

# 基于PSR模型的甘州区生态系统健康评价

王璐薇, 王平

(甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 基于“压力-状态-响应”(PSR)模型, 采取客观赋权法中的熵值法来评估指标权重, 通过加权累计得到生态系统健康评价综合值。结果表明, 甘州区生态系统健康综合指数在2006—2015年期间呈现整体缓慢上升、平稳发展的趋势。生态系统健康压力指数整体呈现上升趋势, 到2015年达到0.325 1; 生态系统健康状态指数经历了波动阶段, 2015年上升到0.136 1; 响应指数经历了前期小幅度波动后稳定上升, 2015年上升到0.235 2。甘州区生态系统健康状况虽然持续好转, 却处于“一般病态”状态。

**关键词:** 生态系统评价; PSR模型; 健康综合指数; 甘州区

**中图分类号:** X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2018)07-0063-04

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2018.07.020

## Ecosystem Health Assessment of Ganzhou District Based on PSR Model

WANG Luwei, WANG Ping

(College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agriculture University, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** Based on the “pressure-state-response”(PSR) model, the entropy method in the objective weighting method was used to evaluate the index weights, and the integrated value of the ecosystem health assessment was obtained through weighted cumulation. The results indicate that the comprehensive index of ecosystem health in the Ganzhou district exhibited an overall slow increase and steady development trend during 2006 to 2015. The ecosystem health pressure index went in an overall uptrend, reaching 0.325 1 in 2015; the ecosystem health status index experienced a wave of fluctuations and rose to 0.136 1 in 2015; the response index experienced a steady increase after a slight fluctuation in the previous period, and it rose to 0.235 2 in 2015. Although the state of ecosystem health in Ganzhou continues to improve, it is still in a state of “normal sickness”.

**Key words:** Ecosystem assessment; PSR model; Health status; Ganzhou district

近年来, 我国生态环境问题频发, 归根结底是土地利用对人类干扰的影响增大。当前在我国土地政策持续强化集约节约用地的前提下, 强调自然与人类的和谐发展, 国家也适时地出台了一系列稳定增长、调整结构的用地政策, 促进经济、社会与生态文明统一协调发展。然而, 土地利用变化逐渐成为诱发全球变化的主要驱动力, 也带来了一系列生态环境问题, 如土地退化、土地荒漠化、林地和草地面积锐减、温室效应和生物多样性逐渐消失等。因此, 如何保持生态系统健康发展成为国内外学者研究的重点和热点<sup>[1-2]</sup>。如赵帅等<sup>[3]</sup>以构造特征映射神经网络(SOM)为算法实现手段, 从复杂系统结构演化的角度提出新的城市生态系统健康评价模型, 不但在评估方法

上具有先进性, 在预测生态系统健康状态变化趋势上也极具潜力; 谢飞等<sup>[4]</sup>采用主成分分析(PCA)与熵权法相结合的方法, 在解决了赋权重复的基础上, 很好地保证了评价结果的准确性。甘州区位于河西走廊腹地、古“丝绸之路”南北两线和“居延古道”交汇点上, 南枕祁连山, 北依合黎、龙首二山, 全国第二大内陆河(黑河)横穿全境, 形成了闻名遐迩的张掖绿洲, 被誉为“塞上江南”。该区具有得天独厚的区位优势, 土地广袤, 环境优美, 资源丰富。但随着当地经济的发展和土地的不合理利用, 甘州区生态系统所面临的问题逐渐凸显出来, 需要引起多方面的重视。我们借助于“压力-动态-响应”(PSR)模型对甘州区生态系统健康进行了评价<sup>[5-7]</sup>, 现报道如下。

收稿日期: 2018-03-26

作者简介: 王璐薇(1990—), 女, 甘肃兰州人, 助理政工师, 主要从事土地管理研究工作。Email: 1037548972@qq.com。

通信作者: 王平(1966—), 男, 甘肃成县人, 教授, 博士, 主要从事农业资源与环境、植物营养学、土地管理等方面的研究工作。联系电话: (0931)7631174。

### 1 研究区概况

甘州区属于我国内陆河流域干旱半干旱的脆弱区域，区域内生态系统复杂，该流域属干旱的大陆性内陆气候区域，具有降水量少、降水变率大、年内分配不均、蒸发量大和干旱时段明显等特点。主要地貌为类丹霞地貌，是典型的温带大陆性气候。落叶旱生和盐生植物群落及零星的荒漠植物群落是其主要的天然植被。

### 2 数据来源与研究方法

#### 2.1 数据来源

数据来源于甘州区 2006—2015 年相关统计年鉴和当地相关统计公报。

#### 2.2 研究方法

2.2.1 数据标准化 为消除各指标在量纲、数量级上的差别需对原始数据进行标准化处理。本研究采用极差标准化处理，消除量纲差别，使得各指标值在 0~1 之间。极差标准化处理用以下公式：

$$\begin{cases} r_{ij}=(x_{ij}-x_{i\min})/(x_{i\max}-x_{i\min})\text{正效应} \\ r_{ij}=(x_{i\max}-x_{ij})/(x_{i\max}-x_{i\min})\text{负效应} \end{cases}$$

