

西南喀斯特地区不同石漠化阶段 土壤物理参数的变异研究

周炼川¹, 陈效民¹, 李孝良^{1,2}, 杨新强¹, 夏雯¹, 崔晨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: 为了探索中国西南喀斯特地区石漠化过程中土壤物理性质的变异规律, 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物理参数进行了研究。结果表明: 土壤有机质质量分数随石漠化程度的加深逐渐减小; 非石漠化土壤重度仅为 6.15 N/m^3 , 随着石漠化的发展, 土壤重度逐渐增大, 总孔隙度随之减小; 石漠化的发展导致土壤黏粒含量升高; 土壤水稳性团聚体质量分数及微团聚体的结构系数均随石漠化程度加深而减小; 土壤有机质质量分数与重度、砂粒含量、大于 5 mm 团聚体含量及结构系数的相关系数分别为 -0.9212 、 0.8277 、 0.9072 、 0.8993 , 均达到极显著水平。通过封山育林等措施增加喀斯特地区有机质积累可改善土壤物理性质, 对防治石漠化具有重要意义。

关键词: 喀斯特地区; 石漠化; 物理参数; 变异; 有机质; 土壤结构

中图分类号: X833; S151 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2010)02-0195-05

Variation of Physical Parameters of Soil Under Different Rocky Desertification in Karst Region, Southwest China

ZHOU Lian-chuan¹, CHEN Xiao-min¹, LI Xiao-liang^{1,2}, YANG Xin-qiang¹, XIA Wen¹, CUI Chen¹

(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 physical properties under rocky desertification, the physical parameters of soil collected in Libo and Puding Counties of Guizhou Province were studied by means of field sampling and indoor analysis. The result showed that: content of soil organic matter decreased with serious rocky desertification; bulk density of soil (only 6.15 N/cm^3), which did not degrade, increased and soil porosity decreased with serious rocky desertification; content of soil clay particles rose because of serious rocky desertification; content of water-stable aggregates and coefficient of soil structure decreased with serious rocky desertification; correlation coefficients among content of soil organic matter, sandy partides and water-stable aggregates ($> 5 \text{ mm}$) and soil structure index were extremely significant, and the values were -0.9212 , 0.8277 , 0.9072 and 0.8993 , respectively. Enhancing content of soil organic matter with forest conservation was an effective way to prevent rocky desertification and to improve soil physical properties in Karst region.

Key words: Karst region; rocky desertification; physical parameters; variation; organic matter; soil structure

0 引言

喀斯特石漠化是以脆弱的生态地质环境为基础, 以强烈的人类活动为驱动力, 以土地生产力退

化为本质, 以出现类似荒漠景观为标志^[1]。贵州是中国喀斯特地貌最发育的省份, 也是中国土地石漠化最严重的省份, 目前全省喀斯特石漠化面积达 $3.2427 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占全省总面积的 19.3% , 占喀

收稿日期: 2009-07-21

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200); 国家大学生创新实验计划项目(081030720)

作者简介: 周炼川(1985-), 男, 重庆人, 农学硕士研究生, 从事土壤物理研究。E-mail: lianchuanzhou@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

斯特地区总面积的 31.38%^[2]。石漠化已经严重制约贵州省乃至整个西南地区的经济社会发展。已有研究表明,土壤系统是喀斯特生态系统的重要组成部分,土壤退化既是植被系统退化的必然结果,又对植被系统和土地系统产生较大影响^[3]。石漠化的本质就是土壤质量下降,重点表现在水土流失,土壤的物理、化学和生物性质退化以及土壤发生层次的变化^[4]。因此,研究喀斯特地区土壤物理性质的变异规律,对探索石漠化本质、防治水土流失具有重要意义。

龙健等^[5]认为随着植被系统的退化,土壤重度逐渐变大。张冬青等^[6]对贵州乌江流域喀斯特土壤的物理性质进行了研究,结果表明随着侵蚀强度的增大,土壤存在砂化趋势,各种物理性状变差。

