

城市生态安全的多种评价模型及应用

李佩武¹, 李贵才^{2,*}, 张金花¹, 徐 凤¹, 陈 莉¹

(1 天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300384; 2 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要: 为了对城市生态安全水平与评价方法进行研究, 以深圳和 4 个中央直辖市为研究对象, 根据压力- 状态- 响应 (PSR) 模型, 构建了城市生态安全评价指标体系并采用层次分析与熵值相结合的优化方法, 综合确定权重运用改进的灰色关联度法、物元可拓综合法、模糊综合法和主成分投影法等 4 种评价模型, 对上述城市 2006 年生态安全水平进行了测算、分析与评价, 并对评价模型进行了对比探讨。结果表明: (1) 深圳生态安全水平最高, 依次为北京、天津和上海, 重庆最低; 深圳、北京和天津生态安全等级为较安全, 上海为临界安全, 重庆为不安全; 上海发展潜力最大, 深圳、北京与天津较大, 重庆仍最小。(2) 在对城市生态安全评价研究中, 模糊综合法与物元可拓综合法评价结果较全面、精确, 其中模糊综合法更利于有针对性地分析问题。

关 键 词: 评价模型; 指标体系; 城市生态安全; 评价; 深圳

文章编号: 1000-0585(2009)02-0293-10

1 引言

1989 年国际应用系统分析研究所最早提出了生态安全的概念, 它是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态, 包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全, 组成一个复合人工生态安全系统^[1]。目前, 国外研究宏观上主要围绕生态安全的概念、内涵、生态安全与国家安全、民族问题、军事战略^[2]、可持续发展和全球化的相互关系而展开; 微观上主要集中在基因工程生物的生态 (环境) 风险与生态 (环境) 安全以及化学品的施用对农业生态系统健康及生态 (环境) 安全的影响。我国政府 2000 年 12 月发布《全国生态环境保护纲要》, 首次明确提出了“维护国家生态环境安全”的目标。曲格平^[3]、程漱兰等^[4]、赵丽惠^[5]与肖笃宁^[6]等在生态安全问题及相应解决对策方面, 提出我国生态安全的战略重点和措施, 并对生物入侵等生态安全进行了评价, 研究取得了一定的成果。城市生态安全已成为国家或区域生态安全的重要基石和核心^[7]。但当前的研究多是在国家和区域尺度上^[3,8,9], 而对城市层面上的生态安全研究尚显薄弱^[10]。由于问题的复杂性、区域性与认识上的局限性, 生态安全评价基础的指标体系与研究方法仍未达成共识^[11,12]。目前国内生态评价的模型框架通常有经济合作发展组织提出的 PSR 模型 (压力- 状态- 响应, 1994) 和 DSR 模型 (驱动力- 状态- 响应, 1996)、Corvadan 等提出的 DPSEEA 模型

收稿日期: 2008-09-03; 修订日期: 2008-12-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571051)

作者简介: 李佩武 (1951-), 男, 河北望都人, 教授。主要从事地理信息系统与景观生态研究。

E-mail: lipeiwu2008@163.com

* 通讯作者: 李贵才, 教授。E-mail: ligc@szpku.edu.cn

(驱动力-压力-状态-暴露-影响-响应, 1996)、欧洲环境署提出的 DPSIR 模型(驱动力-压力-状态-影响-响应, 1998)等, 不同模型对应着不同的指标体系及权重。这些模型均不同程度地考虑了人类活动对环境的压力, 自然资源的质和量的变化, 以及人们采取的减少、缓解和预防自然环境不理想变化的措施^[7]。PSR 模型从社会经济与环境有机统一观点出发, 表明了人与自然这个生态系统中各种因素间的因果关系, 能更精确地反映生态系统安全的自然、经济和社会因素之间的关系, 为生态安全指标构造提供了一种逻辑基础^[13]。

本研究以生态安全、生态学及其评价的相关理论为基础, 在分析各种评价模型特点的基础上, 以深圳、北京、上海、天津、重庆等城市的生态系统为研究对象, 采用压力-状态-响应(PSR)模型, 构建了包括 3 层次、8 因素、27 个指标的城市生态安全评价指标体系, 采取层次分析与熵值相结合的优化方法综合确定权重, 运用改进的灰色关联度法、物元可拓综合评价法、模糊综合评价法和主成分投影法等 4 种评价模型, 对上述 5 城市 2006 年的生态安全水平进行横向量化评价。旨在对城市生态安全水平与评价方法进行的研究, 并使得到的结果更客观可信, 为城市生态安全的评价与管理决策提供科学依据。

