

基于压力-状态-响应模型的区域生态安全评价研究 ——以湖北省恩施州为例

周路林, 汪桂生*, 于伟宣, 童城 (安徽理工大学测绘学院, 安徽淮南 232001)

摘要 [目的] 定量评估区域生态安全的基本态势和变动特征。[方法] 以人类活动扰动较大的湖北省恩施州为例, 采用压力-状态-响应(P-S-R)模型, 结合区域自然环境、生态问题、经济社会发展水平等方面, 遴选人口密度、公路密度、人均GDP、人均耕地面积、第三产业比重等16个指标, 采用变异系数法和熵权法2种客观权重赋权法分别对各个指标进行赋权, 通过综合评价法对恩施州各县市的生态安全进行评定。[结果] 恩施州的生态安全度大多处于预警状态, 其中建始县的生态安全状况较好, 恩施市与巴东县的生态安全状况较差。[结论] 当地可根据自身实际情况, 综合科技、教育投入等多方面考虑, 采取切实、有效的方法以改善该区域的生态环境。

关键词 恩施州; P-S-R模型; 熵权法; 变异系数法; 生态安全

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)18-065-03

Regional Ecological Security Evaluation Based on Pressure-Status-Response Model —A Case of Enshi Autonomous Prefecture in Hubei Province

ZHOU Lu-lin, WANG Gui-sheng*, YU Wei-xuan et al (School of Surveying and Mapping, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001)

Abstract [Objective] To quantitatively evaluate the basic situation and changing characteristics of regional ecological security. [Method] With Enshi Autonomous Prefecture in Hubei Province as a case, Pressure-Status-Response (P-S-R) Model was adopted. Combining with the aspects of regional natural environment, ecological problem, economic and social development level, we selected 16 indexes of population density, road density, GDP per capita, cultivated land per capita, proportion of the tertiary industry and so on. Two objective weighting methods (coefficient of variation method, entropy weight method) were used to empower the indexes. Comprehensive evaluation method was used to evaluate the ecological security in different counties and cities of Enshi Autonomous Prefecture. [Result] The ecological security degree of Enshi Autonomous Prefecture was mainly in an early warning state. Among them, Jianshi County had relatively good ecological security status; while Enshi City and Badong County had relatively poor ecological security. [Conclusion] According to their own local situation, effective methods should be adopted to improve the ecological environment of the region, based on the comprehensive consideration of different aspects, such as increasing input in science, technology and education.

Key words Enshi Autonomous Prefecture; P-S-R model; Entropy method; Variation coefficient method; Ecological security

生态安全是指一个国家或人类社会生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态, 使生物与环境、生物与生物、人类与地球生态系统之间保持正常的功能与结构^[1]。恩施州水资源丰富, 生物多样性好, 植被覆盖率高, 属于湖北省乃至全国重要的生态功能区, 但是其自身的地质地貌特征决定了该区生态环境具有较高的脆弱性, 一旦被破坏就难以恢复。近年来, 随着当地经济社会的不断发展以及工业化的逐步展开, 区域的生态环境日趋恶化, 环境问题逐步暴露出来, 生态形势不容乐观, 主要表现为植被减少导致水土流失严重, 城市化、工业化和大型项目占用土地造成耕地面积减少以及工业废弃物、生活垃圾等致使环境污染严重等^[2]。为了评价恩施地区宏观生态安全及为区域可持续发展提供科学参考, 国内外学者对该地区的生态环境问题进行了较多研究。如詹丽等^[3]从人为干扰和环境影响2个方面出发遴选14个指标, 采用变异系数法对该地区的生态安全稳定性进行了研究; 张家其等^[4]通过灰色关联模型对该地区的生态安全进行评价。然而, 这些研究仅使用了单独一种客观权重确定方法, 无法评估权重确定的不确定性。为此, 笔者在既有研究基础上采用压力-状态-响应(P-S-R)