表 1 喀斯特地区提取土壤情况
Tab. 1 Tested Soils in Karst Region

石漠化阶段	土壤名称	母质	土层深度/cm	pH	采样点	经度	纬度	海拔高程/m	植被
非石漠化	黑色石灰土	石灰岩	0~12	7.52	贵州省荔波县 尧古村	25°17.545'E	107°56.348'N	755	原始森林
			12~24	7.62					
			24~50	7.77					
潜在石漠化	黑色石灰土	石灰岩	0~8	7.57	贵州省普定县 陈旗村	26°15.646'E	105°46.417'N	1457	灌丛
			8~32	7.46					
轻度石漠化	黑色石灰土	石灰岩	0~17	6.34	贵州省荔波县 尧古村	25°18.879'E	107°56.043'N	753	草地
			17~49	7.53					

1.2 测定方法

测定方法^[8-9]主要有:①环刀法测土壤重度;②吸管法(国际制)测土壤机械组成;③湿筛法测水稳性团聚体组成;④吸管法测微团聚体结构系数;⑤重铬酸钾外加热法测土壤有机质。

2 结果与讨论

2.1 土壤有机质

喀斯特地区石漠化的发展导致了植被系统的破坏,必然会引起土壤有机质含量的变化。由图 1 可以看出,各土壤剖面中有机质质量分数均随土层深度的增加而减少,各阶段表土层有机质质量分数由大到小为非石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化阶段。非石漠化土壤位于荔波原始森林,植被条件较好,表土层的有机质质量分数高达 74.49×10^{-3} ,随着石漠化程度的加深,植被系统逐渐退化,使得有机质含量逐步减少,轻度石漠化的黑色石灰土有机质质量分数仅为 18.78×10^{-3} 。统计结果表明,非石漠化土壤与轻度石漠化土壤有机质含量呈极显

彭琴等^[7]认为随着石漠化程度的增强,土壤表层(0~20 cm)黏粒含量减少,砂粒增加。但目前关于不同石漠化阶段土壤的结构性能及物理参数的系统分析还鲜有报道。笔者对贵州省荔波县及普定县典型石漠化阶段的土壤物理参数的变异规律进行了探讨,试图为喀斯特地区水土保持及土壤质量演变研究提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 实验土壤

实验土壤采自贵州省普定县和荔波县。以植被覆盖度和基岩裸露率等指标作为石漠化分级依据,选择不同石漠化阶段典型区域,并按照自然发生学原则采集土壤剖面样品。提取土壤基本情况见表 1。

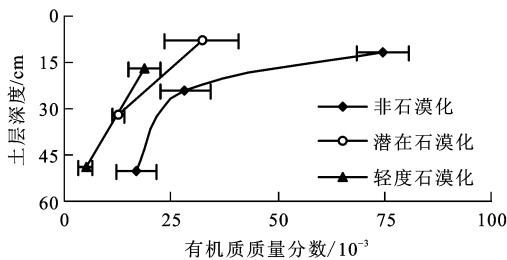


图 1 不同石漠化阶段土壤有机质含量变化
Fig. 1 Variation of Content of Soil Organic Matter Under Different Rocky Desertification

著差异。

2.2 土壤重度及孔隙度

重度和孔隙度是反映土壤孔性的重要指标,重度小表明土壤疏松多孔,结构良好,而土壤水分存在于土壤孔隙中,孔隙越大能容纳的水分越多,土壤抗侵蚀能力就越强。由表 2 可以看出,各土壤剖面均表现为重度随着土层深度的增加而变大。不同石漠化阶段表层土壤重度从小到大分别为非石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化阶段,土壤孔隙所占

体积分数即孔隙度, 则表现出相反的变化趋势, 说明石漠化的发展增加了土壤侵蚀的风险。

表 2 喀斯特地区土壤重度及孔隙度

Tab. 2 Bulk Density and Porosity of Soil in Karst Region				
石漠化阶段	土壤名称	土层深度/cm	重度/(N · m ⁻³)	孔隙度/%
非石漠化	黑色石灰土	0~12	6.15	76.30
		12~24	9.66	62.79
		24~50	11.19	56.91
潜在石漠化	黑色石灰土	0~8	9.21	64.53
		8~32	10.38	60.04
轻度石漠化	黑色石灰土	0~17	12.22	52.94
		17~49	13.60	47.62

研究表明, 有机质能够参与土壤结构的形成与改良, 有机质含量高的土壤, 往往重度较小并具有较大的孔隙度^[10], 本研究也证明了这一点。非石漠化的黑色石灰土有机质含量丰富, 土壤具有良好的结构及孔隙性, 其重度仅为 6.15 N/m³, 孔隙度为 76.3%, 疏松多孔的结构进一步促进了植物生长。随着石漠化的发展, 土壤有机质含量逐渐减少, 且水土流失加剧, 土壤重度及孔隙度也发生相应变化。通过对提取土样重度和有机质质量分数作相关性分析可知(图 2), 二者呈极显著的线性关系, 相关系数 $r=-0.921\ 2$ 。这说明增加有机质含量对改善土壤孔隙度、减少土壤侵蚀具有重要意义。

