

文章编号: 1003-207(2004)01-0106-04

区域生态安全的主成分投影评价模型及应用

吴开亚¹, 何琼², 孙世群²

(1. 厦门大学经济学院, 厦门 361005; 2. 合肥工业大学资源与环境学院, 合肥 230009)

摘要: 本文探讨了区域生态安全评价指标的选取和赋权方法, 建立了区域生态安全的主成分投影评价模型, 并通过安徽省 17 个地级市的实证分析, 得出具有较强实际意义的结论, 为区域生态安全评价研究和生态安全管理实践提供理论基础。

关键词: 区域生态安全; 评价指标; 主成分投影; 熵权法

中图分类号: F830 **文献标识码:** A

1 引言

20 世纪 50 年代以来, 随着经济发展和工业化进程的加快, 环境污染与生态破坏日益严重, 目前已到了严重威胁人类生存和国家发展的关键时期。生态环境问题也逐步上升到生态安全问题, 成为国家安全和稳定的重要组成部分^[1]。生态安全是指一个国家或地区生存和发展的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态^[2]。它是整个生态经济系统和可持续发展的生态保障, 是区域或国家其它安全的载体和基础。

2000 年 12 月国务院发布的《全国生态环境保护纲要》中, 首次在我国明确提出“维护国家生态环境安全”的目标, “生态安全”概念浮出水面。我国学者对生态安全的研究尚未形成格局, 缺乏系统的理论框架和方法体系。近几年的研究多集中生态安全的概念和内涵、生态安全意识等一般性的论述层面上, 对定量评价的理论与方法研究较少^[3]。而通过定量评价, 阐明生态安全的状态、程度和水平, 可以使生态安全更具有可衡量性与可操作性, 为区域可持续发展战略的制定和生态安全管理提供科学的依据和指导^[4]。

本文从主成分投影的角度, 建立了一种针对多指标的生态安全评价模型, 并应用于安徽省 17 个地级市的生态安全评价, 通过计算得到了区域生态安

全状况的排序结果, 与实际情况基本吻合, 说明该模型具有一定的推广和实用价值。

2 区域生态安全的主成分投影评价模型

区域生态安全系统是一个由社会、经济和自然环境组成的多因素复杂大系统, 由于评价区域的复杂性和因素信息的多样性, 使得评价问题复杂化。本文从主成分投影的角度, 建立了一种区域生态安全评价的模型。主成分投影的模型原理是在对指标值进行无量纲化和适当加权处理的基础上, 通过正交交换将原有的指标转换成彼此正交的综合指标, 从而消除指标间的信息重叠问题; 再利用各主成分设计一个理想决策向量, 以各被评价对象相应的决策向量在该理想决策向量方向上的投影, 作为一维的综合评价指标^[5-7]。

2.1 数据预处理

(1) 评价样本矩阵的建立 定义 X 为区域生态安全状况对应于 m 个评价指标与 n 个区域的样本矩阵, 则

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} = [X_{ij}]_{n \times m}$$

(2) 矩阵元素归一化 为消除评价指标量纲不同的影响, 评价前需要将样本矩阵中各指标元素归一化。这里采用级差变换法对指标数据值进行归一化处理, 文中讨论的评价指标有效益型和成本型两种。假设样本矩阵 X 归一化后记为 Y 。

对于效益型指标, 令 $y_{ij} = (x_{ij} - \min x_j) / (\max x_j - \min x_j)$ (1)

收稿日期: 2003-03-10;

基金项目: 安徽省教育厅自然科学研究重点项目(2003KJ043ZD)

作者简介: 吴开亚(1968-), 男(汉族), 安徽利辛人, 厦门大学经济学院博士后, 研究方向: 环境经济与管理。

对于成本型指标, 令 $y_{ij} = (\max x_j - x_{ij}) / (\max x_j - \min x_j)$ (2)

其中, $\max x_j, \min x_j$ 分别表示第 j 个指标下各评价样本属性值的最大值和最小值。经过无量纲化处理后, 样本矩阵 X 转化为矩阵 $Y = (y_{ij})_{n \times m}, y_{ij} \in [0, 1]$ 。

2.2 指标权重的确定

(1) 计算权重 权确定的方法很多, 有主观、客观和综合赋权的方法。熵权法是根据依据各评价对象的指标值来确定各指标权重的一种方法^[8], 它反映了指标间的相互比较关系, 因此是比较客观的。这里采用熵权法来确定各指标的权重。