2 研究方法

目前, 生态安全评价方法已运用各种抽象的、能反映本质的模型去刻画与揭示。模型可归结为数学模型、生态模型、景观生态模型与数字地面模型等^[14]。数学模型是较常见的成熟评价方法, 科学性且可靠性大。灰色关联度法、物元可拓评价法、模糊综合评价法、主成分投影法等数学模型中占有重要地位, 反映了模型的核心内容。本文通过对上述 4 种评价模型相结合的评价方法研究深圳和 4 个中央直辖市生态安全问题。

2.1 灰色关联度法的原理与算法

由于研究问题的复杂性与认识水平的局限性, 很难以相关系数比较精确地度量城市生态安全影响要素的相关程度, 灰色关联分析法提供了解决上述缺陷的新方法, 其原理是定量地比较或描述系统之间或系统内部各要素之间特征曲线的几何形状, 根据特征曲线的变化与大小、方向和速度等指标的接近程度来度量因素之间关联程度的灰色关联度。通过比较序列的变化态势相似或相异程度, 然后进行综合评价, 变化态势相近则关联程度较大; 反之则关联度较小。其中关联度最大的等级为所属的生态安全等级^[15~19]。处理过程为: 确定参考序列和比较序列; 初值化处理; 计算二级最大、最小差与关联系数; 计算关联度。其中关联度的计算公式为:

$$r_{0,i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^i \xi_{0,i}(k) \quad (1)$$

式中, $r_{0,i}$ 为比较因素 x_i 对参考因素 x_0 的关联度, n 为因素数, $\xi_{0,i}(k)$ 为关联系数。

2.2 物元可拓综合法的原理与算法

城市生态安全评价不仅要综合考虑多个指标, 还要考虑综合评定时各指标评定等级相互矛盾的问题, 即要把单项指标评定结果的不相容性转化为相容性。可拓学是研究不相容问题转化规律的较新方法, 其原理是以物元为基元建立模型来描述矛盾问题, 以物元变换作为化矛盾问题为相容问题的手段, 通过确定节域对象物元矩阵和经典域对象物元矩阵, 并在可拓集合中, 通过建立关联函数, 利用可拓域和临界元素对事物的量变和质变进行定量化的描述^[20~22]。该法的综合关联度计算公式为:

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n a_i K_j(x_i) \tag{2}$$

式中， $K_j(p)$ 为待评事物 p 关于第 j 等级的关联度， a_i 为各评价指标的权重， $K_j(x_i)$ 表示各评价指标 i 关于各评价等级 j 的关联度， x_i 为各评价指标的实测值。

2 3 模糊综合评价法的原理与算法

模糊综合评价是基于多种因素影响，根据被评价对象在性态或类属上的亦此亦彼性，应用模糊关系合成的原理，通过运用模糊数学工具对某事物做出刻画和综合评价。由于安全与否是一个相对模糊的概念，故城市生态安全能够作为一个模糊问题来处理^[23, 24]。因此可用模糊数学的概念和方法，建立城市生态安全模糊评判的理论模型。城市生态安全模糊综合评价过程为：设计评价参数对评定等级的隶属函数；建立评价参数与评定等级间的模糊关系；进行模糊矩阵的复合运算；计算级别变量特征值，其公式为：

$$H = \sum_{j=1}^5 j b_j \tag{3}$$

式中， H 为级别变量特征值， b_j 表示隶属于第 j 等级的隶属度。

2 4 主成分投影法的原理与算法

主成分投影是在主成分分析的基础上经改进后的多指标决策和评价方法，其原理是对所选指标经无量纲化（归一化处理）和加权处理的基础上，通过正交变换把原有的 m 个指标转换成彼此正交的 m 个综合指标，消除指标间相互干扰的重叠信息，再利用各主成分构造一个理想决策对象，以 n 个评价对象相应的评价向量在该理想决策对象方向上的投影，作为一维的综合评价指标，并根据样本矩阵的投影值的结果排序和比较分析^[8]。投影评价样本矩阵的投影值计算公式为：

$$D_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}) \times d_0^* \tag{4}$$

