

# 基于熵值-TOPSIS法分析2006至2011年北京与上海城市生态系统健康\*

田秀华,李永发

(安徽财经大学 商学院,安徽 蚌埠 233041)

**【摘要】**基于熵值-TOPSIS法,本文将中国整体生态系统健康作为一个参照值,评估北京市和上海市2006~2011年城市生态系统健康,并分析健康水平差异的原因。

**【关键词】**城市生态系统健康;熵值法;按与理想解相似性定序偏好的方法

**【中图分类号】**X171.1 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2014)02-0044-05

## 1 问题与方法

某些区域,甚至全球,有大量证据表明许多人为系统,包括生物物理系统,感受到了机能失调的压力(D.J. Rapport, R. Costanza and A.J. McMichael, 1998)<sup>[1]</sup>。城市生态系统的再生能力和可恢复能力都面临着资源耗竭和污染排放的考验,人们也随之担心城市生态系统能否支撑住稠密的人口和提供可持续的服务,并思考在什么样的城市可获取高品质的生活(Meirong Su等,2009,2013)<sup>[2,3]</sup>。城市生态系统健康是一个整合的主题,融合了生态学、社会经济学和人类健康的观点(Meirong Su,等2010)<sup>[4]</sup>。Robert Costanza(1992,2012)认为一个健康的生态系统是稳定的和可持续发展的,系统具有维持结构(组织)、功能(活力)和随时承受外部压力(恢复力)的能力,同时不存在生态系统危险的迹象<sup>[5,6]</sup>。Jerry M. Spiegel等(2001)尝试采用“驱动力-压力-状态-暴露-影响-响应”(DPSEEA: driving force-pressure-state-exposure-effects-action)六要素框架分析城市生态系统健康,评估中心城市社区改善人类生活质量和健康的一系列干预措施的效率和效果<sup>[7]</sup>。因此,城市生态系统健康是研究促使城市生态系统维持全功能,哪怕经历危难也能不受损伤的条件,而一个健康的城市生态系统是人类社会、经济和自然环境和谐可持续发展的基本条件。

北京市和上海市是中国最有影响力的两个城市,评估以及预判其生态系统健康水平,对中国城市转型有着重要的意义。笔者首先建立城市生态系统健康的评估体系,确定评价要素和具体指标,其次采用熵值法(Entropy evaluation method)计算具体指标的权重,然后利用TOPSIS法(按与理想解相似性定序偏好的方法,Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution)为评价对象健康水平排序,最后,从评价要素和具体指标

两个层面来分析城市生态系统健康水平差异的原因。

## 2 变量选取和数据说明

### 2.1 变量选取

在中国学术期刊中选择论文题名中含“城市生态系统健康”且引用率最高的5篇文献<sup>[8-12]</sup>和CSSCI检索的5篇较新文献<sup>[13-17]</sup>共10篇文献,统计出文献中评价城市生态系统健康的具体指标共108个,其中3篇以上文献共同使用的指标个数共有28个。由于具体指标“工业用水重复利用率(4篇文献采用)”,北京市和上海市的原始数据不容易获得,因此,放弃这个变量,保持27个,见表1。文献中的指标,都是学者们凭着各自的经验判断、遵循若干原则并对指标设计合理性做了相关检测和解释后选取的,因此,这27个指标是有意义的,合理的。按参考文献<sup>[7,8,13,15,16]</sup>将城市生态系统健康的主要要素分成5类,即:①系统活力要素,反映生产力和能源消耗状况。②组织结构要素,反映经济、社会和自然的结构。③恢复力要素,反映废水、废物和废气的处理状况以及环境保护投资努力。④服务功能要素,反映人们生活便利状况。⑤人群健康要素,反映人们的寿命预期、消费能力、文化教育以及空气与水的质量等状况。

