

TOPSIS 法在区域生态安全动态评价中的应用

——以陕西省为例

陈西蕊, 张蓉珍

(西安文理学院 旅游与环境系, 陕西 西安 710065)

【摘 要】 【目的】研究陕西省的生态安全动态变化,为区域社会经济的可持续发展提供科学依据。【方法】以陕西省为研究区域,在参考国内外已有研究成果的基础上,借助压力-状态-响应模型(P-S-R 模型)框架,构建了该区域生态安全评价指标体系,采用理想解法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS 法),在时间尺度上(1996—2006 年)对陕西省的生态安全进行定量评价。【结果】(1)1996—2006 年,陕西省生态压力系统安全指数 C_p 值有一定波动,但总体上呈下降趋势,生态负荷加大;状态系统安全指数 C_s 值虽有波动但总体上表现出增长态势,安全状况逐渐好转;响应系统安全指数 C_r 值呈明显的增长趋势,显示陕西省对生态系统的保护能力、保护力度有所增强。(2)陕西省生态安全指数从 1996 年的 0.39 增加至 2006 年的 0.60,整体上呈增长趋势,表明生态系统状态由不安全转为较不安全,研究期末(2006 年)陕西省的生态安全水平仍处在临界安全边缘。【结论】TOPSIS 法简单直观,评价结果客观,且符合区域生态安全变化的实际情况,可用于不同区域生态安全的动态评价。

【关键词】 生态安全;评价指标体系;P-S-R 模型;TOPSIS 法;安全指数;陕西省

【中图分类号】 Q14

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)07-0177-08

Application of TOPSIS method in dynamic evaluation of regional ecological security

——A case study of Shaanxi Province

CHEN Xi-rui, ZHANG Rong-zhen

(Department of Tourism and Environment, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: 【Objective】 The research was to study the dynamic changes of regional ecological security of Shaanxi province to provide scientific basis for regional sustainable development. 【Method】 By referring to historical research and related literature, with the Pressure-State-Response (P-S-R) model framework as a basis, a 3-layer conceptual assessment index system of regional ecological security was carried out. Using TOPSIS method, Shaanxi Province was taken as a case study and its ecological security situation from 1996 to 2006 was assessed quantitatively. 【Result】 The result showed that: (1) From 1996 to 2006, pressure index C_p of Shaanxi province showed significant fluctuation with an overall decreasing trend and ecological load increasing; state index C_s had little volatility with overall growing trend and gradually improved state security situation; Response index C_r increased significantly, which showed a great strength on the ability and efforts of protecting ecosystem in Shaanxi province. (2) The safety index C_i increased continually from 0.39 to 0.60 in 1996—2006 and the ecological security state changed from unsafe to less unsafe, this region is still at critical safety margin at the end of the study. 【Conclusion】 The process of evaluation indi-

* [收稿日期] 2010-12-07

[基金项目] 陕西省科技厅项目“陕西省生态安全评价与研究”(2008RK61)

[作者简介] 陈西蕊(1965—),女,陕西华县人,讲师,硕士,主要从事区域资源开发与保护研究。

[通信作者] 张蓉珍(1964—),女,陕西蒲城人,教授,硕士,主要从事资源开发与保护研究。

cated that the TOPSIS method was very simple and easy for application, and the research results were objective, so the method can be used in dynamic ecological security evaluation of different regions in the future.

Key words: ecological security; evaluation index system; P-S-R model; TOPSIS method; safety index; Shaanxi Province

生态系统是人类赖以生存和发展的物质基础, 维持生态系统安全是实现区域可持续发展的前提。目前全球性的生态环境问题日益突出, 保障生态环境安全已成为迫切的社会需求^[1-2]。生态安全是指人类赖以生存的生态环境, 包括聚落、区域、国家乃至全球, 不受生态条件、状态及其变化的威胁、危害, 能处于正常的生存发展状态。广义的生态安全包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全, 狭义的生态安全指自然和半自然生态系统的安全^[3-5]。生态系统安全是相对的和动态的, 它随生态条件、人类活动影响而处于不断的动态变化之中。

