

喀斯特生态系统退化诊断特征及风险评价研究

——以毕节石漠化为例

梁玉华¹, 张军以^{2,1}, 樊云龙¹

(1. 贵州师范学院 地理与旅游学院, 贵阳 550003; 2. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210046)

摘 要:对喀斯特退化生态系统进行定量评价,是实现退化生态系统恢复的基础。以“自然—干扰—响应”框架为基础,将喀斯特退化生态系统分为系统特征、干扰及状态特征、响应特征。在分析喀斯特退化生态系统诊断特征及喀斯特环境特性的基础上,建立了喀斯特生态系统石漠化评价指标体系。采用分级赋值、综合评价的方法,以毕节地区为例,对生态系统退化(石漠化)的风险程度进行了初步评价,结果显示毕节地区喀斯特生态系统退化风险评价综合得分 2.40 分,生态系统退化风险较大评定为 3 等,其中系统特征、干扰及状态、响应分别得分 3.1, 1.83, 2.25 分。外界干扰是系统退化的最主要因素,其次是地区社会经济发展落后,导致社会经济等响应力度小。

关键词:退化生态系统; 石漠化; 风险评价; 指标体系

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)01-0240-06

Study on Diagnostic Characteristics and Risk Evaluation of Degraded Ecosystem in Karst Area

—A Case Study of Bijie Karst Rocky Desertification

LIANG Yu-hua¹, ZHANG Jun-yi^{2,1}, FAN Yun-long¹

(1. Geography and Tourism Department of Guizhou Normal College, Guiyang 550003, China;

2. School of Geographic & Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210046, China)

Abstract: The quantitative evaluation of karst degraded ecosystems is the basis for restoring degraded ecosystem. Taking the karst degraded ecosystems as the case study, based on the ‘Natural-Interference-response’ frame, the karst degraded ecosystem evaluation indicator system was established which included the system feature, interference and state feature, response feature and so on. Based on the analysis of diagnostic feature of degraded ecosystem and environment characteristics in karst region, the karst ecological deterioration (rocky desertification) evaluation index system was established. As a case of Bijie region, it has been preliminary evaluated with method of grade evaluation and comprehensive evaluation. The results showed that the karst ecological deterioration risk comprehensive evaluation scored 2.40 points, ecological deterioration risk assessment was the third Class, and the characteristics of the system, the disturbance and the state, response were scored 3.1, 1.83, 2.25 points, respectively. The results also showed that interference was the main reason for degraded system, followed by the local social economic development lag behind, leading to social economic strength small response.

Key words: degraded ecological system; karst rocky desertification; risk assessment; index system

喀斯特石漠化是喀斯特地区生态系统退化的主要类型,也是喀斯特生态系统退化最终形成的一种类似于荒漠化的自然景观。喀斯特生态系统由于其自

然基底环境的脆弱性,具有正向演替缓慢,稳定性差,易受外界干扰而发生演替终止或逆转的特点,系统的逆转演替速率远高于正向演替速率,决定了喀斯特生

收稿日期: 2012-04-19

修回日期: 2012-07-19

资助项目: 贵州省科技攻关项目“喀斯特退化生态系统土壤动物生态指示功能研究”(黔科合 SY 字[2011]3017); 贵州省科学技术基金“基于农户视角的喀斯特峰丛洼地生态恢复替代性生计模式选择研究”(黔科合 J 字[2012]2294); 国家科技支撑计划子项目(2007BAD53B001); 贵州师范学院环境科学特色重点学科专项基金

