

太湖流域水资源保护规划及新技术丛书

水利部太湖流域管理局 编

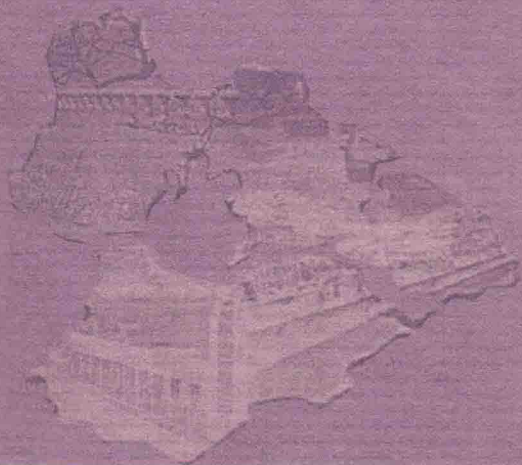


国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十一五”国家重点
图书出版规划项目

健康太湖 指标体系研究

Jian Kang Tai Hu Zhi Biao Ti Xi Yan Jiu



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

太湖流域水资源保护规划及新技术丛书



国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十一五”国家重点

图书出版规划项目

健康太湖 指标体系研究

Jian Kang Tai Hu Zhi Biao Ti Xi Yan Jiu

徐雪红 主编



河海大学出版社
HOHAI UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书依托“健康太湖综合评价与指标研究”项目成果,在对太湖健康内涵分析的基础上,从湖泊形态、服务功能、水体质量、生态系统四个方面进行了深入分析和指标筛选,最后对上述四方面筛选后的指标进行了综合评价研究,提出了太湖健康评价指标体系,并开展实例评价。可供关心和研究太湖综合治理的有关人员参考,也可供高校水利、环境等专业的师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

健康太湖指标体系研究 / 徐雪红主编. —南京:
河海大学出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5630 - 2957 - 0

I. ①健… II. ①徐… III. ①太湖-生态系-评价指标-研究 IV. ①X321. 253. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 253597 号

书 名 / 健康太湖指标体系研究

书 号 / ISBN 978 - 7 - 5630 - 2957 - 0/TV · 325

主 编 / 徐雪红

责任编辑 / 朱 辉 诸一骅

封面设计 / 黄 煜 张世立

出版发行 / 河海大学出版社

地 址 / 南京市西康路 1 号(邮编: 210098)

电 话 / (025)83737852(总编室) (025)83722833(发行部)

网 址 / <http://www.hhup.com>

照 排 / 南京紫藤制版印务中心

印 刷 / 扬中市印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16 16.75 印张 2 插页 387 千字

版 次 / 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 48.00 元

丛书编委会

主 任	叶建春				
副 主 任	朱 威	徐雪红	崔广柏		
编 委	吴泰来	房玲娣	吴志平	陈荷生	
	季 笠	高 怡	李 巍	刘 凌	
	逢 勇	刘 俊	张其成	胡维平	
	范成新	王 平	马 民	朱 辉	
	谢业保	陈玉国			
丛书策划	朱 威	徐雪红	马 民	朱 辉	

健康太湖指标体系研究

主 编	徐雪红				
编 写	周小平	胡维平	徐兆安	杜心慧等	

丛书前言

太湖是镶嵌在江南大地上的一颗明珠,以之为中心,周边水网纵横交织,形成了广袤富饶的太湖流域。“苏湖熟,天下足”,自古以来,太湖流域就是闻名遐迩的鱼米之乡,气候温和,土壤肥沃,物产丰富。目前,太湖流域人口密集、经济发达、综合实力强,以占全国不到0.4%的面积、不到4%的人口,创造了全国近12%的GDP,在我国现代化建设全局中具有举足轻重的地位。据国务院批复的《长江三角洲地区区域规划》,太湖流域所处的长三角地区将建设成为“亚太地区重要的国际门户、全球重要的现代服务业和先进制造业中心、具有较强国际竞争力的世界级城市群”,成为中国现代化的先导区。作为长江三角洲的核心区,太湖流域将进入一个全新的发展时期。