生态安全评价是对人类生存环境或人类生态条件安全状态的评判, 是各项生态安全的研究基础。从当前国内生态安全评价研究成果来看, 生态安全评价方法主要是通过移植相邻研究领域方法形成的。刘红等^[6]曾将其归结为数学模型法、生态模型法、景观生态模型法和数字地面模型法 4 大类, 其中数学模型法的代表有综合指数法、层次分析法、灰色关联度法、物元评判法、主成分投影法、模糊综合法、人工神经网络法 (Artificial Neural Networks, ANN) 等; 生态模型法的代表有生态足迹法; 景观生态模型法的代表有景观生态安全格局法、景观空间邻接度法; 数字地面模型法的代表有数字生态安全法^[6-13]。以上 4 大类中, 应用最为广泛的是数学模型法。为了克服单一数学模型法存在的缺陷, 也有学者在综合各种方法优点的基础, 相继开发了多种方法相结合的复合评价模型, 如左伟等^[14]提出的层次分析-变权-模糊-灰色关联分析模型, 阎伍玖^[15]提出的多级模糊综合评价-灰色关联优势分析模型等。上述方法各有优缺点, 且已在生态安全评价中得到广泛应用。

理想解法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 是一种多目标决策方法, 其对数据分布、样本量、指标多寡无严格限制, 具有应用范围广、计算量小、几何意义直观以及信息失真小等特点^[16], 被广泛应用于工程项目招投标、企业员工绩效考评、地区经济综合评估等领域^[16-17], 但目前尚未见关于 TOPSIS 法在生态安全

评价中应用的研究报道。本研究拟以陕西省为例, 在压力-状态-响应模型 (P-S-R 模型) 框架下, 引入 TOPSIS 法, 对研究区的生态安全进行评价, 以期为研究区社会经济可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

陕西省地处我国大陆中部, 位于东经 105°29′~110°15′、北纬 31°42′~39°35′。全省东西宽 150~500 km, 南北长约 870 km, 总面积 20.58 万 km²。北接内蒙古自治区, 南连四川省, 东南与湖北、河南省相依, 西与宁夏回族自治区、甘肃毗邻, 东隔黄河与山西相望, 是中国毗邻省(市、区)最多的省份。在中国区域发展宏观格局中具有承东启西, 连南带北的战略地位和区位优势。

陕西省自然条件复杂, 区域差异显著, 从南到北包括陕南山地、关中平原和陕北高原 3 个地形单元; 属于温带大陆性季风气候区, 降水年际变化大, 年内分配不均, 水旱灾害频繁; 加之区域开发历史悠久, 人类活动对环境的影响广泛而深刻, 水土流失、土地沙化、环境污染等生态环境问题较为突出。

2 TOPSIS 法的基本原理与主要步骤

2.1 基本原理

TOPSIS 法由 Hwang 等^[18]于 1980 年首次提出, 基本原理是利用各评价对象的综合指标, 通过计算各测评对象与理想解 (最优指标) 的接近程度, 作为评价各对象优劣的依据, 是一种多目标决策方法。

2.2 主要步骤

2.2.1 评价样本矩阵的构建 定义 $\mathbf{X}$ 为区域生态安全状况对应于 m 个评价指标与 n 个评价对象的样本矩阵, 则

$$\mathbf{X} = [x_{ij}]_{n \times m} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的实际值。

2.2.2 指标的规范化处理 由于各项指标实际值没有统一的量纲, 会干扰和影响运算的结果, 故必须对各指标原始数据进行规范化处理, 即无量纲化处理。本研究采用极差标准化法对原始数据进行规范化处理^[19]。假设样本矩阵规范化后记为 $\mathbf{Y}$, 则

$$\mathbf{Y}=[y_{ij}]_{n \times m}, \text{其中 } y_{ij} \in [0, 1]. \quad (2)$$

对于越大越安全的效益型指标,令:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}. \quad (3)$$

对于越小越安全的成本型指标,令:

$$y_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}. \quad (4)$$

式中: y_{ij} 为指标规范化处理的值; $\max x_{ij}$ 为第 j 项指标的最大值; $\min x_{ij}$ 为第 j 项指标的最小值。

2.2.3 指标权重的确定 指标权重反映了指标的相对重要性程度,对评价结果的准确性和可靠性有重要影响。目前,确定权重的方法有主观赋权法和客观赋权法 2 类。其中主观赋权法有特尔菲法(Delphi)和层次分析法(AHP 法)等,客观赋权法有熵权法、变异系数法、主成分分析法、因子法、均方差法等。客观赋权法较为客观,但不能反映专家的经验知识,有时得到的权重可能与指标的实际重要程度完全不相符;主观赋权法是专家经验的反映,也有一定的局限性^[20]。故笔者在确定指标权重时,将客观赋权法与主观赋权法相结合,使得到的指标权重更科学。首先,采用客观赋权法确定各指标权重,计算公式为:

$$V_j = S_j / \bar{Y}_j, (j=1, 2, 3, \dots, m); \quad (5)$$

$$W_j = V_j / \sum_{j=1}^m V_j. \quad (6)$$

式中: V_j 代表第 j 项指标的变异系数; S_j 代表第 j 项指标的标准差; $\bar{Y}_j$ 代表第 j 项指标的平均值; W_j 代表第 j 项指标的权重; m 为指标个数。