式中， D_i 为各评价样本矩阵的投影值，正交决策矩阵， $d_0^* = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ 为理想决策对象。

3 指标体系与权重

3 1 指标体系的确定

3 1 1 指标筛选确立原则 为科学、客观地评价城市生态安全状况，首要任务是构建指标体系，制定指标体系的确立原则。本研究遵循如下原则：

(1) 完备性，能全面地反映城市生态各方面的特征和状况；(2) 独立性，避免指标之间的包容和重叠；(3) 可获得性，指标的获取相对容易，计算方法简单；(4) 可测性，数据可以定量测度；(5) 可比性，评价指标应具有区域间、时间上的可比性；(6) 引导性，能在较长时间内规范和引导未来发展的行为和方向；(7) 层次性，具有层次结构，使指标体系合理、清晰。

3 1 2 指标筛选与体系建立 从压力- 状态- 响应 (PSR) 概念模型出发，基于上述原则，着眼于对城市生态环境、经济和社会方面的影响，达到协调生态、经济和社会之间关系的目的，及考虑到与目前各种评价方法^[25, 26]相适应，建立指标体系并对初拟指标进行筛选与可信度检验（通过 SPSS14.0 软件实现）。构建包含评价目标、评价项目、评价因素与评价指标的 3 个层次的 8 个因素层，27 个指标的城市生态安全评价指标体系（表 1）。

表 1 城市生态安全评价指标体系

Tab 1 Assessment indicators system for urban ecological security

目标层	项目层	因素层	指标层	指标权重
生态安全综合指数 A	生态系统压力 B1	资源	D1 人均住房面积(m ²)	0. 0478
		压力	D2 人均道路面积(m ²)	0. 0340
		C1	D3 人均公共绿地面积(m ²)	0. 0367
		环境	D4 工业 SO ₂ 排放强度(kg/ 10 ⁴ yuan)	0. 0345
		压力	D5COD 排放强度(kg/ 10 ⁴ yuan)	0. 0206
		C2	D6 水土流失面积占区域面积比例(%)	0. 0267
		人文社	D7 人均 GDP(元/ 人)	0. 0485
		会压力	D8 人口密度(人/ km ²)	0. 0390
		C3	D9 人口机械增长率(‰)	0. 0257
	生态系统状态 B2	资源状	D10 建成区绿化覆盖率(%)	0. 0333
		态 C4	D11 集中式饮用水源水质达标率(%)	0. 0455
		环境状	D12 空气质量优于二级标准天数(天)	0. 0504
		态 C5	D13 区域环境噪声平均值(db)	0. 0278
	生态系统响应 B3	环境 响应 C6	D14 工业固体废物处理率(%)	0. 0281
			D15 工业废气处理率(%)	0. 0242
			D16 工业废水排放达标率(%)	0. 0475
			D17 城市生活污水集中处理率(%)	0. 0320
			D18 城市生活垃圾无害化处理率(%)	0. 0429
			D19 机动车尾气排放达标率(%)	0. 0312
			D20 第三产业占 GDP 比重(%)	0. 0495
			D21 高新产业产值占 GDP 比重(%)	0. 0473
		经济响 应 C7	D22 环保投资占比重(%)	0. 0346
			D23 科学教育投入占 GDP 比重(%)	0. 0316
			D24 恩格尔系数(%)	0. 0340
			D25 万人拥有藏书量(万册件)	0. 0299
		人文社 会响应	D26 万人拥有医院床位数(张)	0. 0591
		C8	D27 万人拥有高校在校学生数(人)	0. 0375

3 2 权重值的确定

权重确定主要有主观赋值法和客观赋值法^[9, 27]。层次分析法属主观赋值法, 通过构造判断矩阵, 求最大特征根和特征向量, 进行层次总排序并进行一致性检验, 得到评价指标的权重。熵值法属客观赋值法。根据数据的联系程度或提供的信息量来决定指标权重, 通过构建原始数据矩阵, 标准化处理, 计算各指标信息熵, 最终确定出熵权。两种方法分别有主观性强与有时脱离实际情况的不足^[28]。本研究为弥补缺陷、实现优势

