

# 黔中喀斯特地区岩性对表土理化性状及抗冲性影响

孙珍玲<sup>1</sup>, 高华端<sup>2</sup>, 张光辉<sup>1,3</sup>, 孙泉忠<sup>2</sup>, 袁 勇<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 3. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

**摘 要:**研究喀斯特地区岩性对土壤理化性状及抗冲性的影响,对探明石漠化机理具有重要意义。选取黔中喀斯特地区 5 种不同岩性上发育的表层土壤,分别测定其理化性状和抗冲性。结果表明:岩性对土壤机械组成、容重、孔隙度和有机质含量均有显著影响。碳酸盐岩(石灰岩和白云岩)发育的土壤理化性状最好,砂岩类(长石砂岩和紫色长石石英砂岩)次之,煤系地层土壤结构最差。煤系地层的抗冲性能也显著低于其他岩性组。因此进行喀斯特地区水土流失防治时,应针对不同岩性土壤状况分别治理,尤其加强煤系地层土壤流失防治工作。

**关键词:**岩性; 土壤理化性状; 抗冲性; 喀斯特地区

中图分类号:S157.1; S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0023-03

## Effects of Lithology on Physical and Chemical Properties and Anti-scourability of Surface Soil in Karst Region of Central Guizhou

SUN Zhen-ling<sup>1</sup>, GAO Hua-duan<sup>2</sup>, ZHANG Guang-hui<sup>1,3</sup>, SUN Quan-zhong<sup>2</sup>, YUAN Yong<sup>2</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. State Key Laboratory  
of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Discovering the influence of lithologic discrepancy on soil physical and chemical properties and anti-scourability in karst area is significance of studying the processes of rocky desertification. Five lithological soils in karst region of central Guizhou Province were chosen to measure soil physical and chemical properties and anti-scourability. The results indicated: there were significant differences in soil mechanical composition, bulk density, porosity and content of organic matter among different lithologies. Soils derived from carbonate rocks (dolomite and limestone) had the best physical properties, followed by soils developed from sandstones (arkose and purple feldspar quartz sandstone). Properties of soils derived from coal measures strata are the poorest. Besides, the anti-scourability of soil from coal measures is the weakest. So more attention should be paid on soils developed from different lithology in soil conservation, especially for the coal measures.

**Key words:** lithology; soil physical and chemical property; anti-scourability; karst region

贵州省是我国西南亚热带地区喀斯特强烈发育的省份,可溶性碳酸盐岩出露面积占全省国土面积的 73%<sup>[1]</sup>。在脆弱的喀斯特环境下,由于土壤侵蚀导致可利用耕地减少,土地生产力低下。喀斯特地区成土速率低、土层浅薄等特点,导致该区土壤允许流失量小,同等侵蚀的后果远比非喀斯特地区严重。土壤侵蚀引起的石漠化、土壤贫瘠化、土壤结构恶化等问题十分凸显<sup>[2]</sup>,已严重制约了该地区经济社会的可持续发展。

在喀斯特地区,岩性是影响土壤侵蚀最主要的原因之一<sup>[3]</sup>,发育在不同性质母岩上的土壤,其理化性状存在显著差异<sup>[4]</sup>,进而可能引起土壤抗冲性能的变化。国内关于土壤抗冲性的研究主要从植被<sup>[5-6]</sup>、土地利用<sup>[7-9]</sup>及根系<sup>[10-12]</sup>等方面展开,且大多集中在黄土高原地区。有少数人在喀斯特地区做过不同土地利用方式的土壤抗冲抗蚀性研究<sup>[13-15]</sup>。但岩性对土壤理化性状和抗冲性影响的研究鲜见报道。土壤的

收稿日期:2011-01-06

修回日期:2011-03-26

资助项目:贵州省科学技术基金项目“喀斯特地区土壤侵蚀与石漠化”(黔科合 J 字[2007]2153 号)

作者简介:孙珍玲(1987—),女,湖北省枣阳人,在读硕士生,从事土壤侵蚀及其环境影响评价研究。E-mail:sunzhenling36@mail.bnu.edu.cn

