

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.01.019

湖泊生态系统健康评价指标体系

任 黎^{1,2},杨金艳³,相欣奕⁴

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098 ;
2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098 ;3.江苏省水文水资源勘测局苏州分局,江苏 苏州 215006 ;
4.西南大学地理科学学院,重庆 400715)

摘要:在探讨生态系统健康概念构架的基础上,寻求生态系统健康整体性评价的合适指标.根据生态系统健康评价的目的和指标筛选的原则,在充分考虑湖泊生态系统实际情况的基础上,从湖泊生态特征、自然功能和社会环境 3 个方面的评价指标中筛选出 23 项指标,并给出每个指标的量化标准,得出了适合湖泊生态系统健康评价的指标体系.该指标体系是一个由目标层、子系统层和评价指标层构成的 3 层递阶层次结构指标体系.

关键词:湖泊 生态系统 健康评价 指标体系

中图分类号:X524 X826 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-1980(2012)01-0100-04

Evaluation index system for lake ecosystem health

REN Li^{1,2}, YANG Jin-yan³, XIANG Xin-yi⁴

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China ;
2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
3. Suzhou Branch of Jiangsu Provincial Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Suzhou 215006, China ;
4. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract:Based on the conceptual framework of ecosystem health, appropriate indices for the integrated evaluation of ecosystem health were created. With full consideration of the actual status of the lake ecosystem, 23 indices were selected from the evaluation indices covering the ecological properties, natural functions, and social environmental functions of the lake ecosystem, according to the purpose of evaluation of ecosystem health and principles of index selection. In addition, the grading standards were put forward for these indices, based on which an index system appropriate for the evaluation of lake ecosystem health was established. This system is a three-layer hierarchy-structured index system consisting of the target layer, the subsystem layer, and the evaluation index layer.

Key words:lake ;ecosystem ;health evaluation ;index system

由于生态系统的复杂性和不稳定性,如何界定生态系统的健康状态存在很大争议.湖泊是生态系统的一种重要组成形式,由于其复杂性和综合性,对其健康内涵的定义、评估等仍然处于发展阶段,相关方法亦需进一步完善.已有研究提出的评价指标包括生态系统胁迫^[1]、生物完整性^[2]、优势营养级^[3]、生态系统综合健康指数^[4]、能质、结构能质及生态缓冲容量等^[5].已有研究对评价生态系统健康提供了有益的思路.然而,由于生态系统健康评价缺乏比较的标准而只提供了一些评价指标的相对大小,因此这些评价指标只能用于同一生态系统的比较.如何从众多有效的生态系统健康评价指标中挑选出具有代表性的指标来定量地、定性地、全面地评估生态系统是当前亟需解决的问题.为此,本文对此问题进行了研究.

1 生态系统健康的概念和内涵

近年来,在可持续发展思想的推动下,生态系统健康研究已成为国际生态环境领域的热点以及联系地球科学、环境科学、生态学、经济学及社会科学等学科的桥梁^[6]。

生态系统健康概念的界定是研究任何生态体系的前提和基础,一些学者针对不同的侧重点给出了不同的定义。Schaeffer 等^[7]探讨了有关生态系统健康度量的问题,认为生态系统健康就是生态系统没有疾病。Rapport^[8]在此基础上论述了生态系统健康的内涵,认为一个健康的生态系统应具有可持续性和稳定性,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。肖风劲等^[9]认为,如果一个生态系统是稳定、持续和活跃的,能够维持其组织结构,受到干扰后能够在一段时间内自动恢复过来的话,则这个生态系统是健康的。胡志新等^[10]认为湖泊生态系统健康包含 2 个方面:满足人类社会合理要求的能力和湖泊生态系统自我维持与更新的能力。高桂芹^[11]认为健康是指物质循环、能量流动未受损害,关键组分和有机组织保存完整,对扰动保持弹性和稳定性,整体呈现多样性和复杂性。目前,广泛受到学术界认可的生态系统健康概念是由 McMichael 等^[12]提出的。McMichael 等^[12-14]认为一个健康的生态系统对外界的压力必须有恢复力,保持内部结构和组织的多样性和稳定性,保持新陈代谢的能力。根据 McMichael 等关于生态系统健康的定义,湖泊生态系统健康可理解为湖泊内的关键生态组分和有机组织完整且没有疾病,受突发的自然或人为扰动后能保持原有的功能和结构,物质循环、能量和信息流动未受到损害,整体功能表现出多样性、复杂性和活力^[15]。

