

文章编号: 1001-4810(2010)04-0355-08

# 我国南方岩溶山区石漠化基本问题研究进展

熊平生<sup>1,2</sup>, 袁道先<sup>1,4</sup>, 谢世友<sup>1,3</sup>

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 赣南师范学院历史文化与旅游学院, 江西 赣州 341000;

3. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715; 4. 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘 要:**通过参考国内研究的相关文献,运用比较分析方法,从岩溶石漠化概念的内涵、分布格局和量化分级、成因分析和演化过程、综合治理和效益评价等基本问题回顾了我国南方岩溶山区石漠化研究进展:岩溶石漠化的概念和成因已取得了较为一致的认识;石漠化等级评价指标相差甚远,需要建立统一调查研究方法、分级标准和评价指标体系;已探索出了一些较好的治理模式和方法,但治理建设仍然存在很大困难;目前没有成熟的石漠化治理效益评价体系和方法,严重影响了石漠化治理措施的修订和完善。指出了我国岩溶石漠化问题研究应从如下几方面加强:不断创新岩溶石漠化的研究方法;把握岩溶石漠化与人类活动相互作用关系;深入开展岩溶石漠化过程模拟与调控研究;推广和完善岩溶石漠化综合治理技术和模式;重视地球系统科学在岩溶石漠化研究中的运用。在岩溶石漠化与人类活动相互作用关系方面,特别要注意加强石漠化地区土地的生产力和人口承载力的定量研究;实施岩溶山区人类经济活动影响预报和经济社会后果预报,建立岩溶山区生态安全监控预警系统;加强不同时空尺度下岩溶石漠化人文驱动机制研究;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,建立相应的概念模型和数学模型等。

**关键词:**岩溶石漠化;石漠化成因;石漠化治理;石漠化评价;西南岩溶区

**中图分类号:**S157      **文献标识码:**A

改革开放以来,我国经济的快速发展,加快了人为作用的石漠化,致使我国西南以石漠化为主要特征的生态环境退化日益严峻。我国南方岩溶石漠化问题已经非常严重,不仅受到了国内外专家、学者的关注,而且已经引起了党和国家的高度重视,“十二五”期间,国家将加大投入,安排专项资金,在云南、贵州、广西、湖南、湖北、重庆、四川、广东 8 省(区、市)已选的 100 个县开展石漠化综合治理试点工作。自 20 世纪 80 年代以来,我国一些学者针对南方岩溶石漠化的内涵、成因、分类、演化和治理等方面的问题做了大量研究,取得了许多成果。本文旨在梳理国内外有关

岩溶石漠化研究进展的基础上,探讨今后应深化研究的方向,以进一步推动我国南方岩溶石漠化的深入研究。

## 1 岩溶石漠化概念内涵

岩溶石漠化问题的由来源远流长,早在 300 年前,明代地理学家徐霞客对中国西南岩溶地貌、岩溶石漠化就有描述<sup>[1]</sup>。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,提出了“石化”、“石山荒漠化”、“石质荒漠化”的概念。袁道先采

基金项目:科技部国际合作项目(2008GR1256)、国家自然科学基金(41072192)、国家科技支撑计划(2006BAC01A16)、江西省教育厅科技项目(GJJ10588)、中国地质调查局地质调查资助项目(1212010813111)、重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002)、重庆市科技项目(CSTC,2010BC7004)

第一作者简介:熊平生(1972-),男,博士生,讲师,研究方向:岩溶环境与地质生态。E-mail: xps19721010@163.com。

收稿日期:2010-07-20

用岩溶石漠化(Rook desertification)概念<sup>[2]</sup>表征植被、土壤覆盖的岩溶地区转变为岩石裸露岩溶景观的过程,并指出石漠化是中国南方亚热带岩溶地区严峻的生态问题,它导致了岩溶风化残积土层迅速贫瘠化,是我国四大环境地质问题中最难整治的。对于岩溶石漠化概念,不同学者给予了不同的描述。例如,石漠化是在岩溶自然背景下,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<sup>[3]</sup>;岩溶石漠化是指在亚热带脆弱的岩溶环境背景下,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<sup>[4]</sup>;岩溶石漠化是土地荒漠化的主要类型,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<sup>[5]</sup>。

综上,不同学者对岩溶石漠化给予了不同的描述,但可以发现它们的共识:岩溶石漠化发生背景是南方热带、亚热带脆弱的岩溶环境;驱动力是不合理的人类活动;表现特征为植被退化、土壤侵蚀和大面积的基岩裸露;本质特征是土地生产力退化。

