

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.06.014

基于投影寻踪法的衡水湖湿地健康评价

张 浩¹, 郭 勇¹, 缪萍萍², 李文君¹

(1. 海河流域水资源保护局, 天津 300170; 2. 河北省水利水电勘测设计研究院, 天津 300250)

摘要: 根据湿地健康的理论思想, 结合衡水湖湿地实际情况, 构建衡水湖湿地健康评价指标体系。采用基于遗传算法的投影寻踪模型对衡水湖湿地健康状况进行评价, 结果表明衡水湖湿地处于较健康状态。

关键词: 湿地健康; 指标体系; 投影寻踪法; 衡水湖

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2012)06-0062-04

Evaluation of wetland health of Hengshui Lake based on projection pursuit method

ZHANG Hao¹, GUO Yong¹, MIAO Ping-ping², LI Wen-jun¹

(1. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China;

2. Hebei Research Institute of Survey and Design of Water Conservancy and Hydropower, Tianjin 300250, China)

Abstract: According to the theory of wetland health and the actual situation of the Hengshui Lake Wetland, a health evaluation index system for the Hengshui Lake Wetland was constructed. The projection pursuit model based on a genetic algorithm was used to evaluate the health of the Hengshui Lake Wetland. The results show that the Hengshui Lake Wetland was in a relatively healthy state.

Key words: wetland health; index system; projection pursuit method; Hengshui Lake

湿地在狭义上一般被认为是陆地与水域之间的过渡地带; 广义上则包括沼泽、滩涂、低潮时水深不超过 6 m 的浅海区、河流、湖泊、水库、稻田等。湿地具有净化水源、蓄洪防旱、调节气候和维护生物多样性等重要生态功能, 被称为“地球之肾”。湿地是水陆相互作用形成的独特生态系统, 因此湿地的水文条件是湿地属性的决定性因素。湿地水环境是由湿地中的水体、水中溶解物质、悬浮物、水生生物等各环境要素构成的综合系统, 为湿地水生生物生存、繁衍提供了栖息场所。近年来, 湿地水环境退化逐渐成为影响湿地生态安全的主要因素, 开展湿地健康评价, 研究指导湿地保护工作, 对促进湿地资源可持续利用具有重要意义。

我国湿地面积占世界湿地的 10%, 位居亚洲第

1 位, 世界第 4 位。从寒温带到热带、从沿海到内陆、从平原到高原山区都有湿地分布。近年来, 我国学者对湿地健康进行了大量研究。2009 年张良等^[1]分析了洪湖区湿地脆弱性的成因, 并采取定量和定性相结合的方法对洪湖区湿地脆弱性进行评价。2010 年王秀明等^[2]运用模糊综合评价模型对天津滨海新区湿地健康进行了诊断评价。朱智洺等^[3]分析了沿海湿地生态系统健康的相关影响因素, 构建了湿地生态系统健康预警指标体系。2011 年刘晓曼等^[4]设计了一套基于环境一号卫星 CCD 数据的自然保护区生态系统健康评价评价方法、指标体系和技术流程, 同时选择向海湿地自然保护区为示范区对其生态系统健康现状进行了评价。刘艳艳等^[5]全面总结了国内外湿地生态安全评价的

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07209-010), 水利部公益性行业科研专项(201101018)

作者简介: 张浩(1986—), 男, 工程师, 从事水资源保护及管理工作。E-mail: zhangh_hhu@163.com

尺度、指标体系和方法研究进展。

衡水湖俗称“千顷洼”，位于河北省衡水市的冀州市与桃城区之间，北倚桃城区，南靠冀州市区，东经 115°27'50" ~ 115°42'51"，北纬 37°31'40" ~ 37°41'56"，东西向最大宽度 22.28 km，南北向最大长度 18.81 km，海拔在 18 ~ 25 m，控制流域面积 1 654 km²，分布有 5 条汇流河（渠）道，这些河（渠）分别是冀吕渠、冀午渠、冀枣渠、冀南渠、西沙河。此外，衡水湖周边分布着滏阳河、滏阳新河、滏东排河、卫运河、清凉江、滹沱河等行洪河道。

