

# 灰色关联度模型对相思湖治理的应用\*

刘绍刚<sup>1,2</sup>, 黄在银<sup>1</sup>, 贺启环<sup>2</sup>

(1. 广西民族大学 化学与生态工程学院, 广西 南宁 530006;  
2. 南京理工大学 环境科学与工程系, 江苏 南京 210094)

**摘要:**以相思湖为研究对象,运用灰色关联度模型对其进行了湖泊富营养化的评价.实例分析表明,该方法计算简便,评价结果合理、可靠;同时分析了湖泊富营养化的现状、危害、产生的原因,提出了防治对策,为相思湖的富营养化防治提供科学依据.

**关键词:**湖泊富营养化;灰色评价模型;灰色关联度;防治

**中图分类号:** X524 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 0311(2006)02 - 0101 - 04

富营养化是由于水体中氮、磷营养物质的富集,引起藻类及其它浮游生物迅速繁殖、水体溶解氧量下降、鱼类及其它生物大量死亡、水质恶化的现象<sup>[1]</sup>.水体出现富营养化现象主要表现为浮游生物大量繁殖,由于占优势的浮游生物的颜色不同,所以水面往往呈现蓝色、红色、棕色、乳白色等,这种现象在江河湖泊中称为“水华”,在海洋则称为“赤潮”.

湖泊的富营养化,尤其是城市湖泊富营养化,不但制约了湖泊资源的可利用性,而且直接影响着人类的健康生存与社会经济的持续发展,已成为人们关注的环境问题.湖泊富营养化的危害主要表现在以下几个方面:(1)破坏水体生态系统的平衡,加速湖泊老化.(2)影响饮用功能.(3)破坏水产资源<sup>[2]</sup>.因此对湖泊的富营养化的评价是必要的.

关于对湖泊富营养化状况的综合评价,近年来国内外学者作了一些深入的研究,提出了若干水体富营养化的数学模型<sup>[3-6]</sup>.从信息论角度出发,考虑到湖泊富营养化评价的灰色性,将灰色系统理论<sup>[7-9]</sup>应用

于湖泊富营养化评价是一个新的发展方向,如灰色聚类法、灰色层次决策法和模糊—灰色决策法<sup>[10]</sup>已应用于湖泊富营养化评价,并取得较好的效果.本文采用灰色关联度模型对广西民族大学校区内的相思湖分6个断面进行了湖泊富营养化评价,通过此找出主要的污染源,以制定相应的防治对策.

## 1 相思湖概况

相思湖属天然小型浅水湖泊,位于南宁市西乡塘区,是相思湖开发区内的一个重要组成部分,湖泊面积为20000 m<sup>2</sup>,平均水深2.5 m,平均流速0.05~0.1 m/s,湖水主要来自雨水和流域内生活污水.

## 2 灰色关联度模型评价水环境的步骤

设有参考数列 $\{X_0(k)\}$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) 和比较

\* 收稿日期:2006-02-10.

作者简介:刘绍刚(1980-),男,广西北海人,广西民族大学化学与生态工程学院讲师,硕士,主要研究方向为固体废物的资源化利用以及湖泊富营养化的控制.黄在银(1952-),男,湖南巴东人,教授,硕士生导师,广西民族大学新世纪首批学科带头人,主要研究方向纳米新材料的开发和研制.

数列  $\{X_i(k)\} (i = 1, 2, \dots, n)$ , 则定义参考数列  $\{X_0(k)\}$  和比较数列  $\{X_i(k)\}$  在第  $k$  点上的关联系数为:

$$o_i(k) = \frac{\min_i + \max_k}{o_i(k) + \max_k} \quad (1)$$

式中:  $\min = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ ,  
 $\max = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ ,  
 $o_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$ ,

为分辨系数,其取值范围在 0 ~ 1 间,本文取 = 0.5.

$o_i(k)$  只是反映了参考数列  $\{X_0(k)\}$  和比较数列  $\{X_i(k)\}$  之间在某一时刻的关联程度,求其  $m$  项关联系数的平均值,则得到整个数列  $\{X_0(k)\}$  和  $\{X_i(k)\}$  的关联度,即

$$o_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m o_i(k) \quad (2)$$

若参考数列  $\{X_0(k)\}$  与比较数列  $\{X_i(k)\}$  满足:

$$o_i^* = \frac{\max_{1 \leq i \leq n} \{o_i\}}{1} \quad (3)$$

则称数列  $\{X_0(k)\}$  与比较数列  $\{X_i(k)\}$  关联性最好.