①定义 f_{ij} 为矩阵 X 第 j 项指标下第 i 个被评价对象的指标值的比重, 则

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (3)$$

②令 e_j 为第 j 项指标的熵值, 有

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (\text{其中, } k = 1/\ln n) \quad (4)$$

③由式(5)计算各指标的权重

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (5)$$

(2) 指标赋权 使用上述方法求得各指标的权重, 对样本矩阵 Y 进行加权处理, 令 $z_{ij} = w_{ij} y_{ij}$, 得到加权后的样本矩阵 $Z = (z_{ij})_{n \times m}$, 评价向量为

$$\bar{d}_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{im}), (i = 1, 2, \dots, n)。$$

2.3 指标的正交变换

区域生态安全评价的指标较多, 指标间的相关联系会造成评价信息的相互重叠、相互干扰, 从而难以客观地分析各评价向量的相对地位。通过对指标值进行正交变换, 过滤掉指标间的重复信息。

设 ZZ' 的特征值为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \lambda_m \geq 0)$, 对应的单位特征值向量分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ 。令 $A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$, 对样本矩阵 Z 做正交变换, 即 $U = ZA$, 得到新的样本评价矩阵 $U = (u_{ij})_{n \times m}$, 其新向量记为 $d_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}), i = 1, 2, \dots, n$ 。

2.4 样本投影值的计算

(1) 构造理想样本 将每个样本视为一个 m 维向量, 记理想样本为 $d^* = (d_1, d_2, \dots, d_m)$,

其中 $d_i = \max_{1 \leq i \leq n} \{u_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, m$ 。将 d^* 单位化得到

$$d_0^* = \frac{1}{\|d^*\|} d^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_m^2}} d^* \quad (6)$$

(2) 计算投影值 样本矩阵在理想样本上的投影值由式(7)得到

$$D_i = d_i^* \cdot d_0^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_m^2}} \sum_{j=1}^m d_{ij} u_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

(3) 比较分析与排序 根据各评价样本矩阵的投影值 D_i 的大小可直接对样本进行排序和比较分析, 投影值越大, 表明区域生态安全状况越好, 反之则越差。

3 区域生态安全的主成分投影评价实例

安徽省位于我国的中东部, 地理位置特殊, 自然条件复杂, 生态系统多样, 对长江三角洲乃至华东地区的生态安全和资源支持具有特殊的重要性。全省有 17 个地级市, 人口 6200 多万。近年来, 随着社会经济的迅速发展, 生态环境质量有所退化, 局部地区生态安全状况受到严重威胁, 已经成为制约社会经济可持续发展的重要因素。通过对安徽省的区域生态安全现状进行科学分析和评价, 可以进一步深化对安徽省情的认识, 为全省经济社会发展的宏观决策提供依据。

3.1 区域生态安全评价指标体系的建立

区域生态安全评价指标的选择不仅要考虑生态环境状态, 更要反映出对生态安全有潜在影响的重要因素的变化以及人类活动的影响。因此本文在指标体系构架上选用了经济合作与发展组织(OECD)的“压力-状态-响应”(PSR)模型的概念框架。状态指标用来反映人类活动所导致的自然环境状态变化; 压力指标用来反映产生生态环境问题的原因和潜在影响; 响应指标则反映人类克服生态环境问题的能力和所作出的反应。根据区域性、科学性、整体性、可度量性与可操作性等原则, 结合层次分析法和 PSR 模型, 同时考虑到生态安全各评价因子的复杂关系和研究区的生态安全状况水平以及国内相关成果^[2, 4], 建立了包含 36 个指标的区域生态安全评价指标体系(图 1)。

3.2 数据预处理

根据图 1 建立的评价指标体系, 以 2000 年安徽省 17 地级市的原始数据为基础(数据来源于遥感调查、地理基础数据、监测数据、专题成果、统计年鉴等), 建立评价样本矩阵 $X_{17 \times 36}$, (限于篇幅, 此略), 依据公式(1)、(2)对 $X_{17 \times 36}$ 进行归一化处理, 得到样本矩阵 $Y_{17 \times 36}$ (略)。