20世纪90年代以来,随着太湖流域城镇化、工业化进程的快速推进,流域内废污水排放量迅速增加,水污染问题日渐突出。相对于太湖流域巨大的经济规模,流域生态环境的承载能力表现出严重不足,流域河网普遍受到污染,湖泊富营养化严重。党中央、国务院一直对太湖治理工作给予高度重视。2007年无锡供水危机后,国务院批复实施《太湖流域水环境综合治理总体方案》,太湖治理步入了新阶段。几年来,在党中央、国务院的领导和关心下,在国务院有关部门的指导和支持下,江苏、浙江、上海两省一市齐心协力,全面组织实施《太湖流域水环境综合治理总体方案》确定的各项任务和措施,取得了较好的成效。太湖流域水环境有了明显改善,水源地供水安全得到保障,《太湖流域水环境综合治理总体方案》确定的2012年近期目标已经部分实现。

从根本上讲,太湖治理的关键是源头治污。治污作为一项长期而艰巨的任务,根本出路在于调整太湖流域的经济结构,需要经历相当长的过程才能见到成效。围绕“还太湖一盆清水”的总体目标,太湖流域管理局和江苏省、浙江省、上海市各级水利部门,在水利部的指导下,积极贯彻落实中央治太工作精神,全面推进流域水环境综合治理的各项水利工作,在太湖治理中发挥了不可或缺的作用。一是大力开展水源地工程建设,流域“双源供水、双重保障”的城市饮用水安全保障体系基本形成,确保了城乡饮用水水源安全。二是科学实

施引江济太水资源调度,改善了太湖及周边河网水质,有效提高了太湖流域的水资源和水环境承载能力。三是扎实做好水利前期工作,积极推进流域防洪减灾、水资源配置、水环境改善综合治理水利工程实施。四是切实加强水资源监测预警,构建流域水环境综合治理信息共享平台,加大监督执法力度,提升了流域水管理能力。五是积极推进生态修复和河网整治,减少了河网和湖泊内源污染,明显改善了河道及周边水环境。六是流域综合立法工作取得了重大突破,《太湖流域管理条例》已由国务院颁布施行,《太湖流域水功能区划》已得到国务院批复实施。

通过太湖流域水环境综合治理各项水利工作的实践,创新思维,初步实现了流域防洪、供水和生态共利,流域与地方双赢的目标。太湖流域管理局对近五年来实践探索的工作成果和经验进行了系统总结与提炼,集书成册。该丛书共分5册,紧扣流域水环境综合治理的主题,以水生态保护为核心,体现了人水和谐的理念,对下阶段湖泊治理具有借鉴作用。《太湖流域水资源及其开发利用》是太湖流域水资源综合规划的重要基础,对流域水资源数量、水资源质量、开发利用状况、水污染进行了全面调查、分析和评价;《太湖流域水资源保护规划及研究》是太湖流域综合规划的重要组成部分,体现了水环境综合治理的总体要求,明确了规划目标和任务,分析了流域水功能区纳污能力和限制排污总量,有针对性地提出了各项保护措施;《东太湖综合整治规划研究》、《太湖污染底泥生态疏浚规划研究》突出了水生态保护理念,有关规划措施已经付诸实施,并取得了良好的效果;《健康太湖指标体系研究》从做好流域河湖健康代言人角度出发,研究建立了太湖健康评价指标体系,对太湖健康状况进行了科学评估,客观反映了太湖水资源、水环境、水生态状况。该丛书可以为从事水资源保护、水环境管理、水污染防治等领域的科研人员、管理人员提供参考和借鉴,也可作为高等院校水利与环境等相关专业师生的参考书。

