

岩溶生态系统的土壤特性及其今后研究方向

李阳兵¹, 王世杰², 王济¹

(1. 贵州师范大学地理与生物科学学院, 贵州 贵阳 550001;

2. 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, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 岩溶石漠化退化土地是目前西南岩溶地区经济发展、生态恢复与重建工作中严重的问题之一。由于岩溶生态系统的独特性和脆弱性, 岩溶生态系统土壤具有不同于其它生态脆弱区土壤的特征, 本文将其归纳为成土速率决定的在人类活动尺度下土壤不可再生性即脆弱性、土壤侵蚀(土层丢失)的独特性、土壤退化过程中空间分布的斑块化及其与岩性的相关性、土壤退化过程中有机碳活性成分下降和来源变化、土壤退化导致岩溶生态系统生态过程中断。因此, 在退化岩溶生态系统的研究中, 要加强对岩溶生态系统土壤特性及退化恢复理论的研究。

关键词: 岩溶生态系统; 土壤特性; 研究方向

中图分类号: S15 **文献标识码:** A

西南岩溶山地是典型的脆弱生态系统, 是我国的关键生态区之一^[1], 特殊的地质背景形成岩溶地区相对脆弱的生态环境, 其中岩溶山区的石漠化问题尤为突出。岩溶生态系统土壤和表层岩溶带是岩溶地区岩石、大气、水、生物四大圈层的敏感交汇地带, 又是生态系统赖以存在的基础, 作为土壤圈层的一部分有其特殊性, 土壤学界对石灰土本身的类型与特征已有详尽的研究^[2~4], 但他们大多仅限于土壤本身, 对岩溶系统土壤特性的研究是远远不够。岩溶生态系统土壤与地球表层系统演化、与岩溶生态系统的退化恢复有极其密切的关系^[5]。本文在已有相关研究基础上, 对岩溶生态系统土壤特性作进一步的探讨与归纳。

1 土壤脆弱性

1.1 成土母质特性

随着不同地区碳酸盐岩上覆土层物源及成因研究的深入, 关于它们的物源及成因的认识, 目前至少有如下几种观点: (1) 碳酸盐岩酸不溶物的残余堆积^[6~8]; (2) 碳酸盐岩上覆或附近高处碎屑岩的风化残余^[9~10]; (3) 风成沉积物或火山灰的风化残余^[11];

(4) 携带外来成土物质的表生流体对碳酸盐岩溶蚀、交代、沉淀和充填成土^[12]; (5) 多成因说, 即上述三者或其中两者对碳酸盐岩上覆土层物质的形成都有贡献^[13]。碳酸盐岩风化成土作用是我国南方岩溶区土壤资源的一种重要成土机制, 总的来说, 碳酸盐岩分布区成土速率取决于碳酸盐岩中泥质物含量及碎屑岩夹层的比例。

1.2 土壤不可再生性

成土母质特性决定了在人类活动尺度下岩溶生态系统土壤的不可再生性即脆弱性。碳酸盐岩上覆红土层的来源受自然条件和岩性的影响, 不管是碳酸盐岩溶蚀残积成土还是上覆非碳酸盐岩风化成土, 目前所见碳酸盐岩台上的红土层应该是全新世以前形成的, 也很难早于中更新世, 因为更早的岩溶形态基本已被破坏而很少保存下来^[14]。在目前的气候条件和人类活动作用下岩溶山区的物理侵蚀速率大于溶蚀成土速率, 区域土壤层不可能继续增加, 而只会逐渐流失殆尽, 同时土被的损失也必将加剧岩溶性干旱。从人类活动尺度来看, 极低的成土速率决定了岩溶生态系统的土壤资源是不可再生的, 这是碳酸盐岩地区土壤脆弱性与其它岩石类型区的根本区别之一,

基金项目: 黔教科办(2004)07、教育部“新世纪优秀人才支持计划资助”(NCET-05-0819)

第一作者简介: 李阳兵(1968—), 男, 重庆潼南人, 博士后, 教授。主要研究方向为土地资源与生态环境治理。E-mail: li-yapin@sohu.com.

