

# 石林地区土壤性质与喀斯特洼地发育

梁福源<sup>1</sup>, 宋林华<sup>1</sup>, 唐 涛<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. State University of New York, College Buffalo, USA)

**摘要:** 对石林地区洼地边坡和底部红壤的物理、化学性质差异进行了研究, 结果表明土壤的化学成分、水分含量和粒度组成都和所处的地貌部位有关。洼地底部的土壤细粘粒含量、水分含量、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量低于洼地边坡, 而粗粉粒含量、 $\text{SiO}_2$  含量则高于洼地边坡。土壤  $\text{SiO}_2$  含量随粒径变细而减少,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  则随粒径变细而增加, 土壤中水分含量与细粘粒含量正相关, 与粗粉粒含量负相关。因此, 不同地貌部位土壤的粒度组成差异决定了洼地底部和边坡的水分含量及化学组成的差异。

**关 键 词:** 路南石林; 洼地发育; 土壤性质

**中图分类号:** P931.5; S153 **文章编号:** 1000-0585(2004)03-0321-08

喀斯特洼地是喀斯特地区以溶蚀作用为主形成的比较平坦的封闭负地形<sup>[1]</sup>。洼地的成因有崩塌形成<sup>[2]</sup>、溶蚀作用形成<sup>[3,4]</sup>和地表和地下排水系统联合侵蚀和溶蚀作用共同形成等<sup>[5,7]</sup>。宋林华<sup>[8]</sup>提出洼地的发育是从生物作用开始, 随着洼地内土壤等风化物质的堆积, 洼地在地表流、土壤层流、土壤与石灰岩接触面上的面流等八种不同类型水流共同作用进一步演化发育。洼地一般为松散沉积物所覆盖, 例如在桂林喀斯特地区除了峰丛陡坡地段为零星窝状土壤覆盖外, 鞍部、峰丛坡地及洼地都存在着厚 50cm 到数米的土壤层, 土壤中有机碳则成为喀斯特系统中碳移动的动力学媒介, 控制着土壤中  $\text{CO}_2$  的浓度, 成为洼地发育的驱动力<sup>[9]</sup>。

洼地形成后, 水流向洼地中心汇集, 因此洼地中心的溶蚀量要大于洼地坡<sup>[4]</sup>; 洼地底部的厚层土壤中的  $\text{CO}_2$  浓度高, 土壤水溶蚀潜力大, 因此土壤促进了洼地的进一步发育。但覆盖在石灰岩上的土壤的饱和导水系数要低于石灰岩, 一般说来, 土壤的饱和导水系数一般在  $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ m/d}$ , 而喀斯特化不均匀石灰岩含水层中的导水系数却在  $10^{-1} \sim 10^3 \text{ m/d}$ , 因此土壤层调节了水的入渗。而如果土壤中粘粒含量较高, 则会阻碍大气降水的入渗<sup>[6]</sup>。因此, 土壤层的存在, 也会影响洼地的进一步发育。洼地的不同地貌部位发育的土壤层厚薄及其理化性质的差异则是促进或者阻碍洼地进一步发育的主要因素。因此, 本文在云南石林地区选择了分布于洼地底部和边坡的 9 个研究点, 对其土壤物理粒度组成、水分含量及土壤化学组成进行了研究, 同时选择了其中的一个洼地对其底部和边坡不同土壤深度的石灰岩溶蚀速率进行了研究, 以探讨土壤性质对喀斯特洼地发育的影响。

收稿日期: 2003-07-08; 修订日期: 2003-11-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40071017)、(90202017); 石林研究基金资助项目 (199903)

作者简介: 梁福源 (1975-), 男, 广西临桂人, 博士, 从事喀斯特地貌研究。

通讯作者: 宋林华 (1942-), 男, 江苏武进人, 研究员, 博导, 从事喀斯特与洞穴和风景地学研究。E-mail: songlh@gsnrr.ac.cn.

