

文章编号: 1004-4574(2007)02-0106-06

我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展

黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春

(北京大学 资源环境与地理系, 北京 100871)

摘要:我国西南部喀斯特地区的石漠化是西部生态建设中面临的十分突出的地域环境问题,也是西南喀斯特地区实现可持续发展的主要障碍之一。参考国内研究的相关文献,运用比较分析法,从喀斯特石漠化的概念、分布、评价指标、生态效应、成因分析及综合治理等六方面回顾了近年来我国喀斯特地区石漠化研究的进展情况。研究结果认为,目前研究中还存在基础理论研究落后于实践活动、定量分析不足、基础数据采集工作欠缺和现有治理模式具有较大的局限性等不足,并建议从研究重点区域、探究喀斯特石漠化演变机理、在喀斯特石漠化地区开展生态综合整治工作及建设相关的信息系统等方面开展先行研究工作。

关键词:中国西南部; 喀斯特地区; 石漠化; 生态建设

中图分类号: P942.73/.1 **文献标识码:** A

Progress of research on rocky desertification in karst areas of southwestern China

HUANG Qiu-hao, CAI Yun-long, WANG Xiu-chun

(Dept of Resources & Geography, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Rocky desertification in karst areas of southwestern China is an outstanding regional environmental issue, and is also one of the main obstacles to regional sustainable development. This paper reviews the progress in research on karst rocky desertification, including the concept, distribution, evaluation index, ecological effects, cause analysis and integrated control. It is pointed out that four deficiencies exist in the current research, i.e. the lag of the basic theory behind the practice, insufficient quantitative analysis, lack of basic data and the limits of existing control. Finally, this paper proposes several aspects for future research.

Key words: southwestern China; karst area; rocky desertification; ecological construction

西南喀斯特地区的石漠化是我国西部大开发中生态建设所面临的十分突出的地域环境问题,也是西南喀斯特地区可持续发展的主要障碍之一。中国科学院分别于1994年和2003年两次向国务院递交报告,提出推进西南喀斯特地区石漠化综合治理的若干建议^[1-2]。我国政府也在“十五”工作报告中明确提出“加快推进黔桂滇岩溶石漠化的综合治理”^[3]。本文从喀斯特石漠化的概念、石漠化分布、评价指标、生态效应、成因分析及综合治理等六方面回顾了近年来喀斯特石漠化研究进展,指出当前研究中尚有基础理论落后于实践活动、定量分析不足、基础数据的采集工作欠缺和现有治理模式具有较大的局限这四方面不足,并对未来的研究方向进行了建议。

收稿日期: 2005-04-11; 修订日期: 2005-11-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40335046); 教育部高等学校博士学科点专项基金项目(20040001038)

作者简介: 黄秋昊(1977-),男,博士研究生,主要从事资源管理研究。E-mail: qhhuang@pku.edu.cn

1 研究现状

1.1 喀斯特石漠化的概念

20世纪80年代末到90年代初,部分科技工作者在水土保持工作中,特别是在砂页岩及红色岩系和石灰岩丘陵山地陡坡开垦所引起的水土流失研究中,提出了“石化”、“石山荒漠化”、“石质荒漠化”的概念,并特别强调石山荒漠化是水土流失的一个突出特点。

袁道先^[4]采用石漠化概念来表征植被、土壤覆盖的喀斯特地区转变为岩石裸露的喀斯特景观的过程,并指出石漠化是中国南方亚热带喀斯特地区严峻的生态问题,导致了喀斯特风化残积层土的迅速贫瘠化。热带和亚热带地区喀斯特生态系统的脆弱性是石漠化的形成基础,但包括人口压力、土地利用规划和实践的不合理、大气污染等人类活动触发了这一事件所有过程。

屠玉麟^[5]认为,石漠化是指在喀斯特的自然背景下,受人类活动干扰破坏造成土壤严重侵蚀、基岩大面积裸露、生产力下降的土地退化过程,所形成的土地称为石漠土地。

王世杰^[6]认为:“喀斯特石漠化(karst rocky desertification)是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下,受人类不合理社会经济活动的干扰破坏,造成土壤严重侵蚀,基岩大面积出露,土地生产力严重下降,地表出现类似荒漠景观的土地退化过程”。并总结“喀斯特石漠化是以脆弱的生态地质环境为基础,以强烈的人类活动为驱动力,以土地生产力退化为本质,以出现类似荒漠景观为标志的土地荒漠化的主要类型之一”。

