

# 民族贫困地区生态安全评价及影响因素分析 ——以湘西自治州为例

张钦礼<sup>1</sup>, 邵佳<sup>1,2</sup>, 彭秀丽<sup>2</sup>, 陈秋松<sup>1</sup>

(1. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙, 410083; 2. 吉首大学商学院, 湖南吉首, 416000)

**摘要:** 为有效监测区域生态安全的动态变化, 从压力(P)、状态(S)、响应(R)三方面构建区域生态安全的评价指标体系, 根据变权灰色关联模型计算评价对象的综合安全度, 并确定其生态安全等级, 最后借助主成分分析方法, 对区域生态安全的影响因素进行分析。研究表明, 2005—2014年间, 湘西自治州生态安全综合指数整体呈现上升趋势, 生态环境压力有所缓解, 但生态安全形势仍不容乐观, 区域生态系统风险仍然存在。此外, 主成分分析表明, 湘西自治州生态安全的影响因素可以归纳为环境影响因子、资源影响因子和社会影响因子, 其中环境影响因子是最主要的因子, 资源影响因子次之, 社会影响因子对生态安全的影响最小。

**关键词:** 生态安全; 变权灰色关联法; 主成分分析法; 因素分析; 民族贫困地区

**中图分类号:** X24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-3104(2016)03-0083-08

## 一、引言

生态安全的概念早在20世纪70年代就已被提出, 但由于生态安全的内涵极其丰富而复杂, 一直以来, 人们对生态安全尚未形成统一的、普遍接受的定义。广义生态安全概念由国际应用系统分析研究所(IASA)于1989年提出, 它是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态, 包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全。狭义上, 生态安全则是指自然和半自然生态系统的安全, 即生态系统完整性和健康的整体水平反映。<sup>[1]</sup>尽管人们对生态安全的内涵与外延存在不同的看法, 但对生态安全的重要性认识却是一致的。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。<sup>[2]</sup>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。

近年来, 国内外学者对生态安全的研究主要集中在生态安全评价领域, 区域生态安全评价为区域生态环境管理、决策提供科学依据<sup>[3]</sup>, 目前在生态安全的

研究内容、方法、模型构建等方面取得了一系列成果。在生态安全的研究内容上, 部分学者以城市<sup>[4-6]</sup>、流域<sup>[7-9]</sup>、湿地<sup>[10]</sup>、森林资源<sup>[11]</sup>、土地资源<sup>[12, 13]</sup>、特殊生态区<sup>[14]</sup>等为研究对象, 通过构建生态安全评价指标体系, 对各类研究对象的生态安全程度进行评价; 在生态安全评价模型的构建上, 主要采用的评价模型有PSR模型<sup>[7]</sup>、DSR模型<sup>[8]</sup>、DPSIR<sup>[9]</sup>模型等; 在生态安全的研究方法上, 大部分学者主要运用了人工神经网络<sup>[5]</sup>、物元分析方法<sup>[12]</sup>、综合指数法<sup>[15]</sup>、模糊综合评价法<sup>[16]</sup>、景观生态安全模型法<sup>[17]</sup>等。

从目前国内外生态安全研究来看, 由于人们对生态安全内涵的认识存在差异, 研究对象本身具有复杂性与特殊性, 因此尚未形成公认的生态安全评价指标体系, 生态安全动态评价研究还处于探索阶段。以民族贫困地区为研究对象, 结合生态省、市、县建设开展生态安全评价的研究较少, 在评价的基础上进一步探究区域生态安全驱动因素的研究更少。鉴于此, 本文引入变权重理论(Variable weight theory, VWT)<sup>[18]</sup>, 根据不同的因素状态对其进行适量调节以期获得最接近现实情况的因素权重, 同时借鉴灰色关联法(Grey relational analysis, GRA)的思想<sup>[19]</sup>, 分别考察各评价对象与正、负安全对象间的贴近度, 构建基于变权灰色

收稿日期: 2016-01-12; 修回日期: 2016-03-14

**基金项目:** 湖南省社科重大招标项目“湖南省重点生态功能区实行生态补偿与监督机制研究”(15ZDA08); 湖南省教育厅科研项目“武陵山片区生态贫困与生态扶贫研究”(13C765); 湖南西部经济发展研究基地开放基金项目“生态文明视角下湖南西部农业结构调整对策”(15JDZB026)

**作者简介:** 张钦礼(1965-), 男, 山东临朐人, 博士, 中南大学资源与安全工程学院教授, 博士生导师, 主要研究方向: 资源评估, 采矿安全技术; 邵佳(1981-), 女, 湖南湘阴人, 中南大学资源与安全工程学院博士研究生, 吉首大学商学院讲师, 主要研究方向: 生态系统安全性评估

关联理论的综合评价模型。以湘西自治州为研究对象,对该地区的生态安全状态进行系统、动态评价,借助主成分分析方法,提炼湘西自治州生态安全的影响因素,以期为湘西州扶贫工作开展和生态文明建设提供决策参考。

