# 韦伯—费希纳模型在湖泊(水库)预警评价中的应用

林秀珠, 饶清华, 欧晓敏

〔近海流域环境测控治理福建省高校重点实验室(福建师范大学福清分校), 福建 福清 350300〕

**摘　要**:[目的] 对福建省的莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库水环境质量及预警等级进行评价,为湖泊(水库)水环境预警评价提供一种过程简单,结果科学合理的评价方法。[方法] 根据韦伯—费希纳模型(Weber-Fechner's model)的基本原理,以表征水库水环境的溶解氧(DO),化学需氧量($COD_{Mn}$),总磷(TP),$NH_3$-N,总氮(TN)等参数作为评价指标,利用水环境综合指数 $k_i$ 来评价水库水环境质量及预警等级。[结果] 莆田东圳水库 2010 年第 1,2 季度以及 2012 年第 3 季度处于中重警。福清东张水库 2013 年第 3 季度为轻警,2012 年第 1 季度处于中重警。三明东牙溪水库 2010 年第 4 季度、2011 第 3 季度、2012 年第 3 季度、2013 第 3,4 季度为轻警。其余季度上述水库水质预警等级为中警。[结论] 韦伯—费希纳模型能够定量描述湖泊(水库)水环境质量的感觉强度变化关系,客观反映湖泊(水库)水环境质量变化的影响;该模型具有计算过程简单,评价精度高,应用性强等优点,为湖泊(水库)水质预警等级综合评价提供了新方法,拓展了评价模型的应用范围。

**关键词**:韦伯—费希纳模型; 湖泊(水库); 水环境质量; 预警

**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-288X(2018)02-0285-07　　**中图分类号**:X824

**文献参数**:林秀珠, 饶清华, 欧晓敏. 韦伯—费希纳模型在湖泊(水库)预警评价中的应用[J]. 水土保持通报,2018,38(2):285-291. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.047. Lin Xiuzhu, Rao Qinghua, Ou Xiaomin. Application of Weber-Fechner model to water environment forewarning of lakes(reservoirs)[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(2):285-291.

# Application of Weber-Fechner Model to Water Environment Forewarning of Lakes(Reservoirs)

LIN Xiuzhu, RAO Qinghua, OU Xiaomin

(*Key Laboratory of Measurement and Control System for Offshore Environment, Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing, Fujian* 350300, *China*)

**Abstract**: [Objective] To provide a simple, scientific and reasonable method for water environment forewarning of lakes(reservoirs), the evaluations of water quality and forewarning level of Putian Dongzhen Reservoir, Fuqing Dongzhang Reservoir, and Sanming Dongyaxi Reservoir in Fujian Province were conducted. [Methods] According to the Weber-Fechner's model, dissolved oxygen(DO), chemical oxygen demand($COD_{Mn}$), total phosphorus(TP), inorganic nitrogen($NH_3$-N), total nitrogen(TN) were taken as the evaluation indicators of water environment for reservoirs. The water quality and forewarning level were evaluated using comprehensive index $k_i$ of water environment. [Results] The water quality warning levels of Putian Dongzhen Reservoir in the 1st and 2nd quarters of 2010, and the 3rd quarter of 2012 were evaluated as moderate or strong warning. In the 3rd quarter of 2013, it was mild warning. In the 1st quarter of 2012, it was moderate to strong for Fuqing Dongzhang Reservoir. For Sanming Dongyaxi Reservoir, the warning level were mild in the 4th quarter of 2010, 3rd quarter of 2011, 3rd quarter of 2012, 3rd and 4th quarters in 2013. Otherwise, the warning levels of the above reservoirs were moderate. [Conclusion] The organoleptic water environmental quality could be evaluated and reflected objectively by the Weber-Fechner's model,

**收稿日期**:2017-06-08　　**修回日期**:2017-10-12

**资助项目**:福建省社会科学规划项目"闽江流域生态补偿机会成本分析研究"(FJ2016C022); 福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目"闽江流域生态补偿与污染赔偿"(闽教科[2016]23 号); 福建省中青年教师教育科研项目(JAT170671)

**第一作者**:林秀珠(1981—),女(汉族),福建省福州市人,硕士,讲师,主要从事环境影响评价方面的研究。E-mail:linxiuzhu1030@163.com。

**通讯作者**:饶清华(1981—),男(汉族),福建省福州市人,博士研究生,副教授,主要从事环境影响评价方面的研究。E-mail:raoqinghua@sina.com。

which was considered as an effective tool to assess the effect of water environment quality. The model has the advantages of simple calculation process, high evaluation precision and good application. It provided a new method for comprehensive evaluation of water quality warning level for lakes (reservoirs) and expanded its application.

