

汪雨琴,余敦,刘庆芳. 基于 TOPSIS 方法的土地生态安全评价——以神农架林区为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):285-288.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.067

基于 TOPSIS 方法的土地生态安全评价 ——以神农架林区为例

汪雨琴,余敦,刘庆芳

(江西农业大学国土资源与环境学院,江西南昌 330045)

摘要:在寻求经济最大化的同时,对土地、资源、生态、环境等进行保护以使社会经济处在可持续发展的状态,而对土地生态安全进行评价并为其提供基础数据和研究方向。运用专家咨询法和压力—状态—响应模型构建评价指标体系,结合层次分析法和熵权法确定指标权重,使用逼近理想点排序法对 2004—2012 年间神农架林区及其压力—状态—响应等 3 个子系统的土地生态安全状况进行研究与分析。结果显示,神农架林区的土地生态状态在 2004—2008 年呈波动下降趋势,2008—2012 年呈上升趋势。就各子系统而言,压力层于 2004—2008 年急剧下降,2008—2012 年回升,状态层呈“W”形,2007 年达到顶峰,2006 年和 2008 年为谷底;响应层波动上升。影响评价结果的指标因素主要有单位面积化肥施用量、第一产业增长速度、人均 GDP、城市生活污水处理率、工业污染治理项目投资额等。通过对神农架林区的土地生态安全进行评价和研究,可为神农架林区的平衡持续发展提供理论参考。

关键词:TOPSIS 方法;土地生态安全评价;压力层;层次分析法;熵权法;神农架林区;生态文明建设

中图分类号:X821 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)19-0285-04

土地生态安全评价研究是土地资源管理和区域可持续发展的一项重要研究课题,是生态安全的重要组成部分^[1]。充分且集约节约的利用资源会带来经济效益,而与此同时若造

成对资源的过度利用以及对环境的过度破坏则会导致经济发展的不可持续性^[2]。因此,在保证经济、资源和环境可持续发展条件下寻求资源的最大化利用以及维持环境破坏度在其自我修复限制值内具有十分重要的研究意义。通过土地生态安全评价,能够相对科学全面地评价人类活动对土地生态安全的影响,从而更好地推动生态文明建设^[3]。有许多学者以不同区域为例,运用不同的模型和方法对此进行评价与研究。叶达等运用正态云模型以宁夏孙家滩国家农业科技园区为例对半干旱区农业开发进行评价^[4];毕安平运用压力—状态—响应(pressure—state—response,PSR)模型对朱溪河流域的生态经济系统进行研究^[5];刘小波等基于改进的 SPA 方

收稿日期:2016-08-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:41561107);江西省自然科学基金(编号:20151BAB203039);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ13263);江西农业大学科学研究基金自由申请项目。

作者简介:汪雨琴(1995—),女,江西乐平人,硕士研究生,主要从事土地资源管理研究。E-mail:1768815643@qq.com。

通信作者:余敦,博士,副教授,主要从事土地资源管理研究。E-mail:jxauyd@163.com。

[2]杨新兴,冯丽华,尉鹏. 大气颗粒物 PM_{2.5} 及其危害[J]. 前沿科学,2012,6(1):22-31.

[3]Holmes N S,Morawska L,Mengersen K,et al. Spatial distribution of submicrometer particles and CO in an urban microscale environment[J]. Atmospheric Environment,2005,39(22):3977-3988.

[4]Yue W S,Li X L,Liu J F,et al. Characterization of PM_{2.5} in the ambient air of Shanghai city by analyzing individual particles[J]. The Science of the Total Environment,2006,368(2/3):916-925.

[5]杨复沫,贺克斌,马永亮,等. 北京大气 PM_{2.5} 中微量元素的浓度变化特征与来源[J]. 环境科学,2003,24(6):33-37.

[6]Chan Y C,Simpson R W,Mctainsh G H,et al. Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia[J]. Atmospheric Environment,1997,31(22):3773-3785.

[7]Rodríguez S,Querol X,Alastuey A,et al. Comparative PM₁₀-PM_{2.5} source contribution study at rural,urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain[J]. Science of the Total Environment,2004,328(1/2/3):95-113.

[8]Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta

analysis[J]. Environmental Research,1994,64(1):36-52.

[9]Powe N A,Willis K G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO₂ and PM₁₀) absorption attributable to woodland in Britain[J]. Journal of Environmental Management,2004,70(2):119-128.

[10]郭二果,王成,房城,等. 北京西山典型游憩林空气颗粒物不同季节的日变化[J]. 生态学报,2009,29(6):3253-3263.

