

西南喀斯特地区不同石漠化阶段 土壤有效磷变异研究

周炼川¹, 陈效民¹, 李孝良^{1,2}, 杨新强¹, 夏雯¹

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院 江苏 南京 210095; 2. 安徽科技学院 植物科学学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要: 为了探索西南喀斯特地区土壤有效磷的变异规律, 采用野外采样与实验室分析相结合的方法, 对贵州省荔波县及普定县不同石漠化阶段典型土壤的有效磷含量进行了研究。结果表明: ①非石漠化土壤与轻度石漠化土壤有效磷质量分数呈显著差异, 非石漠化的黑色石灰土有效磷质量分数高达 9.29×10^{-6} , 随着石漠化程度的加深, 土壤有效磷含量逐渐减少; ②土壤剖面中有效磷质量分数均表现为表土层高于心土层, 且随着石漠化的发展, 有效磷质量分数在剖面中减少得越慢; ③土壤有效磷质量分数随时间有显著变化, 有效磷从 5 月开始积累, 7 月后出现下降趋势, 9 月或 11 月又逐渐升高, 到翌年 1 月达到峰值; ④土壤有效磷与有机质和黏粒质量分数均呈极显著线性相关, 相关系数分别为 0.901 7 和 -0.777 2。这说明增加有机质的积累可提高土壤有效磷质量分数, 对防治石漠化具有重要意义。

关键词: 喀斯特地区; 石漠化阶段; 土壤有效磷; 变异

中图分类号: X833; S151 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2009)04-0418-05

Study on Variation of Available Phosphorus of Soil in Karst Regions Under Rocky Desertification, Southwest China

ZHOU Lian-chuan¹, CHEN Xiao-min¹, LI Xiao-liang^{1,2}, YANG Xin-qiang¹, XIA Wen¹

(1. School of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China;

2. School of Plant Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, Anhui, China)

Abstract: In order to explore the variation of soil available phosphorus in karst regions, methods of field sampling and indoor analysis are used. Soil samples were collected from Libo and Puding counties in Guizhou province, and the content of available phosphorus is studied. The results are as follows: ① There is significant difference in the content of available phosphorus between non-degraded and light degraded soils, and available phosphorus reached the highest content of 9.29×10^{-6} in non-degraded ending, and as the rocky desertification progresses, the content of soil available phosphorus decrease; ② Content of available phosphorus is higher in surface soil layer than that in bottom layer. It seems that rocky desertification could effect the reduction rate of available phosphorus in profiles; ③ Content of available phosphorus varies with time significantly, available phosphorus accumulate from May to July, then the content does not increase until September or November and reaches the highest in next January; ④ Content of available phosphorus has a quadratic relation with soil organic matter and clay, the correlation coefficient is 0.901 7 and -0.777 2 respectively, which is extremely significant. It suggests that the content of soil available phosphorus could be enhanced by increasing soil organic matter, which is important to prevent rocky desertification.

Key words: karst region; rocky desertification process; available phosphorus of soil; variation

收稿日期: 2009-01-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403205); 国家大学生创新实验计划项目(081030720)

作者简介: 周炼川(1985-), 男, 重庆万州人, 农学硕士研究生, 从事水土资源利用与管理研究。E-mail: lianchuanzhou@163.com

0 引言

石漠化是指在热带、亚热带湿润、半湿润气候条件和岩溶极其发育的自然背景下, 受人为活动干扰, 地表植被遭受破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积裸露, 土地退化的表现形式^[1]。目前, 贵州省石漠化面积已达 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全省土地总面积的 12.8%, 且仍以每年 993 km^2 的速度递增, 严重阻碍了贵州乃至整个西南喀斯特山区的生态建设与可持续发展^[2]。国家“十五”计划纲要中已明确提出“推进黔桂滇岩溶地区石漠化综合治理”, 把石漠化治理提到了国家目标的高度^[3]。

由于喀斯特地区的偏碱性环境及较多的钙离子, 能直接被植物吸收利用的有效磷被土壤矿物质紧密结合而导致其活性降低, 从而极易成为影响植被生长的限制因子, 而植被退化是喀斯特石漠化的重要前提^[4], 所以对西南喀斯特地区土壤磷素的研究显得尤为重要。黄承玲等^[5]认为喀斯特地区玉米根系分泌物能抑制土壤对磷的吸附, 使土壤中有有效磷含量增加。刘方等^[6]研究表明, 贵州省中部黄壤旱坡地梯化种植与未梯化相比能显著减少地表径流中颗粒态磷的流失量。张清海^[7]对贵州省典型土壤的磷素变异特征进行了研究, 结果表明, 随着喀斯特石漠化由无到强的发展和生态模式由林地—草地—农用地—退耕还草地的变化, 土壤磷素