## 1 研究方法

在石林景区内选择了 4 个洼地, 在其边坡和洼地底部等不同地貌部位选择 9 个研究点 (图 1), 在每个研究点上都开挖了 60~120cm 深的土壤剖面。每一土壤剖面按照土壤层位 (A、B 和 C 层) 和不同深度 (间隔 20cm) 进行采样, 对所采集的样品进行土壤 pH、水分含量、粒度组成和化学成分的分析。同时其中的 D1 和 D2 两个研究点用溶蚀试片法对土下石灰岩溶蚀速率进行了研究。

用岛津 RS-1000 型粒度分析仪分析土壤粒度组成、用盐酸滴定法分析碳酸钙含量、用玻璃电极法直接测量土壤 pH 值 (加水 1:2.5), “烘干法” 测量土壤水分含量。

在 D1 和 D2 剖面用溶蚀试片法进行了土下溶蚀试验, 设计如下: 制作标准溶蚀试片的石灰岩取自路南石林地区二叠系茅口组灰岩, 在实验室内加工成直径约为 5cm、厚约 0.5cm 的薄饼状圆形试片。对每一试片均用游标卡尺测量其直径和厚度 5~6 次, 取平均值, 计算其表面积。在埋放之前, 烘干、称至恒重。试片于 1999 年 11 月埋放, 每一深度埋放 3 块试片, 2001 年 11 月取出。在室内用蒸馏水将试片上的泥沙冲洗干净, 同样放在干燥风干箱内经加温至 105℃ 脱吸附水 24 小时后, 置于干燥皿中冷却后用万分之一天平称重, 得到第二次重量值, 两次重量值之差即为试片在埋放时间内的溶蚀损失。3 块试片的平均失重值与试片表面积的比值即为该点该深度的石灰岩的溶蚀速率。在 D1 和 D2 两点共埋放了 27 块试片, 回收 25 片。保证了试验结果的有效性和可靠性。

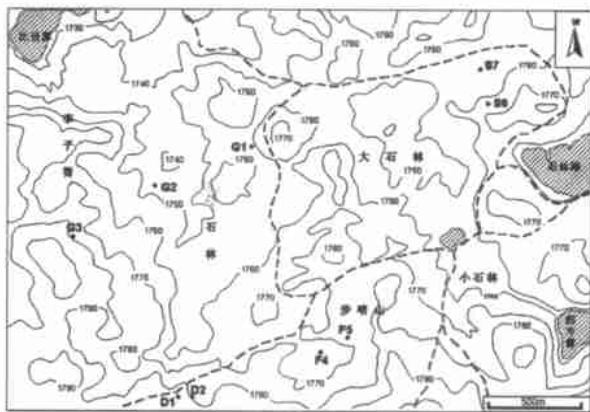


图 1 采样点分布示意图

Fig. 1 Location of study sites

## 2 结果和讨论

### 2.1 研究剖面

对 9 个研究点进行的研究 (图 1), 其中 G1、G3、F5、D2、S6 位于洼地的边坡, 而 G2、D1、F4、S7 则位于洼地底部。各点土壤层位及其特征见表 1。

从表 1 说明, 石林地区土壤以粘土为主。A 层主要为黑色、褐色或紫红色的暗色表土层。B 层主要为淋滤层, 紫色或紫红色为主, C 层则多为紫红色粘土层。各剖面点不同层位的厚度有一定的空间差异性, 外石林—李子箐地区的 G1 - G2 - G3 剖面, 其 A 层厚度在 0~15cm 之间, 洼地底部的 G2 点 A 层厚度 (0~12cm) 稍小于洼地边坡 G1 和 G3 (0~15cm); B 层厚度则是洼地底部 G2 点 (12~84cm) 大于洼地边坡 G3 点 (15~62cm) 和 G1 点 (15~25cm); 步哨山地区的 F4 - F5 剖面, 洼地底部和洼地边坡的层位厚度基本一致, A 层厚度大约为 25cm, 洼地底部 F4 点 B 层厚度 (25~55cm) 小于洼地边坡 F5 点 (24~76cm); 大石林地区的 S6 - S7 剖面, 洼地底部 S7 点 A 层厚度 (0~5cm) 小于洼地边坡 S6 点 (0~12cm), B 层厚度则是洼地边坡 S6 点 (12~56cm) 点大于洼地底部 S7 (5~36cm)。各点的 C 层厚度由于受采样条件所限未见底部, 无法确定。S7 点还存在一古土壤层, 主要分 A、B 两层, 其中 A 层为褐色水稻土, 厚度为 12cm, B 层为红壤厚度