通信作者:张光辉(1969—),男,甘肃省静宁人,教授,博士,从事土壤侵蚀、水文与水资源评价。E-mail:ghzhang@bnu.edu.cn

理化性状之间相互影响,定量分析理化性状有助于分析土壤抗冲性。本研究采集贵州中部白云岩、长石砂岩、煤系地层、石灰岩、紫色长石石英砂岩上发育的表层土壤,分析岩性对表土理化性状及土壤抗冲性的影响规律,为阐述喀斯特地区土壤侵蚀机理,优化水土保持措施配置及恢复生态环境提供理论依据。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于黔中腹地花溪区,地处东经  $106^{\circ}27' - 106^{\circ}52'$ ,北纬  $26^{\circ}11' - 26^{\circ}34'$ ,全区地貌以山地和丘陵为主,土地总面积  $957.6 \text{ km}^2$ 。区内地表出露较全,有石灰岩、白云岩、砂岩、砂页岩等,其中以碳酸盐岩为主,属于典型的喀斯特地区。森林覆盖率达到  $41.4\%$ ,海拔  $1130 \sim 1326 \text{ m}$ 。该区气候温和湿润,雨量充沛。年均气温  $14.9^{\circ}\text{C}$ ,7月平均温度  $23^{\circ}\text{C}$ ,1月平均温度  $4.7^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量  $1299 \text{ mm}$ ,属于亚热带高原季风性气候。

### 1.2 研究方法

按线路法进行野外调查,在研究区内选取不同岩性发育的原状土典型样地,共计 51 个样点,不同岩性组样点数如表 1 所示。每个样点采用美国 DICKEY—john6100 型土壤紧实度仪进行原状土紧实度测量,重复 5 次,取平均值作为该点的土壤紧实度值。然后进行剖面开挖,统一采集 A 层中部土壤,分别用

铝盒、环刀和自封袋采集土样带回室内做土壤理化性状和抗冲性分析。其中机械组成用比重计法重复测 1 次;容重和孔隙度用环刀法重复 1 次;有机质用  $\text{KCr}_2\text{O}_7 - \text{H}_2\text{SO}_4$  氧化法重复 3 次;抗冲性采用蒋定生设计的原状土冲刷法<sup>[16]</sup>。冲刷时坡度选  $25^{\circ}$ ,将采集的土样削成  $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  土样,采用恒定流量  $30 \text{ ml/s}$  冲刷 4 min,烘干称重每次冲刷产生的泥沙,并计算冲刷模数  $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})]$  用以表征抗冲性。

表 1 不同岩性样点数

岩性	白云岩	长石砂岩	煤系地层	石灰岩	紫色长石石英砂岩	合计
样点数/个	8	5	6	27	5	51

## 2 结果与分析

### 2.1 岩性对土壤理化性状的影响

通过对不同岩性发育土壤的机械组成、孔隙度、容重、紧实度和有机质指标的测定,按照指标归类分别得到质地类型与机械组成表(见表 2),其中机械组成采用美国农业部制土壤分类机制,取每个岩性组均值作为机械组成指标值。质地类型运用张丽萍等研发的 STAC 程序<sup>[17]</sup>。计算每个样本的三种颗粒含量得出。各岩性土壤其它理化指标组平均值见表 3。在原始数据统计的基础上,进行 5 种岩性各类理化指标的组间差异性检验,得到表 4。

表 2 不同岩性发育土壤的质地与机械组成

岩性	含量/%			质地
	黏粒 $< 0.002 \text{ mm}$	粉粒 $0.002 \sim 0.05 \text{ mm}$	砂粒 $0.05 \sim 2 \text{ mm}$	
白云岩	40.72	45.56	13.72	粉黏壤土—黏土
长石砂岩	24.90	42.32	32.78	壤土—黏壤土
煤系地层	45.68	33.53	20.79	黏壤土—黏土
石灰岩	39.31	49.26	11.43	粉壤土—黏土
紫色长石石英砂岩	31.89	42.30	25.81	壤土—粉黏土