其次,采用主观赋权法调整指标权重。

最后,由 W_j 与规范化的决策矩阵 $\mathbf{Y}$ 得到加权规范化决策矩阵 $\mathbf{Z}$,即:

$$\mathbf{Z}=[Z_{ij}]_{m \times n}=[W_j \times y_{ij}]_{m \times n}. \quad (7)$$

2.2.4 理想解和负理想解的确认 首先,分别以加权规范化决策矩阵 $\mathbf{Z}=[Z_{ij}]_{m \times n}=[W_j \times y_{ij}]_{m \times n}$ 中的最大值和最小值代表理想解和负理想解,即:

$$\mathbf{Z}^+=[\max Z_{ij}], (i=1, 2, 3, \dots, n); \quad (8)$$

$$\mathbf{Z}^-=[\min Z_{ij}], (i=1, 2, 3, \dots, n). \quad (9)$$

然后,分别计算各评价对象到理想解和负理想解的距离 D_i^+ 、 D_i^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - Z^+)^2}, \quad (10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - Z^-)^2}. \quad (11)$$

式中: D_i^+ 和 D_i^- 分别为各评价对象到理想解(最优指标)和负理想解(最差指标)的距离,其分别从不同

的角度反映了各年份的区域生态安全状态。 D_i^+ 越小,表明评价对象各项指标越接近最优指标,生态系统越安全; D_i^- 越小,表明评价对象各项指标越接近最差指标,生态系统越不安全。

2.2.5 生态安全指数的计算 生态安全指数以评价对象与理想解的贴进度来描述,它综合 D_i^+ 和 D_i^- 2 个指标所反映的评价对象的安全状态,用于描述区域生态安全的总体水平,具体计算公式如下:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}. \quad (12)$$

式中: C_i 为生态安全指数。 C_i 值越大,表明评价对象与理想解越接近,区域生态系统越安全; C_i 值越小,区域生态系统越不安全;当 $C_i=1$ 时,区域生态系统各项指标均达到最优指标,生态系统处于理想安全状态。

3 区域生态安全评价标准与等级划分

区域生态安全评价标准和等级的划分,是生态安全评价中的关键环节,标准和等级设置是否科学合理,将直接影响评价结果的客观性。目前,生态安全评价标准与安全等级的划分尚处于探索阶段。作者参考已有的研究成果^[21],以 C_i 值为标准,将区域生态安全状态划分为安全、较安全、临界安全、较不安全、不安全 5 个等级(表 1),并据此对区域生态安全动态进行综合判定。

4 基于 TOPSIS 法陕西省生态安全评价指标体系的构建

评价指标体系是否科学合理,对评价结果的客观性有十分重要的影响,迄今国内外还没有一个明确、统一的标准。在评价指标体系的构建上,本研究借鉴了 P-S-R 模型(图 1),在该模型中,某一类环境问题可以由 3 个不同但又相互联系的指标类型来表达,其中压力指标反映人类活动给环境造成的负荷,状态指标表征环境质量、自然资源等的状况,响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。在参考国内外相关研究成果的基础上,根据指标选择的科学性、全面性、简洁性、可操作性等原则^[22-24],结合研究区域生态问题的特点,从压力、状态、响应 3 个方面,本研究选取了 31 个指标,建立了包括目标层、准则层和指标层 3 个层次的区域生态安全评价指标体系(表 2),其中目标层以区域生态系统安全指数 C_i 为目标,用于度量区域生态安全的总体水平;准则层包括压力系统安全指数 C_P 、状态系统安全指数

C_S 和响应系统安全指数 C_R 3 个分目标,分别用来测度人类活动对环境造成的负荷,生态系统中环境质
量、自然资源等的状况,以及人类面对环境问题所采
取的对策与措施效应;指标层则由可直接度量的指
标构成。

