

城市生态系统健康及其评价指标体系研究

官冬杰¹, 苏维词^{1,2}

(1. 重庆师范大学地理科学学院, 重庆 400047; 2. 贵州科学院山地资源研究所, 贵阳 550001)

摘 要:城市是一种高度人工化的自然 - 社会 - 经济复合生态系统,其生态系统健康与否直接影响到城市的可持续发展。从城市生态系统健康的内涵论述了城市生态系统健康的概念及其相关特性,并分析城市生态系统健康的影响因子,在遵循评价指标原则的基础上,选择活力、组织结构、恢复力、生态系统功能的维持、人群健康状况作为城市生态系统健康评价的 5 个要素,建立了一套相对完整的城市生态系统健康评价指标体系及评价方法,为促进城市生态系统健康发展、实施城市生态系统健康管理提供某些依据。

关键词:城市生态系统健康;评价;指标体系

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0070-04

Studies on Urban Ecosystem Health and Its Assessment Indexes System

GUAN Dong-jie¹, SU Wei-ci^{1,2}

(1. Geography Science Institute of Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. Institute of Mountain Resources of Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

Abstract:Urban is an advanced man-made complex ecosystem consisted of nature, society and economy. The sustainable development of city is determined by urban ecosystem health. Based on the connotation of urban ecosystem health, the author demonstrated the concept and correlated characteristics of urban ecosystem health, and analyzed the restriction factors. Following the principle of assessment indexes, five factors were suggested to access the urban ecosystem health, including vigor, organization structure, resilience, maintaining the ecosystem functions and the health situation of crowd. Because of these, an assessment index system of urban ecosystem health is set up, so as to provide credible background for promoting the development of urban ecosystem health and practicing the management of urban ecosystem health.

Key words:urban ecosystem health; assessment; index system

当人们在关注生态环境的同时,对生态系统健康的研究也越来越深入^[1~3],众多学者对生态系统健康概念、生态系统健康的影响因子及评价指标的选择和方法等方面进行了研究。而这些研究多是针对一般生态系统而言,研究内容概念性的多、宏观的多,对各类型生态系统(如河流生态系统、森林生态系统、农田生态系统、沙漠生态系统、湿地生态系统等)健康的专门研究不多,尤其是对城市生态系统健康的系统深入研究较少。如 Jerry 等人^[4]采用驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应(DPSEEA)模型建立对城市生态系统健康评价指标体系的方法进行了探讨,但没有提出明确的定量化的指标体系和评价模型,IDRC 项目“人类健康的生态系统方法”^[5]探讨了城市生态系统健康的概念,论述了建立评价指标体系的理论、方法等问题,但没有提出完整的城市生态系统健康评价体系。本文针对目前此类研究中指标评价标准的不确定性和不完整性问题,从影响城市生态系统健康的因子(尤其是胁迫因子)的角度出发,建立了一套相对完整的评价指标体系和评价方法,作为衡量某一城市生态系统健康水平的标尺,为城市生态系统实施可持续管理和合理

利用、保护与改善及实现城市生态与经济社会的协调发展提供科学依据。

1 城市生态系统健康概念及特性

对于生态系统健康的概念,Rapport^[6]是这样论述的,它是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力,它可以通过活力、组织结构和恢复力等 3 个特征进行定义。这一概念是针对一般的生态系统而言,而城市生态系统是受人类活动干扰最强烈的地区,它已经演化成为一种高度人工化的自然 - 社会 - 经济复合生态系统,其生态环境由自然成分和人文成分共同组成,它与自然环境最大的差别是包含了大量人类活动的环境因子综合体。由此看来,城市生态系统健康的最大特点是,它不仅强调从生态学角度出发的生态系统结构合理、功能高效与完整,而且更加强调生态系统能维持对人类的的服务功能,以及人类自身健康及社会经济健康不受损害。所以我们将城市生态系统健康的概念理解^[7~9]为:是由

* 收稿日期:2005-09-26

基金项目:国家自然科学基金(40261002);贵州省优秀青年科技人才培养计划[黔科合人字(2005)0513];贵州省省长基金[(2005)055];贵州省科学基金[黔科基字(2004)068];重庆市自然科学基金[2004(8410)];重庆市教委科研项目(KJ050808)的部分内容,重庆市规划局项目