式中： $x_{ij}$ 表示某指标原始值，表示标准化后的某指标值， $i$ 为指标个数，相应取值为 1~15， $j$ 为年份(2006—2015 年)，取值为 1~10， $x_{i\max}$ 、 $x_{i\min}$ 表示某指标的最大值和最小值。

2.2.2 计算熵值 在有  $m$  个指标， $n$  个被评价对象的评价问题中，将第  $i$  个指标的熵值定义为  $E_i$ ，则熵值的计算<sup>[8]</sup>用以下公式：

$$E_i=-k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}; i=1, 2, \dots, m$$

式中： $k$  为待定常数，在数值上  $k=\frac{1}{\ln n}$ ； $f_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}$ ；当  $f_{ij}=0$  时，令  $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。

2.2.3 计算指标的差异性系数 将第  $i$  个指标的差异性系数定义为  $e_i$ ，则差异性系数的计算用以下公式：

$$e_i=1-E_i; i=1, 2, \dots, m$$

2.2.4 确定指标权重 将第  $i$  个指标的权重定义为  $w_i$ ，则权重的计算用以下公式：

$$w_i=\frac{e_i}{\sum_{j=1}^m e_j}; i=1, 2, \dots, m$$

各个指标的权重值应满足  $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i=1$ 。

2.2.5 计算综合评价指数 综合评价分值计算是以多指标综合评价法为基本原理，在确定各指标权重的基础上，通过加权累加计算各评价单元的综合评价分值。其中，指标权重是评价指标相对重要性的定量表示，直接关系到评价结果的准确性。本研究采用层次分析法确定各指标的权重，通过加权累计得到各评价单元的潜力综合评价分值。计算公式如下：

$$f_i=\sum_{i=1}^n w_i (\sum_{j=1}^m w_j r_{ij})$$

式中： $f_i$  为某评价单元的综合评分值； $w_i$  为准则层因子的权重； $w_j$  为指标层因子的权重； $r_{ij}$  为标准化后的某指标值， $\sum_{j=1}^m w_j r_{ij}$  分别为压力、状态、响应 3 个分类评价指标的综合评价指数。

本文借鉴前人的研究成果并根据评价决策的实际需要，将生态系统健康综合指数从高到低排序反映健康状况从优到劣的变化，按照等间距分布将评价结果分为 5 个等级，分别为 [0.8, 1.0) 处于很健康状态；[0.6, 0.8) 处于健康状态；[0.4, 0.6) 处于较健康状态；[0.2, 0.4) 处于一般病态状态；[0, 0.2) 处于病态状态<sup>[8]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 评价模型构建

本文采用“压力—状态—响应”(PSR)模型，在 PSR 框架内将生态问题表述为 3 个既有区别又相互联系的指标类型，压力指标从当前人口增长和经济发展压力出发，状态指标用以衡量人类行为导致生态系统的变化，响应指标是对这种压力和状态的回应，显示当前社会对减轻生态环境污染、破坏所做出的努力。考虑到甘州区的区位因素和经济因素，在独立性、可比性、科学性和实用性的原则下，特别选取能反映该地区生态系统状况的评价指标，如压力层的“人类干扰强度”、状态层的“灌溉指数”、响应层的“土地集约利用水平”。为了避免人为因素的影响，使指标权重确定更加具有科学性，采用客观赋权法中的熵值法来计算指标权重(表1)。

#### 3.2 压力指数、状态指数及响应指数变化

根据上述生态系统健康评价指标体系和 PSR 模型，得出甘州区生态系统各分类指标的指数值

和综合评价指数(表 2、图 1)。

表 1 PSR 模型下生态系统健康评价指标权重

目标层	准则层	指标层
生态系统健康评价	压力 (0.325 126)	人口密度(0.062 299)
		人类干扰强度(0.063 997)
		土地垦殖指数(0.064 122)
	状态 (0.326 127)	农民人均纯收入(0.070 934)
		农业生产压力(0.063 775)
		人均耕地(0.063 075)
		人均 GDP(0.070 058)
		农药投入比例(0.065 468)
		机械力投入比例(0.063 856)
	响应 (0.348 747)	灌溉指数(0.063 670)
		农牧产值比重(0.063 039)
		恩格尔系数(0.062 119)
		林地覆盖率(0.074 967)
		土地集约利用水(0.085 570)
		第三产业占比(0.063 052)