表 1 区域生态安全评价标准与等级的划分

Table 1 Evaluation criterion of regional ecological security and classification		
等级 Classification	生态安全指数(C_i) Safety index	生态系统特征 Ecosystem characteristic
不安全(Ⅰ)Unsafe	0~0.4	生态系统退化严重,生态系统结构极不合理,系统功能丧失,抗外界干扰能力极差,生态恢复与重建困难 Ecosystem degradation is serious,the structure of the ecological system is extremely unreasonable,system function is lost,anti interference ability is very poor,ecological restoration and reconstruction is very difficult
较不安全(Ⅱ) Relatively unsafe	0.4~0.6	生态系统受到较大破坏,生态系统结构很不合理,系统功能退化,抗外界干扰能力很差 Ecosystem is severely damaged,the structure of the ecological system is not reasonable,and system function has degraded,anti interference ability is poor
临界安全(Ⅲ) Critical safe	0.6~0.8	生态系统受到中度破坏,生态系统结构较不合理,但系统尚可维持基本功能,能抵抗部分外界干扰 Ecosystem is moderate damaged,the ecological structure is unreasonable,but system passable maintains basic functions, resist part outside interference
较安全(Ⅳ) Relatively safe	0.8~0.9	生态系统受到轻微破坏,生态系统结构比较合理,系统自身功能和自我恢复能力较强 Ecosystem is slight damaged,ecological system structure is reasonable,and system self-function and self-recover ability is more strong
安全(Ⅴ)Safe	0.9~1.0	生态系统基本未受干扰破坏,生态系统结构合理、稳定,系统自身功能和自我恢复能力强 Ecosystem is basically not interfered and damaged,ecological system structure is reasonable and stable,the system self-function and self-recover ability is quite strong

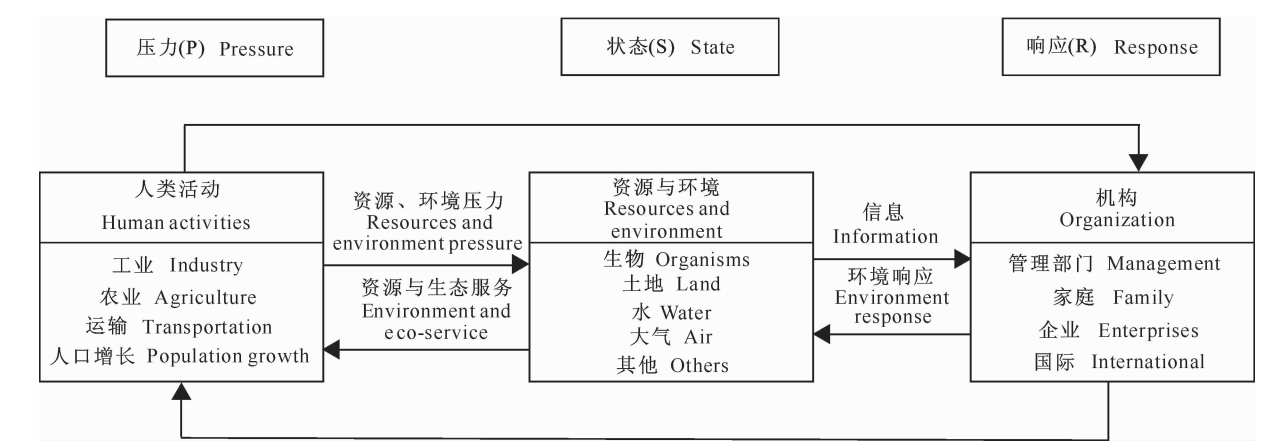


图 1 生态安全评价中的 P-S-R 模型框架

Fig. 1 “Pressure-state-response” frame model of eco-security

表 2 陕西省的生态安全评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of ecological security in Shaanxi Province					
目标层 Target layer	准则层 Rule layer	指标层 Index layer	单位 Unit	安全趋向 Security situation	权重 Weight
区域生态 安全系统 Regional ecological security system	压力系统 Pressure system	X_1 人口密度 Population density	人/ km^2	—	0.118 297
		X_2 人口自然增长率 Natural population growth rate	%	—	0.077 790
		X_3 原煤消耗比例 Coal consumption ratio	%	—	0.094 151
		X_4 万元 GDP 能耗 Ten thousand Yuan GDP energy consume	t 标煤	—	0.056 531
		X_5 恩格尔系数 Engel coefficient	%	—	0.067 642
		X_6 城市化水平 Urbanization level	%	—	0.072 794
		X_7 农药使用量 Pesticide using intensity	kg/hm^2	—	0.099 359
		X_8 化肥使用量 Fertilizer using intensity	kg/hm^2	—	0.108 135
		X_9 SO_2 排放量 SO_2 emissions intensity	t/km^2	—	0.081 577
		X_{10} 工业烟尘排放量 Industrial carbon emissions intensity	t/km^2	—	0.085 451
		X_{11} COD 排放量 COD emissions intensity	t/km^2	—	0.056 250
		X_{12} 固废负荷水平 Solid waste load level	t/km^2	—	0.082 025