综上,我们总结为喀斯特石漠化是发生在亚热带喀斯特地区,由于人地关系矛盾突出,导致植被退化、土壤生产力下降,基岩大面积裸露的类似荒漠的演化过程。

1.2 分布规模

据相关资料^[7],西南喀斯特地区是以贵州为中心,包括贵州大部及广西、云南、四川、重庆、湖北、湖南等省的部分地区,面积达50多万 km^2 ,是全球三大岩溶集中连片区中面积最大、岩溶发育最强烈的典型生态脆弱区。这里居住着1亿多人口,且以农业为主,人地矛盾突出,水土流失和石漠化极为严重(表1)。部分地区的石漠化面积已接近或超过所在地区总面积的10%,如贵州六盘水(27.9%)、安顺(24.6%)、黔西南(23.4%)、毕节(16.1%)、黔南(14.6%)、铜仁(9.4%)及广西的百色与河池(>12%)、云南滇东、川渝的涪陵(12.77%)、泸州(9.5%)、万州(9%)等。更严重的是西南岩溶山区的石漠化目前仍在快速发展,如贵州每年新增石漠化面积就达933 km^2 ,广西石漠化则以每年3%~6%的速度在发展^[8]。

表1 西南岩溶山区石漠化的分布状况

Table 1 Distribution of rocky desertification in southwestern karst area in China

省份	黔	桂	滇	川渝	鄂(鄂西)	湘(湘西)
岩溶分布面积/万 km^2	13	9.5	11.21	8.2	4.1	5.7
占所在省份总面积比/%	73	41	29	15	22	27.3
石漠化面积/万 km^2	2.25	1.88		3.55		1.74
占所在省份总面积比/%	12.8	8		6.29		8.33*

注: *湖南省的石漠化面积包括沙岩和石灰岩地区的石漠化面积。

1.3 喀斯特地区石漠化评价指标体系

关于喀斯特地区石漠化的现状评价指标体系,不同学科背景的学者考虑的角度不一,对指标持续性作用的界定不同,指标的选择差异也较大,评价指标的量化标准(域值)也不尽相同。如李瑞玲等从石漠化科学内涵出发,依据植被覆盖率、岩石裸露率、平均土厚和植被类型^[9]等指标(表2),对喀斯特石漠化进行评价;而周忠发等等则运用遥感手段,借助TM影像特征、植被加土被比例、侵蚀面积比例、土壤平均趋势模数和平均流失厚度^[10]等数据(表3),来评价喀斯特石漠化程度。

第一种评价方法,实际是将评价石漠化的现状程度通过植被覆盖率和岩石裸露程度指标辅以野外调查获得的植被类型等来评价,该评价方法的空间尺度范围一般为10~100 km ,指标能够适于县级尺度调查;制图比例尺为1:250 000与1:500 000。而第二种评价方法,主要为通过影像来判别,其适宜评价范围为1~100 km ,更适用于就某特定较小的研究区域内的喀斯特石漠化评价,制图比例尺为1:50 000与1:100 000。

此外,有学者^[9]还根据坡度、岩性、地貌、人口密度和陡坡耕地率这几项因素(表4),建立了喀斯特石漠

化危险度评价指标体系,将发生石漠化的风险分为轻度、中度和极强危险性 3类。通过对石漠化危险性的评价,来反映一个地区石漠化的潜在危险程度和未来发展趋势,既明确了喀斯特地区哪些土地类型处于警界状态,已不能再开垦利用;同时也揭示了各类自然因素和社会因子与石漠化危险性之间的相关关系,用以指导当地的土地利用方式和生产活动,具有较强的现实意义。

表 2 基于实地调查的喀斯特土地石漠化现状评价指标体系^[9]

Table 2 Field survey-based evaluation index system for present status of rocky desertification in karst area

强度等级	植被覆盖率 / %	岩石裸露率 / %	平均土厚 / cm	植被类型
轻度石漠化	35 ~ 50	> 60	< 15	次生乔灌木
中度石漠化	20 ~ 35	> 70	< 10	中覆盖灌木
强度石漠化	< 20	> 80	< 5	低覆盖草丛

表 3 基于遥感影像的喀斯特土地石漠化现状评价指标体系^[10]

Table 3 Remote sensing image-based evaluation index system for present status of rocky desertification in karst area