18cm。从各点土壤层位来看，层位厚度和土壤所处的地貌部位并没有一定的对应关系。

表 1 各土壤剖面及其形态特征描述

Tab. 1 Morphological features of profiles

剖面编号	地貌部位	土壤层位及形态特征描述
G1	洼地边坡	A (0 ~ 15cm) 暗色表层土
		B (15 ~ 25cm) 粘土富泥层, 褐色
		C (25 ~ 60cm) 母质层, 黄胶泥
G2	洼地底部	A (0 ~ 12cm) 暗色表层土
		B1 (12 ~ 56cm) 暗色表层土
		B2 (56 ~ 84cm) 紫红色 Fe 质淋滤层, 淋溶作用弱
		C (84 ~ 100cm) 紫红色粘土层
G3	洼地边坡	A (0 ~ 15cm) 褐土, 草根发育, 石灰岩和玄武岩碎屑颗粒
		B (15 ~ 62cm) 紫红色残积土
		C (62 ~ 100cm) 紫红色粘土
F4	洼地底部	A (0 ~ 25cm) 暗色表层土
		B (25 ~ 55cm) 紫色铁质结核, 大量根须
		C (55 ~ 90cm) 黄色土壤, 铁质结核, 石灰岩碎屑
F5	洼地边坡	A (0 ~ 24cm) 暗色表层土
		B (24 ~ 76cm) 紫色土, 有铁质结核
		C (76 ~ 100) 紫红色粘土
S6	洼地边坡	A (0 ~ 12cm) 暗色表层土, 大量根须
		B1 (12 ~ 56cm) 紫红色土, 少量根须
		B2 (56 ~ 100) 紫红色铁质淋滤层, 未见 C 层
S7	洼地底部	A (0 ~ 5cm) 暗色表层土
		B (5 ~ 36cm) 紫红土
		埋藏 A 层 (36 ~ 48cm) 褐色, 水稻土
		埋藏 B 层 (48 ~ 66cm) 红壤
D1	洼地底部	C (66 ~ 100cm) 紫红色黄胶泥 (母质层)
D2	洼地边坡	玄武岩风化壳, 未分层

2.2 粒度组成

各剖面不同层位土壤粒度组成见表 2。石林地区土壤中各粒级的含量为，沙粒组 (1 ~ 0.05mm) 1.4 ~ 19 %，粗粉粒 (0.05 ~ 0.01mm) 4.4 ~ 38.8 %，中粉粒 (0.01 ~ 0.005mm) 2 ~ 10.1 %，细粉粒 (0.005 ~ 0.002mm) 3.5 ~ 14 %，粗粘粒 (0.002 ~ 0.001mm) 0.3 ~ 6.3 %，细粘粒 (<0.001mm) 23 ~ 83.2 %。粒级含量变化范围最大的是细粘粒和粗粉粒含量。从石林地区来看，土壤中细粘粒以 S6 点 B1 层和 G3 点 C 层的含量为最高，最大值可以达到 83.2 %，而最小值则出现在 G2 点的 B2 层，含量仅为 23 %。