2011年,中共中央、国务院作出了《关于加快水利改革发展的决定》,并首次召开了中央水利工作会议,全面部署了水利各项重点工作,正如水利部陈雷部长所说:“水利事业的又一个春天已经到来。”太湖流域物华天宝,人杰地灵,我们一定能乘着水利发展的春风,进一步发扬团结治水的优良传统,早日实现“江南明珠,重现碧波美景”的目标和期望。

丛书编委会
2011年11月

前言

太湖是我国第三大淡水湖,位于太湖流域核心区域,水面面积 $2\,338\text{ km}^2$,平均水深 1.95 m ,正常水位下蓄水量为 44.3 亿 m^3 。太湖是太湖流域水资源调蓄和配置中枢,具有防洪、排涝、供水、生态、航运、旅游及养殖等多方面功能,对维系流域防洪安全、供水安全和良好的生态环境起到了不可替代的作用。

但自 20 世纪 80 年代以来,伴随流域经济社会的高速发展,各种涉水问题增多,占用太湖水面、围网养殖、破坏岸线等现象日益增加,给太湖的自然形态带来一定的影响。同时,流域污染治理相对滞后,流入太湖水体中氮、磷等污染负荷过高,湖泊水体富营养化趋势不断加剧,蓝藻水华频发,生态系统及其服务功能退化,威胁到人民身体健康、生产生活与饮用水安全。2007 年 5 月底,因太湖蓝藻水华暴发引发无锡市供水危机,严重影响了当地百万居民的正常生活,引起党中央、国务院的高度重视和社会各界的广泛关注。

水利部对太湖的治理和研究一直十分重视,于 2007 年底及时批复了水利部太湖流域管理局上报的“健康太湖综合评价与指标研究”公益性行业科研专项经费项目的申请,项目主要参加人员为朱威、徐雪红、翟淑华、贾更华、周小平、徐兆安、徐彬、胡维平、朱金格、周宏伟、左一鸣、程南宁、杜心慧、杨利芝、张红举等,项目开展过程中得到了太湖流域水资源保护局原局长房玲娣的指导和帮助。目前该项目已完成,项目有关成果在全国重要河湖健康评估试点、流域水资源保护、水环境综合治理等实际工作中得到采纳或应用。

为系统总结太湖健康评价方面的工作,依托“健康太湖综合评价与指标研究”项目成果,太湖流域水资源保护局组织开展了本书的编写工作。本书在对太湖健康内涵分析的基础上,从湖泊形态、服务功能、水体质量、生态系统四个方面进行了深入分析和指标筛选,最后对上述四方面筛选后的指标进行了综合评价研究,提出了太湖健康评价指标体系,并开展实例评价。

本书稿 2010 年 6 月—2011 年 10 月由徐雪红、周小平、胡维平、徐兆安、杜心慧集中编写而成,由徐雪红统稿,朱威、徐雪红审定。本书共分为 8 章,主要



编写者如下：第1章：徐雪红、周小平、胡维平、杜心慧、程南宁、朱金格；第2章：周小平、徐雪红、左一鸣、朱金格；第3章：周小平、周宏伟；第4章：徐兆安、徐彬；第5章：胡维平、朱金格、翟水晶、高峰、周小平、翟淑华；第6章：杜心慧、程南宁；第7章：徐雪红、徐兆安、徐彬、胡维平、周小平；第8章：周小平、徐兆安；附录：胡维平、朱金格、翟水晶、高峰、翟淑华。

本书的编写工作得到了水利部太湖流域管理局原副局长、总工程师吴泰来教授级高工的精心指导，同时得到了河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心崔广柏教授的热心支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于湖泊健康问题涉及面广、问题复杂，我们技术水平有限，本书的遗漏和错误之处在所难免，殷切希望得到广大读者和同行的批评指正，以便我们在后续工作中不断改进。