续表 2 Continued table 2					
目标层 Target layer	准则层 Rule layer	指标层 Index layer	单位	安全趋向 Security situation	权重 Weight
区域生态 安全系统 Regional ecological security system	状态系统 State system	X ₁₃ 人均 GDP Per capita GDP	万元	+	0.039 632
		X ₁₄ 人均耕地面积 Per capita arable land	hm ²	+	0.040 501
		X ₁₅ 能源自给率 Energy self-sufficiency rate	%	+	0.060 803
		X ₁₆ 森林覆盖率 Forest coverage rate	%	+	0.028 910
		X ₁₇ 水土流失率 Water and soil loss rate	%	—	0.038 826
		X ₁₈ 区域Ⅰ~Ⅲ类水体比例 RegionalⅠ—Ⅲ class water ratio	%	+	0.018 969
		X ₁₉ 空气综合污染指数 Air pollution comprehensive index		—	0.021 643
		X ₂₀ 环境噪声达标区覆盖率 Environmental noise standardized area rate	%	+	0.024 150
		X ₂₁ 酸雨频率 Frequency of acid rain	%	—	0.026 565
	响应系统 Response system	X ₂₂ 工业废水排放达标率 Standard discharge rate of industrial wastewater	%	+	0.022 397
		X ₂₃ 工业用水重复利用率 Industrial water reuse rate	%	+	0.024 637
		X ₂₄ 工业废气处理率 Industrial waste gas disposal rate	%	+	0.015 493
		X ₂₅ 工业固废处置利用率 Disposal utilization rate of Industrial solid waste	%	+	0.040 119
		X ₂₆ 自然保护区覆盖率 Nature reserve coverage rate	%	+	0.037 544
		X ₂₇ “三同时”执行合格率 “Three-simultaneity”executive qualification rate	%	+	0.016 178
		X ₂₈ 环保投资占 GDP 比例 Environmental investment GDP ratio	%	+	0.016 178
		X ₂₉ 第三产业占 GDP 比例 GDP of tertiary industry ratio	%	+	0.023 496
		X ₃₀ 每万人高等学历人数 Number of high academic gualifications per ten thousands people		+	0.045 196
		X ₃₁ 每万人拥有的医生数 Number of doctor per ten thousands people		+	0.041 329

注:“+”为效益型指标,“—”为成本型指标。
Note:“+” represents benefit type index,“—” represents costtype index.

5 陕西省生态安全评价结果与分析

本研究原始数据来源于《陕西省统计年鉴》(1997—2007 年)、《陕西国土资源公报》(2002—2007 年)、《陕西省环境状况公报》(1997—2007 年)、

陕西省“十一五”土地利用专项规划、中国科学院地理科学与资源研究所中国自然资源数据库、西部大开发土地资源调查评价数据等^[25-31]。经上述方法处理得到了 1996—2006 年陕西省生态安全评价结果(表 3)。

表 3 1996—2006 年陕西省生态安全评价结果
Table 3 Assessments results of regional ecological security of Shaanxi Province

年份 Year	准则层安全指数 Rule layer safety index			生态系统安全指数(C _i) Safety index
	压力系统安全指数(C _P) Pressure index	状态系统安全指数(C _S) State index	响应系统安全指数(C _R) Response index	
1996	0.58	0.34	0.26	0.39
1997	0.55	0.28	0.19	0.35
1998	0.59	0.32	0.22	0.37
1999	0.61	0.32	0.32	0.40
2000	0.62	0.34	0.39	0.44
2001	0.63	0.34	0.48	0.49
2002	0.58	0.37	0.51	0.50
2003	0.54	0.54	0.57	0.55
2004	0.48	0.64	0.64	0.59
2005	0.38	0.62	0.69	0.57
2006	0.40	0.71	0.71	0.60

5.1 压力系统安全指数分析

由表 3 可知,1996—2006 年,研究区 C_P 值有一定波动,但总体呈下降趋势。1996 年 C_P 为 0.58,1997 年下降为 0.55,安全水平下降;1997—2001 年, C_P 持续上升,压力系统状态相应地由较不安全转化为临界安全,压力负荷减轻;2001—2006 年, C_P 值持续下降,由 0.63 下降至 0.40,年均降幅为 7.3%,最大降幅达 20.8%。表明区域人类活动给生态环境造成的负荷逐渐加大,主要表现在农药化肥的使用量及各种污染物的排放量加大,如化肥使用量由 1996 年 344 kg/km² 上升到 2006 年的 538 kg/km²,10 年间固废负荷水平增长了 141.7%^[25-27];同时人口的持续增长和城市化快速发展,使得人口密度和城市化水平不断提高,人口与社会经济发展压力加大。相关性分析表明, C_P 值与 SO₂ 的排放量、固废负荷水平、化肥使用量、城市化水平呈现明显的负相关,相关系数分别为 -0.98, -0.90, -0.75 和 -0.71;与人口密度、农药使用量也呈现较为明显的负相关,相关系数分别为 -0.65 和 -0.57;而与人口自然增长率、原煤消耗比例、万元 GDP 能耗、恩格尔系数、工业烟尘排放量、COD 排放量的相关程度均较低,相关系数均小于 0.5。