[11]古琳,王成,王晓磊,等. 无锡惠山三种城市游憩林内细颗粒物(PM_{2.5})浓度变化特征[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2485-2493.

[12]姚从容,陈魁. 城市环境空气质量变化规律及污染特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(5):50-52.

[13]Latha K M,Highwood E J. Studies on particulate matter (PM₁₀) and its precursors over urban environment of Reading, UK[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer,2006,101(2):367-379.

[14]陈博,王小平,刘晶岚,等. 不同天气下景观生态林内外大气颗粒物质量浓度变化特征[J]. 生态环境学报,2015,24(7):1171-1181.

法对四川省乐山市进行研究^[6];荣慧芳等基于熵权物元模型以皖江城市带研究区域展开了研究^[7];肖玲等基于生态压力指数以江西省为对象进行研究^[8];罗文斌等运用物元分析法以浙江省杭州市为例进行了评价和分析^[9]。在上述研究的基础上,本试验采用逼近理想点排序法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)对湖北省神农架林区进行土地生态安全评价研究。神农架林区于 1970 年建制,属湖北省管辖,境内森林覆盖率超过 85%,是著名的旅游景区,面临着经济发展和生态环境保护的矛盾和压力^[10]。TOPSIS 是多属性决策的一种方法^[11],通过各年份与正理想解(各年份中最理想的目标值)和负理想解(各年份中最不理想的目标值)的距离来计算土地生态安全状况值。本研究选取了单位面积化肥施用量、城镇化水平、人口密度等 17 个指标,通过 PSR 方法和指标数据可获取性构建了指标体系,对神农架林区的土地生态安全进行评价,以期对神农架林区的生态文明建设提供有益参考。

1 研究区概况与数据来源

神农架坐落在湖北省西部,辖 5 镇 3 乡,地跨 31°15′~31°75′N, 109°56′~110°58′E,总面积 3 253 km²,其中林地占 85% 以上,近几年森林覆盖率甚至超过 90%。2014 年户籍人口为 79 248 人,男女性别比为 114.4:100,城镇化率为 47.35%,地区生产总值为 20.24 亿元,其中第三产业 10.18 亿元,占比达 50.3%,旅游发展、生态保护、民生保障是当地面临的 3 项重点工作。本研究所涉及的数据来源于 2004—2012 年的神农架林区统计年鉴,指标可分为原始指标和计算指标。原始指标如森林覆盖率等直接由查阅统计年鉴获得,计算指标如第三产业比重^[12]等由统计年鉴中的指标计算得出。

2 研究方法

2.1 PSR 模型法

PSR 模型法是目前比较主流的构建评价指标体系的方法之一,该指标相对更偏向于人类活动和社会经济的影响^[13]。最初由加拿大统计学家提出,后由 OECD(经济合作与发展组织)和 UNEP(联合国环境规划署)^[14-15]用于研究环境问题。该模型的系统、灵活和可操作性使得其在生态环境评价研究中被普遍应用^[12]。

2.2 Yaahp 软件层次分析法

层次分析法由美国运筹学家 Saaty 所提出^[16],是一种偏主观的赋权方法,其原理是:先把问题按照相互包含的关系建立几个层次,然后逐层对同一层次的要素两两进行比较,一致性检验通过后,再计算确定各指标在该层的权重,并结合上一层的权重确定最终权重^[17]。Yaahp 是一款辅助层次分析法的软件,输入数据后,软件会自动检验一致性并且输出计算结果。在节省时间和人力的同时^[18],保证计算的正确性。

2.3 熵权法

熵权法的基本原理是:通过一系列的计算来确定指标变异性的,并以此来代表该指标在所有指标中的权重^[19]。本研究运用熵权法的步骤为:(1)把指标中的负指标转化为正指标,负指标是指数值越大、生态安全状况值越小的指标,

正指标则相反。本研究绝对数 x 采用倒数法($100/x$),相对数 x 使用差值法($1-x$)。

(2)数据标准化处理。用 i 指代指标 j 指代年份, x_{ij} 表示第 j 个年份的第 i 个指标的值。由于负指标已经转化为正指标,因此标准化处理后,有

$$x_{ij} = [x_{ij} - (x_i)_{\min}] / [(x_i)_{\max} - (x_i)_{\min}] \quad (1)$$

(3)计算各指标的熵值^[20-21]。第 i 个指标的熵 E_i 可定义为

$$E_i = -k \sum_{j=1}^n (f_{ij} \times \ln f_{ij}) \quad i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n_0 \quad (2)$$

