

衡水湖流域生态系统健康评价

李春晖^{1,2}, 郑小康^{1,2}, 崔 崑¹, 庞爱萍², 杨志峰^{1,*}

(1 北京师范大学环境学院 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875;

2 北京师范大学环境学院 水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 生态系统健康评价是当前环境科学和生态研究的热点问题之一, 流域尺度的生态系统健康评价是生态系统健康评价研究的一个重要发展方向。对流域进行生态系统健康评价, 将为流域的规划、管理和保护以及流域综合治理提供决策依据。回顾了国内外流域生态健康评价的历史和现状, 阐述了流域生态系统健康评价的主要理论与方法。以衡水湖国家级湿地自然保护区为例, 建立了评价指标体系, 并据此对该流域进行了生态健康评价, 结果表明: 衡水湖流域生态系统健康处于中等或者亚病态, 最后提出衡水湖生态健康可持续发展的建议。

关键词: 流域; 生态系统健康; 评价; 衡水湖

文章编号: 1000-0585(2008-03-0565-09)

流域生态系统是一个社会-经济-自然复合生态系统, 是一个特殊的地貌单元, 具有生态完整性^[1~3]。当生态系统受各种自然或人为因素干扰, 超过本身的适应能力时, 必然会在某些方面出现不可逆转的损伤或者退化、生产力下降、生物多样性减少、对环境的调节能力下降等, 具有脆弱性。由于人类对流域生态环境的破坏和对流域资源的过度开发和利用, 流域水体受到的污染已越来越严重, 从河流水库中超量引水使得河流本身水量无法满足生态用水的最低需求^[4], 水利工程导致自然河流的渠道化和非连续化, 植被的破坏、水土流失的加剧、泥石流和洪水频度的加大及程度的加剧, 破坏了流域的完整性, 已严重影响流域生态系统的健康。因此, 流域生态系统健康的研究已日益受到人们的重视, 不同国家和地区纷纷采取措施, 包括对流域进行生态健康评价, 以及恢复流域生态系统^[5~7], 从生态系统健康的角度对流域环境进行综合整治。对流域进行生态健康评价, 将为流域的规划、管理和保护以及流域综合治理提供决策依据。针对评价结果, 就可对流域生态系统的某一层面采取相应保护、修复等对策措施, 促进流域生态环境和经济社会全面、协调和可持续发展。目前, 我国对生态系统的健康研究主要集中在单一的生态系统中, 而对于流域尺度生态系统健康评价的研究较少, 且多数是定性分析。

衡水湖自然保护区位于河北省衡水市境内, 属于省级自然保护区, 也是华北平原第一个国家级内陆湿地自然保护区, 并被纳入联合国教科文组织中国人与生物圈保护区网络。由于受人类活动干扰, 衡水湖流域生态系统健康受到一定影响, 特别是近 50 年来, 随着人类活动对流域生态环境的改变, 使人口、环境、资源间的矛盾日益尖锐。评价流域生态健康对自然保护区规划和可持续发展具有重要意义。本文根据研究区自然特征, 建立评价

收稿日期: 2007-09-18; 修订日期: 2008-02-12

基金项目: 国家自然科学基金 (50709002 和 40671072) 和国家重点基础研究发展规划项目 (2006CB403303)

作者简介: 李春晖 (1976-, 男, 安徽阜阳人, 985 基地研究员。主要研究领域水资源、流域管理和生态健康等。

Email: chunhui@bnu.edu.cn

* 通讯作者: 杨志峰, 教授, 博士生导师。E-mail: zfyang@bnu.edu.cn

指标体系,对流域生态健康进行初步评价,并指出对策。

1 流域生态系统健康评价理论与方法

1.1 流域生态系统健康

生态系统健康是在 20 世纪 80 年代兴起的一个新的研究领域。以加拿大学者 Schaeffer 和 Rapport 为代表, Schaeffer 认为,生态系统健康就是生态系统缺乏疾病,而生态系统疾病是指生态系统的组织受到损害或削弱。生态系统中的疾病,正如人生病一样,有短期和长期的以及主要和次要的之分。如果生态系统的自动平衡修复机制不完善以至于病态发展到疾病,那么这种疾病就要受到关注。Rapport 发展了这种观点使之更进一步成为生态系统水平上的灾难和综合病症^[8~10]。