编者
2011年10月

目 录

第1章 绪 论

1

1.1 湖泊生态系统健康研究及评价进展	1
1.1.1 湖泊生态系统健康内涵	1
1.1.2 湖泊生态系统健康的时间与空间尺度	2
1.1.3 湖泊生态系统健康评价指标与方法	3
1.1.4 河流健康定义与研究进展	6
1.2 太湖现状与问题分析	10
1.2.1 太湖在流域经济社会的防洪、供水功能地位十分重要	10
1.2.2 太湖提供了丰富的渔业、航运和旅游资源	11
1.2.3 太湖水体污染较为严重,水体富营养化	12
1.2.4 水生生态系统退化,部分湖区蓝藻暴发	12
1.2.5 人类活动给太湖形态和功能带来一定影响	13
1.3 健康太湖内涵分析及研究思路	14
1.3.1 影响太湖健康的因素	14
1.3.2 健康太湖概念内涵分析	15
1.3.3 健康太湖综合评价总体思路	16
1.3.4 健康太湖综合评价研究内容	16
1.3.5 太湖湖区划分	17

第2章 太湖形态健康指标研究

23

2.1 太湖自然形态及演变	23
2.1.1 自然形态演变	23
2.1.2 环湖大堤及口门	28
2.1.3 淤积与沼泽化	30
2.1.4 围垦造田及退渔还湖	33
2.2 湖泊形态评价指标遴选	37
2.2.1 自然形态健康评价体系	37



2.2.2 湖泊形态评价指标体系	37
2.3 评价指标计算及评价	39
2.3.1 岸线稳定性评价	39
2.3.2 水系连通性评价	39
2.3.3 围垦占用率	42
2.3.4 淤积程度评价	43
2.3.5 沼泽化程度评价	44
2.4 指标评价标准与结果	49
2.4.1 评价标准的确定	49
2.4.2 评价结果与分析	50
2.5 评价指标筛选	50
2.5.1 评价指标分析筛选	50
2.5.2 指标筛选结果	51

第3章 太湖服务功能指标研究

53

3.1 太湖服务功能	53
3.1.1 防洪功能	53
3.1.2 供水功能	56
3.1.3 旅游、航运、养殖等其他功能	57
3.2 服务功能评价指标遴选	58
3.2.1 服务功能优良内涵分析	58
3.2.2 太湖服务功能评价方法	59
3.2.3 评价指标体系	60
3.3 太湖服务功能指标计算及评价	71
3.3.1 防洪功能	71
3.3.2 供水指标	74
3.3.3 旅游-航运-养殖指标	76
3.4 指标评价标准与结果	77
3.4.1 评价标准	77
3.4.2 服务功能综合评价	78
3.5 服务功能指标筛选结果	78

第4章 太湖水质健康评价指标研究

82

4.1 太湖水质与污染状况演变	82
4.1.1 太湖水功能区划与水质监测	82
4.1.2 太湖水污染与负荷变化	85
4.1.3 太湖水质演变	87

4.2	水质健康评价方法与指标遴选	89
4.2.1	湖泊水质健康的内涵分析	89
4.2.2	水污染程度评价指标与方法	89
4.2.3	富营养化程度评价指标与方法	97
4.3	评价指标计算与分析	98
4.3.1	评价单元划分	98
4.3.2	指标计算与分析	99
4.4	评价标准与结果	100
4.4.1	指标权重与健康基准	100
4.4.2	评价结果	102
4.5	代表性指标筛选及适用性	104
4.5.1	水污染代表性指标筛选	104
4.5.2	富营养化指标筛选	108
4.6	指标筛选结果	110

第5章 太湖生态系统健康评价指标研究

113

5.1	太湖生态系统长期演变特征	113
5.1.1	浮游植物	113
5.1.2	浮游动物	114
5.1.3	底栖动物	115
5.1.4	水生植物	115
5.1.5	鱼类	116
5.2	指示湖泊环境质量的生物指标及变化	116
5.2.1	湖泊生态系统结构指数及变化	116
5.2.2	底栖动物 Goodnight 生物指数	119
5.2.3	蓝藻数量与百分率变化	119
5.3	太湖生态系统健康评价指标体系	126
5.3.1	参评指标	126
5.3.2	组织结构指标(四级指标)	128
5.3.3	功能指标(三级指标)	128
5.3.4	系统指标(二级指标)	128
5.4	指标计算及评价	128
5.4.1	指标计算的基础数据	128
5.4.2	生态系统健康指标得分计算方法	132
5.4.3	太湖生态系统健康评价分区	133
5.4.4	生态指标计算与变化特征	136
5.5	生态系统健康综合评价与指标筛选	154