### 2.2 数据说明

具体指标X10、X11、X12、X13、X14和X15原始数据来自于中国2006~2011年《环境统计年报》、北京市和上海市2006~2011年《环境状况公报》;X5原始数据来自于中国、北京市和上海市2006~2012年《国民经济与社会发展统计公报》;其余具体指标的原始数据来源于中国、北京市和上海市2006~2012年《统计年鉴》,但《中国统计年鉴》缺少X16(城镇居民人均住宅面积)2006~2008年原始数据,因而这些数据依靠2005年和2009年原始数据间作线性插值估算而得。

收稿日期:2014-01-09

\*基金项目:2012年度安徽高校省级自然科学基金项目“商业生态系统的健康管理研究”(项目编号:KJ2012Z011)。

作者简介:田秀华(1973-),女,安徽蒙城人,讲师,硕士,研究方向:商业生态系统和国际贸易。

表1 城市生态系统健康评价体系

评价要素	具体指标(单位、符号约定)	评价对象
活力	人均地区生产总值(元)	X1
	地区生产总值比上年增长(%)	X2
	万元地区生产总值能耗(吨标准煤)	X3
组织结构	第三产业占地区生产总值比重(%)	X4
	研究与试验发展经费相当于地区生产总值(%)	X5
	城镇登记失业率(%)	X6
	城市人口密度(人/平方公里)	X7 北京市
	森林覆盖率(%)	X8 2006-2011年
	建成区绿化覆盖率(%)	X9
	自然保护区覆盖率(%)	X10
恢复力	城市生活污水处理率(%)	X11
	工业废水排放达标率(%)	X12
	工业固体废物综合利用率(%)	X13 上海市
	城市生活垃圾无害化处理率(%)	X14 2006-2011年
	环保投资相当于生产总值比重(%)	X15
服务功能	城镇居民人均住宅面积(平方米)	X16
	人均公园绿地面积(平方米)	X17
	城市人均拥有道路面积(平方米)	X18
	城市每万人拥有公交车辆(标台)	X19 中国整体
	每万人口医院床位数(张)	X20 2006-2011年
	人群健康	人口自然增长率(‰)
人口预期寿命(岁)		X22
城镇居民恩格尔系数(%)		X23
城镇居民人均可支配收入(元)		X24
空气质量达到二级以上天数占全年比重(%)		X25
人均生活用水量(升)		X26
每十万人普通高等院校在校生数(人)		X27

### 3 计算方法和过程

#### 3.1 利用熵值法计算具体指标的权重

步骤1:构建具体指标原始数据决策矩阵

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

其中,评价的具体指标  $m=27$ ,待评对象  $n=18$ ;  $x_{ij}$  为第  $i$  个指标第  $j$  个对象的原始数值,当  $j=1 \cdots 6$ ,  $x_{ij}$  分别表示中国整体 2006~2011 年第  $i$  个指标原始数值; $j=7 \cdots 12$ ,  $x_{ij}$  分别表示北京市 2006~2011 年第  $i$  个指标原始数值; $j=13 \cdots 18$ ,  $x_{ij}$  分别表示上海市 2006~2011 年第  $i$  个指标原始数值。

步骤2:原始指标数据标准化

具体指标可区分正向指标和负向指标:①正向

指标,也称效益型指标,表示指标原始数值越大,对城市生态系统健康越有益;指标原始数值越小,对城市生态系统健康越有害。②负向指标,也称成本型指标,表示指标原始数值越小,对城市生态系统健康越有益,指标原始数值越大,对城市生态系统健康越有害。当然,还有一类指标是区间型指标,表示指标的原始数据数值落在这个区间内,对城市生态系统健康越有益;在这个区间外,对城市生态系统的健康越有害。这 27 个具体指标中,只有 X3 (万元生产总值能耗)、X6(城镇登记失业率)、X7(常住人口密度)和 X23(城镇居民恩格尔系数)四个指标是负向指标,其他指标都归为正向指标。虽然有些指标如 X21(人口自然增长率)可能被认为是个区间性指标,认为人口自然增长保持在一个合理的区间比较好,在这个区间之外,可能会给人类社会可持续发展带来威胁,但对于计划生育政策实施超过 30 年后中国来说,特别是当前中国人口红利消失与人口老年化问题日趋突出,人口自然增长率上升,反映了人们工作压力的降低和经济生活的富足,所以也归为正向指标。因此,所选 27 个指标区分为正向指标和负向指标,无需讨论其他如区间型指标标准化的计算公式。

