

文章编号: 1006-4710(2014)04-0386-06

博斯腾湖生态系统健康状态与水位关系研究

周孝德¹, 郭梦京¹, 陈勇民², 程圣东¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 新疆环境保护科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 基于熵权的概念, 以干旱区博斯腾湖为研究对象, 通过建立生态系统健康状态评估模型, 采用1993—2012年期间博斯腾湖的水环境监测数据, 分析近20年博斯腾湖的生态系统健康状态。结合水位数据, 探讨了博斯腾湖生态健康状态与水位之间的相关性。研究结果表明: 博斯腾湖水生态系统健康状态整体保持在中等水平, 其生态系统健康状态与水位变化存在着较大的相关性, 两者的Pearson相关系数为0.778。当水位低于1 046.2 m时, 其生态健康状态较差, 而水位超过1 046.8 m时, 生态健康状态较好。

关键词: 博斯腾湖; 生态系统健康; 熵权; 水位

中图分类号: X824 文献标志码: A

Relationship between water level and ecosystem health in Boston Lake

ZHOU Xiaode¹, GUO Mengjing¹, CHEN Yongmin², CHENG Shengdong¹

(1. Faculty of Water Resource and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Xinjiang Environmental Protection Academy of Science, Urumqi 830011, China)

Abstract: With Boston Lake in the arid area as research objective, the assessment model for ecosystem health is established based on the entropy weight concept. Water environment monitoring data of Boston Lake in the years from 1993 to 2012 are adopted to analyze the eco-system health conditions of Boston Lake in the nearly 20 years. In combination with water level data, the correlation between eco-system health conditions in Boston Lake and water level is discussed. The results show that: in general, the ecosystem health conditions of Boston Lake maintain at middle level, and larger correlation exists between the ecosystem health conditions and water level difference, of which Pearson correlation coefficient is 0.778. When water level lower than 1 046.2 m, ecological health conditions are worse, and when water level is more than 1 046.8 m, the health conditions are better.

Key words: Boston Lake; ecosystem health; entropy weight; water level

湖泊是全球环境变化的敏感区, 受环境变化的影响极为复杂, 不同区域的湖泊环境影响具有显著差异^[1-2]。在干旱地区, 湖泊为区域经济生活和生态环境发展提供了有限的且最优价值的水资源。随着全球气候变化和人口压力增大, 湖泊的水文循环受到干扰, 从而导致其生态环境发生变化, 进而影响到区域的发展^[3]。近年来湖泊生态系统健康评估成为国内外学者共同关注的焦点, 针对湖泊生态系统健康的研究也越来越多, 如巢湖^[4]、太湖^[5]、滇池^[6]、鄱阳湖^[7]等, 但多数都集中在湿润地区, 而干旱区内湖泊的相关研究较少。本文在前人研究的基础上^[8-9],

采用熵权的概念对新疆博斯腾湖近20年的生态系统健康状态进行评估, 并结合水位数据, 对其健康状态在水位变化下的动态发展趋势及相关性进行探讨。评估结果可用于博斯腾湖不同时空健康状态的对比, 了解生态系统的演替趋势, 为博斯腾湖生态系统的管理、保护和生态恢复提供依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

博斯腾湖(北纬41°56'~42°14', 东经86°40'~87°26')位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古族自

收稿日期: 2014-10-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2012CB723201); 水利部黄土高原水土流失过程与控制重点实验室开放课题基金资助项目(2014004)。

作者简介: 周孝德, 男, 教授, 博导, 研究方向为环境水力学及生态水力学。E-mail: zhoudx@mail.xaut.edu.cn。

治州境内,属于中生代断陷湖,曾是我国最大的内陆淡水湖(图1)。其水域辽阔,东西长达55 km,南北宽约25 km,形似一把不规则的镰刀,在水位为1 048.5 m时,水面面积为1 210.5 km²,容积为9.0×10⁹ m³,平均水深8 m,最深为17 m。湖盆呈深碟状,中间底平,靠近湖岸水深急剧变浅,总蓄水量8.8 km³,湖泊平均停留时间4.8 a。博斯腾湖流域气候主要受夏季西风带影响,蒸发率高、降水低。湖水地区年平均气温6.3℃,潜在蒸发量高达2 000 mm,年平均降雨量仅为70 mm。

