

基于指标概率分布的富营养化评价

马惠群, 李超, 王守峰, 王起峰

(山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013)

摘要: 解决富营养化问题一直是我国水环境领域最为艰巨的任务之一。本文将水文频率分析引入到富营养化评价中, 将监测指标与评价标准一同采用经验频率进行归一化, 采用熵权模型计算权重, 有机结合后得到富营养化评价结果。根据实例评价结果, 巢湖富营养化程度在不断波动中, 总体处于富营养化程度。

关键词: 水环境评价; 概率分布; 熵权; 富营养化

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)04-0135-03

Eutrophication assessment based on indicator frequency distribution

Ma Huiqun, Li Chao, Wang Shoufeng, Wang Qifeng

(Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co. Ltd., Ji'nan 250013, China)

Abstract: Eutrophication problem has always been one of the most difficult tasks in China's water environment management. Hydrological frequency analysis was brought into eutrophication assessment in this paper. Monitoring indicators and evaluation criteria were normalized together with the empirical frequency. The assessment result is based on the combination of entropy weight and empirical frequency. According to eutrophication assessment in Chaohu Lake using this method, Chaohu Lake is classified in heavy eutrophication.

Key words: assessment of water environment; frequency distribution; entropy weight; eutrophication

近年来, 由于大量氮磷营养物质流失到水中, 水体富营养化不断恶化, 我国由于人口众多, 经济比较落后, 污染治理不善等原因, 水体富营养化程度尤为突出。水资源保护的实践已经充分说明, 水源地一旦发生水质恶化、富营养化现象, 要恢复至初始状态, 需要投入巨大的资金、精力以及时间, 付出的代价难以计量。因此, 开展水体富营养化评价研究, 对于找出目前存在的环境安全隐患, 制定科学的防治措施是非常必要的^[1-3]。

水体富营养化及其程度属于模糊概念, 依据环境标准进行富营养化评价是一个典型的模糊数学问题。国内外学者常用的水体富营养化评价方法包括生态学评价^[4]、营养状态指数法^[5]、模糊综合评价法^[6]等, 然而这些方法对于指标监测值超过最差营养状态级别标准时, 一般没有较好的解决办法, 认为其最差营养状态级为1。本文提出一种考虑指标概率分布的富营养化评价方式, 将监测值与指标值放在一起进行归一化, 然后进行评判, 较好的解决了这种问题, 为水体富营养化问题研究提供参考和依据。

1 富营养化指标和营养状态级

以中国水利部水利水电规划设计总院在全国水资源调查评价中采用湖泊富营养化评价指标和富营养状态级别所规定的SD、DO、COD、BOD₅、TN、TP和Chl-a 7项指标标准限值为依据, 将巢湖富营养等级划分为5类, 即贫营养、中营养、富营养、重富营养和极富营养, 见表1^[7]。

表1 富营养化评价指标营养状态级 m, mg/L

富营养化指标	SD	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP	chl-a
贫	13.83	15	0.960	0.44	0.04	0.003	0.1
中	2.94	8.5	2.964	1.41	0.24	0.019	1.59
富	1.05	5	6.285	3.26	0.77	0.065	10
重富	0.38	2	13.325	6.64	2.49	0.223	64
极富	0.13	1	28.254	14.42	8.11	0.764	400

2 巢湖富营养化研究

巢湖位于安徽省中部, 东西长54.5 km, 南北宽

收稿日期: 2012-02-28; 修回日期: 2012-03-30

基金项目: 国家核电2011年员工自主创新课题(SNP-KJ-CX-2012-7)

作者简介: 马惠群(1981-), 男, 山东济南人, 工程师, 主要从事水文气象勘测工作。

21 km,平均水深 4.5 m,水域面积 750 km²,是安徽省内最大的湖泊,为我国五大淡水湖之一^[8]。本文所用数据摘自文献[7],为 2000-2007 年西巢湖湖区某水质监测点监测值,见表 2。

表 2 富营养化指标检测值 m, mg/L

年份	SD	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	TN	TP	chl-a
2000	0.35	7.54	6.73	3.93	4.41	0.26	42.24
2001	0.41	6.69	6.9	8.54	4.65	0.38	30.5
2002	0.41	7.58	6.39	4.22	6.79	0.5	44.53
2003	0.38	7.53	6.71	4.14	5.9	0.57	194.13
2004	0.38	7.96	5.71	4.12	4.39	0.41	32.14
2005	0.4	8.52	5.82	4.18	3.12	0.3	22.58
2006	0.41	6.9	6.74	5.51	1.63	0.2	29.75
2007	0.35	6.96	6.96	7.67	1.51	0.26	32.08