等级	植被加	侵蚀面积 / %	土壤平均侵蚀	平均流失	影像特征
	土被 / %		模数 / (t · km ² · a ⁻¹)	厚度 / (mm · a ⁻¹)	
无石漠化	> 75	< 30	< 1000	< 0.74	暗红、大红,成块状
潜在石漠化	50 ~ 70	30 ~ 40	1000 ~ 2500	0.74 ~ 1.9	浅红、绿红色,星状
轻度石漠化	30 ~ 50	40 ~ 50	2500 ~ 5000	1.9 ~ 3.7	品红,星状
中度石漠化	15 ~ 30	50 ~ 60	5000 ~ 8000	3.7 ~ 5.9	绿红,红中带白,斑状
强度石漠化	6.5 ~ 15	> 60	> 8000	> 5.9	红中带白,灰白,斑状
极强度石漠化	< 5	< 30 %	< 1000	< 0.74	白色、灰白色,斑状

表 4 喀斯特石漠化危险度评价指标体系^[9]

Table 4 Evaluation index system for hazard degree of rocky desertification in Karst area

强度等级	坡度 / %	岩性 (泥质含量 / %)	地貌 (切割度 / m)	人口密度 / (人 · km ²)	陡坡耕地率 / %
轻度危险性	> 18	30 ~ 70	< 200	> 143	< 7.42
中度危险性	> 20	10 ~ 30	200 ~ 500	> 205	7.42 ~ 13.14
极危险性	> 25	< 10	> 500	> 267	> 13.14

1.4 喀斯特石漠化带来的生态环境效应

喀斯特石漠化加速了生态环境恶化,主要表现为水土流失、河道淤积和自然灾害频繁,常导致土地资源丧失和非地带性干旱,加剧了喀斯特地区的贫困,而且危及到长江和珠江中下游地区的生态安全。

首先是水土流失严重。据贵州省林业厅调查^[11],20世纪 50年代全省水土流失面积为 2.5万 km²,60年代扩大为 3.5万 km²,70年代末为 5万 km²。1995年则高达 7.67万 km²,占全省总面积的 43.15%。每年流入长江及支流的泥沙 114亿 t,流入珠江 0.34亿 t,每年土壤流失量平铺在贵州大地上,厚度可达 3至 4 mm;石漠化的迅速发展,使得贵州耕地以每年 0.76万 hm²的速度不断减少。红水河流域水土流失面积占土地总面积的 25%以上,每 m³河水含泥沙量为 0.726 kg,流域土壤年均侵蚀模数为 1 622 t/km²。目前贵州最大的乌江渡水电站,库区 5 a淤积近 2万 m³,相当于原来预计 50 a的淤积量,严重影响了电站的安全运行和寿命,并降低了泄洪能力^[12-15]。

其次是河道淤积。喀斯特石漠化地区因植被稀疏、岩石裸露,涵养水源的功能衰减,迟滞洪涝的能力明显降低。同时流域面上的土壤,由于受集中降雨的冲刷侵蚀,泥沙随地表径流入河,成为河流泥沙的主要来源。20世纪 80年代贵州省河流悬移输沙量为 6 625万 t,平均输沙模数为 376 t/(km² · a),其中喀斯特强烈发育的乌江流域年输沙量约为 1 990万 t,南北盘江年输沙量为 2760万 t。根据 1998年贵州省水电厅资料,全省土壤年侵蚀总量估计已达 2.8亿 t,大部分泥沙进入长江和珠江,在两江中下游淤积,导致河道淤浅变窄,湖泊面积及其容积逐年缩小,使蓄、泄洪水能力下降,直接威胁到长江、珠江下游地区的生态安全,西南喀斯特地区石漠化是 1998年长江流域特大洪灾的重要原因之一^[16]。

喀斯特石漠化引起的自然灾害灾种多、强度大、频率高、分布广,甚至叠加发生、交替重复。随着喀斯特

生态环境的不断恶化,各种自然灾害呈现周期缩短、频率加快、损失加重的趋势。据研究^[17],1951-1987年的37年间,贵州省农作物受灾年份就有34 a,平均受灾面积4.67万 hm^2/a ,占同期农作物播种面积的25%。1985-1990年仅旱灾一项累计受灾面积40.7万 hm^2 ,平均每年6.77万 hm^2 ,1995年的特大水灾,给贵州省造成的经济损失高达63.1亿元。1996年全省86个县(市)区均不同程度遭受自然灾害,其中重灾县45个,特重灾县29个,农作物受灾面积12.98万 hm^2 ,成灾面积8万 hm^2 ,绝收1.88万 hm^2 ,损毁耕地0.61万 hm^2 ,因灾减产粮食15亿kg,因灾直接经济损失162.22亿元。毕节地区1959-1985年的27 a中,有24 a春旱,24 a夏旱,频率达91%;织金县1958年以来发生8次洪涝灾害,冲毁农田,导致滑坡、泥石流^[11]。