土壤粒度组成和母岩成分有一定的关系。D1、D2 点分布在厚层的玄武岩风化壳之上，土壤为玄武岩风化而成，上部土壤风化程度高，土壤颗粒细，下部土壤风化程度低，颗粒较粗。其他的点则发育在石牙或者石柱的裂隙之间，表生环境下受大气降水强烈的机械淋溶作用。在水流作用下，表层土壤中粘粒级沿裂隙下渗，而粉砂和砂粒级矿物作为土层骨架相对富集<sup>[10]</sup>。

地貌部位对土壤粒度组成有一定的控制作用 (图 2)。统计分析表明，洼地底部粗粉粒含量为 (14.3 ~ 43.6 %) 高于洼地边坡的粗粉粒含量 (3.0 ~ 23.8 %)；而洼地底部的细

表 2 各研究点不同层位土壤粒度组成

Tab. 2 Particle-size distribution of profiles

剖面	层位	粒 径 (mm)					
		砂粒组 1 ~ 0.05	粗粉粒 0.05 ~ 0.01	中粉粒 0.01 ~ 0.005	细粉粒 0.005 ~ 0.002	粗粘粒 0.002 ~ 0.001	细粘粒 < 0.0001
G1	A	16.1	14.3	4.4	8	4.6	52.6
	B	12.3	18.9	6	7.8	5	50
	C	10.3	16.5	6.6	5.5	3.3	57.8
G2	A	16	38.1	8.1	8.4	5.7	23.7
	B1	11.4	38.8	8	7	5.6	29.2
	B2	15.8	36.1	10.1	9.8	5.2	23
	C	4	34.2	7.4	7.9	4.7	41.8
G3	A	17.3	23.1	4.6	5.8	4.7	44.5
	B	3.8	10.5	5.7	5.6	4.6	69.8
	C	1.4	4.6	4.4	5.1	2	82.5
F4	A	17.3	23.4	7.3	6.7	5.5	39.8
	B	13.1	24.6	6.8	7.1	4.7	43.7
	C	13.5	21.7	6.4	7.5	4.3	46.6
F5	A	8.3	19.1	8.6	9.5	6.3	48.2
	B	8.8	17.2	7	5.8	3.5	57.7
	C	8.9	14.8	6.8	6.5	3.8	59.2
S6	A	17.5	23.8	7	6.1	4.8	40.8
	B1	3.6	4.4	2	3.5	3.3	83.2
	B2	6.8	6.2	2.3	3.9	3	77.8
S7	A	13.2	28.4	7.1	7.3	5.2	38.8
	B	12.5	28.4	7.1	7.3	5.2	38.8
	A #	12.5	36.5	6	6.2	4.3	34.5
	B #	13.8	29.2	6.3	6.8	5.7	38.2
	C	7	14.3	6.3	5.6	2.6	64.2
D1	20	14.8	15.2	5.5	10	0.6	53.9
	40	16.5	16.9	5.4	10.4	1.4	49.4
	60	17.3	17.2	6.7	7.7	0.3	50.8
	80	19	15.5	5.8	8.4	0.6	50.7
	100	6.7	29	5.9	9.4	1.9	47.1
D2	20	11.2	10.8	4.1	11.7	2.1	60.1
	40	10.8	10.2	5	14	3	57
	60	13.8	14.6	3.1	10.3	2.1	56.1

注：A #、B #分别为埋藏 A 层和埋藏 B 层。

粘粒含量（20 ~ 64.2 %）则低于洼地边坡的细粘粒含量（40.8 ~ 85.4 %）。地貌部位导致土壤粒度组成差异的另外一个原因则是土壤侵蚀。一般说来，洼地边坡是土壤发生侵蚀的地区，而洼地底部则是沉积区域。土壤侵蚀过程中，绝大部分粘粒主要以团聚体的形式发生运移<sup>[11]</sup>，土壤团聚体中粉粒含量超过 33 %时，其密度较低，有利于随地表径流发生运移<sup>[12]</sup>，因此，沉积区（洼地底部）的土壤比侵蚀区（洼地边缘）的土壤更富集粉粒含量，而粘粒和砂粒含量则相对减少。