5.2 状态系统安全指数分析

表 3 显示,1996—2006 年, C_S 值虽有波动但呈明显增长趋势,其中 1996 年 C_S 为 0.34,1997 年 C_S 下降为 0.28,自 1997 年开始 C_S 持续上升,2006 年达到 0.71,年均增幅达 17%,状态系统状态由不安全逐渐转化为较不安全和临界安全,由低安全等级向高安全等级转变,表明区域状态系统安全状况逐渐好转。1999 年,随着西部大开发战略的出台,陕西省加大了生态环境建设的力度,植树造林、退耕还林还草、小流域综合治理、农业产业结构调整等措施的实施,使森林覆盖率大幅提高,森林覆盖率由 1999 年的 28.8% 上升到 2006 年的 37.6%;水土流失得到了有效遏制。据水保部门监测,陕西省水土流失面积由 1999 年的 13.75 万 km²,减少为 2006 年的 9.6 万 km²^[25-27]。同期,陕西省经济持续高速发展,人均 GDP 由 1996 年的 0.34 万元上升到 1.21 万元,年均涨幅为 25.6%;区域 I~Ⅲ类水体比例、环境噪音达标区覆盖率不断扩大,安全状态逐渐好转^[25-27]。相关性分析表明, C_S 值与人均 GDP、森林覆盖率、能源自给率、区域 I~Ⅲ类水体比例、环境噪音达标区覆盖率均显著正相关,相关系数分别为 0.95,0.95,0.96,0.95,0.92;与人均耕地面积、水土

流失率、空气综合污染指数均显著负相关,相关系数分别为 -0.91, -0.88 和 -0.94。

5.3 响应系统安全指数分析

表 3 表明,1996—2006 年, C_R 虽有些波动,但总体上呈明显增长的趋势。1996 年 C_R 为 0.26,1997 年 C_R 下降为 0.19,自此持续上升,至 2006 年达到 0.71,可知响应系统状态由不安全逐渐转化为较不安全和临界安全,向高安全级别方向变化,表明陕西省对区域生态系统的保护能力、保护力度增强。主要原因是研究期间(1996—2006 年)陕西省自然保护区覆盖率、各种污染物处置利用率有了很大提高,如工业废水排放达标率由 68% 提高到 95%,工业固废处置利用率由 22.3% 提高到 64.5%,自然保护区覆盖率提高了 3.6%^[26-27]。相关性分析结果表明, C_R 与工业废水排放达标率、自然保护区覆盖率、工业固废处置利用率、每万人拥有的医生数、环保投资占 GDP 比例、每万人高等学历人数呈显著正相关,相关系数分别为 0.95,0.96,0.87,0.98,0.70 和 0.69;与“三同时”执行合格率、工业废气处理率相关程度较低,相关系数均小于 0.50。

5.4 区域生态安全系统总体评价结果

表 3 显示,1996—2006 年, C_i 值总体呈增长态势,由 0.39 增加到了 0.60,年增幅达 2.7%,系统状态由不安全转为较不安全和临界安全,并于 2006 年达到临界安全,表明这一时期陕西省生态安全整体上得到不断改善,生态安全水平逐渐提高。相关性分析表明, C_i 与 C_P 的相关系数为 -0.69,呈现较明显的负相关,表明 C_P 对区域生态安全具有负效应,生态负荷加大; C_i 与 C_S 、 C_R 的相关系数分别为 0.90,0.99,均呈现显著的正相关,表明 C_S 、 C_R 对区域生态安全具有正效应,陕西省生态安全水平的提高主要依赖于对环境的治理和投入,而区域生态环境质量、自然资源状况等的改善在其中也发挥了重要作用。

6 结论与讨论

本研究基于 P-S-R 模型建立了陕西省生态安全评级指标体系,并采用 TOPSIS 法,对该区域生态安全进行了动态分析,结果表明,1996—2006 年陕西省生态安全水平整体在不断改善,但研究期末生态安全水平仍处于临界安全状态,区域巨大的生态压力尚未得到根本性的缓解。对此,陕西省应继续坚持控制人口数量、提高人口素质的政策,以减轻生态环境系统人口压力;坚持退耕还林为主的生态环境建设,不断提高森林覆盖率和自然保护区覆盖率,

增强生态系统的自我调节能力;推进清洁生产和循环经济,实现污染物减量化和资源化,控制建设用地规模,遏制耕地面积减少的趋势,从根本上降低区域生态环境的压力,以维护区域生态环境系统的安全,促进区域社会经济的可持续发展。