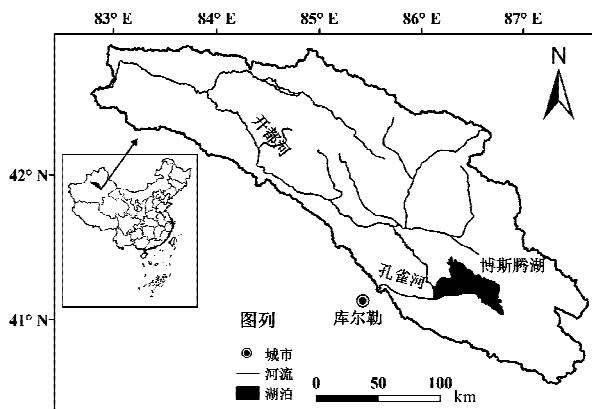


图1 博斯腾地理位置图
Fig. 1 Map of the Boston Lake

1.2 数据来源

本研究采用的数据主要为水质监测数据和水位数据。水质监测数据包括1993—2012年博斯腾湖17个监测点的监测值(见图2)。

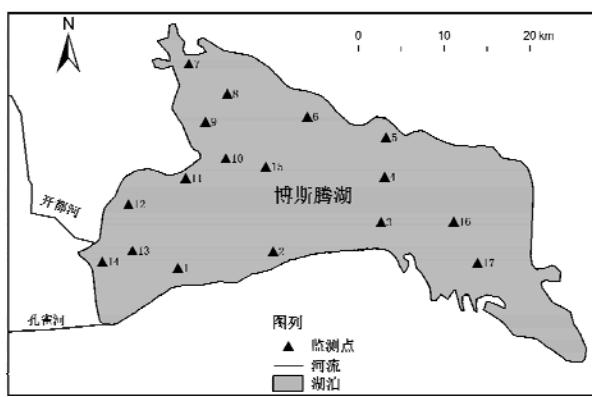


图2 博斯腾湖水质监测点分布图
Fig. 2 The distribution of observed sites in the Boston Lake

其中1993—2008年期间进行了1#~14#监测点的水质监测,2009和2012年又增加了3个监测点。该部分数据由博斯腾湖研究所、巴州环境监测站以及新疆环境保护科学研究院提供。水位数据由新疆塔里木河流域管理局提供。

2 研究方法

2.1 评估指标体系

各国湖泊专家学者相继开展了有关湖泊水生态系统健康评估方面的研究并取得了一定的成果,提出了一系列的指标,主要包括两方面指标:综合性指标和单一性指标^[10]。本文在借鉴相关生态系统健康评估指标体系的基础上,结合博斯腾湖生态的系统组成、结构和功能特征,筛选10项评估指标,主要包含物理化学指标和生态指标,其中物理化学指标包括透明度(SD)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Mn})、氨氮(NH₄-N)、生化需氧量(BOD₅)、总磷(TP)和总氮(TN)七个评估指标。生态指标包括浮游植物数量、浮游动物数量和底栖动物数量三个评估指标。

2.2 权重-熵权法

熵权法是一种客观赋权方法。它利用信息论中熵值的概念反映不同指标中信息无序化的程度,以此来度量某项指标所携带信息的多少,确定其对决策所起作用的大小。按照信息论基本原理的解释,信息是系统有序程度的一个度量,熵是系统无序程度的一个度量;如果指标的信息熵越小,该指标提供的信息量越大,在综合评价中所起作用理当越大,权重就应该越高^[11-12];反之则权重就应该越小。本文利用熵权法来评估博斯腾湖的生态系统健康状态,其具体计算步骤详见文献[13]。