作者简介:官冬杰(1980-),女,黑龙江富锦人,硕士研究生,主要从事区域经济研究。

自然、经济、社会复合而成的生态系统,在这个系统内生产生活和周围环境之间的物质循环和能量流动未受到损害,关键生态组分和有机组织被保存完整并缺乏疾病,对长期或突发的自然或人为扰动能保持弹性和稳定性,废弃物被严格控制在环境承载力范围内,城市生物的健康和成长不受不良影响,整体功能表现出多样性、复杂性、活力和相应的生产率,其发展的理想状态是生态整合性。

根据以上定义,城市生态系统健康的特性应体现在 5 个方面 和谐性:这是城市生态系统健康的核心内容,主要是体现人工环境与自然环境,经济社会发展与自然保护之间的和谐,寻求建立一种良性循环的发展新秩序。 高效性:科学、高效地利用各种资源,不断创造新生产力,物质、能量得到多层次分级利用,废弃物循环再生,各行业、各部门之间的共生关系协调。 持续性:城市生态系统健康是以可持续发展思想为指导的,公平地满足现代与后代在发展和环境方面的需要,不因眼前的利益而用“掠夺”的方式促进城市暂时的“繁荣”,保证其发展的健康、持续、协调。 整体性:生态系统健康的城市不是单单追求环境优美或自身的繁荣,而是兼顾社会、经济、环境三者的整体效益,不仅重视经济发展与生态环境协调,更注重人类生活质量的提高,它是在整体协调的新秩序下寻求发展的。 区域性:城市生态系统健康是建立在趋于平衡基础之上的人类活动和自然生态利用完善结合的产物,是城乡融合的开放系统。城市生态系统是以人-自然和谐为价值取向的,就广义而言,区域观念就是全球观念,要实现城市生态系统健康这一目标,就需要全人类的共同合作,共享技术与资源,形成互惠共生的网络系统,建立全球生态平衡。

2 城市生态系统健康的影响因子

2.1 自然因素

自然干扰的改变^[10],主要有 不稳定的地质地貌结构,如火灾、地震、滑坡、泥石流等可引起城市生态系统功能的削

弱甚至消失。 气候和水文因素的异常变化包括降雨、温度、风的波动或巨变等,直接导致城市生态系统功能的减弱。

土壤因素,当有毒物质进入土壤,积累到一定程度,超过土壤本身的自净能力,就会导致土壤性状和质量变化,构成对农作物和人体的影响和危害的现象。 植被类型单一和植被覆盖率低,就会影响生态系统的自我恢复能力,从而导致整个生态系统的趋稳机制被破坏。

2.2 人类活动

人类活动是城市生态系统新陈代谢活动的主体。人类活动与环境之间的矛盾成为城市生态系统健康受到损害的胁迫因子^[11,12],主要有 过度开发利用城市资源,而经济聚集区的空间容量、环境容量和经济容量有限,聚集到一定程度就会造成生态系统失衡,社会功能的减弱甚至消失。如地价飞涨、交通拥挤、污染严重、能源紧张、水源不足、运输和城建费用猛增,社会治安混乱等。 物理重建,指为了某种目的来改变生态系统结构和功能,破坏了生态系统的完整性,严重威胁生态系统的存续,城市化、工业化、路基建设、农业开发及废物处理等造成城市绿化面积的缩小。 含有多种有毒污染物和过量养分的工业废水和生活污水任意排放、农业营养物径流、杀虫剂、除草剂径流造成的生物多样性减少,水质下降,有毒物质增加。 外来种的侵入,乡土种消失或生态系统水平的退化。 全球的环境问题,特别是地球变暖、臭氧层破坏、酸雨、海洋污染、生物多样性减少、荒漠化、有毒有害物质的越境迁移等。

当城市生态系统受多个因子胁迫时会产生累积效应,从而增加生态系统的变异程度。在这种情况下,城市生态系统的反应与胁迫因子的关系非常复杂。Rapport 提出了一个框图(如图 1)展示了人类活动对生态系统变化及人类健康的影响。人类活动会胁迫生态系统健康,导致生态系统结构发生变化,进而影响到生态系统的服务功能,对人类健康产生影响,人类不得已又会关注生态系统健康。

