剂(处理 2) 和施用 1% 保水剂(处理 3) 的地上部分、地下部分、总生物量分别 45.47 g、9.07 g、54.53 g、53.80 g、9.30 g、63.10 g 和 58.53 g、8.43 g、66.97 g,其中,处理 2 和处理 3 比处理 1 的总生物量分别增加 15.71% 和 22.79%。表明施用保水剂可显著增加白云岩坡地土壤中所种植的黑麦草的地上部分、地下部分及总生物量。等同添加 0.5% 保水剂的情况下,未施活性炭(处理 5)、施用 3% 活性炭(处理 2)、施用 5% 活性炭(处理 4) 的地上部分、地下部分和总生物量分别为 35.57 g、8.70 g、44.27 g、53.80 g、9.30 g、63.10 g 和 64.50 g、8.43 g、72.93 g。与处理 5 相比较,处理 2 的地上部分、地下部分、总生物量分别增加 51.27%、6.90% 和 42.55%,处理 4 地下部分减少 3.07%,地上部分和总生物量分别增加 81.35% 和 64.76%,表明施用活性炭可显著提高白云岩坡地土壤中所种植的黑麦草的地上部分和总生物量,但对黑麦草的地下部分作用效果不显著。

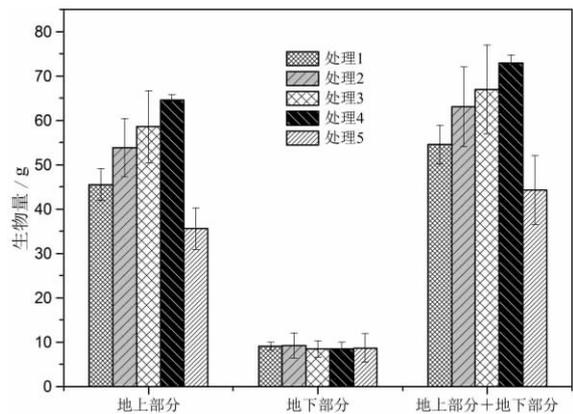


图 4 保水剂和活性炭对生物量的影响

Fig.4 Effect of water retaining agent and activated carbon on the biomass

此外,通过对处理 1、处理 2 和处理 3 的黑麦草生物量进行比较,发现等同添加 3% 活性炭的情况下,施用 1% 保水剂(处理 3) 的黑麦草生长效果最佳,总生物量最大;通过对处理 2、处理 4 和处理 5 的黑麦草生物量进行比较,发现等同添加 0.5% 保

水剂的情况下,施用5%活性炭(处理4)的黑麦草生长效果最佳,总生物量最大。故在白云岩坡地土壤中,保水剂和活性炭的建议施用量分别为1%和5%。

3 结论

1) 白云岩坡地土壤添加保水剂,可有效改善土壤结构,显著降低土壤容重,提高土壤孔隙度,减少渗漏水量,增加土壤含水量,增强土壤肥力,从而促进黑麦草生长。添加0.5%和1%保水剂,总生物量比未添加保水剂相比较分别增加15.71%

和22.79%。

2) 活性炭的吸附和缓释功能显著减少白云岩坡地土壤全氮、速效磷、速效钾、有机质等养分淋失,提高土壤有效养分,促进黑麦草生长,提高黑麦草产量。添加3%和5%活性炭,总生物量比未添加活性炭分别增加42.55%和64.76%。