如:令  $Y = (y_{ij})_{m \times n}$

$$y_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min_i x_i + \beta \min_i x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i + \beta \min_i x_i} & \text{当为正向指标时} \\ \frac{\max_i x_i + \beta \max_i x_i - x_{ij}}{\max_i x_i + \beta \max_i x_i - \min_i x_i} & \text{当为负向指标时} \end{cases}$$

其中  $\max_i x_i$ ,  $\min_i x_i$  分别表示第  $i$  个观察指标  $n$  个对象的原始数据数值的最大值和最小值。当  $i$  指标是正向指标时,  $\max_i x_i$  表示  $n$  个对象中最优的或者最理想的状态值;  $\min_i x_i$  表示  $n$  最劣的状态值;当  $i$  指标是负向指标时,  $\min_i x_i$  表示  $n$  个对象中最优的或者最理想的状态值;  $\max_i x_i$  表示最劣的状态值。  $\beta$  为调节系数,  $0 > \beta > 1$ 。

上式将  $x_{ij}$  标准化成  $y_{ij}$ , 考虑到了三个关键方面:①所有指标都变成正向指标。  $x_{ij}$  经标准化变成  $y_{ij}$ ,  $y_{ij}$  值越大对城市生态系统的健康越有益,最理想的状态是取值为 1。②使得  $0 < y_{ij} \leq 1$ 。避免  $y_{ij} = 0$  和  $y_{ij} < 0$ , 是为了方便后续涉及到的对数计算,并考虑到现实中观察指标  $y_{ij} = 0$  是极不正常的。③现存的都不是最糟糕的。考虑到观察的 27 个指标中, 13 个指标是比值型的, 如城市生活垃圾无害化处理率,

取值可能为1,即达到最优的状态,非比值型指标观察对象的也有可能达到城市生态系统健康最好的状态区间;然而,对于城市生态系统健康指标最劣的状态,最糟糕的状态或许并未出现,所以,模型对指标的最劣状态进行调节是合理的,同时考虑到  $\min x_i$  和  $\max x_i$  可能会出现负值,将正向指标的最劣值减少  $\beta|\min x_i|$  和将负向指标的最劣值增加  $\beta|\max x_i|$ ,  $\beta$  为调节系数,本文取值  $\beta=1$ 。

步骤3:归一化、并求具体指标熵值和权重

归一化,令  $z_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}}$ ; 依次计算第  $i$  个指标熵

值  $e_i$ ,  $e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n z_{ij} \ln z_{ij}$  以及第  $i$  个指标权重  $\omega_i$ ,

$$\omega_i = \frac{1 - e_i}{m - \sum_{i=1}^m e_i}$$

### 3.2 利用TOPSIS法为评价对象健康水平排序

步骤1:建立加权规范矩阵  $Z = (z_{ij})_{mn}$ , 其中  $z_{ij} = \omega_i \times y_{ij}$ ,  $i=1 \dots m$ ,  $j=1 \dots n$ 。

步骤2:确定具体指标的理想解  $z_i^+$  和负理想解  $z_i^0$ 。因为  $x_{ij}$  经标准化变成  $y_{ij}$ ,  $y_{ij}$  值越大对城市生态系统健康越有利,  $y_{ij}$  值越小对城市生态系统健康越不利,所以,  $z_i^+ = \max_j(y_{ij})$ ,  $z_i^0 = \min_j(y_{ij})$ ,  $i=1 \dots m$ ,  $j=1 \dots n$ 。

步骤3:计算评价对象向量到理想解与负理想解的欧式距离。评价对象向量到理想解的欧式距离  $d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - z_i^+)^2}$ ; 评价对象向量到负理想解的欧式