## 二、研究区域与方法

### (一) 研究区域概况

湘西自治州位于湖南省西北部,地理坐标为东经 $109^{\circ}10' \sim 110^{\circ}22.5'$ ,北纬 $27^{\circ}44.5' \sim 29^{\circ}38'$ 。该州土地总面积15 462平方公里,南北长约240公里,东西宽约170公里,占湖南省总面积的7.31%。2014年末湘西州总人口239.99万人,其中少数民族人口231.52万人,占总人口的78.75%。该地区的突出特点:一是贫困面广,贫困程度深。目前湘西州有农村贫困人口73.43万人,1 200个贫困村,2014年湘西自治州农村人均纯收入为5 891元,仅为全国平均水平的59.6%,湖南省的58.6%。二是生态环境脆弱,承载能力有限。多年来人均耕地面积只有0.8亩左右,是全国平均水平的60%。生态系统脆弱是制约湘西州经济社会可持续发展的一个瓶颈,因此,在湘西州经济社会发展过程中,要着力保障区域生态安全,将经济社会发展与生态环境保护有机结合,实现扶贫开发与生态建设的良性互动。

### (二) 研究方法

#### 1. 生态安全评价指标体系

本文根据P(pressure)-S(state)-R(response)模型框架,在参考国内外生态安全评价指标体系的基础上<sup>[5,6,20]</sup>,结合湘西自治州的具体情况,初步确定生态安全评价指标体系,采用主成分分析、独立性分析方法对初选指标进行筛选与完善,最终构建湘西自治州生态安全评价指标体系(见表1)。

#### 2. 生态安全评价模型

##### (1) 确定变权重

##### ①建立多属性评价矩阵

设有 $m$ 个评价对象组成对象集 $V=\{V_1, \dots, V_m\}$ , $n$ 个评价指标组成指标集 $U=\{U_1, \dots, U_n\}$ ,则 $U_j$ 对 $V_i$ 的评价样本值 $a_{ij}$ 构成了多属性评价矩阵 $A$ :

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

表1 湘西自治州生态安全评价指标体系

| 项目                | 类型          | 指标层                         |
|-------------------|-------------|-----------------------------|
| 压力<br>$B_1$       |             | 人口密度(人/平方公里) $C_1$          |
|                   |             | 单位耕地面积农药使用量(千克/公顷) $C_2$    |
|                   |             | 单位耕地面积化肥使用量(千克/公顷) $C_3$    |
|                   |             | 单位工业产值废水排放量(吨/万元) $C_4$     |
|                   |             | 单位工业产值固体废弃物产生量(吨/万元) $C_5$  |
| 区域生态安全评价指数<br>$A$ | 状态<br>$B_2$ | 单位GDP耗能(吨标准煤/万元) $C_6$      |
|                   |             | 农民人均纯收入(元) $C_7$            |
|                   |             | 每万人拥有卫生技术人员(人) $C_8$        |
|                   |             | 森林覆盖率(%) $C_9$              |
|                   |             | 人均耕地面积(公顷) $C_{10}$         |
| 响应<br>$B_3$       |             | 人均粮食产量(千克) $C_{11}$         |
|                   |             | 环保投资占固定资产投资总额比重(%) $C_{12}$ |
|                   |             | 工业废水达标排放率(%) $C_{13}$       |
|                   |             | 生活污水处理率(%) $C_{14}$         |
|                   |             | 受保护地区占国土面积比重(%) $C_{15}$    |
|                   |             | 工业用水重复利用率(%) $C_{16}$       |

评价矩阵中各种指标数据有着不同的量纲和单位,且各指标对评价目标的影响方向不同,为了消除其影响,必须对矩阵 $A$ 进行同向无量纲化处理。本文采用极差法处理:

对于正向指标:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min a_j}{\max a_j - \min a_j} \quad (2)$$

对于逆向指标:

$$x_{ij} = \frac{\max a_j - a_{ij}}{\max a_j - \min a_j} \quad (3)$$

##### ②确定指标变权向量矩阵

为使综合评价结果能更好地反映各评价对象的实际情况,并考虑到人们对评价因素均衡性的要求,本文引入惩罚型变权方法求取各指标的变权重,计算步骤如下:

构建状态变权向量。指数型状态变权向量具有模型扩展能力强、参数设置灵活、决策要求体现明显等优点<sup>[21]</sup>,本文采用指数型状态变权向量,构造如下状态变权向量公式:

$$S_j(X_i) = \begin{cases} e^{\alpha(\beta - x_{ij})} & (x_{ij} \leq \beta) \\ 1 & (x_{ij} > \beta) \end{cases} \quad (4)$$

$S(X)=(S_1(x_i), \dots, S_n(x_i)), j=1, \dots, n; \alpha \geq 0; 0 < \beta \leq 1$ 。其中:  $\beta$  为否定因子, 当状态值  $x_{ij}$  不高于  $\beta$  时, 由变权增大其权重值, 以实现惩罚的目的;  $\alpha$  为惩罚因子, 惩罚效果会随着  $\alpha$  的增大而增大, 指标间表现均衡的对象的综合评判值会更大。在应用时, 可针对具体问题自行设定  $\alpha$ 、 $\beta$  的值。

计算常权权重。常权是变权理论运用的基础, 它反映了评价主体在单一考虑各指标时对其所采取的偏好程度。本文采用熵权法确定各因素的常权  $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ , 具体过程可参考文献<sup>[4]</sup>。