1 湿地健康评价指标体系

湿地健康意味着湿地供水能够得到保障，能够维持湿地生态水位以及正常的水位波动；湿地生态系统能正常发挥功能，能够实现湿地的最佳服务；湿地与周边地区人类活动能够形成良性互动。湿地健康是实现湿地服务功能的基础，是开展湿地保护与管理工作的目的；湿地健康的理论为湿地保护与管理提供新的途径和技术；良好的湿地健康状况是周边地区经济社会可持续发展的重要支撑。笔者根据湿地健康的理论思想，结合衡水湖湿地实际情况，从水资源禀赋、湿地生态环境、人类活动 3 个指标集构建了衡水湖湿地健康评价指标体系（表 1）。

衡水湖地处内陆，属温带大陆性、半湿润半干旱季风气候，是我国湿地贫乏地区的代表性湿地。水资源禀赋中的指标主要反映衡水湖水质、水量的健康程度。衡水湖湿地自然保护区是我国鸟类保护的重要基地，同时对于调节当地气候有重要作用，湿地生态环境中的指标主要反映衡水湖湿地的生态环境以及物种多样性。人类活动中的指标反映了人类活动对于衡水湖湿地的正面影响以及负面影响。

采用的指标值数据来源于文献[6-7]，对于指标标准值的制定采取以下两种方式：对于 DO、COD、BOD₅、TP、TN、COD_{Mn}、NH₃-N、透明度等指标，按照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的标准值划分为 5 个等级；对于其他指标，结合衡水湖历史曾出现过的最大值或最小值，均匀地划分为 5 个等级。

2 投影寻踪评价模型

采用投影寻踪模型^[8-10]对衡水湖湿地健康状况进行评价。其基本算法步骤如下。

2.1 原始数据归一化处理

定义湿地健康评价中各样本各指标值的集合为

$$\{x(i, j) \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p\} \quad (1)$$

式中： $x(i, j)$ 为第 i 个样本的第 j 个指标值； n 为样本的个数； p 指标的个数。

表 1 衡水湖湿地健康评价指标体系

指标集	指标	描述
水资源禀赋	水位	近十年衡水湖湿地年平均水位
	面积	近十年衡水湖湿地平均水面面积
	DO	溶解在水中的分子态氧
	COD	化学需氧量
	BOD ₅	5 日生化需氧量
	TP	水中各种形态磷的总量
	TN	水中各种形态无机和有机氮的总量，包括 NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻ 和 NH ₄ ⁺ 等
湿地生态环境	COD _{Mn}	以高锰酸钾 (KMnO ₄) 为氧化剂，处理水样时所消耗的氧化剂的量
	NH ₃ -N	水中以游离氨 (NH ₃) 和铵离子 (NH ₄ ⁺) 形式存在的氮
	透明度	水体清澈和光线透过的程度
	土壤有机质含量	土壤中各种动植物残体与微生物及其分解合成的有机物质的数量
人类活动	鱼类多样性指数	现状年鱼类种数与历史最高值的比值
	鸟类多样性指数	现状年鸟类种数与历史最高值的比值
	生态需水满足率	近十年平均蓄水量与生态需水比值
人类活动	周边地区森林覆盖率	衡水市 2010 年森林覆盖率
	湿地管理水平	定性指标，评分标准见表 2
	湿地保护法规贯彻力度	定性指标，评分标准见表 2
	环保投入占 GDP 比例	衡水市 2010 年环保投入占 GDP 比重
	湿地受胁迫性	定性指标，评分标准见表 2
	周边地区人口自然增长率	衡水市人口年均增长率

表 2 定性指标评分标准

分值	湿地管理水平	湿地保护法规贯彻力度	湿地受胁迫性
1	没有相关管理机构及人员	没有制定或执行相关法规	过度渔猎、割草、开垦
2	中间状态	有相关法规，但执行不力	中间状态
3	有相关的管理机构，但人员素质低	部分法规得到落实	有适宜的渔猎、割草、开垦
4	中间状态	认真贯彻落实相关法规	中间状态
5	管理机构合理，人员素质高	积极贯彻落实相关法规	无渔猎、割草、开垦现象

对于指标值越大越优的指标采用式(2)进行归一化：

$$\hat{x}(i, j) = \frac{x(i, j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

对于指标值越小越优的指标采用式(3)进行归一化：

$$\hat{x}(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (3)$$

式中： $\hat{x}(i, j)$ 为第 i 个样本的第 j 个指标值归一化后的序列； $x_{\max}(j)$ 为第 j 个指标值的最大值； $x_{\min}(j)$ 为

第 j 个指标值的最小值。

2.2 构建投影指标函数

$$z(i) = \sum_{j=1}^p a(j) \hat{x}(i, j) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$Q(a) = S_z D_z \quad (5)$$