## 2 岩溶石漠化的分布及其量化分级

### 2.1 石漠化的分布格局

我国南方岩溶区是全世界最大的一片裸露、半裸露型岩溶区,也是石漠化广为发生发展的脆弱生态区域。在以云贵高原为中心的滇、黔、桂、湘、粤、川、渝、鄂等省(区、市)451个县(市)的107.14万km<sup>2</sup>地域范围内,碳酸盐岩分布面积达45.087万km<sup>2</sup>,石漠化土地面积为1296.23万hm<sup>2</sup>,二者分别占土地总面积的42.08%和12.098%<sup>[6,7]</sup>。其中贵州省石漠化面积达331.6万hm<sup>2</sup>、云南288.1万hm<sup>2</sup>、广西237.9万hm<sup>2</sup>、湖南147.9万hm<sup>2</sup>、湖北112.5万hm<sup>2</sup>、重庆92.6万hm<sup>2</sup>、四川77.5万hm<sup>2</sup>、广东8.1万hm<sup>2</sup>。若以县域范围内石漠化面积≥300km<sup>2</sup>的县作为石漠化严重县,则南方岩溶区共有173个石漠化严重县,其中滇、黔、桂3省(区)石漠化严重县119个,占68.79%。据2005年国家林业局的调查,从1987年到1999年,石漠化面积从9.089万km<sup>2</sup>增加到11.34万km<sup>2</sup>,净增2.25万km<sup>2</sup>,石漠化面积年均增长率1.86%;从1999年到2005年,石漠化面积由11.34万km<sup>2</sup>增加到12.96万km<sup>2</sup>,6年增加1.62万km<sup>2</sup>,

石漠化面积年均增长率2.38%。石漠化面积和速率均快速增长。

### 2.2 石漠化量化分级

关于岩溶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。目前广泛采用的石漠化程度分级主要根据植被土被覆盖率、基岩裸露率、坡度、土壤厚度等,强调了景观现状。例如李阳兵<sup>[8]</sup>根据岩石裸露率、植被、土被的覆盖率把岩溶石漠化强度分级为六级:无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化和极强度石漠化。李森<sup>[9]</sup>以坡面形态、溶蚀地貌形态、基岩裸露率、植被覆盖率、植物种群、土壤厚度和土被覆盖度、土壤侵蚀程度、土地利用类型等因子为分级指标,将我国南方岩溶区石漠化土地依退化程度划分为极重度、重度、中度、轻度4级;苏维词<sup>[10]</sup>以岩石裸露率和土被覆盖率为主要指标,结合地形坡度、农业人口密度、坡耕地比例、水土流失情况等分为无石漠化、潜在石漠化和石漠化三种,其中土地石漠化又可进一步分为轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化和极强度石漠化4级。成永生<sup>[11,12]</sup>认为,自然石漠化地区可以采用“岩性+地貌+水动力+植被覆盖率+石漠化强度”的石漠化土地类型划分方式;人为石漠化地区则可以采用“岩性+地质地貌+植被+土地利用方式+石漠化强度”的石漠化土地类型划分方式,同时,依据石漠化的轻重程度,共划分为6个级别,即无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化和完全石漠化。刘家仁<sup>[13]</sup>根据石漠化速度( $V_s$ )将石漠化作用的强烈程度分为5级:0级( $V_s < 0.1\text{mm/a}$ )、1级( $0.1\text{mm/a} < V_s < 1\text{mm/a}$ )、2级( $1\text{mm/a} < V_s < 5\text{mm/a}$ )、3级( $5\text{mm/a} < V_s < 10\text{mm/a}$ )、4级( $V_s > 10\text{mm/a}$ )。最近,李阳兵根据石漠化斑块的动态演替行为认为,将石漠化分为未变石漠化、新生石漠化、延展石漠化三类<sup>[14]</sup>。

上述各种石漠化现象量化分级标准,都是针对我国南方岩溶山区石漠化提出来的,有3级、4级、5级、6级不等,但是他们评价指标相差甚远,多数学者评价指标局限于地质、地貌、水文、土壤和植被等自然要素,其实越来越多研究显示,人类活动对石漠化的贡献大于自然因素。分类标准的选择存在分歧,不利于开展联合多学科、跨部门的石漠化综合防范与治理,笔者认为,石漠化量化分级需要统一调查研究方法、分级标准和评价指标体系,至于石漠化分成多少级,因各个地区的实际需要来确定,量化分级的目的是唯

一的,就是要治理好石漠化。

### 3 岩溶石漠化成因和演化

#### 3.1 自然因素和人为因素

目前在对岩溶石漠化的形成原因,即脆弱的自然、生态和地质环境为发生背景,不合理的人类活动成为引发土地石漠化的直接因素,已为大家所普遍接受<sup>[15]</sup>。国内其它研究<sup>[16~21]</sup>也得出这一结果。