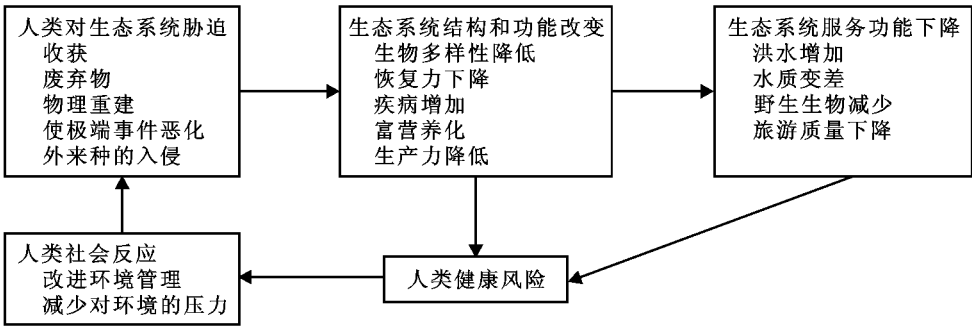


图 1 人类活动与生态系统健康间的关系

3 城市生态系统健康评价指标体系的构建

3.1 评价指标选择的原则

建立城市生态系统健康评价指标体系的第一步是评价指标选择原则的确定。城市生态系统健康评价指标因种类、项目繁多,指标筛选必须达到三个目标^[13,14],第一,指标体系能完整准确地反映城市生态系统健康状况,能够提供现状的代表性图案。第二,对城市生态系统的自然干扰和人类胁迫进行监测,寻求自然、人为压力与生态系统健康变化之间的联系。第三,定期地为政府决策、科研及公众要求等提供生态系统健康现状、变化及趋势的统计总结和解释报告。为此,评价指标的选择应该遵循以下原则。

科学性原则:在科学基础上,物理意义明确,测定方法标

准,计算方法规范,保证评价结果的真实性和客观性。

系统性原则:全面反映城市生态系统健康的各个方面,符合其目标内涵,但要避免指标之间的重叠性,使评价目标与指标有机联系为一个层次分明的整体。

前瞻性原则:综合评价既要反映目前的现状,也要通过表述过去和现状资源、经济、社会和环境各要素之间的关系,借以指示未来的发展趋向。

可操作性原则:评价指标不是越多越好,保证数据的易得性和可靠性,评价指标的选择要反映城市化、现代化和国际性城市发展水平,为保证评价指标的准确性和完整性,评价指标要可测量,数据便于统计和计算,有足够的数据量。

可比性原则:指标尽可能采用国际上通用的名称、概念与计算方法,易于与其他国家的相似城市或地区和国内相似

的城市或地区比较。

3.2 评价指标

目前较普遍的看法是^[15~18],可通过生态系统的活力、组织结构、恢复力、生态系统服务功能的维持、管理选择、外部输入减少、对邻近系统的影响及人类健康影响等 8 个方面来衡量生态系统的健康状况,这主要是针对自然生态系统提出

的,作者将其引申到城市生态系统中,从影响城市生态系统健康的自然和人文因子的角度出发,在遵循评价指标选择原则的基础上,选择活力、组织结构、恢复力、生态系统功能的维持、人群健康状况作为城市生态系统健康评价的 5 个要素,针对每个要素所涵盖的内涵提出相应的指标,最后构成城市生态系统健康评价指标体系^[7,19~22]。