收稿日期: 2006-08-14

也是岩溶地区土地利用较困难的原因。

2 土壤侵蚀的特殊性

2.1 绝对侵蚀量小

岩溶山区土壤分布零星、浅薄,基岩裸露率高,土壤有效面积低,不可能形成连续的、深厚的土壤层这一特殊性决定了其土壤绝对侵蚀量低;随着土壤侵蚀过程的发展,土斑面积不断减少,土层更加浅薄而残存于岩隙和岩面深凹处,土壤侵蚀模数将进一步减小。美国东南部3个岩溶漏斗地貌土地利用系统的土壤侵蚀速率和古土壤的沉积速率表明,草地和林地漏斗地貌侵蚀区的土壤侵蚀量都很小(表1),但人工扰动可显著加快这一过程;澳大利亚整个Mundrabilla景观内在Cs¹³⁷的时间量程内(33a)粘土层平均减少为7.5 t/hm²·a^[15];贵州花江峡谷碳酸盐岩流域内的水土流失强度为24.5585t/km²·a^[16]。从全球来看,这是相对低的土壤损失率,但对土壤厚度有限、种子库和养分仅存于土壤剖面顶部20~30 mm的岩溶土壤来说,这是土壤资源的永久损失。

表1 美国东南部不同土地利用系统土壤的
侵蚀和沉积速率(t/hm²·a)^[17]

Tab. 1 Soil erosion and deposition rates from ¹³⁷Cs,
under three kinds of land use system

土地类型	侵蚀速率			沉积速率		
	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值
耕地	3	27	51	44	55	65
草地	2	3	5	14	20	29
林地	0	2	4	3	11	14

2.2 允许侵蚀量低

柴宗新从岩石溶蚀速度角度讨论了广西岩溶地区土壤容许流失量为68 t/km²·a^[18];滇东南峰丛山区土壤允许流失量为46t/km²·a^[19];陈廉杰认为石灰岩发育土壤的林地其允许流失量上限为50t/km²·a^[20];韦启璠认为喀斯特区最大土壤允许流失量不超过50t/km²·a^[21]。岩溶生态系统土壤低成土速率、低允许侵蚀量导致区域土层处于负增长状态,以贵州红枫湖流域为例,碳酸盐岩风化残留物的成土速率仅为物理侵蚀速率的1/3^[22],这是碳酸盐岩与其它岩类出露区域物理侵蚀的重要差别。

2.3 短距离“土层丢失”现象普遍存在

岩溶区特殊的水文地质条件决定了厚层连续的风化壳只能发育在地下水以水平运移方式为主的地

区^[23],在地下水以垂向运移为主的地区,残余物质体积(只占原岩体积的百分之几)不断被裂隙吸纳,地表只能出现不连续的薄层的有机土。岩溶区的“土壤丢失”与地下水垂直溶蚀运移引起的岩溶裂隙的开放有关,在重力和水的作用下,土粒沿垂直和水平方向搬运到低洼部位或消失于裂隙系统、地下空间中,土壤丢失作为一种自然过程为石漠化创造了条件。

需要指出的是,岩溶地区土壤侵蚀是与第四纪生态环境的演变和土地利用景观演化紧密联系的,现代侵蚀是自然侵蚀和人为加速侵蚀的综合作用过程。但近20年来,大家公认岩溶地区的土壤侵蚀总量在缓慢下降^[24],到底是植被恢复的结果还是石漠化扩展的原因?危害如何?按照以往的评价标准和评价方法仍然难以做出有效的判断。

3 土壤分布的空间异质性

碳酸盐岩缓慢的成土速率、差异风化形成的复杂小生境、土壤侵蚀丢失及沉积和与此相应的土壤资源再分配,导致了土壤层的空间斑块分布;在较大尺度上受控于地貌部位和裂隙的空间展布,呈集群分布,在较小尺度上呈均匀分布和随机分布(分布于石沟、石缝中)。如在黔南荔波茂兰岩溶森林自然保护区内,岩溶森林小生境岩石裸露率为42.51%~98.05%,平均为89.86%,石面石沟型和石面型是其最普遍的组合类型^[25]。岩溶生态系统土壤的斑块化格局往往与岩性有关,石灰岩山地土被不完整,土壤多留存于石沟、缝、槽中,土层厚薄不一,土壤分布没有明显的规律,空间变异较大;白云岩中溶蚀残余物质能相对均匀的分布于地表,土体连续,但土层薄,石砾含量高,因此就岩石生态和成土特点对植被恢复而言,纯灰岩组优于纯白云岩组^[26]。

