

城市生态环境质量评价方法

万本太¹, 王文杰^{2,*}, 崔书红¹, 潘英姿², 张建辉³

(1. 环境保护部自然生态保护司 北京 100035; 2. 中国环境科学研究院 北京 100012; 3. 中国环境监测总站 北京 100012)

摘要:城市生态环境质量评价是城市生态学研究的重要领域,是城市区域规划、生态管理的基础,研究从城市生态系统结构、城市生态效能与城市环境各个方面出发,基于科学性、目的性、系统性与可操作性原则,提出了生态服务用地指数、人均公共绿地指数、物种丰富指数、非工业用地指数等 10 类城市生态环境质量评价指数,根据专家经验赋权重方法,建立了城市生态环境质量评价指标。研究选择青岛、上海、长春等 7 个城市作为评价对象,进行了城市生态环境质量评价,结果表明,青岛城市生态环境质量优,昆明、上海、成都、长春、重庆城市生态环境质量较好,乌鲁木齐城市生态环境一般,生态环境质量评价结果与现状基本相符,可为城市规划、城市生态环境整治和城市生态环境管理提供重要基础。

关键词:城市;城市生态学;生态环境质量;评价方法

文章编号:1000-0933(2009)03-1068-06 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Research on the methods of urban ecological environmental quality assessment

WAN Ben-Tai¹, WANG Wen-Jie^{2,*}, CUI Shu-Hong¹, PAN Ying-Zi², ZHANG Jian-Hui³

1 Department of Natural Ecological Protection, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100035, China

2 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

3 China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1068 ~ 1073.

Abstract: Urban Ecological Environmental Quality (UEQ) Assessment is the main issues of Urban ecology, and provide basis for urban region planning and ecological management. In this article, we have collected ten ecological quality assessment index based on the aspects of bio-geophysical, ecological functions, and urban environmental qualities in urban ecosystem. i. e. ecological service index, public green land per person, biodiversity index, index on infrastructure for non-industrial use etc. UEQ index can be calculated using the sum of the weighted single index. At last we select seven cities like as qindao, shanghai, changchun and others cities which have a typical environment and imporment cities as an example to examine the method we addressed, the assessment results have said that Qindao city have a good ecological environment quality, but Wulumuqi city is general. This results have proved this method can be used to city planning, city ecological environment repairing and city ecological environment management.

Key Words: urban region; urban ecology; urban ecological environmental quality; assessment methods

城市化是当今世界人口聚集发展的主流,也是全球人文环境格局形成与环境变化的重要驱动力。据统计,全球有近一半的人口生活在城市中,在未来 15a 中,约有 60% 的人口将生活在城市里^[1]。我国人口城市化率由 1978 年的 17.9% 上升至 2006 年 43.9%,从城市数量来看,由 1978 年的 193 个增长到目前的 656 个^[2,3]。城市化发展也导致了全球城市数量的迅速增长,目前,全球超过 100 万人口的城市超过 320 个,其中超千万人口的城市有 23 个^[1]。城市化发展带来巨大的人口聚集的同时,城市化的快速发展也带来土地利用

基金项目:国家环境保护部重要基础性科研资助项目

收稿日期:2008-07-29; 修订日期:2008-12-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangwj@craes.org.cn

结构的变化。城市数量与城市规模的爆发式增长,城市基础设施的不健全以及“摊大饼”的城市建设模式,造成了城市自然环境的恶化与土地利用率低,城市生态功能低下,人造环境改变了自然、生物、物理过程,生态系统正常功能的能流、物流随之变化,形成了以人类主导物流、能流的独具特色自然、人文与社会复合生态系统。城市生态环境质量的好坏又直接影响了城市人口的生活质量以及城市发展水平。因此,针对城市生态系统特征,选择合理的指标,开展城市生态环境质量评价,对于城市化发展,城市环境管理具有指向性的作用,对于构建和谐、持续的城市生态系统具十分重要的意义。

