

博斯腾湖大湖湖区近 20 年生态健康状况评价

巴雅尔^{1*}, 郭家盛², 卢少勇^{2**}, 许秋瑾², 胡小贞² (1.新疆巴音郭楞蒙古自治州博斯腾湖研究所, 新疆 库尔勒 841000; 2.中国环境科学研究院, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 湖泊环境研究中心, 湖泊工程技术中心, 北京 100012)

摘要: 为支撑博斯腾湖未来保护工作, 需认知博斯腾湖近 20 年的生态健康状况, 在对博斯腾湖大湖湖区水质状况调查基础上, 适当选取系统评价指标, 以 1991 年水质指标为本底值, 运用熵权法建立湖泊生态健康评价模型, 计算生态系统健康综合指数, 并对博斯腾湖大湖湖区近 20 年来的健康状况进行评价。结果表明, 1997、1998 及 2005 年的水体综合状况略好于其他年份, 属较好水平; 而 1992、1993、2003 及 2008 年的水体综合状况则低于其他年份, 属较差水平。

关键词: 博斯腾湖; 熵权; 生态健康评价; 生态系统健康综合指数(EHCI)

中图分类号: X820 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)03-0503-05

Assessing ecological health of open water region from Bostenhu Lake during last 20 years. BA Ya-er^{1*}, GUO Jia-sheng², LU Shao-yong^{2**}, XU Qiu-jin², HU Xiao-zhen² (1.Bosten Lake Science Research Institute of Bayangol Mongol Autonomous Prefecture, Kuerle 841000, China; 2.Engineering and Technology Centre of Lake, Research Centre of Lake Environment, State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China). *China Environmental Science*, 2013,33(3): 503~507

Abstract: In order to provide basic insistence for the protection of Bostenhu Lake, it is necessary to know the status of ecological health of this lake. From the investigation of water quality in the Open Water Region of Bostenhu Lake, several different indices of ecological health were selected and a synthetic assessment model based on entropy weight was established. Water quality data of Bosten Lake in 1991 was selected as background values. The health of the Open Water Region of Bostenhu Lake during recent 20 years was assessed by the model and the ecological health comprehensive index (EHCI). The results showed that the water health states in 1997, 1998 and 2005 were better than the other years. In contrast, the states in 1992, 1993, 2003 and 2008 were worse.

Key words: Bostenhu Lake; entropy weight; ecological health synthetic assessment; ecological health comprehensive index (EHCI)

我国七大水系总体为轻度污染, 湖泊(水库)富营养化问题突出。26 个国控重点湖泊(水库)中, 满足 II 类水质的湖库 1 个; III 类水质的湖库 5 个; IV 类水质的湖库 4 个; V 类水质的湖库 6 个; 劣 V 类水质的湖库 10 个。营养状态为重度富营养的湖库 1 个; 中度富营养的湖库 2 个; 轻度富营养的湖库 11 个; 其他湖库均为中营养。监测的 9 个重点国控大型淡水湖泊中, 镜泊湖、洱海和博斯腾湖为 III 类水质、处于中营养状态, 大型淡水湖泊的主要污染指标为总氮、总磷和高锰酸盐指数^[1]。

Schaeffer 等^[2]1988 年首次提出生态系统健

康概念。之后 Rapport 等^[3]指出生态系统健康至少有两方面内涵: 满足人类社会合理需求的能力和生态系统自维持与更新(包括维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复)的能力^[3-5]。国内外对于湖泊生态健康的关注较多, 在《北京城市总体规划(2004~2020)》^[6]中, 提出确保生态健康和生态安全作为生态环境发展的战略目标, 并指出水

收稿日期: 2012-07-06

基金项目: 干旱地区内陆大型湖泊生态健康监测评估体系研究 (200909048-03)

* 责任作者, 副研究员, byrt@163.com; ** 研究员, lushy2000@163.com

生态系统的安全是湖泊生态安全的基础。

博斯腾湖(86°26′~87°40′E,41°56′~42°14′N)位于新疆巴音郭楞蒙古自治州焉耆盆地东南,是我国第一大内陆淡水湖.其由大湖、小湖、苇沼3部分组成,水域面积现约 1300km²,集水面积约 4.4×10⁴km²,大湖区湖长 61km,均宽 16km,平均水面 990km²,平均水深 7.38m,最大水深 16m,周长约 220km;水位高程 1048.0m 时,水域面积 1150km²,容积 88×10⁸m³,小湖群有小湖 15 个,多分布于大湖西南苇沼,水面面积共 30~40km²,水深 2~4m,水容积共约 1.2×10⁸m³.苇沼主要在大湖西南北部约 350km²[7].

