

开封城市生态系统健康动态变化研究

周云凯<sup>a,b</sup>, 白秀玲<sup>a,b</sup>, 吕晓龙<sup>a,b</sup>

(河南大学 a. 资源与环境研究所; b. 水资源与水环境数字模拟研究所, 河南 开封 475004)

**摘要:** 从城市生态系统健康内涵出发,结合开封市实际情况,建立了开封城市生态系统健康评价指标体系。采用基于熵值的赋权法来确定指标权重,通过建立城市生态系统综合评价模型,对开封城市生态系统健康状况进行评价。结果显示:2002—2010年开封城市生态系统健康指数呈总体上升趋势,表明开封城市生态系统健康状况逐年好转;但从健康等级来看,健康水平一直处于不健康和亚健康级别,总体健康状况不容乐观;从3个子系统来看,城市生态系统健康水平的提高更多地得益于社会子系统与经济子系统的优化和完善,而自然子系统没有发生明显改观,对城市生态系统健康水平的提高并未起到积极作用。

**关键词:** 城市生态系统;健康评价;动态变化;熵权法;开封市

**中图分类号:** X826

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-2363(2012)05-0162-04

0 引言

城市生态系统是在自然生态系统基础上由人类社会、经济、文化、政治与自然环境相互作用形成的产物,它是人类活动干扰最强烈的地区<sup>[1]</sup>,具有高度的开放性、脆弱性和复合性<sup>[2]</sup>。健康的城市生态系统应该是自然环境和谐、经济持续稳定发展、社会不断进步的系统,在其内部结构合理,功能高效与完整,并能维持对人类的服务功能<sup>[3-5]</sup>。因此,为了能够实现城市生态系统稳定、健康地发展,使其更好地为人类社会服务,迫切需要开展城市生态系统健康综合研究,为更加合理有效地进行城市规划与管理提供参考依据。

城市生态系统健康研究始于20世纪90年代,目前尚处起步阶段。早期研究主要集中于相关概念、指标体系和评价方法的探讨上<sup>[6-7]</sup>,从2000年以后开始出现个案研究,如Jerry等<sup>[8]</sup>采用驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应(DPSEEA)模型对古巴首都哈瓦那城市生态系统健康进行了评价;官冬杰等<sup>[9]</sup>采用模糊数学方法构建了城市生态系统健康评价模型,并对重庆市生态系统健康状况进行了分析;魏婷等<sup>[10]</sup>利用突变级数法对厦门市生态系统健康进行了定量评估和趋势分析。除上述评价方法外,在城市生态系统健康研究中应用的评价方法还包括物元可拓模型法<sup>[11]</sup>、属性综合评价法<sup>[1]</sup>和主成分投影法<sup>[12]</sup>等,以上各方法均是基于数学模型开展评价,但各有优缺点和适用范围,在分析问题时需根据实际情况确定采用的评价方法。

开封市是国家历史文化名城,随着“中部崛起”战略

和“中原城市群”以及“郑汴一体化”政策的提出,开封市的城市化将逐渐加快,其生态系统健康与否对于经济的发展和旅游业都具有十分重要的影响。在此背景下,对开封城市生态系统健康状况进行正确评价,找出影响城市生态系统健康的主要因素,对于实现开封城市经济、社会与自然环境的和谐发展具有重要现实意义。

1 研究区概况

开封市地处河南省东部,黄河中下游冲积平原南端,介于东经113°51'51"~115°15'42",北纬34°11'43"~35°11'43"。地势由西北向东南倾斜,属暖温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温14℃,年均降水量670 mm。全市总面积6 444 km<sup>2</sup>,人口468万(2010年),辖5县和5区。近年来,开封市在城市建设、工农业、旅游业等方面都取得了显著发展,与此同时,也带来了一系列社会与生态环境问题,人地矛盾日益突出<sup>[13]</sup>。