作者简介: 梁玉华(1956—), 女, 四川成都人, 教授, 主要从事自然地理学, 区域生态环境研究。E-mail: dliangyuhua@126.com

态系统破坏后极难恢复的特性。贵州省位于世界三大岩溶集中分布区之一的东亚片区的核心地带,喀斯特地貌发育强烈,地表崎岖,坡度小于 6° 的面积仅占全省面积的 8% 左右,属于典型的山地省份。贵州省国土资源厅/地矿局的调查数据显示,贵州省石漠化面积占全省总面积的 31%。同时由于地处亚热带湿润气候区,降水丰富,年均达 1 179 mm,水土流失敏感性高。强烈的岩溶作用生成的大量裂/溶隙、落水洞等,使地表水难以保存,地表渗漏能力强。研究表明西南喀斯特地区,中度敏感以上区域占总面积的 82.8%,不敏感区域面积比例仅占 6.4%^[1],在植被缺乏的情况下,土壤极易受侵蚀。因此,喀斯特生态系统稳定的关键因素在于植被,植被破坏后,自然演替从森林→疏林→萌生灌丛→藤刺/草灌丛→石漠化发生逆转的时间较正向演替形成森林生态系统的时间短。

1 喀斯特退化生态系统的诊断特征

喀斯特顶级成熟森林生态系统与非喀斯特地区森林生态系统相比,森林物种多样性低,结构简单,生产力低,抗干扰性差。研究表明,茂兰喀斯特森林群落的绿色生物量为 149.123 t/hm²,远低于同生态位的非喀斯特森林,只相当于沙漠边缘或北泰加林的 150 t/hm²^[2]。成熟生态系统受到超过自身可承受阈值的破坏性外因(自然或人为)干扰下,生态系统将表现出结构简化、生态过程受阻、功能状态受损,即生态系统受损而出现退化的趋势。据此喀斯特退化生态系统可分为以下几类^[3]:(1) 结构受损型,即在自然或人为因素影响下,生态系统的结构直接受到破坏,表现为生态系统的组分发生变化,随后引起生态系统物质循环过程受阻、功能失调等特征。比较常见有樵采砍伐、挖取药材、寻求工业原料、病虫害等。(2) 景观受损类型,即生态系统内部结构组分基本上没有受到影响,但生态系统的面积减少,同时生态系统由成片连续分布变成不连续分布的斑块,斑块之间在空间上相对隔离。如喀斯特峰丛洼地中环形农田的分布,农田顺坡向峰丛延伸,造成峰丛植被面积不断缩小,局限于峰丛顶端,各斑块之间相互分离或有狭窄廊道连接,形成片段化景观。(3) 复合型类型,即同时兼有前面两种类型的特征,生态系统受损往往表现为结构和景观上同时发生变化。但生态系统结构的变化难以量化处理,且结构受损到一定程度才会导致景观格局的变化,而景观受损也将导致生态系统内部结构、过程和功能的变化。这种划分有利于明晰不同受损生态系统类型及其作用机制,因为不同受损类型生态系统退化的过程和时间延滞存在较大的差异,带来

的变化效应也会存在较大差异。这两种不同的受损类型中,引发退化的主要因素或者机制有所差异,但在根本上都是生态系统的正常物质循环受到影响,从而导致的功能障碍。

2 喀斯特地区生态环境特性

2.1 喀斯特地区土壤特性

喀斯特地区土壤多为土质较黏重的富铁性黏土,气候高温多雨,长期强烈的化学淋溶作用,使风化物中较小的黏粒(<0.001 mm)发生垂直下移,形成上松(上层质地轻,孔隙度高,可达 50%,水分容易下渗)下黏(质地黏重,孔隙度低,渗透性小)的物理性状不同的界面^[4],不同界面的碳酸盐岩系的抗风蚀能力强,导致土壤剖面中通常缺乏 C 层。基质母岩和上层土壤之间,存在明显不同的界面,岩土之间的粘着力与亲和力大为降低,土壤稳定性差,遇降雨冲刷极易产生水土流失和石漠化^[5]。此外,喀斯特区高温多雨,碳酸盐岩溶蚀性强,90% 的溶蚀物随水流失,加之岩石中 Si、As、Fe 等成土元素含量较低,年平均成土模数仅为 50 t/km²,形成 1 cm 厚的土壤约需 2 000~3 000 a 以上,是其他类型母岩成土时间的 10 倍^[6],且土壤分布极不均匀,土层厚度悬殊。另一方面,碳酸盐岩地表堆积物早期的溶蚀及黏土化过程是富 Si、Al,脱 Ca、Mg 的过程与其它母岩红土脱 Si、Al 过程不同,其中黏土矿物的形成和演化存在多途径和多阶段性。总体上,岩溶地区石灰土土壤在长期的淋溶过程中,有逐渐向地带性红壤化或砖红壤化演变趋势^[4]。在土壤侵蚀方面,由于特有的双层地表形态结构,除土层自然侵蚀外,“土壤丢失”现象明显,在水和重力的双重作用下,土粒在垂直和水平方向上经微距离或短距离搬运到洼地部位或地下空间中,甚至由地下河带到更远的地方,严重制约了地表残余物质的积累和风化壳演化的持续发展^[4,7]。