确定变权向量矩阵。结合状态变权向量  $S(X)$  以及常权向量  $W$ , 可求得变权向量矩阵为:

$$W(X) = (w_{ij})_{m \times n} = \frac{W \cdot S(X)}{\sum_{j=1}^n (w_j S_j(X))} \quad (5)$$

## (2) 构建变权灰色关联评价模型

灰色关联度分析(GRA)是灰色系统分析方法中的一种, 依据各因素数列曲线间的接近程度来衡量其关联程度, 曲线越接近, 相互之间的关联程度越大, 否则就越小。在多因素评价问题中, 如果某评价对象与虚拟的安全对象越接近则关联程度就越大, 该对象就越贴近安全对象, 否则就偏离安全对象。具体建模过程如下:

### ①建立加权标准化评价矩阵

由变权向量矩阵  $W(X)$  和归一化评价矩阵  $X$  的相应项相乘得到加权标准化评价矩阵  $C$ , 表示如下:

$$C = (c_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_{11}x_{11} & w_{12}x_{12} & \dots & w_{1n}x_{1n} \\ w_{21}x_{21} & w_{22}x_{22} & \dots & w_{2n}x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1}x_{m1} & w_{m2}x_{m2} & \dots & w_{mn}x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

### ②确定正负理想方案

根据加权标准化评价矩阵  $C$  求取正负安全对象,

设  $c_j^+ = \{\max_{1 \leq i \leq m} c_{ij}\}$ ,  $c_j^- = \{\min_{1 \leq i \leq m} c_{ij}\}$ , 其中  $j=1, \dots, n$ , 则方案  $V^+$  和  $V^-$  分别为正、负安全对象, 其中:

$$V^+ = \{c_1^+, c_2^+, \dots, c_n^+\} \quad V^- = \{c_1^-, c_2^-, \dots, c_n^-\} \quad (7)$$

### ③计算正负灰色关联系数

评价对象  $V_i$  与正安全对象  $V^+$  和负安全对象  $V^-$  关于第  $j$  个指标的灰色关联系数  $r_{ij}^+$ 、 $r_{ij}^-$  分别为:

$$r_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |c_{ij} - c_j^+| + \xi \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^+|}{|c_{ij} - c_j^+| + \xi \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^+|} \quad (8)$$

$$r_{ij}^- = \frac{\min_i \min_j |c_{ij} - c_j^-| + \xi \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^-|}{|c_{ij} - c_j^-| + \xi \max_i \max_j |c_{ij} - c_j^-|} \quad (9)$$

式中:  $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ,  $r_{ij}^+$  和  $r_{ij}^-$  分别为正安全关联系数和负安全关联系数,  $\xi$  为分辨系数, 取  $\xi=0.5$ 。

### ④计算灰色关联贴近度

由正负安全关联系数计算求得各评价对象与正、负安全对象间的灰色关联度为:

$$r_i^+ = \sum_{j=1}^n r_{ij}^+ \quad r_i^- = \sum_{j=1}^n r_{ij}^- \quad (10)$$

则评价对象  $V_i$  的灰色关联贴近度  $R_i$  为:

$$R_i = \frac{r_i^+}{r_i^+ + r_i^-} \quad (11)$$

上式中:  $R_i$  越大则目标对象越接近安全对象。

## 3. 生态安全评价标准

在参考现有研究成果的基础上<sup>[22, 23]</sup>, 通过咨询有关方面的专家, 我们设计了湘西州生态安全分级标准(见表 2)。

表 2 生态安全分级评价标准

| 生态安全指数<br>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,<br>勉强适合人类生存发展   |
| 0.45~0.55      | II  | 差  | 生态环境较差,<br>基本满足人类生存发展需求 |
| 0.55~0.65      | III | 中  | 生态环境一般,<br>满足人类生存发展需求   |
| 0.65~0.75      | IV  | 良  | 生态环境较好,<br>较适合人类生存发展    |
| >0.75          | V   | 优  | 生态环境优越,<br>适合人类生存发展     |