5.5.1	综合评价结果	154
5.5.2	太湖各湖区生态系统健康状态变化成因分析	156
5.6	代用指标	157
5.6.1	筛选原则	158
5.6.2	筛选方法与结果指标	158
5.6.3	代用指标权重系数及评价标准	160

第6章 健康太湖综合评价与对策措施

163

6.1	健康太湖综合评价	163
6.1.1	综合评价方法	163
6.1.2	指标权重	168
6.1.3	健康评价基准	171
6.2	综合评价结果与分析	172
6.2.1	太湖自然健康指数评价	172
6.2.2	太湖服务功能评价	179
6.2.3	健康太湖综合评价	183
6.3	维系太湖健康的对策措施研究	186
6.3.1	维系太湖健康的对策措施研究	187
6.3.2	东太湖区对策措施研究	187
6.3.3	贡湖、东部沿岸区对策措施研究	188
6.3.4	其他重点关注湖区对策措施研究	188
6.3.5	保障措施	189

第7章 评价实例——2008年太湖健康评价

191

7.1	评价数据的获取	191
7.1.1	湖泊形态调查	191
7.1.2	水文水资源监测	191
7.1.3	水生生物监测	194
7.1.4	服务功能调查	207
7.2	太湖健康状况分项评价	207
7.2.1	围垦强度	207
7.2.2	口门畅通率	208
7.2.3	水体优良评价	208
7.2.4	生态系统指标评价	210
7.2.5	服务功能评价	213
7.3	太湖健康综合评价	214
7.3.1	自然健康指数评价	214

7.3.2 服务功能综合评价	217
7.3.3 健康太湖综合评判结论	217

第8章 结论与展望

218

8.1 主要结论	218
8.1.1 太湖健康评价的意义和内涵	218
8.1.2 湖泊形态评价	218
8.1.3 服务功能评价	219
8.1.4 水体优良评价	219
8.1.5 生态系统健康评价	220
8.1.6 健康太湖综合评价	220
8.2 展望	221

附录1 1961—2008 年健康评价结果

223

附录2 太湖生态系统长期变化

225

附 2.1 浮游植物种类与数量及生物量长期变化	225
附 2.1.1 浮游植物种类	225
附 2.1.2 浮游植物数量长期变化	227
附 2.1.3 浮游植物生物量变化	230
附 2.2 浮游动物种类及数量和生物量变化	234
附 2.2.1 种类	234
附 2.2.2 浮游动物数量变化	237
附 2.2.3 浮游动物生物量	240
附 2.3 底栖动物种类与数量和生物量变化	243
附 2.3.1 底栖动物数量变化	245
附 2.3.2 底栖动物生物量变化	247
附 2.4 水生植物生物量	248
附 2.5 鱼类种类及捕捞量结构变化	250

第1章 绪论

湖泊是陆地上洼地积水形成的宽阔、水量交换相对缓慢的水体,包括湖盆、湖水及水中所含的矿物质、有机质和生物等组成部分。湖泊作为一种重要的自然资源,具有调节河川径流、灌溉、生产和生活水源、水生生物栖息地、航运、改善区域生态环境等多种功能。湖泊及其流域是人类赖以生存的重要场所,在国民经济社会中发挥着重要作用。近几十年来,随着全球气候变暖和人类活动的加剧,湖泊面积缩小、污染加剧、可利用水量减少、生态与环境日趋恶化、水生态事件频发,湖泊已经成为区域自然环境变化和人与自然相互作用最为敏感、影响最为深刻、治理难度最大的地理单元。