森林砍伐导致了岩溶土层在相对短时期内的加速侵蚀^[27],进一步增强了岩溶土壤空间分布的高异质性。但岩溶山区石牙/石沟和裸岩/土壤的复杂组合广泛分布,所以即使当石漠化发展末期阶段时,在一些较封闭的石缝等仍有少量的土壤留存,并维持了较好的土壤结构和较高的养分水平,主要是因为喀斯特具有独特而极其复杂的小生境所致^[28]。在半湿润和半干旱的森林—草原或草原—荒漠的过渡地带,草地的灌丛沃岛化现象是草地退化的重要标志之一^[29],同样岩溶生态系统的土壤斑块化现象也是岩溶生态系统脆弱性和生态退化的体现;只是与前者不同的是,后者是维系受损岩溶生态系统存在的基础。

4 岩溶生态系统转换过程的土壤变化

4.1 土壤有机碳活性成分下降和来源变化

岩溶环境土壤有机质积累量较同气候条件下其它岩层风化发育的土壤要丰富得多,形成了贮藏各类养分的“仓库”^[30]。根据贵州省的土壤调查统计^[31],黑色石灰土有机质的平均含量为5.425%,棕色石灰土的有机质的平均含量为3.478%,黄色石灰土的有机质的平均含量为3.193%,红色石灰土有机质的平均含量为3.444%;比对应的红壤(有机质平均含量2.721%)、黄壤(有机质平均含量2.945%)高,即使在耕作土壤中腐殖质含量仍远大于相同海拔下有林被的普通山地黄壤^[32]。但初步研究表明,土壤不同粒径组分中有机碳含量差异较大,0.1~0.05mm的颗粒的有机碳的含量值接近于全土有机碳的含量,>0.1mm颗粒有机碳的含量最低,<0.05mm颗粒有机碳的含量最高,且不同植被土壤颗粒有机碳富集系数的差异主要体现在>0.1mm颗粒和0.1~0.05mm颗粒,<0.05mm颗粒差异很小^[33]。并且稳定碳同位素示踪表明粗砂中的土壤有机质年代最新,细粉砂中

的土壤有机质年代最老,土壤有机质降解过程中,其迁移次序是:粗砂→细砂→粗粉→粘粒→细粉^[34]。

原生性岩溶森林土壤比岩溶次生林土壤降解有机残体的能力强,降解的速度也较快^[35],而对于农田土壤有机质则处于降解较充分的平衡状态,但这种平衡多建立在低有机质含量基础上^[36],如农林生态系统耕作转变几十年后,来源于原森林C₃植被的土壤有机碳含量仍占66.7%,但土壤中源于C₃植物的有机质中的大量容易矿化的组分将在30a至40a内耗尽,植物营养中有效的有机质含量较低^[37]。

可以认为,随着岩溶生态系统的退化,毁林开荒使贫瘠、干燥、明亮生境面积扩大,肥沃、湿润、阴暗生境趋于减少,气温和地表温度增高,湿度降低,生境干旱化突出,将显著降低岩溶土壤有机质特别是碳水化合物等活性组分的含量、组成和生物有效性^[38],所剩的有机质组分多是与Ca²⁺相结合较稳定的胡敏酸钙(森林黄壤所遗),主要起保持土壤结构的作用^[34],致使土壤肥力下降。而随着植被的恢复,土壤中C₃来源有机碳比例将增加,C₄来源有机碳比例将减少(表2)。

表2 喀斯特草坡、人工林和次生林土壤有机碳来源^[39]

Tab. 2 Source of soil organic carbon in karst grassland, artificial forest and secondary forest

有机碳	草坡		人工林		多年次生林	
	0~10cm	10~20cm	0~10cm	10~20cm	0~10cm	10~20cm
C ₃ 来源有机碳(%)	27.1(5.8)	43.5(6.7)	51.0(11.4)	45.5(7.9)	73.8(5.7)	68.5(5.0)
C ₄ 来源有机碳(%)	72.9(5.9)	56.5(6.8)	49.0(11.4)	54.5(7.9)	26.2(5.7)	31.5(5.0)

数据为平均值,括号内数据为标准差(n=3)

