

# 模糊综合评价广西桂平东塔鱼类产卵场水质状况\*

## Fuzzy Comprehensive Evaluate Water Quality Assessment of Fish Reproduction Spot in the River of Dongta, Guiping, Guangxi

黎小正, 吴祥庆, 秦振发, 庞燕飞, 杨姝丽, 兰柳春

LI Xiao-zheng, WU Xiang-qing, QIN Zhen-fa, PANG Yan-fei, YANG Shu-li, LAN Liu-chun

(广西水产研究所, 广西南宁 530021)

(Guangxi Fishery Institute, Nanning, Guangxi, 530021, China)

**摘要:**依据2009年广西桂平市东塔鱼类产卵场水质调查监测结果,选择溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、总氮(TN)、总磷(TP)4个代表性指标作为评价因子,参照《地表水环境质量标准(GB 3838-2002)》,应用模糊综合评价模型对该产卵场水质状况进行综合评价。结果表明,该产卵场水质为V类,不符合天然鱼类产卵场水质要求;重点污染物是总氮。建议有关部门开展产卵场沿江污染源治理工作,加强产卵场水域环境的管理,进一步改善水质,修复产卵场水域环境,更好地保护鱼类生物多样性。

**关键词:**模糊综合评价法 水质 渔业环境 产卵场

中图分类号:S949.X824 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2010)03-0363-04

**Abstract:** Based on the water quality monitoring results of fish reproduction spot in the river of Dongta, Guiping city, Guangxi in 2009, the dissolved oxygen (DO), permanganate index (COD<sub>Mn</sub>), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) 4 representative indicators were selected as evaluation factors. According to Surface Water Quality Standard (GB 3838-2002), fuzzy comprehensive evaluation model was used to evaluate the water quality of the fish reproduction spot. The results showed that the water quality of the spawning grounds was the class V, which didn't meet the water quality requirements of natural fish spawning grounds and major pollutants are nitrogen. The relevant department should abate pollution sources and strengthen environmental management to improve the water quality, recover water environment and protect the fish biodiversity of spawning grounds along the river.

**Key words:** fuzzy comprehensive evaluation, water quality, fishery environment, spawning grounds

水环境是一个由多种水质因子相互作用的复杂集合体。水环境质量评价是环境研究和管理工作的重要内容,是进行水污染防治的基础。进行水环境评价的关键是:选择能确切反映水环境状况的评价因

子,准确地获取评价因子的数值;选择与之相应的评价标准;采用适当的评价模型进行归纳综合,将量化的数据转化为定性的语言<sup>[1]</sup>。水环境系统是一个灰色系统,各种关系复杂,水质类别、污染程度、分类界限等都是水中不同因子综合作用的结果,是一系列模糊概念,具有明显的随机性和模糊性,难以用一种单一的线性关系来表示各因子的相互作用。而模糊数学中的模糊集合概念和方法可以较准确地描述水环境不同因子的相互作用、相互影响以及对水质的

收稿日期:2010-05-05

作者简介:黎小正(1962-),男,高级工程师,主要从事渔业生态环境及水产品质量安全研究工作。

\*农业部渔业种质资源保护项目(农渔环监发[2009]2号)资助。

综合影响结果,因此,基于模糊数学理论的模糊综合评价方法在水质评价中显示出了较大的优势,其评价结果更具科学性和可靠性,已在近年来的水质评价中得到广泛应用<sup>[2]</sup>。

珠江流域西江水系约有70多处经济鱼类产卵场和越冬场,尤其以郁、黔、浔三江最为集中,浔江东塔则是主要产卵场之一。东塔产卵场位于浔江上游,自黔、郁两江汇合口起至东塔村止,长约7km,东经110°12',北纬23°35',被称为全国第二大产卵场,也是珠江流域鱼类生物多样性最为丰富的江段,有重要的经济价值以及水生生物资源保护价值。为了全面了解该江段水环境质量状况,以及发展变化趋势,为管理、决策提供科学依据和本底资料,更好地保护渔业资源,实现渔业的可持续发展,2009年4月和9月,对该产卵场河段水域进行了调查监测,并应用模糊综合评价模型对监测结果进行评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

