

岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异 与石漠化的相关性*

李阳兵^{1,2} 谢德体² 魏朝富²

(1 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

(2 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要 岩溶山地石漠化是一种与脆弱生态地质背景和人类活动相关联的土地退化过程。本文以重庆市典型岩溶山地为例,探讨了岩溶生态系统土地利用方式与土壤机械组成、土壤水稳性团聚体、土壤有机质、土壤种子库、植被类型的关系。结果表明,经开垦利用后,岩溶环境土壤表层砂化现象更加明显。土地利用强度越大,对土壤团粒结构的破坏也越大,林地、灌草坡对水分的保持能力强,土地利用强度较大的土壤保水能力相对较弱,土壤有机质受土地利用强度的明显影响。土地利用强度越大,木本植物种子越少,草本植物种子越多,且以农田杂草为主。土地利用方式的变化(如陡坡开垦)是对次生植被及其种子库的主要威胁。

关键词 岩溶山地; 石漠化; 土壤性质; 土壤种子库

中图分类号 P156.1

文献标识码 A

石漠化是岩溶山区脆弱生态系统与人类不合理经济活动相互作用而造成的岩石裸露、具有类似荒漠景观的土地退化过程^[1]。现已认识到石漠化是一种与脆弱生态地质背景和人类活动相关联的土地退化过程,以土地生产力退化为本质,以出现类似荒漠景观为标志,可以认为强烈的岩溶化过程为石漠化产生的主要自然原因,人类对生态的破坏和土地的不合理利用为石漠化过程激发的主要人为因素。而且已石漠化的土地又以生物地球化学循环、生态水文循环等形式反作用于石漠化发展过程中,继续加速石漠化进程。这一“人为”与“自然”的叠加反促作用,导致生境进一步变劣、石山荒漠化程度加重。

岩溶山地的生态退化恢复重建和石漠化防治在宏观上要求更大范围地研究岩溶山地地域系统的分异规律和石漠化治理的生态、经济和社会效益及其对全球环境变化的影响,在微观上要求进一步研究荒漠化岩溶生态系统的物种多样性、结构多样性和功能多样性,阐明生物与环境之间的竞争和协同机制、系统内部组分间的相互关系、生态功能和生态过程,包括物质转化、养分循环、能量流动与信息传递特征、物种间的相互关系和种群动态等与人类活动的耦合机制。在研究尺度上,将从传统的小尺度、静

态的定性调查描述,转向定位、定量地对岩溶生态系统格局、过程及其内在机制进行宏观、动态且具有辅助决策作用的系统研究,并对未来荒漠化发展趋势进行预测,为制定中长期防治规划提供必要的基础理论和背景数据支持。但已往的研究侧重于石漠化现状与地质背景调查,相当程度上忽视了土地利用方式对岩溶生境退化影响的过程探讨,且局限于大尺度的或单一因素的研究,缺乏从中小尺度和生态系统角度阐明岩溶生境的致损与恢复机理。本文以重庆市岩溶山区为例进行石漠化成因分析,探讨岩溶生态系统退化的过程、特点及其机理,有助于理解岩溶生态系统的运行规律,为退化岩溶生态系统的恢复和重建、土地利用结构优化提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

重庆市幅员面积 8.24 万 km²,碳酸盐岩出露面积占幅员面积的 40% 左右,为类似于地中海型具溶洼、丘峰的侵蚀溶蚀亚热带裸露岩溶景观,主要集中于渝东北和渝东南各县,其中碳酸盐岩面积占土地面积 50% 以上的县有 9 个,占 30% 以上的县有 3

* 重庆市科委项目(编号 6759)