含量不断降低。目前关于该地区土壤有效磷随时间的动态变化鲜有报道, 且引起有效磷含量变化的影响因子有待进一步研究。因此, 研究喀斯特地区不同石漠化阶段典型土壤的有效磷变异状况, 对于合理利用土壤资源和土壤退化下的生态环境修复具有重要意义。

笔者以贵州省荔波县和普定县不同石漠化阶段典型土壤为研究对象, 探讨有效磷在石漠化过程中的变化规律、在土壤剖面中的分布以及随时间的动态变化规律, 并对其影响因子进行讨论, 试图为该地区生态系统适应性修复和重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自贵州省普定县和荔波县。按照植被覆盖度、基岩裸露率等指标选择不同石漠化阶段典型区域^[8], 于 2007 年 5 月、7 月、9 月、11 月及 2008 年 1 月在典型地区选择有代表性的自然土壤剖面(其中潜在石漠化的土壤于 2007 年 5 月开始采集, 此后采样时间与其余土壤相同), 按照发生学原则采集土壤样品, 基本情况见表 1。其中, 原始森林植被主要包括女贞、云贵鹅耳枥、朴树等; 灌丛植被包括麻枋、白枋、火棘等; 草地主要植物种为芒草。

表 1 喀斯特地区供试土壤情况

Tab. 1 Tested Soils in Karst Regions

编号	石漠化阶段	土壤名称	采样点	植被	土壤层次/cm	λ	φ	海拔高度/m
1	非石漠化	黑色石灰土	贵州省荔波县尧古村	原始森林	0~12	$25^{\circ} 17.545' \text{ N}$	$107^{\circ} 6.348' \text{ E}$	755
					12~24			
					24~50			
2	潜在石漠化	黑色石灰土	贵州省普定县陈旗村	灌丛	0~8	$26^{\circ} 15.646' \text{ N}$	$105^{\circ} 46.417' \text{ E}$	1 457
					8~32			
3	轻度石漠化	黑色石灰土	贵州省荔波县尧古村	草地	0~17	$25^{\circ} 18.879' \text{ N}$	$107^{\circ} 56.043' \text{ E}$	753
					17~49			

1.2 分析方法

1.2.1 土壤基本性质

土壤 pH 值采用 pH 计电位法测定; 土壤有机质采用重铬酸钾外加热法测定; 土壤密度采用环刀法测定; 土壤机械组成采用吸管法(国际制标准)^[9]测定, 测定结果见表 2。

1.2.2 土壤有效磷质量分数

土壤有效磷质量分数采用 $0.5 \text{ mol/L pH } 8.5$ 的 NaHCO_3 浸提-磷钼蓝比色法^[10]测定。

2 结果与讨论

2.1 石漠化过程对土壤有效磷的影响

有效磷作为土壤磷库中对作物最为有效的部分, 能直接供作物吸收利用, 因而是评价土壤供磷能力的重要指标^[11]。由于研究区的偏碱性环境及较多的游离碳酸钙, 磷素极易被土壤固定而导致活性降低。从喀斯特地区土壤各月份有效磷质量分数平均值可以看出(表 3), 除非石漠化土壤之外, 其

表 2 供试土壤基本性质

Tab. 2 Properties of the Tested Soils in Karst Region									
编号	石漠化阶段	土壤名称	层次/cm	pH	有机质质量 分数/ 10^{-3}	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	机械组成/ 10^{-3}		
							$> 0.02 \text{ mm}$	$0.02 \sim 0.002 \text{ mm}$	$< 0.002 \text{ mm}$
1	非石漠化	黑色石灰土	0~12	7.52	78.9	0.628	495.7	360.4	143.9
			12~24	7.62	36.8	0.986	299.9	402.7	297.4
			24~50	7.77	17.8	1.142	208.2	435.6	356.2
2	潜在石漠化	黑色石灰土	0~8	7.57	42.3	0.940	457.8	339.7	202.5
			8~32	7.46	12.1	1.059	220.0	368.6	411.4
3	轻度石漠化	黑色石灰土	0~17	6.34	19.2	1.247	345.3	433.2	221.5
			17~49	7.53	3.8	1.388	75.6	426.1	498.3

表 3 不同阶段石漠化土壤磷素含量及多重比较

Tab. 3 Content and Multiple Comparisons of Soil Available Phosphorus Under Different Stages of Rocky Desertification

