

# 基于PSR模型的喀斯特地区生态系统健康动态评价 ——以贵州省为例

李远艳<sup>1,2</sup>, 安裕伦<sup>1,2</sup>, 杨广斌<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 贵州师范大学 山地资源与环境遥感重点实验室, 贵阳 550001)

**摘要:**在生态重建的大背景下,生态环境问题成为各界关注的焦点问题。贵州省生态环境敏感,石漠化广布,水土流失严重,客观的生态系统评价的必要性日益突出。以贵州省为例,结合GIS、RS技术,采用压力—状态—响应模型(PSR)指标体系法,对贵州省2000—2010年生态系统健康进行评价,得到贵州省生态系统健康等级分布状况及时空变化特征。评价结果表明:(1)贵州省生态系统健康水平基本处于Ⅲ和Ⅳ等级;(2)十年间生态系统健康状况略微好转,主要由Ⅲ级向相邻等级变化,其他等级间的转化较少;(3)地州市一级,生态健康平均水平最高的是黔东南州,最低的是毕节市,县市一级,生态状况最好的是赤水市,最差的是南明区;(4)引起生态系统健康变化的主要因素有人口、城市化、自然因素和产业配比。根据评价结果,提出重点保护东南部加强整治西北部,并建立区域性的分级生态管理体制的建议。

**关键词:**生态系统健康; 评价; PSR; 贵州省; 喀斯特

**中图分类号:** X171.1; X171.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)06-0279-08

## Dynamic Evaluation of Ecosystem Health Based on PSR Model in Karst Areas —A Case Study of Guizhou Province

LI Yuanyan<sup>1,2</sup>, AN Yulun<sup>1,2</sup>, YANG Guangbin<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. Key Laboratory of Mountain Resources and Environmental Remote Sensing, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** Under the background of the ecological reconstruction, the ecological problems become the focus of all walks of life. Owing to the sensitive ecoenvironment of Guizhou Province, the wide rocky desertification distribution and serious soil erosion, the necessity of the objective evaluation of ecological system is becoming more and more increasingly prominent. Taking Guizhou Province as the case study, using the index system method of pressure state response (PSR) model and combining GIS and RS technology, we evaluated ecosystem health of Guizhou in the period from 2000 to 2010 and analyzed the spatial and temporal variation characteristics. The results showed that: (1) the health level of ecological system in Guizhou Province was basically in the Ⅲ and Ⅳ grade; (2) ecosystem health had gotten slightly better in the ten years, mainly changed from the level Ⅲ to the adjacent level, other classes transformed less; (3) at the prefecture-level and city level, the highest average level of ecological health is found in southeast state of Guizhou, the lowest one is found in Bijie City; at the county-level and city level, the ecological condition of Chishui City is the best, and Nanming district is the worst one; (4) the main factors causing the ecosystem health change are population, urbanization, natural factors and industrial ratio. Furthermore, according to the evaluation results, corresponding counter-measures are put forward to protect southeast and strengthen punish northwest, and establish regional grading ecological management system.

**Keywords:** ecosystem health; evaluation; PSR; Guizhou Province; karst

随着经济社会的发展,人们对土地的需求不断增加,土地利用压力增大,人地矛盾更加突出,人类活动

的加剧造成了生态环境的严重破坏。生态环境与经济协调问题成为国家政策和科学研究的焦点

收稿日期: 2014-12-06

修回日期: 2015-01-06

资助项目: 国家自然科学基金(41161002), 贵州省科技攻关项目[黔科合GY字(2006)3022], 贵州省省长基金[黔省专合字(2011)46号], 贵州省环保厅项目: 全国生态环境十年变化(2000—2010)遥感调查与评估贵州专题

第一作者: 李远艳(1989—), 女, 贵州贵定人, 在读硕士, 主要从事地理信息系统与遥感研究。E-mail: liyuanyanlyy@163.com

通信作者: 安裕伦(1957—), 男, 贵州贵阳人, 教授, 硕士生导师, 主要从事自然地理学、GIS与环境遥感研究。E-mail: anyulun@126.com

问题。在可持续发展与生态重建的大背景下,生态系统健康成为生态系统管理领域的一个热点,生态系统健康评价成为生态环境研究的热门领域<sup>[1-2]</sup>。生态系统健康的概念是由加拿大学者 Schaeffer 和 Rapport 于 1988 年首次提出<sup>[3-4]</sup>,随后 Costanza 对其进行了归纳<sup>[5]</sup>,Hergh, Bartel S M 等对生态系统风险和健康问题进行了研究<sup>[6-7]</sup>,高占国等基于不同尺度做了宁波市生态系统健康评价<sup>[8]</sup>,赵帅等对天津市生态系统健康评价模型进行了研究<sup>[9]</sup>,李茂娟<sup>[10]</sup>、胡碧玉<sup>[11]</sup>等进行了城市生态系统健康评价,诸多研究丰富了生态系统健康评价模型和研究方法,现有的生态系统健康评价方法主要有指示物种法和指标体系法<sup>[12]</sup>。