作者简介:李阳兵(1968~),男,讲师,博士后,主要研究方向为土壤资源及土地资源利用等

收稿日期:2003-02-17;收到修改稿日期:2003-06-05

个。(1) 渝中平行岭谷低山丘陵区: 分布于华蓥山、巴岳山以东, 方斗山及金佛山西北麓一线以西的一系列北北东向和北东向狭长紧闭背斜核部, 为 P、T₁₋₂ 的碳酸盐岩地层, 形成“一山两岭一槽”或“一山三岭两槽”式的地貌景观; (2) 渝东北中山区: 位于东北部大巴山区内, 各时代碳酸盐岩地层广布, 本区岩溶槽谷表现不明显, 侵蚀作用大于岩溶作用, 形成以三叠纪灰岩为主体的高山峡谷。一种是灰岩中山山原形成的峰丛地貌, 一般灰岩裸露、灌木丛生, 林木生长缓慢, 多小老树, 荒地比重也大; 另一种是出露在中低山的巴东组(T_{2b}) 紫色岩和薄层灰岩组成的向斜低中山, 不少地区灰岩裸露, 杂灌丛生。(3) 渝东南低中山区: 褶皱走向北北东向, 为背斜宽缓、向斜狭窄的箱形隔槽式褶皱, 背斜轴部出露(O、P、T₂) 碳酸盐岩地层。该区岩溶发育, 凡灰岩分布区均呈现顶面齐一的岩溶丘陵(以中丘为主) 景观, 圆丘间以洼地、干谷、漏斗和落水洞发育为主, 为典型的亚热带岩溶景观, 属云贵高原及鄂西山地间的过渡地带。部分地区有喀斯特原始森林。

1.2 研究方法

1.2.1 选点与采样 选择北碚作为平行岭谷低山岩溶区的代表, 巫山作为渝东北岩溶区的代表, 黔

江作为渝东南低中山岩溶区的代表, 金佛山作为重庆市受干扰较小的岩溶生态系统的代表。四个地区的地质地貌和气候等生态背景不同, 生态现状各异, 典型的土地利用方式和社会经济发展状况均有差别, 能全面反映重庆市岩溶山地的整体情况。1~10 号样采自北碚鸡公山, 11~16 号样采自黔江, 17~20 号样采自金佛山, 21 号样采自南川(金佛山附近), 22~26 号样采自巫山(表 1)。样地选择时采用以空间换时间的方法, 考虑岩溶山地生态演替序列: 自然(原始)林地 → 次生林地 → 灌草坡 → 耕地、人工林 → 弃耕地; 每个研究区的样地都选在一完整的岩溶地貌单元内, 尽量保证地形的一致性。依不同地貌部位、不同荒漠类型、不同土地利用方式与表生植被群落结构变异情况等, 在选定的 26 个样地上按土壤发生层次由下而上逐层取样; 随机放置 40 cm × 25 cm 小样方 2 个, 分三层(0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm) 取土壤种子库土样; 同时观测生物量和多样性。

1.2.2 样品分析 田间采集的原状土样经室内风干后, 用干筛法和湿筛法分别测定 > 5 mm、5~3 mm、3~2 mm、2~1 mm、1~0.5 mm、0.5~0.25 mm 的各级风干团聚体和水稳性团聚体含量(沙维诺夫法)。土壤颗粒组成用比重计测定, 用石英砂—高岭

表 1 不同土地利用方式的样地分布与编号

Table 1 The distribution and number of plots under different land use

土地类型 Land type	样地数 Total number of plot	地点 Location	样地编号 No. of plot
自然林地(草甸) Natural forest (meadow)	4	金佛山 Jinfushan	17, 18, 19, 20
次生林地 ¹⁾ Secondary forest ¹⁾	6	北碚、黔江、巫山 Beibei, Qianjiang, Wushan	4, 6, 10, 15, 16, 25
灌草坡 Shrub-grass land	5	北碚、黔江、巫山 Beibei, Qianjiang, Wushan	3, 9, 13, 22, 23
坡耕地、园地 Sloping cropland, orchard	8	北碚、黔江、巫山、南川 Beibei, Qianjiang, Wushan, Nanchuan	1, 5, 7, 8, 11, 14, 21, 24
弃耕地 ²⁾ Abandoned field ²⁾	3	北碚、黔江、巫山 Beibei, Qianjiang, Wushan	2, 12, 26

