

文章编号: 1008-2786-(2010)1-056-07

西南喀斯特石漠化过程中土壤有机质组分及其影响因素

李孝良^{1,2}, 陈效民^{1*}, 周炼川¹, 吴广凤²

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

摘要: 通过采集我国西南喀斯特地区不同石漠化阶段典型土壤样品, 研究了土壤有机质组分及其影响因素。结果表明: (1) 喀斯特地区土壤有机质各组分含量中胡敏素 > 富里酸 > 胡敏酸, HA/FA 一般 < 0.4, 为富里酸土壤, 与同水平地带土壤一致。(2) 石漠化过程对喀斯特地区土壤中有机质组成有明显的影响, 土壤中胡敏素、富里酸与胡敏酸表现出未石漠化 > 潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化的趋势。(3) 喀斯特地区土壤有机质组分空间分布有较大差异, 剖面层次上各有机质组分胡敏素、富里酸与胡敏酸均表现出表土层 > 底土层, 山区不同部位上表现以山坡中下部有机质含量最高, 而以山顶最低, 且 FA/HA 表现出从山顶到山脚有明显增加的趋势。(4) 喀斯特地区土壤有机碳、酸碱度、碳酸钙、容重、非晶形氧化铝、颗粒组成、有效磷与土壤有机碳组分间表现出显著或极显著的相关性, 土壤有机碳和质地是影响土壤有机碳组分含量的主要因素。

关键词: 喀斯特地区; 石漠化过程; 土壤有机碳组分; 影响因素

中图分类号: P642.25, Q142

文献标识码: A

喀斯特地貌在世界上分布广泛, 因其脆弱的生态地质环境, 其发展演变与全球变化关系密切。我国西南喀斯特地区的石漠化受到广泛关注, 国内学者有针对性地从地质、水文、土壤、生态环境和生物群落演变等方面对喀斯特石漠化形成机理和过程进行了研究^[1-7]。喀斯特地区由于人为干扰, 植被破坏, 土壤的水热汽状况发生较大的变化, 土壤有机质分解加剧, 有机质含量明显降低, 反过来又影响到土壤的理化性质。土壤有机质不同组分一方面提供植物营养来源, 另一方面通过与无机胶体结合提高土壤胶体的稳定性和抗蚀能力, 还可能通过固碳达到减少大气中温室气体的作用。为明确喀斯特地区石漠化对土壤有机质组成的影响, 本文对我国西南喀

斯特地区土壤有机质组分进行了分析, 以明确石漠化过程中土壤有机质组分的变化规律, 为喀斯特山地土壤的养管理与水士保持提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域土样采集情况

试验点选择在贵州省普定县陈旗村和荔波县茂兰自然保护区。普定县陈旗村属贵州普定后寨河流域, 为典型的喀斯特山地小流域地形, 年均温 15.1℃, 年降雨量为 1 378.2 mm, 年平均相对湿度为 80% 以上, 属亚热带季风湿润气候, 母岩为三叠纪石灰岩; 荔波县茂兰保护区是地球上唯一幸存下来的

收稿日期 (Received date): 2009-10-07; 改回日期 (Accepted): 2009-12-21.

基金项目 (Foundation item): 国家 973 计划项目“西南喀斯特山地石漠化与适应性生态系统调控”子课题“养分生物地球化学循环及其对石漠化过程的响应” (编号: 2006CB403205)。 [Supported by the National Basic Research Program of China (No. 2006CB403205) .]

作者简介 (Biography): 李孝良 (1974-), 男, 安徽凤阳人, 博士, 副教授, 主要从事土壤水土资源利用与管理研究。 [Li Xiaoliang (1974-), male, born in Fengyang, Anhui Province, Ph.D., Associate Professor, mainly engaged in water and soil resource utilization and management.] E-mail: lixl00@163.com

* 通讯作者 (Author for correspondence): 陈效民 (1957-), 男, 江苏张家港人, 博士, 教授, 主要从事土壤物理过程方面的研究。 [Chen Xiaomin (1957-), male, born in Zhangjiagang, Jiangsu Province, Ph.D., Professor, mainly engaged in the process of soil physics] E-mail: xmchen@njau.edu.cn

喀斯特森林生态系统, 年平均温度为 18.3℃, 年降水量为 1 320.5 mm, 年平均相对湿度为 83%, 属亚热带季风湿润气候区, 采样点母岩为石炭纪石灰岩。按梅再美等提出的石漠化划分标准^[5], 在研究区典