2.2 喀斯特地区植被特性

贵州喀斯特地区的生态系统退化主要是原始顶级植被在受到外界干扰情况下发生的系统逆向演替,是一个在时间维度不连续的突变或渐变过程。喀斯特顶级群落为常绿阔叶林,其环境基底地表性质与无植被覆被区一致,地表缺乏土被层,植被主要生长在石缝隙中,大径级乔木数量不多,却为系统的优势群落;具有明显的分层现象,植被群落结构完整,树种结构复杂,乔木层发达,林下荫蔽多为由落叶腐烂形成的富含有机质的腐殖土,动植物物种丰富,小生境复杂,系统稳定性高。据统计,在茂兰保护区 2 万 hm²

面积内的兽类、鸟类、爬行类和天敌昆虫的种类分别达34,95,39,60种,维管束植物达801种^[8]。这表明在相对恶劣的基底环境条件下,植被已与其小生境形成了一个稳定的生态系统,植被是整个系统稳定的关键因素。由于生境环境恶劣,系统的抗干扰能力较低,具备固有的脆弱性,极易退化。在系统受到外界不适当的干扰下,易出现系统退化且退化后恢复极难。如植被被破坏,导致岩溶生态系统由森林→灌丛/藤本→石漠化逆向演化,退化后生态系统重建就非常困难。因此,保护喀斯特植被系统的关键是确定其稳定域的大小以及在稳定域范围内变化时,系统波动响应程度的风险几率并与区域人为干扰强度进行横向对比,便于对人类的扰动强度进行管理,努力控制其处于系统的稳定域内,是保证喀斯特地区植被系统乃至生态环境稳定健康的关键。

2.3 喀斯特地区水文特性

相关研究已表明在中亚热带地区的贵州高原区,不同地貌部位发育程度有所不同,表层岩溶带的厚度一般在2 m左右,相对平缓的地段,如岩溶谷地、峰丛山区的洼地底部则是发育较好的部位^[9],地势陡峭的区域发育程度较差。喀斯特表层岩溶带是地表和地下岩溶作用形成的各种岩溶形态构成的,不规则的呈带状分布的岩溶化层,其发育主要由高温高湿下强烈岩溶溶蚀作用及岩石表面的水—岩—CO₂(气)三相不平衡状态决定的^[10]。农业耕作会加速土壤在溶痕、溶孔、溶隙等地形内的填充,使表层土壤减少,从而影响表层岩溶水的垂向循环。森林植被覆盖度与表层岩溶泉的降水入渗系数之间存在显著正相关关系。如森林覆盖度10%左右的六盘水石山区,降水入渗系数为0.36,低于广西弄拉地区(森林覆盖度75%左右)的0.88^[11]。人类活动对喀斯特生态环境影响极大,如毁林垦荒破坏植被,使水分的水平运动速率加快,影响了水分在表层岩溶带的垂直运动。由于缺乏植被的保护,雨季易造成洪涝,旱季易形成干旱,影响植被生态环境的稳定性,导致生态环境进一步恶化。