贵州属于典型喀斯特发育地区,石漠化和水土流失严重,生态环境十分脆弱,引发了众多学者的思考。曹欢等用模糊数学评价法评价了毕节市生态系统健康<sup>[13]</sup>并进行了喀斯特地区生态健康评价方法的比较<sup>[14]</sup>,张风太等利用生态足迹法做了毕节地区生态健康评价<sup>[4]</sup>,周文龙等基于子系统评价了施秉县云台山生态系统健康<sup>[15]</sup>。然而,以往的研究多注重于小区域的评价及评价方法的比较,较少关注贵州省省域范围的评价,为了进一步了解贵州省生态健康格局,掌握环境状况变化趋势,建立区域性、等级性的生态保护体制,本文基于压力—状态—响应模型(PSR)<sup>[16]</sup>,在 GIS 和 RS 支持下,采用指标体系法,结合贵州省环境的特殊性、突出其差异性,选取了适于贵州省环境特点的评价指标,如石漠化敏感性指标、水源涵养指标、土壤保持指标,对贵州省 2000 年、2005 年及 2010 年生态系统健康进行评价,分析十年中贵州省生态系统健康状况时空变化特征及其影响因素,针对于贵州省特点提出环境保护建议及措施,为解决区域性的环境问题提供依据。

## 1 研究区概况

贵州省简称“黔”或“贵”,位于中国西南的东南部,地理坐标介于东经 103°36′—109°35′、北纬 24°37′—29°13′,东西长 570 km,南北宽 510 km,面积 17.61 万 km<sup>2</sup>。以高原山地为主,平均海拔在 1 100 m 左右,是一个海拔较高、纬度较低、喀斯特地貌发育的山地高原区,地域差异显著。属于亚热带湿润季风气候,温暖湿润、类型多样、阴雨多、日照少,年降雨量在 850~1 600 mm,降雨有着时空分布不均的特点。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源及处理

本文中所涉及的数据主要有图件资料和文字资料,其中图件资料包括贵州省 2000 年、2005 年、2010 年三期 Landsat TM/ETM 影像、贵州省行政区划图、贵州省

DEM(ASTER GDEM 数据,空间分辨率为 30 m)、贵州省岩性图、遥感影像通过面向对象分类并结合野外调查,得到贵州省三期土地利用数据等,数据主要来源于贵州省生态环境十年(2000—2010 年)变化遥感调查与评估项目组及贵州省地图册;文字资料包括 GDP、人口数量、降雨量等,来源于三期《贵州省统计年鉴》、《贵州省环境公报》、《贵州省水资源公报》;基于 ArcGIS 平台,将所有的文字资料转化成图像资料(单指标图),并与图件资料统一定义为等面积割圆锥(albers)投影,所有单指标图都要经过标准化,获得数值在 0~1 的栅格图像,进而通过叠加分析得到贵州省生态系统健康评价。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 指标选取及计算** 本文中采用压力—状态—响应模型(PSR 模型)进行生态系统健康评价。该模型是经济合作和开发组织(OECD)与联合国环境规划署(UNEP)共同提出的反映人类活动对生态环境造成的压力、生态系统状态变化以及人类对生态系统变化的响应三者之间关系的概念框架模型<sup>[19]</sup>。压力指标、状态指标、响应指标作为一级评价指标,是 PSR 模型的基本组成单元,研究中可根据研究区的实际情况,在一级指标下设立相应的二级指标。由于喀斯特地形地貌、天气特征等限制,研究区水热空间分布不均、地下河广布而可利用水少、中低产田土比重较大。人类为寻求更大的生存空间,过度开垦土地,导致生态环境的破坏,石漠化水土流失现象屡见不鲜。因此在指标的选择上,结合贵州的实际情况着重考虑了人类活动、石漠化等因素,选择了人口干扰度、土壤保持、石漠化敏感性指数等 17 个指标进行生态系统健康评价。具体指标及计算方法<sup>[17-19]</sup>见表 1。

**2.2.2 权重赋值** 根据以往的研究,多指标评价需要对每个指标进行权重赋值,传统的方法主要有主成分分析法、因子分析法、专家打分法、熵赋权法、变异系数法等。为了避免主观的倾向性,本研究采用变异系数法对各指标赋值,如果变异系数较大,则说明在评价该指标权重时达到平均水平的难度较大,则该指标应赋予较大的权重;反之,则应赋予较小的权重<sup>[20]</sup>。计算方法如下:

假设有  $m$  个指标,  $n$  个评价单元,计算第  $j$  个评价指标的变异系数  $V_j$ ;

$$\overline{y_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \overline{y_j})^2} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n; j=1, 2, 3, \dots, m)$$

$$V_j = \frac{S_j}{\overline{y_j}}; W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (j=1, 2, 3, \dots, m)$$

式中:  $m$ ——指标类型数;  $n$ ——评价单元数;  $\overline{y_j}$ ——

评价区域中第  $j$  个评价指标的平均值; $S_j$ ——评价区域中第  $j$  个评价指标的标准差; $y_j$ ——第  $j$  个评价指标的权重值; $V_j$ ——第  $j$  个评价指标的变异系数; $W_j$ ——第  $j$  个评价指标的权重值。