型地段选择不同石漠化阶段土壤(表 1), 按发生层取样, 每个样点重复三次。样品取回后风干磨细后分别过 1 mm 和 0.149 mm 筛备用。

表 1 试验点基本情况

Table 1 The sampling sites in karst region

石漠化阶段	土壤名称	土壤层次 (m)	地理坐标		海拔 H(m)	采样点	植被
			北纬 N	东经 E			
未石漠化	黑色石灰土	0~12	25° 17.545′	107° 56.348′	755	贵州荔波尧古村	原始森林
		12~24					
		24~50					
潜在石漠化	黑色石灰土	0~8	26° 15.646′	105° 46.417′	1 457	贵州普定陈旗村	灌丛
		8~32					
轻度石漠化	黑色石灰土	0~17	25° 18.879′	107° 56.043′	753	贵州荔波尧古村	草地
		17~49					
中度石漠化	红色石灰土	0~15	25° 18.923′	107° 56.526′	761	贵州荔波尧古村	桑田
		15~35					

1.2 分析测试方法

1.2.1 土壤基本性质的测定^[8]: 喀斯特地区典型土壤的基本性质测定结果见表 2。其中 pH 值采用酸度计法(水土比 2.5:1); 有机质采用重铬酸钾容量法; 容重采用环刀法; CaCO₃ 采用中和滴定法; 土壤颗粒组成采用吸管法, 国际制分类; 土壤有效磷用 Olsen 法测定; 土壤非晶形氧化铝用酸性草酸-草酸铵浸提-氟化钾取代-EDTA 容量法。

1.2.2 土壤有机质组成测定^[9]: 熊毅-傅积平改进

法。

2 结果与分析

2.1 不同石漠化阶段土壤有机质组成特征

喀斯特地区因水土流失造成土壤发育经常被中断, 成土作用极慢, 养分主要来源于植被的残体, 当不合理的土地利用造成植被和生态系统破坏后, 土壤中矿质营养元素的输入减少, 土壤-植被系统的

表 2 供试土壤基本性质

Table 2 The properties of the tested soils in karst region

石漠化阶段	层次 (m)	pH (水土比 2.5:1)	有机碳 (g/kg)	CaCO ₃ (g/kg)	容重 (g/cm ³)	非晶形 氧化铝 (g/kg)	颗粒组成 (g/kg)			有效磷 (mg/kg)
							> 0.02 mm	0.02~0.002 mm	< 0.002 mm	
未石漠化	0~12	7.52	78.9	40.2	0.628	2.15	495.7	360.4	143.9	11.4
	12~24	7.62	36.8	23.3	0.986	3.22	299.9	402.7	297.4	2.4
	24~50	7.77	17.8	18.7	1.142	2.51	208.2	435.6	356.2	0.0
潜在石漠化	0~8	7.57	42.3	6.2	0.940	2.15	457.8	339.7	202.5	4.9
	8~32	7.46	12.1	25.4	1.059	2.15	220.0	368.6	411.4	1.5
轻度石漠化	0~17	6.34	19.2	11.4	1.247	1.16	345.3	433.2	221.5	1.1
	17~49	7.53	3.8	13.1	1.388	1.08	75.6	426.1	498.3	3.0
中度石漠化	0~15	6.44	14.2	13.4	1.116	1.88	166.3	399.8	433.8	4.3
	15~35	6.51	4.5	10.0	1.248	1.88	113.8	254.0	632.3	5.4

养分平衡被打破,土壤中养分逐渐枯竭,植被生长受阻,整个系统便向退化的方向发展。喀斯特地区不同石漠化程度的土壤分析也说明这一点(表3)。随石漠化程度的增加,土壤有机质呈明显降低趋势。未石漠化土壤由于森林覆盖率较大,地表枯枝落叶残体返还较多,有机质含量较高,其含量为 78.9 ± 8.72 g/kg 随着石漠化的进一步发展,喀斯特土壤受到侵蚀,其富含有机质的表层土壤流失,使良好的土壤结构迅速破坏,土壤肥力急剧下降,轻度石漠化的草地土壤有机质含量仅为 19.2 ± 2.34 g/kg 而中度石漠化的有机质含量为 14.2 ± 3.11 g/kg 土壤有机质在石漠化不同阶段的变化为:未石漠化 > 潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化。