R)模型指标体系, 基于变异系数法与熵权法2种客观评价法对各指标进行赋权, 通过对比分析2种客观权重赋权法对各指标所赋的权重, 取2种客观赋权法的综合权重作为各指标的最终权重, 避免因赋权方法不同而导致评价结果的差别及单一方法带来的不确定性, 采用综合评价模型对该地区的生态环境进行评价, 以期为区域发展政策的制定提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 恩施州地跨108°23′12″~110°38′08″E, 29°07′10″~31°24′13″N, 位于湖北省西部, 地处云贵高原东延武陵山余脉与大巴山之间, 辖恩施、利川2市及建始、巴东、宣恩、来凤、咸丰、鹤峰6县(图1)。州域东西最宽220 km, 南北最长260 km, 总面积24 061.25 km²; 总人口397.61万; 森林覆盖率近70%。恩施州属亚热带山地湿润气候, 自然环境随海拔不同垂直差异明显^[3]; 少日照, 多秋雨, 河谷冬暖, 垂直差异明显^[5]。全州耕地面积约为3 800 km², 坡地多、平地少, 旱地多、水田少, 总体质量较低, 没有一级地^[6]。目前, 该区域面临水土流失与石漠化、干旱与洪涝、崩塌、滑坡、泥石流、居民生活、旅游发展、工业发展所造成的生活污染和固体废弃物、废水污染以及工程建设所造成的生态破坏等严重的环境问题^[5,7]。

1.2 数据来源 研究区域内各县市人口数、天气优良天数比率、用水普及率、全州总面积等社会统计资料源于2010年《恩施州统计年鉴》、《恩施州国民经济和社会发展统计公报》, 由湖北统计局官方网站获得(<http://www.stats-hb.>

基金项目 省级大学生创业创新训练项目(201510361338)。

作者简介 周路林(1994-), 男, 江西瑞昌人, 本科生, 专业: 地理信息科学。*通讯作者, 讲师, 博士, 从事遥感应用研究。

收稿日期 2016-05-25

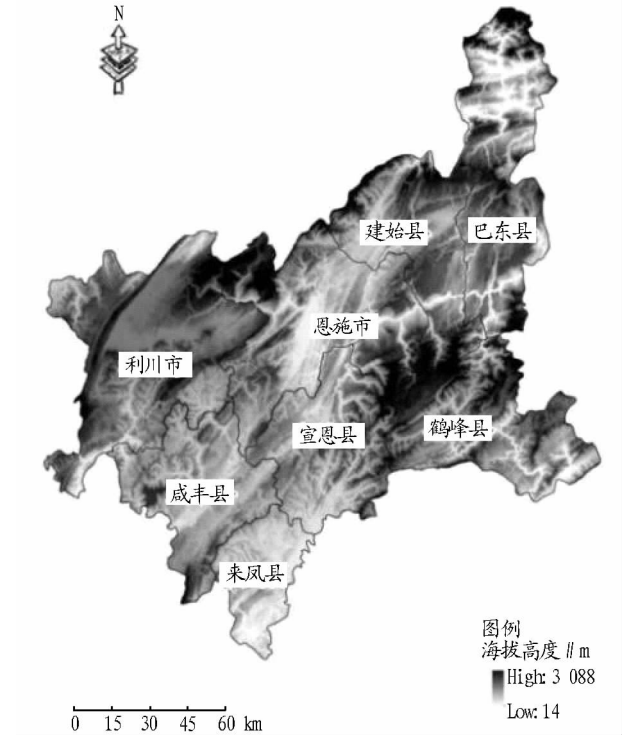


图1 恩施州地形图

Fig.1 The topographic map of Enshi Autonomous Prefecture gov. cn/). 恩施州各县市边界的矢量数据等国家基础地理信息、恩施州数字高程模型 (DEM) 数据来源于地理空间数据网 (<http://www.stats-hb.gov.cn/>)。

1.3 评价方法

1.3.1 评价指标体系的确定。采用由联合国经济合作开发署 (Organization for Economic Cooperation and Development) 所建立的“压力-状态-响应” (Pressure-State-Response, P-S-R) 评价体系^[4,8-9]。在 P-S-R 框架内,环境问题可以表述为 3 个不同但又相互联系的指标类型:压力 (Pressure) 指标反映人类活动给环境造成的负荷;状态 (State) 指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应 (Response) 指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施^[9-10]。从 P-S-R 模型出发,遵循科学性、完备性、针对性、可比性和可操作性的原则^[11],着眼于对区域生态环境、经济和社会方面的影响,达到自然、经济和社会之间协调的目的及考虑到与目前各种评价方法相适应,建立指标体系^[12]。该研究从自然、社会经济等领域中遴选出人口密度、人均耕地面积、第三产业比重等 16 个指标,并对此进行类型划分,将指标归类到压力、状态和响应 3 个大类下,建立生态安全评价指标体系 (表 1)。