3) 白云岩坡地土壤添加保水剂和活性炭的建议施用量分别为1%和5%。有关保水剂和活性炭对白云岩坡地土壤保水作用和缓释功能的内在机理,以及反映保水剂和活性炭保水保肥能力的综合指标的建立还有待进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 袁道先. 我国西南岩溶山的环境地质问题[J]. 世界科技研究与发展, 1997, 15(5): 41-43.
- [2] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 573-582.
- [3] 中国石漠化状态公告[C]. 国家林业局, 2012.
- [4] 王世杰, 季宏兵, 欧阳自远, 等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(地球科学), 1999, 29(5): 441-449.
- [5] 赵中秋, 后立胜, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 185-189.
- [6] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37-44.
- [7] 彭韬, 王世杰, 张信宝, 等. 喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J]. 地球与环境, 2008, 36(2): 125-129.
- [8] 张信宝, 王世杰, 曹建华, 等. 西南喀斯特山地水土流失特点及有关石漠化的几个科学问题[J]. 中国岩溶, 2010, 29(3): 274-279.
- [9] 彭韬, 杨涛, 王世杰, 等. 喀斯特坡地土壤流失监测结果简报[J]. 地球与环境, 2009, 37(2): 126-130.
- [10] 方胜, 彭韬, 王世杰, 等. 喀斯特坡地土壤稳渗率空间分布变化特征研究[J]. 地球与环境, 2014, 42(1): 1-10.
- [11] 罗为群, 蒋忠诚, 覃小群. 岩溶山区石灰土改良方法及对比试验研究——以广西平果县龙何屯为例[J]. 地球与环境, 2008, 36(1): 87-92.
- [12] 张伟, 陈洪松, 苏以荣, 等. 不同作物和施肥方式对新垦石灰土土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 925-930.
- [13] 刘方, 冯仕江, 张雷一, 等. 生物炭对喀斯特山区连作蔬菜土壤有效养分及水分的影响[J]. 北方园艺, 2014(7): 158-162.
- [14] 方培结, 李青芳, 张超兰, 等. 生物炭对岩溶区石灰土性质及作物生长的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(3): 317-324.
- [15] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- [16] 孙承兴, 王世杰, 周德全, 等. 碳酸盐岩差异性风化成土特征及其对石漠化形成的影响[J]. 矿物学报, 2002, 22(4): 308-314.
- [17] 张喜. 贵州喀斯特山地坡耕地立地影响因素及分区[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(6): 98-102.
- [18] 李阳兵, 王世杰, 王济. 岩溶生态系统的土壤特性及其今后研究方向[J]. 中国岩溶, 2006, 25(4): 285-289.
- [19] 高凤文, 胡志凤, 陈秀波. 我国土壤保水剂的研究进展[J]. 北京农业, 2011(6): 89-90.
- [20] 杜太生, 康绍忠, 魏华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5): 317-320.
- [21] Phillip J C. The nature of urban soils: Their problems and future[J]. Arboricultural Journal, 1994, 18(3): 275-287.
- [22] 党秀丽, 张玉龙, 黄毅. 保水剂对土壤持水性能影响的模拟研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 191-192.
- [23] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 保水剂对土壤持水性能的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46.
- [24] 张璐, 孙向阳, 田赞, 等. 复合保水剂吸水保水性能及其应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 87-93.
- [25] 李晶晶, 白岗松. 保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(1): 114-120.
- [26] 刘仁平, 董建. 丙烯酰胺毒性的最新研究进展[J]. 职业与健康, 2006(1): 12-14.
- [27] 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 等. 保水剂性能及其农用安全性评价研究进展[Z]. 2014394-400.
- [28] 王鹏, 张海禄. 表面化学改性吸附用活性炭的研究进展[J]. 炭素技术, 2003(3): 23-28.
- [29] 韩严和, 全曼, 薛大明, 等. 活性炭改性研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(1): 33-37.
- [30] 孙康, 蒋剑春. 国内外活性炭的研究进展及发展趋势[J]. 林产化学与工业, 2009, 29(6): 98-104.
- [31] Kumar V, Brainard D C, Bellinder R R. Suppression of powell amaranth(*amaranthus powellii*) by buckwheat residues: Role of allelopathy[J]. Weed Science, 2009, 57(1): 66-73.
- [32] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006, 11(2): 395-419.

- [33] Gutierrez K S , Leprevost C E. Mitigation and adaptation strategies for global change[J]. An International Journal Devoted to Scientific , Engineering , Socio-Economic and Policy Responses to Environmental Change , 2016 , 13(2) : 20-27.
- [34] 方圆 , 冯浩 , 操信春 , 等. 活性炭对土壤入渗、蒸发特性及养分淋溶损失的影响[J]. 水土保持学报 , 2011 , 25(6) : 23-26.
- [35] Wurst S , van Beersum S. The impact of soil organism composition and activated carbon on grass-legume competition[J]. Plant and Soil , 2009 , 314: 1-9.

Agent and Activated Carbon as Soil Amendments on Dolomite Slopes ——A Case Study of Perennial Ryegrass

XING Xuegang^{1 2 3} , PENG Tao^{1 2} , WANG Shijie^{1 2} , CAI Xianli^{1 2} , OUYANG Ziyuan¹ ,
ZHANG Xinbao⁴ , MENG Fande^{1 2} , ZHANG Lin^{1 2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550081 , China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China; 3. Puding Karst Ecosystem Research Station , Institute of Geochemistry , CAS , Guiyang 562100 , China; 4. Institute of Mountain Hazards and Environment (IMHE) , Chinese Academy of Sciences , Chengdu 610041 , China)

Abstract: Considered that dolomite soil have serious water and fertilizer leakage problems , this paper carried out field study on the dolomite slope soil using water retaining agent and activated carbon , aimed to discuss the significance of these two kinds of soil conditioners , which have a great effect on physical and chemical properties of dolomite soil , water erosion , nutrient leaching , and perennial ryegrass growth. Results show as in the following three aspects.(1) Using absorbent agent can effectively solve the problem of karst area soil "water leakage" through improving soil physical and chemical properties , increasing soil available water , and enhancing the ability of plant drought resistance. When the content of absorbent agent is 0.5% , the total biomass will increase 15.71% comparing with the treatment which do not adding absorbent agent , while its content up to 1% , the total biomass can increase to 22.79%.(2) Using activated carbon can significantly solve the problem of karst area soil "fertilizer leakage" by promoting soil available nutrients , and raising the crop yields. The total biomass increases 42.55% when adding 3% of activated carbon , and the total biomass increases 64.76% when the content adding up to 5%.(3) The optimal proportion is 1% of absorbent agent and 5% of activated carbon. A conclusion could be drawn that above two soil amendments can evidently reduce the leakage water , improve physical and chemical properties , increase soil water content , the ability of plant available nutrients , and the yield of perennial ryegrass , and furthermore , resolve the problem of karst area soil "water leakage" and "fertilizer leakage".

Key words: karst; dolomite; soil amendment; pot experiment; water retaining agent; activated carbon