自然因素。新构造运动在我国青藏高原形成高大的喜马拉雅山,而西南地区位于青藏高原的东南翼,处于升降过渡区,在地质历史时期该地区沉积了巨厚碳酸盐岩<sup>[22]</sup>。碳酸盐岩抗风蚀能力强,母岩造壤能力差,成土过程缓慢,因而土壤资源缺乏。巨厚的碳酸盐岩和瘠薄的土壤为石漠化形成提供了物质基础。我国南方雨热同季且多暴雨,为石漠化形成提供了强大的侵蚀动力和适宜的溶蚀条件。陡峻、破碎的岩溶山地丘陵的坡面地形又为水土流失提供了动能潜力。加之岩溶地区存在特殊的双层(地表和地下)水文结构,在枯水季节容易发生干旱,从而使植被枯死、土壤疏松,土壤稳定性和抗侵蚀能力降低,进而引起水土流失和石漠化。

人为因素。南方地区人口快速增长,人地矛盾突出,导致本区农耕活动范围、强度的扩大和土地的过度利用。其表现为过度开垦耕地、过度樵采和过度放牧<sup>[23,24]</sup>等活动,引起植被迅速破坏和退化,导致水土流失和石漠化的形成。随着工业和城市的快速发展,排放出大量的废水、废渣和废气,使得岩溶地区水、土、气污染物指标超过其自净能力而出现土壤环境恶化<sup>[25]</sup>。不合理的资源开发利用方式,如不合理的土地利用和矿山开采等等,加速了岩溶石漠化的形成<sup>[26~28]</sup>。

#### 3.2 石漠化演化过程

岩溶山区的土地石漠化是一个从地被物消失开始,以自然或人工植被的受损破坏为先导,以土壤侵蚀为核心过程,以地表水流失、土壤水丧失和基岩溶蚀侵蚀为关键环节,以土地生物生产力大大衰退、形成石质荒漠为终结。由植被退化丧失过程、土壤侵蚀过程、地表水流失过程、碳酸盐岩溶蚀侵蚀过程和土地生物生产力退化等五个相互联系的过程组成<sup>[29,30]</sup>。李阳兵等认为石漠化过程包括人为过程、生物学过程和地学过程<sup>[31,32]</sup>。

石漠化发展阶段。蓝安军认为,石漠化土地的形成一般有3个阶段:毁林开荒—水土流失—岩石裸

露,经历了顶极—灌草丛—石漠过程。不同地方不同情景下土地石漠化的演化时间、速率不同,一般来说从一种状态变为另一种状态往往要几十到几百年时间。但在恶化过程中叠加了人类活动,从森林变为藤刺灌丛或裸地速度极快,几年或更短的时间就能完成<sup>[33]</sup>。王德炉以群落类型、乔灌层盖度、群落生物量、群落高度和枯落物总量5个因子为基本指标,采用主成分分析和系统聚类分析相结合的方法对贵州岩溶地区大量样地进行了分析,将岩溶石漠化的形成过程划分为初期、中期、后期和末期4个阶段<sup>[34]</sup>。

石漠化演变机理。根据石漠化演变特点和规律,将石漠化的时空演变分为3种主要方式:①单变方式。由一种石漠化类型向另一种石漠化类型转变。如由无石漠化直接向中度石漠化变化。②层变方式。一种石漠化类型首先转变为另一种石漠化类型,又转变为第3种石漠化类型。如由无石漠化先演变为潜在石漠化,再演变为轻度石漠化。③返变方式。一种石漠化类型首先变化为另一种石漠化类型,但最后又变回原类型。如轻度石漠化由于封山育林或是退耕还林,变为无石漠化,但由于封禁或退耕期已过,当地百姓生产、生活条件并未改善,重新复垦,导致无石漠化又变回了原来的轻度石漠化。石漠化的演变从一种方式直接地、很快地过渡、跳跃到另一种方式的突变占的比例不是很大,还是以层变方式为主,即以“去土”、“跑水”、“减植被”、生物量降低、土地生产力下降的渐变过程,按照石漠化等级层层演替。返变方式的演变比例虽然最少,但属于一种非常特殊的演变方式,在石漠化土地治理使之返回到原来的无石漠化土地状态的应用过程中起着举足轻重的作用<sup>[35]</sup>。随着石漠化程度的加深,石灰岩植被的生境向旱生化和岩生化发展,群落结构渐趋简单,植被盖度和生物量显著降低<sup>[36,37]</sup>;土壤黏性增强,容重增加,坚实度加大,而土层厚度、孔隙度、土壤有机碳含量均呈显著下降的趋势,土壤水稳性团聚体质量分数及微团聚体的结构系数均随石漠化程度加深而减小<sup>[38,39]</sup>。随着地表植被退化、丧失后,又会使石灰岩发生了阶段式的“生长”,也就是说,当石灰岩的气下溶蚀、土下溶蚀过程与土壤的阶段性的侵蚀协同作用时,地下、地上的石灰岩就会脉动式地向上“生长”为石芽、溶柱、角石、溶沟等溶蚀地貌。随着石漠化程度加重,地表水和壤中水流失量加大,石灰岩脉动式“生长”速度加快,使基岩裸露率由30%~50%增至90%以上,最终导致土地生产力完全丧失<sup>[29]</sup>。