3 喀斯特退化生态系统(石漠化)评价指标体系的构建

稳定的喀斯特顶级生态群落是土壤、植被、表层岩溶水三者结合的产物,植被是主导系统稳定的关键因子,也是系统退化的表征因子。诊断喀斯特退化生态系统,需要重视植被系统的变异,从生态系统的内部、外部干扰、系统对扰动的反馈调节3方面确定风险表征因子,如喀斯特地区石漠化过程作为一个“自

然—干扰—响应”的复合变化过程,不仅与自然生态环境的基底有关,与人类活动也存在密切联系,风险评价指标体系应该包括表征其内部特征、干扰及功能特征与外部环境3部分指标。

3.1 喀斯特生态系统内部特征指标

石漠化的发生受自然环境坡度和地貌及社会经济条件的影响,包括水文、土壤、植被及覆被状况、人为扰动的强度。这些因子是喀斯特地表生态系统稳定的关键,各因子状态的差异对石漠化发生的概率具有直接的影响。此类评价指标涉及喀斯特生态系统内部特征及其生态系统稳定状态的宏观评价,主要包括:① 坡度。石漠化过程本身是一个水土流失的过程,坡度是水土流失的决定性因素之一,可较好地表征土壤受侵蚀风险,敏感性强。但在植被覆盖率高的地区其对土壤侵蚀的敏感性较低;② 植被覆盖率。植被覆盖率的高低可表征喀斯特生态系统的退化程度及稳定性;③ 土壤侵蚀量。该指标表征土壤稳定性的强弱,对坡度变化反应敏感。一般而言,坡度越大,土壤侵蚀量越大,土被越薄;④ 抗干扰性即系统保持自身功能稳定性的能力;⑤ 生态系统服务功能。以保持水土、涵养水源、系统生物质生产能力等为综合表征。以上因子中坡度一般决定了土被及植被覆盖率的大小,土被厚度与植被覆盖协同发展,植被覆盖保护土被免受侵蚀,土被增厚促进植被生长。土被厚度与坡度在信息上存在部分重叠。

3.2 喀斯特生态系统干扰及功能特征指标

人类活动对生态的变异起到了诱导作用。人类不合理的活动,如砍伐植被、不合理耕作等,会破坏植被导致表层岩溶水循环中断,地表干旱植被退化乃至消失,土壤裸露造成水土流失乃至土地的石漠化。人类开垦耕地、牧草地、获取薪柴、封山育林等,对喀斯特生态系统都存在一定干扰,土地利用形式在一定程度上受系统特性的制约,并对系统的稳定性及功能产生影响。在最大承载力范围内,系统可以满足不同形式开发利用的要求,体现了喀斯特生态系统的服务与社会经济功能。社会经济发展水平制约了人类活动对自然环境的干扰方式及强度。如:① 收入状况。农民收入中农业收入比重越大,对环境的依赖性则越强,对环境的压力越大,该因子独立性较强;② 资源状况。喀斯特生态系统在提供耕地等资源方面的能力相对有限,对收入及人口密度变化的反应敏感性强;③ 人口压力,包括人口素质及活动强度两方面;④ 环境质量。植被覆盖率、土壤侵蚀模数、基岩裸露率等;⑤ 综合生产力。主要指系统的初级生物质生产量,该因子是综合因子,在信息上综合反映环境质

量及人类活动等因子的综合信息。

3.3 喀斯特生态响应特征指标

石漠化是喀斯特生态系统的复杂退化演变过程,系统的开放性使其自身的演化与外界条件变化密切联系,演变过程具有高度的复杂性和自组织性。但演化的表征可通过各子系统(如植被、土壤等)体现,各子系统通过自身的反馈机制做出反应,以自身特性表现出来。从土壤及土壤微生物的方面来讲该类表征指标较多,可以归纳为以下几个具体方面:① 系统的稳定性,土壤—植被—水循环的稳定性,通过植被盖度变化,生物生产量变化等,表征系统各组的物质循环功能的变化;② 水土流失面积比重,表

