

岩溶石漠化演替阶段土壤质量退化的预警指标评价

莫 彬^{1,2}, 曹建华¹, 徐祥明^{1,2}, 申宏岗¹, 杨 慧¹, 李小方^{1,3}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 桂林 541004;
2. 广西师范大学生命科学学院, 桂林 541004; 3. 广西师范大学化学与化工学院, 桂林 541004)

摘 要:通过分析石漠化演替进程中土壤质量的变化特征, 探讨土壤质量变化与石漠化之间的关系。结果表明: 在石漠化的演替进程中, 土壤有机质、氮、磷、钾、微生物量和腐殖质品质均有不同程度的下降, 土壤质量的变化与石漠化的发展阶段具有方向一致性和阶段同步性的特点。运用聚类分析方法对岩溶石漠化进程中各演替阶段的土壤质量指标进行了较为全面的分析, 并从中筛选出石漠化进程土壤质量退化的预警性指标。

关键词: 石漠化; 岩溶; 土壤质量

中图分类号: P642.253; S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0016-03

Evaluation of Early Warning Indicators of Soil Quality Degeneration in the Process of Karst Rocky Desertification

MO Bin^{1,2}, CAO Jian-hua¹, XU Xiang-ming^{1,2},
SHEN Hong-gang¹, YANG Hui¹, LI Xiao-fang^{1,3}

(1. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Science,
and Key Laboratory of Karst Dynamics, Ministry of Land and Resources, Guilin 541004;

2. College of Life Sciences, Guangxi Normal University;

3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: According to the analysis of the variation of pH, the contents and the composition of organic matter, major nutrient elements (N, P, K) and the microbial biomass of the soils, it is found that the soil quality degenerated quickly with the development of karst rocky desertification. The method of hierarchical cluster analysis was used to evaluate the early warning indicators of soil quality degeneration in the process of karst rocky desertification.

Key words: rocky desertification; karst; soil quality

岩溶是一种具有特殊的物质、能量、结构和功能的生态系统, 其特殊的地质背景造成了相对脆弱的生态环境。在岩溶地区, 碳酸盐岩化学溶蚀强烈, 残留物极少, 成土十分缓慢^[1,2], 袁道先院士研究认为, 形成 1 cm 土层需 2 500 ~ 8 500 a^[3]。另外, 岩溶山区土壤浅薄且分布零星, 一般缺乏 C 层, B 层常直接与碳酸盐岩基岩接触, 形成上下两个软硬明显不同的岩土界面, 其岩土之间的亲和力和黏着力很差, 故土层极不稳定, 一旦植被遭到破坏, 在降雨等诱发条件下, 易发生水土流失和土体整体滑动而使基岩裸露, 进而导致石漠化。岩溶石漠化是在岩溶脆弱生态环境下, 人类不合理的社会经济活动, 造成人地矛盾突出、植被破坏、水土流失、岩石逐渐裸露、土地生产力衰退丧失, 地表在视觉上呈现类似于荒漠景观的演变过程^[4]。据统计, 广西岩溶石漠化面积已达 2.18 万 km², 贵州石漠化面积达 2.26 万 km²。且以每年 3% ~ 6% 的速度发展^[5]。由于岩溶具有多相多层复杂界面体系, 环境界面变异敏感度高, 环境容量低, 稳定性差, 承灾能力低等特征^[6], 因此, 岩溶与黄土、沙漠、寒漠并列为我国四大生态环境脆弱区。国家“十五”计划纲要中已明确提出: “推进黔桂滇岩溶地区石漠化综合治理”^[7], 把石漠化治理提到了国家目标的高度。

已有的研究表明: 石漠化是一种土地退化过程, 石漠化的扩展意味着生存环境的丧失, 主要表现在: 地表形态的变化, 土壤质量变劣和植被衰退^[8]。其整体退化过程一般为: 林退 - 草毁 - 陡坡开垦 - 土壤侵蚀 - 岩石裸露 - 石漠化。石漠化是岩溶生态系统逆向演替的顶级阶段。从生态系统演替的角度来看, 石漠化是一个连续的过程, 但在表现形式上, 如植物群落的变化、土壤质量的退化等, 可以以阶段的形式来表示^[9]。土壤质量变劣是石漠化的本质, 重点表现在土壤物质流失、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。土壤系统是岩溶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。因此, 本研究以贵州茂兰喀斯特原始森林自然保护区为研究区域, 采用以空间替代时间的方法, 从微观上定量研究石漠化演替过程中土壤质量的变化规律, 并筛选出对土壤质量退化反应较为敏感的预警指标, 期望能为岩溶山区建立科学的土壤质量调控体系及预警体系提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