由于不同类型石漠化内外部因素作用程度差异,不同阶段的持续时间和机制不一样,还可能出现波动

起伏。因此,如何借助可量化指标与定量模型来评判岩溶石漠化的发展阶段和阶段性特征,以及石漠化过程中基质持水能力与降水有效性变化、植物生长和生态系统功能的变化,石漠化过程中能量流动与物质循环变化等问题还需要深入研究。

#### 4 岩溶石漠化治理及其效益监测评价

石漠化是地球表面最难治理的生态退化现象之一,由于大面积石头裸露,水土流失严重,可耕地零星分散、耕作异常困难,长期来国内外均未找到行之有效的治理方法,似乎成了地球的不治之症,因此被国际上称之为“地球癌症”。

##### 4.1 石漠化治理技术和模式

目前,石漠化防治技术主要有生物技术、农业技术、工程技术等方面。生物技术包括退耕还林技术、封山育林育草技术、飞播造林技术、植被恢复技术、先

锋植物引进技术等;农业技术包括作物配置技术、土地整理技术、土壤改良技术、洼地排涝技术、不同作物间作技术等;工程措施包括坡改梯技术、淤地坝、引水渠、排水沟、拦水坝、蓄水过滤池建设技术等。这些技术在石漠化治理中取得了较好的效益,但是也暴露一些问题。例如,植树造林,在未能解决农民眼前利益及水土支撑条件的情况下,植树造林的效果较差。为了种树,坡地上极易加剧水土流失。而且石漠化地块中种植的树木成活率很低。又如封山育林,要彻底恢复需要较长的时间。在石漠化占地比例不大,人地矛盾不突出的地方,封山育林不失为一可行之法。但在石漠化集中地区,不仅远水解不了近渴,人地矛盾在短期内仍无法缓和。我国岩溶科技工作者在石漠化治理中充分考虑治理区的自然、社会、经济情况,根据具体立地条件及石漠化类型,兼顾生态、社会、经济三方面效益,探索出了一些较好的治理模式与方法(见表1)。

表1 我国南方典型岩溶石漠化治理模式

Tab. 1 The typical control models to rocky desertification in the South China

治理模式	示范区	实施措施	示范区治理效益
农村循环经济生态产业发展模式 <sup>[40]</sup>	贵州花江喀斯特峡谷	以沼气为纽带,以经济林草种植和庭院养殖为主要链环结构。即椒(庭园种植)一猪(庭院养殖)一沼(家庭能源开发)	2000—2003年,种植业产值由64%降至38%,林灌草覆盖率由21.19%增至65.81%,与此同时,土壤侵蚀面积变小
复合型立体生态农业模式 <sup>[41]</sup>	广西平果果化岩溶峰丛洼地	在弄拉立体生态农业模式的基础上又叠加多种农林牧复合模式:粮一草一畜一沼循环生态型模式、林一草一畜立体生态循环模式、林一粮一禽复合生态模式、果一药立体生态模式、果一菜(野菜)立体生态模式	植被覆盖率由不足10%提高到50%以上,土壤侵蚀模数下降了30%。形成了生态产业,火龙果直接经济效益可以达到3000~4000元/亩
生态工程技术治理模式 <sup>①</sup>	云南昆明市石林县	借助石漠化中的大小石头,建立有利于藤本植物攀爬的各类棚架。将主要的植物生产面(茎、叶、花、果等)提高至各种高度空间,达到多层次多种类生产结构	花费成本低,收益高而快,5年总计1公顷盈余50.9万元,每亩平均盈余3.39万元
喀斯特山地生态产业发展模式	重庆南川市南平镇喀斯特石山区	荒坡地:生态林草+植物篱+牧草;陡坡耕地:经济林果+等高种植+工程土埂+经济植物篱;坡改梯新改梯地:蔬菜+护坎植物篱;缓坡耕地:经济或粮食农作物+经济条带植物篱+等高植物;稻田:保护性耕地+无害农产品	植被覆盖率提高30%,水土流失减少了66%;农民人均年收入提高了22%~151%;拦蓄了22%的坡面径流量,降水利用率提高了26%
农业综合开发模式 <sup>[42]</sup>	粤北岩溶石山区	特色生态农业(林果、中药材、实用菌)+食草节粮型畜牧业(牛、羊和家禽放养)+生态农业旅游业(民俗风情、森林生态旅游等)	通过发展经济带动石漠化的治理,取得了良好的经济、环境和生态效益