城市生态环境质量评价是以城市系统中城市建设区以及周边影响区为研究对象,从城市系统的结构、输入与输出、过程与效能等方面,以城市系统可持续性与和谐发展为目标,通过构建城市系统构成与格局、功能与活力、抗性与协调性等方面指标,来综合评估城市生态环境状况的过程^[4~6]。它是城市生态学研究的重要领域,是城市生态发展规划与城市生态管理的基础。城市生态环境质量评价指标的选择与评价方法,受研究者的学科背景、研究目标影响较大,主要集中表现为以城市生态系统构成为研究对象的传统生态学研究方法和以城市系统为整体区域生态学研究方法。在城市生态环境质量评价应用方面,多从城市区域规划、土地利用规划、生物多样性保护、城市可持续发展来构建城市生态评估指标与方法^[7~9]。国外城市生态环境质量评价比较注重结合实际开展工作,从城市区域规划、生物多样性保护角度出发,提出城市生态环境质量评价指标与方法^[10~13],Marull J 博士等从构建土地适宜性指标体系,提出自然环境适宜性、生物环境适宜性以及功能适宜性 3 个方面指标框架,具体落实到植被敏感性指数、基质稳固性指数、原生生境指数、生态隔离度指数等指标,利用地理信息系统(GIS)方法来评估城市生态环境质量状况,为合理规划城市土地利用提供依据^[14];Pictett S. T.、Zurlini G. 等从弹性力角度,通过生态、社会经济弹性力评估,试图架起城市生态环境质量内涵^[15,16],城市弹性力与城市生态规划之间的桥梁。我国城市生态环境质量评价多围绕城市可持续性、城市生态和谐与生态安全等提出城市生态环境质量评价指标体系与评价方法^[7,8],吴琼、王如松等从城市复合生态系统角度,提出反映生态城市的内涵和衡量生态城市各子系统的状态、动态和实力指标体系,提出了全排列多边形图示指标评价方法,评价生态城市在不同城市发展时段的建设成效^[9];黄书礼等从城市可持续发展角度,通过自然、农业、水资源、物质提供、城市生产、废物处理与资源再循环等子系统,提出了城市可持续发展指标体系及其评价方法,并对台北市不同城市行政区域进行了综合评估,研究了台北市城市可持续水平、格局及其对策^[17]。

本研究针对城市生态系统特征,从城市生态系统构成与格局、城市功能特征以及城市环境健康等综合角度,提出一套综合城市生态评价指标,通过构建各指标的归一化指数与权重综合评估相结合的方法,评估各城市生态环境质量状况,并在此基础上分级,旨在为城市生态环境管理、城市宏观规划提供科学依据。

1 城市生态环境质量评价指标构建原则

城市生态环境质量评价指标选择主要遵循如下原则:

科学性原则 指标选择应建立在对城市生态系统结构、城市系统输入、生产与输出功能等全面、科学认识基础上,城市生态环境质量指标选择要体现生态系统结构与功能主要特征,真实地反映城市生态系统的基本特征、变化。

目的性原则 指标选择过程要从城市环境管理的目标出发,从城市生态系统结构、功能、驱动力等角度选择环境敏感性且具代表性的指标。

系统性原则 指标选择过程要用系统论观点来考察城市生态系统的整体性、层次结构性和动态性,充分地反映城市生态系统组成特征、功能及其相互关系。

可操作性原则 指标选择同时考虑城市生态指标数据获取可行性、难易程度,要求指标数据获取能够通过现有的环境监测、统计手段得到。

2 城市生态环境质量评价指标涵义与计算方法

基于上述原则,城市生态环境质量评价从城市系统构成、城市生物多样性特征、城市生产与城市自调节角

度、城市环境等方面提出生态服务用地比例、人均公共绿地面积、物种丰度指数、非工业用地指数、水生生境指数、城市空气质量指数、城市安静度指数、卫生清扫指数以及生物垃圾无害化处理指数等 10 类型评价指标,通过归一化与权重综合来评估城市生态环境质量状况。