设东塔和城隍(水流庙)两个采样监测站位(图1),于2009年4月15日(枯水期)、9月2日(丰水期)分别采集水样。每个断面设左、右2个采样点,共设置了4个采样点。样品采集、运输和保存方法等均按照《水质采样技术指导(GB/T 12998-1991)》和《水质采样样品的保存和管理技术规定(GB/T 12999-1991)》的有关规定进行<sup>[3]</sup>。

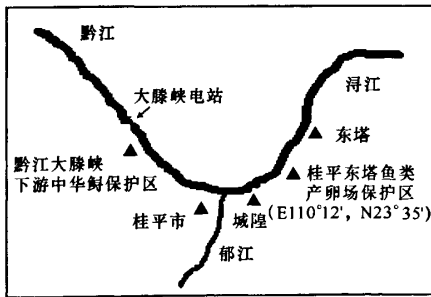


图1 东塔鱼类产卵场调查监测站位

### 1.2 监测项目及方法

#### 1.2.1 监测项目

根据东塔产卵场水质状况及渔业环境监测要求,监测项目有pH值、溶解氧、总氮、总磷、COD<sub>Mn</sub>、铜、锌、铅、镉、砷、汞、石油类、挥发性酚、非离子氨。由多年的监测结果可知,重金属、石油类等污染指标对该产卵场水质影响程度较小,而有机污染仍然是对该产卵场水质状况构成直接影响的主要因素,因

此,本研究选择最能反映该产卵场水质状况的溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、总氮(TN)、总磷(TP)4个指标作为监测评价指标。

#### 1.2.2 监测方法

溶解氧:电化学探头法;高锰酸盐指数:酸性高锰酸钾法;总氮:碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法;总磷:钼酸铵分光光度法<sup>[4]</sup>。

### 1.3 模糊综合评价模型的建立

#### 1.3.1 建立水质评价因子集及评价等级集

建立评价因子集,即  $U = \{DO, COD_{Mn}, TN, TP\}$ 。同时,根据国家《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)<sup>[5]</sup>,将水质级别分为5级,因此确定评价等级集  $V = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

#### 1.3.2 计算隶属函数,建立单因素评价矩阵

1.3.2.1 隶属度的确定 使用的各项评价指标基于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)的最低限值,如表1所示。

表1 水质综合质量模糊评价使用的各项因子标准值

评价因子	评价等级					平均值
	I	II	III	IV	V	
DO	7.5	6	5	3	2	4.7
COD <sub>Mn</sub>	2	4	6	10	15	7.4
TN	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	1.04
TP	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4	0.20

设自变量  $x$  表示样品某一污染指标的浓度,则  $x$  对于  $V$  的隶属关系可按下列算式计算:

第 I 级(类),隶属函数:

$$u_{i1}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq S_{i1}, \\ \frac{S_{i2} - x}{S_{i2} - S_{i1}}, & S_{i1} < x \leq S_{i2}, \\ 0, & x > S_{i2}. \end{cases}$$

第 II 级(类)水质至第  $(m - 1)$  级(类)水质,即  $j = 2, 3, \dots, m - 1$  时,其隶属函数为:

$$u_{ij}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i = S_{ij}, \\ 0, & x_i \geq S_{ij+1}, \\ \frac{x_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}}, & S_{ij-1} < x_i < S_{ij}, \\ 0, & x_i \leq S_{ij-1} \\ \frac{x_i - S_{i2+1}}{S_{i2} - S_{i2+1}}, & x_i > S_{i2}. \end{cases}$$

末级水质,即  $j = m$  时(此处  $m = 5$ ),其隶属函数为:

$$u_{i5}(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \geq S_{i5}, \\ \frac{x_i - S_{i5-1}}{S_{i5} - S_{i5-1}}, & S_{i5-1} < x_i < S_{i5}, \\ 0, & x_i \leq S_{i5+1}. \end{cases}$$