表 1 评价指标及其计算方法

一级指标	二级指标	计算方法
压力指标	人口干扰度	人口干扰度=建设用地面积/区域面积
	人口密度	人口密度=总人口数/区域面积
	≥25°坡耕地比例	$L_{25^{\circ}}=A_{25^{\circ}}/A_{\text{总}}$ ( $L_{25^{\circ}}$ 为坡度大于或等于 25 度的坡耕地比例, $A_{25^{\circ}}$ 为坡度大于或等于 25 度坡耕地面积, $A_{\text{总}}$ 为研究区统计单元面积)
	土地垦殖率	土地垦殖率=耕地面积/土地总面积
	路网密度	路网密度=道路总长度/区域面积
状态指标	Shanon 多样性指数(SHDI)	SHDI, SHEI, CONTAG 通过景观指数软件 Fragstats3.3 计算得到
	Shanon 均匀度指数(SHEI)	
	蔓延度(CONTAG)	
	生态弹性度(ECO)	$ECO=\sum_{i=1}^m(S_i \times P_i)$ $P_i$ 是土地类型 $i$ 所占的比例, $m$ 是土地类型总数, $S_i$ 为土地类型 $i$ 的弹性分值 $Q=A \times J \times (R_0 - R_g)$
	水源涵养(Q)	$Q$ 为与裸地相比较, 森林生态系统涵养水分的增加量, $A$ 为生态系统面积, $J$ 为计算区多年均产流降雨量, $R_0$ 为产流降雨条件下裸地降雨径流率; $R_g$ 为产流降雨条件下生态系统降雨径流率
	土壤保持(SC)	$SC=R \times K \times LS \times (1 - C)$ $R, K, LS, C$ 分别是降雨因子、土壤侵蚀因子、坡长因子、植被覆盖因子
	净初级生产力(NPP) 生物量	根据 NPP 和生物量数据在 ArcGIS 中进行区域统计获得
响应指标	林地比例	林地比例=林地面积/区域面积
	石漠化敏感性指数( $S_i$ )	$S_i = \sqrt[4]{D_i \times P_i \times C_i \times L_i}$ $D_i, P_i, C_i, L_i$ 分别为评价区域基岩裸露率、地形坡度、植被覆盖度、岩性敏感性(即不同岩性产生石漠化的敏感性)
	人均国内生产总值(GDP)	人均国内生产总值=区域 GDP/人口数量
	第三产业占 GDP 比例	第三产业比例=第三产业 GDP/GDP

通过此方法计算得到各指标的权重值,如表 2 所示。

表 2 各级指标权重表

一级指标	权重	二级指标	权重
压力指标	0.3016	人口干扰度	0.1822
		人口密度	0.2262
		≥25°坡耕地比例	0.2127
		土地复垦率	0.185
		路网密度	0.1939
状态指标	0.4165	Shanon 多样性指数(SHDI)	0.0835
		Shanon 均匀度指数(SHEI)	0.1145
		蔓延度	0.0767
		生态弹性度	0.1037
		水源涵养	0.2033
		土壤保持	0.1853
		净初级生产力(NPP)	0.1008
响应指标	0.2819	生物量	0.1321
		林地比例	0.2209
		石漠化敏感性指数	0.2593
		人均国内生产总值(GDP)	0.2576
		第三产业占 GDP 比例	0.2622

2.2.3 评价方法 本文中采用两级评价指标递进式叠加评价的方法。首先,分类计算并统计各县各指标值;第二,将计算好的指标值导入 ArcGIS 中,生成栅格大小为 30×30 的单指标图,第三,根据计算所得的权重值,利用 ArcGIS 的叠加分析功能实现贵州省生态系统健康评价,评价结果标准化到 0~1,并分为 V 级(0~0.2)、Ⅳ级(0.2~0.4)、Ⅲ级(0.4~0.6)、Ⅱ级(0.6~0.8)、Ⅰ级(0.8~1)五个等级,V 级生态系统健康状况最差,Ⅰ级最好,文中所涉及的指标值与健康值均为对应计算结果经过标准化后的数值。

3 结果与分析

3.1 贵州省生态系统健康评价指标分析

由图 1a—c 可以看出,贵州省 2000 年、2005 年及 2010 年压力指标值的分布具有明显的一致性:整体上均以沿河—册亨为界线,呈现出西高东低的态势,由该界线向东指标值逐渐减小,向西指标值逐渐增大,最大值出现在南明区,其次为云岩区。除贵阳市区外,压力指标值较高的县市主要分布于毕节和六

盘水地区,而黔东南地区各县市压力指标水平较为平均,整体上较其他地区低;铜仁市、福泉市、贵定县、紫云县、长顺县及湄潭县 6 个县市 2000—2010 年的压力指标值有所增加,但生态压力仍处于较低水平;贞丰县、晴隆县、小河区、仁怀市、云岩区以及各地级市由于城市扩张、城市交通建设,人口迁移等因素,环境压力不同程度的增加,压力指标值呈逐年上涨的趋势,其中云岩区涨幅最大由 0.661 3 上涨至 0.899 0;由于有“桫欏保护区”等自然保护区的存在,赤水市生态环境良好,压力指标自 2000—2010 年逐年降低,2010 年为全省 88 县最低。

状态评价以土地利用数据为基础,从景观格局、生态服务功能角度客观反映了生态系统现状,是生态系统健康评价中最为重要的一个指标。图 1d—f 显示了贵州省生态系统状况的良好程度,状态指标值较高的地方主要是人类活动受到限制的保护区,包括黔