其中

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

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad (4)$$

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

(4)确定指标权重^[22]。

$$W_i = (1 - E_i) / (m - \sum_{i=1}^m E_i) \quad i=1,2,3,\dots,m_0 \quad (5)$$

2.4 TOPSIS 分析方法

TOPSIS 是一种经典的多属性决策方法,首先被 Hwang 和 Yoon 用来研究多属性决策问题,现已在各种领域被广泛应用。本研究的操作步骤为:(1)归一化处理。设某一决策问题的决策矩阵为 A ,其元素为 f_{ij} ,则有

$$A = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

数值规范化后形成矩阵 Z ,其元素为 Z_{ij} ,公式如下

$$Z_{ij} = \frac{f_{ij}}{[\sqrt{\sum_{j=1}^n (f_{ij})^2}]} \quad i=1,2,3,\dots,m; j=1,2,\dots,n; \quad (6)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \cdots & Z_{nm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(2)构造规范化的加权决策矩阵。其元素有

$$Z_{ij}' = W_i \times Z_{ij} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n_0 \quad (7)$$

其中, W_i 为第 i 个指标的权重。

(3)确定理想解。正理想解 $Z_1 = (Z_{ij}')_{\max}$,负理想解 $Z_2 = (Z_{ij}')_{\min}$ 。

(4)计算每个年份的 S_1 和 S_2 。 S_1 为距正理想解(各年份中最理想的目标值)的距离, S_2 为距负理想解(各年份中最不理想的目标值)的距离。本研究中 S_1 和 S_2 采用欧式范数进行计算,则

$$S_1 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_1 - Z_{ij}')^2} \quad (i=1,2,\dots,m); \quad (8)$$

$$S_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij}' - Z_2)^2} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (9)$$

(5)计算与理想解的相对贴近度 C 。

$$C = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \quad (10)$$

其中: C 值越大, 表示该年份在所有年份中的土地生态安全系数越高。

3 土地生态评价指标体系的构建

3.1 构建指标体系

本研究使用 PSR 模型构建指标体系, 从压力、状态、响应 3 个方面通过专家咨询法构建出 8 个二级指标、17 个三级指标。该体系有 3 个层次(表 1), 其中在压力层下分为人口压力、社会经济压力和环境压力 3 个二级指标, 下面又分有人口

密度、城镇化率等 6 个三级指标; 状态层下分为环境状态、资源状态、经济状态 3 个二级指标, 下面又分有森林覆盖率、人均耕地面积等 5 个三级指标; 响应层下分为经济响应和环境治理响应 2 个二级指标, 下面又分有农民人均纯收入、工业废水排放达标率等 6 个三级指标。

3.2 确定权重

本研究结合定量的熵权法和偏定性的层次分析法来确定权重, 具体操作方法为: 首先计算出 2 种方法下各自的权重值, 然后求其平均值, 以此作为最终的权重(表 1)。

表 1 神农架林区土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层 A	准则层 B	指标层 C	权重	属性
土地生态安全	土地生态压力	人口压力	人口密度(人/km ²)	0.064	-
			人口自然增长率(‰)	0.031	-
		社会经济压力	城镇化率(%)	0.035	-
			经济密度(万元/km ²)	0.057	+
		环境压力	单位面积化肥施用量(kg/hm ²)	0.104	-
			有效灌溉面积占耕地面积(%)	0.077	+
	土地生态状态	环境状态	森林覆盖率(%)	0.084	+
			人均耕地面积(hm ² /人)	0.058	+
		资源状态	人均 GDP(元)	0.048	+
			第一产业增长速度(%)	0.034	+
		经济状态	第三产业占比(%)	0.037	+
			第三产业增长速度(%)	0.050	+
	土地生态响应	经济响应	农民人均纯收入(元)	0.054	+
			工业废水排放达标率(%)	0.063	+
		环境治理响应	工业用水重复利用率(%)	0.059	+
			城市生活污水处理率(%)	0.065	+
			工业污染治理项目投资额(万元)	0.080	+