1) 林龄分别为 25a、25a、15a、10a、10a、8a The age of the forest land is 25a, 25a, 15a, 10a, 10a, 8a respectively; 2) 弃耕时间分别为 1a、1a、7a The time of abandonment is 1a, 1a, 7a respectively

土吸力平板仪测定低吸力段(< 90 kPa) 土壤脱水过程的水分特征曲线, 有机质用重铬酸钾外加热法测定。土壤种子库试验采用萌发法, 放在萌发框中, 保持湿度、光照, 记录萌发数量和种类, 萌发延续到连续 3 周无出苗为止(持续时间 6 个月以上)。

2 结果与分析

2.1 表层土壤颗粒粗化

各样地机械分析结果显示, 土壤颗粒主要集中在 < 0.05 mm 的范围内, 土壤粘粒含量普遍大于 20%。

但从物理性粘粒($< 0.01\text{ mm}$)和粘粒($< 0.001\text{ mm}$)含量来看,北碚、巫山的岩溶环境土壤较黔江、金佛山岩溶环境土壤粘化程度更强一些。岩溶环境中土壤颗粒组成主要受母质影响,而植被和土地利用方式对其也有很大影响,长期的耕作与土壤侵蚀作用可以影响到表层土壤的颗粒组成。已有的研究表明,热带亚热带土壤中活性较强的无机结构胶结物甚至粘粒在成土过程中总是呈减少下降的趋势^[21],在亚热带地区由于降雨量多且强度大,土壤一般因水的动力学作用而呈现出粘粒在剖面下部含量较高的现象。研究结果表明,这一现象在岩溶环境中十分普遍,但不同利用方式差别很大。就1~0.05 mm颗粒而言,样地1、2、5、7、14土壤表层明显大于下

层,说明在自然植被演替成为次生植被或人工开垦利用后,岩溶山地土壤表层出现砂土化;在样地3、16、19、20土壤也明显存在这种情况。但从四个研究地区样地土壤机械组成统计来看(表2),坡耕地、弃耕地土壤表层与底层的差异不明显,可能是耕作扰动土层的原因;而林地土壤上下层之间的这种差异比较大,其水土保持功能不如灌草坡,说明岩溶山地生态系统可能存在自然石漠化的过程。岩溶山地土壤颗粒组成的剖面分异之所以在一定程度上与利用方式有关,在于不同植被的生态功能存在差异,植被演退必然导致其截留降雨、增加土壤贮水量的作用减弱,导致水土流失加剧,并因此导致表土粘粒更多的流失。

表2 不同利用方式下岩溶环境土壤颗粒组成剖面分异

Table 2 Particle size distribution of soils with different land use patterns in karst region

利用方式 Land use pattern	土层 Soil layer	颗粒组成 Particle size distribution (%)			
		1~0.05 mm	0.05~0.001 mm	<0.001 mm	<0.01 mm
坡耕地 Sloping cropland	表层 ^①	11.77±3.88	60.21±12.00	27.00±11.06	60.94±10.64
	底层 ^②	18.27±15.66	56.25±1.78	26.77±13.72	62.09±13.97
弃耕地 Abandoned field	表层 ^①	9.85±4.76	60.99±13.91	29.17±14.14	66.12±7.14
	底层 ^②	9.53±5.58	61.87±14.66	28.69±20.13	67.48±10.79
灌草坡 Shrub-grass land	表层 ^①	11.38±7.17	54.41±13.47	34.21±16.13	69.04±13.63
	底层 ^②	15.53±7.60	55.33±15.00	29.15±19.74	62.11±14.40
林地 Forest land	表层 ^①	15.89±15.66	63.86±14.66	20.30±10.90	54.37±14.00
	底层 ^②	9.14±7.56	63.19±12.54	23.90±11.10	61.22±10.12