从表3可以看出,喀斯特地区有机质组成以胡敏素最高,约占有机质总量的 56.9% ~ 89.8%,其次为富里酸,约占有机质总量的 8.0% ~ 36.0%,而以胡敏酸最低,仅占有机质的 2.2% ~ 8.8%。在土壤腐殖质的组成中,由于胡敏酸的腐殖化程度较富里酸的高,具体表现为胡敏酸的芳构化程度、缩合程度较富里酸的高,胡敏酸的分子量较富里酸的大。因此,土壤胡敏酸与富里酸的含量的比值(HA/FA)可以基本反映土壤有机质的稳定性^[10]。喀斯特地区土壤 HA/FA 的比值在 0.10~ 0.46 间,说明其土壤腐殖质的腐殖化程度均较弱,与相同地带性土壤的腐殖质组成相一致^[11],均属于富里酸型。同比不同石漠化程度下土壤 HA/FA, 森林和灌丛覆盖下的未石漠化和潜在石漠化土壤的 HA/FA 要低于草地

覆盖下的轻度石漠化土壤,而人为活动剧烈的中度石漠化土壤 HA/FA 最低,仅为 0.17 ± 0.07 。一般情况下,人类活动的适度影响虽会使自然肥力高的森林土壤有机质的含量降低,却会增加土壤腐殖质的 HA/FA, 以此来增加土壤有机质的稳定性;但在植被遭受严重破坏后,环境变干,土壤有机质的分解大于合成,HA/FA 较低^[10]。

喀斯特地区石漠化过程对土壤有机质组成也有明显影响(图1),随石漠化程度增加各土壤有机质组分呈明显降低的趋势。富里酸是土壤有机质中活化度较高,易被生物吸收的小分子量有机物,在提高土壤肥力和促进植物生长方面有重要作用,但由于其结构较为简单,易矿化分解从土壤中损失。

贵州荔波原始森林覆盖下未石漠化的黑色石灰土,基本不受人为干扰,枯落物的长期返还、良好的水热条件有利于土壤有机质的积累,其各有机质组分均较高,其中富里酸含量达 17.16 ± 1.82 g/kg 胡敏酸含量为 5.20 ± 1.02 g/kg 胡敏素含量为 56.54 ± 8.22 g/kg 而潜在、轻度和中度石漠化的土壤由于受到人为干扰,地表植被的破坏,土壤水分蓄持能力下降和通气性的增加,土壤有机质的矿质化过程加快而腐殖化过程减弱,其各有机质组分明显降低,至中度石漠化土壤其富里酸含量仅为 3.60 ± 0.83 g/kg 胡敏酸含量为 0.60 ± 0.22 g/kg 胡敏素含量为 9.40 ± 2.25 g/kg

2.2 不同石漠化阶段土壤有机质空间分布特征

外界条件的改变,造成土壤水热汽状况的变化,

表 3 供试土壤有机碳组成

Table 3 The organic carbon fractions of the tested soils in karst region

石漠化阶段	层次 (cm)	有机碳 TOC (g/kg)	胡敏酸 HA (g/kg)	富里酸 FA (g/kg)	胡敏素 HM (g/kg)	HA/FA	HA/TOC	FA/TOC	HM/TOC
未石漠化	0~12	78.9	5.20	17.16	56.54	0.30	0.066	0.217	0.717
	12~24	36.8	1.99	8.65	26.16	0.23	0.054	0.235	0.711
潜在石漠化	24~50	17.8	0.97	3.60	13.23	0.27	0.054	0.202	0.743
	0~8	42.3	0.93	3.39	37.98	0.27	0.022	0.080	0.898
轻度石漠化	8~32	12.1	0.81	2.93	8.66	0.28	0.042	0.242	0.716
	0~17	19.2	1.69	4.55	12.96	0.37	0.088	0.237	0.675
中度石漠化	17~49	3.8	0.21	0.46	3.31	0.46	0.055	0.121	0.871
	0~15	14.2	0.60	3.60	9.40	0.17	0.042	0.254	0.662
	15~35	4.5	0.16	1.62	2.56	0.10	0.036	0.360	0.569

