

武陵山片区区域生态安全测度与评价

邵佳^{1, 2}, 冷志明²

(1. 中南大学资源与安全工程学院, 中国湖南长沙 410083;

2. 吉首大学商学院, 中国湖南吉首 416000)

【摘要】基于PSR模型框架, 借鉴熵权法与灰色关联思想, 构建区域生态安全综合评价模型, 以武陵山片区为例对跨省区的不同经济体进行生态安全综合评价与比较分析。结果表明: ①在2008—2014年间, 武陵山片区的生态安全综合指数、生态状态指数和生态响应指数总体上均呈上升趋势, 生态压力指数总体却呈下降趋势, 该时期内武陵山片区在社会经济发展的同时, 生态环境整体状况逐步好转。②武陵山片区的生态环境改善显著, 但大部分市州生态安全等级仍处于第Ⅲ级, 生态安全状况一般, 生态环境仍面临巨大压力。③武陵山片区各市州的生态安全状况差异显著, 各市州在制订具体应对政策措施时, 既要借鉴片区内生态环境改善的有益经验, 也要关注片区生态安全的差异, 针对不同情况采取相应对策。

【关键词】生态安全评价; PSR模型; 熵权法; 武陵山片区

【中图分类号】F062.2

【文献标志码】A

【文章编号】1000 - 8462 (2016) 10 - 0166 - 06

DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2016.10.023

生态安全与国家的政治安全、军事安全、领土安全、金融安全一样, 是国家安全的重要组成部分^[1]。安全的生态环境是实现区域经济社会可持续发展的重要基础与前提。维护区域生态安全, 关键是加强区域生态环境管理, 而区域生态安全评价可以为区域生态环境管理和决策提供科学依据。国内外学者高度重视区域生态安全评价研究, 在理论与实践上做了大量的研究工作, 取得了丰硕的研究成果。在理论层面, 对生态安全的内涵^[2]、生态安全系统的结构和特点^[3]、区域生态安全形成机理^[4]等问题进行了深入研究。在实践层面, 主要以土地^[5]、流域^[6-8]、湿地^[9-10]、特殊生态功能区^[11]、城市^[12-13]等为研究对象, 基于“状态—隐患—响应”(SDR)^[4]、“压力—状态—响应”(PSR)^[6]、“驱动力—状态—响应”(DSR)^[7]、“驱动力—压力—状态—影响—响应”(DPSIR)^[8, 14]等评价模型, 构建评价指标体系, 采用数字地面模型法^[6, 9]、数学模型法^[7, 12, 15]、生态模型法^[16-17]、景观生态模型法^[18-19]等评价方法对不同研究对象的生态安全等级进行评价与分析。

收稿时间: 2016 - 03 - 20; 修回时间: 2016 - 08 - 27

基金项目:“武陵山片区扶贫与发展”湖南省普通高校2011协同创新中心资助; 教育部人文社会科学研究规划基金项目(11YJA790070); 湖南省软科学项目(2012ZK); 湖南省教育厅科研项目(13C765); 吉首大学校级人文社会科学研究项目(16SKA021)

作者简介:邵佳(1981—), 女, 湖南湘阴人, 博士研究生, 讲师。主要研究方向为循环经济、生态系统安全性。E-mail: shaojia008@163.com。

现有研究文献对于区域生态安全评价的研究，主要是对同一经济体进行综合评价，很少对跨省区的不同经济体进行生态安全综合评价与比较分析。武陵山片区，地处湖南、湖北、重庆和贵州4省市交界处，包括71个县（市、区），其中湖南37个县市、贵州16个县市、湖北11个县市、重庆7个县区。国土面积17.18万km²，境内有土家族、苗族、侗族、白族和回族等9个世居少数民族。该片区集革命老区、民族地区和贫困地区于一体，是跨省交界面大、少数民族聚集多、贫困人口分布广的连片特困区和经济协作区。片区内生态环境脆弱，有乌江、清江、澧水、沅江、资水等主要河流，既是长江、珠江、洞庭湖的重要水源补给地区，更是维护和保障全国生态平衡的资源宝库，具有水土保持、水源涵养、气候调节和生物多样性保护等多重生态功能^[20]。因此，本文以武陵山片区为例，对跨区域的经济体进行生态安全评价和比较分析，这对促进武陵山片区经济社会与生态环境保护协调发展、保障区域生态安全具有十分重要的意义。