2.1 评价指标涵义

生态服务用地指数 是指各评价城市范围内绿地、湿地、水域和农田面积占城市规划区总面积的比例,是城市生态系统宏观构成合理性的重要指标。

人均公共绿地指数 是指在城市规划区内城市人口平均拥有的公共绿地面积。

物种丰度指数 是指城市规划区内本地乔、灌、草种植的种类数量占全市本地乔、灌、草种类总数的比例。

非工业用地指数 是指城市规划区内建成区非工业建设用地面积占建成区面积的比例。

水生生境指数 是指城市规划区内水域面积占城市规划区面积比例以及满足 III 类及好于 III 类水体水域面积占城市规划区内水域总面积比例的综合。

城市空气质量指数 是指全年空气质量 API 指标 ≤ 100 的天数占全年天数(按 365d 计算)的比例。

城市安静度指数 指规划区内建成区区域环境噪声达标区面积占城市建成区总面积的比例。

交通通畅度指数 指城市规划区内城市人口平均拥有交通过地面积。

卫生清扫指数 指卫生清扫面积占城市建成区总面积的比例。

生活垃圾无害化处理指数 指经无害化处理的城市生活垃圾数量占城市规划区内生活垃圾产生总量的百分比。

2.2 城市生态环境质量评价方法

城市生态环境质量评价按单因子指标归一化处理计算,各单因子指数范围值在 0 ~ 100,通过专家经验对各单因子进行权重赋值,计算城市生态环境质量综合结果。

单因子指数计算 城市生态环境质量各单因子指标计算方法详见表 1。

表 1 城市生态环境质量评价指标计算方法

Table 1 The calculate methods of urban ecological environmental equality

评价指标 Assessment index	计算方法 Calculate methods
生态服务用地指数 Land for ecological service	计算公式 = $20 + (\text{绿地面积} + \text{湿地面积(含水域)} + \text{农田面积}) / \text{城市规划区面积} \times 100$, 大于 100 值, 按 100 计算
人均公共绿地指数 Average green land per citizen	计算公式 = $\text{人均公共绿地面积} / \text{标准值} \times 100$, 标准值初定为 40, 大于 100 值, 按 100 计算
物种丰度指数 Species diversity	计算公式 = $\text{城市规划区内乔、灌、草本地种数之和} / \text{城市辖区内乔、灌、草本地种总数和} \times 100$
非工业用地指数 Non-industrial land cover	计算公式 = $\text{城市建成区非工业建设用地面积} / \text{已建设用地总面积} \times 100$
水生生境指数 Aquatic habitat cover and quality	计算公式 = $[50 + \text{规划区内水域面积} / (\text{规划区面积} \times 0.4) \times 100] \times 0.7 + \text{规划区内 III 类水体面积} / \text{规划区内水体面积} \times 100 \times 0.3$, 大于 100 值, 按 100 计算
环境空气质量指数 Urban air quality	计算公式 = $\text{全年 API 小于等于 100 的天数} / 365 \times 100$
城市安静度指数 Urban noise level	计算公式 = $\text{区域环境噪声达标区面积} / \text{城市建成区面积} \times 100$
交通通畅度指数 Urban transportation level	计算公式 = $\text{城市人均拥有道路面积} / 20 \times 100$, 大于 100 值, 按 100 计算
卫生清扫指数 Urban clean level	计算公式 = $\text{卫生清扫总面积} / (\text{城市建成区面积} \times 0.3) \times 100$
生活垃圾无害化处理指数 Living garbage disposal level	计算公式 = $\text{生活垃圾无害化处理总量} / \text{生活垃圾产生总量} \times 100$

城市生态环境质量状况计算 权重按专家经验打分,各单因子指数权重赋值见表 2,城市生态环境质量状况计算公式为:

$$UEQ = \sum W_i \times Q_i$$

式中, UEQ 为城市生态环境质量指数; W_i 为城市生态环境质量评价单因子指数权重; Q_i 为城市生态环境质量单因子指数值。

表 2 城市生态环境质量评价单因子指数权重赋值表

评价指标 Assessment index	权重 Weighted index
生态服务用地指数 Land for ecological service	0.2
人均公共绿地指数 Average green land per citizen	0.1
物种丰度指数 Species diversity	0.1
非工业用地指数 Non-industrial land cover	0.1
水生生境指数 Aquatic habitat cover and quality	0.1
环境空气质量指数 Urban air quality	0.1
城市安静度指数 Urban noise level	0.05
交通通畅度指数 Urban transportation level	0.1
卫生清扫指数 Urban clean level	0.05
生活垃圾无害化处理指数 Living garbage disposal level	0.1

3 城市生态环境质量评价分级

城市生态环境质量评价根据 UEQ 值的大小分为 4 个等级,即城市生态环境质量优、较好、一般和较差,各等级城市生态环境质量状况的分级标准及其涵义如下:

城市生态环境质量优 $UEQ \geq 80$,城市生态要素构成合理,城市绿化率高且充分利用本地植物种资源进行城市绿化,城市生产布局合理;城市生态系统物流、能流顺畅、协调,城市生态系统自维持能力较强,城市区域环境状况宜人。