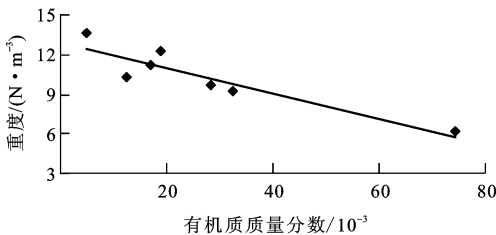


图 2 不同石漠化阶段土壤有机质含量与重度关系

Fig. 2 Relationship Between Content and Bulk Density of Soil Organic Matter Under Different Rocky Desertification

2.3 土壤颗粒组成

土壤颗粒是构成土壤结构体的基本单元, 并与成土母质及其理化性状和侵蚀强度密切相关, 其组成变化是喀斯特地区石漠化过程中最为普遍而有代表性的现象。由表 3 可以看出, 土壤颗粒质量分数在各剖面中具有类似的变化规律。粒径(D)大于 0.02 mm 砂粒随着土层深度的增加其质量分数逐渐减小, 小于 0.002 mm 黏粒则表现为相反的变化趋势。非石漠化土壤中砂粒、粉粒及黏粒含量配比较为恰当, 有利于土壤团粒结构形成, 随着石漠

表 3 不同石漠化阶段土壤颗粒组成
Tab. 3 Composition of Soil Particle Under Different Rocky Desertification

石漠化阶段	土壤名称	土层深度/cm	土壤颗粒质量分数/ 10^{-3}		
			$D>$	$0.002\text{ mm}\leq D\leq$	$D<$
			0.02 mm	0.02 mm	0.002 mm
非石漠化	黑色石灰土	0~12	495.7±76.8	143.9±60.3	360.4±37.1
		12~24	299.9±47.3	297.4±78.5	402.7±53.8
		24~50	208.2±29.5	356.2±80.6	435.6±50.1
潜在石漠化	黑色石灰土	0~8	457.8±48.6	202.5±48.1	339.7±46.2
		8~32	220±35.9	411.4±52.4	368.6±36.3
轻度石漠化	黑色石灰土	0~17	345.3±43.7	221.5±37.4	433.2±53.6
		17~49	75.6±12.3	498.3±51.6	426.1±35.4

化的发展, 土壤颗粒组成逐步恶化, 保水保肥能力逐渐降低。

前人普遍认为^[11-13], 石漠化的发展会导致土壤黏粒含量减少, 粉砂粒含量增多, 即土壤粗骨化, 但笔者经多次研究却得到了截然相反的结论。由图 3 可以看出, 研究区表层土壤黏粒含量随着石漠化的发展而增多, 砂粒含量则随之减少。这可能是由于在水蚀作用下, 非常松散的、不黏结的砂粒流失量较大, 而胶结性较强的黏粒流失量较小, 使得其含量相对增加, 即在石漠化发展过程中存在着残积黏化和移积黏化现象。黏粒含量相对较多时, 频繁的干燥和湿润交替, 会使土壤体积发生频繁膨胀和收缩变化, 对植物根系产生较大的机械损伤, 影响到植物的生长发育和存活。

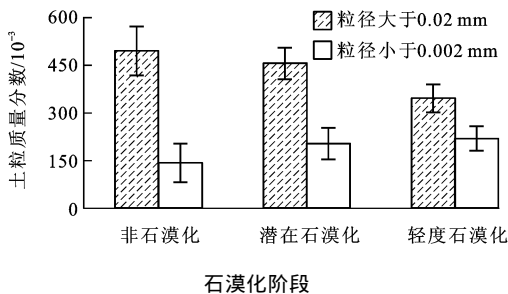


图 3 不同石漠化阶段土壤颗粒含量变化

Fig. 3 Variation of Content of Soil Particle Under Different Rocky Desertification