2.1 归一化

模糊评价模型一般将监测指标值根据其与标准值的距离推求隶属度函数,这对于大多数情况是可以的,然而有些情况下,监测值指标是劣于最差的状态级别标准的。模糊评价模型一般将其定义为最差级别隶属度为 1,这样考虑显然减小了劣质指标对于评价结果的影响。本文应用方法将评价标准与实际监测值统一考虑,将二者放在一起进行归一化。监测值和标准值中最差值归一化后最接近 1,最优值最接近 0,这样就避免了上面提到问题的出现。本文采用水文常用的经验频率公式^[9]进行归一化。在经验频率公式中,越大越优型指标按从大到小序列排序,越小越优型指标按从小到大序列排序。

$$p_{ij} = (k_i - 0.44)/(N_i + 0.12) \tag{1}$$

式中: p_{ij} 为指标归一化后结果; k_i 为第 i 个指标排序顺序; N_i 为第 i 个指标样本个数,本例中为 13。归一化结果见表 3。

2.2 权重

在信息论中,熵值^[10]反映了信息的无序化程度,可以用来度量信息量的大小。熵权法根据指标携带信息量的多小来确定指标的权重,为客观赋权法,消除了人为干扰,使得评价结果更加符合实际。其计算步骤为:

(1) 构建 n 个样本 m 个评价指标的判断矩阵:

$$A = (x_{ij})_{n \times m}$$

(2) 将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵 B 。 B 中元素的表达式为:

$$b_{ij} = (x_{ij} - x_{\min})/(x_{\max} - x_{\min}) \tag{2}$$

式中: $x_{\max}$ 为同指标下各个样本中最满意者(越小越满意或者越大越满意); $x_{\min}$ 为同指标下各个样本中

者最不满意者(越小越满意或者越大越满意)。

表 3 归一化结果

年份	SD	DO	COD _{Mn}	BOD	TN	TP	chl-a
贫	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427
中	0.1189	0.1951	0.1189	0.1189	0.1189	0.1189	0.1189
富	0.1951	0.8049	0.3476	0.1951	0.1951	0.1951	0.1951
重富	0.5762	0.8811	0.8811	0.7287	0.4238	0.3476	0.8049
极富	0.9573	0.9573	0.9573	0.9573	0.9573	0.9573	0.9573
2000	0.8049	0.4238	0.5762	0.2713	0.6524	0.5000	0.6524
2001	0.2713	0.7287	0.7287	0.8811	0.7287	0.6524	0.4238
2002	0.3476	0.3476	0.4238	0.5762	0.8811	0.8049	0.7287
2003	0.6524	0.5000	0.5000	0.4238	0.8049	0.8811	0.8811
2004	0.7287	0.2713	0.1951	0.3476	0.5762	0.7287	0.5762
2005	0.5000	0.1189	0.2713	0.5000	0.5000	0.5762	0.2713
2006	0.4238	0.6524	0.6524	0.6524	0.3476	0.2713	0.3476
2007	0.8811	0.5762	0.8049	0.8049	0.2713	0.4238	0.5000

(3) 根据熵的定义, n 个样本 m 个评价指标,可以确定评价指标的熵为:

$$H_j = - \frac{1}{\ln n} (\sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}) \tag{3}$$

$$f_{ij} = (1 + b_{ij}) / \sum_{i=1}^n (1 + b_{ij}) \tag{4}$$

(4) 计算评价指标的熵权。

$$W = w_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^m H_j} \tag{5}$$

其中: $\sum_{j=1}^m w_j = 1$

计算得到 7 个指标权重为:

$$w = [0.2186 \quad 0.1230 \quad 0.0982 \quad 0.1113 \quad 0.1830 \quad 0.1501 \quad 0.1158]$$

2.3 评价方法

在进行归一化与计算权重以后,采用下式得到最终结果:

$$H = WP \tag{6}$$

令贫营养状态等级为 1,中营养状态等级为 2,富营养状态等级为 3,重富营养状态等级为 4,极富营养状态等级为 5。若监测值的评价结果位于两状态等级之间,则采用线性插值的方法计算其状态等级,见表 4。

表 4 评价结果

年份	评价结果	状态等级	年份	评价结果	状态等级	年份	评价结果	状态等级
贫	0.0427	1	2000	0.5848	3.88	2005	0.4156	3.38
中	0.1283	2	2001	0.5989	3.92	2006	0.4542	3.50
富	0.2851	3	2002	0.5909	3.90	2007	0.6033	3.94
重富	0.6249	4	2003	0.6819	4.17			
极富	0.9573	5	2004	0.5320	3.73			