距离  $d_j^0 = \sqrt{\sum_{i=1}^m (z_{ij} - z_i^0)^2}$ ,  $j=1 \dots n$ 。

步骤4:计算评价对象向量的相对贴近度  $c_j$ ,

$$c_j = \frac{d_j^0}{d_j^+ + d_j^0}, j=1 \dots n$$

步骤5:对评价对象的健康水平排序。评价对象  $c_j$  值越大说明城市生态系统健康状态越优,  $c_j$  值越小说明城市生态系统健康状态越劣。

## 4 实证结果及分析

### 4.1 实证结果

参见表2,18个评价对象中,2009年北京市城市生态健康水平最好,2011年上海市生态健康水平最差。结合图1,北京市城市生态健康水平远高于上海市和中国整体生态系统健康水平。中国整体生态系统健康水平稳步提升,而北京市和上海市都存在波动。中国整体生态系统健康水平在6年间,2011年最优,2006年最劣;北京市在6年间,2009年最优,2010年最劣;上海市在6年间,2006年最优,

2010年最劣;而且上海市2010年、2011年低于同期中国整体水平。

表2 评价对象的相对贴近度和健康排序

序号	评价对象	系统相对贴近度	系统活力排序	结构贴近度	恢复力贴近度	服务功能贴近度	人群生活贴近度	TOP10贴近度	
1	中国2006年	0.3445	17	0.3298	0.3483	0.0096	0.4044	0.3029	0.3079
2	中国2007年	0.3689	15	0.4127	0.3486	0.0975	0.4440	0.3055	0.3297
3	中国2008年	0.3751	12	0.1650	0.3438	0.1744	0.4919	0.3134	0.3526
4	中国2009年	0.3936	10	0.1661	0.3387	0.2095	0.5312	0.3221	0.3721
5	中国2010年	0.4103	9	0.2480	0.3469	0.2986	0.5343	0.3232	0.3879
6	中国2011年	0.4309	7	0.2997	0.3538	0.2506	0.5845	0.3410	0.4086
7	北京2006年	0.6883	2	0.6209	0.7833	0.7359	0.6032	0.6530	0.7306
8	北京2007年	0.6652	3	0.7115	0.7704	0.8172	0.5096	0.7226	0.6877
9	北京2008年	0.6640	4	0.5371	0.7792	0.5689	0.5722	0.7653	0.7184
10	北京2009年	0.6979	1	0.6425	0.8073	0.6061	0.6088	0.7756	0.7297
11	北京2010年	0.6292	6	0.6560	0.7967	0.5492	0.4791	0.6412	0.6624
12	北京2011年	0.6633	5	0.5937	0.8054	0.5329	0.5669	0.7427	0.6998
13	上海2006年	0.4230	8	0.6284	0.2751	0.6826	0.4760	0.4536	0.3946
14	上海2007年	0.3744	13	0.7900	0.2807	0.7798	0.1819	0.5229	0.2958
15	上海2008年	0.3712	14	0.6102	0.2889	0.7775	0.1937	0.5362	0.3133
16	上海2009年	0.3866	11	0.5723	0.3090	0.8214	0.2006	0.5560	0.3300
17	上海2010年	0.3363	18	0.6459	0.2009	0.8149	0.1080	0.5346	0.2985
18	上海2011年	0.3567	16	0.5913	0.2569	0.7247	0.1450	0.4777	0.3228