荔波县地处贵州高原南部斜坡, 地理坐标东经 107°37'

* 收稿日期: 2006-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372116); 水利部“西南岩溶区水土流失与生态安全综合科学考察”项目(2005SBKK05)

作者简介: 莫彬(1979-), 男(壮族), 硕士研究生, 环境生态学专业, 从事岩溶环境生态学的研究; 曹建华(1963-), 男, 博士, 研究员。

~108°18', 北纬 25°07' ~ 25°39', 为贵州高原与桂东丘陵的过渡地带, 平均海拔 758.8 m, 属中亚热带季风性湿润气候。年平均气温 18.3℃, 7 月平均气温 26.4℃, 1 月平均气温 8.3℃, 极端最高气温 39.4℃, 极端最低气温 -6.7℃, 年均降水量 1320.5 mm, 平均年蒸发量 1343.6 mm, 年平均相对湿度 80%, 年日照时数 1272.8 h, 日照百分率 29%。全县石灰土面积 13.5 万 hm^2 , 占土壤总面积的 56.47%。该县茂兰地区发现了原生性较强的喀斯特森林, 其总面积超过 2 万 hm^2 , 出露地层除局部覆盖有少量砂页岩外, 主要是下石炭系的纯质石灰岩和白云岩, 基岩裸露率在 70% ~ 80%。地貌类型主要是峰丛洼地和峰丛漏斗, 局部地区亦有峰丛槽谷、峰林洼地和峰林盆地; 整个地势北高南低, 西高东低; 土壤以黑色石灰土为主, 土层浅薄, 土被不连续, 其浅薄的土层仅见于洼地和谷地底部, 另在斜坡地带的石沟缝中停积了零星的土层, pH 6.5 ~ 8.0, 土壤富钙和富盐基化; 森林类型为亚热带常绿落叶阔叶混交林。

1.2 样品采集与测定方法

本研究从石漠化发生过程中生态系统演替的序列(自然林地 - 次生灌木丛 - 草地 - 坡耕地 - 石漠化土地)出发, 采用以空间替代时间的方法, 在保证地形地貌、岩性和坡度基本一致的前提下, 在研究区内选择有代表性的土地利用类型按照 S 型方法采集土壤样品(0 ~ 20 cm)。土壤样品带回实验室后, 分成两份, 一份鲜样去杂、过 2 mm 钢筛后贮藏于 4℃ 的冰箱内, 进行土壤微生物量碳(MBC)、土壤微生物量氮(MBN)和土壤溶解有机碳(DOC)测定; 另一份风干、去杂、过筛后供土壤化学性质的测定, 采样时间为 2006 年 4 月底。

土壤测定项目有: pH 值(pH)、有机质(O. M)、全氮(TN)、全磷(TP)、速效钾(AK)、有效氮(N)、有效磷(P)、速效钾(K)、微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、溶解有机碳(DOC)、胡敏酸(HA)、富里酸(FA)。

测定方法: 土壤 pH 值: 酸度计法(土水比 1:2); 有机质: 重铬酸钾氧化法; 全氮: 开氏定氮法; 有效氮: 扩散皿法; 全磷: 酸溶 - 钼锑抗比色法; 有效磷: Olsen 法(NaHCO_3 溶液浸提); 钾: 氢氟酸 - 高氯酸消煮 - 火焰光度计法; 有效钾: 乙酸铵浸提 - 火焰光度计法; 微生物量碳: 氯仿熏蒸培养提取后, 提取液中的 C 用日本岛津公司生产的 TOC-VCPH 总有机碳自动分析仪测定; 微生物量氮: 氯仿熏蒸培养提取后, 提取液中的 N 用开氏定氮法测定; 溶解有机碳: 新鲜土用 0.5 mol/L K_2SO_4 溶液按土水比 1:5 浸提 30 min 后离心过滤, 滤液经 0.45 μm 微孔后抽气过滤, 然后用日本岛津公司生产的 TOC-VCPH 总有机碳自动分析仪测定; 土壤腐殖质组成和特性: 焦磷酸钠浸提 - 重铬酸钾氧化法; 土壤腐殖质结合形态: 傅积平改进法^[10]; 实验数据采用 SPSS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 岩溶石漠化过程中土壤质量的变化特征