## (三) 数据来源

文中湘西自治州生态安全评价指标体系有关数据来源于《湘西州统计年鉴 2005—2014》《湘西州“十二五”规划》、湘西州统计信息网、中国湘西网等统计资料。

# 三、生态安全评价

## (一) 生态安全综合指数计算

根据收集、整理的湘西州生态安全评价指标数据, 得到多属性评价矩阵  $A$ , 由式(2)、式(3)得归一化评价

矩阵  $X$ 。

$$X = \begin{bmatrix} 1.00 & 0.16 & 0.48 & 0.00 & 0.67 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.29 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.96 & 0.21 & 0.46 & 0.66 & 0.31 & 0.06 & 0.05 & 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.47 & 0.24 & 0.13 & 0.00 & 0.46 & 0.40 \\ 0.88 & 0.26 & 0.44 & 0.76 & 0.58 & 0.12 & 0.12 & 0.05 & 0.17 & 0.00 & 0.58 & 0.17 & 0.18 & 0.09 & 0.91 & 0.70 \\ 0.81 & 0.19 & 0.37 & 0.90 & 0.78 & 0.28 & 0.20 & 0.24 & 0.26 & 0.00 & 0.61 & 0.12 & 0.27 & 0.17 & 0.93 & 0.85 \\ 0.75 & 0.11 & 0.20 & 0.85 & 0.71 & 0.36 & 0.26 & 0.23 & 0.98 & 0.00 & 0.65 & 0.44 & 0.86 & 0.17 & 0.99 & 0.86 \\ 0.38 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 1.00 & 0.39 & 0.34 & 0.69 & 0.98 & 0.00 & 1.00 & 1.00 & 0.57 & 0.57 & 0.84 & 0.86 \\ 0.25 & 1.00 & 0.75 & 0.47 & 0.08 & 0.82 & 0.46 & 0.91 & 0.98 & 0.56 & 0.33 & 0.01 & 0.81 & 0.97 & 1.00 & 0.95 \\ 0.19 & 0.93 & 1.00 & 0.65 & 0.06 & 0.89 & 0.60 & 0.66 & 0.99 & 1.00 & 0.36 & 0.17 & 0.93 & 0.95 & 0.68 & 0.88 \\ 0.06 & 0.94 & 0.60 & 0.57 & 0.00 & 0.92 & 0.85 & 0.86 & 1.00 & 0.56 & 0.22 & 0.00 & 1.00 & 0.99 & 0.78 & 0.93 \\ 0.00 & 0.92 & 0.83 & 0.64 & 0.17 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.94 & 0.28 & 0.13 & 0.97 & 1.00 & 0.92 & 1.00 \end{bmatrix}$$

运用惩罚型变权公式(4)求取变权向量,为使惩罚效果适中,取  $\alpha=0.5$ ;结合归一化评价矩阵  $X$  分析,为保持各指标在综合评价时所占比重的均衡性,取  $\beta=0.6$ 。最后求得状态变权向量  $S(X)$ 。

$$S(X) = \begin{bmatrix} 1.00 & 1.24 & 1.06 & 1.35 & 1.00 & 1.35 & 1.35 & 1.35 & 1.32 & 1.35 & 1.35 & 1.17 & 1.35 & 1.35 & 1.35 & 1.35 \\ 1.00 & 1.21 & 1.07 & 1.00 & 1.16 & 1.31 & 1.32 & 1.32 & 1.35 & 1.35 & 1.07 & 1.20 & 1.27 & 1.35 & 1.07 & 1.11 \\ 1.00 & 1.19 & 1.08 & 1.00 & 1.01 & 1.27 & 1.27 & 1.32 & 1.24 & 1.35 & 1.01 & 1.24 & 1.23 & 1.29 & 1.00 & 1.00 \\ 1.00 & 1.23 & 1.12 & 1.00 & 1.00 & 1.17 & 1.22 & 1.20 & 1.18 & 1.35 & 1.00 & 1.27 & 1.18 & 1.24 & 1.00 & 1.00 \\ 1.00 & 1.28 & 1.22 & 1.00 & 1.00 & 1.13 & 1.18 & 1.21 & 1.00 & 1.35 & 1.00 & 1.09 & 1.00 & 1.24 & 1.00 & 1.00 \\ 1.12 & 1.35 & 1.35 & 1.00 & 1.00 & 1.11 & 1.14 & 1.00 & 1.00 & 1.35 & 1.00 & 1.00 & 1.01 & 1.01 & 1.00 & 1.00 \\ 1.19 & 1.00 & 1.00 & 1.07 & 1.30 & 1.00 & 1.07 & 1.00 & 1.00 & 1.02 & 1.14 & 1.34 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 1.23 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.31 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.13 & 1.24 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 1.31 & 1.00 & 1.00 & 1.02 & 1.35 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.02 & 1.21 & 1.35 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \\ 1.35 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.24 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.17 & 1.27 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$$

运用熵权法确定各指标的常权,所得常权向量  $W$ 。

$$W=(0.057, 0.070, 0.035, 0.024, 0.066, 0.063, 0.068, 0.072, 0.057, 0.176, 0.037, 0.092, 0.050, 0.084, 0.023, 0.024)$$

结合状态变权向量  $S(X)$ 以及常权向量  $W$ ,由式(5)求得变权向量矩阵  $W(X)$ 。

$$W(X) = \begin{bmatrix} 0.045 & 0.069 & 0.029 & 0.025 & 0.052 & 0.067 & 0.072 & 0.077 & 0.060 & 0.187 & 0.040 & 0.085 & 0.053 & 0.089 & 0.025 & 0.025 \\ 0.046 & 0.069 & 0.030 & 0.019 & 0.062 & 0.066 & 0.072 & 0.077 & 0.062 & 0.191 & 0.032 & 0.089 & 0.051 & 0.091 & 0.020 & 0.021 \\ 0.047 & 0.069 & 0.032 & 0.020 & 0.055 & 0.066 & 0.072 & 0.079 & 0.059 & 0.196 & 0.031 & 0.095 & 0.051 & 0.090 & 0.019 & 0.020 \\ 0.048 & 0.072 & 0.033 & 0.020 & 0.056 & 0.062 & 0.070 & 0.073 & 0.057 & 0.200 & 0.032 & 0.099 & 0.050 & 0.088 & 0.020 & 0.020 \\ 0.050 & 0.078 & 0.037 & 0.021 & 0.057 & 0.061 & 0.070 & 0.076 & 0.050 & 0.206 & 0.032 & 0.087 & 0.043 & 0.091 & 0.020 & 0.021 \\ 0.057 & 0.084 & 0.042 & 0.021 & 0.059 & 0.062 & 0.069 & 0.064 & 0.051 & 0.211 & 0.033 & 0.082 & 0.045 & 0.076 & 0.021 & 0.021 \\ 0.063 & 0.065 & 0.033 & 0.024 & 0.080 & 0.058 & 0.068 & 0.067 & 0.053 & 0.167 & 0.040 & 0.115 & 0.046 & 0.078 & 0.022 & 0.022 \\ 0.066 & 0.066 & 0.033 & 0.023 & 0.082 & 0.059 & 0.064 & 0.068 & 0.054 & 0.166 & 0.040 & 0.108 & 0.047 & 0.079 & 0.022 & 0.023 \\ 0.069 & 0.065 & 0.032 & 0.022 & 0.082 & 0.058 & 0.063 & 0.067 & 0.053 & 0.166 & 0.042 & 0.115 & 0.046 & 0.078 & 0.021 & 0.022 \\ 0.072 & 0.066 & 0.033 & 0.022 & 0.077 & 0.059 & 0.064 & 0.068 & 0.054 & 0.165 & 0.041 & 0.109 & 0.047 & 0.079 & 0.022 & 0.022 \end{bmatrix}$$