2.3 生态系统健康综合指数

生态系统健康综合指数应当遵循生态系统的规律,在生态系统健康理论的基础上,对建立的评估指标体系,按照从上到下的顺序,逐层对评估指标进行整合,从而得到湖泊生态系统健康综合指数(Ecosystem Health Comprehensive Index, EHCI)^[13-17]。具体计算公式如下:

$$EHCI = \sum_{i=1}^n W_i \times I_i \quad (1)$$

式中,ECI为生态系统健康综合指数,其值在0~1之间,W_i为评估指标在综合评估指标体系中的权重值,其值在0~1之间,I_i为评估指标的归一化值,其值在0~1之间。

2.4 生态健康综合指数分级

综合指数数值大小本身并无形象意义,必须通过对一系列数值大小的意义进行限值界定,这样才能表达其形象的含义。目前关于生态健康综合指数中,评估标准分级的方法并没有一个统一的标准。本文参考国内外相关文献,生态系统健康状态可分

为很好、好、中等、较差、很差五个等级,具体划分详见文献[18]、[19]。

3 结果分析

3.1 指标确定

依据评估指标体系,采用1993—2012年博斯腾湖的水质监测数据,并结合已有的文献资料^[12,17],运用上述的生态系统健康评估方法对历年博斯腾湖

生态系统健康状态进行评估分析。数据资料缺失的年份,对其进行插补处理,以保证数据的完整性。

3.2 熵权法确定指标权重

3.2.1 指标归一化

基于1993—2012年的数据,构建博斯腾湖水生态系统健康评估体系20个样本10个指标的判断矩阵R。同时,对判断矩阵R归一化处理,得到归一化矩阵B及评估指标归一化值,见表1。

表1 博斯腾湖水生态系统健康综合评估指标归一化值

Tab. 1 Index normalized value of water ecosystem health comprehensive assessment of Boston Lake

年份	底栖动物	浮游植物	浮游动物	COD	TP	TN	NH ₄ -N	DO	透明度	BOD ₅
1993	0.0313	0.1456	0.9355	0.1429	0.9796	0.6232	0.5833	0.1365	0.1304	1.0000
1994	0.1696	0.1631	0.8710	0.3286	0.9184	1.0000	0.3750	0.1165	0.2536	0.7129
1995	0.3080	0.2791	0.8387	0.8286	0.8776	0.8841	1.0000	0.2369	0.5362	0.8960
1996	0.4464	0.3556	0.8065	1.0000	1.0000	0.8696	1.0000	0.1807	0.0000	0.3663
1997	0.5848	0.4667	0.7742	0.8357	0.7347	0.0000	0.8542	0.3655	0.2464	0.0000
1998	0.7232	0.6000	0.7097	0.7786	0.7551	0.5362	0.9583	0.3655	0.6159	0.7030
1999	0.8616	0.7111	0.6774	0.0714	0.9184	0.6957	0.8333	0.3896	0.5652	0.3812
2000	1.0000	0.6573	0.6774	0.6214	0.9592	0.5797	0.8333	0.4177	0.2899	0.2475
2001	0.9167	0.7487	1.0000	0.4571	0.7959	0.6957	0.9375	0.3293	0.3986	0.4851
2002	0.8333	0.7333	0.9032	0.9143	0.5510	0.6087	0.3750	0.1968	0.2246	0.7277
2003	0.7500	0.7556	0.7742	0.5714	0.0204	0.6812	0.8167	0.6426	0.3768	0.3515
2004	0.6667	0.8000	0.6774	0.5643	0.5102	0.6087	0.7500	0.2932	0.4420	0.7871
2005	0.5833	0.8222	0.5806	0.1571	0.4490	0.7246	0.6250	1.0000	0.7754	0.4356
2006	0.5000	0.8444	0.4516	0.3357	0.1224	0.5217	0.8333	0.0000	0.9203	0.3515
2007	0.4167	0.8667	0.3548	0.5857	0.6939	0.5797	0.3417	0.2610	0.3188	0.6485
2008	0.3333	0.9111	0.2581	0.5143	0.8163	0.4783	0.0000	0.2169	0.5580	0.4604
2009	0.2500	0.9333	0.1290	0.2500	0.7640	0.7536	0.7083	0.1566	1.0000	0.4406
2010	0.1667	0.9556	0.0645	0.1200	0.6939	0.5797	0.3417	0.1486	0.6377	0.6485
2011	0.0833	0.9111	0.0741	0.1360	0.8163	0.4783	0.0000	0.2008	0.7536	0.4604
2012	0.1043	0.0250	0.0968	0.2540	0.0000	0.7536	0.7083	0.1325	0.6232	0.5248