对土壤有机质组分有明显影响(图 2~图 5)。喀斯特地区由于成土作用缓慢, 通常形成 A—D 或 A—B—D 的剖面构型, 缺少心土层, 土层浅薄, 质地粘重^[12], 而土壤有机质在此往往发挥关键作用, 改良土壤结构, 提供植被生长的养分。从剖面层次上看, 随深度的增加, 土壤各有机质组分呈明显降低趋势, 表土层各有机质组分含量大于底土层, 但不同石漠化阶段其变化幅度有明显差异。有机质的来源主要是生物活动, 尤其是植物的落叶返还与根系返还, 当植被丰富生物量较大时(未石漠化和潜在石漠化), 表土层有机质积累较多, 各有机质组分含量也相对较高, 与底土层差异较大; 而当受到人为干扰较严重时(轻度石漠化与中度石漠化), 地表植被的破坏造成植被残体归还数量减少, 其表土层与底土层的有机质组分含量差异减弱, 总体表现为养分供应能力减弱和土壤物理性质恶化, 又进一步影响土壤有机质的累积, 形成恶性循环, 这也是喀斯特地区退化土壤难以自然恢复的因素之一。

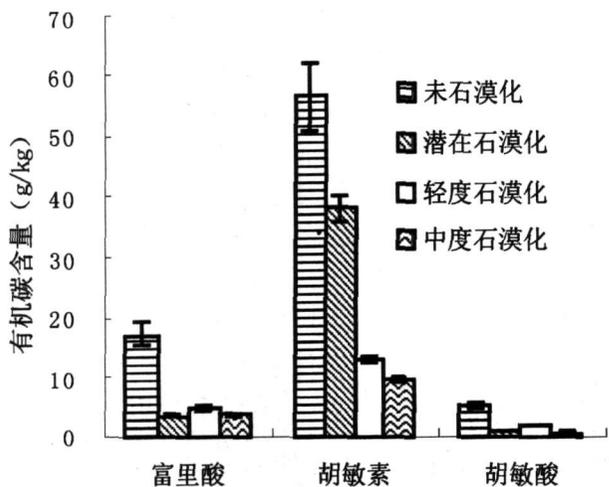


图 1 不同石漠化阶段土壤有机碳组分

Fig. 1 Effect of rocky desertification on the soil organic carbon fractions in karst region

荔波茂兰喀斯特原始森林不同海拔的土壤有机质组分含量分析结果表明(见图 5), 山地坡面位置对土壤有机质组成有明显影响, 土壤有机碳总量、有机碳组分均呈现在山中下部出现峰值, 而向两端呈递减趋势, 而 FA/HA 从山顶至山脚呈递增趋势。现已普遍认识到岩石化学成分、结构、构造控制了土壤的形成条件, 水文地质条件控制了水资源的空间分布, 地形、地貌控制了水土流失的水动力条件^[13-15]。