显然,用  $\{X_0(k)\}$  表示湖泊水质各参数值所组成的数列,  $\{X_i(k)\}$  表示湖泊富营养化评价标准中某一级别的各参数值所组成的数列,由于数列  $\{X_0(k)\}$  与比较数列  $\{X_i^*(k)\}$  相关性最好,故将湖泊富营养化程度评价为  $i^*$  级是最为合适的.

现在采用上述方法对广西民族大学校区内的相思湖分成 6 个断面进行富营养化评价,湖泊的水质实测值如表 1 所示,湖泊富营养化标准如表 2 所示.

由于表 1 和表 2 中各参数的量纲不完全一致,为消除量纲不完全一致的影响,需要对表 1 和表 2 的各参数进行无量纲化处理.本文所用的无量纲化处理方法是选用湖泊富营养化 3 级标准作为参考标准.将表 1 中各参数的实测值和表 2 中的标准值除以湖泊富营养化 3 级标准中的相应参数的标准值,即得

表 1 湖泊水质实测值

湖泊区域	总磷(mg/L)	耗氧量(mg/L)	透明度(m)	总氮(mg/L)
测点 1	2.00	13.84	0.32	136.75
测点 2	1.04	14.13	0.47	150.20
测点 3	1.07	13.84	0.44	190.25
测点 4	1.07	12.99	0.36	163.55
测点 5	0.85	11.09	0.42	132.93
测点 6	1.62	14.65	0.39	117.60

表 2 湖泊富营养化评价标准

级别 i	总磷(mg/L)	耗氧量(mg/L)	透明度(m)	总氮(mg/L)
I(极贫营养)	<0.001	<0.09	>37.00	<0.02
II(贫营养)	0.004	0.36	12.00	0.06
III(中营养)	0.023	1.80	2.40	0.31
IV(富营养)	0.110	>10.00	0.55	1.20
V(极富营养)	>0.660	>27.10	<0.17	>4.60

由表 1 和表 2 中各参数的无量纲(表 3 ~ 4),由此构成参考数列  $\{X_0(k)\} (k = 1, 2, 3, 4)$  和比较数列  $\{X_i(k)\} (i = 1, 2, 3, 4, 5)$  分别表示极贫营养、贫营养、中营养、富营养、极富营养).

表 3 湖泊水质实测值的无量纲值

湖泊	总磷	耗氧量	透明度	总氮
1	86.9565	7.6889	0.1333	441.1290
2	45.2174	7.8500	0.1958	484.5161
3	46.5217	7.6889	0.1833	613.7096
4	46.5217	7.2167	0.1500	527.5806
5	36.9565	6.1611	0.1750	428.8065
6	70.4348	8.1389	0.1625	379.3548

表 4 湖泊富营养化评价标准的无量纲值

级别 i	总磷	耗氧量	透明度(m)	总氮
I(极贫营养)	<0.04	<0.1	>15.0	<0.06
II(贫营养)	0.17	0.2	5.00	0.19
III(中营养)	1.0	1.0	1.0	1.0
IV(富营养)	4.78	3.9	0.23	3.87
V(极富营养)	>28.70	>15.1	<0.07	>14.80

表 5 关联度计算及评价结果

湖泊区域	I	II	III	IV	V	评价结果
1	0.7507	0.7552	0.7670	0.7720	0.7848	极富营养化
2	0.7720	0.7808	0.7771	0.7941	0.8118	极富营养化
3	0.7830	0.7908	0.7953	0.8008	0.8151	极富营养化
4	0.7762	0.7852	0.7903	0.7967	1.0827	极富营养化
5	0.7738	0.7847	0.7909	0.7987	0.8183	极富营养化
6	0.7376	0.7498	0.7566	0.7669	0.7818	极富营养化