①Surface; ②Bottom

2.2 表层土壤水稳性团聚体变化

利用方式和利用年限对土壤团聚体的形成有较大影响,不仅影响到土壤表层团聚体的组成和质量,且对表层以下不同深度的土壤团聚体特征均有较大影响。表3统计结果表明,土壤表层 $> 5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量:灌草坡 $>$ 自然林 $>$ 果园 $>$ 林地 $>$ 弃耕地 $>$ 耕地; $> 2\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量:自然林 $>$ 灌草坡 $>$ 林地 $>$ 果园 $>$ 弃耕地 $>$ 耕地; $> 0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量:灌草坡 $>$ 自然林 $>$ 林地 $>$ 弃耕地 $>$ 果园 $>$ 耕地。耕地、弃耕地和果园土壤水稳性团聚体下降最多。以黔江坡耕地(11)土壤各层次、弃耕地(12)土壤底层、坡耕地(14)土壤表层、次生林地(16)土壤表层的水稳性团聚体低于60%,与其土壤粘粒和有机质含量较低有关。

从表3也可看出,各利用类型土壤表层和亚表层水稳性团聚体变化不一致,耕地、弃耕地土壤亚表

层水稳性团聚体增加,而林地、灌草坡、果园的土壤亚表层各级水稳性团聚体稍有降低。但从数量上看,土壤亚表层 $> 5\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量变化为自然林 $>$ 灌草坡 $>$ 林地 $>$ 果园 $>$ 弃耕地 $>$ 耕地, $> 2\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量为自然林 $>$ 林地 $>$ 灌草坡 $>$ 果园 $>$ 耕地 $>$ 弃耕地, $> 0.25\text{ mm}$ 的水稳性团聚体含量为灌草坡 $>$ 自然林 $>$ 果园 $>$ 林地 $>$ 耕地 $>$ 弃耕地。对林地、灌草坡,土壤表层和亚表层的水稳性团聚体以 $> 2\text{ mm}$ 为主,而果园、弃耕地和耕地 $> 2\text{ mm}$ 的水稳性团聚体比例相对较小。这说明人为耕作活动影响最大的是大的水稳性团聚体,岩溶区林地、灌草坡开垦破坏后,由于水稳性团聚体明显下降进而影响到其抗蚀性和储水性,加剧生境的干旱,而坡耕地退耕后团聚体可在一定程度上得到恢复。

表 3 利用方式对土壤表层水稳性团聚体的影响

Table 3 Effect of utilization pattern on water stable aggregates

利用方式 Utilization pattern	样品数 Total number of plot	土层 Soil layer	团聚体含量 Content of aggregates (%)			团聚体破坏率 Percentage of aggregate destruction (%)
			> 5 mm	> 2 mm	> 0.25 mm	
次生林地 Secondary forest	6	表层 ^①	12.6±6.2	44.8±13.7	79.3±13.6	16.2±14.3
		亚表层 ^②	15.8±9.9	49.5±27.4	72.0±29.8	7.9±4.4
灌草坡 Shrub-grass land	5	表层 ^①	27.6±7.2	54.2±14.5	88.2±2.6	8.1±3.8
		亚表层 ^②	15.9±8.6	44.9±12.6	89.0±5.5	20.6±15.3
果园 Orchard	2	表层 ^①	21.1±25.8	33.6±22.9	77.5±4.3	19.2±3.1
		亚表层 ^②	15.6±21.6	31.8±19.4	76.6±3.1	18.8±0.7
弃耕地 Abandoned field	3	表层 ^①	8.6±8.2	25.7±16.7	77.7±6.1	17.6±6.6
		亚表层 ^②	2.8±1.2	24.1±14.8	64.0±19.0	33.6±17.9
坡耕地 Sloping cropland	6	表层 ^①	2.4±2.4	13.4±7.3	59.7±12.0	37.0±12.1
		亚表层 ^②	2.6±3.2	25.0±15.7	69.4±16.9	27.5±16.8
自然林(草甸) Natural forest(meadow)	4	表层 ^①	24.1±13.6	58.6±7.7	83.9±7.6	7.4±3.8
		亚表层 ^②	28.3±16.9	51.2±23.0	78.1±17.8	16.8±18.5