城市生态环境质量较好 $65 \leq UEQ < 80$,城市生态要素构成合理,城市绿化率较高,城市利用本地植物资源进行城市绿化较高,城市生产布局较合理;城市生态系统物流、能源较顺畅、协调,城市区域环境状况处于良好水平,但存在影响城市生态环境质量状况的限制性因子,需要进一步有针对性地加强城市生态环境质量与区域协调发展的调控。

城市生态环境质量一般 $50 \leq UEQ < 65$,城市生态要素构成存在一定的结构性问题,城市绿化率、城市利用本地植物资源情况一般,城市生产结构合理性一般,城市生态系统自维持能力一般,需要进行城市区域结构或布局的改善,或增强城市生态系统的自维持能力。

城市生态环境质量较差 $UEQ < 50$,城市生态要素构成存在结构性问题,城市绿化率、城市利用本地植物资源情况一般,或城市生产结构不合理,城市生态系统自维持能力较差,需要从宏观结构上进行城市生态改造,加大城市生态环境的综合整治措施,提高城市生态系统生产与自净能力。

4 我国部分城市生态环境质量状况评价

4.1 城市选择与数据获取

本研究综合考虑地理区位、典型环境、城市规模、城市区域重要性,从东部、西部、中部地区选择最具代表性的上海、乌鲁木齐、长春、青岛、昆明、成都、重庆 7 个城市作为评价试点城市。

评价指标的数据获取主要来源于城市所在区域统计数据、环境监测数据,部分城市区域水体面积数据来源于遥感数据提取的水域面积。

4.2 评价结果

基于前述城市生态环境质量评价指标和评价方法,分别计算各城市的单因子指数和城市生态环境质量指数(UEQ),计算结果详见表 3。

从 7 个城市生态环境质量评价结果表明,青岛城市生态环境质量为优,昆明、上海、成都、长春、重庆城市生态环境质量较好,乌鲁木齐市生态环境一般。

从城市生态环境质量评价各单因子状况分析,城市生态环境质量优的青岛,影响城市生态环境质量的主要因子为城市噪声以及城市卫生清扫指数;城市生态环境质量较好的城市中,昆明城市生态环境质量限制性

因子为水生生境、交通通畅度以及卫生清扫比例,上海主要为水生生境、城市安静度、卫生清扫面积以及人均公共绿地面积,成都主要为水生生境、城市安静度、交通通畅度以及卫生清扫面积,长春主要为水生生境、城市安静度和交通通畅度,重庆表现为交通通畅度、卫生清扫和水生生境;城市生态环境质量一般的乌鲁木齐,除非工业用地比例、城市空气质量状况外,其他指标均低于 60。

从指数权重分析,城市生态服务用地指数昆明为最高,乌鲁木齐最低,其他依次为青岛、成都、重庆、上海和长春。从城市分布特征分析,自然地理环境条件是决定城市生态服务用地状况的重要因素。

表 3 我国部分城市生态环境质量评价结果

Table 3 The assessment results of parts of urban ecological environmental equality in China

城市 City	生态服务 用地指数 Land for ecological service	人均公共 绿地指数 Average green land per citizen	物种丰度 指数 Species diversity	非工业用 地指数 Non- industrial land cover	水生生境 指数 Aquatic habitat cover and quality	环境空气 质量指数 Urban air quality	城市安静 度指数 Urban noise level	交通通畅 度指数 Urban transport- ation level	卫生清扫 指数 Urban clean level	生活垃圾 无害化处 理指数 Living garbage disposal level	评价指数 Assessment index	评价 等级 Class
乌鲁木齐 Urumchi	59	56	65	77	48	69	45	38	43	28	54.3	一般
长春 Changchun	73	65	72	66	37	93	36	44	80	95	67.6	较好
青岛 Qingdao	88	100	88	93	87	91	59	96	63	100	89.2	优
昆明 Kunming	98	71	75	92	43	100	79	41	53	100	78.4	较好
成都 Chengdu	79	72	75	64	43	87	33	48	48	100	68.7	较好
重庆 Chongqing	77	65	75	76	53	79	71	22	36	92	67.0	较好
上海 Shanghai	75	59	83	83	50	87	37	83	57	63	70.5	较好

优:excellent; 较好:good; 一般:moderate; 较差:poor

5 讨论

随着我国经济的快速发展,在未来相当长的时间内将是城市化快速发展的时期,城市化带来人口迁移、土地利用结构改变以及城市功能不健全与环境污染等,城市生态环境将是人类关注的重要问题。开展城市生态环境质量评价,明确城市生态环境质量现状,为城市规划的制定、城市的未来发展和城市生态环境管理提供重要基础;城市生态环境质量评价明确了城市生态环境质量的限制性因子,为城市生态环境质量的改善、城市生态环境质量治理措施的制定提供科学依据。因此,开展城市生态环境质量评价,为政府部门开展城市区域规划、生态环境管理提供依据,是一项重要的生态评价工作,具有重要的现实意义。