①冯耀宗在第九届中国林业学术年会上的学术报告,2010

## 4.2 石漠化治理效益监测评价

近 20 多年来,针对石漠化治理所进行的效益评价的探讨有:王震洪等以牟定县龙川河小流域为例,利用卫星遥感技术、径流小区集水技术与水土保持生态经济效益评价方法对 1989 年开始治理的龙川河小流域土壤侵蚀、土地利用现状、水土保持林蓄积量、流域林草覆盖率进行了比较研究,定量地探讨了龙川河小流域治理和维护 8a 来生态、经济及社会效益情况<sup>[43]</sup>;梅再美等以贵州清镇退耕还林(草)示范区为例,通过监测退耕还林(草)和封山育林对降水量、径流量、悬移质和推移质的影响,探讨岩溶石漠化治理的生态效益<sup>[44]</sup>;张萍以蒙普河小流域综合治理为例,用偏离一份额分析法对治理后农业经济结构的合理性进行了定量分析评价;用粮食与经济人口承载量的几何平均数分析土地人口承载能力的变化情况<sup>[45]</sup>。王德炉等以花江为例,选出 8 个生态主导因子(轻度以上土壤侵蚀面积,轻度以上石漠化面积、林灌覆盖率、人均 GDP、投入/产出、经济密度、劳动力中初中以上文化程度、文盲率),应用因子评分法,对治理效果进行数量评价,将评价结果分为很差、差、一般、较好和很好 5 个等级<sup>[46]</sup>;杨小青等以广西都安县石漠化治理示范区为例,选取了 10 个生态因子(土壤侵蚀面积比例、石漠化面积比例、土壤质量指数、林草覆盖率、人均 GDP、投入产出比值、林木经济效益、农产品增加收益、初中以上文化程度劳动力比例和文盲率),运用模糊综合评价模型对石漠化生态治理效益进行了评价<sup>[47]</sup>;周晨霓等对重庆南川石漠化治理示范区 8 种恢复治理模式下垫面土壤物理性质指标、水土保持指标和经济收益指标进行了观测,并采用灰色关联度分析法对各恢复治理模式的生态经济效益进行了评价<sup>[48]</sup>。上述石漠化治理实施地域环境和研究目的各不相同,评价指标的选取和方法上也不相同,评价主要从生态效益和经济效益入手,社会效益较少涉猎,评价指标的选取较为合理,评价方法也比较成熟。

经过长期的研究,岩溶石漠化治理的效益评价理论与方法都获得了长足的进步,但仍然存在着不足之处:国内目前尚未有一套取得普遍认可的、成熟的、适合于岩溶地区的生态环境治理综合效益评价的体系和方法。对石漠化的评价大多为基于统计学的现象调查,而且评价指标繁杂,多为间接性指标,获取数据难度大,实用性小,各因子之间相互交错,信息层次不清<sup>[49]</sup>,运用这些评价理论和方法得出的结论,尚不足

以正确反馈治理措施存在的问题,制约了治理措施的修订和完善。今后需要健全土地石漠化防治综合效益监测体系,对石漠化防治工程效益进行监测,及时对工程建设进展及成效做出客观评价,减少工程建设的盲目性;建立和完善石漠化治理效益评价指标体系,充分发挥指标体系对岩溶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。

## 5 岩溶石漠化未来研究的方向建议

### 5.1 不断创新岩溶石漠化研究方法

研究方法上,以往研究多描述性、概念性研究,以定性分析为主,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。随着石漠化问题研究工作的深入发展,积累了越来越丰富的岩溶石漠化研究方法,许多过去难以想象的高新技术已成为现实。通过航片、卫星图片的解译,从大范围尺度上分析和研究石漠化的时空变化规律;通过植物孢粉分析,可以得到几万年或几亿年前的树种组成、分布规律以及演替规律等;美国的新林业和德国近自然林业理论的迅猛发展,使研究者以全新的视角及方法,进行石漠化区域生态环境研究,为遏制石漠化加剧及促进植被恢复和建设服务<sup>[50]</sup>。利用现代卫星遥感技术、全球定位技术,以及 GIS 强大的空间分析与辅助决策功能,进行石漠化灾害的预报与预警;随着边缘学科、交叉学科的兴起与成熟,应用多学科交叉研究方法,深刻揭露岩溶石漠化的本质已成可能<sup>[51]</sup>。