石漠化过程的实质是岩溶生态系统逆向演替的结果。岩溶环境属于一种动态的脆弱系统, 从“自然林地 - 次生灌木丛 - 草地 - 坡耕地 - 石漠化土地”的逆向演替阶段, 岩溶环境中植物种类的改变引起群落的退化, 系统稳定性降低。退化的植物群落又因其群落特征(如群落高度、盖度、树种特性、生物量等)的限制, 对环境的庇护和改造能力随之降低, 导致严重的水土流失, 从而促进了石漠化的发展^[11]。土壤质量是一种指示土壤条件动态变化最敏感的表达法, 它既能反映土壤管理的变化, 也能反映土壤恢复退化的能力。许多自然和人为的生态过程如气候波动、植被演替、土地利用变化等都显著影响土壤质量的时空演变^[12], 其中, 土壤有机质的数量与质量变化是土壤肥力及环境质量的最重要表征,

是制约土壤理化性质如水分、通气性、抗蚀力和养分有效性等的关键因素, 保持土壤中较高的有机质数量和质量水平是土地可持续利用的先决条件。

表 1 岩溶石漠化演替过程土壤 pH 和养分的变化

土地利 用方式	pH	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
原始林地	7.2	50.72	2.85	0.87	15.20	120.06	128.00	65.89
灌木林	6.7	43.14	2.66	0.64	12.45	100.76	105.27	57.56
草地	6.6	32.86	3.18	0.48	11.30	90.32	93.12	50.23
坡耕地	6.4	18.54	1.36	0.30	9.54	48.20	55.36	46.25
石漠化	7.4	9.25	0.62	0.22	8.04	20.35	28.48	35.56

从表 1、表 2 可以看出, 土壤质量的各指标均随着岩溶生态系统逆向演替的阶段不断下降。石漠化土地与原始林地相比, 除土壤 pH 的变化趋势不是很明显之外, 其它土壤化学性质的各指标均有较大幅度的下降。其中, 土壤有机质和胡敏酸的含量分别下降了 448% 和 99%, 胡敏酸与富里酸的比值(HA/FA)也由 1.4 下降到了 0。土壤腐殖质是土壤有机质的主体, 在土壤有机质组成中, 腐殖质占 80% 以上, 主要包括胡敏酸、富里酸和胡敏素。土壤胡敏酸是土壤腐殖质的重要组成部分, 其含量和特性在一定程度上能反映土壤腐殖质的类型和性质, 而且可以增加土壤的吸收性能及保持养分和水分的能力, 从而促进土壤结构体的形成。土壤腐殖化度(HA/FA)则是衡量土壤腐殖质品质优劣的标志之一^[13]。因此, 从原始林地到坡耕地, 土壤胡敏酸含量以及土壤腐殖化度的不断下降表明了石漠化的演替进程中, 腐殖质的分子量变小、复杂程度下降, 腐殖质品质也在变得越来越差, 这将导致土壤持水性能和团粒化作用的减弱, 增加了土壤对于侵蚀的敏感性, 极易造成严重的水土流失。另外, 石漠化地土壤与原始林地相比, 土壤全 N、P、K 分别下降了 78%、75% 和 47%, 土壤速效 N、P、K 也分别下降了 83%、78% 和 46%。值得注意的是, 坡耕地土壤的化学性质与原始林地相比, 各指标也有非常明显的下降, 土壤质量接近于石漠化土壤, 土质劣化现象比较严重, 有机质、全 N、P、K 和速效 N、P、K 分别下降了 348%、52%、53%、37%、60%、57% 和 30%。由此可见, 在由林地、草地到坡耕地的转变过程中, 随着植物种群的数量与种类不断下降, 生物富集养分作用也在不断减弱, 土壤质量不断退化。土壤主要营养元素的含量变化与土壤有机质的变化方向趋于一致, 表明土壤有机质的大量淋失直接导致了土壤养分含量的降低。在我国西南岩溶地区, 碳酸盐岩化学溶蚀强烈, 残留物极少, 成土十分缓慢, 土层浅薄, 母岩风化对土壤养分物质的补充极其微弱, 因此, 生物的富集作用对于土壤的形成、肥力的积累、补充和土壤结构的改善就有着重要的意义, 一旦生物小循环被破坏, 整个系统即处于无补充的完全输出状态, 造成土壤肥力的丧失^[14]。