2 研究方法

本研究基于2003—2011年《河南省统计年鉴》和《开封市统计年鉴》的数据资料,从城市生态系统健康概念出发,结合开封市实际,从自然、经济和社会3个方面建立开封城市生态系统健康评价指标体系,采用基于熵值的赋权法确定指标权重,借助建立的城市生态系统健康综合评价模型,对2002—2010年开封城市生态系统健康状况进行评价。

3 评价指标体系的构建

3.1 选取原则

建立指标体系的根本目的在于通过选择适当的指标来客观、科学地反映和衡量生态系统所处的状态,识别和诊断制约城市生态系统健康的因素,从而为寻求城市可持续管理提供方向。然而,生态系统健康涉及到多

收稿日期: 2012-09-02; 修回日期: 2012-09-14  
基金项目: 国家自然科学基金项目(41101089,41001319)  
作者简介: 周云凯(1980-),男,山东安丘市人,讲师,博士,主要从事生态系统健康评价、湿地生态方面的研究,(E-mail) ykzhou2009@126.com。

领域、多方面,指标的种类和项目繁多,因此,需要从众多的原始数据和评价信息中筛选出便于度量、内涵丰富的主要指标作为评价指标。城市生态系统健康指标体系的建立应全面考虑相关的各类要素,并能反映出城市的实际情况和特点。指标筛选必须达到3个目标<sup>[14]</sup>:1)能完整、准确地反映城市生态系统的健康状况,能够对城市状态进行准确描述;2)对城市生态系统的自然干扰和人类威胁进行监测,寻求自然、人为压力与生态系统健康变化之间的联系,以利于探求城市生态系统健康变化的原因;3)定期地为政府决策、科研及公众认知提供基础数据和参考依据。为此,城市生态系统健康指标体系的建立应遵循以下4个原则<sup>[15]</sup>:1)综合性原则。应反映城市生态系统的整体格局,充分体现人类活动对其影响程度。2)实时性原则。可以有效地重复获取,从而能够进行城市生态系统的实时监测和评价。3)重要性原则。必须反映城市生态系统特有的、重要的、不可替代的或不可恢复的服务功能。4)可操作性和可比性相结合的原则。所选指标的原始数据可以通过调查、统计、遥感等手段获得,易于定量计算,现实意义明确,能够对不同区域、不同时间的生态现状及其可持续能力开展对比研究。

3.2 指标选取

城市生态系统的结构可分为自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统3个子系统,各子系统既相互独立,有各自的内容与特点,又不可分割,并形成各自的指标体系,但又紧密相关、相互制约,共同组成城市生态系统健康评价的总指标体系<sup>[16]</sup>。本研究根据上述4个原则,结合开封的具体情况,从经济、社会、自然环境3个方面初步选择了能反映系统特征的要素指标,采用主成分分析对初级指标进行筛选,最终形成了包含29个指标的开封城市生态系统健康评价指标体系(表1)。

3.3 指标标准化

由于评价指标类型多样、复杂,且具有不同的量纲,直接利用这些指标进行综合计算并无实际意义。因此,为了简便、明确和易于计算,需要对各指标进行标准化处理,去除各指标的量纲。在此采用极差法对各指标进行标准化处理,将取值范围设定在0~1之间,把与生态系统健康呈正相关的指标,即具有积极意义的指标,按公式(1)进行计算;而与生态系统健康呈负相关的指标,即具有消极意义的指标,按公式(2)进行计算。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{i,\max} - x_{ij}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}} \quad (2)$$

式中: $r_{ij}$ 为第*j*个评价对象第*i*个指标的标准化值; $x_{ij}$ 为第*j*个评价对象第*i*个指标的原始值; $i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n; x_{i,\max}, x_{i,\min}$ 分别为研究时期内同一指标的最大值和最小值。

表1 开封城市生态系统健康评价指标体系及其权重

Tab.1 Indexes system and the weight of each index for ecosystem health assessment of Kaifeng City