**Keywords: Weber-Fechner's model; lakes(reservoirs); water environmental quality; forewarning**

近年来,随着中国社会经济发展与人口增长,湖泊(水库)水环境功能呈现降低趋势[1]。湖泊(水库)作为人类重要的生活饮用水水源,人类生产生活活动过程会对水源产生一定程度的污染。由于湖泊(水库)往往承担了生活饮用水水源地的功能,改善湖泊(水库)的水质状况是一项长期而艰巨的任务,因此,构建湖泊(水库)预警评价指标体系并进行水质预警评价就显得十分必要。国内外的学者们[2-7]对其进行了深入的研究,提出相关的湖泊(水库)水质评价模型,如:单因子评价法、模糊数学评价法、灰色聚类法、物元分析法、层次分析法、人工神经网络评价法等。韦伯—费希纳模型(Weber-Fechner's Model,简称 W-F 模型)来源于 19 世纪中期,由费希纳创始的心理物理学派实践推导而来,能准确的表达人体的反应量 $k$ 与客观环境刺激量 $c$ 之间的函数关系,起初被应用于声学和心理学领域[8]。李祚泳等[9]最早将韦伯—费希纳定律应用于空气环境质量评价中,薛文博等[10]首次将韦伯—费希纳模型转化成环境质量评价模型,拓展了韦伯—费希纳模型的应用领域。目前,韦伯—费希纳模型已用于生态环境质量、湖泊(水库)富营养化以及水环境预警评价方面的研究中[11-16]。与已有的研究方法相比,该模型具有计算过程简单、科学合理、直观清晰等特点。

湖泊(水库)水质预警评价的本质就是根据水环境质量的要求,建立水质预警指标体系和安全等级标准,将水质评价指标从高维空间映射到低维空间,转换成一维实数的水质综合预警评估指数,并且在映射过程中能够反映原高维空间中水质指标的分类信息和排序信息,然后对各评价对象的水质预警等级进行综合评估。如何确定这些水质指标的权重是湖泊(水库)水质预警评价的难点之一,采用客观赋权法进行赋权,避免了各指标权重确定的人为干扰,减少了主观随意性,使评价指标赋权更科学、合理。此外,已有的研究主要存在所选的评价指标不能完全反映湖泊(水库)水质预警的本质,很少将溶解氧(dissolved oxygen, DO)作为水质预警评价的指标以及评价年限不完整,时间跨度不长,不能体现评价对象的水环境质量变化情况等不足。因此,本研究将 W-F 模型用于湖泊(水库)水环境预警评价,并以福建省的莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库 2010—2016 年水质为例,对各水库进行综合评价,旨在为湖泊(水库)水环境预警评价提供一种过程简单、直观清晰、便于推广、结果科学合理的评价方法。

# 1 研究方法

## 1.1 韦伯—费希纳模型基本原理

W-F 模型基本表达式为:

$$k=\alpha \lg c \tag{1}$$

式中:$k$——人体产生的反应量;$c$——外界环境刺激量;$\alpha$——韦伯常数。

W-F 模型应用于湖泊(水库)水质评价中,基于以下 3 点假设:①将外界刺激量 $c$ 视为水库中某种水质指标的浓度;②将人体反应量 $k$ 视为该种指标对人体影响程度;③韦伯常数 $\alpha$ 是由该水质指标性质所决定的,对于同一指标 $\alpha$ 为常数,而在湖泊(水库)水质预警评价中往往涉及到多个水质指标,因此可把 $\alpha$ 视为各水质指标的权重[11,14]。

基于以上 3 条假设,W-F 模型关系式可表示为:

$$k_{ij}=\alpha_{ij} \lg(c_{ij}+1) \tag{2}$$

式中:$k_{ij}$——第 $i$ 个监测点第 $j$ 个水质指标的污染对人体的危害程度;$\alpha_{ij}$——第 $i$ 个监测点第 $j$ 个水质指标的权重;$c_{ij}$——第 $i$ 个监测点第 $j$ 个水质指标监测浓度的标准化值;$c_{ij}+1$ 的目的是使 $\lg(c_{ij}+1)>0$,可以通过数学证明不影响评价结果[14]。