我国学者崔保山和杨志锋指出生态系统健康是指系统内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完整保存,且缺乏疾病,对长期或突发的自然或人为扰动能保持着弹性和稳定性,整体功能表现出多样性、复杂性、活力和相应的生产率,其发展终极是生态整合性^[11]。

也有学者认为,健康的流域生态系统是远离流域生态系统危机综合症的,危机综合症主要表现为:初级生产力的下降(对流域内陆地生态系统而言)或增加(对流域内水生态系统而言)、营养的流失、生物多样性的丧失、关键种群的波动增强、生物结构的退化和疾病的广泛发生及严重性等。然而,以上提出的定义倾向于强调流域生态系统健康的生态学方面,更为综合的考虑应该将流域看作一个社会-经济-自然复合生态系统,将人类健康和社会经济因素考虑在内。理解流域生态系统的全面性和整体性需要考虑把人类作为生态系统的组成部分而不是同其分离,所以流域满足人类需求和愿望的程度应该纳入流域生态系统健康的定义中^[12]。目前,这种说法被越来越多的人所接受和认同。

总结国内外学者的研究成果,认为健康的流域生态系统具有以下特征^[13]: ①对流域进化过程中遇到的正常干扰(如洪水、干旱、火灾等)具有恢复力; ②远离流域生态系统危机综合症; ③能自我维持,即在没有外部输入时能存在,在人类管理的生态系统中,每单位产出所需外部输入不增加; ④管理实践和生态系统过程不损害邻近生态系统; ⑤经济上可行,能够提供合乎自然和人类需求的生态服务; ⑥维持健康的人类群体。

1.2 评价方法

近年来,生态系统健康研究已成为国际生态环境领域新的研究热点,由此引发了对健康河流生态系统、健康湿地生态系统、健康绿洲生态系统和健康流域生态系统等的研究。总结国内外流域生态系统健康评价的方法,主要为生物监测法和指标体系法^[14,15]。(表 1

其中,指标体系法研究较多,尤以 OECD(联合国经济合作开发署)建立的“压力—状态—响应”(Press-State-Response)模型框架应用最为广泛。龙笛等以生态系统健康理论和“压力—状态—响应”模型为基础,构建了滦河流域的生态系统健康评价指标体系。并采用层次分析法对滦河流域的生态系统健康进行综合评价^[30]。刘明华等在 RS 和 GIS 支持下,以小流域为评价单元,初步建立了秦皇岛地区生态系统健康评价的压力—状态—响应概念框架的指标体系和评价模型,并利用现代数学分析方法对生态系统健康状态的变化进行驱动力分析^[10]。王治良等以洪泽湖及其各支流小流域湿地生态系统为研究区域,运用压力—状态—响应分析模型及层次分析法,尝试给出了针对具体湿地生态系统的健康评价指标体系^[31]。

暖温带大陆季风气候区，四季分明，年平均气温 13.0℃，平均年降雨量 518.9mm，具有草甸、沼泽、滩涂、水域、林地等多种不同类型的生境^[34]，十分适宜众多生物的生存和繁衍。衡水湖自然保护区是我国鸟类保护的重要基地，是开展鸟类保护、科研，生物多样性保护，环境污染监测活动的重要场所。现已观察到的鸟类中，属于国家Ⅰ级重点保护鸟类的有 7 种：丹顶鹤、白鹤、东方白鹤、黑鹤、大鸭、金雕、白肩雕。属于国家Ⅱ级重点保护鸟类的有大天鹅、小天鹅、鸳鸯、灰鹤、白枕鹤等 43 种。