系统类型	指标	权重
自然子系统	森林覆盖率/%	0.016 6
	绿地覆盖率/%	0.080 1
	建成区人均公共绿地面积/%	0.054 0
	自然保护区面积覆盖率/%	0.018 7
	工业废水排放达标率/%	0.015 5
	城镇生活污水处理率/%	0.041 0
	城镇垃圾无害化处理率/%	0.024 1
社会子系统	工业固体废物综合利用率/%	0.013 1
	恩格尔系数/%	0.033 3
	人口自然增长率/%	0.018 5
	城镇登记失业率/%	0.012 6
	城镇人均居住面积/(m <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	0.031 0
	万人口病床位数/(张·万人 <sup>-1</sup> )	0.013 2
	万人拥有公共车辆/(辆·人 <sup>-1</sup> )	0.025 1
	人均道路面积/(m <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	0.020 7
	在校学生人数/人	0.061 6
	万人拥有教职工人数/人	0.077 4
	市中心区人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	0.071 2
	第三产业从业人数/万人	0.031 4
	老龄人口比例/%	0.032 7
	GDP 增长率/%	0.036 2
经济子系统	工业增长率/%	0.040 2
	人均 GDP/元	0.047 1
	第三产业占 GDP 的比重/%	0.024 0
	城镇固定资产投资占 GDP 的比重/%	0.043 0
	政府科教投入占 GDP 的比重/%	0.037 1
	城市每小时用电量/(万 kW·h)	0.025 1
	城市每年生活用水/万 t	0.025 0
	城市居民人均年可支配收入/元	0.030 6

3.4 指标权重的确定

权重是以某种数量形式对比、权衡被评价系统中诸因素相对重要程度的量值。在评价指标体系中,每个指标对系统健康都有着不同程度的作用和贡献,因此,需要对参评的指标进行权重的确定。通常权重的确定方法有主观赋权和客观赋权两种<sup>[17]</sup>。主观赋权法容易受专家主观意识的影响而产生一定偏差,而且难以正确反映指标数据之间的相互关系;客观赋权法中的二元比较、公式计算和统计学分析方法容易受研究区域改变而改变,客观性不强<sup>[18]</sup>。本研究采用熵值法确定各指标权重。用熵评价所得信息的有序度以及效率,可以较大程度上消除各指标权重计算的人为干扰,使评价结果更符合实际情况。其计算步骤如下。

1)定义熵。在*m*个指标、*n*个被评价对象的评估问题中,第*i*个指标的熵定义为:

$$e_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij};$$
$$f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (3)$$

式中： $e_i$  为第  $i$  个指标的熵； $f_{ij}$  为第  $j$  个评价对象第  $i$  个指标标准值的比重；假定当  $f_{ij} = 0$  时， $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ ，并假设  $k = 1/\ln n$ 。

2) 定义熵权。定义了第  $i$  个指标的熵后，第  $i$  个指标的熵权定义为：

$$w_i = (1 - e_i) / (m - \sum_{i=1}^m e_i) \quad (4)$$

式中： $w_i$  为第  $i$  个指标的熵权，即权重，其中， $0 \leq w_i \leq 1$ ，

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1。$$

3) 计算结果。按公式 (4) 计算得到各指标权重 (表 1)。

4 评价模型的选取

4.1 评价模型的建立

在进行城市生态系统健康评价时，可以通过健康指数的大小来反映城市生态系统健康的优劣程度。各子系统中每个指标是从不同侧面反映城市生态系统健康水平，要想从总体上认识城市生态系统健康状况，需要进行综合评判。在此采用线性加权函数计算城市复合生态系统健康指数，故城市生态系统健康评价模型为：

$$H_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij} \quad (5)$$

式中： $H_j$  为第  $j$  个评价对象的城市生态系统健康指数。

4.2 评价标准的确定

目前，国内外对城市生态系统健康的评价研究并不多，对城市生态系统健康的评价中尚没有统一认可的城市生态系统健康标准<sup>[19]</sup>。本研究将城市生态系统健康评价标准分为 5 个等级<sup>[9,20]</sup>，即病态、不健康、亚健康、健康、很健康。具体分级标准见表 2。