1.3.2 指标数据的无量纲化处理。由于研究中所涉及的各项指标间的量纲不统一,缺乏可比性。因此,需要运用极差标准化法对指标进行无量纲化处理。指标的无量纲化处理的主要数学模型如下^[13]:

正向指标标准化: $y = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$ (1)

负向指标标准化: $y = \frac{(x_{\max} - x)}{(x_{\max} - x_{\min})}$ (2)

式中, $x_{\min}$ 为该项指标的最小值, $x_{\max}$ 为该项指标的最大值。

表 1 恩施州生态安全评价指标体系

Table 1 The index system of ecological security evaluation in Enshi Autonomous Prefecture

项目 Item	类型 Type	指标层 Index layer	指标层代码 Code of index layer
研究区生态安全指数 Ecological security index of re-search region	压力	人口密度 (人/km ²)	A ₁
		公路密度 (km/km ²)	A ₂
		人均 GDP (万元/人)	A ₃
		单位面积农药使用量 (kg/km ²)	A ₄
		单位面积化肥使用量 (kg/km ²)	A ₅
	状态	人均耕地面积 (人/km ²)	B ₁
		空气优良天数百分率 (%)	B ₂
		坡耕地百分比 (%)	B ₃
		每万人拥有床位数	B ₄
		用水普及率 (%)	B ₅
		有效灌溉面积占耕地比重 (%)	B ₆
	响应	第三产业比重 (%)	C ₁
		环境保护投入占 GDP 比重 (%)	C ₂
		建成区绿化覆盖率 (%)	C ₃
		科教支出占 GDP 比重 (%)	C ₄
		生活垃圾处理率 (%)	C ₅

1.3.3 指标权重的确定。确定各评价因素在生态安全评价中所起作用的大小或重要程度 (权重) 有多种方法,大致可分为主观和客观两大类。其中主观权重法主要是由专家根据经验主观判断而得,如专家调查法、层次分析法 (AHP)^[14-15]。这类方法需要大量的调查样本或专家知识为依据,否则会影响评价的真实度。客观赋权法是直接根据数据分布特点确定权重的方法,如数理统计法、数据包络分析法、熵值法、变异系数法等^[14-15]。客观权重法从数据自身出发来确定权重,避免了人的主观判断,在生态评价方面具有一定优势。为此,该研究采用客观权重法进行权重的确定,由于不同方法可能导致不同评价结果,因此采用熵值法和变异系数法 2 种客观权重方法分别进行权重的确定和对比分析,以判定评价的可信度。

1.3.3.1 熵权法。在信息论中,熵值越大,表示评价指标的值相差越小,则该指标的权重较小;反之,某项指标的值相差较大时,则熵值较小,该指标的权重较大^[16]。

j 项指标下第 i 个评价对象的指标值的比重为 f_{ij} ,计算方法为:

$f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij} (j = 1, 2, \dots, n)$ (3)

H_j 为第 j 项指标的熵值,计算方法为:

$H_j = -k \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} (k = 1/\ln m)$ (4)

当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

计算第 j 个指标的熵权为 w_j ,计算方法为:

$w_j = (1 - H_j) / \sum_{j=1}^n (1 - H_j) (w_j \in [0, 1], \sum_{j=1}^n w_j = 1)$ (5)

1.3.3.2 变异系数法。根据数据自身差异大小来确定指标权重。指标取值差异越大的指标,也就是越难以实现的指标,这样的指标更能反映被评价单位的差距^[3]。

计算第 j 项指标的变异系数 Q_j :

$$Q_j = S_j / \overline{y_{ij}} \tag{6}$$

式中, Q_j 为第 j 项指标的变异系数, $Q_j \in [0, 1]$; S_j 为第 j 项指标的均方差; $\overline{y_{ij}}$ 为第 j 项指标的各样本标准化取值的均值, $y_{ij} \in [0, 1]$ 。