表 1 城市生态系统健康评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	标准值	依据
活力	自然活力	森林覆盖率/ %	45	中等发达国家的标准值
		建成区绿化覆盖率/ %	40	
		人均公共绿地面积/ (m ² ·人 ⁻¹)	11	
		人均耕地面积/ hm ²	> 0.04	
		人均生活用水量/ (L ·d ⁻¹)	> 300	
	经济活力	人均 GDP/ 万元	10	
		单位 GDP 物耗/ 万元	< 1	
		单位 GDP 能耗[t(标煤) ·万元 ⁻¹]	1.4	
		单位 GDP 水耗/ (t/ 万元 ⁻¹)	< 20	
	社会活力	人口自然增长率/ ‰	< 0.8	
人口机械增长率/ ‰		2		
城市生命线系统完好率/ %		80		
组织结构	自然结构	自然保护区覆盖率/ %	10	中等发达国家的标准值
		人均水资源占有量/ (m ³ ·人 ⁻¹)	> 6500	
	经济结构	第三产业占 GDP 比重/ %	70	
		信息产业占 GDP 比重/ %	20	
		高新技术行业占工业产值比重/ %	> 30	
		R &D 经费占 GDP 比重/ %	20	
	社会结构	外贸进出口总额占 GDP 比重/ %	> 10	
		城市化水平/ %	> 50	
		城市人口失业率/ %	< 3.0	
	基尼系数	0.3 ~ 0.4	参照国际大都市的平均值	
恢复力	自然恢复力	退化土地恢复治理率/ %	90	
		城市生活污水处理率/ %	> 80	
		生态垃圾无害化处理率/ %	100	
		工业三废处理率/ %	100	
		工业用水重复利用率/ %	50	
	经济恢复力	环保投资占 GDP 比重/ %	3.5	
		全社会固定资产投资占 GDP 比重/ %	> 40	
		科技、教育经费占 GDP 比重/ %	7.0	
	社会恢复力	公众对环境的满意率/ %	100	
		环境保护宣传教育普及率/ %	> 85	
生态系统服务功能	环境质量状况	空气环境质量	GB3095 - 96 标准	
		水环境质量	GB3838 - 88 标准	
		声环境质量	GB3096 - 93 标准	
	生活便利程度	人均居住面积/ (m ² ·人 ⁻¹)	> 20	
		人均道路面积/ (m ² ·人 ⁻¹)	> 16	
		万人拥有医生人数/ 人	> 20	
		每万人拥有公交车辆数/ 标台	> 18	
		每百人话机普及率/ 部	> 60	
	社会保障能力	社会保险综合参保率/ %	100	
		刑事案件发生率/ (件 ·万人 ⁻¹)	< 20	
人群健康状况	人群健康	恩格尔系数/ %	< 12	
		人口预期寿命/ 岁	> 75	
		0 ~ 4 岁儿童死亡率/ ‰	< 10	
		甲乙类传染病发生率/ (件 ·万人 ⁻¹)	< 1	
	文化水平	全市人口平均教育年限/ a	> 14	
		万人高等学历数/ 人	> 1200	

参照国家城市考核指标标准； 参照国际发达国家城市建设标准； 参照国内城市建设最佳值或较好值； 参照国内城市发展现状； 参照国家环保总局颁布的生态县、生态市、生态省建设指标(试行)标准。

3.3 评价方法

3.3.1 三级指标的规范化处理^[21, 23]

由于各指标因子的原始数据、类型和来源都不尽相同,且数量级相差悬殊而无可比性。因此需要根据所建立的数学模型的要求,对原始数据进行变换处理。计算公式为:

当指标数值越大越好时:

$$X_i = 1 - \frac{S_i - C_i}{S_i - C_{\min}}$$

当指标数值越小越好时:

$$X_i = 1 - \frac{C_i - S_i}{C_{\max} - S_i}$$

式中: S_i ——某三级指标的标准值; C_i ——根据评价城市选取的某指标值的现状值; C_{\max} ——所选城市指标中最大值乘以1.05; C_{\min} ——所选相关城市指标中的最小值除以1.05。

