

废弃矿山客土喷播恢复初期基材养分动态变化

胡国长¹, 刘乙², 胡海波², 刘准桥²

(1. 江苏省山水生态环境建设工程有限公司, 江苏 南京 210001; 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要:以南京青龙山废弃矿山地质环境整治工程为依托,通过对客土喷播试验工程基材养分进行现场跟踪测试,分析了喷播基材养分的时间变化特性。结果表明:有机质、全氮、速效氮、速效磷和速效钾含量随喷播时间的延长出现了不同程度的降低,喷播后第3年分别比喷播时降低了4.05%~8.26%、1.78%~2.10%、8.46%~11.24%、1.10%~1.65%、9.35%~14.45%。喷播后各年份有机质、速效氮、速效磷含量分别在坡下、坡中、坡上相互间差异显著($P<0.05$),喷播后第1年速效钾含量在坡下、坡中、坡上差异极显著($P<0.01$),第2年、第3年差异显著($P<0.05$)。喷播后各年份有机质和全氮含量表现为坡中>坡下>坡上的分布规律,速效氮、速效磷和速效钾均表现为坡下>坡中>坡上的规律。

关键词:客土喷播;基材;养分;动态变化

中图分类号:S 714.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)09-0089-04

矿山开采是一种对生态环境造成重大破坏和土地资源浪费的土地利用类型^[1],矿山开采后往往形成陡峭的裸露边坡,造成土壤质量和植被覆盖降低,导致生态系统在很长的时间内难以恢复。其中一些高劈坡、深挖地段,边坡的重力平衡受到严重破坏,导致滑坡和崩塌时有发生,严重影响周围生态环境,并由此引发公共安全问题^[2]。因此,对废弃矿山实施生态治理,尽快恢复其土壤肥力及地表应有的植被和景观,对地区生态环境建设具有重要意义^[3]。目前,在废弃矿山地质环境整治护坡工程中,客土喷播护坡技术使用较为广泛,该技术是将客土、纤维、粘合剂、肥料和植物种子等基材按一定比例配合、搅拌均匀,并通过空压缩机等设备喷射到坡面上形成一层人工土壤与植物种子的复合客土层,从而恢复坡面生态植被^[4]。客土喷播技术中喷播的基材为植物生长创造了基础。因此,基材的制备是实现边坡绿化的技术核心,基材理化性质不仅要求在喷播时适合植物生长,而且应保持基材养分的长效性,实现坡面植被长久覆盖的目的^[5]。

目前,有关客土喷播基材的研究取得了不少成果,但多集中在基材不同添加物、不同配比、植物种类、抗冲刷能力等方面^[6-16],而对较长时间尺度下喷播基材养分动态变化的研究尚处在初步阶段^[17-19],而且缺乏全面、

系统的量化分析成果,因此有必要深入研究。

现以南京江宁区青龙山废弃矿山地质环境整治工程实施的客土喷播技术为依托,对客土喷播前后基材主要养分动态变化进行研究,旨在探讨喷播基材肥力的演变规律,为进一步改进基材性能,保证喷播基材肥力长效性及生态护坡技术的广泛应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验以南京江宁区青龙山废弃矿山地质环境整治为依托工程,边坡在江宁区窦村三号矿区(118°54'35.17"E, 31°59'32.42"N),该边坡处在矿山地质环境治理第3标段范围内,属石灰岩边坡,边坡坡比1.0:1.0,坡向NW 45°,开挖高差60 m,边坡表层为碎石土,母质和母岩层间呈截然过渡,缺乏半风化过渡层,交接处的母质pH在8.0以上,碳酸盐反映显著,植物自然恢复生长困难。

试验所在区域属于亚热带季风气候,年均气温15.4℃,年极端气温最高39.7℃,最低-13.1℃,年均降雨量1 106 mm,年均日照时数2 212.8 h,无霜期237 d。区内土壤为山地黄棕壤,原生植被以亚热带常绿阔叶混交林为主,主要乔木包括马尾松(*Pinus massoniana*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、冬青(*Ilex purpurea*)等;灌木包括六月雪(*Serissa foetida*)、虎刺(*Damnacantha indicus*)、枸骨(*Ilex cormuta*)、牛鼻栓(*Fortunearia sinensis*)和山胡椒(*Lindera glauca*)等;草本植物主要有麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、沿阶草(*Ophiopogon japonicus*)、络石(*Trachelospermum jasminoides*)和野韭(*Allium*

第一作者简介:胡国长(1981-),男,硕士,工程师,现主要从事矿山地质环境治理工作。E-mail:461000242@qq.com.