1 研究方法与数据来源

1.1 生态安全评价指标体系构建

生态安全是指人的生产生活不受威胁的状态，包括了自然、经济和社会的复合人工生态安全系统。构建一套科学、合理的指标体系是区域生态安全评价的重要基础。评价指标体系采用经济合作与开发组织（OECD）和联合国环境规划署（UNEP）共同提出的P-S-R概念模型，即压力（pressure）—状态（state）—响应（response）模型。其中，压力指标表征人类的经济和社会活动对环境的作用；状态指标反映特定时间阶段的社会、环境状态和变化情况；响应指标指社会和个人为减轻、恢复和预防人类活动对环境的负面影响、实现可持续发展所采取的措施^[12]。根据P-S-R模型框架，在参考国内外生态安全评价指标体系的基础上^[7-13, 21]，结合武陵山片区的具体情况，初步确定生态安全评价指标体系，并采用主成分分析、独立性分析方法对初选指标进行提取与完善，并最终构建武陵山片区生态安全评价指标体系（表1）。

表1 区域生态安全评价指标体系
Tab.1 Evaluation index system of regional ecological security

项目	类型	指标层	基准值
区域生态安全评价指标A	压力B ₁	人口密度(人/km ²)C ₁	100
		人口自然增长率(‰)C ₂	5
		单位耕地面积农药使用量(kg/hm ²)C ₃	30
		单位耕地面积化肥使用量(kg/hm ²)C ₄	250
		单位工业产值废水排放量(t/万元)C ₅	6
		单位工业产值固体废弃物产生量(t/万元)C ₆	1
		人均生活污水排放量(t)C ₇	15
		单位GDP耗能(t标准煤/万元)C ₈	0.9
		单位工业产值用水量(t/万元)C ₉	30
		城镇居民人均住房面积(m ²)C ₁₀	35
	状态B ₂	农民人均纯收入(元)C ₁₁	6 000
		每万人拥有卫生技术人员(人)C ₁₂	50
		人均公共绿地面积(m ²)C ₁₃	11
		森林覆盖率(%)C ₁₄	70
		人均耕地面积(hm ²)C ₁₅	0.08
	响应B ₃	人均粮食产量(kg)C ₁₆	415
		旅游总收入占GDP比重(%)C ₁₇	35
		环保投资占固定资产投资总额比重(%)C ₁₈	3.5
		工业废水达标排放率(%)C ₁₉	95
		生活污水处理率(%)C ₂₀	85
		受保护地区占国土面积比重(%)C ₂₁	20
		固体废物综合利用率(%)C ₂₂	90
		工业用水重复利用率(%)C ₂₃	80

1.2 生态安全评价模型

① 构建评价指标矩阵

评价各地区 n 年的包括 m 个评价指标的生态安全状况，需构建其样本矩阵为：

$$X = \{x_{ij}\}_{n \times m} \quad (0 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq m) \quad (1)$$

本文采用极差法对各个指标进行无量纲化处理。

② 确定评价指标权重

本文采用熵权法计算指标权重^[22]。第 j 项指标在第 i 个评价对象的所有指标值中所占比重为 f_{ij} ，其计算公式为^[23]：

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

第 j 项指标的熵值为 E_j ，其计算公式为^[23]：

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

式中： $k = 1/\ln n$ ；当 $f_{ij} = 0$ 时， $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

第 j 项指标的熵权为 w_j ，其计算公式为^[23]：

$$w_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^m (1 - E_j) \quad (4)$$

式中： $w_j \in [0, 1]$ ， $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。

③ 计算关联系数

X_{ij} 为第 i 个评价对象的第 j 个评价指标， R_j 为第 j 个指标的基准值， U_{ij} 为第 i 个评价对象关于第 j 个评价指标标准化后的数值^[23]：