2.3 地貌部位与含水量

石林地区洼地底部土壤中含水量为 21.24 ~ 46.70 %，洼地边坡含水量则为 23.11 ~ 48.82 %（图 3）。分析表明土壤含水量与土壤粘粒含量正相关，与土壤粗粉粒含量负相关。土壤颗粒粒径变细而产生的比表面积的不断增加，土壤的吸湿量、最大吸湿量和持水量都不断增加，吸湿系数以细粘粒的为最大，总吸水量也随红壤粒径的变细而增加<sup>[13]</sup>。

2.4 地貌部位与土壤化学组成

图4~6中可以看出,随土壤中细粘粒含量增高,粗粉粒含量减少, $\text{SiO}_2$ 含量减少, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量增大。

土壤化学成分主要是由组成土壤不同粒级的矿物所决定的。沙粒组主要是石英矿物,粉粒组还有大量石英,中粉粒中石英明显减少,而以无定形硅酸、硅酸水化物和无水硅酸等化合物形式存在。细粉粒在化学组成上是向粘粒过渡的粒级,其中集中了大部分化学和生物风化的产物,如Fe、Al和Mn的氧化物、腐殖质及粘土矿物。粗粘粒中 $\text{SiO}_2$ 的含量明显减少, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量明显增多,细粘粒中 $\text{SiO}_2$ 含量最低,而 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量为最高<sup>[14,15]</sup>。因此,从土壤粒径与化学组成来看,土壤中 $\text{SiO}_2$ 含量随粒径变细而减少, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 则随粒径变细而增加。

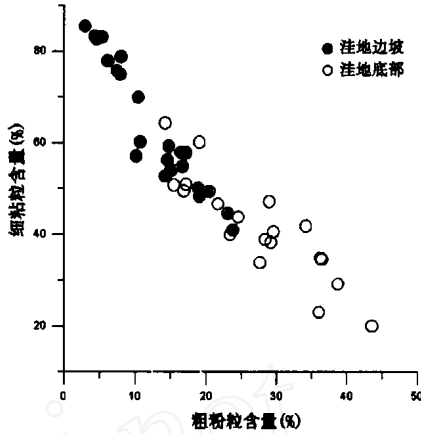


图2 洼地底部和边坡不同的粒度组成  
Fig. 2 Different patterns of particle-size distribution in the bottom and slope of doline

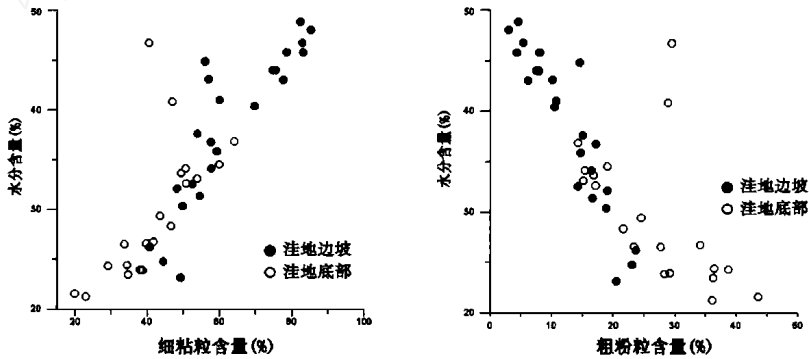


图3 不同地貌部位土壤细粘粒、粗粉粒含量对水分含量的影响  
Fig. 3 The relation between the water content and clay content , silt content of soil samples