表 2 城市生态系统健康分类标准

Tab.2 Classification of ecosystem health levels

健康状况	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
综合健康指数	0~0.2	0.2~0.5	0.5~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0

5 结果分析

根据建立的评价指标体系和确定的权重，利用构建的评价模型，对 2002—2010 年开封城市生态系统和各子系统健康指数进行计算，所得评价结果如图 1 所示。

由图 1 可看出，2002—2010 年开封市综合健康指数基本呈上升趋势，表明城市生态系统健康状况正在逐年好转，这也从侧面体现出开封城市生态建设所取得的成绩。然而对照城市生态系统健康评价标准可发现，在 2002—2008 年开封城市生态系统都处于不健康水平上，而 2009—2010 年处于亚健康水平，说明开封城市生态系

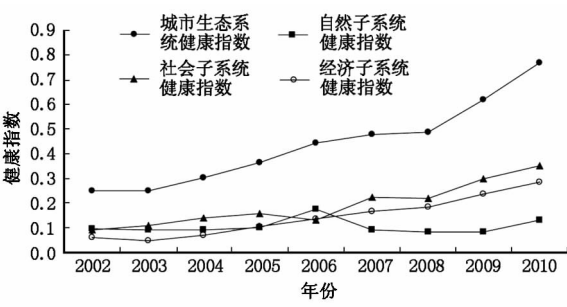


图 1 开封城市生态系及各子系统健康指数变化  
Fig.1 The health index change of ecosystem and subsystem in Kaifeng City

统健康总体状况仍不容乐观，距离健康城市生态系统还有一定距离，城市的健康水平今后有待进一步提高。

从经济、社会、自然三大子系统来看，自然子系统的健康指数趋势性不明显，基本处于波动状态，这与建成区绿地覆盖率波动较大、环境治理情况时好时坏有关。因此，政府应加大对城市绿化和城市废弃物处理的投资力度。社会子系统的健康指数虽然 2006 年有所下降，但总体呈现出稳步上升的趋势，这说明在城市的发展过程中，政府部门通过调整产业结构、改善人居环境、提高教育和医疗条件等措施，使社会结构渐趋合理化，但仍要注意社会子系统与自然和经济子系统协调发展，特别要注意人口增长速度过快和人口老龄化问题。经济子系统的健康指数基本呈直线上升趋势，但在 2003 年略有下降，主要是由工业增长率略低、第三产业所占比例下降等原因造成；进入 21 世纪，虽然开封市各类资源和能源的消耗有所增加，但政府部门通过调整经济结构、提高科教投入以及发展观光旅游事业等政策，使城市经济子系统得到不断完善，健康水平逐步提高。

综合来看，开封城市生态系统健康水平的提高得益于城市社会子系统和经济子系统的不断完善和优化，而自然子系统未有明显的改善，对城市生态系统健康水平提高的作用较小。

6 结语

本研究采用熵值法确定指标权重，能在一定程度上克服人为主观因素的干扰，评价结果较为客观地反映各指标所包含的信息。同时，建立的城市生态系统健康综合评价模型能够简单有效地将城市生态系统整体及各子系统结合起来，可全面反映城市生态系统的整体及各子系统的健康水平，有助于辨识城市生态系统的相对健康状况，进而判断引起城市生态系统健康发生变化的关键因素，为城市规划和管理提供依据。

2002—2010 年，开封城市生态系统健康呈逐年好转趋势；但从健康等级来看，健康水平一直处于不健康和亚健康级别，总体健康状况不容乐观。从 3 个子系统来看，城市生态系统健康水平的提高更多地依赖社会和经

济子系统的优化和完善,而自然子系统没有发生明显改观,对健康水平的提高并未起到积极作用。今后地方政府在保证社会经济平稳发展的同时,应加大对自然环境改善的投入力度,以实现经济、社会与自然环境三者相互协调和可持续发展。

本研究对开封城市生态系统健康进行了初步探讨,但研究还存在着一些不足,如所建指标体系的完整度还不够、指标权重的客观性也有待进一步提高等,这些都是今后需要继续深入研究和完善的内容。

参考文献:

[1] 颜文涛,袁兴中,刑忠. 基于属性理论的城市生态系统健康评价——以重庆市北部新区为例[J]. 生态学杂志,2007,26(10):1679-1684.