石漠化阶段	土壤名称	有效磷质量分数/ 10^{-6}	
		平均值	$\bar{x} \pm S$
非石漠化	黑色石灰土($n=4$)	9.29 ± 2.63	a A
潜在石漠化	黑色石灰土($n=5$)	5.17 ± 5.37	ab A
轻度石漠化	黑色石灰土($n=4$)	2.23 ± 1.61	b A

注: 数字后面小写字母相同者, 差异不显著; 小写字母不同者, 差异显著($P<0.05$); 大写字母不同者, 差异极显著($P<0.01$)

余土壤有效磷储量都比较低, 其质量分数从大到小分别为: 非石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化。

喀斯特地区碳酸盐岩化学溶蚀强烈, 成土过程十分缓慢, 且土层浅薄, 母岩风化对土壤磷素的补充极其微弱^[2]。因此, 生物的富集作用对于土壤的形成、肥力的积累和补充有重要意义。非石漠化的黑色石灰土位于荔波原始森林, 有机质含量丰富, 有效磷释放量较大, 其质量分数高达 9.29×10^{-6} 。随着石漠化的发展, 植被类型逐步向灌丛及草地过渡, 生物富集作用不断减弱, 有机质矿化提供的有效磷逐渐减少。另一方面, 由于有机质能减少土壤对磷的吸附, 随着石漠化程度的加深, 土壤对磷素的固定作用越来越强。此外, 石漠化的发展导致了土壤侵蚀作用增强, 有效磷流失强度也随之增大, 使得其含量逐渐减少, 轻度石漠化的黑色石灰土中有效磷质量分数仅为 2.23×10^{-6} 。

对研究区土壤有效磷质量分数作多重比较发现(表 3), 非石漠化土壤与轻度石漠化土壤有效磷质量分数呈显著差异。说明在石漠化的演替过程中, 土壤有效磷质量分数的变化与石漠化阶段发展具有方向一致性和阶段同步性的特点, 在一定程度上用有效磷质量分数表征石漠化对生态环境的影响是可行的。

2.2 土壤有效磷质量分数随土壤深度的变化

从有效磷质量分数随土壤深度的变化(图 1)可以看出, 研究区土壤有效磷在各剖面中的分布均表现为表土层质量分数高于芯土层。这是因为表土层有机质丰富, 土壤固磷作用较弱, 有效磷释放量大, 而芯土层有机质较缺乏且微生物活动较弱, 磷素极易被游离碳酸钙固定而导致其活性降低, 使得有效磷质量分数较表土层小。同时, 石漠化对有效磷在各剖面中的分布趋势具有显著影响。非石漠化土壤表土层有效磷质量分数下降最快, 潜在石漠化土壤次之, 轻度石漠化土壤下降最慢。这可能是由于非石漠化土壤有效磷质量分数基数较大, 其波动易导致较大的变异, 另一方面可能是由于非石漠化土壤植被条件良好, 且表土层疏松多孔, 对水蚀作用特别是强度较大的降雨具有很强的抵抗力, 故磷素多集中在表土层而不易发生淋溶作用。随着石漠化的发展, 植被系统逐步恶化, 土壤抵御外界干扰能力越来越弱, 磷素易在土壤中向下迁移, 导致其质量分数的剖面变异不及非石漠化土壤显著。

2.3 土壤有效磷的动态变化

从有效磷动态变化图(图 2)可以看出, 研究区土壤有效磷质量分数随时间有显著的变化。有效

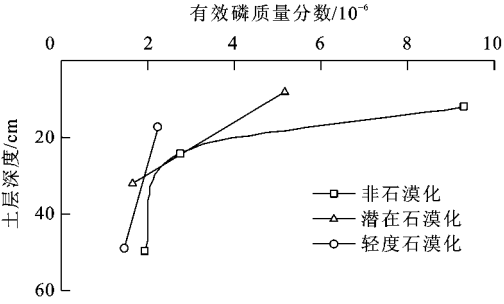


图 1 土壤有效磷质量分数随土壤深度的变化
Fig. 1 Content of Soil Available Phosphorus
Changed with Soil Depth