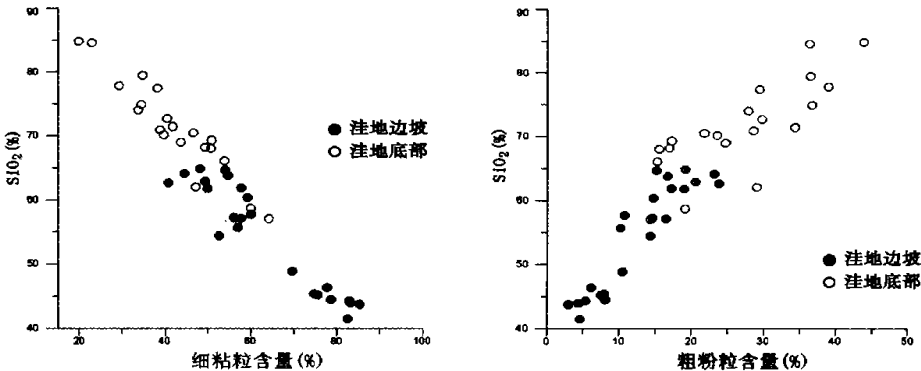


图4 不同地貌部位土壤细粘粒、粗粉粒含量对 $\text{SiO}_2$ 含量的影响  
Fig. 4 The relation between the  $\text{SiO}_2$  content and clay content , silt content of soil samples

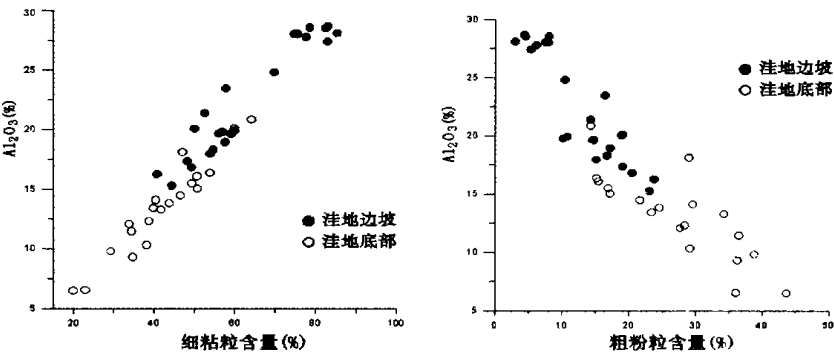


图 5 不同地貌部位土壤细粘粒、粗粉粒含量对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的影响

Fig. 5 The relation between the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  content and clay content , silt content of soil samples

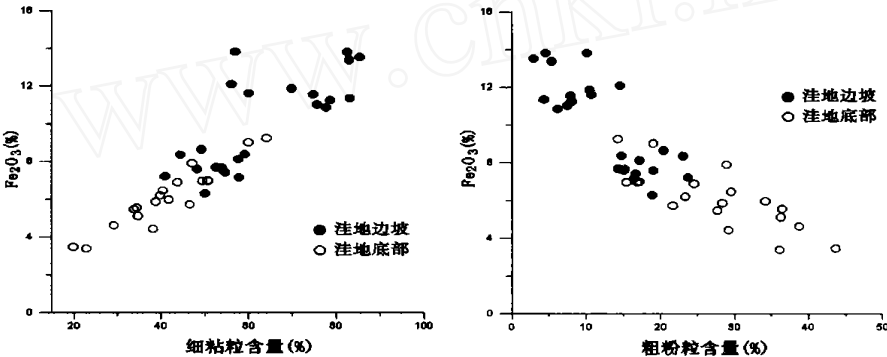


图 6 不同地貌部位土壤细粘粒、粗粉粒含量对  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量的影响

Fig. 6 The relation between the  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content and clay content , silt content of soil samples

表 3 D1、D2 点不同土壤深度石灰岩溶蚀速率及土壤粒度组成

Tab. 3 Limestone erosion rate and soil particle-size distribution in site D1 and D2