土壤有机质以各种形态存在于土壤中, 如与矿物质土粒机械相混, 溶解于土壤溶液中(如单糖、某些氨基酸和低分子化合物等), 或者以生命体形式存在于土壤中, 但是大部分则是和土壤中的无机成分结合在一起成为有机-无机复合体。研究区土壤粒径大于 0.02 mm 土粒含量与有机质质量分数关系见图 4, 两者呈极显著的线性关系, 相关系数 $r=$

0.8277。大于 0.02 mm 土粒含量越大,有机质含量就越高。这可能与该地区有机质组分及土壤矿物组成有关。由于石漠化过程中粒径大于 0.02 mm 土粒比小粒径土粒更容易流失,因此有机质含量也会随之大幅减少。

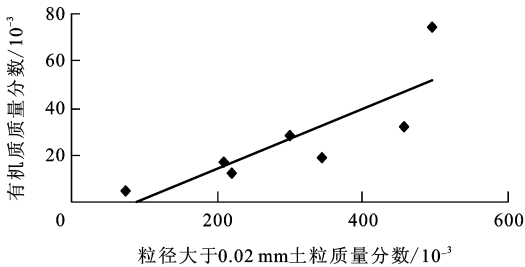


图 4 大于 0.02 mm 土粒含量与有机质的关系
Fig. 4 Relationship Between Contents of Soil Particle (> 0.02 mm) and Organic Matter

2.4 土壤结构性能

土壤结构是土壤物理性质的一个重要方面,它直接影响到土壤的通气、透水性,并最终对土壤质量产生影响。研究表明,植被破坏后,土壤结构会发生较大变化,土壤通透性能减弱,并最终导致土壤质量的下降^[14]。由表 4 可以看出,就各土壤剖面

而言,土壤总团聚体质量分数随着土层深度的增加逐渐下降。其中粒径(D)大于 5 mm 和 $2\text{ mm} < D \leq 5\text{ mm}$ 团聚体质量分数均呈降低趋势, $0.25\text{ mm} < D \leq 0.25\text{ mm}$ 团聚体质量分数逐渐增加, $1\text{ mm} < D < 2\text{ mm}$ 及 $0.5\text{ mm} < D \leq 1\text{ mm}$ 团聚体则没有明显变化。不同石漠化阶段表层土壤水稳性团聚体含量及其分布差异较大。植被条件良好的非石漠化及潜在石漠化土壤表土层中,大团聚体占大部分,其中又以大于 5 mm 团聚体所占比例最大,均在 30% 以上。土壤总团聚体含量较高,结构性能良好。而轻度石漠化土壤团聚体大部分小于 2 mm,分配比例不合理,较大的团聚体遇水后绝大部分分散,且总团聚体含量较低,通透性能较差,不利于植物生长及微生物活动。这是因为石漠化发展过程中,土壤有机质含量逐步下降,而有机质是土壤颗粒的主要黏结剂,所以土壤中团聚体含量随之减少。通过对供试土壤有机质与各粒级团聚体质量分数作相关分析发现(图 5),有机质与大于 5 mm 团聚体含量呈极显著的线性正相关,相关系数 $r=0.9072$ 。而有机质与其他粒级团聚体含量则无明显相关性。

表 4 不同石漠化阶段土壤结构状况

Tab. 4 Condition of Soil Structure Under Different Rocky Desertification									
石漠化阶段	土层深度/cm	水稳性团聚体质量分数/ %					总团聚体质量 分数/ %	分散 系数/ %	结构 系数/ %
		$D>$	$2\text{ mm}< D\leq$	$1\text{ mm}< D\leq$	$0.5\text{ mm}< D\leq$	$0.25\text{ mm}< D\leq$			
		5 mm	5 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm			
非石漠化	0~12	45.28	20.19	7.81	11.02	2.18	86.48	5.13	94.87
	12~24	28.07	17.36	6.24	14.65	5.81	72.13	12.59	87.41
	24~50	16.23	8.84	11.89	17.53	8.19	62.68	17.83	82.17
潜在石漠化	0~8	31.75	26.33	8.93	13.77	3.99	84.77	10.35	89.65
	8~32	13.29	5.95	12.55	16.98	9.87	58.64	15.46	84.54
轻度石漠化	0~17	5.71	7.88	14.82	21.57	17.07	67.05	18.69	81.31
	17~49	3.13	4.59	12.51	14.26	21.39	55.88	23.87	76.13