表 2 2005 年衡水湖水质监测结果统计表 (mg/L, pH 除外)

| Tab 2 Water quality of Hengshui Lake in 2005 | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|------|------|------------|------|-------|---------|------|
| 断面名称 | pH | 溶解氧 | 生化需氧量 | 化学需氧量 | 总氮 | 氨氮 | 粪大肠菌群(个/L) | 硫化物 | 总磷 | 汞 | 水质类别 |
| 王口闸 | 8.45 | 7.02 | 3.90 | 18.4 | 0.93 | 0.32 | 118 | 0.01 | 0.005 | 0.00002 | III |
| 大湖心 | 8.67 | 7.68 | 3.79 | 17.8 | 0.89 | 0.24 | 10 | 0.01 | 0.005 | 0.00002 | III |
| 小湖心 | 8.67 | 6.58 | 3.97 | 19.2 | 0.97 | 0.40 | 240 | 0.01 | 0.005 | 0.00002 | III |
| 大赵闸 | 8.72 | 7.16 | 3.86 | 18.5 | 0.92 | 0.29 | 122 | 0.01 | 0.005 | 0.00002 | III |
| 衡水湖 | 8.63 | 7.11 | 3.88 | 18.5 | 0.93 | 0.31 | 122 | 0.01 | 0.005 | 0.00002 | III |

注：参考文献 [36]

经过人类数千年的利用开发，特别是解放后的大规模兴修各种水利工程，加上自然气候条件的变迁，如今的衡水湖已经失去了自然的水资源补给，基本上成了一个由人工引水维持的调蓄水库。周边有 13 座闸涵，蓄水能力 1.88 亿 m³，蓄水面积 75km²^[35]。衡水湖水质类别为Ⅱ类，主要污染物为生化需氧量、总氮、化学需氧量，属混合型污染。衡水湖水质主要受引水水质的影响，其次是引水沿线及湖周边污染源影响。2005 年衡水湖水质监测结果见表 2^[36]。

2.2 衡水湖流域生态健康评价

2.2.1 指标体系建立 根据指标选择原则，参考国内外对相关流域评价的各种方法，将衡水湖流域生态系统健康评价指标体系分为 3 层：第一层是目标层，即衡水湖流域生态系统健康；第二层是要素层，分为生态特征指标、功能作用指标和社会经济指标；第三层是指标层，即每个要素由哪些具体指标来表达，共分为 20 项指标。(表 3

2.2.2 评价标准 考虑到资料的获取情况，选取了指标层中的水质类别、生物第一性潜在生产力、湿地面积变化率、植被覆盖度、年径流深等 10 项指标对衡水湖流域进行生态系统健康评价。

结合当前流域的实际情况，评价

| 表 3 衡水湖流域生态系统健康指标体系 | | |
|--|--------|---|
| Tab 3 Indices system of eco-health for Hengshui Lake | | |
| 目标层 | 要素层 | 指标层 |
| 衡水湖流域生态系统健康 | 生态特征指标 | 水质类别 河道、湖泊或海岸冲刷淤积 生物量 湿地面积变化率 动、植物个体尺度 生物多样性 生物第一性潜在生产力 |
| | | 栖息地 年径流深 土壤有机质 提供原材料的食品生产量 富营养化或水生植物状况 侵蚀控制 休闲娱乐 |
| | 功能作用指标 | 人口素质 人口密度 人均 GDP 人口健康状况 农药、化肥施用量及施用强度 污水处理率 |
| | | |

标准可以通过以下方法确定^[19]：①历史资料法；②实地考察；③多区域河流对比分析（或称参照对比法）；④借鉴国家标准与相关研究成果；⑤公众参与；⑥专家评判。以上方法各有优劣，适用于不同类型的指标对象。本流域生态健康评价实例中，评价标准分为5个级别。

对于每一项指标，按不同取值范围将其分为健康、亚健康、中等、亚病态和病态5个级别，每个级别赋予不同分值，分别为1，0.8，0.6，0.4，0.2，以便进行健康综合评价打分^[30]。衡水湖流域生态健康评价指标等级体系见表4^[37,38]。