土壤深度 (cm)	D1 (洼地底部)			D2 (洼地边坡)		
	溶蚀速率 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$ )	细粘粒含量 (%)	粗粉粒含量 (%)	溶蚀速率 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$ )	细粘粒含量 (%)	粗粉粒含量 (%)
- 20	0.0163	53.9	15.2	0.0058	60.1	10.8
- 40	0.0155	49.4	16.9	0.0052	57	10.2
- 60	0.0176	50.8	17.2	0.0046	56.1	14.6
- 80	0.0145	50.7	15.5			
- 100	0.0265	47.1	29			
- 120	0.0277	40.5	29.6			

2.5 地貌部位与石灰岩土下溶蚀速率

D1、和 D2 点进行的土下溶蚀试验失重结果及其不同深度土壤的细粘粒含量和粗粉粒含量分析结果列于表 3 中。D1 点土壤中细粘粒和粗粉粒含量分别为 40.5 ~ 53.9 % 和 15.2 ~ 29.6 % 之间，溶蚀速率则在 0.0145 ~ 0.0277 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$ )；而 D2 点细粘粒和粗粉粒含量分别为 56.1 ~ 60.1 % 和 10.2 ~ 14.6 %，溶蚀速率为 0.0046 ~ 0.0058 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$ )。不同深度土壤中石灰岩溶蚀速率大致与土壤细粘粒含量成反比 ( $R^2 = 0.84$ )，与粗粉粒含

量成正比 ( $R^2 = 0.85$ )。因此, 土壤粒径组成的差异导致了土壤物理性质的不同, 随着细粘粒的增加和粗粉粒的减少, 土壤中持水量不断增加, 通气孔隙度、通气和透水速度减少, 导致土壤中石灰岩溶蚀速率减少。同时土壤的含水量也直接影响土壤水的入渗率, 含水量越大, 入渗率越低<sup>[16~17]</sup>, 从而影响了土下石灰岩的溶蚀速率。研究表明入渗量随坡度增加而减少, 对于角度大于 30 度的边坡来说, 入渗量占全年降雨量的 14%, 坡度小于 15 度以下时, 入渗量则可以占到 21%, 对于平坦的洼地底部, 入渗量则可以占到 37%<sup>[18]</sup>。因此, 地貌部位和土壤粒度组成决定了大气降水的入渗量, 从而影响了土下石灰岩溶蚀的速率。

### 3 结论

石林地区土壤的化学成分、水分含量和粒度组成都和所处的地貌部位有关。洼地底部的水分含量、 $Al_2O_3$  和  $Fe_2O_3$  含量要稍低于洼地边坡, 而洼地底部的  $SiO_2$  含量则高于洼地边坡。土壤的粒度组成也与所处的地貌部位有关, 洼地底部粗粉粒含量高于洼地边坡, 而细粘粒含量则低于洼地边坡。洼地底部和边坡的水分含量及化学组成的差异都是由于不同地貌部位土壤的粒度组成不同而决定。不同的地貌部位土壤的粒度组成决定了土下石灰岩的溶蚀速率, 因此, 石灰岩地区洼地的土壤性质控制了石灰岩洼地的发育。