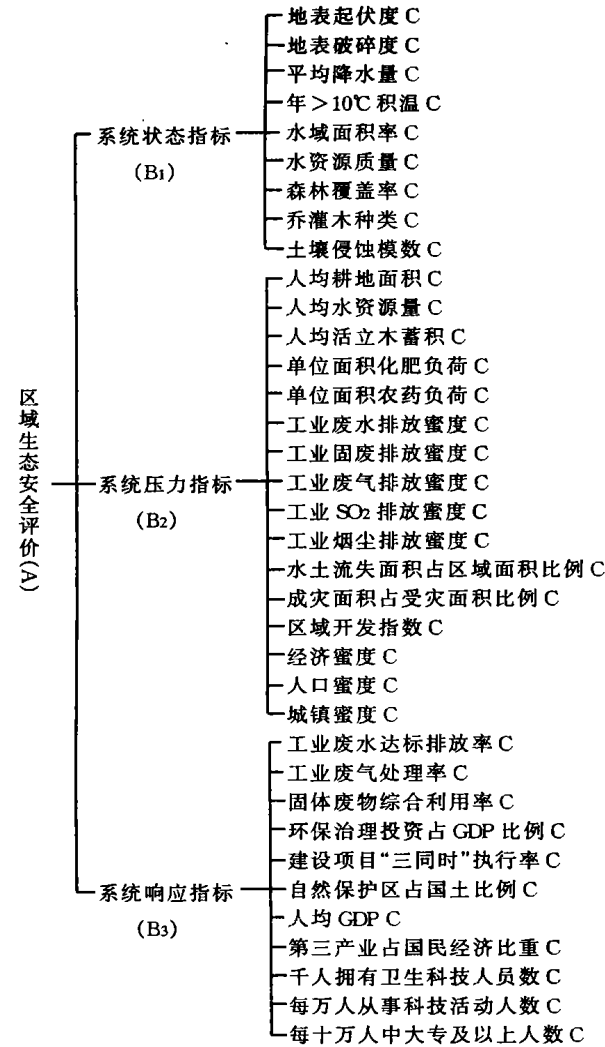


图 1 区域生态安全评价指标体系

3.3 指标权重的确定

利用 $X_{17 \times 36}$ 数据, 根据(3) 式, 求出 $f_{ij}, (i = 1, 2, \dots, 17; j = 1, 2, \dots, 36)$ 。由(4) 式知, $k = 1/\ln 17 = 0.3530$, 并求得 e_j 。最后由(5) 式求出各指标的权重 w_j , 文中 36 个评价指标的权重结果如表 1 所列。

3.4 投影值的计算及排序

经过指标的正交变换得到新的决策矩阵 $U = (u_{ij})_{17 \times 36}$, 由此构造理想决策方案 $d^* = (0.0009, 0.0027, 0.0025, 0.0036, 0.0033, 0.0046, 0.0088, 0.0113, 0.0123, 0.0069, 0.0202, 0.0234, 0.0257, 0.0332, 0.0242, 0.0536, 0.0245)$ 。

由(7) 式分别求得评价样本的投影值 D_i 。根据样本投影值的大小(以大为佳), 可以得出各市的生态安全状况及优劣排序(表 2)。

3.5 评价结果分析

(1) 区域生态安全不仅反映生态系统本身的支撑能力问题, 更重要的是体现了人类对系统的干扰程度以及对生态环境的建设和保护力度。从安徽省区域生态安全指标的权重分配来看, 工业废水、固废、废气和 SO_2 排放密度等指标的权重较大, 反映出“工业三废”等压力指标是影响区域生态安全的主要因素。其次, 权重较大的还有地表起伏度、土壤侵蚀模数、人均活立木蓄积等反映系统支撑能力的状态指标, 是区域生态安全的重要因素。响应指标“每万人从事科技活动人数”的权重也较大, 从一个侧面反映出人们对生态安全的保护意识和保障投入, 在很大程度上影响着区域生态安全。这八个指标的权重达到 60.56%。