对于正向指标，当 $X_{ij} > R_j$ 时， $U_{ij} = 1$ ；当 $X_{ij} < R_j$ 时， $U_{ij} = X_{ij} / R_j$ ；

对于逆向指标, 当 $X_{ij} < R_j$ 时, $U_{ij}=1$; 当 $X_{ij} > R_j$ 时, $U_{ij}=R_j / X_{ij}$ 。

各指标基准值标准化后化为最优向量 $G = \{g_1, g_2 \cdots g_{13}\}$, 其中 $g_j = R_j / R_j = 1$ 。

利用灰色关联系数公式计算评价指标 U_{ij} 与最优向量 G 的关联系数 $\zeta_{ij}(U_{ij}, G)$, 计算公式为^[15]:

$$\zeta_{ij}(U_{ij}, G) = \frac{\min_i \min_j |U_{ij} - g_j| + \rho \max_i \max_j |U_{ij} - g_j|}{|U_{ij} - g_j| + \rho \max_i \max_j |U_{ij} - g_j|} \quad (5)$$

式中: $\min_i \min_j |U_{ij} - g_j|$, $\max_i \max_j |U_{ij} - g_j|$ 分别为样本两级极小差和样本两级极大差; $\rho \in (0, \infty)$ 称为分辨系数, ρ 越小, 分辨力越大, 当 $\rho \leq 0.563$ 时, 分辨力最好, 通常取 $\rho = 0.5$ ^[15]。

④ 计算生态安全指数

通过计算第 i 个评价对象与最优向量 G 的关联度 R , 即第 i 个评价对象的生态安全指数, 则可以反映不同时期研究区生态安全等级程度, 其计算公式为^[15]:

$$R = \sum_{j=1}^m w_j \times \zeta_{ij}(U_{ij}, G) \quad (6)$$

1.3 生态安全评价标准

在参考相关研究成果的基础上^[15, 23], 并咨询有关方面的专家, 设置了武陵山片区区域生态安全分级标准(表2), 计算得到的指标值分别对应某一等级的生态安全程度, 指标值越高, 则安全评价等级越高, 相应地, 生态环境越好, 越能满足人类生存发展需求; 反之, 指标值越低, 说明该区域生态越恶劣, 人类生存发展面临问题越多。

1.4 数据来源

武陵山片区地处湖南、湖北、重庆、贵州四省市交界区域, 涉及11个地级市和1个直辖市, 鉴于研究需要和数据的可获得性, 本文仅选取武陵山片区区域涉及范围较大的7个地级市来研究它们的生态安全问题, 包括湖南省湘西自治州、怀化市、张家界市、邵阳市, 湖北省恩施自治州, 贵州省铜仁市和遵义市。研究数据来自于2008—2014年这7个市州的统计年鉴及统计公报。

此外, 为满足研究需要, 本文将区域生态安全评价体系中的各单项评价指标均设定一个安全基准值, 其中: 指标 C_2 、 C_8 、 C_{10} 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{22} 、 C_{23} 的基准值, 以《国家级生态县、生态市、生态省建设指标》《国家园林城市标准》《小康社会标准》等为依据设定; 指标 C_1 、 C_3 、 C_4 、 C_{15} 的基准值, 以相关国际标准为依据设定; 指标 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_9 、 C_{17} 、 C_{19} 的基准值, 则结合研究区特点, 参照发达地区和生态较好地区的发展情况、武陵山片区各地市生态文明建设要求, 以及“十二五”建设规划要求为依据进行设定。各单项评价指标的安全基准值详见表1。

2 武陵山片区区域生态安全测度与分析

根据上述指标体系及模型构建过程,计算得到武陵山片区2008—2014年各单项指标与基准值之间的关联度,即各指标生态安全指数,在此基础上汇总得到武陵山片区2008—2014年区域生态安全综合指数、压力指数、状态指数和响应指数。

表2 生态安全分级评价标准
Tab.2 Classification criterion of ecological security

生态安全指数取值范围	等级	评语	生态安全特征描述
<0.45	I	恶劣	生态环境恶劣,不适合人类生存发展
0.45~0.55	II	差	生态环境较差,勉强满足人类生存发展需求
0.55~0.65	III	中	生态环境一般,基本满足人类生存发展需求
0.65~0.75	IV	良	生态环境较好,较适合人类生存发展
>0.75	V	优	生态环境优越,适合人类生存发展