4.2 岩溶生态系统土壤退化导致生态过程中断

以生物量增长及土壤形成为纽带,灰岩出露后岩溶系统演进趋势为石质岩溶→生物岩溶→土壤岩溶→生态系统岩溶,最终成为以生物活动和土壤媒体过程为主导的岩溶生态系统^[40]。在岩溶生态系统,土壤和表层岩溶带对地下水的贮存起着重要作用^[41];土壤碳酸酐酶(CA)对灰岩有显著的酶促溶蚀驱动作用,其活性在不同岩溶生态系统土壤之间存在明显差异^[42],从空气中→土壤表面→土壤下20cm→土壤下50cm,石灰岩的溶蚀速度在弄岗森林区为10.27mg/100d→14.19mg/100d→64.38mg/100d→74.25mg/100d,森林区石灰岩溶蚀速度高于岩溶裸露区^[43],土壤碳成为驱动和制约表层带岩溶系统碳转移的动力学机制^[44]。在有土壤层和植被覆盖的表层岩溶生态系统中,参与岩溶作用的碳有一半以上来源于与生物作用有关的碳^[45]。从这一意义上说,土壤侵蚀、基岩

大面积裸露的石漠化其实质是岩溶生态系统土壤—植被相互反馈的生物地球化学循环过程的中断,是土壤生态功能退化造成的生态系统的退化和岩溶地球化学系统的退化,岩溶石山地区因缺失土壤而表现出环境脆弱性。

4.3 土地石漠化与土壤类型的相关性

岩溶山区土地石漠化与土壤类型存在着明显的相关性,石漠化分布区土壤类型主要以石灰土为主,石灰土地区石漠化程度比其它土壤类型地区更严重;黄壤和粗骨土中石漠化程度以轻、中度石漠化为主;而黄棕壤区中,强度石漠化发生率在所有土壤类型中都较高;山地草甸土分布区中度石漠化的发生率比较高^[46,47]。然而,这种相关性更可能是由于各种土壤分布区的岩石基底、地貌类型和土地利用方式不同而导致的。在石漠化后期,植物只能利用水分、养分相对优越的土面生境^[48],这些质量不一的土壤斑块构成的

生境缀块网络类型,代表着石漠化景观恢复的潜势和物质基础。

5 今后研究方向

综上所述,岩溶生态系统土壤有其独特性,对岩溶生态系统的维系有着非常重要的作用,岩溶生态系统土壤退化具有不同于其它岩石类型区的特点。今后进一步的工作中应加强以下几点的研究:

(1)从空间格局来看,受制于成土母质岩溶生态系统土壤退化表现出土壤分布的斑块化。在岩溶生态系统中,存在着“岩溶作用和土壤侵蚀、土层丢失→生境的异质性→土壤空间分布的异质性→影响生态系统稳定性→形成脆弱性→群落的分布格局→土壤有机质的异质性→土壤中某些元素的异质性”这样一个反馈与响应过程。土壤的斑块化使土壤空间分布的不均匀性增加。进一步的问题是土壤斑块的空间异质性(水分和养分)是否影响到群落的分布格局和稳定性?裸岩比例达到多大程度开始影响岩溶生态系统的稳定性?仅利用土壤养分指标能否和如何评价石漠化土地的退化或恢复?以及如何确立石漠化土地的评价指标体系等。当前的岩溶生态研究对上述问题关注不够,同时也因为岩溶山地退化环境植被、土层和裸岩斑块分布的高异质性以及地表与地下空间的高连通性,一直阻碍岩溶生态系统土壤景观退化向定量研究发展。

(2)从土壤养分来看,岩溶生态系统土壤退化体现在土壤养分活性的变化和来源的变化,那么活性有机质是否可作为岩溶生态系统土壤退化的灵敏性指标,岩溶生态系统土壤质量的恢复体现在哪一部分有机碳,又发生在哪一部分粒级组分和团聚体中?目前对岩溶生态系统不同演替阶段相应的土壤质量变化过程及机理尚不明确,如能找出对岩溶生态系统变化过程中能及时反映土壤质量动态的一些敏感性的指标,对阐明岩溶生态系统的运行机理,对定量确定岩溶生态系统的退化程度,对顺应正向演替规律进行退化生态的有效恢复、保护、重建或维持是很有意义的。

(3)岩溶生态系统土壤退化导致生态过程中断,是土壤养分库、水库、种子库功能以及生物地球化学循环功能的下降和丧失。过去岩溶研究重基岩、轻土层,以至于对岩溶生态系统演替中土壤的生态服务功能认识不全面,缺乏与养分转化的地球生物物理化学过程的相互联系。土壤恢复是生态系统恢复的重要组成部分,植物与土壤的相互反馈是生态恢复成功的重要标志^[49],因此,在退化岩溶生态系统的研究中,要