基金项目:江苏省地质矿产勘查局科技资助项目([2010]79)。

收稿日期:2012-12-17

ramosum)等。

1.2 试验材料

客土喷播生态护坡工程于2007年5月开工,依据江苏省露采矿山地质环境整治技术要求施工^[20],7月底完成,试验喷播面积3 600 m²,喷播厚度10 cm。喷播基

材组成包括种植土、泥炭土、肥料、保水剂、有机质(有机堆肥、草纤维和稻糠)、稳定剂、植物种子等。根据试验区样地边坡特征,将边坡划分为坡下、坡中、坡上3种类型,在边坡施工后3 d内(喷播时)采样测定基材主要化学性质(表1)。

表1

喷播时基材主要化学性质

坡位	pH值	有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	速效氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
坡下	6.3±0.20	230.35±1.01	6.66±0.13	187.94±1.52	37.01±0.38	191.15±1.80
坡中	6.4±0.15	230.97±0.51	6.66±0.11	188.10±1.73	37.03±0.27	191.36±2.14
坡上	6.2±0.17	229.78±1.17	6.56±0.09	187.26±1.29	36.94±0.32	190.95±1.89

注:表中数据为平均值±标准差。

1.3 试验方法

分别于2010年8月(喷播后第1年)、2011年8月(喷播后第2年)、2012年8月(喷播后第3年)采样。在不同坡位各设3块样地,每个样地按“S”型取4个样点,由于喷播土层较薄,因此不分层采样,并对所采土样以多点混合、四分法取样。

1.4 项目测定

主要选取有机质、全氮、速效氮、速效钾、速效磷等对植物生长具有较明显影响的养分因子,对其按照常规方法进行测定。有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定;全氮含量采用半微量凯氏法测定;速效氮含量采用氯化钾浸提-蒸馏法测定;速效磷含量采用双酸浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用乙酸浸提-火焰光度法测定。

1.5 数据分析

采用Excel和SPSS软件进行试验数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同年份基材有机质含量动态变化

有机质是土壤的重要组成部分,是评价土壤质量的一个重要指标^[21]。有机质不仅能增强土壤的保肥和供肥能力,提高土壤养分的有效性,而且可促进团粒结构的形成,改善土壤的透水性、蓄水能力及通气性,增强土壤的缓冲性等^[22]。由图1可知,喷播后第1~3年,下、中、上3个坡位的基材有机质含量均呈下降趋势,喷播后第3年分别比喷播时下降了6.36%、4.05%和8.26%。喷播后各年份有机质坡下、坡中、坡上相互间差

异显著($P<0.05$);有机质喷播时与第1年、第1年与第2年差异显著($P<0.05$),第2年与第3年差异不显著($P>0.05$);喷播后各年份有机质含量均表现出明显的坡中>坡下>坡上的规律。分析认为,坡面经客土喷播技术处理后植被逐渐恢复,并在坡面逐渐形成枯落物层,但受枯落物储量、湿度及土壤微生物分解速率等限制,大部分处在未分解和半分解状态,分解形成的腐殖质含量较低,不能有效增加基材有机质含量,同时坡面植被处于快速生长阶段,其营养仍来源于基材,使得基材有机质含量明显下降。另外,喷播初期植被覆盖低、地表枯落物层薄,强降雨或连续降雨时,雨水的冲刷与侵蚀作用也使坡面有机质不断向下流失。坡下较好的水分养分条件为坡下植物生长提供了良好的环境,植物快速生长的同时又加速了基材养分的消耗。