指标体系法是生态系统健康评价研究的趋势,可以从某一角度反映生态系统的健康状况。研究至今,学者们提出了众多评价指标,如生物完整性指标,淡水生态系统的结构、功能和系统指标以及包含生物、生态、社会经济和人口健康等的综合指标体系等^[16]。但由于湖泊类型多样,不同的湖泊生态系统所处的自然、社会和经济状态一般不同,同一生态系统发展的不同阶段所具有的特点也不同,因此尚未形成统一的湖泊生态系统健康评价指标体系。

2 湖泊生态系统健康评价指标体系构建原则

由于湖泊生态系统是一个自然-社会-经济复合系统,系统结构复杂,层次众多,子系统之间既有相互作用,又有相互间的输入和输出,某些因素及某些子系统的改变可能导致整个系统发生质的变化。评价指标是度量生态系统特征的参数,评价指标的选取在湖泊生态系统评价中起决定性的作用,评价指标的选用必须遵循一定的原则,在实际应用中容易统计和实测,最好能用统计资料和定点的观测站的时间序列资料,便于对生态系统进行适时的定性评价。因此,在构建评价指标体系时,必须遵循以下评价指标选取原则^[17-18]:(a)完备性原则。指标体系应作为一个整体反映复合生态系统的主要特征。(b)独立性原则。为避免指标重复叠加,指标之间尽可能相互独立。(c)地域性原则。地域不同,评价指标的选取也有所不同,所选择的指标应能反映区域地方特色和环境问题。(d)层次性原则。指标体系具有一定的合理性和清晰的层次结构。(e)可靠性原则。选取稳定性强、相关性好、能够较好反映生态系统健康的指标。(f)定性定量相结合原则。生态系统健康描述不可避免地存在定性描述,尽可能选择可量化指标,若重要指标难以量化则可以采用定性描述指标。(g)可操作性原则。指标体系尽可能简化、易接受,所需数据相对容易获得,并尽可能与社会经济、环境统计数据等结合。

3 评价指标系统的建立

湖泊是经过长期的自然变迁和人类社会经济活动对生态系统的影响而形成的自然-社会-经济复合型生态系统,因此,在对湖泊生态系统进行健康评价时应充分考虑这一现实特征,从复合型生态系统的角度进行评价。本文在借鉴相关生态系统健康评价指标体系的基础上^[19-22],依据上述评价指标的选取原则,结合湖泊生态系统组成、结构和功能特征的分析,将生态特征、自然功能及社会环境指标综合起来,筛选出 23 项评价指标,共同构建湖泊生态系统健康评价的指标体系,如表 1 所示。整个指标体系是一个由目标层、子系统层和评价指标层构成的 3 层递阶层次结构指标体系。其中目标层由子系统层来反映,子系统层由具体评价指标层加以反映。实际上目标层是子系统层和评价指标层的概括^[23]。

表 1 湖泊生态系统健康评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for lake ecosystem health		
子系统层	指标层	量化标准
生态特征 指标 B_1	湖泊湿地类型面积 c_1	以湖泊典型湿地区内 10 月、11 月的湿地类型面积变化率表示
	湖泊湿地补水保证率 c_2	以湖区湿地补给可利用水量占相应需水量的比例来表示
	水质 c_3	如溶解氧、有毒物质、pH 值等,反映湖泊的水质情况
	水体富营养化程度 c_4	湖泊水中含氮磷的程度、水体的营养化水平
	土壤性状 c_5	以土壤的有机质含量、养分含量及盐分含量等指标来表示
	优势性植物覆盖状况 c_6	以优势种植被覆盖的角度反映湖泊生态系统状况
	初级生产力水平 c_7	以优势物种芦苇的长势状况来表示
	生物多样性 c_8	以各种鸟类物种数量占所在生物地理区的百分比来表示
自然功能 指标 B_2	湖泊受胁迫状况 c_9	以保护区内人类的各种扰动为基础,包括过度渔猎、割草、采砂、垦殖等胁迫因子,采用定性方法来衡量
	水文调节功能 c_{10}	以湖泊区现状旱涝灾害发生的频率与历史发生的频率进行比较,通过其增减变化率来说明
	水质净化功能 c_{11}	以湖泊对废物处理、污染控制、有毒性物质的处理能力变化来衡量
	物质生产功能 c_{12}	以湖泊水产品的年收获量来表示
	观光旅游功能 c_{13}	以景观美学价值的高低、旅游活动和娱乐日的增减情况来衡量
社会环境 指标 B_3	栖息地质量指数 c_{14}	以湖泊生态系统的破坏和底栖类动物的种类来表示
	环保投资指数 c_{15}	以环保投入占 GDP 比重来表示
	废水处理指数 c_{16}	以湖泊周边城市工业、生活污水处理率来表示
	物质生活指数 c_{17}	以农民人均纯收入来表示
	人口自然增长率 c_{18}	以湖泊生态系统所维持的人口数量的增减情况来表示
	化肥利用状况 c_{19}	以每年每公顷的化肥施用量来表示
	农药利用状况 c_{20}	以每年每公顷的农药使用量来表示
	保护意识 c_{21}	以具有保护意识的人员占总人口的比例来表示
	政策法规贯彻力度 c_{22}	以接受到相关政策法规的人员占总人口的比例来表示
	管理水平 c_{23}	以湖泊管理机构及管理人员素质的整体水平来衡量