1.5 石漠化成因分析

在对喀斯特石漠化的形成原因方面,脆弱的自然、生态和地质环境为发生背景,强烈的人类活动为主导驱动力的石漠化驱动机制已为大家所普遍接受^[8,16,18]。

张殿发等^[18-19]在分析贵州省喀斯特山区的土地石漠化的生态地质环境背景基础上,提出“特定的生态地质环境背景对土地石漠化具有明显的控制作用”,并认为地质构造运动塑造了陡峻而破碎的喀斯特地貌景观,由此产生的较大地表切割度和地形坡度,为水土流失提供了动力潜能;古环境演化为喀斯特石漠化提供了广泛分布的碳酸盐物质,温暖潮湿的季风气候为喀斯特地貌的强烈发育提供了必要的溶蚀条件。

在GIS技术支持下通过研究发现,喀斯特地区土地石漠化与岩性存在明显的相关性,石漠化分布区域的岩性主要以灰岩为主,且灰岩地区石漠化程度比白云岩地区更严重^[20]。

石漠化与地貌分布的空间关系也有很大的相关性^[8]。深切割高中山、峰丛洼地及峰丛中山的石漠化发生率在所有地貌类型中最高,皆为30%以上,丘陵区 and 低山区的石漠化发生率虽也高,但主要以轻度石漠化为主,强度石漠化很少;浅切割中山、盆地和峰丛低山的石漠化发生率相对较低,以轻、中度为主。无论是总石漠化发生率还是轻度、中度和强度石漠化发生率,除丘陵地区外石漠化发生率都随切割度增大而增大,而且在同一地貌单元中随相对高差的增大有增大的趋势。

事实上,石漠化的发生、发展过程就是人类活动破坏生态平衡所导致的地表覆盖度降低的土壤侵蚀过程,表现为:人为因素 林退、草毁 陡坡开荒 土壤侵蚀 耕地减少 石山、半石山裸露 土壤侵蚀 完全石漠化(石漠)的逆向发展模式^[8]。

这些人类因素包括人口增长过快、对土地掠夺式经营以及土地资源结构与农村产业结构错位等^[7]。例如1949年贵州总人口1416.40万,2002年为3837.28万,53 a间净增2420.88万,年均净增45.67万,远高于全国平均水平^[11]。人口增长快、密度大,加上素质低,使西南岩溶山区陷入人口增加—过度开垦—土壤侵蚀性退化—石漠化扩展^[15]。乱砍滥伐、滥垦滥耕、铲草皮、挖树根、烧秸秆等严重地破坏了喀斯特生态环境,稀少的土地裸露,暴雨季节的冲刷、流失,加剧了石漠化的演替和斑状、星状土壤的水土流失,加速了土地石漠化进程^[21]。

1.6 综合治理

早在20世纪七十年代末的“五五”、“六五”期间,国家科委立项组织原地质矿产部、中国科学院、水电部、煤炭部、国家教委等部门所属单位,进行全国性的岩溶攻关,选择广西都安地苏地下河、贵州普定和独山地下河系、湖南洛塔、山西娘子关等4个典型地区作试点为喀斯特石山改造取得了丰富的经验。20世纪80年代,原地质矿产部完成了西南地区的矿产资源普查和水文地质普查(1:200 000);90年代后,在国家科技攻关、扶贫开发、长江中上游水土保持工程、长江防护林带工程、世界粮食计划(WFP)3146和3356等工程的支持下,在许多地区上开展了喀斯特石漠化治理试点,取得了一定成效^[2]。