2.2 不同年份基材全氮和速效氮含量动态变化

氮素是植物三大营养元素之一,不仅有助于植物的生长发育,而且也是植物从土壤中吸收的最大量元素。由图2、3可看出,喷播后第3年,坡下、坡中、坡上全氮和速效氮含量分别比喷播时减少了1.89%、1.78%、2.10%与8.46%、8.61%、11.24%。喷播后各年份坡下、坡中、坡上全氮含量差异不显著($P>0.05$),坡中第1年与第2年差异显著($P<0.05$);喷播后各年份坡下、坡中、坡上速效氮含量相互间差异显著($P<0.05$),各坡位年际差异显著($P<0.05$)。喷播后各年份全氮含量表现较明显的坡中>坡下>坡上的规律,速效氮含量表现为坡下>坡中>坡上的规律。试验期坡下、坡中、坡上速效氮的含量降幅分别是全氮降幅的4.7、4.8、5.4倍,分

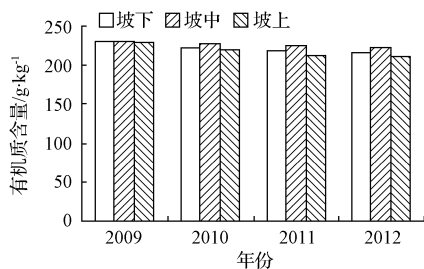


图1 不同年份基材有机质含量动态变化

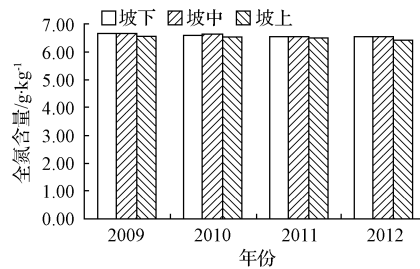


图2 不同年份基材全氮含量动态变化

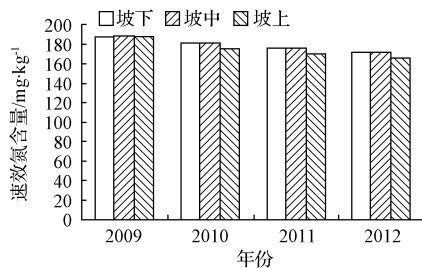


图3 不同年份基材速效氮含量动态变化

析原因除了与植物生长大量吸收土壤养分引起氮素转移有关,降雨淋溶作用也是一个重要的因素。试验区全年湿润多雨,加之喷播土层较薄,边坡坡度大且缺乏风化层,降雨入渗到底层后难以储存而以壤中流的形式流出坡面,此时速效氮特别是极易流失的硝态氮随水分的下移而损失。

2.3 不同年份基材速效磷含量动态变化

磷是植物生理过程重要的元素之一,磷在土壤中的有效性主要由磷的形态决定。速效磷作为能够被植物吸收利用的部分,其含量是判断土壤磷丰缺的主要指标和施肥的一个重要依据^[23]。由图4可看出,喷播后第3年,坡下、坡中、坡上速效磷含量分别比喷播时减少了1.10%、1.22%、1.65%。喷播后各年份坡下、坡中、坡上含量差异显著($P<0.05$),各坡位年际间差异不显著($P>0.05$)。喷播后各年份速效磷含量表现为较为明显的坡下>坡中>坡上的分布规律(图4)。

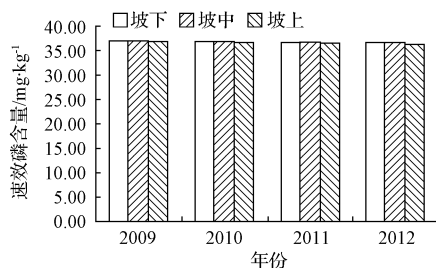


图4 不同年份基材速效磷含量动态变化

2.4 不同年份基材速效钾含量动态变化

钾不是植物结构组分的元素,但它却是植物生理活动中最重要的元素之一^[24]。速效钾是植物根系吸收的直接钾素供给源,是土壤钾素的现实供应指标^[25],也是当季土壤供钾能力的指标。从图5可看出,喷播后第3年,坡下、坡中、坡上速效钾含量分别比喷播时减少了9.35%、10.24%、14.45%,喷播后第1年坡下、坡中、坡上速效钾含量差异极显著($P<0.01$),第2年、第3年差异显著($P<0.05$),喷播后各年份速效钾含量坡上与坡中、坡下差异显著($P<0.05$)。喷播后各年份速效钾含量表现为较为明显的坡下>坡中>坡上的规律。边坡喷播后,由于植物的吸收,当速效钾减少时,缓效钾可以