①Surface; ②Sub-surface

2.3 表层土壤供水特征的变化

由表 4 可见, 坡耕地(样地 1、样地 7)土壤 -0.25~ -3 kPa、-3~ -10 kPa 的比水容量较高, 但在 -10 kPa 以下其比水容量低于次生林地(样地 4、6、10), 表明其土壤不及林地土壤供水持久性强, 抗旱性好。在土水势 -10~ -30 kPa 范围, 样地 2、3(弃耕地、灌草坡)土壤比水容量达 10^{-7} 数量级, 样地 5、8、9 土壤比水容量接近 10^{-7} 数量级, 表明其土壤的保水供水性能相对弱, 而各样地土壤在

-30~ -60 kPa 时比水容量已达 10^{-7} 数量级。由不同土壤水吸力下土壤含水量可知, -3~ -10 kPa 土壤含水量的 70%~75%(即理论上的毛管联系断裂含水量 BCM 值), 大致相当于 -90 kPa 时的土壤含水量, 这就表明, 岩溶山地土壤在脱水过程中, 在还未达到理论上的 BCM 值时, 实际就有可能因水分不足而对植物生长产生不利影响, 而岩溶山地降水不均导致的季节性缺水可能加剧这一影响, 促使着土地石漠化。

表 4 不同利用方式下岩溶山地土壤的比水容量

Table 4 Specific water capacity of soils with different land use patterns in karst region

利用方式 Land use patterns	样地号 No. of plot	比水容量 Specific water capacity ($\text{ml Pa}^{-1} \text{g}^{-1}$)				
		-0.25~ -3 kPa	-3~ -10 kPa	-10~ -30 kPa	-30~ -60 kPa	-60~ -90 kPa
坡耕地 Sloping cropland	1	4.69×10^{-5}	3.78×10^{-6}	1.20×10^{-6}	5.51×10^{-7}	4.69×10^{-7}
弃耕地 Abandoned field	2	1.09×10^{-5}	2.75×10^{-6}	8.80×10^{-7}	6.67×10^{-7}	4.87×10^{-7}
灌草坡 Shrub-grass land	3	2.42×10^{-5}	4.30×10^{-6}	8.85×10^{-7}	6.79×10^{-7}	4.13×10^{-7}
次生林地 Secondary forest	4	2.26×10^{-5}	1.87×10^{-6}	1.27×10^{-6}	6.06×10^{-7}	4.72×10^{-7}
果园 Orchard	5	2.67×10^{-5}	1.90×10^{-6}	1.05×10^{-6}	3.74×10^{-7}	5.47×10^{-7}
次生林地 Secondary forest	6	2.28×10^{-5}	5.22×10^{-6}	1.22×10^{-6}	4.35×10^{-7}	5.55×10^{-7}

续表

利用方式 Land use patterns	样地号 No. of plot	比水容量 Specific water capacity (ml Pa ⁻¹ g ⁻¹)				
		- 0.25~ - 3 kPa	- 3~ - 10 kPa	- 10~ - 30 kPa	- 30~ - 60 kPa	- 60~ - 90 kPa
坡耕地 Sloping cropland	7	3.52 × 10 ⁻⁵	4.38 × 10 ⁻⁶	1.41 × 10 ⁻⁶	5.10 × 10 ⁻⁷	3.47 × 10 ⁻⁷
果园 Orchard	8	2.51 × 10 ⁻⁵	2.08 × 10 ⁻⁶	1.04 × 10 ⁻⁶	4.10 × 10 ⁻⁷	4.36 × 10 ⁻⁷
灌草坡 Shrub-grass land	9	2.91 × 10 ⁻⁵	2.33 × 10 ⁻⁶	1.04 × 10 ⁻⁶	2.96 × 10 ⁻⁷	3.21 × 10 ⁻⁷
次生林地 Secondary forest	10	2.17 × 10 ⁻⁵	2.49 × 10 ⁻⁶	1.47 × 10 ⁻⁶	6.42 × 10 ⁻⁷	6.70 × 10 ⁻⁷