2.1 生态安全综合指数测度及分析

总体而言,在2008—2014年间武陵山片区七个市州的生态安全综合指数呈逐年上升趋势,说明该片区区域生态环境得到大幅改善,生态系统的服务功能得到逐步恢复。但由于片区内部各区域生态系统结构存在差异,各市州生态环境改善程度亦存在明显差异。从表3可看出,湘西、恩施、铜仁三市州的生态安全指数较低,生态系统风险最大;张家界、怀化2地市的生态安全指数较高,生态系统风险最小;邵阳、遵义两地市居中。具体而言,湘西、恩施、铜仁3市州多山地,适宜经济发展的资源稀缺,经济发展水平相对落后,人均收入水平低,贫困发生率高,社会各项事业发展相对落后,环境保护意识淡薄,环境污染问题突出,人们为了生存,过度掠夺资源,造成森林面积减少,水土流失、石漠化现象严重,在2008—2011年间,上述3市州的生态安全指数处在0.4579~0.5453之间,安全评级居于I与II之间,生态环境较差,难以满足或基本满足人类生存发展需要。2012年以后,由于各地区积极推动低碳经济的发展,湘西、恩施、铜仁3市州的生态安全指数大幅提升,生态环境改善显著,但由于绿色经济发展起步较晚,上述地区生态安全等级仍处于较低发展水平,仅恩施勉强达到安全评级IV。张家界、怀化、邵阳等地地势相对平缓、山地面积占比相对较低,经济发展水平较高,总体上生态安全等级相对较高。张家界、怀化2市2008—2014年的生态安全指数处在0.5992~0.7718之间,安全评级居于III和V之间,说明张家界、怀化两市的生态环境不断得到改善,在该区域实现了环境与经济的协调发展。在2008—2014年间邵阳、遵义两市生态环境亦得到稳步改善,生态安全指数处在0.5347~0.6883之间,安全评级居于II和IV之间,生态环境与当地经济社会发展逐步相适应。

2.2 生态压力测度及分析

根据表4所示,武陵山片区七个市州的生态压力指数整体呈现下降趋势,原因是片区内不断推进生态文明示范工程、防护林和天然林保护工程、“绿色行动”拓展工程以及工业污染治理等重点生态工程建设项目,有效缓解了片区内生态压力,有利于各地区生态安全综合指数不断提升,但近2年湘西、怀化2市州的生态压力指数小幅反弹,生态压力给生态系统带来的潜在风险仍不能忽视。具体来看,湘西、恩施、铜仁、邵阳4市州的生态压力指数相对较高,怀化市生态压力指数次之,但其变动幅度较大,张家界的生态压力指数则处于相对较低的水平。在生态压力指数较高的湘西、恩施、铜仁等市州,适宜居住的土地资源稀缺,土壤贫瘠,生存、生产条件恶劣,粗放式的经济发展方式对环境影响较大,长期以来,这些地区人口密度、单位耕地面积化肥使用量、单位工业产值固体废物排放量等指标值一直较高,与相关标准所设定的安全值相差较大,这给上述地区生态系统安全带来较大威胁,制约了区域生态环境质量的改善与生态压力指数的下降,从而导致湘西、恩施、铜仁等地区的生态安全综合指数处于7个市州中的较低水平。在张家界,工业生产给环境带来的负面影响较小,如工业生产过程中的“三废”排放量长期控制在较低水平,生态系统面临的压力较小,生态系统的安全性较高。

表3 基于PSR模型的武陵山片区区域生态安全综合指数
Tab.3 The comprehensive evaluation index of ecological security in Wuling Mountain Area based on PSR Model