## 1.2 确定指标权重和综合影响指数 $k_i$ 值

1.2.1 *确定指标权重* 湖泊(水库)水质预警评价问题是一个典型的多目标、多决策的复合系统问题,在进行湖泊(水库)水质预警评价时,确定指标权重显得尤为重要,关系到评价结果的准确性。确定权重的方法一般分为主观和客观赋权法 2 种。由于不能充分考虑各指标提供的信息量,主观赋权法确定的权重往往缺乏客观依据,会导致某一指标的权重存在过高或过低的可能,使评价结果不能完全反映客观实际情况。采用变异系数法来确定各湖泊(水库)的水质指标权重,通过水质指标变异系数之间的大小关系来确定指标个体差异的显著性,如果其变异系数越大则差异也就越显著,以此作为确定评价指标权重的依据。该方法可以根据水质指标间的差异程度,客观确定指

标的权重,消除水质指标权重计算时的人为干扰,使水质指标的权重确定更科学、合理,评价结果更符合实际。计算步骤如下[15]。

(1) 将湖泊(水库)各水质指标监测数据进行标准化,消除量纲影响。

$$c_{ij}=\frac{c_{ij}'}{c_j} \tag{3}$$

式中:$c_{ij}'$——第 $i$ 个监测点第 $j$ 个水质指标的监测浓度值;$c_{ij}$——第 $i$ 个监测点第 $j$ 个水质指标的监测浓度标准化值;$c_j$——第 $j$ 个水质指标在分级标准中的最高浓度值。

(2) 计算各个监测点的第 $j$ 个指标的平均值 $\bar{c}_j$ 和标准偏差 $S_j$。

$$\bar{c}_j=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}c_{ij}\quad(i=1,2,3,\ldots,n;\ j=1,2,3,\ldots,m) \tag{4}$$

$$S_j=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(c_{ij}-\bar{c}_j)^2}{n-1}} \tag{5}$$

(3) 求出各指标的变异系数 $\theta_j$。

$$\theta_j=\frac{S_j}{\bar{c}_j} \tag{6}$$

(4) 确定第 $j$ 项指标权重 $\alpha_j$。

$$\alpha_j=\frac{\theta_j}{\sum_{i=1}^{n}\theta_j} \tag{7}$$

1.2.2　确定综合影响指数 $k_i$ 值　$k_i$ 值的计算公式为:

$$k_i=\sum_{i=1}^{n}k_{ij} \tag{8}$$

式中:$k_i$——第 $i$ 个湖泊(水库)监测点水环境的综合影响指数。

通过各水库水环境综合影响指数 $k_i$ 值与对应的地表水环境质量标准(GB3838-2002)标准化所得到综合影响指数值对比,来确定湖泊(水库)水环境质量等级与综合影响指数间关系,最后确定湖泊(水库)水环境预警等级。根据 W-F 模型的构建可知,该模型具有以下特点:首先,该模型是在对水质指标污染浓度的基础上推导出来的,因此,能够定量描述湖泊(水库)水环境质量的感觉强度变化关系,反映湖泊(水库)水环境质量变化的影响,并能够实现评价对象指标间的纵向以及横向比较;其次,通过建立评价矩阵,该模型能够实现高维空间到低维空间的映射,并且在映射过程中能够反映原高维空间中水质指标的分类信息和排序信息;最后,权重的确定采取了客观赋权的"变异系数法",根据各评价指标间的差异程度来计算权重,克服了人为的干扰,使权重确定更科学、合理。

## 2　实例研究

### 2.1　研究对象概况

福建省莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库分别是各自地区主要的饮用水水源,同时也是福建省省控水源地监测区。因此,本研究以莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库 2010—2016 年水质为例,对各水库进行水环境预警评价,对于科学合理判断水库水质预警等级,拓展评价模型的应用范围,具有重要意义。水库水质数据来源于福建省环境保护厅。

### 2.2　确定评价指标权重

各水库中 DO,$COD_{Mn}$,TP,$NH_3$-N,TN 等评价指标的初始数据,以每季度表示,其中该污染指标选取表 1 中第Ⅴ类水质标准值(由于 DO 为反向指标,选取Ⅰ类水质标准值),根据公式(3)进行标准化,再由公式(5)—(7)计算出各因子的权重,求得权重分别为 0.051 8,0.111 0,0.257 8,0.490 2,0.089 1。

**表 1　地表水环境质量标准限值**　　mg/L

| 指标 | 水质标准 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Ⅰ类 | Ⅱ类 | Ⅲ类 | Ⅳ类 | Ⅴ类 |
| DO | 饱和率 90%(或 7.5) | 6 | 5 | 3 | 2 |
| $COD_{Mn}$ | 2 | 4 | 6 | 10 | 15 |
| $NH_3$-N | 0.15 | 0.50 | 1 | 1.5 | 2 |
| TP | 0.01 | 0.025 | 0.05 | 0.1 | 0.2 |
| TN | 0.20 | 0.50 | 1 | 1.5 | 2 |