其中:

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - E(z))^2}{n - 1}} \quad (6)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r(i, j)) u(R - r(i, j)) \quad (7)$$

$$r(i, j) = |z(i) - z(j)| \quad (8)$$

式中: $z(i)$ 为投影值; $a(j)$ 为单位向量; $Q(a)$ 为投影指标函数; S_z 为 $z(i)$ 的标准差; D_z 为 $z(i)$ 的局部密度; $E(z)$ 为序列 $z(i)$ 的平均值; R 为局部密度的窗口半径, 根据试验, 一般取 $0.1S_z$; $r(i, j)$ 为样本之间的距离; $u(t)$ 为单位阶跃函数, 当 $t \geq 0$ 时, 其值为 1, 当 $t < 0$ 时, 其函数值为 0。

2.3 优化投影目标函数

当各指标值给定时, 投影指标函数 $Q(a)$ 只随着投影方向的变化而变化, 不同的投影方向反映不同的数据结构特征, 而最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向就是最佳投影方向。因此, 可通过求解投影指标函数的最大化问题来估计最佳投影方向, 继而最大可能揭示高维数据某类特征结构。

$$\max Q(a) = S_z D_z \quad (9)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^p a^2(j) = 1 \\ a(j) \geq 0, j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (10)$$

这是一个以 $a(j)$ 为优化变量的复杂非线性优化问题, 采用遗传算法^[11-12]来解决其高维全局寻优问题。

衡水湖湿地健康指标值归一化成果见表 3, 采用投影寻踪模型对衡水湖湿地健康状况进行评价, 在各个等级区间随机生成了 100 个样本。按照遗传算法优化投影方向, 计算得到最优投影向量及健康等级划分的一维投影值, 结果见表 4。

最优投影方向为:

$$a^* = (0.280, 0.247, 0.233, 0.071, 0.258, 0.041, 0.164, 0.274, 0.228, 0.096, 0.105, 0.153, 0.301, 0.112, 0.153, 0.274, 0.246, 0.275, 0.301, 0.117)$$

表 3 衡水湖湿地健康指标值及归一化成果

指标	指标值	标准值				
		健康	较健康	亚健康	病态	严重病态
水位	0.5360	1.0000	0.6000	0.4000	0.2000	0.0000
面积	0.5700	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
DO	1.0000	0.9516	0.6920	0.5190	0.1730	0.0000
COD	0.7633	1.0000	0.8333	0.6667	0.3333	0.0000
BOD ₅	1.0000	1.0000	0.8750	0.7500	0.5000	0.0000
TP	0.0000	1.0000	0.9803	0.9474	0.8816	0.7500
TN	1.0000	0.9137	0.7614	0.5076	0.2538	0.0000
COD _{Mn}	0.8423	1.0000	0.8462	0.6923	0.3846	0.0000
NH ₃ -N	0.7568	1.0000	0.8108	0.5405	0.2703	0.0000
透明度	0.1250	1.0000	0.5833	0.1667	0.0625	0.0000
土壤有机质含量	0.1250	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
鱼类多样性指数	1.0000	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
鸟类多样性指数	1.0000	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
生态需水满足率	0.9857	1.0000	0.7143	0.4286	0.1429	0.0000
周边地区森林覆盖率	0.1575	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
湿地管理水平	1.0000	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
湿地保护法规贯彻力度	1.0000	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
环保投入占 GDP 比例	0.7500	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
湿地受胁迫性	0.7500	1.0000	0.7500	0.5000	0.2500	0.0000
周边地区人口自然增长率	0.0000	1.0000	0.8051	0.6101	0.4152	0.2203

表 4 衡水湖湿地健康等级划分的一维投影值

评价等级	健康	较健康	亚健康	病态	严重病态
投影区间	≥ 3.904	[2.968, 3.904)	[2.072, 2.968)	[1.078, 2.072)	[0.056, 1.078)

按照 a^* 计算衡水湖湿地健康指标的投影值为 2.969, 健康状态为较健康, 表明衡水湖湿地生态结构均衡, 能够维持自身恢复力和服务功能。湿地管理水平较高, 人类活动对衡水湖湿地的压力在其承载力范围之内。

3 结 语

基于遗传算法的投影寻踪评价模型能将高维数据通过最佳投影方向映射到低维空间, 便于对湿地健康指标体系进行直观的综合评价。笔者对衡水湖湿地健康状况的评价综合考虑了各影响因素特性, 对指标体系进行合理的等级划分, 结果表明衡水湖湿地处于较健康的状态。该评价为衡水湖湿地的管理和保护工作提供了新的思路和科学依据。