表4 衡水湖流域生态健康评价指标等级体系

Tab 4 Eco-health indices system levels for Hengshui Lake

| 要素层 | 指标层 | 健康 | 亚健康 | 中等 | 亚病态 | 病态 |
|--------|---|--------|------------|------------|-----------|-------|
| | 水质类别 | I | II | III | IV | V |
| 生态特征指标 | 生物第一性潜在生产力 [g/(m ² · a)] | > 1000 | 1000~ 800 | 800~ 600 | 600~ 400 | < 400 |
| | 湿地面积变化率 (%) | > 90 | 90~ 80 | 80~ 60 | 60~ 40 | < 40 |
| | 植被覆盖度 (%) | > 30 | 30~ 25 | 25~ 20 | 20~ 15 | < 15 |
| 功能作用指标 | 年径流深 (mm) | > 1000 | 1000~ 300 | 300~ 100 | 100~ 50 | < 50 |
| | 土壤有机质 | > 0.9 | 0.9~ 0.8 | 0.8~ 0.5 | 0.5~ 0.2 | < 0.2 |
| | 休闲娱乐 (旅游承载力, 人/ km ²) | > 60 | 60~ 40 | 40~ 20 | 20~ 10 | < 10 |
| 社会经济指标 | 人均 GDP (美元) | > 9200 | 9200~ 2750 | 2750~ 1100 | 1100~ 460 | < 460 |
| | 人口密度 (人/ km ²) | < 100 | 100~ 300 | 300~ 500 | 500~ 700 | > 700 |
| | 人口素质 (高中以上文化程度比例, %) | > 50 | 50~ 40 | 40~ 20 | 20~ 10 | < 10 |

注：生物第一性潜在生产力利用迈阿密（Miami）模型进行计算： $NPP_t = 3000 / [1 + \exp(1.315 - 0.119 t)]$
 $NPPR = 3000 [1 - \exp(-0.000664 R)]$ $NPP = \min(NPP_t, NPPR)$ (1)
式中： t 为年平均气温，℃； R 为平均年降水量，mm。

2.2.3 指标权重 评价指标的权重决定了各个因子对流域生态环境健康状况的贡献大小。为了避免片面性和主观性，应当采用合理的技术方法来确定指标权重，如采用层次分析法、因子分析法、实证权重法或者神经网络等方法并结合专家评分的方法加以合理确定。本研究中将采用层次分析法，见表5。

表5 衡水湖流域生态健康评价指标权重

Tab 5 Weights of eco-health indices for Hengshui Lake

| 要素层 | 权重 | 指标层 | 权重 | 总权重 |
|--------|-----|---|------|-------|
| 生态特征指标 | 0.5 | 水质类别 | 0.35 | 0.175 |
| | | 生物第一性潜在生产力 [g/(m ² · a)] | 0.25 | 0.125 |
| | | 湿地面积变化率(%) | 0.2 | 0.1 |
| | | 植被覆盖度(%) | 0.2 | 0.1 |
| 功能作用指标 | 0.3 | 年径流深(mm) | 0.55 | 0.165 |
| | | 土壤有机质 | 0.3 | 0.09 |
| | | 休闲娱乐(旅游承载力, 人/ km ²) | 0.15 | 0.045 |
| 社会经济指标 | 0.2 | 人均 GDP(美元) | 0.3 | 0.06 |
| | | 人口密度(人/ km ²) | 0.3 | 0.06 |
| | | 人口素质(高中以上文化程度比例, %) | 0.4 | 0.08 |

2 2 4 流域生态健康综合评价

$$E = \sum_{i=1}^n W_i F_i \tag{2}$$

式中： E 为流域生态健康综合评价得分值； F_i 为第 i 个指标的评分值； W_i 为第 i 个指标的权重值； n 为指标数目。满分为 1 分，各评价标准评分范围见表 6^[39]。

表 6 流域生态健康评价分级

Tab 6 Classification of watershed eco-health

| 评价等级 | 健康 | 亚健康 | 中等 | 亚病态 | 病态 |
|------|-------|---------|---------|---------|-------|
| 评分 | > 0.8 | 0.8~0.6 | 0.6~0.4 | 0.4~0.2 | < 0.2 |

2 3 评价结果及分析

评价所涉及的初始数据全部来源于河北省衡水市环境质量报告书（河北省衡水市环境保护局）以及衡水湖自然保护区可持续发展战略研究报告（清华大学公共管理学院）。利用前述评价体系，对衡水湖流域进行生态健康评价，评价结果见表 7。