根据式(6),求得加权标准化评价矩阵  $C$ 。

$$C = \begin{bmatrix} 0.045 & 0.011 & 0.014 & 0.000 & 0.035 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.003 & 0.000 & 0.000 & 0.025 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.044 & 0.015 & 0.014 & 0.013 & 0.019 & 0.004 & 0.003 & 0.004 & 0.000 & 0.000 & 0.015 & 0.021 & 0.007 & 0.000 & 0.009 & 0.009 \\ 0.041 & 0.018 & 0.014 & 0.015 & 0.032 & 0.008 & 0.009 & 0.004 & 0.010 & 0.000 & 0.018 & 0.016 & 0.009 & 0.008 & 0.018 & 0.014 \\ 0.039 & 0.014 & 0.012 & 0.018 & 0.043 & 0.017 & 0.014 & 0.018 & 0.015 & 0.000 & 0.019 & 0.011 & 0.013 & 0.015 & 0.018 & 0.017 \\ 0.037 & 0.009 & 0.008 & 0.018 & 0.041 & 0.022 & 0.019 & 0.017 & 0.049 & 0.000 & 0.021 & 0.038 & 0.037 & 0.015 & 0.020 & 0.018 \\ 0.021 & 0.000 & 0.000 & 0.021 & 0.059 & 0.024 & 0.024 & 0.045 & 0.050 & 0.000 & 0.033 & 0.082 & 0.026 & 0.043 & 0.017 & 0.018 \\ 0.016 & 0.065 & 0.025 & 0.011 & 0.006 & 0.048 & 0.031 & 0.061 & 0.052 & 0.093 & 0.013 & 0.001 & 0.038 & 0.076 & 0.022 & 0.021 \\ 0.012 & 0.062 & 0.033 & 0.015 & 0.005 & 0.053 & 0.038 & 0.045 & 0.054 & 0.166 & 0.014 & 0.018 & 0.044 & 0.076 & 0.015 & 0.020 \\ 0.004 & 0.061 & 0.020 & 0.013 & 0.000 & 0.053 & 0.053 & 0.057 & 0.053 & 0.092 & 0.009 & 0.000 & 0.046 & 0.077 & 0.017 & 0.021 \\ 0.000 & 0.060 & 0.027 & 0.014 & 0.013 & 0.059 & 0.064 & 0.068 & 0.054 & 0.156 & 0.011 & 0.014 & 0.045 & 0.079 & 0.020 & 0.022 \end{bmatrix}$$

由式(7)可得到正、负安全方案  $V^+$ 、 $V^-$  为:

$$\begin{cases} V^+ = (0.044, 0.065, 0.033, 0.021, 0.059, 0.059, \\ \quad 0.064, 0.068, 0.054, 0.166, 0.033, 0.082, \\ \quad 0.046, 0.079, 0.022, 0.022) \\ V^- = (0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, \\ \quad 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, \\ \quad 0.000, 0.000, 0.000, 0.000) \end{cases}$$

由式(8)~(10)得正、负安全对象的灰色关联度为:

$$\begin{cases} r_1^+ = 10.682 \left\{ \begin{array}{l} r_2^+ = 11.005 \\ r_1^- = 14.828 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_3^+ = 11.357 \\ r_2^- = 14.278 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_4^+ = 11.662 \\ r_3^- = 13.733 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_5^+ = 12.212 \\ r_4^- = 13.286 \end{array} \right. \\ r_6^+ = 12.913 \left\{ \begin{array}{l} r_7^+ = 13.355 \\ r_5^- = 12.715 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_8^+ = 13.904 \\ r_6^- = 12.280 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_9^+ = 13.384 \\ r_7^- = 11.657 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} r_{10}^+ = 14.298 \\ r_8^- = 11.336 \end{array} \right. \\ r_{10}^- = 11.788 \left\{ \begin{array}{l} r_{11}^+ = 11.186 \end{array} \right. \end{cases}$$

