

# 坡度和坡位对岩质边坡早期生态恢复 土壤养分变异性的影响

潘树林<sup>1,2</sup>, 周顺涛<sup>3</sup>, 辜彬<sup>3</sup>

(1. 宜宾学院 矿业与安全工程学院, 四川 宜宾 644007;

2. 长江水环境教育部重点实验室宜宾研究基地, 四川 宜宾 644007; 3. 四川大学 生命科学学院, 成都 610064)

**摘要:**通过对浙江省经过 1 a 生态恢复的 16 个岩质边坡, 在坡面没有植被和坡面环境形成交互发展的植被早期恢复进行研究, 结果表明: (1) 除 45°~52°类型的边坡土壤有效磷含量为坡下>坡中>坡上外, 其它 3 个坡度类型中全氮、全磷、全钾都呈现出较明显的坡中>坡下>坡上的分布规律。(2) 在相似坡度及不同坡位条件下, 全氮、全钾、有机质都没有表现出显著性差异。土壤养分多重比较出现较多差异的是有效态养分。(3) 在相同坡位不同坡度条件下, 对岩质边坡早期生态恢复的土壤养分进行多重比较, 结果发现坡度在 30°~52°的情况下, 岩质边坡早期生态恢复演替中的土壤养分不会受到坡度的影响。

**关键词:**岩质边坡; 生态恢复; 土壤养分; 变异性; 坡位; 坡度

中图分类号: X171.4; S714.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0289-04

## Effect of Slope Degree and Slope Position on Soil Nutrient Variability in the Early Succession of Rocky Slope Revegetation

PAN Shu-lin<sup>1,2</sup>, ZHOU Shun-tao<sup>3</sup>, GU Bin<sup>3</sup>

(1. School of Mining and Safety Engineering, Yibin University, Yibin, Sichuan 644007, China;

2. Yibin Research Base, Key Lab of Yangtze Aquatic Environment, Ministry of Education, Yibin,

Sichuan 644007, China; 3. College of Life Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** Through the analysis on 16 rocky slopes of Zhejiang Province which had already been ecological re-stored for one year, in the early vegetation recovery stage when there was no interactive development between vegetation and environment on the slope, the influence of slope angle and slope position on soil nutrient variability were as follow: (1) in some rocky slopes with slope degree of 45°~52°, available P content showed consistent trends: the lower slope position>the middle slope position>the upper slope position, and the total N, total P, total K contents of other rocky slopes varied significantly: the middle slope position>the lower slope position>the upper slope position; (2) in different slope positions with similar slope degree, the total N, total K contents and organic matter had no significant differences, but soil available nutrients had showed more remarkable differences in the multiple comparisons of soil nutrients; (3) in different slope angles with the same slope position, significant differences were only found in two groups in the multiple comparisons of soil nutrients, and there was no large-scale variability of soil nutrients. In other words, in the early succession stage of rocky slope revegetation, soil nutrients wouldn't be significantly influence by slope angle ranging from 30° to 52°.

**Key words:** rocky slope; ecological restoration; soil nutrient; variability; slope position; slope angle

土壤是植物生长、演替的基础, 是影响植物群落生存的主要环境因子之一。植物群落的恢复过程, 也

是植物与土壤相互影响和相互作用的过程。在边坡防护和生态景观恢复方面, 植被具有不可取代的重要

收稿日期: 2011-12-08

修回日期: 2012-02-08

资助项目: 国家自然科学基金“岩石边坡植被恢复土壤动态特征与调控机制研究项目”(40971057)

作者简介: 潘树林(1970—), 男, 四川宜宾人, 副教授, 硕士, 从事生态环境研究。E-mail: pslytq@yahoo.com.cn

通信作者: 辜彬(1959—), 男, 四川成都人, 教授, 博士, 从事边坡生态工程研究。E-mail: amakusa@126.com

作用<sup>[1]</sup>。岩质边坡被称为地球生态荒漠<sup>[2]</sup>,同一般的土质边坡比较,它没有植被生长所必需的土壤环境,也没有氮、磷、钾和有机质等养分的积累,因此成为岩质边坡进行生态恢复中的重大疑难问题<sup>[3]</sup>。近年来,高陡岩质边坡的生态恢复技术在我国得到了广泛运用,关于岩质边坡生态恢复与周围环境达到平衡的能量与物质交换情况下的土壤养分状况研究较多,但对于高陡边坡在施工完成之初,创建灌草群落系统的过程中,土壤的养分状况、变异性及其影响因素目前研究报道却很少。