表 7 衡水湖流域生态健康评价结果

Tab 7 Results of eco-health assessment in Hengshui Lake

| 要素层 | 指标层 | 数据 | 总权重 | 评价等级 | 评分 |
|--------|---|-------|-------|------|-----|
| 生态特征指标 | 水质类别 | III 类 | 0.175 | 中等 | 0.5 |
| | 生物第一性潜在生产力 [$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] | 874.4 | 0.125 | 亚健康 | 0.6 |
| | 湿地面积变化率(%) | 91 | 0.1 | 健康 | 0.8 |
| | 植被覆盖度(%) | 35 | 0.1 | 健康 | 0.8 |
| 功能作用指标 | 年径流深(mm) | 19.1 | 0.165 | 病态 | 0.1 |
| | 土壤有机质 | 0.5 | 0.09 | 中等 | 0.5 |
| | 休闲娱乐(旅游承载力, 人/ km^2) | 30 | 0.045 | 中等 | 0.5 |
| 社会经济指标 | 人均 GDP(美元) | 579.6 | 0.06 | 亚病态 | 0.2 |
| | 人口密度(人/ km^2) | 294 | 0.06 | 亚健康 | 0.6 |
| | 人口素质(高中以上文化程度比例, %) | 13.28 | 0.08 | 亚病态 | 0.2 |

衡水湖流域生态健康评价得分：

$$E = 0.175 \times 0.5 + 0.125 \times 0.6 + 0.1 \times 0.8 + 0.1 \times 0.8 + 0.165 \times 0.1 + 0.09 \times 0.5 + 0.045 \times 0.5 + 0.06 \times 0.2 + 0.06 \times 0.6 + 0.08 \times 0.2 = 0.47$$

衡水湖流域生态健康评价得分值为 0.47，说明衡水湖流域生态系统处于中等或者亚病态。仔细分析，其中年径流深得分最低，主要由于衡水湖自然保护区属温带大陆季风气候，降水量远远小于蒸发量，加上人类数千年的利用开发，特别是解放后的大规模兴修各种水利工程，衡水湖失去了自然的水资源补给。目前，衡水湖的水源主要是引黄河水，尽管衡水湖能够维持蓄水，且黄河水水质基本可以满足要求，但其周边地区气候干旱，目前水资源从总量上极为短缺。这是衡水湖自然保护区面临的一大严峻挑战。衡水湖自然保护区水草丰盛，鱼虾成群，食料充足，为多种水禽提供了理想的休憩、繁殖、生存场所，为多种野生动植物的生存提供了适宜的条件，具有高度的生物多样性和较强的生产力。在同类自然保护区当中，衡水湖自然保护区人口略显稠密，因此农业生产、工业生产、居民生活等对土地资源和生物资源的需求量较大，势必对自然保护区生态环境形成较大压力，导致自然保护区环境承载力有下降趋势。目前，保护区内人均 GDP 较低，人口多从事农业、林业和渔业生产，收入来源较为单一。近十年来，衡水湖湿地地表水水源供给较为稳定，

湿地面积变化不大, 但水库化、池塘化趋势明显, 减弱了保护区自我维持和调节的能力。

3 结论与建议

由于不合理的人为活动, 使得衡水湖流域的水文过程、水质、生物栖息地发生了很大的改变。根据流域特点, 从生态特征指标、功能作用指标和社会经济指标三方面考虑整个流域的生态环境健康, 从流域的年径流深、水质、生物和目前主要的生态问题建立了衡水湖流域生态健康评价指标体系, 运用层次分析法确定了各指标的权重, 计算出生态健康评价得分。依据得分将流域生态健康状况分为 5 级: 健康、亚健康、中等、亚病态、病态。结果表明: 衡水湖流域生态系统健康处于中等或者亚病态。

根据衡水湖流域生态健康评价结果, 对该地区生态保护和可持续发展提出如下建议: 恢复完善的湿地生态功能, 保护生物特别是鸟类多样性, 恢复湿地的水文地质特征, 恢复其丰富的自然生境; 改善环境质量, 水体是湿地类型自然保护区的主体, 要积极保护和改善湖泊水质; 根据南水北调工程规划, 其中线和东线两条引水线均经过衡水湖附近地区, 并且东线还将衡水湖列为其在黄河以北的 5 大调蓄水库, 要充分利用这一历史机遇, 不仅从根本上解决保护区的水源供给问题, 并且借此机会大规模退田还湖, 扩大湿地范围, 借助湿地系统的生产力来谋求跳跃式发展; 恢复植被, 减少对流域内湿地的围垦和破坏; 通过产业结构调整, 以生态旅游为龙头, 带动社会经济及其他相关产业发展, 并且使社区人类经济活动与生态环境协调发展; 提高保护区内人口的受教育程度等。衡水湖自然保护区要进一步抓住国家积极发展生态建设的有关政策机遇, 以及国际社会在湿地保护、生物多样性保护、可持续发展等方面对中国的关注和实施有关援助项目的机遇, 多方筹措资金, 积极谋求发展。这一系列措施, 将促使流域生态系统朝着结构稳定、功能恢复的方向发展, 实现保护区的可持续发展。