以上函数中,  $i$  代表污染因子, 取值  $1, 2, \dots, n$ , 其中  $n$  为污染因子总个数;  $j$  为水质评价标准级别(类别), 取值  $1, 2, \dots, 5$ ;  $x_i$  为第  $u_i$  个因素的实测值,  $S_{ij-1}, S_{ij}, S_{ij+1}$  分别为因素  $U_i$  的第  $j-1, j, j+1$  级水质的标准值,  $u_{ij}$  分别表示第  $i$  个评价因子对第  $j$  评价等级的隶属度, 当  $x_i$  给定后可以用以上的隶属函数求出  $u_{ij}$ , 对各级水质的隶属度集:  $R_1 = (u_{11}, u_{12}, \dots, u_{15}), R_2 = (u_{21}, u_{22}, \dots, u_{25}), \dots, R_n = (u_{n1}, u_{n2}, \dots, u_{n5})$ 。

1.3.2.2 建立模糊评价矩阵  $R$  根据上述单因素隶属度集确定模糊评价矩阵  $R$ 。

$$R = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{ns} \end{bmatrix}$$

1.3.2.3 确定各评价因子的权重

考虑到各评价因子对水质产生的污染作用不同, 在对水质污染的总体效应上所占比重也有不同, 因此, 需要对各参评因子赋予权重。通常, 污染物只有达到一定浓度时才会产生危害, 因此常采用一种反映污染物(因子)超标越多其权重越大的权重计算方法:

$$I_i = \frac{C_i}{S_i}, i = 1, 2, \dots, n,$$

式中,  $I_i$  表示某评价指标的实际监测值相对于水质标准值的超标倍数;  $C_i$  为第  $i$  个评价指标的实测值;  $S_i$  为第  $i$  个评价指标各级别水质标准值的均值。但是, 对于收益性指标(如  $DO$ ), 其计算公式应为:

$$I_i = \frac{S_i}{C_i},$$

式中各符号含义同上。

通过计算, 得到:  $I_i = (I_1, I_2, I_3, I_4)$ 。对水质超标程度的权重进行分配, 以下式进行归一化处理:

$$A_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i}, \sum_{i=1}^n A_i = 1.$$

权重系数矩阵  $A$  记为:  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 。

1.3.2.4 模糊矩阵复合运算 在确定评价矩阵  $R$  和评价指标权重集  $A$  之后, 模糊综合评价集  $B$  通过下式运算得到:

$$B = A \cdot R = (A_1, \dots, A_n) \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{ns} \end{bmatrix} =$$

$(b_1, \dots, b_5)$ 。

确定了综合评价集之后, 再根据最大隶属度的

原则对水质进行综合评价; 若  $b_j = \max(b_1, \dots, b_5)$ , 则该待评价对象对应于评价类别为第  $j$  级水质。

## 2 结果

### 2.1 模糊评价矩阵 $R$

评价数据采用2009年保护区4个断面的监测数据, 见表2。

表2 2009年东塔产卵场水质监测结果

评价因子	东塔		城隍	
	范围	平均值	范围	平均值
DO	5.83~6.42	6.13	4.70~6.04	5.37
COD <sub>Mn</sub>	1.3~3.8	2.6	3.5~4.5	4.0
TN	1.802~2.139	1.971	2.012~2.295	2.154
TP	0.04~0.07	0.06	0.07~0.08	0.08

将各监测断面数据代入相应的隶属函数, 计算其隶属度, 得到2个监测断面的隶属度集, 并组成隶属度评价矩阵  $R$ 。

$$\text{东塔 } R = \begin{bmatrix} 0.087 & 0.91 & 0 & 0 & 0 \\ 0.7 & 0.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.058 & 0.94 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\text{城隍 } R = \begin{bmatrix} 0 & 0.37 & 0.63 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

### 2.2 权重系数矩阵 $A$

根据4种污染因子监测数据, 分别计算各自权重, 并进行归一化处理得到以下2个监测断面的权重系数矩阵, 结果见表3。

表3 评价因子权重归一化结果

监测项目	东塔		城隍	
	$I_i$	$A_i$	$I_i$	$A_i$
DO	0.77	0.23	0.88	0.23
COD <sub>Mn</sub>	0.35	0.11	0.54	0.14
TN	1.90	0.57	2.07	0.53
TP	0.29	0.088	0.39	0.10
求和	3.31		3.88	

由表3知, 东塔  $A = \{0.23, 0.11, 0.57, 0.088\}$ ; 城隍  $A = \{0.23, 0.14, 0.53, 0.10\}$ 。