3.2.2 确定和评估指标的熵 H_i

H_i=

$$\begin{bmatrix} 0.9213 & 0.9578 & 0.9353 & 0.9221 & 0.9296 \\ 0.9759 & 0.9473 & 0.9215 & 0.9459 & 0.9621 \end{bmatrix}$$

3.2.3 计算评估指标熵权 W_i

W_i=

$$\begin{bmatrix} 0.0943 & 0.1044 & 0.0981 & 0.0945 & 0.0966 \\ 0.1094 & 0.1014 & 0.0943 & 0.1011 & 0.1055 \end{bmatrix}$$

3.3 生态健康综合指数计算与分析

将表1中评估指标的归一化值及以上计算的熵权代入式(1)可以得到博斯腾湖所选时间序列的生态系统健康综合指数(见图3)。

由图3可知,博斯腾湖1993—2012年水生态系统综合健康指数呈现波动式递减趋势,表明其水生态健康状态呈下降趋势。

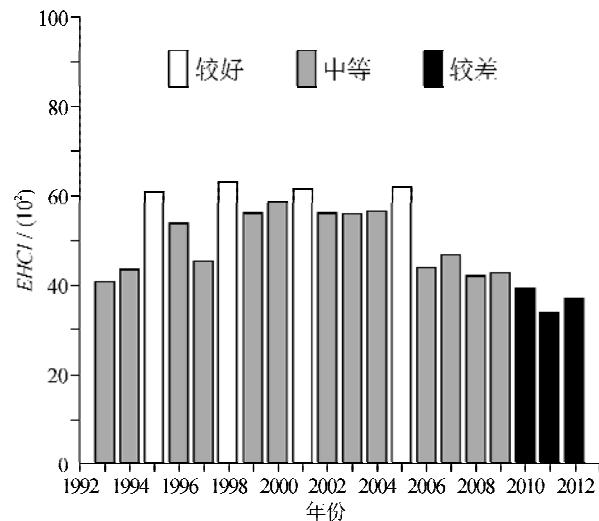


图3 1993—2012年博斯腾湖水生态系统健康状态
Fig. 3 Status of water ecosystem health of the Boston Lake from 1993 to 2012

整体来看,博斯腾湖水生态系统健康状态保持在中等水平,其中1995年、1998年、2001年以及2005年其生态健康状态略好于其它年份,属于较好水平;而2010年、2011年以及2012年生态健康状态低于其它年份,属于较差水平。依据吴敬禄、谢贵娟等人的研究成果^[20 21],博斯腾湖历年水质变化趋势处于III类水质标准,其富营养化状态也保持在中营养水平。本文中生态健康状态计算结果与其水质状况及富营养化水平基本相符,表明本文的计算结果比较可信。

3.4 生态健康状态对湖泊水位变化的响应

3.4.1 生态健康状态与水位的关系

图4为博斯腾湖生态系统健康状态综合指数值与其水位的相关关系。由图可知,当水位升高时综

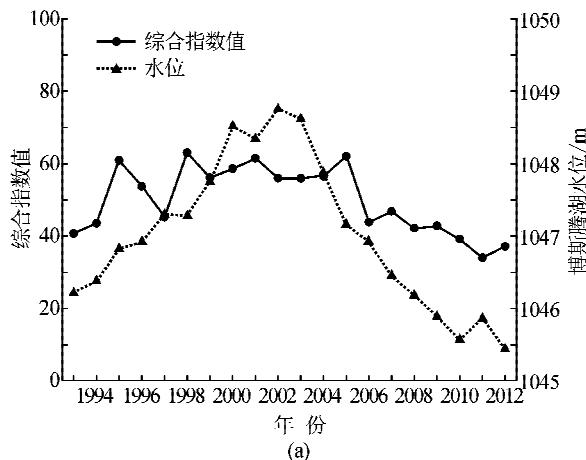


图4 博斯腾湖生态系统健康状态与水位变化趋势及相关关系

Fig. 4 The relationship and change trend between the EHCl and lake level in the Boston Lake

