

# 基于模糊理论的城市生态系统评估模型的研究

胡伏湘<sup>1,2</sup>

(1. 中南林业科技大学, 湖南 长沙 410004; 2. 长沙民政职业技术学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 运用模糊数学理论, 建立了城市生态系统评估的基本模型, 设计了评价城市生态系统的指标集, 以上海市近5年的统计数据为依据, 计算了相应的评估值, 根据该市生态环境的现状以及模型值与传统方法结果的对比, 表明本模型的计算较为准确。

**关键词:** 城市生态系统; 评估模型; 模糊数学; 生态环境

**中图分类号:** X32.013

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2008)04-0089-03

## Evaluation Model of Urban Ecosystem Based on Fuzzy Theory

Hu fuxiang<sup>1,2</sup>

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;  
2. Changsha Social Work College, Changsha 410004, China)

**Abstract:** A basic evaluative model of urban ecosystem is put forward and the evaluative index set for city ecological system is also designed based on the theory of fuzzy mathematics. According to latest 5 years statistics of Shanghai city, the value of ecological environmental index are calculated. Evaluative conclusion proved that the model is of higher reliability by comparing the situation of ecological environment of this city and its model value with the traditional method.

**Key words:** urban ecosystem; evaluative model; fuzzy mathematics; ecological environment

## 0 引言

城市生态系统是以人为中心的一种特殊人工生态系统, 是由城市自然、经济和社会等子系统构成的有机复合体。其中自然子系统包括城市居民赖以生存的基本物质环境, 生物、非生物和人群; 经济子系统涉及生产、分配、交换与消费的各个环节, 与工农业、商业、交通运输业密切相关; 社会子系统涉及到城市居民及其物质生活与精神生活诸方面<sup>[1-3]</sup>。对城市生态系统进行科学的评估, 得到各个指标的当前值, 与标准或者参考目标值相比, 找出存在的差距, 分析其原因, 并确定将来的建设方向, 制定有效的策略, 是建立城市生态系统的必经途径。到目前为止, 评价城市生态系统还没有形成标准化的评估体系<sup>[3,4]</sup>, 一般采用专家评估法、层次分析法、特尔斐、灰色模型分析等方法<sup>[5]</sup>,

结论的主观性较大。城市可持续发展的目标呈现多元化, 既有人口、经济、环境目标, 又有增长、结构优化目标, 还有公平、效率目标。因此, 评价体系也具有指标多、层次复杂、关联性大、数据动态化的特点, 而这些指标都具备某些模糊性, 采用模糊数学理论进行综合评价是较为理想的方案<sup>[5]</sup>。

## 1 城市生态系统评估的模糊数学模型

### 1.1 单因素评估

设城市生态系统的评估体系由  $n$  个互相独立的评价因子组成, 这些因子构成评价因子集, 记为:

$$U = \{u_i\}, (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

由评价的  $m$  个评价等级构成评价集, 记为:

$$V = \{v_j\}, (j=1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

收稿日期: 2008-05-14

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(07JJ5088)

作者简介: 胡伏湘(1967-), 男, 湖南益阳人, 长沙民政职业技术学院副教授, 博士生, 主要从事生态系统和信息工程的研究。

$n$ 个评估因子和 $m$ 个评价等级组成了一个矩阵 $r_{m \times n}$ <sup>[5]</sup>, 由于每一个等级表示一定的范围, 因而其值并不唯一确定, 即 $r_{m \times n}$ 是一个模糊矩阵。

由于各指标的重要程度不同, 可以为每个评估因子的权重设计一个权值, 即构成一个 $n$ 级向量, 记为:

$$\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} = \{x_i\}, (i=1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

于是单因素模糊综合评价模型为:  $y = r * x$ , 这里 $y$ 为因子的评价结果, 是评价集 $V$ 上的模糊子集, 即

$$y = \bigcup_{i=1}^n (r_{m \times n} \times x_{n \times 1}), i=1, \dots, n, j=1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