由式(11)计算第  $i$  个评价对象与安全对象的关联度  $R_i$ , 则评价对象的生态安全综合指数  $R$  为:

$$R = (0.419, 0.435, 0.453, 0.467, 0.490, 0.513, 0.534, 0.550, 0.532, 0.561)$$

## (二) 评价结果分析

根据综合评价结果, 结合生态安全分级评价标准, 我们可看出, 2005—2014 年湘西州生态安全综合指数处在 0.419~0.561 之间, 生态安全等级连续提升两个等级, 这说明研究期内湘西州生态环境逐步得到改善, 逐步与经济社会发展相协调。具体而言, 在 2005—2006 年间, 湘西州生态安全综合指数低于 0.45, 生态安全等级尚处于 I 级, 这说明该时期内湘西州生态环境较为恶劣, 恶劣的生态环境与落后的经济社会相互制约; 在 2007—2013 年间, 湘西州生态安全综合指数处于 0.45~0.55 之间, 生态安全等级处于 II 级, 这说明该时期内湘西州生态环境仍然较差, 生态环境与经济社会仍不能相互促进发展; 2014 年, 湘西州生态安全综合指数高于 0.55, 生态安全等级处于 III 级, 这说明该时期内湘西州生态环境已达到中等水平, 稳步改善的生态环境与经济社会发展逐步趋于协调。

湘西州生态环境逐步得到改善, 与近年来州政府制定并实施生态州建设战略是分不开的。湘西州坚持绿色发展、低碳发展的理念, 积极推进产业结构优化升级, 强化环境保护, 生态环境得到逐步改善, 生态文明建设取得一定成效。但由于该地区地理位置偏僻, 思想观念落后, 适合经济发展的先天条件欠佳, 长期以来政府在科技投入方面不足, 技术水平相对落后, 特别是提高资源利用效率、保护环境的技术十分落后,

导致经济发展缓慢, 城市化水平低, 工农业生产污染严重, 对生态环境造成重大危害。在未来几年, 预计湘西州生态安全形势仍不容乐观, 区域生态系统风险仍然存在。

## 四、影响因素分析

通过前面的研究, 我们发现存在以下问题: 一是区域生态安全的影响因素过多; 二是不同影响因素对区域生态安全的影响程度存在差异; 三是不同影响因素之间存在一定的相关性。为解决上述问题, 本文引入主成分分析法(PCA), 对影响湘西自治州生态安全的 16 个指标进行数据降维处理, 将存在相关关系的影响因素转换成少数几个互相独立的综合影响因子, 使之能精准地总结生态安全的影响因素。

### (一) 主成分分析

利用 SPSS 软件对标准化后的数据进行分析, 得到主成分分析碎石图、主成分列表和主成分因子荷载矩阵。从图 1 主成分分析碎石图可以看出: 成分 1 与 2、成分 2 与 3 的特征值之差比较大, 相对而言其他的因子之间的特征值差值较小, 初步确定提取前 3 个成分可概况绝大部分信息。

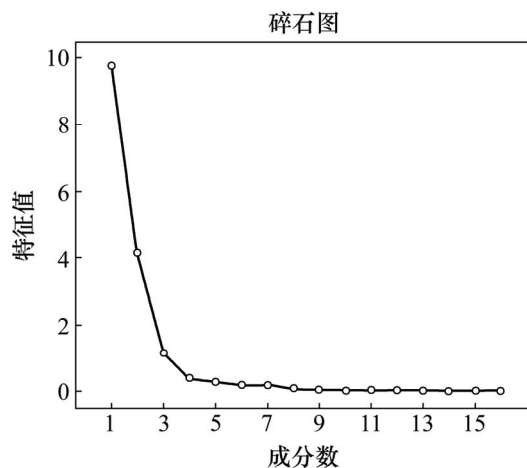


图 1 主成分分析碎石图

从表 3 主成分列表可知: 只有前三个特征值大于 1, 且前三个成分足以解释总变异的 93.947%。符合主成分方差占总方差 80% 的要求, 因此可以确定选取前三个成分作为主成分, 代替原始变量进行分析。

原始数据变量与主成分之间的相关系数矩阵(见表 4), 主成分因子荷载矩阵反映出了主成分  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  与原始变量之间的关系。

表3 主成分列表

| 成分 | 初始特征值 |        |         | 提取平方和载入 |        |        |
|----|-------|--------|---------|---------|--------|--------|
|    | 合计    | 方差的%   | 累积%     | 合计      | 方差的%   | 累积%    |
| 1  | 9.759 | 60.992 | 60.992  | 9.759   | 60.992 | 60.992 |
| 2  | 4.145 | 25.903 | 86.895  | 4.145   | 25.903 | 86.895 |
| 3  | 1.128 | 7.052  | 93.947  | 1.128   | 7.052  | 93.947 |
| 4  | 0.347 | 2.171  | 96.118  |         |        |        |
| 5  | 0.238 | 1.486  | 97.604  |         |        |        |
| 6  | 0.177 | 1.108  | 98.712  |         |        |        |
| 7  | 0.157 | 0.982  | 99.694  |         |        |        |
| 8  | 0.036 | 0.226  | 99.920  |         |        |        |
| 9  | 0.013 | 0.080  | 100.000 |         |        |        |
| 10 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 11 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 12 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 13 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 14 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 15 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |
| 16 | 0.000 | 0.000  | 100.000 |         |        |        |