表 2 PSR 模型下压力、状态和响应指数

	压力指数	状态指数	响应指数
2006	0	0.186 3	0.166 8
2007	0.007 7	0.198 4	0.074 6
2008	0.024 7	0.201 4	0.108 1
2009	0.043 6	0.209 4	0.098 1
2010	0.065 6	0.205 8	0.153 1
2011	0.089 5	0.235 4	0.147 2
2012	0.128 3	0.244 9	0.179 9
2013	0.147 2	0.264 9	0.271 1
2014	0.298 9	0.123 0	0.227 3
2015	0.325 1	0.136 1	0.235 2

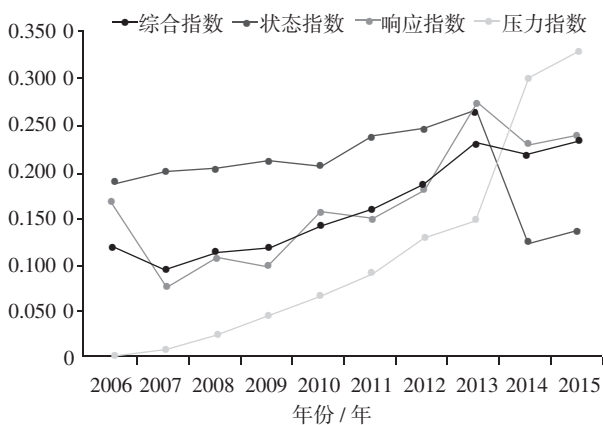


图 1 甘州区生态系统健康综合评价指数

3.2.1 压力指数 生态系统健康压力指数反映的是生态系统承受力理论值与实际值的对比,用以衡量研究区域的生态系统压力程度。由于生态系

统处于不断地变化发展中,因此生态系统健康压力指数在不同区域或不同时期呈现多样的动态变化趋势。分析图 1 可得,生态系统健康压力指数的变化趋势分为 3 个阶段。第一阶段为缓慢上升阶段,生态系统健康压力指数从 2006 年的 0 上升到 2012 年的 0.128 3。上升的原因是近年人口波动小,土地垦殖指数逐年缓慢增加,农民人均纯收入逐年缓慢增加,从事种植业的农户压力增加程度较小。例如,土地垦殖指数在 2006 年为 0.107 9,在 2012 年上升到了 0.135 7,上升幅度达到 25.765%。第二阶段为波动阶段。2012—2013 年,生态系统健康压力指数从 0.128 3 减速上升到 0.147 2,上升幅度为 14.731%。由于人口波动增大,人类干扰增强,土地垦殖率高,致使生态系统健康压力指数加速上升,2013—2014 年生态系统健康压力指数从 0.147 2 加速上升到 0.298 9。第三阶段为减速上升阶段。生态系统健康压力指数从 2014 年的 0.298 9 上升到 2015 年的 0.325 1,主要原因是农业生产压力的增大,农民纯收入增加。

3.2.2 生态系统健康状态指数 健康状态指数指利用效率及与之相对的经济效益。从图 1 中可知,生态系统健康状态指数变化经历了 3 个发展阶段。第一阶段为缓慢上升阶段,生态系统健康状态指数由 2006 年的 0.186 3 到 2009 年的 0.209 4,年均上升 3.09%,表明人均耕地、人均 GDP 和灌溉指数都有所上升。其原因主要是 2006 年农业投入比例稍有下降,灌溉水资源富足,促进了生态系统健康的稳定。第二阶段为波动阶段,生态系统健康状态指数由 2009 年的 0.209 4 下降到 2010 年的 0.205 8,年均下降 1.67%。例如,灌溉指数和机械力投入比例分别从 2009 年的 0.999 9 和 12.399 7 下降到 2010 年的 0.929 8 和 12.2131。2010—2013 年,生态系统健康状态指数又由 0.205 8 上升到 0.264 9,年均上升 7.93%。该阶段上升的主要原因是灌溉指数和人均 GDP 都有所上升。第三阶段为剧烈波动阶段,生态系统健康状态指数从 2013 年的 0.264 9 下降到 2014 年的 0.123 0,年均下降了 54.63%。该阶段下降主要是因为灌溉指数下降,由 2013 年的 1.000 0 下降为 2014 年的 0.666 7。2014—2015 年生态健康指数又由 0.123 0 上升到 0.136 1。主要表现在农药投入比例由 2014 年的 6.334 减少到 2015 年的 6.268;人均 GDP 由 2014 年的 2.925 上升到 2015 年的 3.085。同时,近年国