2.4 表层土壤有机质的变化

土壤有机质包括土壤中的动植物残体、微生物以及腐殖质。各土地利用系统中,表层土壤有机质普遍较下层高,样地 10,尤其是金佛山样地 17、18、19、20,土壤有机质从表层沿剖面向下急剧减少,具有明显的黄壤剖面形态特征。样地 20 地表凋落物厚达 6cm,其全 N、全 P、全 K 含量分别为 15.60 g kg⁻¹、0.150 g kg⁻¹、1.208 g kg⁻¹;石灰岩表面苔藓等植物形成的土壤中,全 N、全 P、全 K 含量分别为 47.1 g kg⁻¹、1.234 g kg⁻¹、4.37 g kg⁻¹,速效 N、P、K 分别为 1276.0 mg kg⁻¹、102.0 mg kg⁻¹、186.4 mg kg⁻¹。金佛山、巫山、北碚土壤有机质普遍比黔江土壤高,这可能是由于后者的土壤有机质基础含量较低,土地利用强度较大。在北碚和黔江,林草地系统土壤有机质较耕地和菜地、园地高,坡耕地退耕后,表层土壤有机质含量提高,但退耕初期提高较慢,后期恢复较快。巫山梯地土壤表层有机质达 55.6 g kg⁻¹,而陡坡耕地退耕 1 年后土壤有机质含量只有 28.5 g kg⁻¹。黔江马尾松人工林系统覆盖度较小,有机质循环程度低,因此其有机质含量反而低于耕地;与金佛山自然植被相比,各岩溶山地人工林、次生林系统表层和亚表层土壤有机质仍有明显差距。表层土壤有机质的变化显然是凋落物层和矿质土层中的有机质变化叠加的结果,但是凋落物层的累积过程非常缓慢,恢复到其更新前的状态几乎是不可能的^[3]。

2.5 土壤种子库与地表植被的变异

生态系统中的关键种,对整个生态系统起着控制作用,对于关键种,应重视关键种的种子库动态,因为它代表了关键种恢复的潜力和趋势。可用土壤种子库的组成结构与更高演替阶段群落组成结构之间的相似度系数表示土壤种子库恢复的潜力度^[4],结合现有植被组成现状或物种的比例、种子库的组成现状或物种的比例来评价退化系统的质量或预测

植被的发展动态^[5]。现多认为亚热带喀斯特地区原生性植被为常绿落叶阔叶混交林,亚热带石灰岩山地存在常绿阔叶林^[6],重庆石灰岩植被主要为灌草丛,森林少,但从整体上看,其演替是向常绿阔叶林这一地带性植被进行的^[7]。本文通过比较样地土壤种子库与地上植被组成的相似程度以及种子库中乔木种的种数多少,试图判断各样地植被演替阶段和恢复力度。