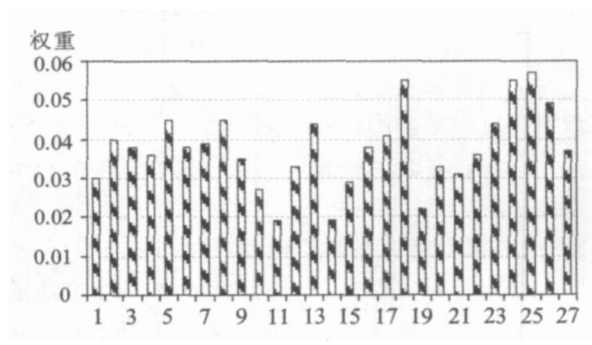


图 1 城市生态安全评价指标综合权重
Fig 1 Synthetic weight of assessment indicators for urban ecological security

互补，通过对两种方法得出的权值，取偏好系数 $\mu=0.5$ ，得到评价指标的综合权重见表 1、图 1（图中横轴为指标体系中 D1~ D27 共 27 个评价指标）。

4 结果与分析

4.1 城市生态安全评价结果

评价基础数据来自 5 个案例城市《2007 年统计年鉴》；2006 年《环境状况公报》；2006 年《国民经济和社会发展统计公报》。

4.1.1 灰色关联度法在城市生态安全评价中的应用结果 以深圳及 4 个中央直辖市的各项指标值所构成的数列作为比较序列 $X_i^{(0)}(k)(i=1, 2, \dots, 8; k=1, 2, \dots, 27)$ ，以城市生态安全各等级标准值构成的数列作为参考序列 $X_j^{(j)}(k)(j=1, 2, \dots, 5)$ 。取分辨系数 $\rho=0.5$ ，计算 5 城市相对于各安全等级的二级最大差和二级最小差（表 2）。

表 2 城市各安全等级的二级最大差和最小差

Tab 2 The second class difference most and least at security grades of urban

	理想安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全
二级最大差	3.6423	3.4198	3.1482	3.3099	2.9820
二级最小差	0	0.002	0	0	0

用 $\rho=0.5$ 和 5 城市相对于各安全等级的二级最大差和二级最小差计算关联系数后带入公式（1），获得 5 城市对各个等级的关联度及所处的生态安全等级（表 3）。

表 3 5 城市生态安全灰色关联度综合评价结果

Tab 3 Grey associative synthetic assessment result of five cities ecological security

城市	关联度					安全等级
	理想安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全	
深圳	0.8081	0.8473	0.8384	0.8053	0.7511	较安全
北京	0.8314	0.8461	0.8447	0.7707	0.6739	较安全
上海	0.8209	0.8779	0.8921	0.8129	0.7366	临界安全
天津	0.8305	0.8513	0.8506	0.8171	0.7487	较安全
重庆	0.7571	0.7900	0.8121	0.8143	0.8016	不安全

4.1.2 物元可拓综合评价法在城市生态安全评价中的应用结果 根据城市生态安全分级标准，以相邻两标准值间的中间值作为各经典域的边界，理想安全和极不安全的标准值各向两端增减一定数值，使这两级标准值作为各自经典域的中间值，建立 5 个经典域；以极不安全经典域下限和理想安全经典域上限构成的区间作为节域；根据待判物元的各特征量值必属于经典域的原则，检验经典域的合理性，并对相关节域和经典域作相应的调整；最后确定节域和理想安全、较安全、临界安全、不安全和极不安全的 5 个经典域；通过各评价指标的实测值计算出各等级的关联度后，代入公式（2），获得 5 城市各指标的综合关联度（表 4）。

表 4 5 城市生态安全物元可拓综合评价结果

Tab 4 Matter element extension synthetic assessment result of five cities ecological security