家加大西部农业基础设施投入, 增强防御自然灾害的能力, 极大地提升了生态系统的健康状态。

3.2.3 生态系统健康响应指数 生态系统健康响应指数的变化经历了 3 个阶段。第一阶段为波动阶段, 生态系统健康响应指数值由 2006 年的 0.166 8 下降到 2007 年的 0.074 6; 从 2007 年的 0.074 6 上升到 2008 年的 0.108 1; 又由 2008 年的 0.108 1 下降到 2009 年的 0.098 1; 从 2009 年的 0.098 1 上升到 2010 年的 0.153 1; 最后由 2010 年的 0.153 1 下降到 2011 年的 0.147 2。这个阶段响应指数的增大和减小都是短暂性的, 其主要原因是生态环境的恶化虽引起了国家的重视, 但是治理的持续性不够。第二阶段为上升阶段, 响应指数由 2011 年的 0.147 2 上升到 2013 年的 0.271 1, 上升了 84.17%, 年均上升 42.09%。其原因主要是由于林地覆盖率和土地集约利用水平提高, 有效保护了生态平衡, 使生态系统健康压力减小。第三阶段为波动阶段, 先由 2013 年的 0.271 1 下降到 2014 年的 0.227 3; 又从 2014 年的 0.227 3 上升到 2015 年的 0.235 2。由此看出, 农户生活水平的提升与生态系统健康响应呈正相关, 即农户生活越富裕, 响应越积极, 对缓解压力越有帮助。

### 3.3 生态系统健康评价综合分析

根据综合评价模型可以得出甘州区 2006—2015 年生态系统的健康值。通过图 1 可以看出, 甘州区生态系统健康的综合指数 2006 年处于“病态”状态, 从 2006 年的 0.118 9 下降到 2007 年的 0.093 2, 生态系统健康有所恶化。2007—2011 年, 生态健康综合指数由 0.093 2 上升到 0.184 3, 虽然这 6 a 中甘州区的生态系统健康指数依然处于“病态”状态, 但生态系统健康有所好转。2012 年生态系统健康的综合指数上升为 0.228 8, 根据生态系统健康分级判断标准, 开始处于“一般病态”状态。2012—2015 年, 生态系统健康的综合指数由 0.228 8 上升到 0.232 1, 总体来看, 生态系统健康虽然处于“一般病态”状态, 但生态系统健康状况是持续好转的, 这与甘州区近年来的实际生态环境状况是相吻合的。

## 4 结论与讨论

分析评价表明, 甘州区生态系统健康综合指数在 2006—2015 年呈现整体缓慢上升, 平稳发展的趋势。生态系统健康压力指数经历了平稳上升、加速上升、又减速上升三个阶段, 整体呈现上升

趋势。2006—2012 年上升至 0.128 3, 2012—2013 年从 0.128 3 减速上升到 0.147 2, 2013—2014 年生态系统健康压力指数从 0.147 2 加速上升到 0.298 9, 到 2015 年达到 0.325 1。生态系统健康状态指数由 2006 年的 0.186 3 上升到 2009 年的 0.209 4, 2010 年下降到 0.205 8, 直至 2013 年指数为 0.264 9, 2014 年加速下降到 0.123 0, 2015 年上升到 0.136 1。响应指数经历了 2006—2011 年小幅度的波动期, 2011—2013 年逐步上升, 由 0.147 2 上升到 0.271 1, 2013—2014 年由 0.271 1 下降到 0.227 3, 直至 2015 年上升至 0.235 2。

综上所述, 甘州区生态系统健康状况虽然在持续好转, 但仍处于“一般病态”状况应加大整改力度。随着农地压力的增大, 应加大土地投入、减少农药投入比例、提升土地集约利用水平, 逐步贯彻落实集约用地政策, 坚持可持续发展理念, 在增加土地产出、大力发展经济的同时, 政府应出台相应的整改政策, 加大对污染治理的投入, 同时完善监督反馈机制, 从根本上防止生态系统进一步被破坏, 保护生态多样性。

### 参考文献:

- [1] 边 博, 程小娟. 城市河流生态系统健康及其评价[J]. 环境保护, 2006(4): 66-69.
- [2] 颜 利, 王金坑, 黄 浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [3] 赵 帅, 柴立和, 李鹏飞, 等. 城市生态系统健康评价新模型及应用—以天津市为例[J]. 环境科学学报, 2013(4): 1173-1179.
- [4] 谢 飞, 顾继光, 林彰文. 基于主成分分析和熵权的水库生态系统健康评价—以海南省万宁水库为例[J]. 应用生态学报, 2014(6): 1773-1779.
- [5] 乔蕻强, 陈 英. 基于 PSR 模型的干旱绿洲灌区耕地集约利用评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 238-243.
- [6] 谢余初, 巩 杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应: 以甘肃省金塔县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.
- [7] 张秀娟, 周立华. 基于 DFSR 模型的北方农牧交错区生态系统健康评价: 以宁夏盐池县为例[J]. 中国环境科学, 2012, 32(6): 1134-1140.
- [8] 任建丽, 金海龙, 叶 茂, 等. 基于 PSR 模型对艾比湖流域生态系统健康评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 37-41.

(本文责编: 陈 伟)