2004 年初,浙江省国土资源厅提出了开展“百矿示范,千矿整治”的活动,积极全面推进矿山自然生态环境的保护和治理,实现矿产开发与环境保护协调发展。随着大量资金的投入,有相当数量的矿山都进行了生态工程恢复,许多边坡生态恢复都为采石场遗留岩质边坡,各生态环境因素相似度极高。因此对岩质

边坡早期生态恢复过程中土壤养分在不同坡度、坡位的变异性进行研究,以期为高陡边坡防护和退化生态系统的恢复和重建提供理论依据。

## 1 研究区概况

在所有生态恢复边坡中选择的样地均为经过 1 a 恢复的 16 个生态恢复岩质边坡(见表 1)。采用厚层基材喷附的生态恢复方式,面积均为 4~5 万 m<sup>2</sup>,且都处于常绿阔叶林区内或边缘。样地土壤为黄红壤或红壤,地带性植被为中亚热带北缘常绿阔叶林。样地周边地形以丘陵为主,大小盆地错落分布于丘陵山地之间。研究区全年气候温和湿润属亚热带季风型气候。年平均降水量 1 319.7 mm。进行生态恢复治理后实施专人管理,为防止人为因素进一步影响,对边坡进行自然生态恢复,直到坡面建立稳定的灌草群落系统并与周围环境平衡协调。

表 1 生态恢复岩质边坡概况

序号	名称	坡度/(°)	坡向	海拔/m
1	舟山朱家尖白山	41.5	NW41.5	10~80
2	舟山紫薇	52.7	NE52	5~60
3	泥鳅山	25.4	NW15	50~100
4	钱塘街矿山治理工程	47.9	NE40	10~120
5	宁波观庄	50.2	WE20	5~20
6	官路山	31.1	WS24	10~40
7	湖州市肖皇山	34.8	NW42	10~20
8	湖州市堂子山矿区右边	43.5	WS29	10~30
9	湖州市堂子山矿区左边	44.2	WS42	10~30
10	湖州市仁皇山	34.5	WS5	10~70
11	湖州市黄芝山	35	WS66	10~50
12	嘉兴市海宁尖山围垦指挥部采石场	45.3	WS45	10~30
13	金华市金东区源东乡阳郑废弃矿山	43.5	WS19.5	150~200
14	东阳市Ⅱ号东阳高江北街道塘下前废弃矿山	33.4	WS25	70~100
15	台州市椒江区白云飞瀑生态恢复区土样	50.1	WS33	5~20
16	杭州市余杭区临平邱山采石场	47.1	WS17	20~40

## 2 材料与方法

根据研究区样地边坡的特点,针对岩质边坡不同坡度、坡位,划分为 3 种类型。具体划分为:①坡度分为(30°~35°),(41°~45°),(45°~52°)共 3 种类型;②将每个边坡的坡位划分为坡上、坡中、坡下 3 种类型。采样是在各岩质边坡生态恢复发育 1 a 左右的时间进行。采样时,由于高陡边坡土层较薄,因此只采 5—20 cm 土层的土样,并对所采土样以多点混合、四分法取样。

室内分析按常规方法进行。采用半微量凯氏法测定土壤全氮,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮;以

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—HClO<sub>4</sub> 酸溶处理,采用 ICP 法测定土壤中全磷含量,采用 0.15 mol/L 的碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定土壤有效磷;利用 NaOH 熔融,采用火焰光度计法测定土壤全钾含量,采用中性 1 mol/L 的 NH<sub>4</sub>OAC 溶液为浸提剂,直接用火焰溶解度法测定速效钾;重铬酸钾—硫酸溶液氧化法测定土壤有机碳含量。利用 Excel 和 SPSS 软件进行数据分析处理。

## 3 结果与分析

### 3.1 相似坡度不同坡位的土壤全氮和碱解氮变异性

全氮含量在 3 个坡度类型中均未表现出显著性差异;碱解氮含量在 3 个坡度类型中都出现了显著性

差异,并且在 3 个坡度类型中坡上与坡中的差异性较显著。与此对应的是 3 个坡度类型,坡中与坡下的碱解氮含量未表现出显著性差异。说明碱解氮含量在岩质边坡生态恢复后坡上到坡中的含量变化非常明显,而坡中与坡下之间则非常接近。 $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$ 这个坡度范围的边坡土壤碱解氮含量在坡上与坡中、坡上与坡下均出现了显著性差异。在  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  坡度的边坡,坡中与坡下碱解氮含量均是 3 个坡度类型中最高的(表 2),说明坡度对碱解氮有一定影响。