地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
湘西自治州	0.4623	0.5052	0.5334	0.5231	0.5862	0.5739	0.6014
怀化市	0.5992	0.6160	0.6748	0.6678	0.6976	0.7211	0.7554
张家界市	0.6347	0.6576	0.6842	0.7251	0.7465	0.7569	0.7718
邵阳市	0.5479	0.5724	0.5945	0.6197	0.6408	0.6572	0.6883
恩施自治州	0.4583	0.4729	0.5104	0.5453	0.5691	0.6085	0.6486
铜仁市	0.4579	0.4724	0.4903	0.5233	0.5483	0.5667	0.6059
遵义市	0.5347	0.5473	0.5794	0.6079	0.6391	0.6556	0.6631

表4 基于PSR模型的武陵山片区区域生态压力指数
Tab.4 The pressure evaluation index of ecological security in Wuling Mountain Area based on PSR Model

地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
湘西自治州	0.7696	0.7639	0.7319	0.7254	0.7090	0.7316	0.7254
怀化市	0.6704	0.6646	0.6943	0.6473	0.6772	0.6746	0.6767
张家界市	0.6453	0.6374	0.6439	0.6348	0.6296	0.6265	0.6194
邵阳市	0.7085	0.7129	0.7015	0.6857	0.6921	0.6794	0.6738
恩施自治州	0.7454	0.7518	0.7433	0.7315	0.7298	0.7163	0.6875
铜仁市	0.7513	0.7499	0.7524	0.7414	0.7335	0.7306	0.7211
遵义市	0.7165	0.7230	0.7118	0.7005	0.6826	0.6692	0.6449

2.3 生态状态测度及分析

区域生态状态指数值与生态安全综合指数值呈正相关关系，即生态系统状态越好，生态安全等级越高。从表3、表5可以看出，生态系统状态指数靠前的张家界、怀化，7年来生态安全等级一直排在前列，而生态系统状态指数靠后的地区，其生态安全等级则处于较低层级。从资源环境上看，张家界生态资源丰富，长期以来森林覆盖率高达65%以上，较高的森林覆盖率有利于维护区域生态系统的多样性、涵养水源、净化空气，改善生态环境质量。张家界也是我国重要的旅游城市之一，旅游业的发展带动了该地区包括住宿、餐饮、交通等在内的第三产业的发展，人们收入水平不断提高，居民素质得到提升，环保意识增强，包括提高资源利用率、保护环境等在内的社会各项事业得到发展，因此该市生态状态指数一直较高，且不断上升。怀化市是国家环保部正式命名的湖南省首个市级“国家生态示范区”，该市生态环境优良，区位优势较为优越，是中西部地区重要的交通枢纽，依靠得天独厚的地理、生态优势，该市的经济发展状态和资源、环境保护状态良好。邵阳、遵义、恩施、湘西、铜仁等五个州市的生态状态指数明显低于张家界和怀化，主要是由于上述五个地区的各项社会事业、经济发展相对落后、生态资源相对贫瘠，较低的生态状态指数导致这五个地区的生态安全综合指数也相对较低。

2.4 生态响应测度及分析

生态响应指数值反映社会、个人为降低生态风险，实现区域可持续发展所做出的努力程度，生态响应指数越高，人类活动对生态系统的不利影响越小。从表6可知，虽然武陵山片区各州市的生态响应指数差异较大，但整体上却呈上升趋势。具体而言，张家界、怀化市生态响应指数较高，响应力度较大；邵阳、遵义两市次之；恩施、湘西、铜仁三州市生态响应指数较低，响应力度较小。这也与表3中各州市生态安全综合指数的变化趋势大体一致。从反映生态响应指数的7个具体评价指标的变化趋势来分析，研究初期，由于各州市社会、经济发展相对落后，环境保护意识淡薄，环保事业投入的人力、物力、财力有限，各种提高资源利用率的技术不强，导致工业废水达标排放率、生活污水处理率、固体废物综合利用率、工业用水重复利用率等指标值偏低，严重制约了生态安全综合指数的提升。研究中后期，各州市社会、经济取得长足发展，人们的环境保护意识增强，政府对环保事业投入力度加大，加上经济结构优化升级，对生态环境影响较大的落后产能企业遭到淘汰和强制退出，各州市生

态环境逐步得到改善，生态安全综合指数均有不同程度的提升。

表5 基于PSR模型的武陵山片区区域生态状态指数

Tab.5 The state evaluation index of ecological security in Wuling Mountain Areat based on PSR Model