博斯腾湖是开都河的尾间,孔雀河的源头,兼有开都河来水的水资源调控、孔雀河流域农田灌溉、工业及城乡生活用水、流域环境保护和向塔里木河中下游紧急调水等功能,对焉耆盆地和库尔勒市及尉犁县生产生活起重要作用[8-10].

因此,本研究通过水环境质量评价(用一定数理方法与手段,定量分析某水环境区的环境要素)博斯腾湖大湖区区域水环境质量发展趋势及其变化规律,为该区环境污染控制规划及环境系统工程方案制定提供依据,供相关研究者参考.

1 材料与方法

1.1 水生态系统健康评估指标选取

水生态系统健康状况包含,水体的水环境状态及生态系统状态.因此,湖泊水生态系统评价指标主要包括湖内环境要素状态指标和湖泊生态系统结构、功能及整体系统特性的生态指标.

参考巢湖水生态健康评估模型[11-12],并结合博斯腾湖特征用生态系统健康结构和功能指标体系评估法,建立由物理-化学、生态指标体系组成的综合评估体系,基于熵权法得出湖泊水生态系统健康综合指数(EHCI),生态系统健康指数法可用于同一湖不同时空及不同湖之间健康状态定量评比,综合评估湖泊的水生健康状态[13-18].

博斯腾湖水生态系统健康综合评估指标体系中,透明度(SD)、溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Mn})、总氮(TN)、氨氮

(NH₃-N)、总磷(TP)和矿化度等构成物理化学指标体系;浮游植物数量、浮游动物生物量、底栖动物数量、浮游植物物种多样性、浮游植物叶绿素-a(Chl-a)、细菌总数等构成生态指标体系.

1.2 评估指标的权重计算

用客观赋权法中的熵值法,客观条件下由评估指标值构成的判断矩阵确定指标权重,尽量消除各因素权重主观性,更符合实际.具体过程如下[19-20].

(1)构建 n 个样本 m 个评估指标的判断矩阵;

(2)将判断矩阵归一化处理: $B=(X_{ij};n \times m)$;

其中,评估指标常分为越大越优、越小越优两类,各类指标对优的相对隶属度计算公式为:

越大越优型:

$$r_{ij}=(x_{ij}-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min}) \quad (1)$$

越小越优型:

$$r_{ij}=(x_{\max}-x_{ij})/(x_{\max}-x_{\min}) \quad (2)$$

式中: $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 分别为同指标下不同样本中最满意或最不满意者;

(3)据式(1)、(2)可将评估指标特征值矩阵转换为其对优的相对隶属度矩阵: $R=(r_{ij})$

式中: r_{ij} 为特征值对优的相对隶属度;

(4)据熵的定义, n 个样本 m 个评估指标,可确定评估指标的熵:

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \left[\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right] \quad (3)$$

$$f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij}} \quad (4)$$

其中 $0 \leq H_i \leq 1$,为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,假定 $f_{ij} = 0, f_{ij} \ln f_{ij} = 0, i=1, 2 \cdots m; j=1, 2 \cdots n$;

(5)计算评估指标的熵权:

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (5)$$

(6)计算湖泊生态系统熵权综合健康指数[21]:

$$EHCI = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (6)$$

其中: I_i 代表生态健康评价指标对各级健康标准的隶属度矩阵.

评价中指标权重是经熵权法算得.博斯腾湖

水体矿化度较其他淡水湖明显高,对此类湖泊的综合评价,确应考虑矿化度及其权重.但该评价方法以水生态系统自身某阶段的状态为本底值,其健康程度是相对自身变化而言的.博斯腾湖水体矿化度较高是其自身特征,是相对于一般淡水湖而言,不能一概将矿化度较高视为不健康状态.本研究中指标权重受其相对于本底值的变化及波动程度的影响,指标波动较剧烈则认为对整体水平影响较大,体现在其较高权重分配上.如博斯腾湖中矿化度一直保持相对稳定且较接近本底值,则即使其浓度较高也不会有较高权重值.

1.3 生态系统健康综合指数分级

生态系统健康综合指数(EHCI×100)共分五个等级,每隔 20 为一级:很好(80~100)、较好(60~80)、中等(40~60)、较差(20~40)、很差(0~20).

2 评估结果及分析

2.1 指标的确定

选取 1991~2010 年间博斯腾湖部分水质数据,以 1991 年数据为本底,用上述方法评估该湖生态系统健康状况.因历史数据欠完整,本评估只取 8 项物理化学指标运算,详见表 1.