释放出来并转化为交换性钾和溶液钾,补充速效钾。但试验区年均降雨量大,夏季梅雨期暴雨集中,易形成地表径流。坡面喷播后乔灌木的快速生长显著提高了边坡的覆盖度,但随着乔灌木层的形成,坡面草本植物在第2年后开始退化,降低了地表的抗侵蚀能力,速效钾随坡面径流而流失。另外,由于速效钾是以钾离子的形式存在,极易淋失,淋溶作用也在一定程度上造成了坡面速效钾的损失。

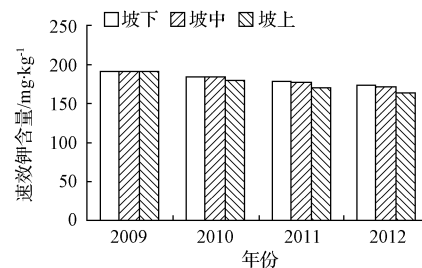


图5 不同年份基材速效钾含量动态变化

3 结论与讨论

有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾等作为评价土壤肥力的重要因子,在喷播后出现不同程度的降低,喷播后第3年分别比喷播时降低了4.05%~8.26%、1.78%~2.10%、8.46%~11.24%、1.10%~1.65%、9.35%~14.45%。

喷播后各年份有机质、速效氮、速效磷含量坡下、坡中、坡上相互间差异显著($P<0.05$),喷播后第1年速效钾含量坡下、坡中、坡上差异极显著($P<0.01$),第2年、第3年差异显著($P<0.05$)。喷播后各年份有机质和全氮含量表现为坡中>坡下>坡上的分布规律,速效氮、速效磷和速效钾均表现为坡下>坡中>坡上的规律。

废弃矿山边坡植被恢复的关键技术之一是基材能否长期提供养分。参照全国第2次土壤普查土壤养分含量分级标准,边坡喷播后第3年时,边坡基材中有机质、全氮、速效氮处于很丰富等级,速效磷、速效钾含量处于丰富等级。这说明喷播时对有机质、氮素、磷素、钾素添加显著,有效改善了边坡土壤肥力状况,为植物生长提供良好的土壤条件。

喷播后伴随植被的生长,有机质逐步矿化释放营养元素,补充由于植物生长而吸收的部分。但喷播试验阶段(3a养护期内),植物旺盛的生长需求和坡面侵蚀、向下淋溶的存在,使基材固有营养物分解产生的营养元素低于植物吸收和流失的量,导致基材养分含量的下降。

客土喷播后养分含量的变化与其它生态护坡工程相比较。养分含量在喷播后至第3年间出现不同程度下降的情况与孙超等^[19]的研究结论较一致,但养分下降幅度均远远低于其试验结果,分析原因可能是由于该试验喷播后养护措施积极,坡面不存在大面积被冲刷的情

况,侵蚀量相对较小的缘故。

参考文献

- [1] 张毅川,乔丽芳,陈亮明,等.废弃地的景观与生态恢复研究[J].环境科学研究,2005,18(1):17-21.
- [2] 程勇.江苏省露天矿山岩质边坡生态恢复技术研究[D].南京:南京林业大学,2006.
- [3] 陆勇,刘晓宇,陆炳炎,等.江阴市花山废弃采石场生态复绿效果研究[J].西南林业大学学报,2010(4):16-20.
- [4] 山寺喜成,安保昭.恢复自然环境绿化工程概论[M].北京:中国科学技术出版社,1997.
- [5] 乔领新,刘荣堂,宋桂龙.高速公路岩质边坡植被恢复初期喷播基材养分动态[J].草业科学,2011,28(12):2123-2127.
- [6] 苗蕾.客土喷播中不同基材配比对边坡的生态防护效果差异研究[D].郑州:河南农业大学,2008.
- [7] 李君剑,郭陆,李洪建,等.黄土高原地区边坡喷播纤维本地化及绿化草种的筛选[J].中国水土保持,2010(12):27-30.
- [8] 李绍才,孙海龙,杨志荣,等.岩石边坡喷播植草护坡工程的抗侵蚀效应[J].北京林业大学学报,2006,28(1):43-47.
- [9] 郭陆,李君剑,张锁峰,等.黄土高原道路边坡绿化土壤基质筛选[J].生态环境学报,2009,18(1):357-360.
- [10] 祝遵峻.高速公路边坡生态恢复及景观重建[D].南京:南京林业大学,2007.
- [11] 董方帅.山区高速公路生态边坡工程技术研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [12] 赵方莹.北京铁矿废弃地植被恢复技术与效应研究[D].北京:北京