3.3.2 二级指标值的计算

二级指标值是根据其所属的三级指标数值的算术平均值计算而得,公式为:

$$Y_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$

式中: m ——该二级指标所属三级指标的项数。

3.3.3 一级指标值的计算

一级指标数是根据其所属二级指标数值乘各自的权重后进行加和,公式为:

$$Z_i = \sum_{i=1}^t U_i Y_i$$

式中: U_i ——某二项指标的权重; t ——该一级指标所属二级指标的项数。

3.3.4 生态系统健康城市综合指标的计算

生态系统健康综合指标(EHI)是将各一级指标数值乘各自权重在进行一次加和,公式为:

$$EHI = \sum_{i=1}^n T_i Z_i$$

式中, T_i ——某一级指标的权重; Z_i ——级指标权重; n ——项数。

根据上述公式即可计算出各级指标的评价结果,再进一步对综合指数进行分级,以确定城市生态系统健康的标准。

4 结 语

随着人类活动对自然的干扰越来越频繁和深入,城市生态系统健康作为一种环境管理方法和管理目标越来越被接受。但并不希望由此而引起城市生态系统健康研究领域的僵化,如果这样,则将导致其“对评价包括人类在内的复杂系统所必须的开放性的丧失^[15]”。城市生态系统健康及其评价是一门发展和进化着的领域,其理论和方法还不成熟,很多问题还有待进一步研究和解决。如城市生态系统健康评价方法有待改进,不应只限于指标体系评价法;健康标准很难准确量化,应进一步深入研究人类活动、环境变化和生态服务功能下降之间的因果关系,并科学评价由此造成的对人类和生态系统健康的威胁程度,从而为评价标准的制定提供科学依据。

参考文献:

- [1] Rapport D J. Evaluating ecosystem health[J]. Journal of Aquatic Ecosystem Health, 1992, 1: 15 - 24.
- [2] Callicott J B. The value of ecosystem health[J]. Environmental Values, 1995, 4: 345 - 346.
- [3] Rapport D J. Gaining respectability: development of quantitative methods in ecosystem Health[J]. Ecosystem Health, 1999, 5: 1 - 2.
- [4] 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.
- [5] Hancock T. Urban Ecosystem and Human Health. A Paper prepared for the Seminar on CIID - IDRC and urban development in Latin America, Montevideo, Uruguay[EB/OL]. <http://www.idrc.ca/lacro/docs/conferencias/hancock.html>. 2000 - 04 - 06.
- [6] Rapport D J. What constitute ecosystem health? [J]. Perspectives Biology and Medicine, 1989, 33: 120 - 132.
- [7] 钟业喜, 彭薇. 城市生态系统健康评价初探[J]. 江西科学, 2003, 21(3): 254 - 256.
- [8] 黄辞海. 城市生态系统的结构和功能是自然生态系统的翻版吗[J]. 中国人口资源与环境, 2002, 12(3): 134 - 136.
- [9] 鲁敏, 李英杰. 生态城市理论框架及特征标准[J]. 山东省青年管理干部学院学报, 2005, (1): 117 - 118.
- [10] 宋轩, 杜丽平, 李树人, 等. 生态系统健康的概念、影响因素及其评价的研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2003, 37(4): 375 - 376.
- [11] 汪朝辉, 王克林, 许联芳. 湿地生态系统健康评估体系研究[J]. 国土与自然资源研究, 2003, (4): 63 - 65.
- [12] 任海, 邬建国, 彭少麟. 生态系统健康的评估[J]. 热带地理, 2003, 20(4): 310 - 312.
- [13] 刘振乾. 城市生态系统健康综合评价指标体系[J]. 中国可持续发展, 2001, (3): 63 - 65.
- [14] 袁兴中, 陆健健, 刘红. 生态系统健康评价 - 概念构架与指标选择[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 627 - 629.
- [15] 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(3): 203 - 209.
- [16] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 等. 生态系统健康评价方法初探[J]. 应用生态学报, 2002, 13(4): 486 - 490.
- [17] Mageau M T, Costanza R, Ulanowicz R E. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem health[A]. In: Rapport D J, Calow P, Gauder C. Evaluating and Monitoring the Health of Large - scale Ecosystems[C]. New York: Springer - Verlag, 1995.
- [18] Rapport D J, et al. Evaluating landscape health: integrating societal goals and biophysical process[J]. Journal of Environmental Management, 1998, 53: 1 - 15.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 宋永昌, 戚仁海, 由文辉, 等. 生态城市的指标体系与评价方法[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(5): 16 - 19.
- [22] 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): 270 - 273.
- [23] 欧阳毅, 桂发亮. 浅议生态系统健康诊断数学模型的建立[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 194 - 197.