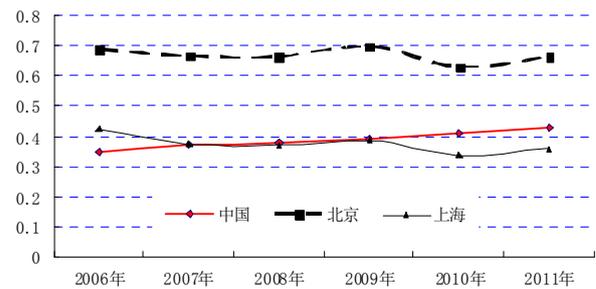


图1 评价对象的相对贴近度

### 4.2 进一步分析

北京市、上海市和中国整体城市生态系统健康状态有很大的差异,原因在哪?依据城市生态系统健康评价体系,可进一步分析两个方面:评价要素层面和具体指标层面。

第一,评价要素层面。同样的方法,计算五个评价要素的相对贴近度,参见表2和图2。中国整体生态系统健康最薄弱的环节是恢复力要素,次弱是活力要素;上海市生态系统最薄弱的环节是服务功能要素,次弱是组织结构要素;北京市所有的五个评价要素相对贴近度都在0.5以上,最好的是组织结构要素,所有年份相对贴近度超过0.77,2009年和2011年超过0.8。

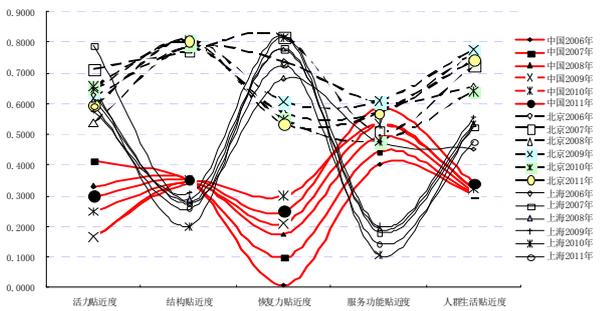


图2 评价对象的要素相对贴近度

第二,具体指标层面。参见表3,权重最高的10个具体指标(简称TOP10),其中活力要素1个指标(X1)、组织结构要素3个指标(X5、X6和X8)、恢复力要素1个指标(X15)、服务功能要素4个指标(X16、X18、X19和X20)和人群健康要素1个指标(X27)。同样按照TOPSIS法,计算评价对象的TOP10的相对贴近度,参见表2和图3,6年间中国整体TOP10相对贴近度比全部指标相对贴近度平均减少0.0274;北京市TOP10相对贴近度比全部指标相对贴近度平均增加0.0368;上海市整体TOP10相对贴近度比全部指标相对贴近度平均减少0.0489,可见TOP10指标方面,上海市非常薄弱。

表3 权重最高的10个指标(TOP10)

序号	具体指标	符号	权重 $\omega_i$
1	研究与试验发展经费相当于地区生产总值	X5	0.0785
2	森林覆盖率	X8	0.0745
3	城市人均拥有道路面积	X18	0.0743
4	城市每万人拥有公交车辆	X19	0.0648
5	城镇登记失业率	X6	0.0612
6	每十万人普通高等学校在校生数	X27	0.0601
7	每万人口医院床位数	X20	0.0517
8	城镇居民人均住宅面积	X16	0.0432
9	人均地区生产总值	X1	0.0428
10	环保投资相当于生产总值比重	X15	0.0426

注释及参考文献:

[1] Rapport,DJ; Costanza, R; McMichael, AJ,1998 ,Assessing ecosystem health[J].Trends in Ecology & Evolution,13:397—402.  
 [2]Su, Meirong; Yang, Zhifeng; Chen, Bin; 2013,Urban Ecosystem Health Assessment and Its Application in Management: A Multi-Scale Perspective [J].Entropy, 15(1),1—9.  
 [3]Su, M. R.; Yang, Z. F.; Chen, B.S.Ulgiati,(2009).Urban ecosystem health assessment based on energy and set pair analysis—A comparative study of typical Chinese cities[J] .Ecological Modelling,220(18): 2341—2348.  
 [4]Su, Meirong; Fath, Brian D.; Yang, Zhifeng, 2010, Urban ecosystem health assessment: A review [J].Science of the Total Environment, 408(12), 2425—2434.  
 [5]Costanza R (1992) Toward an operational definition of health. In: Costanza R, Norton B and Haskell B (eds.) Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Island Press, Washington DC. 239—256.  
 [6]Robert Costanza, Ecosystem health and ecological engineering[J].Ecological Engineering ,45 (2012) 24—29.  
 [7]Jerry M. Spiegel, Mariano Bonet, Annalee Yassi, Enrique Molina, Miriam Concepcion, Pedro Mast,2001,Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: A Community-based Approach[J].Ecosystem Health,7(1):15—26.