活性有机质是土壤微生物最易分解的那部分有机质, 主要包括微生物量碳、氮和溶解有机碳等。它由微生物最易接近的碳和能量来源的那部分化合物组成, 这部分有机质控制了土壤的生物过程并决定了向作物提供养分的能力^[15]。因此, 活性有机质已经被认为是很重要的土壤质量指标, 常常被选为反映土壤质量发展和退化的指标。尽管土壤微生物生物量仅占有机碳的 1% ~ 3% 和有机氮的 2% ~ 6%, 但在有机质动态中起着很重要的作用^[16]。微生物生物量控制土壤有机质的转化并影响碳的积累, 同时还是植物养分的源和库。由于微生物量周转快, 灵敏度高, 不但可以反映土壤微小的变化, 也能反映土壤能量循环和养分转移与运输, 目前在土壤质量的研究中越来越受到众多专家学者的关注。从表 2 来看, 从原始林地到石漠化土地, 土壤微生物量碳、氮和溶解有机碳分别下降了 89%、92% 和 94%, 而且三者的变化方向也与土

壤有机质的变化方向一致,因此,可以看出,土壤活性有机质与土壤肥力和健康有着十分紧密的关系,随着植被的退化,归还地表的凋落物不断下降,土壤微生物可获取的碳源不断减少,微生物活性不断减弱,养分循环的能力也变得越来越弱,由此陷入了土壤质量不断劣化的恶性循环。

表 2 岩溶石漠化演替过程土壤活性有机质和腐殖质品质的变化

土地利 用方式	微生物量碳/ (mg · kg ⁻¹)	微生物量氮/ (mg · kg ⁻¹)	溶解有机碳/ (mg · kg ⁻¹)	胡敏酸/ (g · kg ⁻¹)	富里酸/ (g · kg ⁻¹)	HA/FA
原始林地	256.80	26.02	356.56	14.56	10.25	1.4
灌木林	200.14	18.60	286.46	12.14	11.08	1.1
草地	154.62	12.56	168.40	9.52	11.26	0.8
坡耕地	70.02	4.60	80.25	4.58	15.72	0.3
石漠化	28.54	2.20	20.32	0.05	20.75	0.0

2.2 岩溶石漠化进程中土壤质量变化的预警指标评价

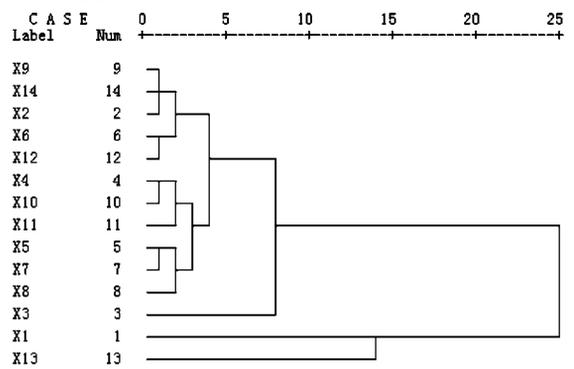
土壤质量主要取决于土壤的自然组成部分,也与人类利用和管理导致的变化有关。作为一个复杂的功能实体,土壤质量不能够直接测定,但可以通过土壤质量指标来推测。土壤质量指标是从表示土壤生产潜力和环境管理的角度监测和评价土壤健康状况的性状、功能或条件^[17]。本研究选取 pH、土壤有机质含量、氮、磷、钾的全量和有效态、土壤腐殖质的组成及土壤活性有机质作为土壤质量的评价指标,用 SPSS 软件对数据进行 R 型聚类(即对观测变量的相似性较强的属性进行归类,从而观察和解释影响系统特性的主要特征),为克服数据之间量纲的不同带来的影响,对数据进行了标准化处理,距离系数的计算采用欧氏距离法,结果如图 1 所示。从聚类分析树状图可以看出,土壤微生物量碳、胡敏酸/富里酸的比值和有机质之间相似距离较近,聚在第 1 类;聚在第 2 类的有速效氮和胡敏酸;聚在第 3 类的有全磷、微生物量氮和溶解有机碳;聚在第 4 类的有全钾、速效磷和速效钾;土壤全氮聚在第 5 类;土壤 pH 和土壤富里酸分别聚在第 6 类和第 7 类。从类与类之间的距离我们可以知道,除了土壤全氮、pH 和富里酸的类间距离较远外,其它土壤质量指标之间的距离均较为接近,都可以作为评价土壤质量变化的有效指标。因此,从本研究结果来看,我们可以选取土壤微生物量碳、有机质、胡敏酸/富里酸的比值、速效氮、胡敏