流域生态健康及其评价是一个正逐步发展的理论方法体系, 其中存在一些问题。除了流域生态健康的概念之外, 对如何确定合理全面的评价指标体系, 如何在评价中利用 3S 技术, 都有待于进一步探讨。特别就我国国情而言, 应从系统健康的角度进一步深入对流域状态的认识。

致谢: 北京师范大学环境学院李晓文副教授给予数据支持, 特此感谢!

参考文献:

- [1] 马世俊, 王如松. 社会—经济—自然复合生态系统. 生态学报, 1984, 4(1): 1~9
- [2] 罗初跃, 周忠轩, 孙轶, 等. 流域生态系统健康评价方法. 生态学报, 2003, 23(8): 1606~1614
- [3] 吴炳方, 罗治敏. 基于遥感信息的流域生态系统健康评价——以大宁河流域为例. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 102~106
- [4] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. Trends Ecol. Evol., 1998, (13): 397~402
- [5] Meyer J L. Stream health: Incorporating the human dimension to advance stream ecology. Journal of the North American Benthological Society, 1997, (16): 439~447.
- [6] 张祖陆, 辛良杰, 梁春玲. 近 50 年来南四湖湿地水文特征及其生态系统的演化过程分析. 地理研究, 2007, 26(5): 957~966
- [7] 傅国斌, 李克让. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展. 地理研究, 2001, 20(1): 120~128
- [8] Rapport D J. Evolution of indicators of ecosystem health. In: Daniel H (eds.). Ecological Indicators. Barking:

- Elsevier Science Publishers Ltd, 1992 121~ 134
- [9] Robert C. Ecological economic issue and considerations in indicator development, selection, and use: Toward an operational definition of system health. In: Daniel H (eds). *Ecological Indicators*. Barking: Elsevier Science Publishers Ltd, 1992 1491~ 1502
- [10] 刘明华, 董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价. *地理研究*, 2006, 25(5): 930~ 938
- [11] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. *生态学杂志*, 2001, 20(3): 31~ 36
- [12] Borman F H. Ecology: A personal history. *An Review of Energy and Environ* 1996, (21): 1~ 29
- [13] Rapport D J. Ecosystem health: Exploring the territory. *Ecosystem Health*, 1995, 1(1): 5~ 13
- [14] 赵彦伟, 杨志峰. 河流健康: 概念、评价方法与方向. *地理科学*, 2005, 25(1): 119~ 122
- [15] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1191~ 1194
- [16] Kingsford R T. Aerial survey of water birds on wetlands as a measure of river and flood plain health. *Freshwater Biology*, 1999, (41): 425~ 438.
- [17] Kleynhans C J. The development of a fish index to assess the biological integrity of South African rivers. *Water S A*, 1999, (25): 265~ 278
- [18] 日本水道协会. 上水试验法. 东京: 日本水道协会出版社, 1970
- [19] Marsden M W, Smith M R, Sargent R J. Trophic state of rivers in the Forth catchment, Scotland. *Aquat. Cons.*, 1997, (2): 211~ 221.
- [20] Kwadrans J, Eloranta P, Kawecka B, *et al.* Use of benthic diatom communities to evaluate water quality in rivers of southern Poland. *Appl. Phycol.*, 1998, (10): 193~ 201.
- [21] Woodiwiss F S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chem. Ind.*, 1964, (5): 443~ 447.
- [22] Chutter F M. Research on the Rapid Biological Assessment of Water Quality Impacts in Stream and Rivers. WRC Report No422/1/98. Water Research Commission, Pretoria, 1998
- [23] Pavluk T I. Development of an index of trophic completeness for benthic macro-invertebrate communities in flowing waters. *Hydrobiologia*, 2000, (427): 135~ 141.
- [24] 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学——原理与应用. 北京: 科学出版社, 2001
- [25] Roux D J, Van Vliet H R, Van Veelen M. Towards integrated water quality monitoring: Assessment of ecosystem health. *Water S A.*, 1993, 19(4): 275~ 280
- [26] Munkittrick K R, McCarty L S. An integrated approach to aquatic ecosystem health: Top-down, bottom-up or middle-out? *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 1995, 4(2): 77~ 90
- [27] Schaeffer D J and Novak E W. Integrating epidemiology and epizootiology information in ecotoxicology studies. 3. Ecosystem health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1988, 16(3): 232~ 241.
- [28] Rapport D J. State of ecosystem medicine. In: *Contaminant Effects on Fisheries*. New York: John Wiley and Sons, 1984. 315~ 324
- [29] Cairns J Jr, McCormick P V, Niederlehner B R. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia*, 1993, 263(1): 1~ 44
- [30] 龙笛, 张思聪. 滦河流域生态系统健康评价研究. *中国水土保持*, 2006(3): 14~ 17
- [31] 王治良, 王国祥. 洪泽湖湿地生态系统健康评价指标体系探讨. *中国生态农业学报*, 2007, 15(6): 152~ 155
- [32] 王元培. 衡水湖湿地和鸟类自然保护区现状与管理措施探析. *海河水利*, 2004(2): 25~ 26
- [33] 王郑敏, 刘振杰, 刘军. 试论衡水湖湿地生态旅游开发. *中国环境管理干部学院学报*, 2004, 14(3): 52~ 55
- [34] 郑云翔. 衡水湖湿地植物群落初探. *衡水学院学报*, 2005, 7(1): 21~ 25
- [35] 车连常, 王丽. 衡水湖水资源可持续利用研究与实践. *河北水利水电技术*, 2002, (增刊): 83~ 85
- [36] 河北省衡水市环境监测站. 河北省衡水市环境质量报告书. 河北: 河北省衡水市环境保护局, 2006
- [37] 刘振杰. 衡水湖湿地水环境分析及保护对策. *湿地科学与管理*, 2006, 2(2): 41~ 44
- [38] 林木隆, 李向阳, 杨明海. 珠江流域河流健康评价指标体系初探. *人民珠江*, 2006, (4): 1~ 4
- [39] 陈铭, 张树清, 王志强, 等. 基于 GIS 的蛟河流域湿地生态系统健康评价. *农业系统科学与综合研究*, 2006, 22(3): 165~ 168

Watershed eco-health assessment of Hengshui Lake

LI Chunhui^{1,2}, ZHENG Xiaokang^{1,2}, CUI Wei¹, PANG Aiping², YANG Zhifeng¹

(1 Key Lab of Water and Sand Science, Ministry of Education, School of Environment,
Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2 State Key Laboratory of Water Environment Simulation, School of Environment,
Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Ecosystem health assessment is one of the hot issues in current environmental science and ecological research, and watershed-scale ecosystem health assessment is an important development direction. A healthy ecosystem provides a fundamental basis for the realization of regional sustainable development. Using the theory and technique of ecosystem health to evaluate ecosystem health is of significance in theory and practice for environmental management and regional sustainable development. Watershed ecosystem is a social-economic-natural complex ecosystem. Watershed eco-health assessment can help watershed planning, protection, comprehensive management and provide basis for decision-making. This research puts forward history, current condition and research scale of watershed eco-health assessment and summarizes methods of watershed eco-health assessment in the past years both at home and abroad. Indices system of watershed eco-health assessment is set up taking Hengshui Lake Basin as an example. The indices system consists of seven indices in all. The value of the watershed eco-health assessment shows Hengshui Lake Basin is in a condition of moderate or sub-morbidity. Finally, some measures are put forward for eco-health sustainable development in the future. As we further develop the theory of ecosystem health, the quantitative methods, particularly those from the development of 3S technique will contribute to the capacity to analyze and evaluate ecosystem health over large areas. The advanced technique will promote its further development.

Key words: watershed; ecosystem health; assessment; Hengshui Lake