从表 5 可见,北碚丢荒 1 年、3 年和多年的灌草坡,种子库和地上植被均以草本植物为主,且关系较密切,说明仍处于植被演替的早期阶段,退化较严重;人工林、弃耕 5 年的柏树疏林和次生林种子库中萌发处于当地顶极演替的常绿树种黄牛奶树、蔷薇科乔木和黄荆灌丛,一般标志着植被受人活动影响较轻,群落处于顺向演替过程,有可能恢复成森林植被,但种子库中的乔、灌种类较地上植被少,所以保护现有喀斯特植被中这些少数的乔木树种,对促进喀斯特灌草坡的顺向演替具有非常重要的意义。金佛山样地常绿阔叶林种子库萌发乔木 2 种、灌木 2 种、草本 5 种(银杉林下的乔木种子未萌发),说明有较多种类未向种子库中输入成熟有效种子,参与群落的更新,这也可能是与喀斯特森林部分树种的生态对策有关^[8],或是由于这些树种的种子较大,易被动物啃食。黔江石灰岩山地的灌草坡和次生林中种子库萌发演替先锋乔木种,与地上植被组成相似性较大。巫山样地灌丛、草坡种子库均以草本为主,与地上植被组成相似性较大,已有 20 年林龄的人工次生林中种子库除萌发先锋种杉外,还有阔叶树种盐肤木、喜钙树种圆叶乌桕、蔷薇科等,其物种多样性和种子数也较该地的灌、草坡和弃耕地大为增加。各灌草坡样地种子库中草本植物的地理成分中世界分布属占较大比重,表明草本层的发育受人活动的影响较为明显;且草本层中的厌钙植物和随遇植

物也较多, 从一个侧面反映了在人为活动的干扰影响下区系成分和生态类型的混杂。

表 5 不同土地类型种子库与地上植物性状分析

Table 5 Plant component of soil seed bank and vegetation on different land types

样地号 No. of plot	土壤种子库 Soil seed bank			地上植被 Vegetation		
	草本种数 Number of herbaceous plant species	灌木种数 Number of shrub species	乔木种数 Number of tree species	草本种数 Number of herbaceous plant species	灌木种数 Number of shrub species	乔木种数 Number of tree species
1	11					
2	25	1		12		
3	13			10	2	
4	22	2	1	5	7	2
5	13					
6	12		2	8	2	3
7	12					
8	7					
9	18			13	2	
10	16	1	1	11	7	5
11	12					
12	15	1		2		
13	15	1	1	10	7	
15	13			16	7	4
16	27	1	1	12	8	5
17	11	1		12		
19	5	2	2	17	10	9
20	1		1	1	6	11
21	10					
22	7	1		4	5	2
23	11			1	3	
24	12	1				
25	18	3	3	8	8	3
26	6			2	4	

2.6 石漠化的成因

研究区在自然植被演替成为次生植被或人工开垦利用后, 岩溶山地土壤表层出现砂土化。经开垦利用后, 岩溶环境土壤表层砂化现象更加明显。土地利用强度越大, 对土壤团粒结构的破坏也越大, 土壤有机质受土地利用强度的明显影响。弃耕后土壤团粒结构、有机质则有所恢复。林地、灌草坡开垦后, 土壤有机质含量下降应是土壤团聚体水稳性下降及数量减少的主要原因。林地、灌草坡对水分的保持能力强, 土地利用强度较大的土壤保水能力相

对较弱。不同土地利用系统土壤种子库的差别较大。土地利用强度越大, 木本植物种子越少, 草本植物种子越多, 且以农田杂草为主。土地利用方式的变化(如陡坡开垦)是对次生植被及其种子库的主要威胁。导致在人类经常干扰的土地, 植被自然恢复需要较长的时间, 其恢复潜力是很小的。在人们环境意识未强化、相关举措不到位的前提下, 土地利用方式的改变如超垦、滥樵, 加大了环境负荷, 造成植被稀疏, 土壤细颗粒流失、减少, 粗颗粒富集、岩石裸露, 进而石漠化。