注: “+”“-”分别表示指标与目标呈正相关或负相关。

4 结果与分析

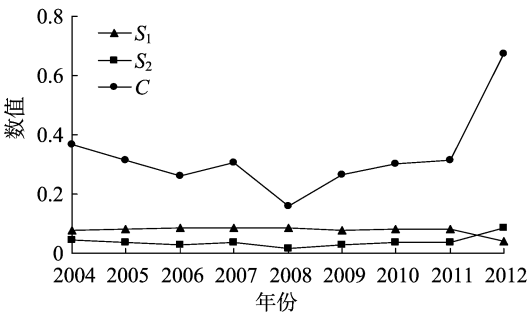
4.1 神农架林区生态安全评价分析

利用上述 TOPSIS 按步骤计算出神农架林区的 S_1 、 S_2 、 C 值, 根据计算得出的神农架林区土地生态安全评价结果(图 1), 可直观看出, C 值的总体趋势是波动上升。2004—2006 年 C 值一直是下降的, 2007 年小幅反弹, 2008 年落至 2004—2012 年的最低值, 2008—2011 年一直增长, 但增长速度呈递减趋势, 2012 年增长强劲, 增长速度、增长数量和土地生态安全状态都居 2004—2012 年之最。 S_1 在 2012 年急剧减小, S_2 在 2012 年急剧增加, 2012 年 C 、 S_2 等 2 个指标的值均居 2004—2012 年之首。 S_2 在 2004—2011 年间波动变化较 S_1 更为明显, 它与 C 值的变化趋势相同。这表明在 2004—2011 年间, 相对于 S_1 , S_2 对 C 值的贡献率更大。在 2004—2011 年间, 2008 年的 S_2 最小, 为 0.02, 2008 年最接近负理想解。

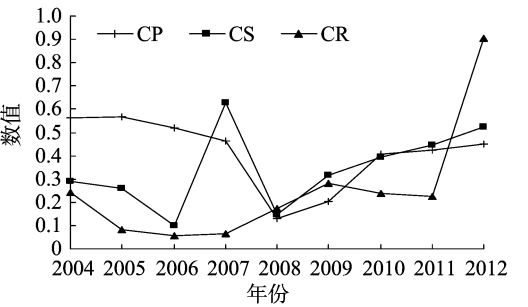
4.2 各子系统生态评价

神农架林区各子系统生态安全状况如图 2 所示。

4.2.1 压力层 压力层的 C 值大致为 2004—2008 年急剧下降至最低值, 2008—2012 年回升。导致该现象的主要原因有 2 个: 一是人口方面。人口增长率在 2004—2008 年间大致呈增长态势, 2008 年到达顶峰, 为 0.45%; 2009—2012 年急剧降至不到 0.2%。二是环境方面。2008 年单位面积化肥施用量达到顶峰 339.45 kg/hm²。人口增长率在 2004—2012 年间



数据来源于 2004—2012 神农架林区统计年鉴
图 1 神农架林区 2004—2012 年土地生态安全趋势



数据来源于 2004—2012 神农架林区统计年鉴; CP 表示压力层的 C 值, CS 表示状态层的 C 值, CR 表示响应层的 C 值
图 2 神农架林区土地生态安全评价各子系统状况

始终低于同年全国人口增长率;而单位面积化肥施用量(化肥施用强度)虽于 2004—2007 年保持在 150 kg/hm^2 以下,但自 2008 年达到顶峰时期的 339.45 kg/hm^2 以来,2008—2012 年均高于 255 kg/hm^2 ,高于国家生态县建设标准安全值 200 kg/hm^2 。

4.2.2 状态层 状态层的 C 值趋势大致呈“W”形。2007 年达到顶峰,2006、2008 年为谷底,2008—2012 年是回升状态。其中,2007 年 C 值到达顶峰主要是因为该年的第一产业增长速度为 17.9%,远高于其他年份,2008—2012 年平稳回升主要是因为人均 GDP 逐渐增长。说明当地经济的增长能带动状态层的 C 值好转。

4.2.3 响应层 响应层的生态安全状况为波动上升,以 2012 年的急剧增大最为显著,这主要是因为 2012 年城市生活污水处理率和工业污染治理项目投资额增加幅度非常大。这体现出当地政府对环境治理的重视,带动响应层的生态安全状况逐渐好转。而响应层的指标权重占比最高,贡献率最高,两者带动神农架林区的生态安全状况值在 2012 年急剧增长。

5 结论与讨论

本试验以湖北省神农架林区作为研究区域,构建神农架林区土地生态安全评价指标体系,然后运用 TOPSIS 方法对原始数据计算,并从总体层次和压力状态响应 3 个二级层次对计算结果进行分析。结果表明,就各子系统而言,压力层于 2004—2008 年急剧下降,2008—2012 年回升;状态层呈“W”形,2007 年达到顶峰,2006、2008 年为谷底;响应层波动上升。在总体层次上,土地生态安全状况于 2004—2008 年波动下降,2008—2014 年逐渐回升,且趋势明显。国家和地方政府对环境治理的重视和投入明显推动了土地生态安全状况的逐步回升,而波动下降的制约点主要在于单位面积化肥施用量等指标,这些指标在今后推进生态文明建设中须要得到重视。