城市	关联度					级别特征值	安全等级
	理想安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全		
深圳	- 0 3249	- 0 2245	- 0 2843	- 0 39	- 0 4665	2 3014	较安全
北京	- 0 4948	- 0 5348	- 0 4210	- 0 6429	- 0 8550	2 3754	较安全
上海	- 0 2783	- 0 1066	- 0 0606	- 0 3021	- 0 4974	2 4898	较安全
天津	- 0 2332	- 0 2659	- 0 2411	- 0 3011	- 0 4846	2 4003	较安全
重庆	- 0 5004	- 0 3954	- 0 4721	- 0 4237	- 0 2685	4 4497	不安全

4 1 3 模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用结果 按照城市生态安全指标的 5 个分级标准, 分别设计各指标的理想安全、较安全、临界安全、不安全、极不安全等隶属函数; 将 5 城市的 27 个指标数据代入各参数对各级标准的隶属函数公式中, 求出各评价参数对于 5 个评定等级的隶属度; 构成模糊关系矩阵 R ; 根据公式 (3), 得到模糊综合评价各等级隶属度、级别变量特征值与生态安全评级 (表 5)。

表 5 5 城市生态安全模糊综合评价结果

Tab 5 Fuzzy synthetic assessment result of five cities ecological security

城市	关联度					级别特征值	评价结果
	理想安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全		
深圳	0 1961	0 2449	0 2194	0 1227	0 1119	2 3944	较安全
生态系统压力	0 1788	0 2803	0 2174	0 149	0 1746	2 8602	临界安全
生态系统状态	0 6563	0 1669	0 0354	0 1414	0	1 662	较安全
生态系统响应	0 1098	0 2867	0 3147	0 1413	0 1475	2 9299	临界安全
北京	0 3018	0 1786	0 3741	0 1042	0 0852	2 6241	临界安全
生态系统压力	0 1903	0 1224	0 5979	0 0043	0 0851	2 6715	临界安全
生态系统状态	0 3264	0 1757	0 1979	0 3	0	2 4714	较安全
生态系统响应	0 3699	0 2222	0 2923	0 0995	0 0161	2 1696	较安全
上海	0 1253	0 3245	0 402	0 121	0 0267	2 5976	临界安全
生态系统压力	0	0 2362	0 4788	0 1999	0 0851	3 1339	临界安全
生态系统状态	0 2609	0 4134	0 3027	0 023	0	2 0878	较安全
生态系统响应	0 1591	0 3504	0 386	0 1034	0	2 4315	较安全
天津	0 2573	0 1922	0 2687	0 2207	0 061	2 6359	临界安全
生态系统压力	0 2238	0 2319	0 2482	0 2432	0 0528	2 6694	临界安全
生态系统状态	0 2899	0 2454	0 3798	0 0849	0	2 2596	较安全
生态系统响应	0 2674	0 153	0 2481	0 2476	0 0839	2 7274	临界安全
重庆	0 1022	0 1896	0 2377	0 182	0 3347	3 596	不安全
生态系统压力	0 155	0 1489	0 0879	0 0804	0 5278	3 6771	不安全
生态系统状态	0 2087	0 1431	0 4714	0	0 1768	2 793	临界安全
生态系统响应	0 0346	0 2211	0 2506	0 2329	0 2608	3 4644	临界安全

4 1 4 主成分投影法在城市生态安全评价中的应用结果 为消除数量级和量纲不同带来的影响, 采用级差变换法对评价矩阵的指标数据值进行归一化处理; 根据权重值 (表 1)

对规范化矩阵进行加权处理, 得到赋权决策矩阵; 用 Matlab 软件计算矩阵的特征值和对应的单位特征向量; 构造理想决策对象; 最后根据公式 (4), 计算各评价向量在理想决策对象上的投影值 (表 6)。

表 6 5 城市生态安全主成分投影综合评价结果

Tab 6 Principal component projection synthetic assessment result of five cities ecological security

城市	深圳	北京	上海	天津	重庆
主成分投影值	0.0739	0.064	0.0423	0.067	0.03

4 2 评价结果分析

4 2 1 各城市生态安全水平分析 通过运用改进的灰色关联度法、物元可拓综合评价法、模糊综合评价法和主成分投影法 4 种方法对 5 城市生态安全水平进行统计, 得到了 4 种排序结果 (表 7)。

表 7 5 城市生态安全的 4 种模型评价水平排序

Tab 7 The four models assessment level compositor of five cities ecological security