征喀斯特生态环境中的不稳定部分,其比重越大越可以反映生态环境的受干扰及破坏程度,敏感性强。③ 溶蚀速率,主要表征喀斯特生态系统中土壤的再生能力及对水土流失的补偿能力,反映了总养分库状况的变化及对系统的物质循环过程的影响,该因子主要受降水、温度等气候因素的影响,稳定性强,对外界影响的敏感度较低。

喀斯特生态系统退化(石漠化)风险评价指标的确定较为复杂,需要有限的指标获得客观精确的评价结果,在一定程度上要较好地反映生态系统的整体特性。依据研究区数据的可得性,选取以下指标用于喀斯特生态系统退化(石漠化)风险评价中(表 1)。

表 1 喀斯特生态系统退化风险(石漠化)评价指标分级及相应评分

类型			指标分级及评分				
			1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
系统特征	自然特征	坡度(°)	[45,90]	[25,45]	[15,25]	[6,15]	[0,6]
		植被覆盖率(%)	[0,15]	[15,30]	[30,45]	[45,60]	[60,100]
		土壤侵蚀模数[t/(km ² ·a)]	[8000,∞]	[5000,8000]	[2500,5000]	[500,2500]	[0,500]
	抗干扰性	石漠化面积比重(%)	[60,100]	[40,60]	[20,40]	[10,20]	[0,10]
		系统净初级生产量[t/(hm ² ·a)] ^①	[0,2]	[2,6]	[6,15]	[15,20]	[20,∞]
干扰及状态	收入	人均纯收入/元 ^②	[0,3000]	[3000,4000]	[4000,5000]	[5000,6000]	[6000,8000]
		种植业收入比重(%)	[60,100]	[45,60]	[30,45]	[15,30]	[0,15]
	人口	农业人口比重(%)	[80,100]	[60,80]	[40,60]	[20,40]	[0,20]
		人口密度(人/m ²)	[200,∞]	[150, 200]	[100, 150]	[50, 100]	[0, 50]
	资源	耕地面积比重(%)	[50,100]	[40,50]	[20,40]	[10,20]	[0,10]
系统响应	植被	基岩裸露率(%)	[20,100]	[15,20]	[10,15]	[5,10]	[0,5]
		退耕还林比重(%)	[0,20]	[20,40]	[40,60]	[60,80]	[80,100]
	土壤	水土流失面积比重(%)	[40,100]	[30,40]	[20,30]	[10,20]	[0,10]
		溶蚀速率[m ³ /(km ² ·a)]	[0,50]	[50,100]	[100,150]	[150,200]	[200,∞]

注:①系统生物质生产量分级标准依据梯怀克世界各生态系统平均净初级生产量研究资料[http://www.lmbe.seu.edu.cn/biology/bess/biology/chapt4/4_5_2.htm];②人均纯收入(元)。指农民人均纯收入,标准参照国家环保总局制定的生态县、生态市、生态省建设指标(2008 年修订稿);③指标表征了土地作为生产粮食的资源对区域社会的支持状态。

4 实证研究

毕节地区位于贵州省西北部,地处滇黔桂连片岩溶区的腹心地带,是典型的生态环境脆弱地区。毕节喀斯特地区由于近年来森林资源破坏及陡坡垦植、不合理的土地利用、矿产开发,森林生态等破坏严重、水土流失、石漠化面积增加,生态系统退化现象较严重。本研究采用定量和定性相结合的方法,参考和借鉴退化生态系评价的原则和方法^[12],利用建立的生态系统退化风险评价指标体系,采用特尔菲法、综合评价法等进行退化风险评价。首先分别进行系统特征、干扰及状态和系统响应评价。然后计算算术平均数作为退化风险综合评价的标准(表 1),根据得分将退化风险分为 4 个等级,具体为 1 等(4~5 分);2 等(3~4