加强对岩溶生态系统土壤退化特性及恢复理论的研究。

参考文献

- [1] 张新时. 中国关键生态区的评价与对策[J]. 中国基础科学, 2001, 21, 5: 11—14.
- [2] 韦启璠, 陈鸿昭, 吴志东, 等. 广西弄岗自然保护区石灰土的地球化学特征[J]. 土壤学报, 1983, 20(1): 30—42.
- [3] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37—44.
- [4] 周清湘, 罗丰吉主编. 广西土壤[M]. 广西科学技术出版社, 1994, 4.
- [5] 李阳兵, 王世杰, 李瑞玲. 岩溶生态系统的土壤[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 434—438.
- [6] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆出版社, 1988: 24—29.
- [7] Wang S J, Ji H B, Ouyang Z Y, et al. Preliminary study on weathering and pedogenesis of carbonate rock[J]. Sci China (D), 1999, 29(5): 441—449.
- [8] Bronger A, Enslin J, Gutlich P, et al. Rubification of terra rossa in Slovakia; a Mosbauer effect study[J]. Clay Minerals, 1983, 31: 269—276.
- [9] 符必昌, 黄英. 试论碳酸盐岩上覆红土的形成模式及演化趋势[J]. 地质科学, 2003, 38(1): 128—136.
- [10] Olson C G, Ruher R V, Mausbach M J. The terra rossa limestone contact phenomena in karst, South Indiana[J]. Soil Sci Soc Am J, 1980, 44: 1075—1079.
- [11] Danin, Gerson A, Ganty R. Weathering patterns on hard limestone and dolomite by endolithic lichens and cyanobacteria; supporting evidence for aeolian contribution to Terra Rossa soil[J]. J Soil Sci, 1983, 136(4): 213—217.
- [12] 李景阳, 王朝富, 樊廷章. 试论碳酸盐岩与喀斯特成土作用[J]. 中国岩溶, 1991, 10(1): 29—38.
- [13] Durn G, Ottner F, Slovenec D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia[J]. Geoderma, 1999, 91: 125—150.
- [14] 李兴中. 贵州高原喀斯特区地文期辨析[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 182—186.
- [15] Gillieson D, Wallbrink P, Cochrane A. Vegetation change, erosion risk and land management on the Nullarbor Plain, Australia[J]. Environmental Geology, 1996, 28 (3): 145—153.
- [16] 彭建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 511—515.
- [17] K. M. Turnage, S. Y. Lee, J. E. Foss, et al. Comparison of soil erosion and deposition rates using radiocesium, RUSLE, and buried soils in dolines in East Tennessee[J]. Environmental Geology 1997, 29 (1/2): 1—10.
- [18] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J]. 山地研究, 1989, 7(4): 255—259.
- [19] 陈晓平. 喀斯特山区环境土壤侵蚀特性的分析研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 13(4): 31—36.
- [20] 陈廉杰. 森林土壤允许流失量的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 18—22.
- [21] 韦启明. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防治途径[J]. 水土保持研究, 1996, 3(4): 72—76.
- [22] 白占国, 万国江. 贵州碳酸盐岩区域的侵蚀速率及环境效应研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 1—7, 46.