土壤分散系数愈大,微团聚体的水稳定性越差,其保水保肥能力就越差;结构系数反映了土壤的结构化程度,土壤结构系数越高,表明土壤结构越理想,良好的土壤结构对养分的保持及供应具有重要意义^[15]。由表 4 可以看出,各土壤剖面中分散系数均随着土层深度的增加而增加,结构系数表现为相反的趋势。非石漠化土壤表土层结构系数高达 94.87%,保水保肥能力较强。随着石漠化的发展,土壤结构逐渐恶化,轻度石漠化土壤表土层结

构系数为 81.31%。这是由于随着植被系统的退化,土壤有机质含量减少导致土壤入渗率减小,降雨时雨滴不仅将较大的土壤团聚体溅散,而且地表产生的超渗径流还会进一步冲刷表土,逐渐导致土壤的大团聚体破坏,大团聚体崩解破坏后转移到微团聚体部分,引起微团聚体数量上升,使得土壤结构系数减小,结构性能恶化。通过对土壤有机质质量分数与结构系数作相关分析可知(图 6),两者呈极显著的线性正相关,相关系数 $r=0.8993$ 。

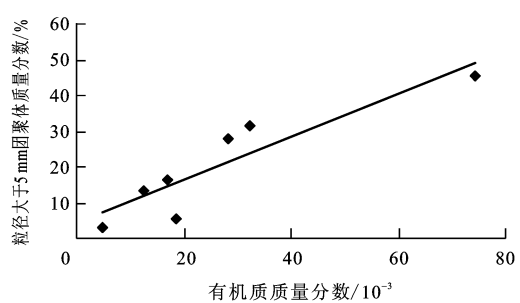


图 5 土壤有机质含量与粒径大于 5 mm 团聚体的关系
Fig. 5 Relationship Between Contents of Soil Organic Matter and Aggregates ≥ 5 mm

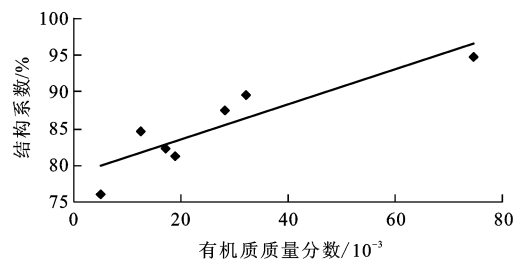


图 6 土壤有机质含量与结构系数关系
Fig. 6 Relationship Between Content of Soil Organic Matter and Structure Coefficient

3 结语

(1)非石漠化土壤重度仅为 6.15 N/m^3 , 黏粒、砂粒配比适当, 总团聚体质量分数较大, 结构系数高达 94.87%, 土壤通透性能良好, 保水保肥能力较强。随着石漠化的发展, 土壤重度增大, 孔隙度变小, 黏粒含量增多, 水稳性团聚体数量减少, 结构系数逐渐降低。各项参数均表明, 石漠化的发展使得土壤物理性质逐步恶化。

(2)土壤有机质质量分数与各物理参数具有极显著相关性, 与重度、砂粒含量、粒径大于 5 mm 团

聚体含量及结构系数的相关系数分别为-0.921 2、0.827 7、0.907 2、0.899 3。因此, 人为活动造成的有机质含量下降是土壤物理性质恶化的重要原因。

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] 苏维词, 杨 华, 李 晴, 等. 我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 447-451.

[3] 莫 彬, 曹建华, 徐祥明, 等. 岩溶石漠化演替阶段土壤质量退化的预警指标评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 16-18.

[4] 龙 健, 江新荣, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 419-427.

[5] 龙 健, 黄昌勇, 李 娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 76-79.

[6] 张冬青, 何腾兵, 林昌虎, 等. 贵州乌江流域喀斯特土壤物理性质的研究[J]. 贵州科学, 2006, 24(2): 39-43.

[7] 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): 29-33.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[9] 华 孟, 王 坚. 土壤物理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.

[10] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[11] 龙 健, 李 娟, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特山区石漠化土壤理化性质及分形特征研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 635-639.

[12] 周炼川, 陈效民, 李孝良, 等. 西南喀斯特地区不同石漠化阶段土壤有效磷变异研究[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(4): 418-422.

[13] 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.

[14] 孙 波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362-369.

[15] 姚贤良, 于德芬. 赣中丘陵地区红壤的不同结构状况对土壤养分的影响[J]. 土壤学报, 1979, 16(1): 75-80.