由表 3 和表 4 得

$$o_1(k) = \{ o_1(1), o_1(2), o_1(3), o_1(4) \}$$

$$= \{ 86.9165, 7.5889, 14.8667, 441.0690 \}$$

$$o_2(k) = \{ 86.7865, 7.4889, 4.8667, 484.3261 \}$$

$$o_3(k) = \{ 83.9565, 6.6889, 0.8667, 440.1290 \}$$

$$o_4(k) = \{ 82.1765, 3.7889, 0.0967, 437.2590 \}$$

$$o_5(k) = \{ 58.2565, 7.4111, 0.0633, 426.329 \}$$

$$\min = \min_i \min_k o_i(k) = 0.0633$$

$$\max = \max_i \max_k o_i(k) = 484.3261$$

第二步,计算关联系数,取 = 0.5,并将绝对值

的计算结果代入(1)式

$$o_i(k) = \frac{\min + \max}{o_i(k) + \max}$$

由此求得关联系数

$$\begin{aligned} o_1(k) &= \{o_i(1), o_i(2), o_i(3), o_i(4)\} \\ &= \{0.7361, 0.9699, 0.9424, 0.3545\} \\ o_2(k) &= \{0.7364, 0.9703, 0.9806, 0.3334\} \\ o_3(k) &= \{0.7428, 0.9734, 0.9967, 0.3550\} \\ o_4(k) &= \{0.7468, 0.9849, 0.9999, 0.3565\} \\ o_5(k) &= \{0.8063, 0.9706, 1.0000, 0.3623\} \end{aligned}$$

第三步,计算关联度.根据公式(2)有

$$o_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m o_i(k)$$

将关联系数计算结果代入上式,则

$$\begin{aligned} o_1 &= 0.7507, o_2 = 0.7552, o_3 = 0.7670, \\ o_4 &= 0.7720, o_5 = 0.7848 \end{aligned}$$

显然,  $o_5$  最大,因此第一个湖泊区域断面富营养化级别为重度极富营养化,属 V 类水体.从表 5 的环境监测数据分析,该评价结果基本上反映出超标因子越多,数值越高,污染就越严重的特点,可以认为是比较符合客观实际的情况的.

### 3 富营养化的原因分析

(1) 教工生活污水和食堂洗涤废水的大量排放增加了湖泊中磷的含量.

校园湖泊流域内人口平均密度较大,生活污水任意排放对湖泊的污染不可忽视,其中洗涤剂所含的磷是造成湖泊富营养化的主要因素.由于洗涤剂配方中多含有 17% 左右的三聚磷酸钠(STPP,含磷量为 4% 左右),因此,这些磷酸盐随洗涤废水排入湖中.研究证明,氮、磷是形成富营养化的限制物质,其中磷是多数湖泊形成富营养化的最关键的限制物质.研究表明,随着生活污水的大量排放,使湖水的氮、磷比例越来越适宜藻类生长.因此,水生生物的正常生长遭到破坏而大量死亡,促使富营养化加剧,形成恶性循环.

(2) 底泥中营养盐释放对湖泊富营养化的作用在一定条件下,湖泊底泥营养盐可能成为其富营养化的主导因子.

来自各种途径的营养盐经过一系列湖泊物理、化学及生物化学作用,其中一部分沉积到湖泊底部,成为湖泊营养盐的内负荷.在底泥中营养盐的积累已成为湖泊营养盐循环的重要组成部分,大大加速了湖泊的富营养化进程<sup>[11]</sup>.

## 4 防治对策

(1) 尽量减少入湖营养物质和有机物.

据相思湖污染总负荷统计,污染主要来自点源,而其中生活污水中氮、磷分别为污染负荷总量的 83.7% 和 82.3%.此外,要从点源治理转向集中治理,或按区域分散治理相结合,建设各类污水处理工程.埋设污水管道或把污水引入城市总排污管,修筑防水墙,截住点源和面源污水.由此可见,截污和污水处理工程是相思湖污染治理的关键.

(2) 尽可能进行水体置换.

根据西湖的经验,调水搞活水体,稀释营养物质和有机物是可取的.建议调水前放水,在出水处改溢流为底部放水,这一方面在调水前可适当降低湖面,为调水空出容积,达到换水目的;另一方面,底部放水可以带出湖底污泥.