机械组成是土壤结构体的基本单元,受基岩和母质的影响很大。从表 2 可以看出,整体而言喀斯特地区的土壤质地偏粘,多数在壤土到黏土之间。其中煤系地层发育的土壤黏粒含量最高,土壤的质地最粘,加之黏粒具有强吸附力,所以矿质养分丰富。长石砂岩黏粒含量最低,仅有煤系地层土壤黏粒含量的  $1/2$ ,砂粒含量最高。因为砂岩类风化过程保留了较多的粗骨质颗粒,因此土壤中砂粒多且粗。白云岩和石灰岩属于碳酸盐岩,在其风化成土过程中,只有少部分黏土杂质堆积成土,粉粒含量最大,黏粒和砂粒含量较少。由于白云岩和石灰岩风化成土性能不同<sup>[16]</sup>,造成二者机械组成不同,石灰岩地区土壤石砾含量较低(砂粒含量  $11.43\%$ ),而白云岩地区土壤石砾含量

较高(砂粒含量  $13.72\%$ )。

由表 3 可知,5 种岩性的土壤孔隙度、容重、有机质含量和紧实度之间的相互联系可以综合反映土壤的结构和肥力状况。孔隙度和容重指标密切相关,孔隙度大的,容重则小。喀斯特地区土壤总孔隙度为  $47\% \sim 60\%$ ,变动幅度较大。有机质含量都比较高,为  $46.5 \sim 60 \text{ g/kg}$ ,说明喀斯特地区土壤肥力状况总体良好。碳酸盐岩类发育的土壤孔隙度和有机质含量均最大,砂岩类土壤最小,容重的变化规律与孔隙度相反。说明碳酸盐岩发育的土壤结构疏松,保水透气性好,较高的有机质含量有助于形成更多团粒结构,土壤的肥力也最好。砂岩类具有最差的结构性。土壤紧实度指标变化规律为:煤系地层  $>$  长石砂岩  $>$

石灰岩>紫色长石石英砂岩>白云岩。煤系地层土壤最紧,与其质地粘重有密切关系,紧实的土壤不利于植物根系生长,也不利于通气透水,土壤的水土保持功能不好。

由表 4 可知,不同岩性组的土壤除紧实度外,其他理化性状之间均具有极显著差异,说明岩性对土壤的理化性状有显著影响,因此实施水土保持措施要重视不同岩性发育土壤之间理化性状的差异性。各岩性组之间的紧实度没有明显差异,说明紧实度可能受

其它因素(如植被根系等)影响更为强烈,与岩性之间没有必然联系

表 3 不同岩性发育土壤的其他理化性状指标平均值

岩性及编号	孔隙度/	容重/	有机质/	紧实度/
	%	(g·cm <sup>-3</sup> )	(g·kg <sup>-1</sup> )	(kPa)
白云岩 A	55.96	1.17	55.95	713.05
长石砂岩 B	47.61	1.39	46.47	987.60
煤系地层 C	51.32	1.29	51.32	1010.83
石灰岩 D	59.46	1.07	59.73	861.25
紫色长石石英砂岩 E	47.52	1.39	46.36	844.00

表 4 不同岩性土壤理化性状组间差异性检验

项目	砂粒含量	粉粒含量	黏粒含量	容重	孔隙度	有机质	紧实度
P 值	0.000**	0.001**	0.003**	0.000**	0.000**	0.000**	0.322

\* 显著  $P<0.05$ ; \*\* 极显著  $P<0.01$ , 下表同。

2.2 岩性对土壤抗冲性的影响

抗冲性是指土壤抵抗径流机械破坏和推移的能力,它反映了土壤抵抗侵蚀性能的强弱,受土壤理化性状、岩性及土地利用等多种因素的影响。

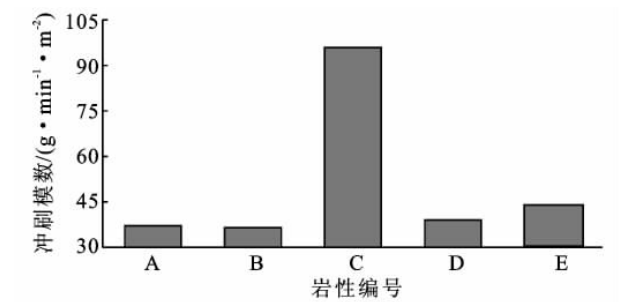


图 1 不同岩性的土壤冲刷模数

从图 1 中可以看出,煤系地层土壤冲刷模数显著高于其它岩性,其它岩性组冲刷模数在 40 g/(m<sup>2</sup>·min) 左右,煤系地层组土壤冲刷模数是其它的 2 倍多,达到 96 g/(m<sup>2</sup>·min)。煤系地层的岩性组成复杂,有泥岩、粉砂岩、砂岩等,发育成的土壤性质更为复杂。其它几种岩性的土壤冲刷模数差异不显著,冲刷模数大小依次排列为:紫色长石石英砂岩>石灰岩>白云岩>长石砂岩。在土壤侵蚀防治时,尤其注意煤系地层的土壤状况,应实施更好的水土保持措施。