表 2 相似坡度不同坡位的土壤全氮和碱解氮含量 g/kg

坡度	全氮(TN)			碱解氮(AN)		
	坡上	坡中	坡下	坡上	坡中	坡下
$30^{\circ}\sim 35^{\circ}$	0.79	1.18	1.11	64.27	89.93	79.40
$41^{\circ}\sim 45^{\circ}$	0.99	0.80	0.94	66.82	77.98	77.38
$45^{\circ}\sim 52^{\circ}$	1.14	1.05	1.11	62.66	79.74	71.52

3.2 相似坡度不同坡位的土壤全磷和有效磷变异性

对于演替时间较长的稳定坡面土壤来说,坡下土壤养分含量一般高于坡中和坡上,坡面养分汇集在下坡位。在  $41^{\circ}\sim 45^{\circ}$  和  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  坡度类型中,全磷和有效磷含量呈现出了较明显的坡中>坡下>坡上的规律。土壤全磷含量在  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  的边坡出现坡上与坡中显著差异,土壤有效磷含量在  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的边坡出现坡上与坡中、坡上与坡下显著差异(表 3)。

表 3 相似坡度不同坡位的土壤全磷和有效磷含量 g/kg

坡度	全磷(TP)			有效磷(AP)		
	坡上	坡中	坡下	坡上	坡中	坡下
$30^{\circ}\sim 35^{\circ}$	0.41	0.53	0.45	26.70	33.02	30.93
$41^{\circ}\sim 45^{\circ}$	0.56	0.63	0.62	28.82	38.00	29.74
$45^{\circ}\sim 52^{\circ}$	0.49	0.60	0.53	18.84	32.26	34.98

3.3 相似坡度不同坡位的土壤全钾和速效钾变异性

坡度为  $41^{\circ}\sim 45^{\circ}$  的速效钾含量,坡上与坡中存在极显著性差异,坡上与坡下存在显著差异;而坡度为  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的坡高,坡上与坡中、坡上与坡下存在显著性差异;坡度为  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  的坡高仅坡上与坡中存在显著性差异(表 4)。全钾与速效钾含量均表现出较明显的坡中>坡下>坡上的规律(表 4)。

表 4 相似坡度不同坡位的土壤全钾和速效钾含量 g/kg

坡度	全钾(TK)			速效钾(AK)		
	坡上	坡中	坡下	坡上	坡中	坡下
$30^{\circ}\sim 35^{\circ}$	6.61	8.49	7.07	76.32	90.02	85.05
$41^{\circ}\sim 45^{\circ}$	7.70	9.58	8.89	70.86	89.34	82.46
$45^{\circ}\sim 52^{\circ}$	7.60	9.58	9.46	75.90	87.72	85.24

3.4 相似坡度不同坡位的土壤有机质变异性

对已经演替较长时间的稳定坡面土壤来说,土壤有机质含量从坡顶到坡脚逐渐增加,土层厚度也逐渐增大。但在岩质边坡生态恢复工程演替早期,有机质含量从坡上到坡下却没有表现出这种规律(表 5)。

表 5 相似坡度不同坡位的土壤有机质含量 g/kg

坡度	坡上	坡中	坡下
$30^{\circ}\sim 35^{\circ}$	24.00	24.33	18.33
$41^{\circ}\sim 45^{\circ}$	17.00	16.60	14.80
$45^{\circ}\sim 52^{\circ}$	21.22	24.80	16.00

3.5 相同坡位不同坡度的养分变异性

许多研究都表明植被对于坡面养分的强度和浓度有显著影响,但在没有植被的岩质边坡生态恢复演替早期,养分在短期内流失严重,与坡度的关系不密切。相同坡位不同坡度间的土壤养分在  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  与  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  两组生态恢复的岩质边坡坡上的全氮和  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  与  $41^{\circ}\sim 45^{\circ}$  两组生态恢复的岩质边坡坡下的全磷存在着显著性差异。其他的养分在相同坡位不同坡度间的差异性不显著(表 6)。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 在坡面没有植被覆盖时,土壤的有效态养分流失以及在坡面的再分配有明显的变化。除坡度为  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的边坡生态恢复土壤有效磷含量表现为坡下>坡中>坡上外,其他 3 个坡度类型中全氮、全磷、全钾都呈现出了较明显的坡中>坡下>坡上的分布规律。