表 1 博斯腾湖水生态系统健康综合评估指标体系

Table 1 Index system of water ecosystem health comprehensive assessment of Bostenhu Lake

年份	矿化度(g/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TP(mg/L)	TN(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	DO(mg/L)	透明度(cm)	BOD ₅ (mg/L)
1991	1.68	6.29	0.02	0.78	0.13	7.76	2.90	0.50
1992	1.52	5.58	0.02	0.82	0.19	7.13	1.60	0.90
1993	1.59	5.44	0.02	0.86	0.17	7.05	1.90	1.00
1994	1.52	5.18	0.02	0.73	0.11	7.00	2.00	0.80
1995	1.46	4.48	0.01	0.78	0.13	7.30	2.50	0.90
1996	1.39	4.24	0.01	0.77	0.11	7.16	1.70	2.65
1997	1.29	4.47	0.01	0.65	0.05	7.62	2.15	1.33
1998	1.21	4.55	0.01	0.78	0.01	7.62	2.78	1.01
1999	1.18	5.54	0.01	0.67	0.01	6.81	2.47	2.90
2000	1.00	4.77	0.01	0.68	0.45	7.75	1.86	2.41
2001	1.00	5.00	0.02	0.89	0.02	7.53	2.43	1.39
2002	1.13	4.36	0.01	0.84	0.05	7.20	1.43	2.04
2003	2.28	4.84	0.01	0.93	0.05	8.31	1.20	2.31
2004	1.79	4.85	0.02	0.84	0.03	8.44	1.20	1.82
2005	1.54	5.42	0.03	0.95	0.14	9.20	2.59	6.99
2006	1.84	5.17	0.06	0.85	0.05	6.71	3.08	2.08
2007	1.96	4.82	0.03	0.68	0.05	7.36	2.14	1.33
2008	1.92	4.92	0.02	0.83	0.09	7.25	1.46	1.85
2010	1.55	5.87	0.01	0.82	0.16	7.08	2.76	1.60

2.2 熵权法计算各指标权重

(1) 基于表 1 中数据,构建博斯腾湖水生态系统健康评估体系 19 个样本 8 个指标的判断矩阵 **R**.

(2) 归一化处理判断矩阵 **R**,得到归一化判断矩阵 **B** 及评估指标归一化值(表 2).

(3) 确定各评估指标的熵 H_i :

0.9773

0.9602

0.9966

0.9606

0.9966

0.9284

0.9377

0.9972

(4) 计算评估指标的熵权 W_i :

0.0924

0.1623

0.0137

0.1604

0.0140

0.2917

0.2540

0.0114

2.3 综合健康指数

将以上计算的评估指标归一化值及其熵权代入式(6),可得博斯腾湖所选时间序列的生态系统熵权综合健康指数,详见图 1.

由上述模型计算可知,博斯腾湖大湖区水质自 1991 年来总体上保持在中等水平.水体综合状况:1997、1998 及 2005 年略好于其他年份,属较好水平;而 1992、1993、2003 及 2008 年低于其

他年份,属较差水平.总体上,自 1991 年以来,尤其是 1997 年以来,博斯腾湖的生态系统综合健康指数总体上为递降趋势,表明其生态系统健康状况呈整体下降趋势.这是因为近些年来,博斯腾湖流域的社会经济的发展,污染物排放量增加,流域生态状况受一定程度的破坏,对博斯腾湖的生态系统结构和功能有较大的影响,湿地面积由 1958 年的 558.4km² 下降到约 300km².芦苇大量减产^[22].

表 2 博斯腾湖水生态系统健康综合评估指标归一化值
Table 2 Index normalized value of water ecosystem health comprehensive assessment of Bostenhu Lake