地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
湘西自治州	0.4463	0.4626	0.4831	0.4712	0.5138	0.5229	0.5336
怀化市	0.5566	0.5629	0.6009	0.6114	0.6491	0.6774	0.7325
张家界市	0.5413	0.5864	0.6205	0.6537	0.6843	0.6985	0.7167
邵阳市	0.4736	0.4961	0.5148	0.5492	0.5511	0.5734	0.6126
恩施自治州	0.4231	0.4451	0.4668	0.4806	0.4885	0.5092	0.5558
铜仁市	0.4215	0.4337	0.4578	0.4786	0.4812	0.4853	0.5143
遵义市	0.4532	0.4739	0.4894	0.5103	0.5439	0.5616	0.6024

表6 基于PSR模型的武陵山片区区域生态响应指数

Tab.6 The response evaluation index of ecological security in Wuling Mountain Area based on PSR Model

地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
湘西自治州	0.4505	0.4728	0.4765	0.4717	0.5251	0.5061	0.5202
怀化市	0.4721	0.5231	0.6320	0.6053	0.6356	0.7161	0.7332
张家界市	0.4951	0.5543	0.6072	0.6793	0.7031	0.7116	0.7258
邵阳市	0.4793	0.4998	0.5117	0.5423	0.5503	0.5632	0.6149
恩施自治州	0.4329	0.4534	0.4703	0.4731	0.4819	0.5314	0.5432
铜仁市	0.4308	0.4483	0.4639	0.4763	0.4831	0.4911	0.5239
遵义市	0.4655	0.4814	0.5089	0.5218	0.5423	0.5619	0.5982

3 结论与建议

3.1 结论

①在2008—2014 年间，武陵山片区各市州的生态安全综合指数、生态状态指数和生态响应指数总体上均呈上升趋势，生态压力指数总体却呈下降趋势，这表明该时期内武陵山片区在社会经济发展的同时，生态环境整体状况逐步好转。该结论与近年来各市州生态环境发展趋势相符，可以为相关综合评价提供参考。

②虽然武陵山片区各市州的生态环境改善显著，但从该地区生态安全等级状况来看，大部分市州生态安全等级仍处于第Ⅲ级，生态安全状况一般，生态环境仍面临巨大压力。

③从地区发展看，张家界、怀化两市的生态安全环境明显优于其他市州，而恩施、湘西、铜仁三市州则明显处于劣势，这表明武陵山片区各市州的生态安全状况差异显著。各市州在制订具体应对政策措施时，既要借鉴片区内生态环境改善的有益经验，也要关注片区生态安全的差异，针对不同情况采取相应对策。

3.2 建议

为了进一步提升武陵山片区区域生态环境质量，维护片区生态安全，实现环境与经济协调发展，可以从产业结构调整、环境保护、资源合理利用等方面，对处于不同生态安全状态的地区采取不同的政策。

第一, 针对生态安全处于较高等级的张家界、怀化等地区, 应继续发挥区位优势、资源优势, 加速经济发展的同时进一步完善生态系统服务功能, 实现环境保护与经济的双赢目标。同时要创新跨省区域合作模式, 相互借鉴发展的有益经验, 对片区内资源进行有机整合和深度开发, 特别要发挥片区内旅游资源的整体优势, 统筹区域旅游资源的保护、开发和利用, 做到资源共享、优势互补、差异发展。

第二, 针对生态安全处于中等水平的邵阳、遵义等地区, 应坚持绿色发展思路, 适时调整经济结构, 限制高能耗、高水耗、高污染行业的发展, 逐步推动传统产业的生态转型。同时积极倡导循环经济理念, 大力研发清洁生产技术, 不断提高资源利用效率, 推进环境友好型产业集群的发展, 实现污染集中治理、产业集约发展, 从而有效缓解经济发展对生态环境带来的压力。