3 结 语

从自然生态角度分析,岩溶生境的脆弱性体现在地表地下双层空间结构形成的生境保水性差、造壤能力差且以 Ca 营养居首位,岩溶植被具喜钙性、耐旱性及石生性,生长缓慢且植被逆向演替快、顺向演替难,生物资源集聚程度低。就岩溶环境系统的土壤、水、植物而言,它是一种脆弱的生态环境系统,所以从稳定性看,岩溶环境属于一种动态的、脆弱的系统,它将只在环境参数的严格限定的值区才持续存在,并且将在环境参数或种群值的重大扰乱之下崩溃。了解岩溶脆弱生态系统过程对石漠化土地恢复治理是有意义的,本文揭示的石漠化过程和关键环节,可为岩溶山地的生态恢复提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] Yuan D X. Rock desertification in the subtropical karst of south China. *Z. Geomorph. N. F.*, 1997, 108: 81~ 90
- [2] 姚贤良,许绣云,于德芬. 不同利用方式下红壤结构的形成. *土壤学报*, 1990, 27(1): 25~ 33. Yao X L, Xu X Y, Yu D F. Formation of structure in red soils under different forms of utilization (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(1): 25~ 33
- [3] 吴蔚东,张桃林,高超,等. 红壤地区杉木人工林土壤肥力质

量性状的演变. *土壤学报*, 2001, 38(3): 285~ 293. Wu W D, Zhang T L, Gao C, *et al.* Changes of soil fertility quality properties under artificial Chinese fir forest in red soil region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2001, 38(3): 285~ 293

- [4] 喻理飞,朱守谦,叶镜中. 退化喀斯特森林自然恢复评价研究. *林业科学*, 2000, 36(6): 12~ 19. Yu L F, Zhu S Q, Ye J Z. A study on evaluation of natural restoration for degraded karst forest (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(6): 12~ 19
- [5] 杨小波,陈明智,吴庆书. 热带地区不同土地利用系统土壤种子库的研究. *土壤学报*, 1999, 36(3): 327~ 333. Yang X B, Chen M Z, Wu Q S. Study on the soil seed banks of different land utilization system in the tropical area (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(3): 327~ 333
- [6] 方任吉,刘玉成,钟章成,等. 南川金佛山的植被类型. 见: 钟章成著. *植物生态学研究进展*. 重庆: 西南师范大学出版社, 1997. 452~ 468. Fang R J, Liu Y C, Zhong Z C, *et al.* A preliminary study on vegetation on Jinfu mountain. In: Zhong Z C. ed. *Advance in Plant Ecology* (In Chinese). Chongqing: Southwest Normal University Press, 1997. 452~ 468.
- [7] 钟章成. 常绿阔叶林生态学研究. 重庆: 西南师范大学出版社, 1988. 413~ 426, 537~ 550. Zhong Z C. *Research on Evergreen Broadleaved Forest Ecology* (In Chinese). Chongqing: Southwest Normal University Press, 1988. 413~ 426, 537~ 550
- [8] 刘济明. 茂兰喀斯特森林中华蚊母树群落土壤种子库动态初探. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 366~ 374. Liu J M. A preliminary study on the soil seed bank dynamics of the *Distylium Chinensis* community in the Maolan karst forest (In Chinese). *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 366~ 374

CORRELATION BETWEEN ROCK DESERTIFICATION AND VARIATIONS OF SOIL AND SURFACE VEGETATION IN KARST ECO-SYSTEM

Li Yangbing^{1,2} Xie Deti² Wei Chaofu²

(1 National Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Geochemistry Institute of Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

(2 Resources and Environment College, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

Abstract The rock desertification in karst mountains is a kind of land degradation processes correlated with vulnerable eco-geology background and human activities. This paper chooses the typical karst mountains in Chongqing as an example to discuss the impact of different land use patterns on mechanical composition of soil, water-stable aggregates, soil organic matter, the compositions of soil seed banks and bio-diversity of karst eco-system. The results show that the surface soil layer sandification is more evident after the reclamation, the more intensive land utilization, the more serious the destruction on soil aggregate structure. The soils of woodland and grassland systems have not only a superior soil water retention property but also a soil water-supplying capacity than the soils with intense land utilization, and the soil organic matter is impressed by land using intensity distinctly. The amount of seeds of xylophyta species decreases with the increase in strength of land use, while the amount of seeds of herbaceous species increase, and most are farmland weeds. The changes of land use patterns have the dominant influence on secondary vegetation and their soil seed banks.

Key words Karst mountain areas; Rock desertification; Soil properties; Soil seed bank