从表 5 可见土壤冲刷模数与有机质、砂粒、粉粒含量呈显著的相关关系,充分说明土壤抗冲性主要受到 3 个指标的影响。有机质能促进团粒结构形成,粉粒是形成良好土壤结构体的最好颗粒,粉粒越多,土壤的固体颗粒结构越均匀,使土壤具有更强的抗冲刷性能。因此随有机质含量的增大,土壤抗冲性增强;但随着砂粒含量的增大,土壤抗冲性下降,因为砂粒土壤颗粒粗大,缺少粘结力,容易被冲刷而分离。冲刷模数与土壤其它理化性状相关关系不显著,其中与黏粒含量、孔隙度、紧实度之间呈反相关关系,与容重呈正相关关系。

表 5 冲刷模数和土壤理化性状相关性分析

土壤理化指标	相关系数 $r$	伴随概率 $P$
有机质含量	-0.359*	0.010*
砂粒含量	0.302*	0.033*
粉粒含量	-0.333*	0.018*
黏粒含量	-0.003	0.986
孔隙度	-0.255	0.074
紧实度	-0.183	0.208
容重	0.255	0.074

3 结 论

(1)不同岩性的土壤理化性状除紧实度外均存在极显著差异。碳酸盐岩(白云岩和石灰岩)发育的土壤结构性最好,砂岩类(长石砂岩和紫色长石石英砂岩)次之,煤系地层质地粘重,紧实度最大,结构性差。

(2)煤系地层的土壤抗冲刷能力最弱,其冲刷模数大约是其它岩性组的 2 倍,需要针对煤系地层发育的土壤进行更好的保护措施。不同岩性土壤冲刷模数变化规律:煤系地层>紫色长石石英砂岩>石灰岩>白云岩>长石砂岩,另外所有土壤的冲刷模数与有机质、砂粒、粉粒含量间呈显著相关,随着有机质及粉粒含量的增大而增大,随砂粒含量的增大而减小。研究结果对阐述喀斯特地区土壤侵蚀机理,优化水土保持措施配置及恢复生态环境具有一定的理论和实践意义。

参考文献:

[1] 徐燕,龙健. 贵州喀斯特山区土壤物理性质对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(1):157-159,175.  
[2] 蔡雄飞,王济,雷丽,等. 中国西南喀斯特地区土壤退化研究进展[J]. 亚热带水土保持,2009,21(1):32-39.  
[3] 吕明辉,王红亚,蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述[J]. 地理科学进展,2007,26(2):87-96.

农产业制定有针对性的防汛政策,建设有效、可用性强的水利设施。

## 5 总结与展望

(1)气象条件等自然因素诱发产生洪涝灾害,以人类活动为代表的城市化过程明显加剧了洪涝灾害风险性;城市化与洪涝灾害风险的空间分布呈现一致性;平原区的快速城市化发展导致其洪涝灾害风险明显大于低山丘陵地区。

(2)伴随城市化发展,1994—2001年洪涝灾害风险增大主要发生在南京城南和沿江地带,2001—2008年洪涝灾害风险增大区域沿秦淮河干流向中上游发展,前埠村附近的风险增大明显;到2008年,秦淮河干流沿岸的洪涝灾害风险相对较高,南京主城区的洪涝灾害风险最大,研究区西南和东北角的洪涝灾害风险较小。

(3)秦淮河下游南京主城区和江宁新市区的防汛压力加大。应加强防汛水利综合配套工程建设及科学调度,提高洪涝灾害气象预报能力。对中上游新兴城市化区,应结合其工农业产业结构制定有针对性的防洪措施。