通过计算Pearson相关系数,进一步验证博斯腾湖生态系统健康状态与其水位变化的相关关系见表2。计算结果表明,两者的相关系数为0.778,且在99%置信水平上表现显著。说明博斯腾湖水位变化对其生态系统健康状态有着重要的影响。

表2 博斯腾湖生态健康状态与水位的相关关系

Tab. 2 Pearson correlation coefficients between the EHCl and lake level in the Boston Lake

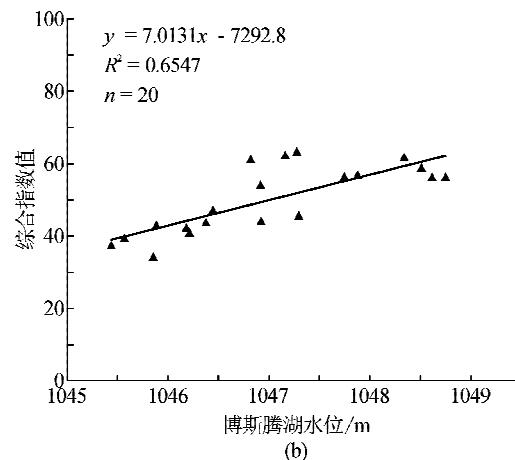
变量	Pearson相关性	生态健康综合指数	水位
生态健康综合指数	1	0.778**	
水位	1		
	显著性(双侧)	0.002	
	显著性(双侧)		

注:**表示在0.01水平(双侧)上显著相关。

3.4.2 生态健康状态变化的原因分析

湖泊水位的波动,使得水体的物理化学性质也

合指数随之增大,博斯腾湖生态系统健康状态较好;当水位下降时综合指数也随之减少,其生态系统健康状态较差。从近20年的变化过程来看,其生态系统健康状态可分为三个阶段:上升阶段(1993—1999年),稳定阶段(2000—2005年),下降阶段(2006—2012年)。其中1993—1999年湖泊水位从1046.2 m上升到1047.7 m,综合指数也迅速增长,其值从40上升至63。而2000—2005年水位持续升高,但其综合指数相对比较稳定不随水位的升高而增长。在2006—2012年期间,水位迅速下降影响了湖体的水环境质量,从而导致其生态系统健康状态逐渐下降。总体来看,当水位低于1046.2 m时,其生态健康状态较差,而水位超过1046.8 m时,生态健康状态较好。



随之发生变化,从而导致其生态系统结构变化。近年来由于全球气候变暖,博斯腾湖流域气温显著升高(见图5),冰川融雪快速消融,河流随之进入丰水期,使得入湖淡水量大幅增加。