本研究结果与当地的实际情况基本相符,且与利用 TOPSIS 研究其他区域学者的研究结论^[23-25]相似,证明使用 TOPSIS 来研究土地生态安全评价是可行的。本研究指标的选取和其数据主要来源于统计年鉴,部分指标局限于其数据的不可获取而无法参与到评价过程中,可能导致指标体系的不健全。本试验主要参考其他学者对其他区域的研究,而神农架林区与其他区域略有不同,它属于旅游区。本研究并没有考虑这个特殊性,这也是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 孙奇奇,宋戈,齐美玲.基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(1):234-238.
- [2] 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.
- [3] 张正华,吴发启,王健,等.土地生态评价研究进展[J].西北林学院学报,2005,20(4):104-107,111.
- [4] 叶达,吴克宁,刘需珈.半干旱区农业开发土地资源生态安全评价——以宁夏孙家滩国家农业科技园区为例[J].环境科学学报,2016,36(3):1099-1105.

- [5] 毕安平,朱鹤健.基于 PSR 模型的水土流失区生态经济系统耦合研究——以朱溪河流域为例[J].中国生态农业学报,2013,21(8):1023-1030.
- [6] 刘小波,秦天彬,周宝同,等.基于改进 SPA 的乐山市耕地生态安全评价[J].西南师范大学学报(自然科学版),2016,41(3):147-154.
- [7] 荣慧芳,张乐勤,严超.基于熵权物元模型的皖江城市带土地生态安全评价[J].水土保持研究,2015,22(3):230-235.
- [8] 肖玲,董林林,兰叶霞,等.基于生态压力指数的江西省生态安全评价[J].地域研究与开发,2008,27(1):117-120,125.
- [9] 罗文斌,吴次芳,汪友结.基于物元分析的城市土地生态水平评价:以浙江省杭州市为例[J].中国土地科学,2008,22(12):31-38.
- [10] 李巍,程红光,高吉喜.湖北神农架林区可持续发展战略生态规划[J].中国环境科学,2002,22(4):375-379.
- [11] 庄伟,廖和平,潘卓,等.基于变权 TOPSIS 模型的三峡库区土地生态安全评估——以巫山县为例[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(8):106-112.
- [12] 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(6):678-683.
- [13] 谢花林,刘曲,姚冠荣,等.基于 PSR 模型的区域土地利用可持续性水平测度——以鄱阳湖生态经济区为例[J].资源科学,2015,37(3):449-457.
- [14] 李春瑜.大气环境治理绩效实证分析——基于 PSR 模型的主成分分析法[J].中央财经大学学报,2016(3):104-112.
- [15] 张锐,郑华伟,刘友兆.基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价[J].生态学报,2013,33(16):5090-5100.
- [16] 邓雪,李家铭,曾浩健,等.层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J].数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.
- [17] 申志东.运用层次分析法构建国有企业绩效评价体系[J].审计研究,2013(2):106-112.
- [18] 吴文广,张继红,魏龔伟,等.莱州湾泥螺生态安全风险评价——基于 AHP 的 YAAHP 软件实现[J].水产学报,2014,38(9):1601-1610.
- [19] 赵磊,刘洪彬,于国锋,等.基于熵权法土地资源可持续利用综合评价研究——以辽宁省葫芦岛市为例[J].资源与产业,2012,14(4):63-69.
- [20] 贾艳红,赵军,南忠仁,等.熵权法在草原生态安全评价研究中的应用——以甘肃牧区为例[J].干旱区资源与环境,2007,21(1):17-21.
- [21] 洪惠坤,廖和平,魏朝富,等.基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J].生态学报,2015,35(24):8016-8027.
- [22] 李睿璞,关江华.基于 PSR 模型的快速城市化地区土地利用系统健康性评价——以深圳市为例[J].华中农业大学学报(社会科学版),2016(3):112-117.
- [23] 陈西蕊,张蓉珍. TOPSIS 法在区域生态安全动态评价中的应用——以陕西省为例[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(7):177-184.
- [24] 徐美,朱翔,李静芝.基于 DPSIR-TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J].冰川冻土,2012,34(5):1265-1272.
- [25] 黄海,谭晶今,陈春,等.基于 TOPSIS 方法的山东省土地生态安全动态评价[J].水土保持研究,2016,23(3):220-224.