### 2.3　确定 $k_i$ 值

参考地表水环境质量标准,根据公式(2)和(8)求得综合影响指数 $k_i$ 值,建立 $k_i$ 值与预警等级之间关系,具体详见表 2。由表 2 可知,$k_i<0.046\ 2$ 时预警等级为无警,$0.046\ 2\leqslant k_i<0.094\ 0$ 时为轻警,$0.094\ 0\leqslant k_i<0.154\ 7$ 为中警,$0.154\ 7\leqslant k_i<0.218\ 4$ 为中重警,$0.218\ 4\leqslant k_i<0.263\ 9$ 为重警,$k_i\geqslant 0.263\ 9$ 为超重警。2010—2016 年福建省莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库各指标监测溶度季度平均值与综合影响指数 $k_i$ 值详见表 3—5。

**表 2　综合影响指数 $k_i$ 值及预警等级**

| $k_i$ 值 | 0.046 2 | 0.094 0 | 0.154 7 | 0.218 4 | 0.263 9 | ≥0.263 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 预警等级 | 无警 | 轻警 | 中警 | 中重警 | 重警 | 超重警 |

表 3 莆田东圳水库监测各指标 2010—2016 年季度平均值与 $k_i$ 值 mg/L

| 年份 | 季 度 | DO | $COD_{Mn}$ | TP | $NH_3$-N | TN | $k_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | 第 1 季度 | 6.88 | 2.50 | 0.13 | 0.13 | 1.05 | 0.170 4 |
| | 第 2 季度 | 6.69 | 2.52 | 0.03 | 0.06 | 1.40 | 0.155 6 |
| | 第 3 季度 | 7.81 | 3.24 | 0.01 | 0.06 | 1.19 | 0.131 5 |
| | 第 4 季度 | 6.17 | 1.93 | 0.01 | 0.09 | 1.05 | 0.116 3 |
| 2011 | 第 1 季度 | 9.16 | 1.29 | 0.01 | 0.04 | 0.99 | 0.113 8 |
| | 第 2 季度 | 9.21 | 2.16 | 0.01 | 0.03 | 1.01 | 0.117 6 |
| | 第 3 季度 | 8.15 | 3.51 | 0.01 | 0.05 | 1.19 | 0.132 5 |
| | 第 4 季度 | 6.47 | 1.49 | 0.01 | 0.07 | 1.04 | 0.114 5 |
| 2012 | 第 1 季度 | 9.64 | 1.28 | 0.01 | 0.03 | 1.05 | 0.118 4 |
| | 第 2 季度 | 9.04 | 1.67 | 0.01 | 0.02 | 0.96 | 0.112 2 |
| | 第 3 季度 | 8.87 | 3.80 | 0.05 | 0.03 | 1.38 | 0.165 7 |
| | 第 4 季度 | — | — | — | — | — | — |
| 2013 | 第 1 季度 | 8.94 | 1.38 | 0.01 | 0.05 | 0.8 | 0.099 9 |
| | 第 2 季度 | 9.52 | 2.03 | 0.01 | 0.05 | 0.69 | 0.094 1 |
| | 第 3 季度 | 8.87 | 3.76 | 0.02 | 0.06 | 0.91 | 0.120 0 |
| | 第 4 季度 | 7.92 | 1.80 | 0.02 | 0.13 | 0.8 | 0.106 4 |
| 2014 | 第 1 季度 | 9.55 | 2.10 | 0.02 | 0.11 | 0.74 | 0.104 6 |
| | 第 2 季度 | 8.04 | 3.67 | 0.03 | 0.05 | 1.02 | 0.131 3 |
| | 第 3 季度 | 8.78 | 4.11 | 0.02 | 0.05 | 1.11 | 0.134 7 |
| | 第 4 季度 | 7.27 | 2.15 | 0.01 | 0.14 | 0.88 | 0.107 4 |
| 2015 | 第 1 季度 | 8.11 | 2.15 | 0.01 | 0.09 | 0.74 | 0.097 1 |
| | 第 2 季度 | 8.68 | 2.97 | 0.02 | 0.05 | 0.67 | 0.099 1 |
| | 第 3 季度 | 9.69 | 2.83 | 0.02 | 0.07 | 1.15 | 0.135 7 |
| | 第 4 季度 | 7.05 | 1.42 | 0.02 | 0.09 | 1.16 | 0.129 0 |
| 2016 | 第 1 季度 | 9.84 | 1.09 | 0.01 | 0.06 | 1.18 | 0.127 6 |
| | 第 2 季度 | 8.43 | 2.73 | 0.02 | 0.05 | 1.27 | 0.141 3 |
| | 第 3 季度 | 7.94 | 1.87 | 0.01 | 0.05 | 1.12 | 0.123 0 |
| | 第 4 季度 | 7.33 | 1.25 | 0.01 | 0.08 | 1.13 | 0.121 5 |