3.1 目标层

作为目标层的综合评价指标,是用来综合衡量湖泊生态特征指标(子系统层 B_1)、自然功能指标(子系统层 B_2)、社会环境指标(子系统层 B_3)的. 湖泊生态系统健康评价,需要选择描述性指标和评估性指标,使其能在时间尺度上反映变化趋势,在空间尺度上反映结构特征,在数量上反映影响程度,即 $A = \{B_1, B_2, B_3\}$.

3.2 子系统层

制约湖泊生态系统健康的主要因素,也可以理解为分目标层. 本文以湖泊生态特征指标(子系统层 B_1)、自然功能指标(子系统层 B_2)、社会环境指标(子系统层 B_3)作为子系统层的评判依据.

3.3 指标层

指标层由可直接度量的指标构成,是湖泊生态系统健康评价指标体系中最基本的层面,根据子系统层各项目的特征和意义,本文选取表 1 所示的 23 个指标作为指标层评价指标.

4 评价指标的量化分级标准

湖泊生态系统综合评价指标的量化分级,依照生态环境质量优劣的标准分为 5 个等级,用连续的实数区间 $[0,1]$ 表示,质量处于最理想状态时其值为 1,最恶劣状态时其值为 0. 在量化过程中,根据评价因子程度分级分别确定其相应的强度指数分级标准. 具体的评价因子强度量化指数可利用内插法在相应的分级中求取. 评价因子的量化分级如表 2 所示.

表 2 湖泊生态系统健康评价指标分级标准

Table 2 Grading standards for evaluation indices of lake ecosystem health					
分级与标准	很好(Ⅰ)	好(Ⅱ)	中等(Ⅲ)	差(Ⅳ)	极差(Ⅴ)
区间值	$[1,0.8)$	$[0.8,0.6)$	$[0.6,0.4)$	$[0.4,0.2)$	$[0.2,0]$
区间代表值	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

5 结 语

本文在提出湖泊生态系统健康概念框架的基础上,参考生态系统健康评价体系,如压力-状态-响应

(PSR)模型和相关领域的多位专家的建议,寻求进行生态系统健康整体性评价的合适指标。根据生态系统健康评价的目的和指标筛选的原则,结合湖泊本身的生态特征和所能收集的数据特点及其可获取性等的情况,经过多次筛选和总结,从湖泊生态特征、自然功能和社会环境3个方面的评价指标中筛选出23项指标,得出了适合湖泊生态系统健康评价的指标体系,并对指标数据获取的方法进行了探讨。

由于湖泊生态系统的复杂性,研究尺度(空间尺度和时间尺度)在评价时就显得尤为重要,指标的选取会随该领域以及相关领域研究的深入和扩大而得到逐步补充和完善。另外,在实际评价过程中,评价指标体系的构建要根据研究区的具体情况而定,否则很难对湖泊生态系统健康进行客观的分析和评价。

参考文献:

- [1] RAPPORT D J. What constitutes ecosystem health[J]. *Perspective in Biology and Medicine*, 1989, 33: 120-132.
- [2] KARR J R, FAUSCH K D, ANGERMEIER P L, et al. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rational [M]. Champaign: Illinois Natural History Survey, Illinois, Special Publication 5, 1986.
- [3] CLANOWICZ B E. Ecosystem health and trophic flow networks[C]//COSTANZA R, NORTON B G, HASKELL B D. Ecosystem health: new goals for environmental management. Washington, D. C.: Island Press, 1992: 190-206.
- [4] COSTANZA R. Toward an operational definition of ecosystem health[C]//COSTANZA R, NORTON B G, HASKELL B D. Ecosystem health: new goals for environmental management. Washington, D. C.: Island Press, 1992: 239-256.
- [5] JORGENSEN S E. Exergy and ecological buffer capacities as measures of ecosystem health[J]. *Ecosystem Health*, 1995(3): 150-160.
- [6] RAPPORT D J. Ecosystem health: exploring the territory[J]. *Ecosystem Health*, 1995(1): 5-13.
- [7] SCHAEFFER D J, NOVAK E W. Integrating epidemiology and epizootiology information in ecotoxicology studies [J]. *Ecodytms Health*, 2001, 16(3): 232-241.
- [8] 纪鹏程. 湖泊生态系统健康评价与湖泊治理[D]. 南京: 河海大学, 2009.
- [9] 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(2): 203-209. (XIAO Feng-jin, OU Yang-hua. Ecosystem health and its evolution indicator and method[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 203-209. (in Chinese))
- [10] 胡志新, 胡维平, 孝孝鸿, 等. 太湖湖泊生态系统健康评价[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(3): 256-262. (HU Zhi-xin, HU Wei-ping, GU Xiao-hong, et al. Assessment of ecosystem health in Lake Taihu[J]. *Jouranal of Lake Science*, 2005, 17(3): 256-262. (in Chinese))
- [11] 高桂芹. 东平湖湿地生态系统健康评价研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2006.
- [12] MCMICHAEL A J, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Globalization and the sustainability of human health: an ecological perspective[J]. *Biosciences*, 1995, 49(3): 205-210.
- [13] RAPPORT D J, COSTANZA R, EPSTEIN P R, et al. Ecosystem health[M]. Boston: Blackwell Science, 1998.
- [14] RAPPORT D J, COATANZA R, MCMICHAEL J C. Assessing ecosystem health[J]. *Trends and Evolu*, 1998, 13: 397-402.
- [15] 李春晖, 郑小康, 崔崑, 等. 衡水湖流域生态系统健康评价[J]. *地理研究*, 2008, 27(3): 565-573. (LI Chun-hui, ZHEN Xiao-kang, CUI Wei, et al. Watershed eco-health assessment of Hengshui Lake[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(3): 565-573. (in Chinese))
- [16] 赵臻彦, 徐福留, 詹巍, 等. 湖泊生态系统健康定量评价方法[J]. *生态学报*, 2005, 25(6): 1466-1474. (ZHAO Zhen-yan, XU Fu-liu, ZHAN Wei, et al. A quantitative method for assessing lake ecosystem health[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1466-1474. (in Chinese))
- [17] 中国环境监测总站生态监测技术室. 生态环境质量评价技术规定[EB/OL]. (2004-08-11) [2010-10-26]. <http://www.cnemc.cn/standard/class.asp?unid=748>. 2004. 08. 11.
- [18] 章伶俐, 刘义, 李景文, 等. 北京地区蒙古栎林生态系统健康评价指标体系研究[J]. *林业资源管理*, 2009, 2(1): 54-59. (ZHANG Lin-li, LIU Yi, LI Jing-wen, et al. The forest health assessment indicator system based on the biodiversity for the Quercus Mongolica Forest in Beijing area[J]. *Forest Resources Management*, 2009, 2(1): 54-59. (in Chinese))
- [19] 郑耀辉, 王树功, 陈桂珠. 滨海红树林湿地生态系统健康的诊断方法和评价指标[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(1): 111-116. (ZHENG Yao-hui, WANG Shu-gong, CHEN Gui-zhu. Diagnostic methods and assessment indicators for mangrove wetland ecosystem health[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(1): 111-116. (in Chinese))
- [20] 夏继红, 严忠民, 蒋传丰. 河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J]. *水科学进展*, 2005, 16(3): 345-348. (XIA Ji-hong, YAN Zhong-min, JIANG Chuan-feng. Comprehensive assessment index system of ecosystem riparian zone[J]. *Advances in Water Science*, 2005, 16(3): 345-348. (in Chinese))
- [21] 李朝霞, 蒋晓艳. 高原湖泊生态系统服务功能及其对水电开发的影响[J]. *水利水电科技进展*, 2011, 31(1): 20-24. (LI Zhao-xia, JIANG Xiao-yan. Ecosystem services of highland lakes and their impact on hydropower development[J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2011, 31(1): 20-24. (in Chinese))
- [22] 李静锐, 张振明, 罗凯. 森林生态系统健康评价指标体系的建立[J]. *水土保持研究*, 2007, 14(3): 173-175; 179. (LI Jing-rui, ZHANG Zhen-ming, LUO Kai. The establishment of forest ecosystem health assessment index [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3): 173-175; 179. (in Chinese))
- [23] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II: 方法与案例[J]. *生态学报*, 2002, 22(8): 1231-1239. (CUI Bao-shan, YANG Zhi-feng. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands: an application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1231-1239. (in Chinese))