表4 主成分因子荷载矩阵

| 影响因素                        | 主成分    |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
|                             | $F_1$  | $F_2$  | $F_3$  |
| 人口密度( $C_1$ )               | 0.156  | 0.947  | 0.209  |
| 单位耕地面积农药使用量( $C_2$ )        | -0.918 | 0.359  | 0.112  |
| 单位耕地面积化肥使用量( $C_3$ )        | -0.782 | 0.627  | 0.196  |
| 单位工业产值废水排放量( $C_4$ )        | -0.836 | -0.699 | 0.337  |
| 单位工业产值固体废弃物产生量( $C_5$ )     | 0.755  | -0.526 | -0.208 |
| 单位GDP耗能( $C_6$ )            | -0.045 | -0.996 | -0.053 |
| 农民人均纯收入( $C_7$ )            | 0.105  | 0.064  | 0.939  |
| 每万人拥有卫生技术人员( $C_8$ )        | 0.223  | 0.191  | 0.920  |
| 森林覆盖率( $C_9$ )              | 0.434  | 0.813  | 0.269  |
| 人均耕地面积( $C_{10}$ )          | -0.247 | 0.920  | 0.044  |
| 人均粮食产量( $C_{11}$ )          | -0.248 | 0.934  | -0.084 |
| 环保投资占固定资产投资总额比重( $C_{12}$ ) | -0.388 | 0.658  | 0.809  |
| 工业废水达标排放率( $C_{13}$ )       | 0.903  | 0.269  | 0.095  |
| 生活污水处理率( $C_{14}$ )         | 0.969  | 0.047  | 0.169  |
| 受保护地区占国土面积比重( $C_{15}$ )    | 0.472  | 0.694  | -0.489 |
| 工业用水重复利用率( $C_{16}$ )       | 0.740  | 0.802  | -0.290 |

从表4主成分因子荷载矩阵可知,第一主成分在 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_{13}$ 、 $C_{14}$ 等指标上有较大载荷,上述指标涉及对环境有害的危险物质的使用量、排放量及处理率,可以将其定义为“环境影响因子”,记为 $F_1$ 。从因子载荷系数的符号判断,也与理论假设基本一致,即单位耕地面积农药使用量、单位耕地面积化肥使用量、单位工业产值废水排放量、单位工业产值固体废弃物产生量等指标值的增加会降低生态系统的安全性,而工业废水达标排放率、生活污水处理率等指标的增加会提高生态系统的安全性。第一主成分概括了16个原始变量的60.992%的信息。第二主成分在 $C_1$ 、 $C_6$ 、 $C_9$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{11}$ 、 $C_{15}$ 、 $C_{16}$ 等指标上有较大载荷,上述指标涉及各类资源的拥有量、使用量及利用率,可以将其定义为“资源影响因子”,记为 $F_2$ 。第三主成分在 $C_7$ 、 $C_8$ 和 $C_{12}$ 等指标上有较大载荷,以上三个指标主要反映社会发展、社会投入对生态安全的影响,可以将其定义为“社会影响因子”,记为 $F_3$ 。

(二) 因素分析

1. 环境影响因子

构成第一主成分的环境影响因素主要是农药、化肥等有害物质的使用强度,废水、固体废弃物等有害物质的排放强度及综合利用程度。总体来看,2005—2014年间,湘西自治州广泛运用农业防虫技术,大力推广清洁生产和清洁技术,农药使用强度、废水排放量强度呈明显下降趋势,工业废水达标排放率得到稳步提升,尤其是生活污水处理率提高约75%。环境影响指标的改善减轻了区域生态系统承受的压力,维护了湘西自治州生态安全。但是,近年来受自然、地理条件的影响,湘西自治州单位耕地面积化肥使用量没有明显下降,工业生产过程中产生的固体废弃物甚至呈逐步上升的态势,这些不利环境因素严重影响了湘西州生态系统安全指数的快速提升。

2. 资源影响因子

构成第二主成分的资源影响因素主要是人口密度、单位GDP能耗、森林覆盖率、人均耕地面积、人均粮食产量、受保护地区占国土面积比重、工业用水重复利用率等。十年来,湘西自治州单位GDP能耗值缓慢下降,森林覆盖率则稳步提升,这些积极因素极大地促进了湘西州生态系统安全性的提升。然而由于湘西自治州多山地、少平原,适宜人类居住的土地面积稀少,长期以来人均耕地面积少,粮食产量低。此外由于资源利用率不高,湘西自治州的固体废物综合利用率、工业用水重复利用率等指标长期处于较低水平。虽然上述指标值近年来逐年得到提升,但提升幅度不明显,与国家生态市的建设标准差距较大。较少

的资源总量与较低的资源利用率给区域生态安全带来较重的压力。

### 3. 社会影响因子

构成第三主成分的社会影响因素主要是农民人均纯收入、每万人拥有卫生技术人员、环保投资占固定资产投资比重等。十年来, 湘西自治州农民人均纯收入、每万人拥有卫生技术人员、环保投资占固定资产投资比重等指标均有不同程度的提高, 这表明近年来湘西自治州的社会发展取得了长足进步。社会发展进步, 一方面刺激了人们的消费需求, 加大了对生态系统的资源与环境压力; 另一方面也会带动关系民生的各项社会事业发展, 促进人口素质提升, 增强人们环保意识, 从而有利于降低生态系统的风险性, 提高生态安全等级。但是, 与其他地区比较, 湘西州内人们的收入水平仍然不高, 各项社会事业发展相对落后, 环保事业的投入规模有限, 不利于该地区生态安全等级提升。