注:“—”表示数据缺失。下同。

## 3 结果与分析

由表 2—5 的综合影响指数 $k_i$ 值以及对应的预警等级可得出最终的评价结果,具体详见表 6。

(1) 莆田东圳水库。莆田东圳水库的综合影响指数 $k_i$ 值范围为[0.094 1,0.170 4],除了 2010 年第 1,2 季度,2012 年第 3 季度处于中重警外,其余的季度中警,说明其预警等级应为中警—中重警。总氮和总磷浓度偏高是水质预警为中警—中重警的主要原因。东圳水库具有发电、防洪、灌溉、养殖、游览等作用。是莆田市唯一的一座大型水库,也是福建省大型水库之一,是莆田市的生命线工程和“大水缸”。近年来,东圳水库周边区域的经济不断发展,虽然该区域没有引入污染型工业企业,但是随着该区域周边居民生活水平的提升,产生的生活污染强度加大,这是导致水库总氮、总磷偏高的一个重要原因;此外,随着东圳水库旅游开发力度的加大,旅游的人数在不断增加,对水库的水质也造成潜在的影响。为了从根本上解决水库水质安全问题,2010 年以来,莆田市开始实施东圳水库水源地综合治理,以“大坝安全、水质优良、环境优美”为目标,主要包括水源地一级保护区征地、搬迁、安置工程,分层取水工程,村庄污水治理、生态林建设工程,流域河流治理工程,库滨带生态修复工程等工程。因此,总体上看,东圳水库水环境质量呈现改善的趋势。

(2) 福清东张水库。福清东张水库的综合影响指数 $k_i$ 值范围为[0.080 4,0.158 9],除了 2013 年第 3 季度为轻警,2012 年第 1 季度处于中重警外,其余的季度中警,因此,预警等级为中警。东张水库是福清市最大的饮用水水源地,但结合表 4 可知,水库存

在总氮、总磷浓度偏高的问题。造成东张水库总氮、总磷偏高的主要原因是入库溪流周边乡村排放的生活污水和养殖废水。虽然福清市加大了水库周边区域养殖场的整治,基本杜绝了养殖废水的排放,但东张镇区产生的生活污水仍然处于直排状态。此外,东张水库周边区域农业面源污染也是导致水库总氮、总磷偏高的原因之一,尤其是在雨季,随着雨水冲刷,地表污染物就随着径流汇入水库。为了进一步保护东张水库水质,应尽快完善截污工程,解决库区周边区域污染物及垃圾堆放问题,以便减轻东张水库外源污染的负荷量;加大上游地区养殖场的整治力度,防止重建或扩建;加大水源保护投入,建立库区生态农业示范试点,提高库区居民水源保护积极性。

(3) 三明东牙溪水库。三明东牙溪水库的综合影响指数 $k_i$ 值范围为[0.078 5,0.130 7],其中,2010 年第 4 季度、2011 第 3 季度、2012 年第 3 季度、2013 第 3,4 季度为轻警外,其余季度为中警,该水库 2010—2016 年的水体水质处于相对平稳的状态。