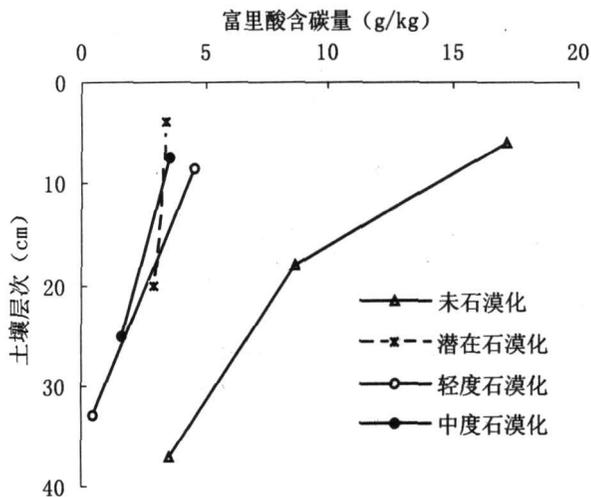


图 2 喀斯特土壤富里酸剖面分布

Fig. 2 Distribution of fulvic acid in soil profile in karst region

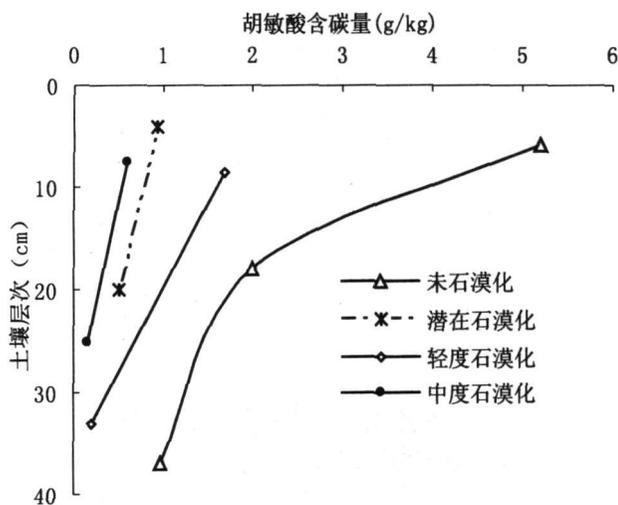


图 3 喀斯特土壤胡敏酸剖面分布

Fig. 3 Distribution of humic acid in soil profile in karst region

喀斯特地区石灰岩成土缓慢的特征和水资源的空间分布决定了山顶部残积土壤很难留存, 主要为岩石碎屑、土壤和植物残体的混合物, 植被以低矮灌木为主, 土壤有机质以未分解或半分解的植物残体为主, 有机碳含量相对较低, 且腐殖化程度相对较弱, FA/HA 低于 0.2 随海拔降低, 水热条件的改变, 坡积母质的累积, 土壤厚度逐渐增加, 植被以钙生乔木为主, 土壤有机质含量及腐殖化程度明显增加, 在山坡中下部有机质含量达到最大值。山脚处由于人为活动的干扰, 植被以乔灌混交林为主, 植被覆盖度减少, 土壤侵蚀加剧, 有机质矿化分解加快, 易分解的植物残体及富里酸含量减少, 土壤有机碳及有机碳各组分含量呈降低趋势, 而反映腐殖化程度的 FA/HA 呈增加趋势。

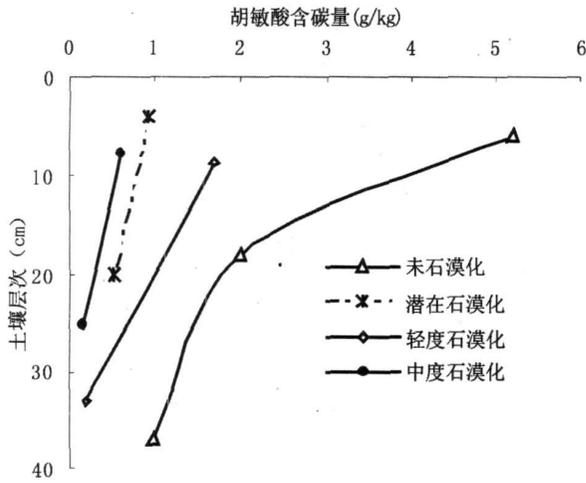


图4 喀斯特地区土壤胡敏素剖面分布

Fig. 4 Distribution of humin in soil profile in karst region

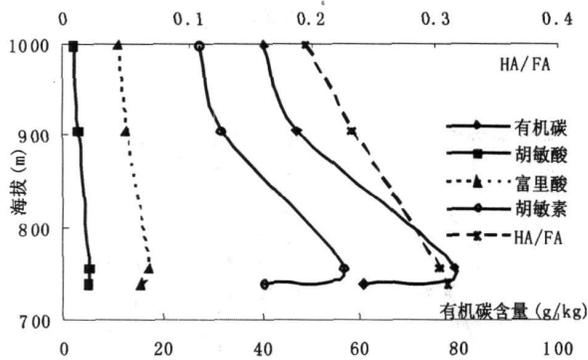


图5 山地海拔对土壤有机质组分的影响

Fig. 5 The effect of altitude on soil organic carbon fractions in karst mountain soils

3 讨论

土壤有机质组分是土壤质量的重要属性,土壤中富里酸、胡敏酸、胡敏素均为土壤有机质的组成成分,土壤有机质含量对有机质组分有直接影响。喀斯特地区土壤有机质含量与富里酸碳、胡敏酸碳、胡敏素碳均表现出极显著线性正相关关系(表4),相关系数分别为0.921、0.847和0.990。

土壤有机碳不同组分对土地利用变化的响应和敏感度不同。喀斯特地区的石漠化过程,改变了地表植被类型和覆盖度,影响植被凋落物和残余量,影响土壤微生物的活动,导致土壤有机组分在不同石漠化阶段土壤系统中的再分配。土壤颗粒组成和容重影响到土壤的质地结构和水、热、汽状况,直接影响土壤有机质的作用方向。喀斯特地区由于溶蚀风化的影响,土壤浅薄,质地粘重,水、热、汽状况较差,在降雨时极易形成地表径流而造成水土流失。喀斯