计算第 j 项指标的权重 w_j :

$$w_j = O_j / \sum O_j \tag{7}$$

1.3.4 综合评价。综合评价是在指标值规范化和指标权重确定的基础上进行的^[17]。根据获得的权重和选取指标的数据,采用基于线性综合加权法模型构造的区域生态安全度综合指数 EQ 来对恩施地区的生态安全进行评价。其评价模型为:

$$EQ = \sum_{i=1}^n w_j y_{ij} \tag{8}$$

式中, EQ 表示生态安全度, $EQ \in [0, 1]$; w_{ij} 为各指标的综合权重; y_{ij} 为各指标标准化后的值。

2 结果与分析

根据所选各指标的权重及相关评价模型得到恩施州各市县 2010 年生态安全综合指数及压力—状态—响应指数(表 2)。由表 2 可知,采用 2 种评价方法,各县市的生态安全综合指数排序基本不变、结果相近,且各县市生态安全指数差异很小,不同方法评价结果表明客观评价法具有较好的一致性和可靠性,可以在一定程度上客观反映区域内生态安全现状。从压力方面看,宣恩和鹤峰 2 个县的压力指数最大,利川市最小;从状态方面看,各个地区的差异较小,表明各地的资源禀赋量相对均匀;从响应方面看,利川、建始、来凤 3 个地区指数较大,表明这些地区积极应对环境问题,如加大科教、环保投入,第三产业占 GDP 比重大,产业转型较好,积极响应政府号召退耕还林还草,城区绿化覆盖率普遍较高。

为了进一步对生态安全进行等级划分,在参考相关科

表 2 2010 年恩施州各市县压力-状态-响应指数及综合指数

市县 Cities and counties	熵权法 Entropy weight method					变异系数法 Coefficient of variation method				
	压力指数 Pressure index	状态指数 Status index	响应指数 Response index	综合指数 Comprehensive index	排序 Order	压力指数 Pressure index	状态指数 Status index	响应指数 Response index	综合指数 Comprehensive index	排序 Order
恩施 Enshi	0.144	0.130	0.091	0.365	8	0.149	0.124	0.105	0.378	8
利川 Lichuan	0.054	0.096	0.285	0.435	6	0.056	0.098	0.291	0.445	5
建始 Jianshi	0.109	0.223	0.305	0.637	1	0.110	0.221	0.315	0.646	1
巴东 Badong	0.141	0.120	0.107	0.368	7	0.145	0.122	0.117	0.384	7
宣恩 Xuaneng	0.206	0.213	0.082	0.501	3	0.209	0.213	0.087	0.509	3
来凤 Laifeng	0.146	0.239	0.135	0.520	2	0.148	0.236	0.142	0.526	2
咸丰 Xianfeng	0.084	0.177	0.225	0.486	4	0.085	0.168	0.234	0.487	4
鹤峰 Hefeng	0.210	0.155	0.083	0.448	5	0.207	0.155	0.080	0.442	6

研成果的基础上^[18],通过咨询有关方面的专家以及结合该研究的计算结果,采用等距法^[17]将生态安全综合指数划分为 5 个等级,设计恩施州生态安全分级标准(表 3),以期最大程度客观反映区域生态环境状况的差异。鉴于利用 2 种赋权方法得到的结果接近,研究中取 2 种评价方法的熵权法和的均值作为综合权值对当地的生态安全进行评价的最终结果(表 4)。从表 4 可以看出,恩施州的生态安全度大体处于预警状态下,各市县的生态安全指数按大小排序依次为建始、咸丰、宣恩、来凤、鹤峰、利川、巴东、恩施。其中建始县的生态安全综合指数最高,为 0.642,生态安全状况为良好,生态安全度为较安全。这与当地政府积极应对环境问题作出及时应对是分不开的,建始县的响应综合指数为 0.310,远大于其他市县,同时建始县的第三产业比重占总 GDP 的 60.7%,科教投入也相对较大,占总 GDP 的 7.41%,建成区绿化覆盖面积大、人口素质较高等均有效地维护了生态环境的良性状况,恩施市与巴东县人均耕地面积少、有效灌溉的耕地所占比重低、多坡地、城市绿化率低、人民生活贫困、环保意识不强、交通等基础设施落后等均导致当地生态安全状况较差,其生态安全度处于危险状态,建议当地政府加大环境保护的投入,加快实施产业的转型升级,落实