湖泊的健康问题得到了各级政府部门和社会人士的广泛关注。在我国已开展的滇池、太湖、巢湖等几大湖泊健康的管理和治理实践中,人们逐步认识到,湖泊健康问题涉及领域广,受对湖泊健康研究不全面、治理技术手段限制等多种因素影响,治理和管理难度较大,治理的效果往往难以达到预期目标。目前,湖泊健康状况已成为人们关注的焦点和各类研究的热点。但对湖泊健康状况方面的研究相对较晚、资料积累较少,其研究指标和方法均借鉴于湖泊生态系统和河流健康的相关研究。

1.1 湖泊生态系统健康研究及评价进展

1.1.1 湖泊生态系统健康内涵

根据 Costanza 等关于生态系统健康的归纳总结,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,在受到长期或突发的自然或人为扰动(湖泊水位快速上升、下降、突发污染事件等)后湖泊内的物质循环、能量和信息流动未受到损害,能保持弹性和稳定性,生态系统的整体功能表现出多样性、复杂性和活力,是湖泊生态系统向人类提供服务并维持自身组分和功能的一种状态^{[1,56]*}。也就是说,湖泊生态系统健康包含两个方面的内涵:满足人类社会合理要求的能力和生态系统自我维持与更新的能力。前者是后者的伺服功能,后者是前者的基础^[33,36,62]。

* 本书每章所引文献,详见各章后“参考文献”。



浅水湖泊是一类较为脆弱的生态系统,处于不断变化的动态演替中。在相同的外界条件(气候、水文、外源营养负荷等)下,有些湖泊可能出现两种或多种不同的稳定状态,称作多稳态现象^[28,39]。浅水湖泊存在多个可以相互取代的平衡态(主要有草型清水态、藻型浊水态和泥沙型浊水态)^[64,40,35,41],这些多平衡态是可以自我维持的,并且常常保持着系统的功能完整性。这一点在湖泊生态系统健康的诊断上尤为重要。

湖泊生态系统健康概念的内涵极为复杂和丰富,不但涉及湖泊生物要素,还涉及物理与化学要素;就生物而言,涉及物种、种群以及群落三个层次;就生态组分而言涉及生产者、消费者和分解者,同时还涉及其不同营养级的能量传递、耗散以及物质循环;就湖泊生态系统和外部环境关系而言,还涉及湖泊生态系统对外部干扰或压力的响应方式。因此,进行湖泊生态系统健康状况评价是一项十分复杂和困难的任务。鉴于生态系统健康评价的复杂性和难度,生态系统健康定义及内涵、其理论基础、评价指标、时间尺度、指示指标以及指示物种等一直为湖泊生态系统健康评价研究的重点和热点。

一个良性湖泊生态系统,不但表现在能够提供特殊功能的能力(如调蓄洪水、净化水质、保持水生生物多样性等),而且具有维持自身有机组织的能力(弹性和恢复力),可以在一定程度上从各种不良的环境扰动中自行恢复。如果人类活动对湖泊生态系统的压力过大,超过其自我维持和恢复的阈值范围,湖泊生态系统就会受损,进而表现出各种症状。特别是当输入的营养盐过多湖泊发生富营养化时,在以藻类为生物建群种的水体中,盛夏季节因藻类的大规模繁殖,藻类现存量大幅上升,易暴发藻类水华,严重影响景观并导致水质恶化,威胁湖泊供水功能的安全发挥;而在以浮叶植物为生物建群种的水体中,浮叶植物光合作用产生的氧直接释放入大气,水面因浮叶植物的覆盖而复氧能力差,水体溶解氧含量低,水体处于厌氧状态,不利于鱼类等动物生存。由此可见,生态系统状况与环境及其能够为人类提供服务功能强弱等密切相关,客观评价湖泊生态系统是否优良以及是否受损对湖泊环境质量保护以及维持湖泊的服务功能,具有重要的意义。