从本研究评价过程及其结果可以看出,TOPSIS法是一种非常实用、有效的综合评价方法,评价结果客观,符合陕西省生态安全变化的实际情况。在基于TOPSIS法的区域生态安全评价中,理想解(安全值)和负理想解(不安全值)的确定是影响评价结果的关键之一,应以研究期最优指标值为理想解,最差指标值为负理想解,以实际安全状态与理想安全状态的贴中度为标准,对研究区域各年份生态环境的相对安全水平进行判断比较,有助于了解区域生态安全状态的变化趋势。本研究今后应加强对特定区域理想安全状态指标阈值的探讨,使TOPSIS法能用于探讨区域内部生态安全水平的空间差异,从而为研究区域社会经济的可持续发展提供科学参考。而如何科学地确定特定区域理想安全状态的指标阈值,是当前生态安全评价中尚未解决的一个难题,还有待进一步探讨。

[参考文献]

- [1] 李月臣. 中国北方13省市区生态安全动态变化分析[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1150-1160.
Li Y C. The dynamic change of ecological security in northern China [J]. Geographical Research, 2008, 27(5): 1150-1160. (in Chinese)
- [2] 张兵, 金凤君, 胡德勇. 甘肃中部地区生态安全评价[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 9-15.
Zhang B, Jin F J, Hu D Y. Assessment of ecological security in middle part of Gansu Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 9-15. (in Chinese)
- [3] Costanza R, Norton B G, Haskell B D. Ecosystem health: New goal for environmental management [M]. Washington D C: Island Press, 1992.
- [4] Dobson, Andy P. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation ecology [J]. Science, 1997, 277: 515-524.
- [5] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 769-775.
Xiao R B, Ouyang Z Y, Han Y S, et al. Ecological security assessment of Hainan Province [J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 769-775. (in Chinese)
- [6] 刘红, 王慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评[J]. 生态学杂志, 2006, 25(61): 74-78.
Liu H, Wang H, Zhang X W. Research review on ecological security assessment [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(61): 74-78. (in Chinese)
- [7] 谢花林, 张新时. 城市生态安全水平的物元评判模型研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(2): 87-90.
Xie H L, Zhang X S. Study on model of matter-element evaluation of city eco-security [J]. Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(2): 87-90. (in Chinese)
- [8] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1923-1927.
Gao C B, Chen X G, Wei C H, et al. Application of entropy weight and fuzzy synthetic evaluation in urban security assessment [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1923-1927. (in Chinese)
- [9] 任志远. 陕北黄土高原生态安全动态变化定量分析[J]. 干旱区地理, 2005, 28(5): 642-645.
Ren Z Y. Quantitative analysis on the dynamic change of ecological security on the Loess Plateau in North Shannxi Province [J]. Arid Land Geography, 2005, 28(5): 642-645. (in Chinese)
- [10] 任志远, 黄青. 陕西关中地区生态安全定量评价与动态分析[J]. 干旱区地理, 2005, 19(4): 169-172.
Ren Z Y, Huang Q. Quantitative analysis and dynamic analysis of ecological safety in Guanzhong Region of Shaanxi Province [J]. Arid Land Geography, 2005, 19(4): 169-172. (in Chinese)
- [11] 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): 2192-2197.
Gao C B, Chen X G, Wei C H, et al. Quantitative evaluation of ecological security status and trends: A case study of Guangdong Province, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2192-2197. (in Chinese)
- [12] 张小虎, 袁磊, 宋卫平. 基于灰色关联法的城市土地资源生态安全评价: 以哈尔滨为例[J]. 国土与自然资源研究, 2009(4): 19-20.
Zhang X H, Yuan L, Song W P. Evaluation on ecological security of urban land based on Grey Relation Analysis: A case study of Harbin [J]. Territory & Natural Resources Study, 2009(4): 19-20. (in Chinese)
- [13] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异的定量分析[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 597-606.
Ren Z Y, Huang Q, Li J. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 597-606. (in Chinese)
- [14] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全综合评价模型分析[J]. 地理科学, 2005, 25(2): 209-214.
Zuo W, Wang Q, Wang W J, et al. Comprehensive assessing models for regional ecological security [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(2): 209-214. (in Chinese)
- [15] 阎伍玖. 区域农业生态环境质量综合评价方法与模型研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(3): 49-52.
Yan W J. The appraisal methods and the models study on the regional agricultural ecoenvironment quality [J]. Research of Environment Sciences, 1999, 12(3): 49-52. (in Chinese)
- [16] 张洪, 张燕. 基于加权TOPSIS法的旅游资源区际竞争力