**表 4　福清东张水库监测各指标 2010—2016 年季度平均值与 $k_i$ 值**　　mg/L

| 年份 | 季 度 | DO | $COD_{Mn}$ | TP | $NH_3$-N | TN | $k_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | 第 1 季度 | 7.82 | 1.91 | 0.03 | 0.1 | 1.16 | 0.136 8 |
| | 第 2 季度 | 7.13 | 1.85 | 0.03 | 0.04 | 1.39 | 0.149 4 |
| | 第 3 季度 | 7.17 | 2.02 | 0.01 | 0.06 | 0.75 | 0.095 6 |
| | 第 4 季度 | 7.9 | 1.35 | 0.02 | 0.06 | 1.11 | 0.126 1 |
| 2011 | 第 1 季度 | 10.44 | 1.77 | 0.01 | 0.04 | 0.96 | 0.114 7 |
| | 第 2 季度 | 8.75 | 2.25 | 0.03 | 0.04 | 0.9 | 0.119 7 |
| | 第 3 季度 | 7.48 | 2.28 | 0.03 | 0.03 | 0.79 | 0.109 5 |
| | 第 4 季度 | 7.83 | 1.74 | 0.02 | 0.02 | 1.06 | 0.123 0 |
| 2012 | 第 1 季度 | 10.52 | 1.99 | 0.02 | 0.02 | 1.55 | 0.158 9 |
| | 第 2 季度 | 8.21 | 1.70 | 0.03 | 0.04 | 1.35 | 0.148 0 |
| | 第 3 季度 | 7.74 | 1.81 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.110 1 |
| | 第 4 季度 | — | — | — | — | — | — |
| 2013 | 第 1 季度 | 9.5 | 1.45 | 0.02 | 0.04 | 0.91 | 0.114 1 |
| | 第 2 季度 | 7.92 | 2.24 | 0.04 | 0.05 | 0.97 | 0.128 5 |
| | 第 3 季度 | 6.92 | 1.81 | 0.02 | 0.06 | 0.51 | 0.080 4 |
| | 第 4 季度 | 7.91 | 1.88 | 0.02 | 0.05 | 0.75 | 0.101 3 |
| 2014 | 第 1 季度 | 10.05 | 2.31 | 0.02 | 0.05 | 0.82 | 0.110 8 |
| | 第 2 季度 | 7.97 | 1.99 | 0.02 | 0.05 | 0.69 | 0.097 0 |
| | 第 3 季度 | 6.98 | 2.27 | 0.02 | 0.07 | 0.72 | 0.099 1 |
| | 第 4 季度 | 7.27 | 1.69 | 0.02 | 0.09 | 0.79 | 0.103 6 |
| 2015 | 第 1 季度 | 9.95 | 2.27 | 0.01 | 0.07 | 0.73 | 0.098 8 |
| | 第 2 季度 | 7.22 | 2.14 | 0.02 | 0.07 | 0.7 | 0.097 5 |
| | 第 3 季度 | 6.34 | 2.33 | 0.03 | 0.08 | 0.77 | 0.107 3 |
| | 第 4 季度 | 7.33 | 1.41 | 0.02 | 0.05 | 1.04 | 0.120 4 |
| 2016 | 第 1 季度 | 10.11 | 1.67 | 0.02 | 0.05 | 0.97 | 0.120 1 |
| | 第 2 季度 | 8.12 | 2.61 | 0.02 | 0.05 | 1.24 | 0.138 6 |
| | 第 3 季度 | 7.66 | 2.26 | 0.01 | 0.05 | 0.78 | 0.099 1 |
| | 第 4 季度 | 7.14 | 1.66 | 0.02 | 0.05 | 0.98 | 0.116 6 |

结合表 5 可知,水库总氮浓度偏高是水质发生变化的主要原因。东牙溪水库是三明市区目前唯一的生活饮用水源地,水库汇水区内主要的污染源为生活污水、养殖废水、笋干加工制作废水、农业面源污染等,特别是近年来,由于保护区内村民的生产和生活,导致东牙溪沿河两岸植被破坏,致使水土流失日益加重,从而加重了库区水质的污染负荷。因此,应严格禁止水库保护区内从事可能污染水源地的违法行为,加大水库周边区域生活垃圾及污水的处理力度,加快实施水库保护区林业建设,加强东牙溪河岸植被的保护,增强水源涵养能力;加大推进农业生产方式转变力度,降低各类农业污染物产生量,尤其是要引导水库保护区周边区域农民减少化肥使用量;加大东牙溪水库水源地保护投入,建立水源地保护生态补偿机制。