在治理过程中,以小流域为治理单元,进行多学科交叉、多种技术集成的综合开发治理。针对不同喀斯特环境类型,制定具体治理方案,建立喀斯特生态环境治理典型示范试验区^[22]。如以岩溶峰丛洼地区为代表的“湖南龙山县洛塔乡模式”^[23]、以岩溶峰丛山区为代表的“贵州罗甸县大关村模式”^[24-25]、以干旱峰林平原区为代表的“广西来宾小平阳模式”^[26]等。具体的治理措施,如Wang等^[27-28]在贵州毕节喀斯特小流域进行的综合治理中总结了“山顶戴帽、山腰系带、山脚穿鞋”的治理方案,即在山顶开展植树造林、山腰修砌石墙来防治水土流失、山脚则大规模地建设高产稳产田,在贵州南部实施的生态农业也为解决当地经济发展与资源利用的冲突提供了新思路。它把动物饲养、沼气生产、农作物种植三者相结合,将动物的粪用于沼气发酵和农作物施肥,天然气的使用减少了柴薪林的大量砍伐,既保护了自然资源,也为广大喀斯特石漠化农村地区的能源开辟了新的来源,以上种种都一定程度上降低了石漠化加剧的可能。

2 存在问题

虽然对于西南喀斯特石漠化研究的取得了较为显著的成果,但仍存在以下问题:

2.1 基础理论仍落后于实践活动

当前对石漠化的科学内涵及成因机制虽有较清楚的认识,但是对石漠化的定义和评价指标体系还没有达成共识,石漠化的水文生态过程和植被恢复重建机理仍有待探索,自然因素和社会因素对于石漠化的驱动影响仍无法进行定量化的研究。此外,还缺乏对喀斯特石漠化在不同时空尺度下的驱动机制研究,特别是人类驱动力的研究。

2.2 定量分析不足

许多学者对石漠化的成因机制机理、开发治理等方面作了较为深入的研究,但基本上以侧重定性分析,定量研究明显不足,造成目前对于石漠化的时空分布规律和发展趋势认识不明确,在治理过程中不能因地制宜,极大影响了治理成效和速度。

2.3 基础数据的采集工作欠缺

尽管当前我国西南岩溶省份对石漠化问题高度重视,采用“3S”技术对喀斯特石漠化的分布现状展开了大范围的调查工作,但采用的划分标准往往是根据地表形态的宏观变化,而没有考虑土地退化的微观机制(在目前的研究程度下也无法考虑),因而,喀斯特石漠化监测和评价过程中,各研究者获取的监测数据差异较大,监测结果间无法比较。导致这种局面的原因是,一是在石漠化分类方面,至目前为止还没有严格科学意义上的划分标准,也没有统一的石漠化评价指标体系。一是研究所使用的卫星影像数据的分辨率、所取波段和时间等参数之间存在较大差异。监测结果间的差异,给区域石漠化发展趋势的正确评价造成困难。从而容易造成人力、物力、财力等的极大浪费,也不利于长期连续石漠化动态数据库的建立。

2.4 现有治理模式具有较大的局限

由于缺乏对喀斯特生态经济系统的全面了解和喀斯特生态经济规律及生态经济平衡的研究,生态保护与经济建设脱节,使喀斯特生态系统与经济系统的运行长期处于对立和矛盾状态,陷入生态恶化与经济落后双重恶性循环的困境而不能自拔。对于石漠化成因的环境地质背景一直缺乏足够的重视,特别是忽视喀斯特环境背景的时空差异性,以致导致治理模式的过分单一。

3 未来研究方向建议

结合目前喀斯特石漠化研究进展情况,考虑到石漠化研究涉及自然、工程和社会等多领域科学问题,建议在未来研究中集中以下几方面:

(1) 突出重点研究区域,加强喀斯特地区人居环境的研究

将经济、文化较为发达的喀斯特平原地区的石漠化治理作为研究主要对象,同时,有步骤的在喀斯特峰丛洼地、台地峡谷等地区开展生态重建工作,探索适应喀斯特地区城镇发展的居住模式。以小流域为单位进行综合治理,集中使用各种渠道的资金于一个区域,实行综合配套治理研究。

(2) 加强喀斯特石漠化的演变机理研究

加强喀斯特石漠化演化机制在不同时空尺度下的驱动机制研究,特别是人类驱动力的研究^[29-30]。确定自然因素和人文作用对石漠化过程的正负面影响和各自的贡献率;加强石漠化的地表水文生态过程和植被恢复重建机理研究工作;