在维护衡水湖湿地健康的工作中,应注重以下几个方面。

a. 做好引调水工作,保障衡水湖湿地水量。1994年引黄入冀工程实施以来,衡水湖共引黄河水6.26亿 m^3 ,对于维护湖区正常生产生活用水,改善周边环境起了重要作用。遇到干旱年份时,应适当延长引黄时间,保障衡水湖生态补水。

b. 加大环境治理力度,增加环保资金投入。衡水湖主要污染源是湖内水生植物过度繁殖以及渠道径流的汇入,因此一方面要及时收割湖内水生植物,清除底泥;另一方面要改善入湖水质,尤其要避免引黄水在引黄途中的二次污染。

c. 提高衡水湖管理水平。要对衡水湖湿地进行定期、定点监测,监测项目应涉及水质、水体营养状态、生物多样性等方面,通过及时、准确、详细的资料采集,在今后的可以建立衡水湖湿地健康预警系统。

本文的研究对衡水湖湿地的保护进行了一定的探索,但仍存在不足之处。对于衡水湖健康的评价,由于资料所限,并没有进行分区探讨,在今后的研究中应当进一步完善。

参考文献:

[1] 张良,李姐. 洪湖湿地生态脆弱性研究[J]. 科学技术与工程,2009,19(14):4249-4251.
[2] 王秀明,李洪远,孟伟庆. 基于模糊综合评价模型的天津滨海新区湿地生态系统健康评价[J]. 湿地科学与管理,2010,6(3):19-23.
[3] 朱智洺,冯步云,刘磊. 沿海湿地生态系统健康预警指标体系的设计[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(5):436-441.
[4] 刘晓曼,王桥,孙中平,等. 基于环境一号卫星的自然保护区生态系统健康评价[J]. 中国环境科学,2011,31(5):863-870.

[5] 刘艳艳,吴大放,王朝晖. 湿地生态安全评价研究进展[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(1):69-75.
[6] 衡水市环境监测站. 衡水市环境质量报告书[R]. 衡水:衡水市环境监测站,2011.
[7] 河北省人民政府. 河北省统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2001-2011.
[8] FRIEDMAN J H, TURKEY J W. A projection pursuit algorithm for exploratory data analysis[J]. IEEE Trans on Computer,1974,23(9):881-890.
[9] 赵小勇,崔广柏,付强. 投影寻踪分类模型在小流域治理效益评价中的应用[J]. 水利学报,2007(增刊):436-440.
[10] 陈曜,丁晶,赵永红. 基于投影寻踪原理的四川省洪灾评估[J]. 水利学报,2010,41(2):220-225.
[11] 杨晓华,杨志峰,沈珍瑶. 水资源可再生能力评价的遗传投影寻踪方法[J]. 水科学进展,2004,15(1):73-76.
[12] 封志明,郑海霞,刘宝勤. 基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价[J]. 农业工程学报,2005,21(3):66-70.

(收稿日期:2012-01-30 编辑:徐娟)

(上接第61页)

[6] 刘文军,张鹏,李丽华,等. 新疆艾比湖湖面面积变化分析[J]. 干旱区研究,2010,27(1):64-68.
[7] 武进军,童康玉,罗爱涓. 新疆艾比湖水域面积减小原因与生态环境治理初步探讨[J]. 环境治理,2003(5):29-30.
[8] 王雪. 艾比湖生态环境治理措施[J]. 中国环境管理干部学院学报,2011,21(1):29-31.
[9] 刘永泉,王晓峰,吴颜. 艾比湖水位变化对湖滨湿地盐渍化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(6):108-111.
[10] 王积强. 天然湖泊蒸发量之测算[J]. 干旱区研究,1994,11(2):52-56.
[11] 李遐龄. 艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展研究[J]. 干旱区资源与环境,1997(2):27-36.

(收稿日期:2011-11-23 编辑:彭桃英)

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号:28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊,A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,RCCSE 核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合水科学、水工程、水资源、水环境领域的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

《水利水电科技进展》由邮局发行,邮发代号:28-244,2013年每期定价12元,全年6期共计72元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路1号 河海大学《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码:210098 电话/传真:025-83786335 E-mail:jz@hhu.edu.cn

http://kkb.hhu.edu.cn/web/indexjz.asp? d_id=5