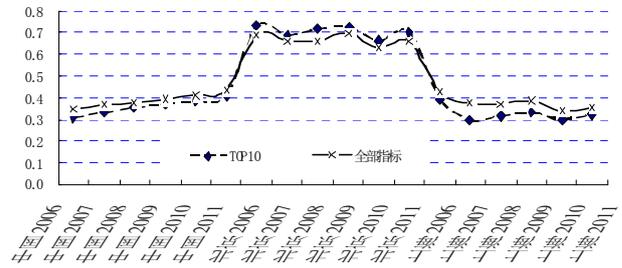


图3 评价对象的TOP10相对贴近度

5 结论

Rapport, DJ等[8,11,13]依据相对贴近度将城市生态系统的健康评价标准划分为五个等级,即病态(0~0.2)、不健康(0.2~0.4)、亚健康(0.4~0.6)、健康(0.6~0.8)和很健康(0.8~1)。按照此等级划分,健康的评价对象有6个,即北京2006~2011年;病态的评价对象有4个,上海2010年,中国整体2006~2008年;其他8个评价对象都处于亚健康状态。

北京市、上海市和中国整体城市生态系统健康状态有很大的差异,直接原因表现在两个方面:一是从评价要素层面来看,中国整体生态系统健康最薄弱的环节是反映环境保护及环保投资状况的恢复力要素,次弱是反映经济生产力以及能耗物耗状况的活力要素;上海市生态系统最薄弱的环节是反映环境质量和生活便利状况的服务功能要素,次弱是反映经济结构、自然结构和社会结构状况的组织结构要素;北京市最好的是组织结构要素,所有年份相对贴近度超过0.7,远远高于上海市和中国整体水平;二是从TOP10指标来看,6年间中国整体和上海市的相对贴近度均劣于全部指标相对贴近度;而北京市TOP10相对贴近度优于全部指标相对贴近度。因此,提升城市生态系统健康水平,促进城市生态系统的稳定性和可持续性,就需要改善薄弱要素部分并聚焦10个关键的具体指标。

- [8]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.
- [9]胡廷兰,杨志峰,何孟常,等.一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J].环境科学学报,2005,25(2):269-274.
- [10]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.
- [11]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(2):208-212.
- [12]官冬杰,苏维词.城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J].环境科学学报,2006,26(10):1716-1722.
- [13]郭锐利,郑钦玉,刘娟,等.基于熵值法和GM(1,1)模型的重庆城市生态系统健康评价[J].中国环境科学,2012,32(6):1148-1152.
- [14]周云凯,白秀玲,吕晓龙.开封城市生态系统健康动态变化研究[J].地域研究与开发,2012,31(5):162-165.
- [15]刘伟,石惠春,刘鹿.兰州市城市生态系统健康评价[J].资源开发与市场,2012,28(2):110-113,184.
- [16]师谦友,赵檐瑾,罗晶,基于熵权分析的西安城市生态系统健康评价[J].资源开发与市场,2001,27(4):304-307.
- [17]苏美蓉,杨志峰,陈彬.基于生命力指数与集对分析的城市生态系统健康评价[J].中国人口·资源与环境,2010,20(2):122-128.

## Assessment of Beijing and Shanghai's Urban Ecosystem Health from 2006 to 2011 based on Entropy-TOPSIS Method

TIAN Xiu-hua, LI Yong-fa

(Business Institute, Anhui University of Finance And Economics, Bengbu, Anhui 233041)

**Abstract:** Based on entropy-TOPSIS method, the paper assesses Beijing and Shanghai's urban ecosystem health from 2006 to 2011 and analyses the reasons of the difference of health level, taking China's ecosystem health as a reference.

**Key words:** urban ecosystem health; entropy evaluation method; technique for order preference by similarity to an ideal solution