1.1.2 湖泊生态系统健康的时间与空间尺度

湖泊生态系统由多个不同组分组成,一些组分可能处于健康或可持续状态,而其他组分也许不会处于上述状态。时间(包括时间“点”和时间“段”)和空间(包括宏观上的区域和微观上的局域)是生态变化的两个基本尺度^[56],湖泊生态系统的复杂性不仅体现在空间尺度,还体现在时间尺度。因此,在时间和空间格局上对湖泊生态系统健康进行研究或评价时就要考虑其等级概念,即湖泊生态系统的基本性质(包括结构、功能、动态与服务)和层次(可分为基因—物种、物种—种群、群落—生态系统、景观—区域等4个层次)。

等级理论(hierarchy theory)是系统生态学理论的重要组成部分,考虑的是一种具有结构、功能和动态特征的复杂系统,等级组织系统可以被分解为作用于不同尺度上的功能成分^[44]。该理论认为,等级系统中高层次的行为或动态常表现出大尺度、低频率、慢速度特征(如鱼类的生长与繁殖),而低层次的行为或动态则表现出小尺度、高频率、快速度的

特征(如湖泊水体藻类的生长与繁殖);不同等级层次之间还具有相互作用的关系。等级理论要求在研究复杂系统时一般要研究某一特定等级和与之相关的其他等级,也就是说至少要同时考虑核心层、上一层、下一层等3个相邻的层次^[66,46,31]。图1-1为生态系统健康评价的结构、功能、服务、动态等4个方面的等级层次^[66]。

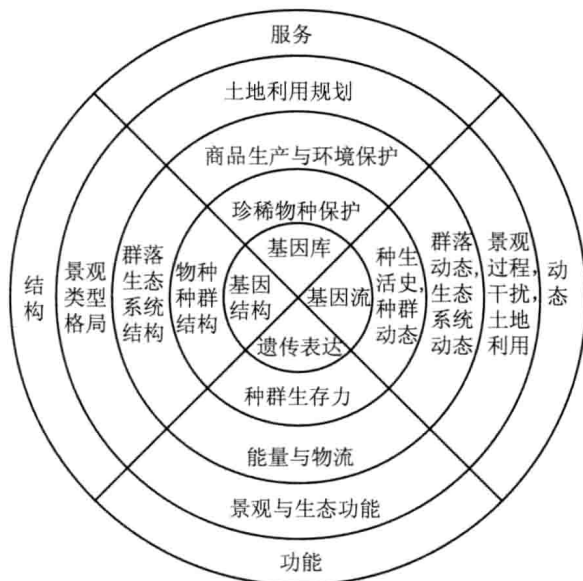


图1-1 时间和空间格局上对生态系统健康进行研究或评价的等级概念^[66]

评价一个湖泊生态系统是否健康,除了需要关注其等级组织外,还需要考虑时间和空间尺度。尺度通常是指观察或研究对象的空间分辨率和时间单位,它是时空异质性的度量单位,标志着对所研究对象细节了解的水平^[9]。在生态学中,空间尺度是指所研究生态系统的面积或空间大小,时间尺度为其动态变化的时间间隔和跨度^[8]。对同一类不同尺度的生态系统进行研究时,其内容差异较大,对较小尺度生态系统健康进行评价时更多地采用生态学指标,而对大尺度生态系统健康的评价则注重整体性评价^[22]。由于在同一湖泊生态系统中,一些组分可能处于健康或可持续状态,而其他组分可能处于非健康或不可持续状态,这样时间和空间尺度对评价结果一般就具有重要影响,因此选用合适的时间和空间尺度对湖泊生态系统健康状况进行评价就显得十分重要,时间和空间尺度选择不当可能会造成评价结果不能真实反映湖泊生态系统健康的状况,甚至有时还会使得评价工作变得毫无意义。