特地区适当增加土壤砂粒含量,可以改善土壤的通透性,增加土壤水库容和水分特性^[16 17],一方面减少有机质的地表径流损失,另一方面通过水分条件的改善促进地表植被的生长,增加植被有机物归还量。供试土壤 > 0.02 mm 砂粒含量与土壤富里酸碳、胡敏酸碳、胡敏素碳含量间呈极显著线性正相关关系 ($r = 0.696, 0.655, 0.862$),而 < 0.002 mm 粘粒含量与土壤富里酸碳、胡敏酸碳、胡敏素碳含量间呈显著线性负相关关系 ($r = -0.482, -0.491, -0.457$)。

土壤有机质组分一方面受到土壤环境条件的影响,另一方面还会改变土壤环境条件。富里酸是土壤腐殖质中相对分子量较低,活性较高的部分,其由于含有较多的羧基与羟基而具有较高的酸性,胡敏素相对分子量较大,活性较低,含羧基与羟基较少而酸性较弱碱性较强^[18]。在西南喀斯特地区,有机质中各组分所占比例不同,对土壤酸碱度有明显影响(见表4),表现为富里酸/有机碳与pH呈极显著线性负相关关系 ($r = -0.847^{**}$),而胡敏素/有机碳与pH呈极显著线性正相关关系 ($r = 0.741^{**}$)。

石灰岩地区的风化成土过程,是碳酸盐岩溶蚀过程,土壤有机质一方面通过形成腐殖酸钙而使土壤中钙得以保持,另一方面通过形成稳定的团聚体降低了土壤的淋溶强度,使土壤中碳酸盐得以保存,表现出土壤中富里酸碳、胡敏酸碳、胡敏素碳与土壤碳酸钙含量均呈现极显著线性正相关关系 ($r = 0.734, 0.735, 0.576$, 见表4)。土壤中非晶形氧化铝的累积与外界环境条件密切相关,山地土壤水、热、汽条件的变化,造成土壤有机质累积与分解方向的改变,而有机质的存在可以干扰或阻碍铝的水解、聚合和结晶,使土壤中铝活性较高^[19]。喀斯特山地土壤有机质组分与非晶形铝的相关分析也证明这一点,土壤非晶形铝与胡敏素含量呈显著正相关关系。

我国西南喀斯特地区土壤的形成和熟化是在碳物质循环及富钙的环境下进行的,一种典型的钙生性环境,组成其生态环境基底的化学元素主要为Ca Mg Si Al Mn Fe等富钙亲石元素,而植被生长所需的N、P、K、B等营养型元素则相对缺乏^[7, 20]。研究区土壤测试发现,土壤全磷一般在100~400 mg/kg,有机磷占其中50%~90%,土壤有机磷的矿化是有效磷的主要来源,有机质含量高低直接影响土壤有效磷含量(见表4),供试土壤与土壤有机质组分FA、HA、HM呈显著线性正相关关系 ($r = 0.482, 0.491, 0.457$)。

表 4 喀斯特石漠化土壤有机碳组成与土壤基本性质的相关分析*

Table 4 The correlation of soil organic carbon fractions and soil properties in karst region

r	pH	有机碳	CaCO ₃	容重	非晶形 氧化铝	> 0.02 mm 土粒	0.02~ 0.002 mm 土粒	< 0.002 mm 土粒	有效磷
富里酸碳	0.123	0.921**	0.734*	-0.821**	0.374	0.696**	-0.052	-0.514*	0.482*
胡敏酸碳	0.337	0.847**	0.735*	-0.539*	0.222	0.655**	0.089	-0.557*	0.491*
胡敏素碳	0.356	0.990**	0.576*	-0.815**	0.459*	0.862**	-0.079	-0.629**	0.457*
富里酸/有机碳	-0.847**	-0.168	0.01	-0.088	-0.058	-0.265	-0.273	0.351	0.204
胡敏酸/有机碳	0.262	-0.03	0.211	0.433	-0.296	-0.09	0.087	0.023	0.062
胡敏素/有机碳	0.741**	0.161	-0.08	-0.061	0.132	0.276	0.262	-0.354	-0.232

* : $n = 17$ $r_{0.05} = 0.456$ $r_{0.01} = 0.575$

4 结论

通过对喀斯特地区不同石漠化阶段土壤有机碳组成及其空间分布特征分析,可以看出:

1. 有机质组成以胡敏素最高,约占有机质总量的 56.9% ~ 89.8%,其次为富里酸,约占有机质总量的 8.0% ~ 36.0%,而以胡敏酸最低,仅占有机质的 2.2% ~ 8.8%。

2. 不同石漠化阶段土壤有机质组成有明显差异,土壤中胡敏素、富里酸与胡敏酸均表现出未石漠化 > 潜在石漠化 > 轻度石漠化 > 中度石漠化的趋势,同比不同石漠化程度下土壤 HA/FA 值,森林和灌丛覆盖下的未石漠化和潜在石漠化土壤的 HA/FA 要低于草地覆盖下的轻度石漠化土壤,而人为活动剧烈的中度石漠化土壤 HA/FA 最低,仅为 0.17 ± 0.07 。

3. 土壤有机质组分空间分布不同,随剖面层次加深,有机质组分表现出降低趋势,而山地不同部位则表现出山坡中下部土壤有机质组分含量最高,向两端呈递减趋势,FA/HA 值从山顶到山脚呈递增趋势。

4. 土壤有机碳、酸碱度、碳酸钙、容重、非晶形氧化铝、颗粒组成、有效磷含量与土壤有机质组分密切相关,呈显著或极显著相关关系。

参考文献 (References)

[1] Li Yanbing, Wang Shijie, Rong Li. Problems of karst rocky desertification in southwest China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(6): 593~598 [李阳兵, 王世杰, 容丽. 关于中国西南石漠化的若干问题 [J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(6): 593~598]

[2] Zhao Zhongqiu, Hou Lisheng, Cai Yulong. The process and mechanism of soil degradation in karst area in Southwest China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(3): 185~189 [赵中秋, 后立胜, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨 [J]. *地质学前沿*, 2006, 13(3): 185~189]

[3] Wang Shijie, Zhang Dianfa, Li Ruiling. Mechanism of rocky desertification in the karst mountain areas of Guizhou province southwest China [J]. *International Review for Environmental Strategies*, 2002, 3(1): 123~135

[4] Long Jian, Li Juan, Wang Jingren, et al. Effects on soil quality properties in process of karst rocky desertification [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(2): 77~81 [龙健, 李娟, 汪镜仁, 等. 典型喀斯特地区石漠化演变过程对土壤质量性状的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(2): 77~81]

[5] Mei Zaipei, Wang Daiyi, Xiong Kangning, et al. A preliminary study on the technology of vegetation restoration on the land of different rocky desertification degree—A case study of the Huajiang demonstration area, Guizhou [J]. *Carsologia Sinica*, 2004, 23(3): 253~258 [梅再美, 王代懿, 熊康宁, 等. 不同强度等级石漠化土地植被恢复技术初步研究——以贵州花江试验示范区查尔岩试验小区为例 [J]. *中国岩溶*, 2004, 23(3): 253~258]

[6] Ren Jingchen, Zhang Pingjiu, Pan Genxing, et al. Indices of geochemical characteristics in a degradation-reclamation sequence of soils in mountainous karst area: A case study in Guanling-Zhenfeng region, Guizhou, China [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(5): 504~512 [任京辰, 张平究, 潘根兴, 等. 岩溶土壤的生态地球化学特征及其指示意义——以贵州贞丰-关岭岩溶石山地区为例 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(5): 504~512]

[7] Shu Weizi, Zhu Wenxiao. The eco-environmental fragility in karst mountain regions of Guizhou province [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(5): 429~434 [苏维词, 朱文孝. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性分析 [J]. *山地学报*, 2000, 18(5): 429~434]

[8] Bao Shidan. Soil and Agricultural Chemistry Analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2005 [鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005]

[9] Zhang Fusuo, Gong Yuanshi, Li Xiaolin, et al. New Trends of Soil and Plant Nutrition (Book Three) [C]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1995, 130~141 [张福锁, 龚元石, 李晓林, 等. 土壤与植物营养研究新动态 (第三卷) [C]. 北京: 中国农业出版社, 1995, 130~141]

[10] Wang Xihong. Spatial Variation of Organic Matter in Horizontal Zonal Soils in China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(1): 19~23 [王秀红. 我国水平地带性土壤有机质的空间变