评价方法	城市生态安全水平排序 (由高到低)
改进的灰色关联度法	深圳、北京、天津、上海、重庆
物元可拓综合评价法	深圳、北京、天津、上海、重庆
模糊综合评价法	深圳、上海、北京、天津、重庆
主成分投影法	深圳、天津、北京、上海、重庆

由表 7 知, 深圳生态安全水平排序均列第一位; 重庆均列最后; 北京、上海、天津居中。但北京 2 次第二, 2 次第三; 上海 1 次第二, 3 次第四; 天津 1 次第二, 2 次第三, 1 次第四。由此进一步分析得出: 深圳生态安全水平最高; 往下依次为北京、天津和上海; 重庆生态安全水平最低。其对应的生态安全等级为深圳、北京、天津较安全、上海临界安全与重庆不安全 (见表 3~ 表 5)。

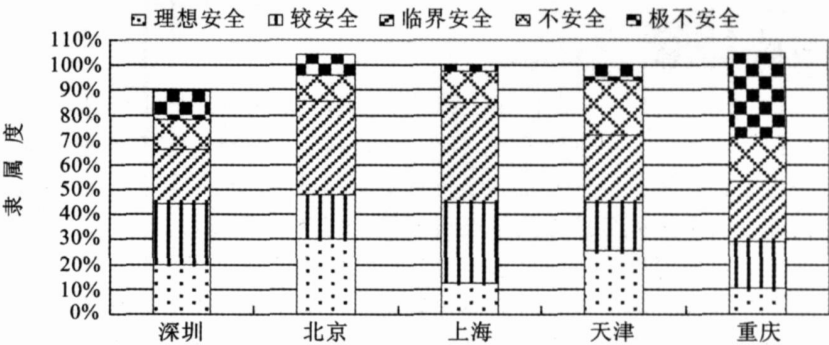


图 2 5 城市各等级生态安全隶属度比较

Fig. 2 Comparing the ecological security memberships at various levels of five cities

从 5 城市的隶属度 (图 2) 可看出, 上海的较安全和临界安全的隶属度之和明显高于其他 4 市, 其次是北京、深圳, 天津较上两市略小, 重庆最低且极不安全的隶属度最大。说明上海生态安全的发展潜力最大, 北京、深圳有较大的发展潜力, 天津有一定的发展潜力, 重庆生态安全发展潜力最小。

深圳生态安全水平较高,是因为其生态环境压力小,生态系统状态好,人文响应较好,主要体现在万人拥有大学以上文化程度人数与城区绿化覆盖率较高,全年空气质量优良,日污水处理能力强,饮用水源水质达标率,环保投资总额大^[29]。北京、天津之所以与深圳同为较安全等级,主要因为两市加大了环境整治力度,严格控制工业和生活排污标准,绿化率、饮用水源水质达标率等环境质量优良,但人口、土地与水资源压力大。上海为临界安全但发展潜力大,是因为其人文响应好,智力能力中的万人拥有大学以上文化程度人数指标值较高,政府对环保、基础设施的投资力度加大,但其人口、土地压力大,环境污染较严重。重庆之所以处在不安全级别主要是因为它生态环境压力、状态与人文环境响应都较差。以上分析说明评价结果与实际情况相符合^[30,31]。这在一定程度上反映出本研究制定的指标体系与权值的合理性。

4.2.2 评价模型比较 城市生态安全评价一要比城市间生态安全水平的高低,二要判定每个城市所处的生态安全等级。本研究使用的4种评价模型中,灰色关联度法、模糊综合法和物元可拓综合评价法均给出了各城市生态安全水平与生态安全等级。主成分投影法虽然具有简化数据结构,减少原是数据信息损失,避免主观随意性的优点^[32],但由于在评价过程中没有用到评价指标各级标准值,故不能直接给出城市生态安全等级,仅给出生态安全水平的高低,因此使用主成分投影法评价城市生态安全有一定的局限性;灰色关联度法是利用点与点的绝对差值进行计算,并且该法可以用五个安全等级为比较序列分别对每个城市进行安全等级判定,但各城市得出的等级判定结果不具有可比性,不能反映各城市之间差距的大小;模糊综合法和物元可拓综合评价法则分别利用最大隶属原则进行等级判别确定城市生态安全评价结果,较全面、精确。模糊综合评价过程简易且较灰色关联度法能揭示更多的分异信息,还能够对单项指标的生态安全等级进行判定,使评价结果更加客观可信,更有利于有针对性地分析问题并提出对策和措施。以上分析说明模糊综合评价法在城市生态安全评价中最具优势,主成分投影法缺陷较大。从各种评价模型均能得到大致相近的结果看,它们在生态安全评价中均具有适用性。