标准与检测值评价结果关系图见图1。

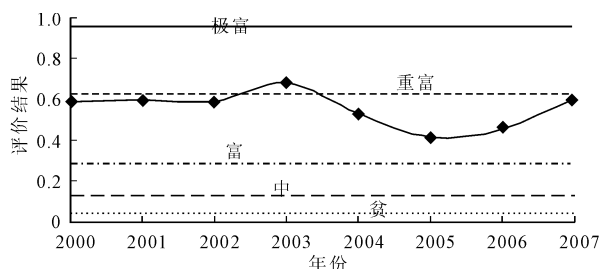


图1 标准与检测值评价结果关系图

3 结 语

通过计算,得到如下结论:①2000年至2007年本监测点主要处于富营养与重富营养状态之间,更加偏向于重富营养状态。②从时间上看,2000-2007年西巢湖富营养化处于波动状态,2003年处于最严重状态,2005年处于最轻微状态,但仍处在富营养化状态之上。③本文创造性的采用水文常用的经验频率公式将指标监测值与标准统一进行归一化,然后进行对比分析,得到富营养化评价结果,具有一定的科学性与创新性。

参考文献:

[1] 丁坚钢. 基于模糊模式识别理论的富营养化评价模型及

应用[J]. 中国农村水利水电, 2011(10): 76-68.

[2] Duan Hongtao, Ma Ronghua, Xu Xiaofeng, et al. Two-decade reconstruction of algal blooms in China's lake Taihu [J]. Environmental Science & Technology, 2009(43): 3522-3528.

[3] Pei Hongping, Wang Yong. Eutrophication research of West Lake, Hangzhou, China: Modeling under Uncertainty [J]. Water Resources, 2003(37): 416-428.

[4] 张 晟, 李崇明, 魏世强, 等. 三峡库区富营养化评价方法探讨[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(3): 340-343.

[5] 施慧敏, 姜翠玲, 朱立琴, 等. 北塘水库富营养评价及治理[J]. 水电能源科学, 2011, 29(4): 41-42.

[6] 刘华祥, 李永华. 东湖富营养化的模糊评价研究[J]. 水资源保护, 2006, 22(3): 28-29.

[7] 陈 林, 许其功, 李铁松, 等. 模糊物元识别模型在巢湖水体富营养化评价中的应用研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(4): 729-736.

[8] 刘忠华, 李云梅, 吕 恒, 等. 基于偏最小二乘法的巢湖悬浮物浓度反演[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 357-365.

[9] 张 翔, 冉启香, 夏 军, 等. 基于 Copula 函数的水量水质联合分布函数[J]. 水利学报, 2011, 42(4): 483-489.

[10] 刘亚莲, 胡建平, 周翠英. 基于信息熵和集对理论的堤防工程安全评价[J]. 水电能源科学, 2010, 28(10): 96-98.

(上接第134页)

启动方式达到稳定期所用时间(80 d)短于产甲烷颗粒污泥培养法100 d,与硝化颗粒污泥培养法基本相同(80 d)。启动完成后的 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 的去除效率各种启动方式基本相同。

参考文献:

[1] Broda E. Tow kinds of lithotrophs missing in nature [J]. Zallg Milkro-biol, 1997, 17: 491-493.

[2] Mulder A, Vande Graff A A, Robertson L A, et al. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor [J]. FEMS Microbiol Ecol, 1995, 16(3): 177-183.

[3] 金仁村, 胡宝兰, 郑 平, 等. 厌氧氨氧化反应器性能的稳定性及其判据[J]. 化工学报, 2006, 57(5): 1166-1170.

[4] 王俊安, 李 东, 张 杰. 低氨氮条件下厌氧氨氧化生物滤池快速启动[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(7): 1090-1095.

[5] 齐京燕, 李旭东, 曾抗美, 等. 厌氧氨氧化反应器研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(5): 748-752.

[6] Jetten M S M, Strous M, van de Pas-Schoonen K T, et al. The anaerobic oxidation of ammonium [J]. FEMS Microbiology Reviews, 1999, 22(5): 421-437.

[7] Egli K, Franger U, Alvarez P J J, et al. Enrichment and characterization of anammox bacterium from a rotating biological contractor treating ammonium-rich leachate [J]. Arch Microbiol, 2001, 175(3): 198-207.

[8] Sliekers A O, Derwort N, Campos Gomez J L. Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor [J]. Wat Res, 2002, 36(10): 2475-2482.

[9] 胡勇有, 锥怀庆, 陈 柱. 厌氧氨氧化菌的培养驯化研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2002, 30(11): 160-163.

[10] 阮文权, 邹 华, 陈 坚. 厌氧氨氧化混培菌的获得及其运行条件[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(6): 30-33.

[11] 魏学军, 邓 华, 谈 红. 厌氧氨氧化反应器的启动及运行[J]. 新疆环境保护, 2002, 24(1): 17-21.