由 $y$ 可得到单个因素的综合评价, 记为:  $y = \{y_i\}, i=1, 2, \dots, m$ 。

## 1.2 综合评估

假定城市生态系统存在 $N$ 类评估因素, 构成城市生态系统完整的评价因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}$ 。由 $m$ 个评价等级组成评价集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ , 各类因素在 $m$ 个评价等级中所得结果组成一个模糊矩阵 $R$  (由单因素计算结果组成), 各因素的权重组成一个 $N$ 级向量 $\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , 于是由 $\bar{Y} = \bar{X} \cdot R$ 得到一个模糊向量 $\bar{Y}$ , 表示综合评估模型。根据最大隶属原则, 可得到整个城市生态系统的综合评估结果。

## 1.3 权重的确定

模糊综合评判模型中建立模糊矩阵 $R$ 和确定权重分配 $\bar{X}$ 非常关键, 有主观赋权法和客观赋权法<sup>[4]</sup>。此处采用前者的专家评分法, 由 $S$ 个专家组成评审团, 以百分制的形式给每个指标打分, 若第 $k$ 个专家对因子 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 在等级 $V_j (j=1, 2, \dots, m)$ 上评分为

$$Z_{ij}(k) (k=1, 2, \dots, S), \text{ 计算 } Z_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^S Z_{ij}(k)}{S \times 100}, \text{ 则可以由}$$

全部指标权重形成权重矩阵 $R$ 。

# 2 评估指标的设计

## 2.1 评估指标集的确定

根据生态城市的基本内涵和设计原则, 在参考了国内外研究成果的基础上<sup>[2,4]</sup>, 考虑到指标数据的可采集性, 建立生态城市指标体系的层次结构模型。其中0级指标为目标层, 即生态城市整体水平, 用以衡量城市生态综合发展水平、能力与协调度; 一级指标为准则层, 由反映目标层的各项准则构成, 包括结构、功能和协调等范畴; 二级指标即领域层, 由各准则层下的一些子系统构成; 三级指标构成指标层, 由各领域的具体指标构成, 能客观全面地反映城市发展的现状、趋势、潜力、功能、协调度、均衡性。

设计城市生态系统的评估体系的基本原则是:

1) 凡已有国家标准或者国际标准的指标尽量采用规定的标准值;

2) 参考国外具有良好城市生态的城市现状值作为标准值;

3) 参考国内城市的现状值作为趋势外推, 确定标准值;

4) 依据现有的环境与社会、经济协调发展的理论, 力求将标准值定量化;

5) 对于那些统计数据不十分完整而又极其重要的指标, 在缺乏有关指标统计前用类似指标替代。

根据这些原则, 可以设计完整的评价指标集, 其中一级指标为“功能”, 二级指标为“自然环境”的评估指标集如表1所示。本文将以此作为算例进行生态系统评估。

表1 部分城市生态系统评价指标

Tab. 1 Evaluative index of partial urban ecosystem

一级指标	二级指标	三级指标	标准值	标准值确定的依据
功能	自然环境	森林覆盖率	15 %	国家生态城市建设指标 <sup>[3]</sup>
		城市绿地覆盖率	45 %	深圳现状值 <sup>[4]</sup>
		人均公共绿地面积	16 m <sup>2</sup> /人	国内城市最大值 <sup>[5]</sup>
		自然地保留面积率	12 %	国家生态城市建设中期目标 <sup>[3]</sup>

## 2.2 评价等级的建立

根据调查资料, 按照评估模型和指标的权值可以计算出各级指标的评价结果, 再进一步对综合指标进行分析, 即可确定城市的生态化程度。参考国内外分级方法, 设计出如表2所示的5级分级标准以及评价结论, 在此基础上对城市生态系统做出科学评价。

表2 城市生态系统评价等级表 (以100分为满分)

Tab. 2 Evaluative level table of urban ecosystem

项目	等级				
	第I级	第II级	第III级	第IV级	第V级
指标范围	≥90	90~80	80~60	60~40	<40
评价结论	生态化程度很高	生态化程度较高	生态化程度一般	生态化程度较低	生态化程度很低

# 3 上海市城市生态系统评价算例

## 3.1 上海市城市生态系统现状 (2002~2006)

按公式(4), 可以对城市生态系统各项指标进行计算, 得到综合评价价值, 这里仅以二级指标自然环境为例给出评价结果, 其它指标的评价方法与此相同。

按照《上海市统计年鉴》提供的数据<sup>[7]</sup>, 上海市从2002~2006年间, 自然环境指标数值如表3所示。

表3 上海市2002~2006年城市生态系统评价自然环境现状

Tab. 3 Urban ecosystem evaluative situation of nature environment of Shanghai city from 2002 to 2006