本研究提出的 10 类生态环境质量评价指标,突出了城市生态的自然、生物背景,同时强调城市生态功能、自维持能力与效能,对于城市环境管理与决策具有一定的指导意义。从评价结果分析,基本能反映评价城市的生态环境质量状况。但由于研究者背景、研究目标的差异,指标选择上存在不同思路与观点,值得进一步探讨;在数据获取上由于考虑评价方法的全国推广,指标获取方式相对单一,对于一些区域性指标,可以考虑采用高精度的遥感手段补充。因此,更为科学、合理的城市生态环境质量评价指标体系还需在将来的评价工作中逐步完善。

References:

- [1] Wang Z X, *et al.* Urban living spatial structure research in China. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Department of Urban Social and Economic Survey, National Bureau of Statistics of China. China city statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2007.
- [3] Department of Urban Social and Economic Survey, National Bureau of Statistics of China. China city statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2008.
- [4] Kuang Y X, Yang F. Thoughts on introducing eco-environment quality evaluation into the course of Chinese urbanization. Territory & Natural Resources Study, 2005(2):54-55.

- [5] Lu M, Zhang Y H, Hu Y C, *et al.* Research Progress of Urban Ecology and Urban Ecological Environment. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2002,33(1):76—81.
- [6] Wang F Z. Comprehensive evaluation and regulation of urban ecosystem. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1991, 4(2):26—30.
- [7] Li Y H, Hu Z B, Xiao D N, *et al.* Assessment system of urban ecological environment: A case study of Shenyang City. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(3):53—55.
- [8] Song Y C, Qi R H, You W H, *et al.* A Study on Indices System and Assessment Criterion of Eco City. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, 12(5):16—19.
- [9] Wu Q, Wang R S, Li H Q, *et al.* The indices and the evaluation method of eco-city. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8):2090—2095. [10] Charles L R. Urban ecology of metropolitan Phoenix: A laboratory for interdisciplinary study. *National Academies Press*, 2005:163—192.
- [11] Humphreys, Adrien G. Urban ecological research methods applied to the Cleveland. Ohio metropolitan area. *Edwin Mellen Press*, 2002.
- [12] Mortberg U M, Balfors B, Knol W C. Landscape ecological assessment: A tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. *Journal of Environmental Management*, 2007, 82:457—470.
- [13] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, *et al.* Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, 32:127—157.
- [14] Marull J, Pino J, Mallarch J M. A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81:200—212.
- [15] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M. Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69:369—384.
- [16] Zurlini G, Zaccarelli N, Petrosillo I. Indicating retrospective resilience of multi-scale patterns of real habitats in a landscape. *Ecological Indicators*, 2006, 6:184—204.
- [17] Huang S L, Wong J H, Chen Tzy-chuen. A framework of indicator system for measuring Taipei's urban sustainability. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42:15—27.

参考文献:

- [1] 王兴中,等主编. 中国城市生活空间结构研究. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 国家统计局城市社会经济调查司主编. 中国城市统计年鉴. 北京:中国统计出版社, 2007.
- [3] 国家统计局城市社会经济调查司主编. 中国城市统计年鉴. 北京:中国统计出版社, 2008.
- [4] 邝奕轩,杨芳. 对我国城市化进程引入生态环境质量评价的思考. *国土与自然资源研究*, 2005, 2:54~55.
- [5] 鲁敏,张月华,胡彦成,等. 城市生态学与城市环境研究进展. *沈阳农业大学学报*, 2002, 33(1):76~81.
- [6] 王发曾. 城市生态系统的综合评价与调控. *城市环境与城市生态*, 1991, 4(2):26~30.
- [7] 李月辉,胡志斌,肖笃宁,等. 城市生态环境质量评价系统的研究与开发——以沈阳市为例. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(3):53~55.
- [8] 宋永昌,戚仁海,由文辉,等. 生态城市的指标体系与评价方法. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(5):16~19.
- [9] 吴琼,王如松,李宏卿,等. 生态城市指标体系与评价方法. *生态学报*, 2005, 25(8):2090~2095.