### 5.2 把握岩溶石漠化与人类活动的相互作用

由于石漠化研究主要集中于自然科学领域,且侧重研究石漠化的自然属性,因而石漠化的研究存在重科技、轻人文的倾向。由于缺乏人文社会科学的加盟,才使石漠化研究存在“非人文化倾向”,已经严重制约了我国石漠化研究的进一步发展<sup>[52]</sup>。结合当前岩溶石漠化研究的实际情况,下一阶段岩溶石漠化研究值得解决的几个问题包括:石漠化地区土地的生产力和人口承载力的定量研究;实施岩溶山区人类经济活动影响预报和经济社会后果预报,建立岩溶山区生态安全监控预警系统;加强不同时空尺度下岩溶石漠化人文驱动机制研究;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,建立相应的

概念模型和数学模型;不同空间岩溶地区人居环境建设研究;石漠化地区土地的生产力和人口承载力还需要开展系统的定量研究,以为产业结构调整 and 生态移民提供科学依据<sup>[53-55]</sup>。

### 5.3 深入开展岩溶石漠化过程模拟与调控研究

长期以来,注重石漠化的现象研究,忽视其历史的过程研究。今后要拓展地学理论、生态学理论和人文科学理论在石漠化演变过程研究中的运用,尤其是岩溶石漠化的地学过程、生物学过程和人为过程的研究,深入剖析影响石漠化形成过程主导因素的变化,分析不同环境背景下石漠化演化过程特征,构建岩溶石漠化形成过程模型。基于典型岩溶石漠化的调查、数学模型与GIS手段定量模拟自然因素、人类活动干扰与石漠化的动态变化关系,深入分析典型石漠化演化的不同情景,构建岩溶石漠化量化等级体系、岩溶生态系统退化受损状态以及分布与演变趋势、岩溶石漠化的环境效应等网络体系。遵循因地制宜、综合治理、生态效益和经济效益结合的基本原则<sup>[1]</sup>,探讨石漠化整治及其土地空间优化调控途径,研究区域经济发展战略导向的石漠化整治调控配套政策。

### 5.4 推广和完善岩溶石漠化综合治理技术和模式

全国大规模的石漠化综合治理已经展开,石漠化综合治理研究将是广大岩溶科技工作者今后工作的重点<sup>[56]</sup>。“十五”、“十一五”以来,通过开展国家科技攻关课题,在广西果化、弄拉和古周峰丛山地,重庆南平、巫山和秀山等岩溶山地以及贵州岩溶高原构建岩溶脆弱生态系统安全评价体系、恢复与重建的方法论和技术支撑体系并开展试验示范;研发了石漠化治理相关的实用技术,如石漠化土地开发利用技术、植被恢复演替技术、岩溶水资源开发技术、特色经济作物的栽培技术等等。通过示范区示范以及辐射推广,在解决当地缺水、土地石漠化、森林退化和居民贫困等方面均取得了显著效果,成为石漠化综合治理的新样板。一方面,鉴于现有石漠化治理技术效益良好,要充分考虑农民推广石漠化治理技术中面临的问题,选取适当的方式积极推广新技术,让老百姓切实得到石漠化治理的好处;另一方面,技术方法还不够完善,需要进一步研究,形成技术体系。

### 5.5 重视地球系统科学在岩溶石漠化研究中的运用

随着全球范围内研究工作的深入发展,积累了越来越丰富的地球系统科学方面的知识。我国著名岩溶地质学家袁道先院士向来倡导地学研究要重视地

球系统科学的运用,曾经在一次学术报告中强调“要治理石漠化,首先弄清岩溶生态系统规律”<sup>[57]</sup>。刘宏<sup>[58]</sup>等从系统角度研究岩溶石漠化问题,把岩溶石漠化看作一个耗散结构非线性系统,系统的内因是亚热带脆弱的岩溶环境,而人类的不合理社会经济活动虽仅为外因但却是系统以非线性形式快速恶化的诱导因素。今后石漠化问题的研究应以地球系统科学为指导,以地质地貌学为基础,结合生态、农林业、社会、经济学等学科,通过对“岩石圈—土壤圈—生物圈—大气圈—水圈”这个大系统中发生的各种过程及其相互作用和演化背景的科学探索,来揭示我国南方岩溶生态系统脆弱的根源和本质,以修复和重建岩溶石漠化地区受损的生态系统。