**表 5 三明东牙溪水库监测各指标 2010—2016 年季度平均值与 $k_i$ 值** mg/L

| 年份 | 季 度 | DO | $COD_{Mn}$ | TP | $NH_3$-N | TN | $k_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2010 | 第 1 季度 | 7.37 | 1.48 | 0.03 | 0.06 | 0.81 | 0.109 1 |
| | 第 2 季度 | 6.77 | 1.58 | 0.03 | 0.81 | 0.84 | 0.122 8 |
| | 第 3 季度 | 8.7 | 2.39 | 0.02 | 0.04 | 0.66 | 0.096 6 |
| | 第 4 季度 | 6.61 | 1.02 | 0.01 | 0.03 | 0.59 | 0.078 5 |
| 2011 | 第 1 季度 | 9.66 | 1.15 | 0.01 | 0.02 | 0.8 | 0.099 7 |
| | 第 2 季度 | 9.45 | 2.04 | 0.02 | 0.04 | 1.4 | 0.148 9 |
| | 第 3 季度 | 8.52 | 1.84 | 0.02 | 0.03 | 0.64 | 0.093 0 |
| | 第 4 季度 | 7.77 | 1.43 | 0.02 | 0.02 | 0.8 | 0.103 1 |
| 2012 | 第 1 季度 | 10 | 1.65 | 0.02 | 0.02 | 0.77 | 0.104 5 |
| | 第 2 季度 | 10.3 | 2.02 | 0.02 | 0.03 | 0.63 | 0.095 1 |
| | 第 3 季度 | 10.16 | 2.07 | 0.01 | 0.05 | 0.58 | 0.086 1 |
| | 第 4 季度 | — | — | — | — | — | — |
| 2013 | 第 1 季度 | 9.59 | 2.22 | 0.02 | 0.05 | 0.64 | 0.095 9 |
| | 第 2 季度 | 9.56 | 2.08 | 0.02 | 0.05 | 0.78 | 0.106 5 |
| | 第 3 季度 | 8.08 | 2.05 | 0.01 | 0.06 | 0.64 | 0.088 3 |
| | 第 4 季度 | 6.69 | 1.33 | 0.01 | 0.05 | 0.7 | 0.088 7 |
| 2014 | 第 1 季度 | 10.05 | 2.32 | 0.01 | 0.05 | 0.75 | 0.100 3 |
| | 第 2 季度 | 8.87 | 2.76 | 0.02 | 0.07 | 0.86 | 0.113 9 |
| | 第 3 季度 | 4.95 | 1.36 | 0.05 | 0.39 | 0.71 | 0.112 1 |
| | 第 4 季度 | 7.45 | 2.09 | 0.02 | 0.05 | 0.68 | 0.095 7 |
| 2015 | 第 1 季度 | 10.2 | 1.82 | 0.02 | 0.07 | 0.7 | 0.100 7 |
| | 第 2 季度 | 9.05 | 2.92 | 0.03 | 0.07 | 0.85 | 0.118 8 |
| | 第 3 季度 | 8.14 | 2.43 | 0.02 | 0.07 | 0.8 | 0.107 4 |
| | 第 4 季度 | 7.59 | 1.56 | 0.02 | 0.06 | 0.71 | 0.097 0 |
| 2016 | 第 1 季度 | 9.23 | 1.96 | 0.04 | 0.06 | 0.86 | 0.121 7 |
| | 第 2 季度 | 7.72 | 2.25 | 0.03 | 0.06 | 1.07 | 0.130 7 |
| | 第 3 季度 | 7.67 | 1.38 | 0.02 | 0.05 | 0.89 | 0.110 1 |
| | 第 4 季度 | 7.96 | 1.83 | 0.03 | 0.05 | 0.8 | 0.110 1 |

**表 6 W-F 法评价结果**

| 监测点 | 季 度 | 预警等级 |
|---|---|---|
| 莆田东圳水库 | 2010 年第 1、第 2 季度,2012 年第 3 季度 | 中重警 |
| | 2010—2016 年(其余季度) | 中警 |
| 福清东张水库 | 2013 年第 3 季度 | 轻警 |
| | 2012 年第 1 季度 | 中重警 |
| | 2010—2016 年(其余季度) | 中警 |
| 三明东牙溪水库 | 2010 年第 4 季度,2011 第 3 季度,2012 年第 3 季度,2013 第 3,4 季度 | 轻警 |
| | 2010—2016 年(其余季度) | 中警 |

## 4 结 论

(1) 以莆田东圳水库、福清东张水库、三明东牙溪水库 2010—2016 年水质为例,应用 W-F 模型,对各水库进行水环境预警评价,确定水库水质预警等级,拓展 W-F 模型的应用范围。由评价结果可知,上述 3 个水库水质总体上预警等级为中警。

(2) W-F 模型既有单项指标又有综合指标,能够实现评价对象指标间的纵向以及横向比较;能够定量描述湖泊(水库)水环境质量的感觉强度变化关系,反映湖泊(水库)水环境质量变化的影响;与传统简单加权法相比,通过指标之间的差异程度来确定权重,减少了主观随意性;模型具有计算过程简单、评价精度高、应用性强等优点,为湖泊(水库)水质预警等级综合评价提供了新方法,拓展评价模型的应用范围;评价结果不但可以明确湖泊(水库)水质预警等级及其

在时间上的差异,还能体现湖泊(水库)水环境中薄弱的环节,便于将评价指标与结果之间进行时空相关性分析,在湖泊(水库)水质预警等级评价问题中具有一定的应用价值。

[ 参 考 文 献 ]


[1] 杨桂山,马荣华,张路,等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. 湖泊科学,2010,22(6):799-810.