东南地区、梵净山自然保护区、赤水自然保护区、黔西南册亨县、荔波茂兰自然保护区;云岩区、南明区、威宁县、黔西县由于土地利用强度过大,生态环境破坏严重,生态服务功能较弱,状态指标值三年均处于全省最低水平;沿河县、德江县、凤冈县、思南县、西秀区、玉屏县三年中生态环境得到很好的改善,状态指标值显著上升。

特脆弱的生态环境易引发的石漠化灾害是贵州省长期面临的生态问题,因此将石漠化敏感性指标作为响应评价的指标之一,更有利于反映贵州省生态响应情况的特殊性与真实性。响应评价主要受经济因素和产业结构的制约,经济越发达对环境做出的响应就越强。由图 1g—i 可知,云岩区、南明区响应指标值最高,其次为黔东南地区,而毕节、六盘水、黔西南及黔南部分地区响应指标值偏低;仁怀市、钟山区响应指标值与经济发展的速度成正比例关系增加较快。

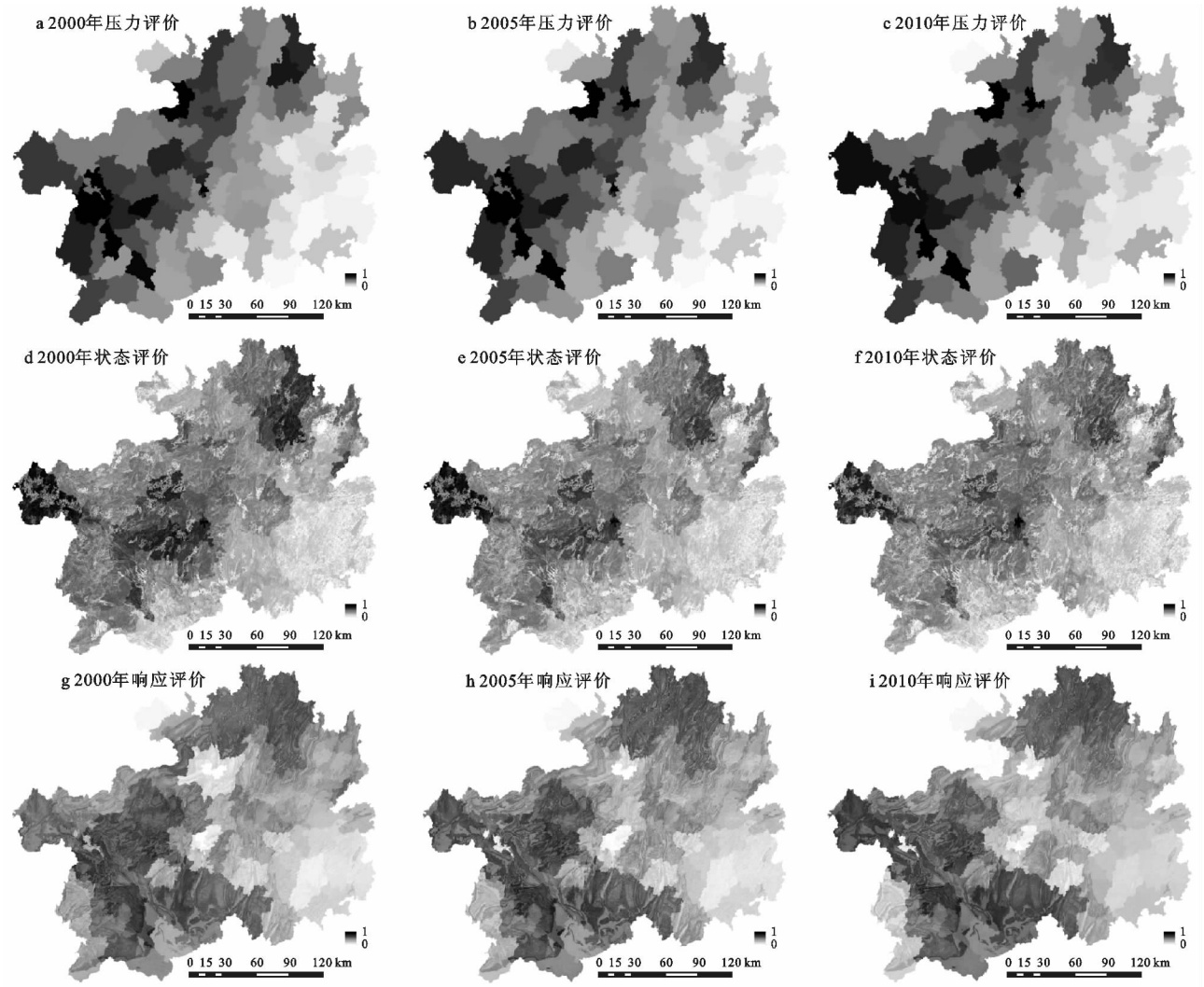


图 1 一级指标评价图

3.2 贵州省 2000—2010 年生态系统健康状况变化

生态系统是一个有着复杂结构和多重生态功能,为人类社会提供生存环境和经济产品的实体,因此它

的健康程度与人类生活的质量息息相关,生态系统的健康受到人为干扰和各种自然因素的影响,容易发生改变。图 2 直观反映了 2000—2010 年贵州省生态系

统健康等级分布及变化情况。

由图 2 可以看出贵州省生态系统健康等级由东南向西北逐渐降低。位于 I 级的地方主要有赤水市、黎平县、锦屏县、榕江县、江口县,这 5 个县市森林覆盖率在全省范围内均名列前茅,大面积的森林覆盖不仅使得该地区土地利用程度趋于合理、土地破碎度低、水源涵养量、土壤保持量高,石漠化敏感性低,有利于水、土壤、矿物质等自然资源的循环使用,促进人类与自然关系的和谐发展。赤水市有“丹霞”,江口县有梵净山,自然保护区的存在,一定程度上限制了人类活动的干扰,减少了土地垦殖率和 25°坡耕地所占的比例,从而降低了生态环境压力。处于 V 级的地方主要有南明区、威宁县、贞丰县,导致三者处于这一等级的原因各有不同。

南明区是贵阳市的中心城区,城镇化率高,人口干