年份	矿化度	COD _{Mn}	TP	TN	NH ₃ -N	DO	透明度	BOD ₅
1991	0.0398	0.0000	0.0505	0.0553	0.0466	0.0662	0.0893	0.0627
1992	0.0504	0.0299	0.0465	0.0423	0.0378	0.0265	0.0210	0.0588
1993	0.0458	0.0358	0.0531	0.0293	0.0407	0.0214	0.0368	0.0579
1994	0.0504	0.0468	0.0478	0.0715	0.0495	0.0183	0.0420	0.0598
1995	0.0544	0.0763	0.0571	0.0553	0.0466	0.0372	0.0683	0.0588
1996	0.0590	0.0862	0.0640	0.0581	0.0491	0.0281	0.0263	0.0420
1997	0.0657	0.0768	0.0590	0.0966	0.0584	0.0571	0.0497	0.0547
1998	0.0711	0.0732	0.0564	0.0548	0.0646	0.0576	0.0830	0.0578
1999	0.0730	0.0318	0.0653	0.0918	0.0646	0.0060	0.0667	0.0396
2000	0.0849	0.0642	0.0578	0.0863	0.0003	0.0659	0.0345	0.0443
2001	0.0849	0.0543	0.0440	0.0182	0.0625	0.0519	0.0646	0.0541
2002	0.0764	0.0814	0.0589	0.0367	0.0581	0.0312	0.0120	0.0478
2003	0.0000	0.0609	0.0609	0.0069	0.0577	0.1008	0.0000	0.0452
2004	0.0323	0.0608	0.0499	0.0362	0.0618	0.1094	0.0000	0.0499
2005	0.0494	0.0367	0.0346	0.0000	0.0450	0.1572	0.0732	0.0000
2006	0.0291	0.0474	0.0007	0.0338	0.0576	0.0001	0.0986	0.0475
2007	0.0213	0.0621	0.0354	0.0890	0.0582	0.0412	0.0494	0.0547
2008	0.0239	0.0577	0.0476	0.0392	0.0520	0.0342	0.0137	0.0496
2010	0.0482	0.0179	0.0601	0.0433	0.0424	0.0236	0.0818	0.0521

矩阵 $B=$

0.469	0.000	0.776	0.567	0.727	0.422	0.904	1.000
0.594	0.346	0.714	0.433	0.591	0.169	0.213	0.938
0.539	0.415	0.816	0.300	0.636	0.137	0.372	0.923
0.594	0.541	0.735	0.733	0.773	0.116	0.426	0.954
0.641	0.883	0.878	0.567	0.727	0.237	0.691	0.938
0.694	0.998	0.984	0.596	0.767	0.179	0.266	0.669
0.773	0.889	0.907	0.990	0.912	0.364	0.503	0.872
0.836	0.847	0.866	0.562	1.009	0.367	0.840	0.921
0.860	0.368	1.003	0.940	1.009	0.038	0.676	0.631
1.000	0.743	0.888	0.885	0.005	0.419	0.350	0.706
1.000	0.628	0.676	0.187	0.976	0.331	0.653	0.863
0.899	0.942	0.905	0.376	0.908	0.198	0.122	0.763
0.000	0.705	0.935	0.070	0.901	0.642	0.000	0.721
0.380	0.703	0.766	0.371	0.966	0.697	0.000	0.796
0.582	0.424	0.532	0.000	0.703	1.001	0.741	0.000
0.342	0.548	0.010	0.347	0.900	0.001	0.998	0.757
0.251	0.718	0.543	0.912	0.909	0.262	0.500	0.872
0.281	0.668	0.731	0.402	0.812	0.218	0.138	0.792
0.568	0.207	0.923	0.443	0.663	0.150	0.828	0.831

用熵权综合健康指数法评估博斯腾湖生态

系统健康有较好可靠性和实用性^[13].

在本评价中,各指标权重赋予是经熵权法算出.博斯腾湖水矿化度明显高于其他淡水湖,对此类湖的综合评价,应增加矿化度指标及其权重.但该评价法以水生态系统自身某阶段时的状态为本底,其健康程度是相对于自身变化而言.本法中指标权重值受其相对于本底值的变幅影响,指标波动较剧烈则对整体水平影响较大,体现在其较高权重上.某指标权重是由该组数据总体变幅影响而非某一数值点决定.熵权法在考虑数据与本底值水平差异时考虑数据总体波动性,故指标权重由这两方面决定,单点差异对权重影响不够显著.若博斯腾湖中矿化度一直相对稳定且较接近本底,则即使其浓度较高也不会有高权重.故不能因其矿化度相对一般淡水湖较高就认为其不健康,应以自身水平为参照基础和标准.