(3) 有计划清理底泥,去除底泥中的营养盐,控制内源污染,控制底泥营养盐的释放,消除二次污染源.

底泥中的氮、磷物质足以造成湖泊的富营养化,加上湖底裂层中的富磷,严重影响和干扰其它治理措施的效果,亦是相思湖富营养化难以根除的根源.为此,必须集中力量,短期内疏浚,疏一段,铺盖一段适度的砂砾,以防底泥上泛.

(4) 利用生物调控,恢复湖泊生态系统.

生物调控作为控制营养盐的一种替代技术,主要通过重建生物群落,减少藻类生物量,保持水质清澈并提高生物多样性来达到生物调控目的.

(5) 大力发展并推广具有除磷脱氮功能的废水生物处理新技术.

城市生活污水是水体中氮、磷的重要来源,因此,大力发展并推广具有除磷脱氮功能的废水生物处理新技术意义重大.

## 5 结语

相思湖的富营养化治理是一项复杂的系统工程,必须坚持标本兼治的方针,在流域内的社会经济能力所能承受的前提下,从控制污染源出发,重点开展生态修复、完善管理对策,有计划分层次地逐步实施.

### [参 考 文 献]

- [1] 金相灿,屠清英.湖泊富营养化调查规范(第2版)[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] 王庭健,苏睿等.城市富营养湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水

- 质的影响[J]. 环境科学研究, 1994, 7(4): 12 - 19.
- [3]卢小燕, 徐福留, 詹巍等. 湖泊富营养化模型的研究现状与发展趋势[J]. 水科学进展, 2003, 16(4): 792 - 798.
- [4]Xu F L, Tao S, Dawson R W, et al. A GIS based method of lake eutrophication assessment[J]. *Ecol Model*, 2001, 144(2 - 3): 231 - 244.
- [5]Janssen M A. An exploratory integrated model to assess management of lake eutrophication[J]. *Ecological Modeling*, 2001, 140: 111 - 124.
- [6]蔡熠东, 汪列, 姚林声. 水质富营养化程度的人工神经网络决策模型[J]. 中国环境科学, 1995, 15(2): 123.
- [7]邓聚龙. 灰色系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [8]邓聚龙. 灰色系统文集[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1989.
- [9]田贵全. 湖泊富营养化评价的灰色关联度模型[J]. 环保科技, 1994, 16(4): 12 - 14.
- [10]孟宪林, 孙丽欣等. 灰色理论在环境质量评价中的应用与完善[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2002, 34(5): 700 - 702.
- [11]史丹. 我国湖泊富营养化问题及防治对策[J]. 资源开发与市场, 2005, 21(1): 17 - 27.

[责任编辑 苏 琴]

[责任校对 黄祖宾]

## The Application of Grey Relational Grade for Eutrophication Evaluation of Xiangsi Lake and Control Measure

LIU Shao-gang<sup>1,2</sup>, HUANG Zai-yin<sup>1</sup>, HE Qi-huan<sup>2</sup>

(1. Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** With Xiangsi Lake in Nanning as the object, grey relational grade model was applied in the assessment of lake eutrophication; The case study shows that this method is easy to apply with objective assessment; At the same time, the paper analyzed the status, hazard and causes of lake eutrophication in Xiangsi Lake, and proposed the prevention and control measures. So as to provide scientific basis for the prevention and control of eutrophication of Xiangsi Lake.

**Key Words:** Lakes eutrophication; grey evaluation model; grey relational grade; control

(上接第 96 页)

## On the Diffraction Pattern Formed from the Reflection Light of the Back of the Diffraction Screen

YAN Ya-qi

(Teaching and Research Section of Maths & Physics, Guangzhou

Commanding Academy of CA PF, Guangzhou 510440, China)

**Abstract:** In the experiment of diffraction of light, we can notice the diffraction pattern formed from the point-blank light. But in another side of the diffraction screen, we can notice another diffraction pattern formed from the reflection light of the back of the diffraction screen too. And the two diffraction patterns are symmetrical on the diffraction screen. This article is to show the experiment phenomena, and explain the phenomenon with the Babinet principle.

**Key Words:** Diffraction of light; Diffraction screen; Back reflection light; Diffraction pattern; Symmetry; Babinet principle