### 参考文献:

- [1] Richards B D. 洪水的估算与控制[M]. 北京:水利电力出版社,1958:16-31.
  - [2] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京:科学出版社,2007:3-60.
  - [3] 周成虎,万庆,黄诗峰,等. 基于GIS的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报,2000,55(1):15-24.
  - [4] 张念强. 基于GIS的鄱阳湖地区洪水灾害风险评价[D]. 南昌:南昌大学,2006.
  - [5] 李谢辉,王磊,谭灵芝,等. 渭河下游河流沿线区域洪水灾害风险评价[J]. 地理科学,2009,29(5):733-739.
  - [6] Shigeko H, Hiroshi O, Tongchai S, et al. Geomorphological zoning for flood inundation using satellite data[J]. GeoJournal,1996,38(3):273-278.
  - [7] Anselmo V, Galeati G, Palmieri S, et al. Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach: a case study[J]. Journal of Hydrology,1996,175:533-554.
  - [8] Jiang Weiguo, Deng Lei, Chen Luyao, et al. Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics[J]. Progress in Natural Science,2009,19(10):1419-1425.
  - [9] 黄大鹏,刘闯,彭顺风. 洪涝灾害风险评价与区划研究进展[J]. 地理科学进展,2007,26(4):11-22.
  - [10] 叶正伟. 淮河洪泽湖洪涝灾害特征与成灾本底机理分析[J]. 水土保持研究,2006,13(4):90-92.
  - [11] 陈香. 福建省暴雨洪涝灾害风险评估与管理[J]. 水土保持研究,2007,14(4):180-185.
  - [12] 陈锡林,闻余华,罗俐雅. 里下河地区暴雨与致涝关系分析[J]. 江苏水利,2008(4):17-20.
  - [13] 南京市统计局. 1994年统计年鉴,2001年统计年鉴,2008年统计年鉴[EB/OL]. <http://www.njtj.gov.cn/2004/index.html>.
  - [14] 李军玲,刘忠阳,邹春辉. 基于GIS的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J]. 气象,2010,36(2):87-92.
  - [15] 苏伟忠,杨桂山,顾朝林. 秦淮河流域城镇用地增长格局及其演化机制:秦淮河流域江宁段实证[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(4):440-445.
- ~~~~~
- (上接第25页)
- [4] 郭建军,李惠卓,郝金宏. 不同母岩母质上土壤特性的分析与研究[J]. 河北林业科技,2004(6):13-14.
  - [5] 张建军,张宝颖,毕华兴,等. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性[J]. 北京林业大学学报,2004,26(6):25-29.
  - [6] 周清,王翠红,郭朝晖,等. 湖南省丘岗红壤抗冲性实验研究[J]. 湖南农业大学学报,2001,27(3):202-204.
  - [7] 邹翔,崔鹏,陈杰,等. 小江流域土壤抗冲性实验研究[J]. 水土保持学报,2004,18(2):71-73.
  - [8] 蒋定生. 黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力的研究[J]. 土壤通报,1979(4):20-23.
  - [9] 刘秉正,王佑民,陈东立. 刺槐林地土壤抗冲性的试验研究[J]. 西北林学院报,1984,1(1):83-94.
  - [10] 刘国彬. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程:Ⅱ. 植被恢复不同阶段土壤抗冲性特征[J]. 水土保持研究,1997,4(S1):111-121.
  - [11] 李勇,朱显谟,田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 科学通报,1991(12):935-938.
  - [12] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报,1993,7(3):11-18.
  - [13] 吴秀芹,蔡运龙,蒙吉军. 喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究:以贵州省关岭县石板桥流域为例[J]. 水土保持研究,2005,12(4):46-48,77.
  - [14] 袁勇,高华端,孙泉忠. 黔中喀斯特地区不同地类土壤侵蚀研究[J]. 中国水土保持,2010(6):50-51,66.
  - [15] 高华端,孙泉忠,袁勇. 喀斯特地区不同土地利用类型土壤侵蚀特征研究[J]. 水土保持通报,2010,30(2):92-96.
  - [16] 蒋定生,范兴科,李新华,等. 黄土高原水土流失严重地区土壤抗冲性的水平和垂直变化规律研究[J]. 水土保持学报,1995,9(2):1-8.
  - [17] 张丽萍,张德铨,王英安,等. 国内外土壤质地自动分类程序介绍[J]. 土壤通报,2007,38(5):989-992.