- 的比较研究:以长江三角洲为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2010,19(5):500-505.
- Zhang H,Zhang Y. Comparative analysis on regional competitiveness of tourism resources based on weighted TOPSIS method [J]. Resources and Environment in Yangtze Basin, 2010,19(5):500-505. (in Chinese)
- [17] 袁晓玲,仲云云,郭轶群. 中国区域经济发展差异的测度与演变分析:基于 TOPSIS 方法的实证研究 [J]. 经济问题探索, 2010(5):33-39.
- Yuan X L,Zhong Y Y,Guo Y Q. Measure and evolution analysis on the difference of China regional economic development-positive research based on TOPSIS method [J]. Inquiry into Economic Issues,2010(5):33-39. (in Chinese)
- [18] Hwang C L, Yoon K S. Multiple attribute decision making [M]. Berlin:Springer-Verlag,1981.
- [19] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- Xu J H. Mathematical methods in contemporary geography [M]. Beijing:High Education Press,2002. (in Chinese)
- [20] 王 枫,张效军,刘海英. 广州市土地资源生态安全动态变化分析 [J]. 安徽农业科学,2009,37(34):16963-16965.
- Wang F,Zhang X J,Liu H Y. Analysis on the danamic change of land resource eco-seurity in Guangzhou City [J]. Joumal of Anhui Agri Sci,2009,37(34):16963-16965. (in Chinese)
- [21] 左 伟,王 桥,王文杰,等. 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):67-71.
- Zuo W,Wang Q,Wang W J,et al. Study on regional ecological security assessment index and standard [J]. Geography and Territorial Research,2002,18(1):67-71. (in Chinese)
- [22] 王金南,吴舜泽,曹 东,等. 环境安全管理评估与预警 [M]. 北京:科学出版社,2007.
- Wang J N,Wu S Z,Cao D,et al. Environmental security management [M]. Beijing:Science Press,2007. (in Chinese)
- [23] 陈彩虹,齐旭明. 基于 PSR 模型的长沙市生态安全评价 [J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(1):105-109.
- Chen C H,Qi X M. Study on the ecological security evaluation of Changsha City based on PSR model [J]. Journal of Central South University of Forestry& Technology,2010,30(1):105-109. (in Chinese)
- [24] 邱 微,赵庆良,李 崧,等. 基于“压力-状态-响应”模型的黑龙江省生态安全评价研究 [J]. 环境科学,2008,29(4):1148-1152.
- Qiu W,Zhao Q L,Li S,et al. Ecological security evaluation of Heilongjiang Province with Pressure-State-Response model [J]. Environmental Science,2008,29(4):1148-1152. (in Chinese)
- [25] 陕西省统计局. 陕西省统计年鉴:1997—2007 年 [M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- Shaanxi Statistics Bureau. Shaanxi statistical yearbook:1997—2007 [M]. Beijing:China Statistics Press,2008. (in Chinese)
- [26] 陕西省环保厅. 陕西省环境状况公报:1997—2007 年 [EB/OL]. [2010-12-07]. http://www.snepb.gov.cn/admin/pub_newschannel.asp?chid=100272.
- Environmental Protection Bureau of Shaanxi Province. Shaanxi environmental aspet bulletin:1997—2007 [EB/OL]. [2010-12-07]. http://www.snepb.gov.cn/admin/pub_newschannel.asp?chid=100272. (in Chinese)
- [27] 陕西省国土资源厅. 陕西省国土资源公报:2002—2007 年 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://gtzyt.shaanxi.gov.cn/gtzytweb/gtzygb/457.htm>.
- Department of Land and Resources of Shaanxi Province. Shaanxi land resources bulletin:2002—2007 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://gtzyt.shaanxi.gov.cn/gtzytweb/gtzygb/457.htm>. (in Chinese)
- [28] 陕西省“十一五”土地利用专项规划 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3884>.
- “The Eleventh Five-Year” special planning for Land using of Shannxi province [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3884>. (in Chinese)
- [29] 陕西省“十一五”生态建设专项规划 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3884>.
- “The Eleventh Five-Year” special planning for ecological construction of Shannxi province [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3884>. (in Chinese)
- [30] 陕西省“十一五”环境保护专项规划 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3883>.
- “The Eleventh Five-Year” special planning for Environmental Protection of Shannxi province [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3883>. (in Chinese)
- [31] 陕西省“十一五”农业和农村经济发展专项规划 [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3889>.
- “The Eleventh Five-Year” special planning for Agriculture and rural economic development of Shannxi province [EB/OL]. [2010-12-07]. <http://www.sndrc.gov.cn/view.jsp?id=3889>. (in Chinese)