表 1 各指标的权重分配表

指标代号	C_{101}	C_{102}	C_{103}	C_{104}	C_{105}	C_{106}	C_{107}	C_{108}	C_{109}
权重	0.0512	0.0085	0.0010	0.0001	0.0113	0.0076	0.0199	0.0184	0.0555
指标代号	C_{201}	C_{202}	C_{203}	C_{204}	C_{205}	C_{206}	C_{207}	C_{208}	C_{209}
权重	0.0043	0.0362	0.0662	0.0019	0.0096	0.0815	0.1090	0.0882	0.0896
指标代号	C_{210}	C_{211}	C_{212}	C_{213}	C_{214}	C_{215}	C_{216}	C_{301}	C_{302}
权重	0.0444	0.0304	0.0008	0.0001	0.0192	0.0089	0.0041	0.0037	0.0009
指标代号	C_{303}	C_{304}	C_{305}	C_{306}	C_{307}	C_{308}	C_{309}	C_{310}	C_{311}
权重	0.0056	0.0354	0.0002	0.0903	0.0087	0.0006	0.0078	0.0644	0.0146

表 2 安徽省各分区生态安全的评价结果

区域名称	投影值 (D_i)	排序名次	区域名称	投影值 (D_i)	排序名次
黄山	0.1944(D_{17})	1	蚌埠	0.1834(D_5)	10
池州	0.1926(D_{15})	2	巢湖	0.1687(D_{11})	11
亳州	0.1921(D_3)	3	合肥	0.1658(D_1)	12
宣城	0.1912(D_{13})	4	芜湖	0.1627(D_{12})	13
宿州	0.1912(D_4)	4	淮北	0.1411(D_2)	14
阜阳	0.1903(D_6)	6	淮南	0.0685(D_7)	15
滁州	0.1893(D_8)	7	马鞍山	0.0294(D_{10})	16
安庆	0.1889(D_{16})	8	铜陵	0.0253(D_{14})	17
六安	0.1838(D_9)	9			

(2) 从主成分投影评价模型的总体结果来看, 皖南山区(包括黄山市、宣城市、池州市)整体生态安全状况最好; 淮北平原区及江淮丘陵区次之; 巢湖流域较差; 而淮南、淮北、马鞍山以及铜陵等工矿业发达地区的生态安全状况最差。这些结果综合反映了区域生态系统的状态、压力大小以及人的能动响应程度, 与实际情况比较吻合。

4 结束语

(1) 主成分投影评价模型解决了区域生态安全评价中各指标间的信息重叠影响, 考虑了指标的权重问题, 配合客观赋权的方法, 可以使评价结果更为结合实际。

(2) 主成分投影模型在评价区域生态安全时, 将各评价样本视为多维向量, 并向同一矢量(理想样本)进行投影, 求出各样本的投影值, 可以全面准确地反映出评价样本与理想样本两矢量间的接近程度。

(3) 实例分析表明, 主成分投影模型用于评价区域生态安全状况, 方法涵义明确, 可操作性强, 评价结果可为生态环境管理提供决策依据, 具有一定的

推广和实用价值。

(4) 主成分投影评价模型还可以用来研究同一地区不同时期的生态安全发展趋势, 比较分析研究区的生态安全发展变化的特点和规律, 将另文介绍。

参考文献:

- [1] 曲格平. 生态安全问题已成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002, (5): 3–5.
- [2] 左伟, 王桥, 王文杰. 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.
- [3] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究. 土壤, 2003, (1): 2–7.
- [4] 陈东景, 徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 219–224.
- [5] 王纯, 姚翠珍. 主成分投影法在证券市场上市公司统计分析中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(1): 46–49.
- [6] 吴有炜. 主成分投影法用于多目标决策预评价[J]. 无锡轻工业大学学报, 2001, 20(4): 409–415.
- [7] 李明远. 多指标决策与评价的新方法—主成分投影法[J]. 数理统计与管理, 2000, 20(5): 45–48.
- [8] 谢赤, 钟赞. 熵权法在银行经营绩效综合评价中的应用[J]. 中国软科学, 2002, (9): 108–110.

The Principal Component Projection Method and Its Application to Regional Ecological Security Evaluation

WU Kai-ya¹, HE Qiong², SUN Shi-qun²

(1. College of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. School of Resources and Environment, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper studies the selection of index system for evaluation of regional ecological security and weighting method, establishes the model of the principal component projection to assess regional ecological security. Through the empirical analysis of seventeen regions in Anhui province, the paper proves that the method is reasonable which can be used as theoretic basis for studies on evaluation of regional ecological security and management of eco-environment.

Key words: regional ecological security; evaluation index; principal component projection; entropy method