### 参考文献

- [1] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
- [2] Yuan Daoxian. Rock desertification in the subtropical karst of south China[J]. Z. Geomorph. N. F. 1997, 108: 81-90.
- [3] 屠玉麟. 贵州土地石漠化现状及成因分析[C]//李箭. 石灰岩地区开发治理. 贵阳: 贵州人民出版社, 1996, 58-70.
- [4] 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.
- [5] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 关于喀斯特石漠化和石漠化概念的讨论[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 689-695.
- [6] 李梦先. 我国西南岩溶地区石漠化发展趋势[J]. 中南林业调查规划, 2006, 25(3): 19-22.
- [7] 周洁敏. 我国石漠化现状与防治对策[J]. 林业资源管理, 2009(3): 13-16.
- [8] 李阳兵, 白晓永, 周国富. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 624-632.
- [9] 李森. 土地石漠化概念与分级问题再探讨[J]. 中国岩溶, 2007, 26(4): 279-284.
- [10] 苏维词. 喀斯特土地石漠化类型划分及其生态治理模式探讨[J]. 中国土地科学, 2008, 22(4): 32-37.
- [11] 成永生. 我国喀斯特石漠化研究现状及未来趋势[J]. 地球与环境, 2008, 36(4): 356-362.
- [12] 成永生. 关于喀斯特石漠化类型划分问题的探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(3): 122-127.
- [13] 刘家仁, 王尚彦. 石漠化问题若干思考[J]. 贵州地质, 2009, 26(4): 306-311.
- [14] 李阳兵, 李卫海, 王世杰. 石漠化斑块动态行为特征与分类评价, 地理科学进展, 2010, 29(3): 335-341.
- [15] 李生, 姚小华, 任华东, 等. 喀斯特石漠化成因分析[J]. 福建林学院学报, 2009, 29(1): 84-88.

- [16] 王德炉. 喀斯特石漠化的形成过程及防治研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2003.
- [17] 杨青青, 王克林, 岳跃民. 桂西北石漠化空间分布及尺度差异[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3029—3040.
- [18] 单伟, 刘少峰, 张伟. 马别河流域石漠化影响因素分析[J]. 中国水土保持, 2009(6): 36—37.
- [19] 王信建. 岩溶地区石漠化综合治理[J]. 草业科学, 2008(9): 8—12.
- [20] 乔兴旺. 石漠化防治的立法研究[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(8): 185—193.
- [21] 陈登, 晏世强, 蔡晓玲. 乌江下游德江县喀斯特石漠化现状及成因分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2008, 31(1): 97—100.
- [22] 严宁珍. 新构造运动对西南地区石漠化形成的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2010, 35(3): 114—118.
- [23] 邓菊芬, 崔阁英, 王跃东. 云南岩溶区的石漠化与综合治理[J]. 草业科学, 2009, 26(2): 33—38.
- [24] 宋山梅, 于海龙. 山地石漠化形成及其加剧原因剖析[J]. 农业经济, 2009(1): 59—60.
- [25] 刘家仁. 人为地质作用对中国西南地区石漠化的影响[J]. 贵州地质, 2008, 25(4): 288—291.
- [26] 黄钰铃, 惠二青, 李靖. 中国西南喀斯特地区石漠化成因及防治初探[J]. 地质灾害与环境, 2006, 17(1): 1—4.
- [27] 王嘉学. 人地关系视角下的西南喀斯特石漠化发生与控制[J]. 云南师范大学学报(哲学社会科学版), 2009, 41(4): 42—47.
- [28] 李阳兵, 王世杰, 程安云. 岩溶地区土地利用和土地覆被与石漠化的相关性[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(1): 17—21.
- [29] 李森, 魏兴琥, 张素红, 等. 典型岩溶山区土地石漠化过程[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 674—684.
- [30] 李森, 魏兴琥, 黄金国. 中国南方岩溶区土地石漠化的成因与过程[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 918—926.
- [31] 李阳兵, 姜丽, 白晓永. 亚热带喀斯特石漠化土地退化特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 359—399.
- [32] 李阳兵, 王世杰, 容丽. 西南岩溶山地石漠化及生态恢复研究展望[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 84—88.
- [33] 蓝安军. 喀斯特石漠化过程、演化特征与人地矛盾分析[J]. 贵州师范大学学报, 2002, 20(1): 40—45.
- [34] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 喀斯特石漠化的形成过程及阶段划分[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(3): 103—106.
- [35] 白晓永, 王世杰, 陈起伟. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 609—618.
- [36] 罗红波, 魏兴琥, 李森. 粤北岩溶山区土地石漠化过程的植被特征与多样性初步研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 318—324.
- [37] 魏兴琥, 李森, 罗红波. 粤北石漠化过程土壤与植被变化及其相关性研究[J]. 地理科学, 2008, 28(5): 662—666.
- [38] 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.
- [39] 周炼川, 陈效民, 李孝良. 西南喀斯特地区不同石漠化阶段土壤物理参数的变异研究[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 195—199.
- [40] 熊康宁, 梅再美, 彭贤伟, 等. 喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究[J]. 贵州林业科技, 2006, 34(1): 5—8.
- [41] 蒋忠诚, 李先琨, 曾骥平, 等. 岩溶峰丛山地脆弱生态系统重建技术研究[J]. 地球学报, 2009(2): 155—166.
- [42] 黄金国, 李森, 魏兴琥. 粤北岩溶山区土地石漠化治理与农业综合开发模式研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 39—43.
- [43] 王震洪, 段昌群, 徐以宏. 云贵高原小流域生态系统治理效益研究——以云南省牟定县龙川河小流域为例[J]. 水土保持通报, 2000, 20(5): 25—28.
- [44] 梅再美, 彭贤伟. 喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价[J]. 中国岩溶, 2003, 22(2): 136—143.
- [45] 张萍. 蒙普河小流域综合治理社会效益评价[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 302—303.
- [46] 王德炉, 喻理飞, 熊康宁. 喀斯特石漠化综合治理效果的初步评价——以花江为例[J]. 山地农业生物学报, 2005, 24(3): 233—238.
- [47] 杨小青, 胡宝清, 曹少英. 喀斯特山区石漠化生态治理效益模糊综合评价[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(2): 22—26.
- [48] 周晨霓, 魏虹, 尹文青. 喀斯特退化山地生态系统不同恢复模式生态经济效益综合评价[J]. 亚热带水土保持, 2009, 2(3): 21—25.
- [49] 周德全, 王世杰, 张殿发. 关于喀斯特石漠化研究问题的探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 127—132.
- [50] 张俊佩, 张建国, 段爱国. 中国西南喀斯特地区石漠化治理[J]. 林业科学, 2008, 44(7): 84—89.
- [51] Castellano M, Valone T. Livestock, soil compaction and water infiltration rate: Evaluating a potential desertification recovery mechanism[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 71(2): 97—108.
- [52] 严奇岩. 从跨学科视野看石漠化研究存在的问题[J]. 西部论坛, 2009(3): 13—14.
- [53] 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.
- [54] 黄秋昊, 蔡运龙, 王秀春. 我国西南部喀斯特地区石漠化研究进展[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 106—111.
- [55] 覃小群, 朱明秋, 蒋忠诚. 近年来我国西南岩溶石漠化研究进展[J]. 中国岩溶, 2006(3): 234—238.
- [56] 袁道先. 新形势下我国岩溶研究面临的机遇和挑战[J]. 中国岩溶, 2009, 28(4): 329—331.
- [57] 袁道先. 岩溶生态系统和石漠化治理[R]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [58] 刘宏, 宋建波, 王文俊. 浅谈贵州喀斯特地区石漠化综合治理[J]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17(3): 67—71.