第三, 针对生态安全处于较低等级的湘西、恩施、铜仁等地区, 应积极建立并完善区域生态风险预警及调控机制, 增强人们的环保意识, 营造尊重环境、保护环境、珍惜自然的生态文明建设氛围。同时要加大环保事业投入力度, 加强城镇环境保护基础设施建设; 加强工、农业治污力度, 着力淘汰落后产能; 运用新技术, 切实做好矿山、尾矿库生态修复, 确保生态环境质量总体得到改善。

参考文献:

- [1] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题 [J]. 环境保护, 2002(5): 3 - 5.
- [2] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础 [J]. 生态学报, 2004, 24(4): 761 - 768.
- [3] 尹晓波. 区域可持续发展的生态安全评价 [J]. 数量经济技术经济研究, 2003(7): 139 - 144.
- [4] 王耕, 吴伟. 区域生态安全机理与扰动因素评价指标体系研究 [J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(5): 11 - 15.
- [5] 李明月, 赖笑娟. 基于BP神经网络方法的城市土地生态安全评价——以广州市为例 [J]. 经济地理, 2011, 31(2): 289 - 293.
- [6] 解雪峰, 吴涛, 肖翠, 等. 基于PSR模型的东阳江流域生态安全评价 [J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1 702 - 1 711.
- [7] 谈迎新, 於忠祥. 基于DSR模型的淮河流域生态安全评价研究 [J]. 安徽农业大学学报: 社会科学版, 2012, 21(5): 35 - 39.
- [8] 李玉照, 刘永, 颜小品. 基于DPSIR 模型的流域生态安全评价指标体系研究 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2012, 48(6): 971 - 981.
- [9] 朱卫红, 苗承玉, 郑小军, 等. 基于3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 [J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1 379 - 1 390.
- [10] Jogo Wellington, Hassan Rashid. Balancing the Use of Wetlands for Economic Well- being and Ecological Security: the Case of the Limpopo Wetland in Southern Africa [J]. Ecological economic, 2010, 69(7): 1 569 - 1 579.
- [11] 徐成龙, 程钰, 任建兰. 黄河三角洲地区生态安全预警测度及时空格局 [J]. 经济地理, 2014, 34(3): 149 - 155.

-
- [12] 殷春雪, 李锋, 钱谊, 等. 基于熵权的长沙市生态安全综合评估 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 83 - 87.
- [13] 舒帮荣, 刘友兆, 徐进亮, 等. 基于BP-ANN的生态安全预警研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(9): 1 080 - 1 085.
- [14] Kelble Christopher R, Loomis Dave K, Lovelace, Susan, et al. The EBM- DPSEIR conceptual model: integrating ecosystem services into the DPSIR framework [J]. PLoS ONE, 2013, 8(8): 1 - 12.
- [15] 吴晓, 吴宜进. 基于灰色关联模型的山地城市生态安全动态评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 385 - 391.
- [16] Ruževičius Juozas. Ecological Footprint: Evaluation Methodology and International Benchmarking [J]. Current Issues of Business & Law, 2011, 6(1): 11 - 30.
- [17] 曹新向. 基于生态足迹分析的旅游地生态安全评价研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(2): 70 - 75.
- [18] Muradyan V S, Asmaryan Sh G. Applying Landscape-ecological Concept and GIS Modeling for Assessing and Mapping of Ecological Situation of Mountainous Landscapes (on the Case of Syunik Marz, Armenia) [J]. Geocarto International, 2015, 30(10): 1 077 - 1 091.
- [19] 李咏红, 香宝, 袁兴中, 等. 区域尺度景观生态安全格局构建——以成渝经济区为例 [J]. 草地学报, 2013, 21(1): 18 - 24.
- [20] 尚道文. 关于武陵山片区生态文明建设的战略思考 [J]. 环境与可持续发展, 2016(1): 107 - 111.
- [21] A P Belousova. A Concept of Forming a Structure of Ecological Indicators and Indexes for Regions Sustainable Development [J]. Environmental Geology, 2000, 39(11): 1 227 - 1 236.
- [22] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 260 - 266.
- [23] 张家其, 吴宜进, 葛咏, 等. 基于灰色关联模型的贫困地区生态安全综合评价: 以恩施贫困地区为例 [J]. 地理研究, 2014, 33(8): 1 457 - 1 466.