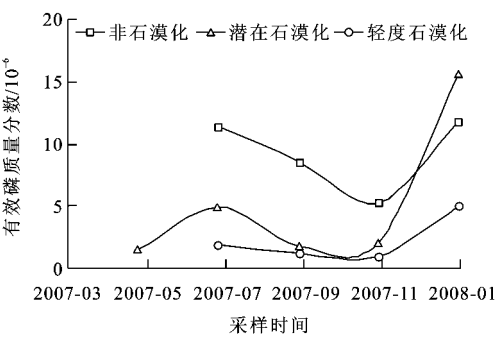


图 2 土壤有效磷动态变化

Fig. 2 Content of Soil Available Phosphorus Changed with Time

磷从5月开始累积,到7月后出现下降趋势,9月或11月后又逐渐升高,直至翌年1月达到峰值,总体上呈现出先增后减再增的趋势。

5月至7月温度逐渐升高,土壤有机质矿化作用增强,有效磷释放量增大,且微生物活动逐渐活跃,其解磷作用使有效磷累积明显;7月之后微生物活性受水热条件影响不断下降,有效磷质量分数也随之降低;11月份后微生物活性继续下降,但有机质却因此得以积累,再加上枯枝落叶的归还,翌年1月份土壤有机质质量分数达到最大值,而较多的有机质能减弱土壤的固磷作用。另一方面,此时植物生长近乎停滞,从土壤中吸收的有效磷非常少,故1月份时有效磷质量分数达到峰值,潜在石漠化的黑色石灰土有效磷质量分数高达 15.63×10^{-6} 。

2.4 土壤有效磷变化的影响因子

2.4.1 土壤有效磷与有机质质量分数的关系

研究区土壤有机质质量分数差异较大,处于 $(3.75 \sim 81.2) \times 10^{-3}$ 之间。通过对各石漠化阶段土壤剖面中各月份有机质与有效磷质量分数作相关分析发现(图3),二者呈极显著的一元二次线性关系,回归方程为

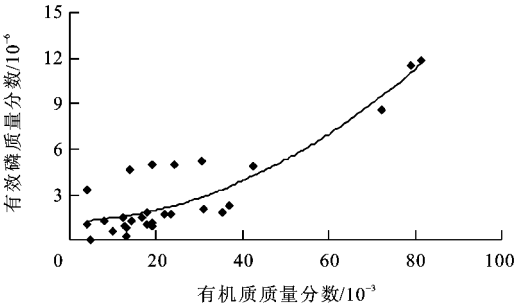


图 3 土壤有效磷与有机质关系

Fig. 3 Relationship Between the Content of Available Phosphorus and Soil Organic Matter

$y = 0.0015x^2 + 0.0079x + 1.2678 \quad r = 0.9017$ 说明有机质对土壤中的有效磷起着供应和保持的作用。

含有有机质多的土壤,其固磷能力往往较弱^[12]。除了有机质矿化能提供部分无机磷外,还有如下原因:①有机阴离子与磷酸根竞争固相表面专性吸附点位,从而减少了土壤对磷的吸附;②有机物分解产生的有机酸和其他螯合剂的作用,将部分固态磷释放为可溶态;③有机质分解产生的CO₂溶于水形成H₂CO₃,增加了钙镁磷酸盐的溶解度。因此,土壤有效磷质量分数与有机质密切相关。总之,增加有机质的积累,可提高土壤有效磷质量分数,对研究区的生态环境恢复具有重要意义。

2.4.2 土壤有效磷与黏粒质量分数的关系

石漠化过程中土壤机械组成所发生的变化主要是水蚀作用造成的。侵蚀程度的大小与植被状况、基岩裸露率等密切相关,即受石漠化发展阶段的影响。由表2可知,随着石漠化程度的加深,土壤砂粒质量分数减小,粉砂粒和黏粒质量分数却呈上升趋势,土壤质地逐渐恶化。由于黏粒质量分数的上升,导致土壤坚实度和质量分数增大,通透性减弱,给植物生长带来不利影响,使得植被类型不断退化,有机质减少,有效磷质量分数也随之变小。通过对土壤剖面中有效磷与黏粒质量分数作相关分析发现(图4),二者呈极显著的线性负相关,回归方程为