表 3 生态安全分级

生态安全指数 Index of ecological security	生态安全度 Degree of ecological security	生态安全状况 Status of ecological security
0 ~ 0.2	严重危险	差
0.2 ~ 0.4	危险	较差
0.4 ~ 0.6	预警	一般
0.6 ~ 0.8	较安全	良好
0.8 ~ 1.0	安全	优秀

表 4 恩施州各市县生态安全综合指数

Table 4 Ecological security comprehensive index in different counties and cities of Enshi Autonomous Prefecture

编号 Code	市县 Counties and cities	生态安全综合指数 Comprehensive index of ecological security
①	恩施	0.372
②	利川	0.440
③	建始	0.642
④	巴东	0.376
⑤	宣恩	0.506
⑥	咸丰	0.523
⑦	来凤	0.486
⑧	鹤峰	0.450

续表 3

编号 Code	实测值 Measured value	近红外预测值 Near infrared prediction value	偏差 Deviation	编号 Code	实测值 Measured value	近红外预测值 Near infrared prediction value	偏差 Deviation	编号 Code	实测值 Measured value	近红外预测值 Near infrared prediction value	偏差 Deviation
26	2.85	2.83	0.02	58	3.95	4.10	-0.15	90	3.93	3.81	0.12
27	3.67	3.87	-0.20	59	4.34	4.18	0.16	91	4.17	3.99	0.18
28	4.78	4.62	0.16	60	3.28	3.30	-0.02	92	3.94	3.92	0.02
29	4.51	4.28	0.23	61	4.03	3.94	0.09	93	4.33	4.34	-0.01
30	4.14	4.34	-0.20	62	3.82	4.06	-0.24	94	4.64	4.65	-0.01
31	3.71	3.78	-0.07	63	4.01	4.02	-0.01	95	4.66	4.47	0.19
32	2.98	3.00	-0.02	64	5.22	5.30	-0.08				

3 结论

该研究先采用湿化学方法测定了 95 个烟叶样品的木质素含量,随后利用近红外光谱技术,建立了河南地区烟叶中木质素含量的预测模型,该预测模型的相关系数为 0.961 3,内部交叉检验均方根误差(RMSECV)为 0.104。以上分析表明,近红外光谱法可以实现对河南地区烟叶中木质素含量的快速预测。随后,将对模型建立过程中的相关影响因素进行深入分析,对模型逐步进行优化,形成实用性好、操作性强的近红外分析方法,促进其进一步推广应用。

参考文献

[1] 孔浩辉,李秀丽,黄翼飞,等. NaOH/尿素低温溶解法测定烟梗木质素含量的研究[J]. 中国烟草学报,2014,20(3):9-15.
[2] 刘发龙,马新刚,程福银,等. 近红外光谱分析技术在快速分析上的应用[J]. 分析测试技术与仪器,2008,14(4):241-247.

[3] 乐俊明,陈鹰,丁映,等. 近红外光谱分析法测定烟草化学成分[J]. 贵州农业科学,2005,33(3):62-63.
[4] 吴玉萍,邵岩,秦西云,等. 近红外光谱法快速检测烟草中的苹果酸、柠檬酸和石油醚提取物[J]. 烟草农业科学,2006,2(1):13-16.
[5] 段焰青,孔祥勇,李青青,等. 近红外光谱法预测烟草中纤维素含量[J]. 烟草科技,2006(8):16-20.
[6] 王家俊,梁逸增,汪帆. 偏最小二乘法结合傅里叶变换近红外光谱同时测定卷烟焦油、烟碱和一氧化碳的释放量[J]. 分析化学,2005,33(6):793-795.
[7] 段焰青,资祖华,王贤,等. 再造烟叶化学成分的 NIR 预测研究[J]. 云南烟草,2007(6):49-53.
[8] 刘栋梁,刘胜. 用近红外光谱法快速测定欧美杨中木质素的含量[J]. 红外,2012,33(11):39-43.
[9] 王晶,孙国英,王贤,等. 利用近红外光谱法测定玉米皮渣中的木质素、灰分及蛋白质[J]. 光谱实验室,2012,29(4):1978-1983.
[10] 黄安民,江泽慧,潘安龙,等. 杉木棕纤维素和木质素的近红外光谱测定[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(7):1328-1331.
[11] 楚文娟,李文伟,李颖. 酶解-温和酸解法分离烟梗木质素[J]. 广东化工,2015,42(17):75-76.