参考文献:

[1] 王世杰,季宏兵,欧阳自远,等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(5): 441 - 449.
 [2] 曹建华,袁道先,等. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京:地质出版社,2005. 16 - 23.
 [3] 袁道先. 论岩溶环境系统[J]. 中国岩溶,1988, 7(3): 179 - 186.
 [4] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 岩溶石漠化的遥感 GIS 典型研究 - 以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002.
 [5] 苏维词. 贵州岩溶山区的土壤侵蚀性退化及其防治[J]. 中国岩溶,2001, 20(3): 217 - 223.
 [6] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社,1993.
 [7] 蒋忠诚. 广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化[J]. 广西科学,2001, 8(4): 308 - 312.
 [8] 王世杰. 岩溶石漠化 - 中国西南最严重的生态地质环境问题[J]. 矿物岩石地球化学通报,2003, 22(2): 120 - 125.
 [9] 李阳兵,谢德体,魏朝富,等. 西南岩溶山地生态脆弱性研究[J]. 中国岩溶,2002, 21(1): 25 - 29.
 [10] 鲁如坤. 土壤农业化学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
 [11] 李援越,祝小科,朱守谦. 黔中退化岩溶群落自然恢复生态学过程研究 - 自然恢复演替系列构建[A]. 见:朱守谦. 岩溶森林生态研究() [M]. 贵阳:贵州科技出版社,2003. 233 - 237.
 [12] 苏永中,赵哈林. 科尔沁沙地不同土地利用和管理方式对土壤质量性状的影响[J]. 应用生态学报,2003, 14(10): 1681 - 1686.
 [13] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
 [14] 杨胜天,朱启疆. 贵州典型岩溶环境退化与自然恢复速率[J]. 地理学报,2000, 55(4): 459 - 465.
 [15] 王清奎,汪思龙,冯宗炜. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报,2005(3): 513 - 519.
 [16] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997, (2): 61 - 69.
 [17] 郑昭佩,刘作新. 土壤质量及其评价[J]. 应用生态学报,2003, 14(1): 131 - 134.
 [18] 安和平,周家维. 贵州省岩溶山区旱坡耕地现状与陡坡退耕对策[J]. 水土保持通报,2001, 21(1): 77 - 80.

酸、全磷、微生物量氮、溶解有机碳、全钾、速效磷和速效钾作为石漠化的预警指标,对一些岩溶重点生态脆弱区的土壤质量进行动态监测。

欧氏距离



X1:土壤 pH;X2:土壤有机质;X3:全氮;X4:全磷;X5:全钾;X6:速效氮;X7:速效磷;X8:速效钾;X9:微生物量碳;X10:微生物量氮;X11:溶解有机碳;X12:胡敏酸;X13:富里酸;X14:胡敏酸/富里酸

图 1 土壤质量指标评价的聚类分析结果

3 讨论

在石漠化的演替进程中,土壤质量的变化与石漠化阶段发展具有方向一致性和阶段同步性的特点。在岩溶生态系统向石漠化发展的逆向演替阶段,由于植被的不断退化导致土壤有机质的大量淋失,含量急剧下降,从而也导致土壤其它养分含量的减少。在本次研究中发现,陡坡地在叠加了人类活动的影响之后,土壤质量下降较为严重,已接近于石漠化的程度。众多学者的研究也发现,25%以上的坡地水土流失最为严重^[18],石漠化土地中相当一部分是由于人类过度垦殖从陡坡耕地演化而来的,因此,对岩溶地区陡坡耕地的治理工作应得到进一步的加强和重视。土壤微生物量碳、有机质、胡敏酸/富里酸的比值、速效氮、胡敏酸、全磷、微生物量氮、溶解有机碳、全钾、速效磷和速效钾在一定程度上可以较为准确地反映石漠化演替进程中土壤质量退化的特征,在建立石漠化的监测和预警体系时可以作为土壤质量退化方面的主要预警指标之一。