致谢: 感谢石林风景名胜区管理局提供野外工作条件。

### 参考文献:

- [1] 袁道先主编. 岩溶学词典. 北京:地质出版社, 1986.
- [2] Titze, E. On the Geology of Karst Districts. Geol. Reich-Anstalt Jahrb. 1880, 30.
- [3] Cvijić. Das Karstphänomen. Versuch einer morphologischen Monographie. Geograph. Abhandl. Wien. 1893, 5(3): 218 ~ 329.
- [4] Williams P W. Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea, Geol. Soc. Amer. Bull., 1972, 83: 761 ~ 796.
- [5] Williams P W. Subcutaneous hydrology and the development of doline and cockpit karst. Z. Geomorph. 1985, 29(4): 463 ~ 482.
- [6] 朱德浩. 桂林地区峰丛洼地的形态量计及演化. 中国岩溶, 1982, 2(2): 127 ~ 134.
- [7] Derek Ford, Paul Williams. Karst Geomorphology and Hydrology, Unwin Hyman, London. 1989.
- [8] 宋林华. 喀斯特洼地的发育机理及其水文地质意义. 地理学报, 1986, 41(1): 41 ~ 50.
- [9] 潘根兴, 曹建华. 表层带岩溶作用: 以土壤为媒介的地球表层生态系统过程 - 以桂林峰丛洼地岩溶系统为例. 中国岩溶, 1999, 18(4): 287 ~ 296.
- [10] Macleod D A. The origin of the red Mediterranean soil in Epicurus, Greece. Soil Sci., 1980, 31: 125 ~ 136.
- [11] Martinez-Mena M, Alvarez-Rogel J, Albaladejo J, et al. Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. Catena 1999, 38: 175 ~ 190.
- [12] Young R A. Characteristics of eroded sediment. Transactions of the ASAE 1980, 23, 1139 ~ 1146.
- [13] 邓时琴, 徐梦雄. 中国土壤颗粒研究 I. 太湖地区白土型水稻土中白土层土壤及其各级颗粒的理化特性. 土壤学报, 1982, 19(1): 22 ~ 32.
- [14] 戴树桂主编. 环境化学. 北京:高等教育出版社, 1997.
- [15] 姚贤良, 程云生, 等编著. 土壤物理学. 北京:农业出版社, 1986. 1 ~ 39.
- [16] 罗戴 A A. 巴逢辰, 乔樵, 孙励敬等译. 土壤水. 北京:科学出版社, 1964. 239 ~ 285.
- [17] 方正三. 黄河中游梯田的调查研究. 北京:科学出版社, 1958.
- [18] Zambó L, Ford D C. Limestone dissolution processes in Beke doline Aggtelek national park, Hungary. Earth Surface and Landforms, 1997, 22: 531 ~ 543.

## Soil physical and chemical properties and their relationship with the doline development in Lunan Stone Forest National Park

LIANG Fu-yuan<sup>1</sup>, SONG Lin-hua<sup>1</sup>, TANG Tao<sup>2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. State University of New York, College at Buffalo, USA)

**Abstract :** Limestone dolines are much developed in Lunan Stone Forest National Park with soil mantle. We choose 9 sites in the bottom or slope of 4 dolines in Lunan Stone Forest in order to study the soil particle-size distribution, water content ( % ), chemical composition of soil developed in the doline bottom or on the slope and their relationship with doline development. Study shows that soil water content, chemical composition and particle-size distribution are all controlled by karst topography. The soil in the bottom of the depression has a lower water content, total  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content than that of the soil in the slope of the depression, However, total  $\text{SiO}_2$  of soil in the doline bottom is higher than that of the slope.

We mainly study the clay and silt content of the soil mantle. soil in doline bottom has higher silt content and less clay content than that of the soil on the slope. Research results show that with the increase of soil fine grain size, the  $\text{SiO}_2$  content decreases while both of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  content increase. The water content of soil is highly positive related with content of fine grain size and strongly negative related with content of coarse silt content.

In order to determine the limestone erosion rate at different depths, 27 limestone tablets were buried at different depths (20 to 60 or 120 cm, one layer every 20 cm) of soil, which were developed in the bottom and slope of a doline in November 1999. Two years later (November, 2001), 25 tablets were exhumed and sent to lab to measure their weight loss then calculate dissolution rate. Result of dissolution experiment shows that limestone dissolution rate in the soil of doline bottom is much higher than that in soil on the slope. At the same time, result of correlation analysis shows that limestone dissolution rate is highly positive related with content of coarse silt content ( $R^2 = 0.85$ ) and strongly negative related with content of fine grain size ( $R^2 = 0.84$ ). To some extent, even though limestone dissolution rate was decided by soil  $\text{CO}_2$  concentration and soil chemical composition, it is still affected by the soil particle-size distribution.

**Key words :** Shilin national park; doline development, soil properties