5 结论与讨论

根据选用的PSR模型、城市生态安全评价指标体系构建原则、筛选方法构建了城市生态安全评价指标体系;运用主观偏好(层次分析法)和客观信息(改进的熵值法)相结合的综合方法确定各评价指标的权重,使权重值得到优化;运用灰色关联度法、物元可拓综合法、模糊综合法和主成分投影法等评价模型,对深圳等城市2006年的生态安全水平进行测算与评价,得出深圳生态安全水平最高,依次为北京、天津和上海,重庆最低;其对应的生态安全等级为深圳、北京、天津较安全、上海临界安全与重庆不安全;上海生态安全的发展潜力最大,重庆生态安全发展潜力最小,问题最为严重。4种评价模型中,模糊综合法与物元可拓综合法,评价结果较全面、精确,模糊综合法利于有针对性地分析问题与提出对策,而主成分投影法不能直接给出生态安全等级,灰色关联度法对各城市得出的等级判定结果不具有可比性,不能反映各城市之间差距的大小。说明在城市生态安全评价中,模糊综合法最具优势,主成分投影法与灰色关联度法有一定缺陷。

城市生态安全涉及资源、环境、经济、社会诸方面,反映这些方面的因素既要全面,还不宜过多,故不同的研究者建立的指标体系会有所不同,其主观性和偏差难以避免。因此在理论与实践上建立规范和统一的生态评价指标体系方面应进一步研究。就应用方法而

言, 由于各种评价模型各具特色, 为了使评价结果更加科学、客观, 如何对各种评价模型进行存优弃劣的拟合分析, 还需深入探讨。

参考文献:

- [1] 张宝杰. 城市生态与环境保护. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002
- [2] Westing A H. The environmental component of comprehensive Security. Bulletin of Peace Proposals, 1989, 20(2): 129~ 134
- [3] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题. 环境保护, 2002, 5: 3~ 5
- [4] 程漱兰, 陈焱. 高度重视国家生态安全战略. 生态经济, 1999, (5): 9~ 11
- [5] 赵丽惠. 国家重点基础研究发展规划项目: 长江流域生物多样性变化、可持续利用与区域生态安全项目简介. 植物学报, 2000, 42(8): 879~ 880
- [6] 肖笃宁. 干旱区生态安全研究的意义与方法. 北京: 气象出版社, 2002 23~ 27
- [7] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价方法研究. 生态学杂志, 2005, 24(7): 848~ 852
- [8] 吴开亚. 主成分投影法在区域生态安全评价中的应用. 中国软科学, 2003, (9): 123~ 126
- [9] 张卫民, 安景文, 韩朝. 熵值法在城市可持续发展评价问题中的应用. 数量经济技术经济研究, 2003, (6): 115~ 118
- [10] 贾良清, 欧阳志云, 赵同谦, 等. 城市生态安全评价研究. 生态环境, 2004, 13(4): 592~ 596
- [11] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价. 自然资源学报, 2004, 19(6): 769~ 775
- [12] 施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. 生态学报, 2005, 25(12): 3239~ 3245
- [13] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354
- [14] 刘红, 王慧, 刘康. 我国生态安全评价方法研究述评. 环境保护, 2005, (8): 34~ 37
- [15] 邓聚龙. 灰色系统理论教程. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990
- [16] 王清印. 预测与决策的不确定性数学模型. 北京: 冶金工业出版社, 2001. 143~ 174
- [17] 易建坤. 用灰色关联度分析评价岩体天然因素对爆破的影响. 西部探矿工程, 2003, (2): 111~ 112
- [18] 赵鹏大. 定量地学方法及与应用. 北京: 高等教育出版社, 2004 119~ 140
- [19] 汪侠, 顾朝林, 等. 旅游资源开发潜力评价的多层次灰色方法. 地理研究, 2007, 26(3): 625
- [20] 李柞泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法. 北京: 化学工业出版社, 2004 69~ 190
- [21] 蔡国梁, 邢桂芬, 李玉秀, 等. 城市空气环境质量的多指标可拓综合评价法. 城市环境与城市生态, 2003, 16(5): 4~ 6
- [22] 汪明武, 金菊良, 李丽. 地图质量可拓综合评价模型. 地理科学, 2003, 23(5): 612~ 616
- [23] 李希灿, 程汝光, 李克志. 空气环境质量模糊综合评价及趋势灰色预测. 系统工程理论与实践, 2003, (4): 124~ 229
- [24] 谭跃进. 定量分析方法. 北京: 中国人民大学出版社, 2002 132~ 138
- [25] Tong C. Review on environmental indicator research. Research On Environmental Science, 2000, 13(4): 531
- [26] Allen H. Environmental indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington D C, USA: World Resource Institute, 1995
- [27] 许学强, 张俊军. 广州城市可持续发展的综合评价. 地理学报, 2001, 56(1): 54~ 63
- [28] 董金玮, 郑新奇. 基于改进 PSR 模型的济南市生态安全评价研究. 资源开发与市场, 2007, 23(1): 1~ 4
- [29] 新华社. 深圳和内蒙古敖汉旗获全球环境 500 佳称号. 2002-06-05 http://news31xinhuanet.com/fortune/2002-06-/04/content_424344.htm.
- [30] 中国环境监测总站. 中国生态环境质量评价研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2004
- [31] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004, 40(5): 705~ 710
- [32] 高吉喜, 段飞舟, 等. 主成分分析在农田土壤环境评价中的应用. 地理研究, 2006, 25(5): 836~ 842