扰度三期均为全省第一,分别达 55.839,62.785,70.054,而生态弹性度分值为 0.501,0.496,0.478,林地比例为 8.141%,7.983%,7.534%,NPP 为 143.783 tC,136.068 tC,121.175 tC 均位列全省末位,且呈现逐年降低的趋势,对环境造成的压力大,生态健康状况渐差。威宁县经济发展呈上升趋势但发展速度缓慢,2000 年人均 GDP 为 1 782.815 元/人,位列全省 49 位,2010 年为 4 842.889 元/人,为全省最低,滞后的发展与较高的石漠化敏感性使得该县生态响应能力逐年降低,生态健康水平趋于病态化。造成贞丰县生态系统健康等级低的主要原因则是该县较高的土地复垦率与 25°坡耕地率。2000—2010 年生态系统健康等级发生正向改变的有赤水市、普定县、黔西县、万山特区,负向改变的有威宁县、晴隆县,其余县市基本维持不变,贵州省总体生态系统健康状况不佳,有待改善。

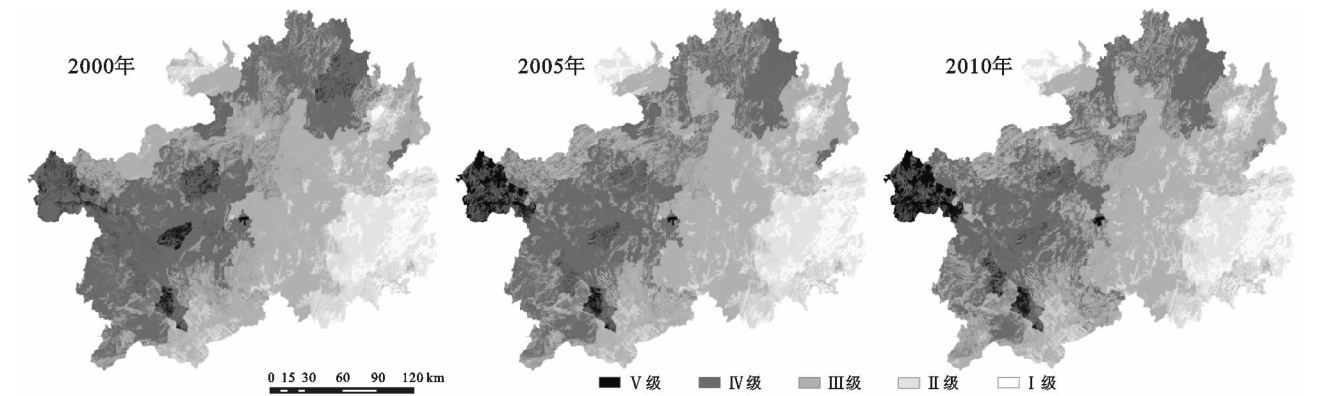


图 2 贵州省 2000—2010 年生态系统健康等级分布

根据图 3a 所示,Ⅲ级、Ⅳ级分布最多、面积最广,几乎占了全省面积 2/3,其次为Ⅱ级,V 与 I 级分布最少,除Ⅳ级呈逐年下降趋势外,其他等级均为上升趋势,由此看出贵州省生态系统健康状况十年内有所改善,但是正向发展势态不太明显,总体上依旧较差。图 3b 显示了研究区十年中生态系统健康平均值与标准离差的变化曲线,2000—2010 年生态系统健康平均值很接近呈微弱的先上升再下降的变化趋势,2005 年较高,2010 年最低,标准离差趋势线趋于水平,2010 年略高。2000—2010 年贵州省生态系统健康状

况整体上存在着小范围的波动,2000—2005 年健康平均值增加但标准离差几乎一样,说明在这一时间范围内研究区生态系统健康呈现出整体的正向变化,且变化速度基本一致,2005—2010 年健康平均值下降而标准离差增加,说明这一时期研究区生态系统健康变化情况存在着差异性,与 2000 年和 2005 年相比,健康分值最大值与最小值之间的差距增大。由此说明,2000—2010 年贵州省生态系统健康状况是在向好的方向发展,且 2005 年生态系统健康化效率比 2010 年高。