$y = -0.0176x + 8.8548 \quad r = -0.7772$

张清海^[7]研究表明,林地土壤有效磷与黏粒质量分数存在极显著的线性正相关,而本文结论正好与之相反,说明石漠化过程中土壤机械组成变异还需进一步研究。

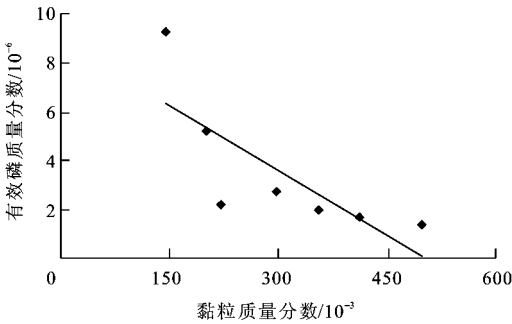


图 4 土壤有效磷与黏粒质量分数关系

Fig. 4 Relationship Between the Content of Available Phosphorus and Clay

3 结语

(1)喀斯特地区土壤有效磷质量分数随石漠化的发展而减少,非石漠化土壤与轻度石漠化土壤有效磷质量分数呈显著差异。

(2)土壤有效磷在剖面中的分布趋势表现为表土层质量分数高于心土层,且随着石漠化的发展有效磷质量分数在剖面中减少得越慢。

(3)土壤有效磷质量分数随时间有明显的动态变化。有效磷从 5 月开始累积,7 月之后出现下降趋势,9 月或 11 月之后其质量分数又逐渐升高,直至翌年 1 月达到峰值,总体上呈现增—减—增的趋势。

(4)土壤有效磷与有机质及黏粒的质量分数呈极显著的线性相关,相关系数分别为 0.901 7 和 -0.777 2。有机质质量分数是影响有效磷变化的根本原因。黏粒质量分数升高主要通过影响植被系统导致有机质含量减小,从而进一步影响土壤有效磷质量分数,这与张清海的结论是相反的。

(5)贵州及西南地区属于亚热带季风湿润气候,全年降水充沛且雨热同期,具有良好的气候条件,有利于植物生长,通过封山育林等人为措施增加有机质积累,进而提高土壤有效磷质量分数在一

定程度上是可行的。

参考文献:

- [1] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
- [2] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 石漠化过程中土壤理化性质变化的初步研究[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(3): 204-207.
- [3] 蒋忠诚. 广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J]. 广西科学, 2001, 8(4): 308-312.
- [4] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639-644.
- [5] 黄承玲, 陈训, 范成五. 玉米根分泌物对喀斯特地区土壤吸附磷的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11453-11455.
- [6] 刘方, 黄昌勇, 何腾兵, 等. 黄壤旱坡地梯化对土壤磷素流失的影响[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 74-78.
- [7] 张清海. 贵州喀斯特石漠化地区土壤磷素变异特征及生态恢复研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [8] 彭琴, 林昌虎, 何腾兵. 贵州省喀斯特山区不同石漠化等级土壤粒级特征研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 29-32.
- [9] 华孟, 王坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 胡霭堂. 植物营养学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1995.
- [12] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 张伟峰, 刘守军, 李拥安, 等. 孤岛馆陶组注水开发储层性质动态变化特征研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(2): 51-53.
- [10] 杨祖序. 华北第三系断陷构造特征与分类[C] //《中国含油气区构造特征》编写组. 中国含油气区构造特征. 北京: 石油工业出版社, 1989: 20-25.
- [11] 《胜利油田石油地质志》编写组. 中国石油地质志: 卷六, 胜利油田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [12] 李春光. 中国东部盆地油气藏同生断层的定量研究[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(4): 1-4.
- [13] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. 断块油气田, 2000, 7(2): 15-17.
- [14] 吴智平, 李伟, 郑德顺, 等. 沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 405-417.
- [15] 漆家福, 张一伟, 陆克政, 等. 渤海湾盆地新生代构造演化[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1995, 19(增刊): 1-6.
- [16] 中国地层委员会. 中国地层指南及中国地层指南说明书[M]. 修订版. 北京: 地质出版社, 2001.
- [17] 吴智平, 李伟, 任拥军, 等. 济阳拗陷中生代盆地演化及其与新生代盆地叠合关系探讨[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 280-286.

(上接第 399 页)

参考文献:

- [1] 张善文, 王永诗, 石砥石, 等. 网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 1-10.
- [2] 姜素华, 查明, 张善文. 网毯式油气成藏体系的动态平衡研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(4): 16-20.
- [3] 张绍东, 王绍兰, 李琴, 等. 孤岛油田储层微观结构特征及其对驱油效率的影响[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2002, 26(3): 47-51.
- [4] 李阳, 李双应, 岳书仓, 等. 胜利油田孤岛油区馆陶组上段沉积结构单元[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 219-230.
- [5] 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 地下点坝砂体内部构型分析——以孤岛油田为例[J]. 矿物岩石, 2005, 25(2): 81-86.
- [6] 杨晓敏, 鲜本忠, 束青林, 等. 孤岛油田西南缘馆陶组油气成藏模式[J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(6): 26-29.
- [7] 李莉, 徐国盛, 刘树根, 等. 孤岛西南缘馆陶组油气分布特征及油气成藏规律[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(2): 120-124.
- [8] 吴诗勇, 李自安. 精细地质研究现状及发展趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(2): 58-64.