林业大学,2008.

- [13] 王丽,张金池,梦莉,等.土壤菌对植被生长及喷播基质物理结构的影响[J].水土保持学报,2011,25(2):144-152.
- [14] 张华.北京地区裸露边坡喷播绿化基质试验研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [15] 王丽,张金池,张小庆,等.土壤保水剂含量对喷播基质物理性质及抗冲性能的影响[J].水土保持学报,2010,24(2):79-82.
- [16] 祝遵峻,戴雅文.喷播基质中不同水泥配比对4种草坪草种出苗及幼苗生长的影响[J].草原与草坪,2009(1):82-89.
- [17] 舒安平,苏建明,冷剑,等.半干旱区生态护坡工程客土养分衰减特征与恢复趋势[J].水土保持学报,2008(22):82-90.
- [18] 司志国,王晓琴,王维,等.废弃矿山挂网喷播土壤理化性质动态变化[J].北方园艺,2011(16):177-180.
- [19] 孙超,许文年,夏振尧,等.岩质边坡植被混凝土肥力时间变异性研究[J].中国水土保持,2009(4):32-34.
- [20] 江苏省国土资源厅.关于印发江苏省露天矿山地质环境整治技术要求的通知[S].苏国土资发(2009)184号,2009.
- [21] 李学垣.土壤化学[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [22] 张俊华,常庆瑞,贾科利,等.黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J].水土保持学报,2003,17(4):38-41.
- [23] 李晓东,魏龙,张永超,等.土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J].草业学报,2009,18(4):103-110.
- [24] 孟涛.紫色土钾素淋失与利用研究[D].重庆:西南大学,2007.
- [25] 高晟,王磊,薛建辉,等.贵州喀斯特地区草本植被盖度与土壤养分的相互关系[J].南京林业大学学报,2012,36(1):79-83.

Nutrient Dynamic Changes of Base Material in the Incipient Ecological Restoration of Abandoned Mines Rock Slope with the External-soil Spray Seeding Technique

HU Guo-chang¹, LIU Yi², HU Hai-bo², LIU Zhun-qiao²

(1. Shanshui Eco-environmental Construction Engineering Company, Nanjing, Jiangsu 210001; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

Abstract: With the engineering of environmental geological restoration of abandoned mines rock slope of the Qinglong mountain in Nanjing, the temporal characteristics of base material nutrition through a series of testing and analyzing of nutrient components of the spraying base material were analyzed. The results showed that the contents of the available organic matter, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus and available potassium tended to decrease. It decreased by 4.05%~8.26%, 1.78%~2.10%, 8.46%~11.24%, 1.10%~1.65%, 9.35%~14.45% in the third year after spraying, respectively. Among the lower slope position, the middle slope position and the upper slope position, the available organic matter, available nitrogen and available phosphorus had showed more remarkable difference ($P < 0.05$) among different slope positions each year after spraying, respectively. The available potassium content had showed extremely significant differences ($P < 0.01$) in the first year after spraying and significant difference ($P < 0.05$) in the second and third year after spraying among different slope positions. The available organic matter and total nitrogen contents had showed consistent trends; the middle slope position > the lower slope position > the upper slope position. The available nitrogen, available phosphorus and available potassium contents had showed consistent trends the lower slope position > the middle slope position > the upper slope position, each year after spraying, respectively.

Key words: external-soil spray seeding technique; base material; nutrient; dynamic variation