[2] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(3):321-325.

[3] 邬敏,李祚泳,刘智勇,等. 一种改进的集对分析法在湖泊富营养评价中的应用[J]. 水资源保护,2009,25(2):5-9.

[4] 饶清华,张江山. 熵权物元分析模型在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 环境工程,2006,24(6):80-82.

[5] Shen Jian. Optimal estimation of parameters for a estuarine eutrophication model[J]. Ecological Modelling, 2006,191(3):521-537.

[6] 孔健健,张江山. 属性识别理论模型在湖泊水质富营养化评价中的应用[J]. 环境工程,2004,22(5):66-68.

[7] 张晓丹,黄朝君,徐菡,等. 基于 RBF 神经网络的湖库水质富营养化程度评价模型[J]. 环境工程,2007,25(2):80-82.

[8] Drösler J. An n-dimensional Weber law and the corresponding Fechner law[J]. Journal of Mathematical Psychology, 2000,44(2):330-335.

[9] 李祚泳,彭荔红. 基于韦伯—费希纳拓广定律的环境空气质量标准[J]. 中国环境监测,2003,19(4):17-19.

[10] 薛文博,易爱华,张增强. 基于韦伯—费希纳定律的一种新型环境质量评价法[J]. 中国环境监测,2006,22(6):57-58.

[11] 于露,李凡修. 韦伯—费希纳定律在区域生态环境质量评价中的应用[J]. 油气田环境保护,2011,21(3):8-10.32.

[12] 李小燕,王菲凤,张江山. 基于韦伯—费希纳定律的湖泊富营养化评价[J]. 水电能源科学,2011,29(3):37-39.

[13] 巩如英,王飞,刘雅莉,等. 韦伯—费希纳定律评价模型在景观环境质量评价中的应用[J]. 西北林学院学报,2006,21(1):131-135.

[14] 张宝,刘静玲,陈秋颖,等. 基于韦伯—费希纳定律的海河流域水库水环境预警评价[J]. 环境科学学报,2010,30(2):268-274.

[15] 钟龙芳,王菲凤,张江山. 基于韦伯—费希纳定律的地下水环境质量评价[J]. 环境科学与管理,2012,12(12):189-192.

[16] 廖文珍,王菲凤,张江山. 基于韦伯—费希纳定律的海域水质综合评价[J]. 海洋环境科学,2014,33(1):113-117.


(上接第 284 页)


[3] 陈进斌,苗英霞,邱金泉,等. 海水养殖废水处理技术研究进展[J]. 盐业与化工,2016,45(5):1-5.

[4] 杨凤娟. 不同工艺生态浮床技术对污染水体的净化效果、机制及示范研究[D]. 广东 广州:暨南大学,2011.

[5] 国家环境保护总局. 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: 12-13.

[6] 汤茵琪,李阳,常素云,等. 好氧反硝化菌强化生态浮床对水体氮与有机物净化机理[J]. 生态学杂志,2017,36(2):569-576.

[7] Wu Hailu, Xu Kaiqin, He Xiaojuan, et al. Removal of nitrogen by three plant species in hydroponic culture: plant uptake and microbial degradation[J]. Water Air & Soil Pollution, 2016,227(9):324-336.

[8] Zhao Fengliang, Yang Weidong, Zeng Zheng, et al. Nutrient removal efficiency and biomass production of different bioenergy plants in hypereutrophic water[J]. Biomass & Bioenergy, 2012,42(7):212-218.

[9] 王国芳,汪祥静,吴磊,等. 组合型生态浮床中各生物单元对污染物去除的贡献及净化机理[J]. 土木建筑与环境工程,2012,34(4):136-141.

[10] Zhang Rongshe, Zhou Qi, Shi Yunpeng, et al. Phosphorus Removal of agriculture wastewater through subsurface constructed wetland[J]. Environmental Science, 2003,24(4):105-108.

[11] Huang Jianhong, Mo Wenrui, Tian Senlin, et al. Ammonium nitrogen and phosphorus adsorption characteristics of three substrates in constructed wetland[J]. Applied Chemical Industry, 2012,41(5):774-770.

[12] Yu Yang, Chen Nan, Wang Di, et al. Adsorption of phosphorus based on Hangjin clay granular ceramic from aqueous solution And sewage: Fixed-bed column study[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2017,36(1):1-10.

[13] 李亚峰,张娟,张佩泽,等. 曝气生物滤池的自然挂膜启动分析[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2008,24(6):1035-1038.