## Progress of research on rocky desertification in South China Karst Mountain

XIONG Ping-sheng<sup>1,2</sup>, YUAN Dao-xian<sup>1,4</sup>, XIE Shi-you<sup>1,3</sup>

(1. *Academy of Geography Science Southwest University, Chongqing 400715, China;*

2. *School of History-Culture and Tourism GanNan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000, China;*

3. *Key Laboratory of the Three-Gorge Reservoir Region's Eco-Environment, Southwest University, Chongqing, 400715, China;*

4. *Institute of Karst Geology, CAGS, Karst Dynamics Laboratory, MLR, Guilin, Guangxi 541004, China)*

**Abstract:** Based on the research on rocky desertification of the previous scholars, the actual state of research on rock desertification in South China Karst Mountain is reviewed in this paper from the concept connotation of rocky desertification, distribution pattern and quality grading, cause analysis and forming process, integrated control and effectiveness evaluation and so on. Consensus for the concept and formation cause of rocky desertification have already been reached, but the classification evaluation grade index of rocky desertification are different with each other, so general investigation method, unite classification index and appraise index system should be build. Although a few fairly good comprehensive models and methods have already been proposed, there is still no mature methods and effects evaluation system for desertification controlling, which affects the revision and improvement for governing measures of rocky desertification seriously. So, it is proposed that the researching works should be enhanced in the following respects; innovating the research methods, keeping the interaction of rocky desertification and human impacts in hand, enhancing the study on the process simulation and controll measures of karst rocky desertification, popularizing and improving comprehensive treatment technique of karst rocky desertification, and paying special attention to use the geo-system science in karst rocky desertification. Furthermore, in the field of the interaction between rocky desertification and human impacts, it is particularly necessary to stress the quantify research for land productivity and bearing capability, to forecast the effects of human economic activity and economy society consequence to establish ecological security monitor and pre-warning information system in karst mountain, to enhance the study on artificial drive mechanism of differential space-time dimension in the future, to distinguish the effects and contribution rates to rock desertification process between natural and human factors respectively, and to build corresponding concept model and mathematic model.

**Key words:** rocky desertification; cause of rocky desertification; rocky desertification control; rocky desertification evaluation; karst region in southwest China