(2) 在相似坡度不同坡位条件下,全氮、全钾、有机质均没有表现出显著性差异。土壤养分多重比较出现较多差异的是有效态养分,具体为:土壤碱解氮在  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的边坡,坡上与坡中、坡上与坡下均出现了显著性差异;土壤有效磷含量在  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的边坡坡上与坡中、坡上与坡下出现显著差异;速效钾在  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$  的边坡上出现了坡上与坡中显著性差异。在  $41^{\circ}\sim 45^{\circ}$  的边坡上出现了坡上与坡中显著性差异,坡上与坡下极显著差异。在  $45^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的边坡上出现了坡上与坡中、坡上与坡下显著性差异。

(3) 在相同坡位不同坡度条件下,岩质边坡生态恢复早期的土壤养分经多重比较只有两组出现显著性差异,并没有大范围出现养分变异的情况。即坡度在  $30^{\circ}\sim 52^{\circ}$  的情况下,岩质边坡早期生态恢复演替中的土壤养分不会受到坡度的显著影响。

4.2 讨论

在 3 个坡度类型中全氮、全磷、全钾都呈现出了较明显的坡中>坡下>坡上的分布规律。这可能与生态恢复岩质边坡的施工路径有关,即都是从坡上到坡下的施工顺序,使得坡上的养分向坡中迁移时,坡下绝大部分还未完工,并且持续较长时间。本研究选取的生态恢复岩质边坡,坡面恢复区的平面映射形状

都是上小下大的三角形,坡下的施工工期较长,于是就形成了坡面的养分向坡中富积的现象。同时,坡面工程性质的防护措施不力。以往的生态恢复的岩质

边坡研究主要集中在覆土基质的配比,未关注渗透水的流动,造成有效态养分极易随渗透水流失,形成固土未固养分的情况。

表 6 相同坡位不同坡度的土壤各含量多重比较

类别	坡位/坡度	坡上		坡中		坡下	
TN	30°~35°	30°~35°	41°~45°	30°~35°	41°~45°	30°~35°	41°~45°
	41°~45°	0.220		0.255		0.416	
	45°~52°	0.039*	0.356	0.702	0.458	0.971	0.417
AN	30°~35°						
	41°~45°	0.861		0.412		0.823	
	45°~52°	0.889	0.763	0.483	0.907	0.39	0.538
TP	30°~35°						
	41°~45°	0.073		0.295		0.023*	
	45°~52°	0.339	0.375	0.441	0.782	0.251	0.21
AP	30°~35°						
	41°~45°	0.674		0.612		0.896	
	45°~52°	0.135	0.075	0.938	0.577	0.659	0.585
TK	30°~35°						
	41°~45°	0.543		0.529		0.342	
	45°~52°	0.55	0.992	0.528	0.999	0.219	0.774
AK	30°~35°						
	41°~45°	0.397		0.879		0.563	
	45°~52°	0.948	0.453	0.607	0.728	0.966	0.552
有机质	30°~35°						
	41°~45°	0.128		0.085		0.246	
	45°~52°	0.527	0.367	0.912	0.081	0.437	0.699

注: \* 表示显著性差异, \*\* 为极显著差异。

全氮在两组坡度相差大的坡位上出现差异,其原因是全氮本身就容易随土壤冲刷而流失,土壤流失氮量高达氮流失总量的 99.8%。坡度大小是影响养分富积或流失的重要因素,但在高陡边坡中,尤其本文所研究的 3 种类型变化很小,只有最大和最小的坡度之间才出现了显著性差异。另一方面,全磷的流失较其他养分慢,因而 30°~35°,41°~45°两组生态恢复的岩质边坡坡下的全磷存在着显著性差异的原因需要进一步研究。

本研究中,生态恢复的岩质边坡坡度在 30°~52°下,演替早期中的土壤养分不受坡度的显著影响。其

原因可能是岩质边坡在生态恢复方式下,边坡坡度在 30°时,其养分流失与消耗已经超过了最大域值,所以,在同一坡位时,边坡坡度对土壤侵蚀量及侵蚀过程无显著影响。

#### 参考文献:

- [1] 王东方,周忠祥,张海丰,等. Salisbury 屏的优化设计[J]. 哈尔滨工业大学学报,2004,36(11):1499-1501.
- [2] 叶建军,许文年,王铁桥,等. 南方岩质坡地生态恢复探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(Z1):2245-2249.
- [3] 周德培,张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京:人民交通出版社,2003.