[2] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市可持续发展的生态学分析——以广州市为例[J]. 城市环境与城市生态,2002,15(5):26-28.

[3] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态系统健康评价初探[J]. 中国环境科学,2002,22(6):525-529.

[4] 桑燕鸿,陈新庚,吴仁海,等. 城市生态系统健康评价[J]. 应用生态学报,2006,17(7):1280-1285.

[5] 刘明华,董贵华. 城市生态系统健康评价指标体系的构建——以秦皇岛市生态系统为例[J]. 中国疗养医学,2005,14(3):161-164.

[6] Guidotti T L. Perspective on the Health of Urban Ecosystems[J]. Ecosystem Health, 1995, 1(3): 141-149.

[7] Trudy H. Urban Health in the Gambia: A Review[J]. Health & Place, 1996, 2(1): 45-49.

[8] Jerry M S, Mariano B, Annalee Y, et al. Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: A Community-based Approach[J]. Ecosystem Health, 2001, 7(1):

15-26.

[9] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康评价方法及应用研究[J]. 环境科学学报,2006,26(1): 1716-1722.

[10] 魏婷,朱晓东,李杨帆. 基于突变级数法的厦门城市生态系统健康评价[J]. 生态学报,2008,28(12):6312-6320.

[11] 戴晓兰,季奎,吕方,等. 基于物元模型的城市生态健康评价[J]. 云南地理环境研究,2007,19(2): 58-62.

[12] 施佩. 主成分投影法在城市生态系统健康评价中的应用[J]. 浙江万里学院学报,2008,21(5):93-97.

[13] 黄冬梅,谢中伟. 河南省开封市土地可持续利用程度综合评价[J]. 国土资源科技管理,2011,28(1):85-90.

[14] 肖风劲,欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报,2002,17(2):203-208.

[15] 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(1):74-78.

[16] 张俊华,陈南翔,高辉巧. 基于熵权的郑州市城市生态系统健康评价[J]. 华北水利水电学院学报,2009,30(5):90-93.

[17] 周文华,王如松. 基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J]. 生态学报,2005,25(12):3244-3251.

[18] 许文杰,许士国. 湖泊生态系统健康评价的熵权综合健康指数法[J]. 水土保持研究,2007,4(14):66-71.

[19] 曾勇,沈根祥,黄沈发,等. 上海城市生态系统健康评价[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(2):208-212.

[20] 宋豫秦,秦庆涛,彭继平. 城市复合生态系统健康评价方法在生态城市研究中的应用[J]. 中国水土保持,2007(6):29-32.

Research on Ecosystem Health Change of Kaifeng City

Zhou Yunkai<sup>a,b</sup>, Bai Xiuling<sup>a,b</sup>, Lv Xiaolong<sup>a,b</sup>

(a. Institute of Natural Resources and Environment; b. Institute of

Numerical Simulation on Water Resources and Environment, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract:** Based on the concept of urban ecosystem health and actual characteristics of Kaifeng City, an index system of urban ecosystem health was established. Each index weight was calculated with entropy-weight method, and comprehensive evaluation model was established to assess the urban ecosystem health level of Kaifeng City. The results indicated that the comprehensive health index of Kaifeng City had been increasing from 2002 to 2010, it means that the ecosystem health state of Kaifeng City had been improved gradually. But the level of ecosystem health was in unhealthy state or sub-healthy state from the classification of ecosystem health level. The improvement of urban ecosystem health level mainly depended on the optimization of social and economic subsystem, while the positive role of natural subsystem was not obvious.

**Key words:** urban ecosystem; health assessment; dynamic change; entropy-weight; Kaifeng City