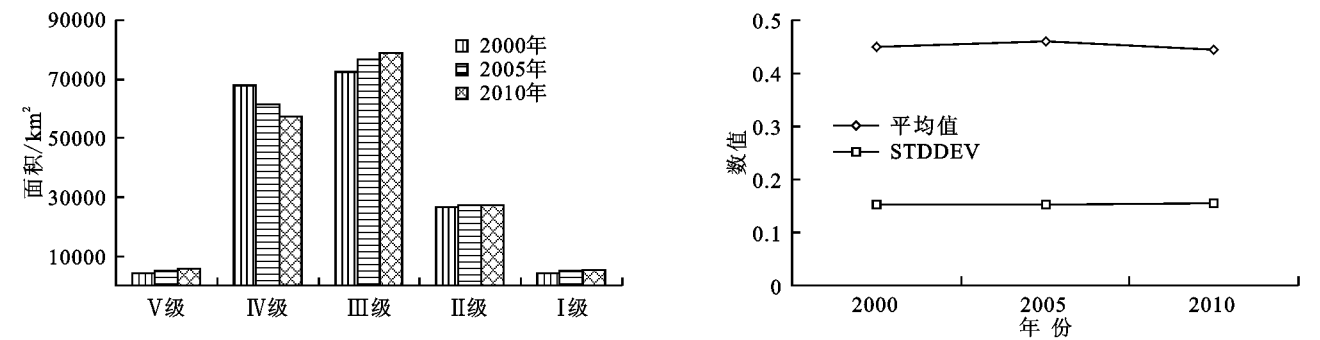


图 3 贵州省 2000—2010 年生态系统健康等级变化状况

2000—2005 年,生态系统健康等级间的转化主要是在相邻等级间产生的,除Ⅲ和Ⅱ等级外,其他等

级均是以向上一级转化为主(表 3—4)。V 级主要向Ⅳ级转化,向Ⅲ级转化的面积仅为 4.205 km²;Ⅳ级

主要向Ⅴ,Ⅲ,Ⅱ等级转化,其中向Ⅲ级转化的面积比例最大为10 506.76 km<sup>2</sup>;Ⅲ级向其他四个等级均有转化,但是向Ⅳ级的转化最高,其次为向Ⅱ级的转化;Ⅱ级向Ⅲ和Ⅰ级的转化量基本持平;Ⅰ级向其他等级转化的很少。2005—2010年生态系统健康等级转化情况与2000—2005年的转化情况有着一致性,均是以Ⅲ级向其他等级的转化为主。

表 3 2000—2005 生态系统健康评价结果转移矩阵 km<sup>2</sup>

参数	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
Ⅴ级	2066.024	1939.521	4.205		
Ⅳ级	2756.125	54820.130	10506.760	12.053	
Ⅲ级	2.165	4575.991	64218.620	3530.503	16.679
Ⅱ级		1.980	1954.463	23286.780	1214.456
Ⅰ级			1.821	503.644	3814.586
合计	2758.29	59398.101	76681.664	27332.98	5045.721

表 4 2005—2010 生态系统健康评价结果转移矩阵 km<sup>2</sup>

参数	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
Ⅴ级	4579.79	246.134	0.001		
Ⅳ级	1087.536	52813.23	7442.245	0.129	
Ⅲ级	0.018	4387.896	70168.48	2141.744	0.096
Ⅱ级		0.041	1538.774	25101.34	691.469
Ⅰ级			0.038	272.718	4773.236
合计	5667.344	57447.301	79149.538	27515.931	5464.801

3.3 地州市生态系统健康变化及驱动因素分析

由标准化后的评价结果通过统计分析可以得到各地州市生态系统健康值的平均水平(图4),黔东南州生态系统健康状况平均值最高,其次为黔南州,健康状况最差的为六盘水,毕节次之。黔南州、黔东南州和毕节生态系统健康平均值最低时期出现于2010年,其中黔东南州与毕节呈现出逐年下降的趋势,毕节尤为明显,2010年下降为全省最低水平。其他地州市2000—2010年生态系统健康平均值排序均为:2005年>2010年>2000年。由于2010年是枯水年份,加上受2008年初凝冻灾害的影响,贵州省经济和环境均遭受了重创,导致2010年各地州市生态系统健康平均值较2005年均有一定程度的下降。

表5中可以看到十年中各地州市压力指标均值变化幅度最小,较大的人口数量使毕节、六盘水压力指标值逐年增大,其他地州市呈现出先降后升的变化趋势;退耕还林政策的实施,使生态环境得到优化,因而状态指标均值变化幅度最大且所有地州市均逐年增加,安顺市增幅显著,由0.258增至0.404;响应指标均值的变化基本保持2000年>2010年>2005年的状态,唯有六盘水与贵阳最大值出现于2010年;十年内毕节、六盘水、安

随着贵州省生态建设的推进,退耕还林及封山育林政策的实施,使得土地利用方式逐渐趋于合理化,生态环境质量有所提高。十年中研究区内各县市经济均有所发展,但发展速度却有着较大的区别,导致经济差距逐渐拉大,人均GDP差异性明显。产业配比和经济发展的差异性,是限制生态系统健康正向发展速率的主要因素。

顺、贵阳一级指标均值变化最为活跃且不规律,与其他地州市的有着明显的差异性。由于发展方向的特殊性与发展速度的不同步性,导致各地州市生态系统健康变化的主导因素各异,可以总结为以下几点:

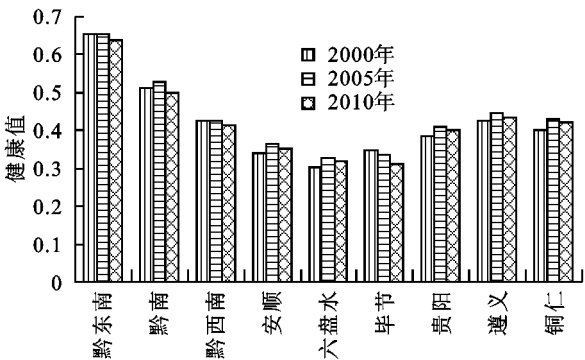


图 4 2000—2010 年各地州市生态系统健康平均值

(1) 人口。人口过快增长造成了土地过度开垦、人均资源占有量减少、煤矿过度开采、森林乱砍乱伐等问题。毕节、六盘水人口数量高于省会贵阳,该区域土地耕作条件差产量低,庞大的人口数量使得土地资源匮乏,过度开垦和开采现象屡禁不止,自然灾害频发,六盘水压力指标值为全省最高,最大值达0.53,毕节市次之为0.43,环境压力巨大。

(2) 城市化。为了满足增长的人口需求,促进城市发展,城市化应运而生。城市要扩大,就需要对周边的环境进行人为改造,使自然景观成为了人文社会景观。贵阳是研究区内城市化速度最快的地区,

2000—2010 年其建筑面积不断增加、交通网络更为发达、耕地与林地却在不断的减少,过多的人口干预,使得环境压力不断增大,城市化是影响贵阳生态系统健康变化的主要因素之一。

表 5 2000—2010 年各地州市一级指标平均值

区域	2000 年			2005 年			2010 年		
	压力	状态	响应	压力	状态	响应	压力	状态	响应
黔东南	0.065	0.506	0.532	0.065	0.517	0.451	0.102	0.549	0.492
黔南	0.153	0.389	0.418	0.146	0.431	0.335	0.192	0.463	0.365
黔西南	0.322	0.378	0.382	0.324	0.404	0.308	0.384	0.476	0.344
安顺	0.339	0.258	0.351	0.329	0.316	0.281	0.370	0.404	0.282
六盘水	0.472	0.270	0.376	0.475	0.326	0.333	0.527	0.387	0.393
毕节	0.343	0.266	0.366	0.366	0.295	0.281	0.429	0.361	0.308
贵阳	0.332	0.246	0.480	0.331	0.288	0.440	0.385	0.331	0.527
遵义	0.311	0.334	0.440	0.289	0.380	0.355	0.313	0.408	0.414
铜仁	0.273	0.288	0.398	0.245	0.332	0.338	0.285	0.393	0.378

(3) 自然因素影响。自然因素主要包括了:降水、温度、岩性、自然灾害等。研究区属于典型的喀斯特区域,碳酸盐岩与非碳酸盐岩均有分布。黔东南州、黔南州、铜仁、遵义海拔较低,降水充足、光照条件好,孕育了广袤的森林和独特的风景,NPP 及水源涵养量高,状态指标值大。黔东南州是研究区内非碳酸盐岩覆盖最高的区域,加上较好的水热条件,其状态指标值最高达 0.55。黔西南州及黔南州有大量的碳酸盐岩分布,存在着不同程度的石漠化现象,响应、状态指标较黔东南州低。

(4) 环境污染。贵州省环境公报数据显示,2000—2010 年废水排放量贵阳、黔西南州、毕节、黔南州均逐年增加,排放量逐年减少的唯有黔东南州,其中排放量最大的为贵阳,数值达 1.59 亿 t/年,而涨幅最大的为毕节由 0.35 亿 t/年涨至 0.7 亿 t/年,翻了一倍。十年中研究区内空气污染指数毕节、黔西南州、六盘水、安顺逐年增加,涨幅最大的毕节有 0.72 涨至 1.67,遵义虽然呈现出逐年降低的趋势,但污染指数为全省最高达 2.23。该数据与生态系统健康评价结果具有一致性,排放量大的区域生态系统健康水平较低,典型的有毕节、六盘水。

(5) 国家政策。近年来,随着可持续发展、生态文明建设的提出,贵州省也响应国家号召,开展了一系列环境保护生态建设计划,如石漠化治理工程、退耕还林等,这些工程有收获了一定的成效。

4 讨论

传统的生态系统健康评价选择的评价指标以经济社会因素为主,很少涉及生态系统的自然属性,因

此本文在评价指标的选取中加入生物量、净初级生产力作为生态系统的自然属性定量的评价生态系统活力;贵州省最主要的生态问题就是水土流失和石漠化,针对这一特点,本文选取水源涵养、土壤保持及石漠化敏感性进行研究区生态系统功能评价;自然属性指标加上传统的经济社会因素指标形成了文中的评价系统,旨在客观的、定量的、较为全面的得出贵州省生态系统健康评价。