分);3 等(2~3 分);4 等(1~2 分)。

4.1 数据来源

数据主要来源于《2007 年贵州省统计年鉴》、《2008 年毕节地区环境状况公报》及遥感分析数据、毕节市林业局公布的《2005—2010 生态环保建设数据》,贵州省国土资源厅发布的《毕节地区土地利用总体规划》及部分野外调研考察监测资料等。

4.2 系统特征分析

由于毕节地区的坡度数据难以获取,故以全省代替,基于贵州省 1:200 000 DEM 数据及 ArcGIS 9.2 软件的 3D 分析模块的表面分析工具,计算得出,贵州省<6°的面积占 9.24%,赋值 5 分;6°~15°占 45.59%,赋值 4 分;15°~25°占 36.05%,赋值 3 分,25°~45°占 9.05%,赋值 2 分;大于 45°占 0.07%,赋

值1分。根据不同坡度的面积比重,加权计算得到坡度为3.54分,但平地面积比重极小。2005年石漠化面积比重24.36%^[13],按标准赋值3分;2006年土壤侵蚀模数3 389 t/(km²·a)^[14],按标准赋值3分。2006年森林覆盖率34.92%^[15],按标准赋值3分。贵州属于亚热带湿润气候区,依据怀梯克的研究资料,森林的净初级生产量应介于热带雨林及温带阔叶林之间,由于喀斯特地区土壤特性净初级生产量低于平原地区温带阔叶林的年均12 t/hm²,按标准赋值3分。综合毕节地区生态环境及社会经济发展状况,平均加权计算得到系统特征综合得分为3.1分。

4.3 系统干扰及状态分析

2010年毕节地区耕地面积1 025 102 hm²,占全区国土面积(按全地区国土面积2.685 3万km²)的38.17%^[16],按标准赋值3分。2006年全区人均粮食产量为393.13 kg,按标准赋值3分。2006年毕节地区农村人均纯收入1 888元,居贵州第6位,按标准赋值1分。2006年毕节地区农业人口比重高达92.76%(按户籍统计的农业人口计算),按标准赋值1分。2006年毕节地区农民人均产值986.23元,种植业收入占人均纯收入的52.24%,按标准赋值2分。2006年毕节地区常住人口725.12万人,人口密度按全区国土面积2.685 3万km²计算为270人/km²,按标准赋值1分。综合毕节地区生态环境,平均加权计算得到系统特征综合得分为1.83分,表明生态系统受到的干扰程度较强。

4.4 系统响应分析

毕节地区基岩裸露率数据难以获得,故采用全省重度石漠化的比重代替该指标。据遥感调查,贵州省石漠化总面积为32 477 km²。其中重度石漠化面积5 250 km²,中度石漠化面积11 896 km²,轻度石漠化面积15 331 km²^[17],其中重度石漠化占全省面积(贵州水利厅176 167 km²)的3.0%。参照已有荒漠化分级标准,即无石漠化(岩石裸露程度<30%)、轻度石漠化(岩石裸露程度30%~50%)、中度石漠化(岩石裸露程度50%~70%)和重度石漠化(岩石裸露程度>70%)^[18-19]。分别按平均岩石裸露程度,轻度石漠化(岩石裸露程度40%)、中度石漠化(岩石裸露程度60%)、重度石漠化(岩石裸露程度70%),计算得出岩石裸露面积16 945 km²,占全省土地面积的9.6%,考虑到毕节地区属于贵州省石漠化比较严重的区域,故其基岩裸露率应高于9.6%,按标准赋值3分。毕节地区2000—2005年,累计实施退耕还林174 933 hm²,其中退耕地造林70 600 hm²,荒山造林104 333 hm²^[20],退耕造林占40.35%,按标准赋值3分。2008

年全区水土流失面积58.89%,按标准赋值1分。毕节地区缺乏相关数据,溶蚀速率以贵州普定测定速率27.07~93.96 m³/(km²·a)^[21]为标准,按标准赋值2分。综合毕节地区生态环境,平均加权计算得到系统响应综合得分2.25分,表明社会经济系统对生态系统退化的响应有待进一步强化。