Several assessment models and application analysis of urban ecological security

LI Pei-wu¹, LI Gu-i-cai², ZHANG Jin-hua¹, XU Feng¹, CHEN Li¹

(1 College of Urban and Enviroment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300384, China;

2 Institute of Graduate Studies, Peking University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: This paper aims at exploring the urban ecological security level and assessment methods, and providing the scientific basis for the policy of the assessment and management on the urban ecological security. Shenzhen and four municipalities are taken as case studies to contrive an evaluating index system of urban ecological security depending on the Pressure-Status-Response (PSR) model. Firstly, the authors use four kinds of assessment models to simulate urban ecological security levels for those cities in 2006. A comparison is made between these models, based on the optimal method in combination of the subjective preference (Analytic Hierarchy Process) and the objective information (the modified Entropy), so as to identify the weights of all assessment indexes comprehensively. Then the ecological systems of Shenzhen and four municipalities are evaluated by applying the modified Grey Relational Analysis, the Matter-Element extension, the Fuzzy Comprehensive method and Main Constituents Projection method. The results are shown as follows: (1) Shenzhen's ecological security level is the highest, followed by Beijing, Tianjin and Shanghai, and Chongqing. Shenzhen, Beijing and Tianjin are labeled as relative safety at ecological security level, Shanghai is critically secure, and Chongqing is unsafe; Shanghai possesses the most developmental potentiality, while less in Shenzhen, Beijing and Tianjin, and still the lowest in Chongqing. From the conclusions above, the differences can be found in terms of ecological environmental pressures, the states of ecological systems and the responses of human beings for different cities. (2) In the studying method of urban ecological security evaluation, every model can obtain a similar result and can reflect the applicability on ecological security assessment. The results of Fuzzy Comprehensive method and Matter-Element Extension method are more comprehensive, and more differentiations can be revealed in Fuzzy Comprehensive method which can analyze the problems and offer the targeted measures than in the Matter-Element Extension. The conclusion of level judgment drawn by the Grey Associative Analysis is not possessed of comparability and cannot reflect the gaps among the cities. The Main Constituents Projection method cannot directly demonstrate the ecological security levels, although it can simplify the data structure, reduce the information loss of the original data and avoid the subjective arbitrariness as well as only showing the high or low level of ecological security. Thus there are some limitations in this method on ecological security assessment.

Key words: assessment model; indexes system; urban ecological security; assessment; Shenzhen