1.1.3 湖泊生态系统健康评价指标与方法

1. 评价指标体系

目前为止,研究者主要从生态系统活力、恢复力、组织、服务功能、管理选择、对外部输入减少、对邻近系统以及人类健康的影响8个方面进行湖泊生态系统健康评价。它们分属于生物物理范畴、社会经济范畴、人类健康范畴以及一定的时间、空间范畴^[66,33,2]。①活力是指湖泊生态系统的能量输入和营养循环容量,在一定范围内输入

湖泊的能量越多,物质循环越快,活力就越高,但这并不意味着湖泊生态系统在能量输入高和物质循环快时就更健康,它仅表征湖泊生态系统利用能量和物质资源的能力,尤其高营养盐输入可导致湖泊富营养化效应,再叠加高能量输入可能导致藻类水华的暴发。② 恢复力是指湖泊遭遇洪水、水位突增和突降或过高和过低、突发污染、过渡捕捞等胁迫消失时,其生态系统克服压力反弹回复的容量,可用湖泊受自然干扰的恢复速率和生态系统对自然干扰的抵抗力等表示。一般认为受胁迫生态系统比不受胁迫生态系统的恢复力更小。③ 组织是指湖泊生态系统的复杂性,它会随生态系统的次生演替而发生变化,可用生态系统中 r 对策种与 k 对策种的比率、短命种与长命种的比率,外来种与乡土种的比率、共生程度、土著种的消亡等,草食性鱼类和肉食性鱼类比例等作为衡量其指标。一般生态系统的组织越复杂就越健康。④ 湖泊生态系统的服务功能是指其可支撑社会经济发展的相关作用,如消解有毒化学物质、净化水体,水资源和水产品的供给,休闲景观,航运通道等。一般而言,不健康生态系统的上述服务功能的质和量均会减少。⑤ 管理选择是指健康生态系统可用于收获可更新资源、旅游、保护水源等各种用途和管理,退化的或不健康的生态系统不再具有多种用途和管理选择,而仅能发挥某一方面功能。⑥ 外部输入减少是指生态系统在被管理的过程中对外部输入依赖减少的现象。健康的生态系统在被管理的过程中对外部输入的依赖会大量减少。⑦ 对邻近系统的影响,是指湖泊生态对其邻近系统如湖泊下游生态系统、社会经济系统、人体健康等的作用。健康的生态系统在变化过程中对邻近的系统基本没有不利影响,而不健康的系统会对相连的系统产生破坏作用,如受污染和发生富营养化湖泊对出湖河道生态系统以及周边生态系统会产生巨大的破坏作用。⑧ 对人类健康的影响是指生态系统的变化可通过多种途径影响人类健康,人类的健康本身可作为生态系统健康的反映。如发生富营养化的湖泊和受严重污染湖泊,其水产品中含有一定的有毒有害物质。这种水产品被居民食用后将对人体健康产生不利影响,有的可损害居民的肝脏,有时甚至可引起基因突变。与人类相关而又对人类影响小或没有影响的生态系统为健康的系统。

因上述 8 个方面对生态系统健康状况的判断较为宏观,涉及内容一般很难量化表达,对湖泊生态系统健康实际评价而言,其可操作性较小。因此,定量、易获取健康生态系统评价指标一直是湖泊生态系统健康评价研究的重点。目前业已建立的评价湖泊生态系统健康的定量和半定量方法主要有指示物种法和指标体系法。

2. 指示物种法

该方法评价生态系统健康主要是依据生态系统的关键物种、特有物种、濒危物种、长寿命物种和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及一些生理生态参数等来描述生态系统的健康状况。常用于湖泊生态系统健康评价的指示物种包括:浮游生物、底栖无脊椎动物和鱼类等^[26]。相关研究将物种的敏感性和可靠性以及它们对生态系统健康指示作用的强弱作为指示物种及其相关指标选择的重要依据^[5,11]。不同专业背景的生态学家根据具体的研究对象提出的湖泊生态系统健康指示物种评价方法的差异较大。表 1-1 为湖泊生态系统健康评价目前采用指示物种以及