4.5 综合评价

毕节地区作为贵州喀斯特地区石漠化比较严重的区域之一,同时又是贵州省脱贫致富的攻坚地区之一。喀斯特生态环境脆弱,已成为地区可持续发展的重要障碍。综合对毕节地区喀斯特生态系统的系统特征、系统受干扰及状态、系统响应评价,得到毕节地区喀斯特生态系统退化程度综合得分2.40分,按退化程度处于3等(2~3分)的范围内,系统特征得分3.1分,表明生态系统退化的主要因素不是来源于系统本身;系统受干扰及状态得分1.83分,说明系统的退化主要是由于脆弱的系统受到外界干扰产生的,在系统修复过程中要加大对人类干扰活动的管理;系统响应综合得分2.25分,由于毕节地区社会经济发展水平落后,政府财力困乏,农民生活水平低,在生活压力下,对生态系统治理及保护的力度和积极性较低。

5 结论与讨论

利用建立的评价指标体系对毕节地区生态系统的评价研究表明,喀斯特生态系统自身的素质相比同生态位的非喀斯特地区存在一定差距,但系统自身素质不是决定生态系统退化的关键因素。关键因素在于喀斯特地区由于社会经济发展落后,区域在发展过程中注重速度的赶超,忽略了对生态系统的保护或是在发展及生存空间的双重压力下,不得不舍弃生态环境而发展。此外,系统的响应评价显示,在对生态系统退化上的响应力度不够,主要原因是毕节地区作为全国深度贫困地区之一,在财政、资金等方面力不从心。因此,需要国家加大对该区域生态环境保护及恢复的专项资金的支持力度。

退化生态系统的诊断研究随着喀斯特地区生态环境的恶化引起了越来越广泛的关注,但在一些理论方面未达成共识。如退化生态系统修复实践。退化生态系统往往与原生态系统在结构及功能上出现了很大的差异,其内部的控制机制也发生了变化。新的系统的稳定性及系统的演替能力及方向、演替的顶级群落特征可能已完全不同于原生态系统,并不存在生态系统恢复的路径依赖性,因此完全恢复到原来状态的可能性不大,恢复是一种新的平衡和稳定状态的建立,退化生态系统的基础环境因子与原系统相比已存

在一定差异,所以仅仅确定原生系统的关键结构要素及恢复重建这些要素的途径往往不够,必须结合系统的变化,确定系统新的恢复阈及反馈机制,适时调整恢复的关键结构与因素及其强度。这一方面的研究及实践应用将是喀斯特退化生态系统修复实践的重要方向之一。

参考文献:

- [1] 凡非得,王克林,熊鹰,等.西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J].生态学报,2011,31(21):6353-6362.
- [2] 万军.贵州省喀斯特地区土地退化与生态重建研究进展[J].地球科学进展,2003,18(3):447-453.
- [3] 陈小勇,宋永昌.受损生态系统类型及影响其退化的关键因素[J].长江流域资源与环境,2004,13(1):78-83.
- [4] 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.
- [5] 苏维词,杨华,李晴.我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J].土壤通报,2006,37(3):447-451.
- [6] 彭晚霞,王克林,宋同清.喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式[J].生态学报,2008,28(2):811-820.
- [7] 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.
- [8] 刘映良,薛建辉.贵州茂兰退化喀斯特森林群落的数量特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(3):23-27.
- [9] 蒋忠诚.中国南方表层岩溶带的特征及形成机理[J].热带地理,1998,18(4):322-326.
- [10] 覃小群,蒋忠诚.表层岩溶带及其水循环的研究进展与发展方向[J].中国岩溶,2005,24(3):250-254.