### 2.3 水质监测结果的模糊综合评价

将权重矩阵  $A$  和模糊矩阵  $R$  代入公式  $B = A \cdot R$ , 求出结果, 并根据最大隶属度原则, 确定监测断面水质所属等级, 结果如表4。

表4 模糊综合评价结果

监测断面	评价等级					所属等级
	BI	BII	BIII	BIV	BV	
东塔	0.14	0.29	0	0.033	0.54	V
城隍	0.025	0.30	0.14	0	0.53	V

从表4可以看出,根据最大隶属度原则,所监测的2个断面中,东塔产卵场水质达到地表水V,已不符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)对鱼虾类产卵场水质要求。

### 3 讨论

(1)东塔鱼类产卵场是广西桂平市市级自然保护区,也是珠江流域西江水系重要的经济鱼类产卵场,是珠江流域鱼类生物多样性最为丰富的江段,是一个天然鱼类基因库,有重要的经济价值以及水生生物资源保护价值。因环境污染等原因,目前该产卵场水质已经不符合鱼类产卵场水质要求。

(2)西江水系水资源丰富,从黔江、郁江至浔江东塔产卵场之间修建有多座水利枢纽工程;随着工农业生产的发展,沿江建造的多家糖厂、造纸厂、淀粉厂等,大量未经处理的工业生产废水直接排放入西江各干流及支流;位于浔江的东塔产卵场江段又横贯城市乡镇,大量生活污水排入江中;使得河流成为工业、农业和生活污水的直接接纳水域,这些因素都对产卵场水质造成了不利影响。加上拦河筑坝减缓了河水的流动速度,直接降低了河水对污染物质的降解和自净能力,容易加剧水体的污染程度。

(3)从监测结果分析,目前该江段水域主要污染物质是总氮,与前几年的监测评价结果一致,但是污染程度有所加剧<sup>[6]</sup>,应引起有关部门的重视。

(4)研究表明,水域中N/P应该稳定在16左右比较合适,变化过大不利于某些浮游植物的生长<sup>[7~8]</sup>。2000年东塔产卵场N/P为5.5,2003年则达到49,2009年为29.5,虽有所回落,但与合适值比较还有较大差距,而总磷成为限制性营养物质。这种由单一营养物质浓度增加而导致的水体富营养化结果,一般不会导致浮游植物的异常增加;通常河流中

氮、磷主要来源于点、面源污染,常与部分相关行业生产情况有关联,而呈现出季节性和阶段性的特点,因此这种富营养化现象也表现出阶段性特点,但即使如此,也应引起我们的重视。

(5)为保护珠江流域西江水系重要的鱼类产卵场,以及保护鱼类生物多样性,实现社会经济的可持续发展,必须重视生态环境保护工作,一是控制和削减工业生产废水直接排放入河流,二是做好渔政管理工作,重点打击电、炸、毒鱼的违法犯罪行为,三是加强渔业资源保护工作,除继续做好增殖放流工作外,在鱼类产卵繁殖季节划定休渔期和休渔区,如条件成熟时可申报成为省级或者国家级水生野生动物自然保护区,以达到更好地保护渔业资源的目的。

#### 致谢!

参加本项工作的还有陈静、吴明媛、廖永志、黄鸾玉、韦信贤等;桂平市渔政站对采样工作给予了大力支持,在此谨致以衷心的感谢。

#### 参考文献:

- [1] 李如忠. 水质评价理论模式研究进展及趋势分析[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2005(4):369-372.
- [2] 王治祯,柏景方. 灰色系统及模糊数学在环境保护中的应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.
- [3] 中国标准出版社编委会. 中国环境保护标准汇编(水质分析方法)[M]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [4] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] 国家环保总局,国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [6] 黎小正,庞燕飞,曾辉,等. 广西桂平东塔河段产卵场水质综合评价[J]. 湛江海洋大学学报,2005,25(3):38-43.
- [7] 蔡云龙,臧维玲,戴习林,等. 杭州湾湾泾沿岸水化学状况[J]. 上海水产大学学报,2002,21(3):219-224.
- [8] 孙耀,于宏,杨琴芳,等. 丁字湾养殖海域化学指标与营养状况的分析与评价[J]. 水产学报,1990,14(1):33-39.

(责任编辑:尹 闯)