指标级别		年 份				
二级指标	三级指标	2002	2003	2004	2005	2006
自然环境	森林覆盖率/%	12.20	15.10	16.60	18.6	20.00
	城市绿地覆盖率/%	30.01	35.20	36.00	37.00	37.30
	人均公共绿地面积/(m <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	7.76	9.16	10.11	11.06	12.22
	自然地保留面积率/%	9.59	10.22	10.92	11.59	12.20

3.2 权重的模糊模型处理

自然环境均属于“效益型”指标，即指标值越大越好的指标。聘请5名专家组成专家组，根据相关标准和经验以及自然环境保护的要求，分别给各个评价指标打分，然后按照加权取平均值的方法进行运算，即得到了上海市从2002~2006年间自然环境各指标权重值，结果如表4所示。

表4 自然环境各指标权重值

Tab. 4 All index weight value of nature environment

评分人及项目	自然环境指标			
	森林覆盖率	城市绿地覆盖率	人均公共绿地面积	自然地保留面积率
专家一	0.24	0.30	0.34	0.12
专家二	0.20	0.33	0.35	0.12
专家三	0.20	0.30	0.36	0.14
专家四	0.23	0.30	0.32	0.15
专家五	0.23	0.33	0.33	0.11
计算所得权值	0.22	0.31	0.34	0.13

3.3 三级指标值计算

按模糊理论评价方法，可得上海市从2002~2006年间自然环境三级指标值计算结果如表5示。

表5 自然环境三级指标值计算结果

Tab. 5 Calculating result of the third level index of nature environment

三级指标值	年 份				
	2002	2003	2004	2005	2006
森林覆盖率/%	0.81	1.01	1.11	1.24	1.33
城市绿地覆盖率/%	0.67	0.78	0.80	0.82	0.83
人均公共绿地面积(m <sup>2</sup> ·人 <sup>-1</sup> )	0.48	0.57	0.63	0.69	0.76
自然地保留面积率/%	0.80	0.85	0.91	0.97	1.02
自然环境综合评估结果	0.65	0.77	0.82	0.89	0.94

3.4 二级指标值计算

经过三级指标的计算值和权值的运算，可以得到上海市2002~2006年自然环境的整体状况，如表6示。

表6 上海市自然环境的整体状况

Tab. 6 Whole status of nature environment of Shanghai city

项目	年 份				
	2002	2003	2004	2005	2006
自然环境指标值	0.65	0.77	0.82	0.89	0.94
对应等级	第Ⅲ级	第Ⅲ级	第Ⅱ级	第Ⅱ级	第Ⅰ级

4 结论

根据模糊数学理论，运用评估模型，计算出了上海市自然环境的整体状况。从运算结果不难看出，上海市在自然环境的改进方面取得了较大成绩，各种评价指标均呈逐年上升的趋势，特别是2006年，自然环境指标达到第Ⅰ级。以上结论与层次分析法及灰色模型所得出的结论一致<sup>[6]</sup>，本模型还对城市绿地覆盖率和人均公共绿地面积等指标做出了科学的评价，具有较强的可信度。

参考文献：

[1] Register Richard. Ecocity Berkeley: Building Cities for a Healthy Future[M]. California: North Atlantic Books, 1987.

[2] Sybrand P. Ecologically Sound Urban Development[M]. Tjllingii. Ecopolis: Backhuys Publishers, 1995.

[3] 盛学良, 彭补拙, 王 华, 等. 生态城市建设的基本思路及其指标体系的评价标准[J]. 环境导报, 2001(11): 5-8.

[4] 宋永昌, 由文辉, 王祥荣. 城市生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2003.

[5] 陈静文. 面向生态城市建设的城市生态系统评价[D]. 同济大学, 2007.

[6] 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.

[7] 上海市统计局. 上海统计年鉴2002-2006年[EB/OL]. [2006-09-01]. www.stats-sh.gov.cn.

(责任编辑: 张亦静)