(上接第 239 页)

参考文献:

- [1] 于亚男,郭晓辉,王秀茹.基本农田整理与我国粮食安全的浅析:以河北省香河县刘宋镇基本农田整理项目为例[J].水土保持研究,2007,14(3):318-320,323.
- [2] 杨树佳,郑新奇,王爱萍,等.耕地保护与基本农田布局方法研究:以济南市为例[J].水土保持研究,2007,14(2):4-7.
- [3] 王加恩,蔡子华,胡艳华,等.基于土壤生态环境的县域基本农田保护区划:以浙江省嘉善县为例[J].中国农业资源与区划,2011,32(6):85-89.
- [4] 袁枫朝,严金明,燕新程.GIS支持下的大都市郊区基本农田空间优化[J].农业工程学报,2008,32(S1):61-65,257.
- [5] 程锋,石英,朱德举.耕地入选基本农田决策模型研究[J].地理与地理信息科学,2003,19(3):50-53.
- [6] 吴飞,濮励杰,许艳,等.耕地入选基本农田评价与决策[J].农业工程学报,2009,25(12):270-277.

- [11] 陈植华,陈刚,靖娟利,等.西南岩溶石山表层带岩溶水资源调蓄能力初步评价[C]//中国岩溶地下水与石漠化研究.南宁:广西科学技术出版社,2003.
- [12] 郭旭东,邱扬,连纲,等.基于“压力—状态—响应”框架的县级土地地质评价指标研究[J].地理科学,2005,25(5):579-583.
- [13] 贵州省毕节市林业局.毕节地区石漠化治理工程稳步推进效果明显[EB/OL].(2009-05-26)[2012-07-19].<http://www.bjdqlyj.gov.cn/shownews.asp?newsid=868>.
- [14] 贵州省毕节市林业局.退耕还林工程简介[EB/OL].(2006-09-13)[2012-07-19].<http://www.bjdqlyj.gov.cn/shownews.asp?newsid=141>.
- [15] 毕节地区林业局 adminbjswb.2005—2010 年生态环保建设数据[EB/OL].(2012-05-16)[2012-07-19].http://www.stats-bj.gov.cn/html/lm_89/20120516170216.html.
- [16] 贵州省国土资源厅规划处.毕节地区土地利用总体规划[EB/OL].(2008-08-05)[2012-07-19].http://www.gzgztzy.gov.cn/Html/2008/08/05/20080805_566962_7294.html.
- [17] 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.
- [18] 王世杰,李阳兵.生态建设中的喀斯特石漠化分级问题[J].中国岩溶,2005,24(3):192-195.
- [19] 童立强.西南岩溶石山地区石漠化信息自动提取技术研究[J].国土资源遥感,2003(4):36-38.
- [20] 金石.退耕还林让 28.2 万毕节农户受益[N/OL].经济信息时报(2006-11-17)[2012-07-19].<http://jjxxsb.gog.com.cn/system/001054201.shtml>.
- [21] 蒋忠诚.岩溶峰丛洼地生态重建[M].北京:地质出版社,2007.

- [7] 郑新奇,杨树佳,象伟宁,等.基于农用地分等的基本农田保护空间规划方法研究[J].农业工程学报,2007,23(1):66-71,292.
- [8] 钱凤魁,王秋兵.基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J].水土保持研究,2011,18(2):251-255.
- [9] 赵亚莉,吴群.基本农田保护研究综述[J].国土资源科技管理,2007(6):30-34.
- [10] 宇向东,郝晋珉,鲍文东.基于耕地分等的基本农田空间配置的方法[J].农业工程学报,2008,24(S1):185-189.
- [11] 张落成,王辰,李青.泰州市基本农田空间配置探讨[J].长江流域资源与环境,2010,19(12):1421-1426.
- [12] 陈茜,段建南,孔祥斌,等.北京市基本农田保护区内耕地数量提升潜力研究[J].水土保持研究,2012,19(3):200-203.
- [13] 黄丽梅,刘廷祥,鲍文东,等.基本农田空间配置的自动化研究[J].水土保持研究,2008,15(4):112-115.
- [14] 张蕾娜.农用地分等定级成果在基本农田保护中的应用[J].经济地理,2006,26(S1):128-130.