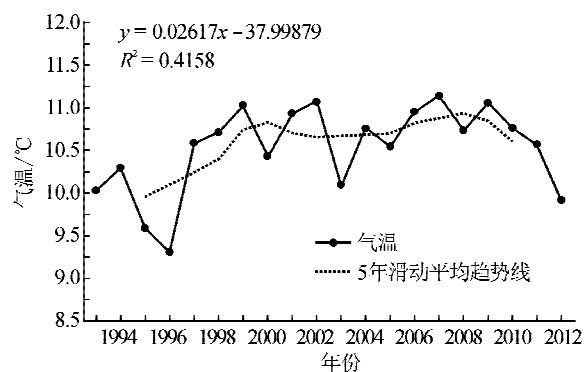


图5 博斯腾湖1993—2012年平均气温变化趋势

Fig. 5 The change trend of temperature of the Boston Lake from 1993 to 2012

1993—1999年期间由于湖泊蓄水量增大、水位

上升,湖体的水环境质量得到改善,其生态系统健康状态也随之转好^[20]。在2002年湖泊水位达到历史最高,湖泊水量为 $7.420 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。而2000—2005年湖泊综合指数相对比较稳定,不随水位的升高而增大。其原因可能是大量的入湖淡水虽然改善了水体中化学需氧量、氨氮等物理化学指标,但是较高的水位影响了水生生物的繁殖和生长,导致浮游植物数量、底栖动物数量等生态指标的降低,影响总体评估结果^[21],使得综合指数相对比较稳定。在2006—2012年期间,博斯腾湖生态系统健康状态逐渐下降。可能是由于2005年后随着气温再次升高,一些中小冰川由于前期的消融而逐渐消失,使得湖泊水量出现快速下降(2012年湖泊水量约为 $5.36 \times 10^9 \text{ m}^3$),促使湖泊水环境恶化,影响了博斯腾湖生态系统健康状态。

此外,人类活动造成大量的污染物排泄量对湖泊水环境也造成了一定的影响。据统计^[20-21],每年大约有 $2.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 的超标工业废水和生活污水,以及 $4.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的农田排水直接或间接地排入博斯腾湖,引起了湖泊水体污染和富营养化,加剧了湖水水质的恶化,对博斯腾湖的生态环境造成双重压力。因此,博斯腾湖生态系统健康状态的变化是区域气候和人类活动共同影响的结果。

4 结语

综上分析博斯腾湖水生态系统健康状态整体保持在中等水平,并且其水位变化对生态系统健康状态有着重要的影响,两者的Pearson相关系数为0.778,且在99%置信水平上表现显著。博斯腾湖生态系统健康状态的变化是区域气候和人类活动共同影响的结果。此外,在实际评估过程中,由于数据不全、数据缺少时间序列以及标准值缺失等问题,对评估结果存在一定的影响。本文中底栖动物及浮游动植物数据,历史资料欠缺完整,因此对其进行插补或赋予数学期望值。在评估结果中,单点数据差异对权重影响不显著,主要数据的波动对指标权重有一定影响,从而干扰到评估结果的整体水平。补齐后的底栖生物及浮游动植物数据变化相对比较平稳,故对评估结果的影响较小。

参考文献:

- [1] 秦伯强. 气候变化对内陆湖泊影响分析[J]. 地理科学, 1993, 13(3): 212-219.
Qin Boqiang. Analysis of the influence of climatic change on inland lakes[J]. Scientia Geographica Sinica, 1993, 13(3): 212-219.
- [2] 胡安焱. 流域气候变化和人类活动对内陆湖泊影响的分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 1-5.
Hu Anyan. Analysis on the influence of climate change and the human activities on inland lake[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(5): 1-5.
- [3] 加帕尔·买合皮尔. 亚洲中部湖泊水生态学概论[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1996.
- [4] Chen Minghui, Zhang Chen, Hu Yan, et al. Ecosystem health and comprehensive ecological benefit assessment of an artificial wetland in western Jilin Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, (9): 73-76.
- [5] 余波, 黄成敏, 陈林, 等. 基于熵权的巢湖水生态健康模糊综合评价[J]. 四川环境, 2010, 29(6): 85-91.
Yu Bo, Huang Chengmin, Chen Lin, et al. Fuzzy synthetic assessment on ecosystem health of Chaohu lake water based on entropy weight[J]. Sichuan Environment, 2010, 29(6): 85-91.
- [6] 冯宁, 毛峰, 李晓阳, 等. 滇池生态安全综合评估研究[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 282-286.
Feng Ning, Mao Feng, Li Xiaoyang, et al. Research on ecological security assessment of Dianchi lake[J]. Environmental Science, 2010, 31(2): 282-286.
- [7] 游文荪, 丁惠君, 许新发. 鄱阳湖水生态安全现状评价与趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(12): 1173-1180.
You Wensun, Ding Huijun, Xu Xinfu. Study on status evaluation and trend of water ecosystem security in Poyang lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(12): 1173-1180.
- [8] 朱建刚, 余新晓, 甘敬, 等. 生态系统健康研究的一些基本问题探讨[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 98-105.
Zhu Jiangang, Yu Xinxiao, Ganjing, et al. Major issues in ecosystem health research[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(1): 98-105.
- [9] 彭建, 王仰麟, 吴健生, 等. 区域生态系统健康评价-研究方法与进展[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4877-4874.
Peng Jian, Wang Yanglin, Wu Jiansheng, et al. Evaluation for regional ecosystem health: methodology and research progress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4877-4874.
- [10] 张艳会, 杨桂山, 万荣荣. 湖泊水生态系统健康评价指标研究[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1306-1315.
Zhang Yanhui, Yang Guishan, Wan Rongrong. Ecosystem health assessment indicators for lakes[J]. Resources Science, 2014, 36(6): 1306-1315.
- [11] 谭志卫, 董云仙, 赵润. 程海流域陆生生态系统健康评价[J]. 环境科学导刊, 2014, 33(3): 13-17.