根据贵州省环境公报可知,贵州省 2000—2010 年环保投入总额分别为 10.98 亿元、33.26 亿元、89.45 亿元,退耕还林面积分别为 1.81,4.66,1.33 万 hm<sup>2</sup>,该数据与本文评价结果保持一致,随着不断增加的环保投入,研究区生态系统健康状况呈现出逐渐转好的趋势;由于退耕还林政策的推广,2005 年贵州省退耕还林实施力度最为明显,不仅大大增加了研究区林地覆盖的比例,还使生物量、净初级生产力以及生态系统服务功能所产生的价值都得到了显著提高,同时促使石漠化治理工程卓见成效,研究区生态系统健康平均值达到最大值,说明该模型能够较好的反映出大范围生态系统健康的变化情况,评价结果真实可靠。不断加大的环保投入反映出贵州省对环境保护的重视程度,客观、精确的评价结果可以为环保部门提供科学、有力的依据,有助于提高环保投入的准确性。

5 结论

以典型喀斯特区域贵州省作为研究区,基于 PSR 模型得到贵州省生态系统健康状况分布及 2000—2010 年生态系统健康变化情况,不仅有利于探索贵州生态建设方案,还可以作为近十年来贵州生态保护实施情

况的检验。通过上述分析得出以下结论:(1) 贵州省生态系统健康状况整体水平较差,分布情况呈现出明显的三级阶梯变化,生态系统健康值:东南部>中部>西北部;(2) 2000—2010年贵州省生态系统健康状况逐渐转好,但是变化不是很明显,且健康值最大值与最小值之间差距逐年扩大;(3) 生态系统健康状况最好的有赤水市、黎平县、锦屏县、榕江县、江口县,最差的有南明区、威宁县、贞丰县。赤水市、普定县、黔西县、万山特区生态系统健康等级呈正向变化,威宁县与晴隆县呈负向变化。(4) 地州市生态系统健康变驱动因素具有差异性,健康平均值黔东南州、黔南州最高,毕节、六盘水最低,且毕节呈现逐年降低趋势。

针对于上述结论,对于贵州省生态建设提出以下建议:(1) 加快生态红线划定工作,重点保护东南部,整治西北区;(2) 合理制定发展方案控制经济差距扩大化;(3) 在重点排放区铺设废水废气处理系统,集中进行生态化处理,着力发展生态农业,并在全省范围内建立生态补偿和赔偿体系;(4) 在生态保护过程中实施分级规划和管理,针对各区域特点制定不同的环境保护方案和生态管理制度;(5) 做好宣传教育,提高群众生态保护意识,创造更多的就业机会,积极开展生态修复和重建工作。

#### 参考文献:

[1] 罗跃初,周忠轩,孙轶,等.流域生态系统健康评价方法[J].生态学报,2003,23(8):1606-1614.

[2] 汪娜,韩永刚,黄义雄,等.福州市建成区生态系统健康评价研究[J].水土保持通报,2014,21(2):200-204.

[3] 赵旭阳,高占国,韩晨霞.基于生态复杂性的湿地生态系统健康评价[J].地理科学进展,2008,27(4):61-67.

[4] 张凤太,苏维词,赵卫权,等.基于生态足迹模型的喀斯特高原山地生态系统健康评价研究[J].水土保持通报,2011,31(1):256-261.

[5] 刘明华,董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J].地理研究,2006,25(5):930-938.

[6] Bartell S M, Lefebvre G, Kaminski G, et al. An ecosystem model for assessing ecological risks in Quebec rivers, lakes, and reservoirs[J]. Ecological Modelling, 1999,124(1):43-67.

[7] 杨主泉,张志明.基于 PSR 模型的桂林市旅游生态安全动态评价[J].福建林业科技,2014,41(1):159-165.

[8] 高占国,朱坚,翁燕波,等.多尺度生态系统健康评价:以宁波市为例[J].生态学报,2010,30(7):1706-1717.

[9] 赵帅,柴立和,李鹏飞,等.城市生态系统健康评价新模型及应用:以天津市为例[J].环境科学学报,2013,33(4):1173-1179.

[10] 李茂娟,李天奇,王欢,等.基于模糊综合评判的长春市生态系统健康评价[J].水土保持研究,2013,20(1):254-259.

[11] 胡碧玉,胡昌升,郭郡郡.基于熵权的川北城市生态系统健康综合评价[J].水土保持研究,2010,17(6):158-162.

[12] 杨斌,隋鹏,陈源泉,等.生态系统健康评价研究进展[J].中国农学通报,2010,26(21):291-296.

[13] 曹欢,苏维词.基于模糊数学综合评价法的喀斯特生态系统健康评价[J].水土保持研究,2009,16(3):148-154.

[14] 曹欢,苏维词.喀斯特生态系统健康评价方法比较研究[J].环境科学与技术,2010,33(1):183-187.

[15] 周文龙,赵卫权,苏维词,等.基于子系统的云台山喀斯特生态系统健康评价指标体系初探[J].贵州科学,2013,31(5):93-97.

[16] Waltz R. Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany[J]. Environmental Management,2000,25(6):613-623.

[17] 徐明德,李静,彭静,等.基于 RS 和 GIS 的生态系统健康评价[J].生态环境学报,2010,19(8):1809-1814.

[18] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].自然资源学报,2004,19(4):480-488.

[19] 张盼盼,胡远满,肖笃宁,等.一种基于多光谱遥感影像的喀斯特地区裸岩率的计算方法初探[J].遥感技术与应用,2010,25(4):510-514.

[20] 郭文强,安裕伦,刘世曦.基于变异系数法的贵州省石漠化驱动力研究[J].安徽农业科学,2011,39(15):9158-9159.