- 化特征 [J]. 地理科学, 2001, 21(1): 19~ 23]
- [11] Li Zhongpei, Cheng Lili, Lin Xinxiong. Composition of humus in relation to soil fertility in red soil region [J]. *Soils*, 2002, 34(1): 9~ 15 [李忠佩, 程励励, 林心雄. 红壤腐殖质组成变化特点及其与肥力演变的关系 [J]. 土壤, 2002, 34(1): 9~ 15]
- [12] Zhang Dongqing, He Tengbing, Lin Changhu *et al*. Study on the physical properties of karst soil in Guizhou Wujiang river basin [J]. *Guizhou Science*, 2006, 24(2): 39~ 43 [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研究 [J]. 贵州科学, 2006, 24(2): 39~ 43]
- [13] Wang Mingzhang. Geological setting of rocky desertification and its meaning of research. *Guizhou Geology*, 2003, 20(2): 63~ 67 [王明章. 论岩溶石漠化地质背景及其研究意义 [J]. 贵州地质, 2003, 20(2): 63~ 67]
- [14] Yuan Chun, Zhou Changping, Tong Liqiang *et al*. The causes and tackle countermeasures of land rocky-desertification in Guizhou province [J]. *Geoscience*, 2003, 17(2): 181~ 185 [袁春, 周常萍, 童立强. 贵州土地石漠化的形成原因及其治理对策 [J]. 现代地质, 2003, 17(2): 181~ 185]
- [15] Wang Yu, Zhang Gui. On the desertification and genesis of karst stonemountain area in East Yunnan [J]. *Advances in Earth Science*, 2003, 18(6): 933~ 938 [王宇, 张贵. 滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因 [J]. 地球科学进展, 2003, 18(6): 933~ 938]
- [16] Li Xiaoliang, Chen Xiaomin, Zhou Lianchuan, *etal*. Soil moisture characteristics and their affecting factors in the rocky desertification process of karst regions Southwest China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 198~ 203 [李孝良, 陈效民, 周炼川, 等. 西南喀斯特石漠化过程对土壤水分特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 198~ 203]
- [17] Li Xiaoliang, Chen Xiaomin, Zhou Lianchuan *et al*. Soil saturated hydraulic conductivity and its influential factors in Southwest karst region of China [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2008, 27(5): 74~ 76, 86 [李孝良, 陈效民, 周炼川, 等. 西南喀斯特地区土壤饱和导水率及其影响因素研究 [J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(5): 74~ 76, 86]
- [18] Huang Changyong. Soil Science [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000, 42~ 43 [黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000, 42~ 43]
- [19] He Jizheng, Li Xueyuan, Xu Fenglin. A preliminary study on soil aluminum forms and transformation in Tianbao mountains [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1993, 24(3): 105~ 107 [贺纪正, 李学垣, 徐凤琳. 天宝山土壤中铝的形态和转化的初步研究 [J]. 土壤通报, 1993, 24(3): 105~ 107]
- [20] Long Jian, Huang Changyong, Li Juan. Effects of land use on soil quality in karst hilly area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 76~ 79 [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]

Study on Soil Organic Carbon Fractions and Their Influential Factors in Rocky Desertification Process in Southwest of China

LIX iaoliang^{1, 2}, CHEN Xiaomin¹, ZHOU Lianchuan¹, WU Guangfeng²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 College of Urban Construction and Environment Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract Through collecting typical soil samples in different phases of rocky desertification and analyzing their basic properties in karst region in Southwest of China, the soil organic carbon fractions and their influential factors were studied. The results were as follows. (1) The sequence of the contents of soil organic carbon in karst region was Humic acid (HM) > Fulvic acid (FA) > humic acid (HA), and owing to the value of FA/HA that was currently less than 0.4, karst soils was fulvic acid soils that accord with the same horizontal zonal soils. (2) There had significant difference in the soil organic fractions in the rocky desertification process, and the contents of HM, FA, HA had the same trend: non-degraded > potential rocky desertification > light rocky desertification > moderate rocky desertification. (3) In the space distribution, the contents of soil organic fractions had clear difference. The contents of soil HM, FA, HA in topsoil were more than in subsoil, and the value of FA/HA had increasing trend from peak to foot in karst region. (4) There were significant correlations between soil organic carbon, pH value, CaCO₃, bulk density, noncrystalline aluminum oxides, soil particle composition, available phosphorus and the soil organic carbon fractions in karst region. Soil organic carbon content and soil texture were the important impact factors to the soil organic carbon fractions.

Key words karst region, rocky desertification, soil organic carbon fractions, influential factors