- [23] 李德文, 崔之久, 刘更年. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 183—188.
- [24] 万军, 蔡运龙, 路云阁. 喀斯特地区土壤侵蚀风险评价—以贵州省关岭布依族苗族自治县为例[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 148—153.
- [25] 朱守谦, 何纪星, 魏鲁明, 等. 茂兰喀斯特森林小生境特征研究[C]//朱守谦主编. 喀斯特森林生态研究(Ⅲ). 贵阳: 贵州科技出版社, 2003: 38—48.
- [26] 张喜. 贵州喀斯特山地坡耕地立地影响因素及分区[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(6): 98—102.
- [27] Drew, D P. Accelerated soil erosion in a karst area, The Burren, western Ireland[J]. Journal of Hydrology, 1983, 61(1—3): 113—124.
- [28] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 石漠化过程中土壤理化性质变化的初步研究[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(3): 204—207, 213.
- [29] Schlesinger, W. H., J. A. Raikes, A. E. Hartley. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems[J]. Ecology, 1996, 77: 363—374.
- [30] 杨继镛, 汪炳根, 唐俊. 广西大青山石灰岩山土壤理化性质的演变及其造林绿化[J]. 林业科学, 1990, 26(5): 402—409.
- [31] 贵州省土壤普查办公室. 贵州省土壤[M]. 贵阳: 贵州科学技术出版社, 1994.
- [32] 任文美. 在农业生态条件下石灰岩山地土壤演化的探讨[J]. 重庆师范学院学报, 1999, 16(4): 75—81.
- [33] 李阳兵, 杨霞, 徐花, 等. 岩溶生态系统土壤非保护性有机碳含量研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(2): 402—406.
- [34] 刘启明, 王世杰, 朴河春, 等. 稳定碳同位素示踪农林生态转换系统中土壤有机质的迁移和赋存规律[J]. 环境科学, 2002, 23(4): 89—92.
- [35] 龙健, 李娟, 江新荣. 贵州茂兰喀斯特森林土壤微生物活性的研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 597—602.
- [36] 刘启明, 王世杰, 朴河春, 等. 稳定碳同位素示踪农林生态转换系统中土壤有机质的含量变化[J]. 环境科学, 2002, 23(3): 75—78.
- [37] 朴河春, 刘启明, 余登利, 等. 用天然¹³C丰度法评估贵州茂兰喀斯特森林区玉米地土壤中有有机碳的来源[J]. 生态学报, 2001, 21(3): 434—439.
- [38] 郭景恒, 朴河春, 张晓山. 生态系统转换对土壤中碳水化合物的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1367—1370.
- [39] Marya C. Ruiz-Jae'n, T. Mitchell Aide. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success[J]. Forest Ecology and Management, 2005, 218: 159—173.
- [40] 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[J]. 中国岩溶, 1999, 18(4): 287—296.
- [41] Jerome Perrin, Pierre-Yves Jeannin, Francois Zwahlen. Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data, Milandre test site, Switzerland[J]. Journal of Hydrology, 2003, 279: 106—124.
- [42] W. Li, L. J. Yu, D. X. Yuan, et al. A study of the activity and ecological significance of carbonic anhydrase from soil and its microbes from different karst ecosystems of Southwest China[J]. Plant and Soil, 2005, 272: 133—141.
- [43] 曹建华, 王福星. 广西弄岗自然保护区森林群落内环境生物岩溶侵蚀营力之特征[J]. 中国岩溶, 1996, 15(1—2): 65—72.
- [44] 潘根兴, 曹建华, 何师意, 等. 土壤碳作为湿润亚热带表层岩溶作用的动力机制: 系统碳库及碳转移特征[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(9): 49—52.
- [45] 何师意, 潘根兴, 曹建华, 等. 表层岩溶生态系统碳循环特征研究[J]. 第四纪研究, 2000, 20(4): 383—390.
- [46] Wang S J, Li R L, Sun C X. How Types of carbonate assemblages constrain the distribution of karst rocky desertification in Guizhou Province, P. R. China: phenomena and mechanism[J]. Land Degradation & Development, 2004, 15: 123—131.
- [47] 胡宝清, 黄秋燕, 廖亦眉, 等. 基于GIS与RS的喀斯特石漠化与土壤类型的空间相关性分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 67—70.
- [48] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(3): 26—30.
- [49] Zhu W X. Consideration on soil ecology in the process of restoration and succession. Acta phytocologica Sinica, 2005, 29(3): 479—486.

SOIL PROPERTIES IN KARST ECOSYSTEM AND FURTHER STUDY

LI Yang-bing¹, WANG Shi-jie², WANG Ji¹

(1. School of Geography and Biology Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang, Guizhou 550002, China)

Abstract: Rocky desertification of land in karst area is one of the most serious problems, which retards economy development, ecosystem rehabilitation in Southwest China. Because of the unique eco-system characters and fragilities of karst ecosystem, the soil degradation in karst ecosystem has different degradation characteristics and processes that differentiated other ecologically fragile regions as follows: (1) the non-renewable ability and fragility of soil resource limited by the pedogenesis rate; (2) unique soil erosion (soil loss); (3) accelerated soil patches formation in the process of soil degradation related with lithologic differences; (4) active soil organic matter decrease and origins of soil organic matter change in the process of soil degradation; (5) the interruption of karst ecosystem processes resulting from soil degradation. Therefore, the soil degradation characteristics and restoration theory should be emphasized in order to make contribution to the restoration and rehabilitation of degraded karst ecosystem.

Key words: Karst ecosystem; Soil properties; Further research