- Tan Zhiwei, Dong Yunxian, Zhao Run. Terrestrial ecosystem health assessment in the Chenghai lake basin [J]. Environmental Science Survey, 2014, 33(3):13-17.
- [12] 冯丽红. 乌梁素海生态健康评估[D]. 呼和浩特:内蒙古大学, 2011.
- Fenglihong. Assessment of ecological health of wulansuhai lake[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2011.
- [13] 马玉艳, 闫启伦, 王真良, 等. 基于熵权的浮游动物群落生态健康模糊综合评价[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(A02): 28-34.
- Ma Yuyan, Yan Qilun, Wang Zhcnliang, et al. Fuzzy synthetc assessm ent on zooplankton comm unity health with entropy weight[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(A02): 28-34.
- [14] 刘登峰, 田富强, 黄强, 等. 流域生态水文系统的动力学特性初步分析[J]. 西安理工大学学报, 2013, 29(4): 379-385.
- Liu Dengfeng, Tian Fuqiang, Huang Qiang, et al. Analysis of the dynamics of ecohydrological system in the river basin[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2013, 29(4):379-385.
- [15] 刘永, 郭怀成, 戴永立, 等. 湖泊生态系统健康评估方法研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(4): 723-729.
- Liu Yong, Guo Huacheng, Dai Yongli, et al. An assessing approach for lake ecosystem health[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24(4): 723-729.
- [16] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价:方法与方向[J]. 生态学报, 2001, 12:2106-2116.
- Ma Keming, Kong Hongmei, Guan Wenbin, et al. Ecosystem health assessment: methods and directions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 12:2106-2116.
- [17] 汪妮, 方正, 解建仓. 改进的熵权法在再生水资源价值评价中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2012, 28(4): 416-420.
- Wang Ni, Fang Zheng, Xie Jianchang. Application of improved entropy weight method to reclaimed water value assessment[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012, 28(4):416-420.
- [18] 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 zhenyan, Xu fuliu, Zhan wei, et al. A quantitative method for assessing lake ecosystem health[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1466-1474.
- [19] 邵磊, 周孝德, 杨方廷, 等. 基于主成分分析和熵权法的水资源承载能力及其演变趋势评价方法[J]. 西安理工大学学报, 2010, 26(2):170-176.
- Shao Lei, Zhou Xiaode, Yang Fangting, et al. Research on water resources carrying capacity and evaluation method of evolution tendency based on principal components analysis and entropy weight method[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2010, 26 (2):170-176.
- [20] 吴敬禄, 马龙, 曾海鳌. 新疆博斯腾湖水质水量及其演化特征分析[J]. 地理科学, 2013, 33(2):231-237.
- Wu Jinglu, Ma Long, Zeng Haiao. Water quality and quantity characteristics and its evolution in Bosten Lake, Xinjiang over the past 50 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2):231-237.
- [21] 谢贵娟, 张建平, 汤祥明, 等. 博斯腾湖水质现状(2010-2011年)及近50年来演变趋势[J]. 湖泊科学, 2011, 23(6):837-846.
- Xie Guijuan, Zhang Jianping, Tang Xiangming, et al. Spatio-temporal heterogeneity of water quality (2010-2011) and succession patterns in Bosten Lake during the past 50 years [J]. Journal of Lake Sciences , 2011, 23(6):837-846.

(责任编辑 杨小丽)