## 五、结论

首先, 本文基于 PSR 模型框架, 构建区域生态安全评价指标体系, 对湘西自治州 2005—2014 年间的生态安全进行综合评价。研究结果表明, 十年间湘西自治州生态安全综合指数整体呈现上升趋势, 生态环境压力有所缓解, 但生态安全形势仍不容乐观, 区域生态系统风险仍然存在。今后在推进生态文明建设过程中, 湘西自治州要积极推进县域经济结构调整和产业升级, 提高区域生态安全等级, 促进社会经济与生态环境保护协调发展。

其次, 借鉴变权重理论和灰色关联思想, 构建了贴近实际的变权灰色关联评价理论模型。该模型引入变权重理论, 考虑了各指标取值不同时其权重取值的变化, 在一定程度上避免了生态安全评价在常权状态下可能出现的“状态失衡”的问题。该模型评价结果与湘西自治州生态安全实际情况相符, 可以为其他民族贫困地区生态安全评价提供参考。

最后, 运用主成分分析法进行数据降维处理, 将具有错综复杂关系的分析指标进行简化, 降低分析指标间的相互干扰, 从而使分析结论更加客观。在实践中, 本文运用该方法对湘西自治州生态安全的众多因素进行数据处理, 得到了 3 个相互独立的综合影响因子, 深入分析综合影响因子的因素构成与变化趋势, 为改善湘西自治州生态环境提供了思路和途径。

### 参考文献:

- [1] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.
- [2] 黄宝强, 刘青, 胡振鹏, 等. 生态安全评价研究述评[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 150-156.
- [3] Alcamo J, Endejan M B, Kaspar F, et al. The glass model: a strategy for quantifying global environment security [J]. Environmental science and policy, 2001, 4(1): 1-12.
- [4] 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.
- [5] 舒帮荣, 刘友兆, 徐进亮, 等. 基于 BP-ANN 的生态安全预警研究: 以苏州市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(9): 1080-1085.
- [6] 秦晓楠, 卢小丽. 沿海城市生态安全作用机理及系统仿真研究[J]. 中国人口, 资源与环境, 2014, 14(2): 60-68.
- [7] 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): 1702-1711.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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): 1379-1390.
- [11] 刘心竹, 米锋, 张爽, 等. 基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价[J]. 生态学报, 2014, 34(11): 3115-3127.
- [12] 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.
- [13] 余敦, 高群, 欧阳龙华. 鄱阳湖生态经济区土地生态安全警情研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 676-683.
- [14] 任平, 洪步庭, 周介铭. 长江上游农业主产区耕地生态安全评价与空间特征研究[J]. 中国人口, 资源与环境, 2013, 23(12): 65-69.
- [15] 邱微, 赵庆良, 李崧, 等. 基于“压力-状态-响应”模型的黑龙省生态安全评价研究[J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1148-1152.
- [16] 胡秀芳, 赵军, 查书平, 等. 草原生态安全模糊评价方法研究——以甘肃天祝高寒草原为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(3): 71-77.
- [17] 魏伟, 石培基, 雷莉, 等. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2023-2035.
- [18] 杨宝臣, 陈跃. 基于变权和 TOPSIS 方法的灰色关联决策模型[J]. 系统工程, 2011, 29(6): 106-112.

- [19] 夏春林, 周德云, 冯琦. 基于变权灰色关联法的目标威胁评估[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(4): 54–57.
- [20] 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.
- [21] 李德清, 郝飞龙. 状态变权向量的变权效果[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(6): 127–131.
- [22] 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: 以重庆市巫山县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 385–391.
- [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. 地理研究, 2014, 33(8): 1457–1466.

## Assessment of ecological security and analysis of the influence factors in minority poverty area: A case study of Xiangxi Autonomous Prefecture

ZHANG Qinli<sup>1</sup>, SHAO Jia<sup>1,2</sup>, PENG Xiuli<sup>2</sup>, CHEN Qiusong<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Business School, Jishou University, Jishou 416000, China)

**Abstract:** In order to monitor effectively the dynamic changes of regional ecological security, the present study establishes the evaluation index system of ecological security from such three aspects as the pressure (P), the state (S) and the response(R). And based on the variable weight theory and grey relational analysis (GRA), the study calculates the degree of the comprehensive security of various objects, determines the grade of regional ecological security, and finally extracts the factors affecting regional ecological security by adopting the method of analyzing the principal component. The results show that the composite index of ecological security in Xiangxi Autonomous Prefecture presents an upward trend from 2005—2014 and that the pressure of ecological environment has been relieved. The overall ecological security situation in this area, however, is still not optimistic and the ecological risk still exists. In addition, analysis of the principal component indicates that the factors influencing the ecological security in Xiangxi Autonomous Prefecture can be classified into the environmental factor, the resources factor and the social factor. Among them, the environmental factor exerts the biggest effect, with the resources factor as the second and the social factor the least.

**Key Words:** ecological security; variable weight and grey relational analysis; principal component analysis method, factor analysis; minority poverty area

[编辑: 苏慧]