(3) 加强喀斯特石漠化地区生态系统综合整治研究

制定岩溶石漠化地区生态环境综合整治总体规划,建立和完善喀斯特地区生态重建与土地可持续发展的指标体系,充分发挥指标体系对喀斯特地区生态建设与社会经济发展的现状描述功能、结果评价功能;

(4) 建立喀斯特石漠化发生的相关信息系统

建立石漠化基础信息系统、灾害监测预警系统、灾害评价和辅助决策系统,根据土壤侵蚀数据、气候变化数据的变化而变化。时刻监测坡地石漠化的变化,依据监测结果,确定未来可能发生石漠化的区域,为治理决策提供参考依据。

参考文献:

- [1] 中国科学院地学部. 关于推进西南岩溶山地区持续发展与依靠科技脱贫的咨询建议 [J]. 中国科学院院刊, 1994(4): 343 - 345.
- [2] 中国科学院地学部. 关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议 [J]. 中国科学院院刊, 2003(3): 169.
- [3] 朱镕基. 关于国民经济和社会发展第十个五年计划纲要的报告 (九届全国人大四次会议) [R]. 北京:人民出版社, 2001.
- [4] 袁道先. 中国岩溶学 [M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [5] 屠玉麟. 贵州土地石漠化现状及成因分析 [C]//李箐. 石灰岩地区开发治理. 贵阳:贵州人民出版社, 1996: 110 - 115.
- [6] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨 [J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101 - 105.
- [7] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 29 - 32.
- [8] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理 [J]. 第四纪研究, 2003, 2(6): 657 - 666.
- [9] 李瑞玲, 王世杰. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨——以贵州为例 [J]. 热带地理, 2004, 24(12): 145 - 149.
- [10] 周忠发. 贵州高原喀斯特石漠化遥感调查研究——以贵州省清镇市为例 [J]. 贵州地质, 2001, 18(12): 93 - 98.
- [11] 李昌来. 对贵州石漠化治理的思考 [J]. 贵州社会科学, 2004, 18(7): 129 - 132.
- [12] 林昌虎, 朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治 [J]. 水土保持研究, 1999, 16(2): 109 - 113.
- [13] 安裕伦, 蔡广鹏, 熊书益. 贵州高原水土流失及其影响因素研究 [J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 47 - 52.
- [14] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 28 - 34.
- [15] 苏维词, 周济祚. 贵州喀斯特山地的“石漠化”及防治对策 [J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(2): 177 - 182.
- [16] 王世杰. 喀斯特石漠化——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 - 126.
- [17] 肖进原. 贵州喀斯特高原自然灾害分析 [J]. 贵州师范大学学报, 1996, 14(1): 70 - 74.
- [18] 张殿发, 王世杰, 周德全. 土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制——以贵州省喀斯特山区为例 [J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 6 - 10.
- [19] 张殿发, 王世杰, 周德全, 等. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制 [J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 1 - 5.
- [20] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的空间相关分析 [J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314 - 320.
- [21] 胡衡生, 吴欢, 黄励. 广西石漠化的成因及可持续发展对策 [J]. 广西师院学报 (自然科学版), 2001, 18(4): 1 - 4.
- [22] 唐健生, 夏日元. 南方岩溶山地区资源环境特征与生态环境治理对策探讨 [J]. 中国岩溶, 2001, 20(2): 140 - 143.
- [23] 朱远锋. 中国地质科学院岩溶地质研究所西南岩溶山区典型流域水资源保护示范工程 [EB/OL]. <http://www.glnet.edu.cn/IKGGAS/index1.htm>, 2005, 6.
- [24] 蔡运龙. 中国西南岩溶地区消除贫困与持续发展的示范研究 [C]//可持续发展之路. 北京:北京大学出版社, 1994: 46 - 50.
- [25] 蔡运龙, 蒙吉军. 退化土地的生态重建: 社会工程途径 [J]. 地理科学, 1999, 19(3): 198 - 203.
- [26] 黄保健. 来宾县小平阳岩溶生态试验工作取得进展 [J]. 中国岩溶, 2000, 19(4): 314.
- [27] Wang Shi-jie, LU Q M, Zhang Dian-fa. Karst rocky desertification in southwestem China: geomorphology, land use, impact and rehabilitation [J]. Land degradation & development 2004, 15(1): 115 - 121.
- [28] Wang Shi-jie, Zhang Dian-fa, Li Rui-ling. 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.
- [29] 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.
- [30] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径 [J]. 地理研究, 2001, 20(6): 645 - 652.