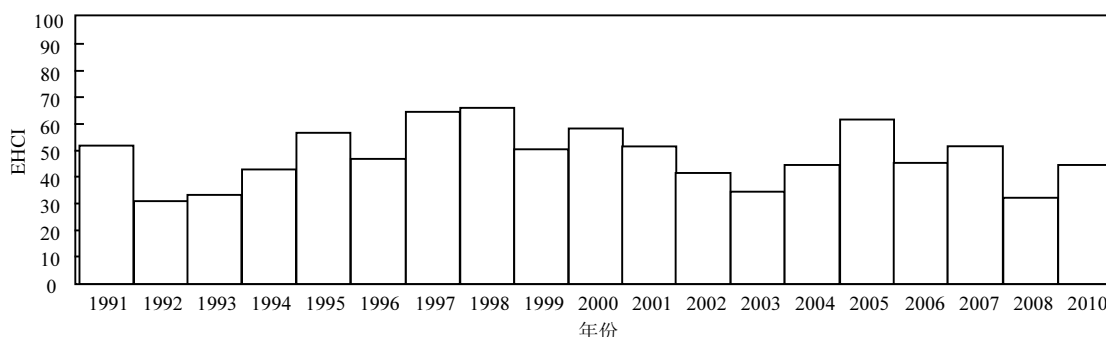


图 1 1991~2010 年博斯腾湖水生态系统健康状况

Fig.1 Status of water ecosystem health of Bostenhu Lake

3 结论

通过生态健康评估方法评估并客观反映了博斯腾湖近 20 年的水生态系统健康状况及变化趋势。虽然博斯腾湖的矿化物较高,易于让研究者认为其不健康,本研究表明,在充分考虑本湖矿化度变幅的情况下,由模型计算可知,该湖大湖区水质自 1991 年来总体上保持中等水平。就水体综合状况而言,1997、1998 及 2005 年属较好水平,而 1992、1993、2003 及 2008 年属较差水平。

参考文献:

- [1] 环境保护部. 中国环境状况公报 [R]. 2010.
- [2] Schaeffer D J, Novak E W. Integrating epidemiology and epizootiology information in ecotoxicology studies: Ecosystem health [J]. Ecotoxicol. Environ. Safety, 1988,16(3):232-241.
- [3] Rapport D J, Whitford W G. How ecosystems respond to stress: Common properties of arid and aquatic system [J]. BioScience, 1989,49:193-203.
- [4] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health [J]. Trends in Ecology and Evolution, 1998,13:397-402.
- [5] Rapport D J, Bohn G, Buckingham D, et al. Ecosystem health: the concept, the ISEH, and the important tasks ahead [J]. Ecosystem Health, 1999,5:82-90.
- [6] 北京市人民政府. 《北京城市总体规划(2004-2020)》[R]. 2005.
- [7] 黄俊梅. 新疆环博斯腾湖地区生态安全评价及其维护对策研究 [D]. 杨 凌:西北农林科技大学, 2006.
- [8] 王鹤亭. 论新疆博斯腾湖扬水站在博湖水资源的保护和综合利用中的关键作用——呼吁抢救面临盐化威胁的我国最大的内陆淡水湖博斯腾湖 [M]. 北京:国防工业出版社, 1998:80-81.
- [9] 邵 民, 诚夏军, 左其亨. 博斯腾湖水资源可持续利用——理论方法实践 [M]. 北京:科学出版社, 2003:20-27.
- [10] 张天柱. 水污染物排放总量控制管理的经济原则 [J]. 环境科

学, 1990,6(1):2-6.

- [11] 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,(6):85-91.
- [12] 中国环境科学研究院. 2007 年巢湖生态安全评估报告 [R]. 北京, 2008.
- [13] 周孝德, 冯成洪, 张仙娥. 博斯腾湖富营养化综合加权指数评价 [C]//中国水利学会 2003 学术年会论文集, 深圳, 2003.
- [14] Xu F L, Zhao Z Y, Zhan W, et al. An ecosystem health index methodology (EHIM) for lake ecosystem health assessment [J]. Ecological Modeling, 2005,188(2-4):327-339.
- [15] Xu F L. Ecosystem health assessment for Lake Chao, a shallow eutrophic Chinese lake [J]. Lakes and Reservoirs: Research and Management, 1996,2(1/2):101-109.
- [16] Xu F L, Tao S, Dawson R W, et al. 2001. Lake ecosystem health assessment: indicators and methods [J]. Water Research, 35(13): 3157-3167.
- [17] 玉 艳, 闫启仑, 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(增刊 2):28-34.
- [18] 许文杰, 许士国. 湖泊生态系统健康评价的熵权综合健康指数法 [J]. 水土保持研究, 2008,15(1):125-127.
- [19] 闫文周, 顾连胜. 熵权决策法在工程评标中的应用 [J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2004,36(1):98-100.
- [20] 邱苑华. 管理决策与应用熵学 [M]. 北京:机械工业出版社, 2001,32-86.
- [21] 贾艳红, 赵 军, 南忠仁, 等. 熵权法在草原生态安全评价研究中的应用——以甘肃牧区为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1):17-21.
- [22] 颜昌宙, 许秋瑾, 李新华. 博斯腾湖生态保护规划方案研究 [J]. 环境科学研究, 2004,17(增刊):86-88.

致谢: 感谢中国科学院地理湖泊所高光研究员的宝贵建议。

作者简介: 巴雅尔(1973-), 男, 新疆库尔勒人, 高级工程师, 主要从事水环境治理与生态修复. 发表论文 7 篇。