(上接第 67 页)

科学发展观,促进当地生态环境的改善。其他市县的生态安全状况为一般,生态安全度处于预警状态,建议当地政府采取相关措施改善环境,如加大环境保护、科技、交通、教育的投入,加速城市化进程,以科学发展观为指导,改善当地环境状况。

3 结论与讨论

该研究采用 P-S-R 评价模型遴选出 16 个指标,利用熵权法与变异系数法 2 种客观赋权法对所选指标进行确权。采用综合评价模型计算出恩施州各市县的生态安全综合指数,对各市县生态安全进行评价。经评价发现恩施州的生态安全度大致处于预警状态,其中建始县的生态安全状况较好,恩施市、巴东县的生态安全较差,应采取相关措施改善当地的生态环境。研究发现恩施州面临的主要环境问题有水土流失严重、人均耕地面积少、环境污染严重、人均收入低、生活经济困难等,建议当地政府深入贯彻落实科学发展观,坚持退耕还林还草,加大对教育、科技、环境保护、交通等的投资力度,切实改善当地的生态环境,真正做到全面协调可持续的人与自然和谐发展。

变异系数法与熵权法均比较客观,但是其难以代表决策者的主观意识,更为系统的赋权方法还有待深入研究。

参考文献

[1] 陈星,周成虎. 生态安全:国内外研究综述[J]. 地理科学进展,2005,24(6):8-20.
[2] 吕春建. 保护恩施州生态环境的对策研究[J]. 恩施州党校学报,2006

(2):28-30.
[3] 詹丽,张小月,黄蓉. 鄂西南地区生态稳定性评价研究:以恩施自治州为例[J]. 湖北农业科学,2015,54(4):1002-1006.
[4] 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):1457-1466.
[5] 杨世松,程伯禹. 鄂西南岩溶山地区人居环境容量探讨[J]. 水文地质工程地质,2001(5):35-39.
[6] 恩施州地方志编纂委员会. 恩施州志(1983-2003)[M]. 武汉:湖北人民出版社,2013.
[7] 岳琳,王瑶. 恩施州环境质量现状分析及污染治理措施[J]. 现代商贸工业,2007,19(4):18-19.
[8] 李翔,张家其. 贫困山区生态安全动态评价:以湖北省恩施自治州地区为例[J]. 安徽农业科学,2013,41(32):12692-12695,12710.
[9] 左伟,王桥. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究,2002,18(1):61-67.
[10] JERRY M S, MARIANO B, ANNALEE Y. Developing ecosystem health indicators in Centro Habana: A community-based approach[J]. Ecosystem-health, 2001, 7(1):15-26.
[11] 叶亚平,刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J]. 环境科学研究,2002,13(13):33-36.
[12] 魏兴萍. 基于 PSR 模型的三峡库区重庆段生态安全动态评价[J]. 地理科学研究,2014,29(9):1095-1099.
[13] 高长波,陈新庚,韦朝海,等. 广东省生态安全状态及趋势定量评价[J]. 生态学报,2006,26(7):2191-2197.
[14] 梁杰,侯志伟. AHP 法专家调查法与神经网络相结合的综合定权方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(3):59-63.
[15] 陶菊春,吴建民. 综合加权评分法的综合权重确定新探[J]. 系统工程理论与实践,2001(8):43-48.
[16] 邹志红,孙靖南,任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J]. 环境科学学报,2005,25(4):552-556.
[17] 邹长新,沈渭涛. 生态安全研究进展[J]. 农村生态环境,2003,19(1):56-59.
[18] 曾翠萍,邱慧珍,张文明,等. 基于 P-S-R 模型的庆阳市的生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(12):67-72.