

# 基于韦伯-费希纳定律的辽河流域 水库水环境综合预警评价

王兆庆<sup>1</sup>,殷 有<sup>1</sup>,周旺明<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**水库是重要的水源地及保护区,在区域水资源环境安全中具有不可替代的地位。现利用辽宁省6座水库监测数据,根据韦伯-费希纳定律,选取COD、TP、TN和NH<sub>3</sub>-N 4个与水库水环境关系密切的水质评价指标,通过确定水环境综合影响指数 $k_i$ 值与地表水环境综合预警等级之间的关系,建立水环境预警模型。结果表明: $k_i$ 值与地表水环境综合预警等级呈幂函数关系,截止2009年6座水库均未达到国家Ⅰ类水质标准,汤河水库下达河监测点综合预警等级为重警,建议加强流域水库水环境的监控和采取更严格的管理措施。

**关键词:**韦伯-费希纳定律;水质评价;预警

**中图分类号:**X832

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2013)05-0099-04

水资源问题是全球性问题,也是生态环境建设的核心问题。由于人口增加、工农业发展导致的用水量增加和水质污染,使水资源越来越紧缺,已成为国民经济发展的制约因素。因此,对流域水环境质量进行评估和风险预警具有重要价值<sup>[1]</sup>。

水环境预警,是指在一定范围内,对一定时期水环境发生的变化进行监测、分析,并对其容量及质量的未来发展状况进行预测,通过确定水环境状况和变化趋势以及达到某一变化限度的时间等,以预报不正常状况的时空范围和危害程度<sup>[2]</sup>。目前主要从单指标预警<sup>[3]</sup>、水环境预警模型模拟<sup>[4-6]</sup>和利用遥感与地理信息系统进行预测3个方面展开研究。

辽河是辽宁省最大河流,流域总面积为21.9万km<sup>2</sup>,全长1390km,该流域的水库是沈阳、鞍山、抚顺、本溪、铁岭、辽阳和营口等大中城市的水源地。近年来,由于水库上游及周边地区污染威胁增加,严重影响这些城市的生产生活用水和生

态安全,急需对该流域主要水库水环境做出正确评估<sup>[7]</sup>。现以辽河流域的柴河口水库、清河水库、观音阁水库(太子河南支、太子河北支)、筏窝水库、汤河水库(下达河、二道河)、大伙房水库6个水库8个监测点为例,选取与水库水环境关系较为密切的水质指标,利用韦伯-费希纳定律,针对不同水库水环境特征分别进行了水环境质量综合评价和预警等级定位,对不同空间水库水环境进行比较分析,通过确定水环境综合影响指数 $k_i$ 值与地表水环境综合预警等级之间的关系,建立数学模型,并确定各水库预警等级。以期为辽宁省水库水环境安全管理提供科学依据和技术支持。

## 1 水库水环境风险模型

### 1.1 韦伯-费希纳定律基本原理

韦伯-费希纳定律(Weber-Fechner Law, W-F定律)是1850年由费希纳在韦伯研究的基础上,通过心理物理实验证明及推导得出的研究刺激的物理特性与感觉经验之间关系的定律。其最早应用于心理学和声学等领域,近年来开始引入到环境评价理论研究中。其实验证明并推导出对于中等强度刺激,人体产生的反应量 $k$ 和外界环境刺激量 $c$ (污染物浓度)之间的函数关系:

$$k = a \lg c \quad (1)$$

式中, $a$ 为韦伯常数。

W-F定律应用在水环境质量评价中基于这3

收稿日期:2013-01-23

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2012ZX07202-008-001;2012ZX07505-003)

第一作者简介:王兆庆(1985-),男,辽宁省沈阳市人,在读硕士,从事水土保持与生态治理研究。E-mail:wzq19851002@hotmail.com。

通讯作者:殷有(1971-),男,黑龙江省齐齐哈尔市人,硕士,副教授,从事森林计测方面的教学及研究工作。

点假设:①把外界环境刺激量  $c$  视为水体中某污染物的浓度或水环境指标;②把人体产生的反应量  $k$  视为该污染物或水环境指标对人体的影响程度;③ $a$  是由该污染物或水环境指标的性质所决定的,对于同一污染物或指标而言  $a$  为常数,而评价过程中涉及到多个污染物或指标,因此,把  $a$  视为某种污染物或指标的权重。据此,W-F 定律的函数关系可变形为:

$$k_{ij} = a_j \lg (c_{ij} + 1) \quad (2)$$

式中, $k_{ij}$  为第  $i$  个监测点第  $j$  个污染或水环境指标对人体的影响指数; $a_j$  为第  $j$  个污染或水环境指标的权重,采用熵权算法<sup>[8]</sup>;  $c_{ij}$  为第  $i$  个监测点第  $j$  个污染或水环境指标的监测浓度标准化值。

## 1.2 W-F 定律综合影响指数确定

采用公式(3)计算综合影响指数:

表 1 水库水环境质量综合影响指数及预警等级

Table 1 Comprehensive effect index of water environment quality and forewarning level for reservoirs

项目 Item	水环境质量等级 Quality level of water environment				
	I 类 Class I	II 类 Class II	III 类 Class III	IV 类 Class IV	V 类 Class V
评价指标 Evaluation index					
COD/mg·L <sup>-1</sup>	15	15	20	30	40
TP/mg·L <sup>-1</sup>	0.01	0.025	0.05	0.1	0.2
TN/mg·L <sup>-1</sup>	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
NH <sub>3</sub> -N/mg·L <sup>-1</sup>	0.05	0.05	0.05	0.50	1.00
$k_i$ 值 $k_i$ value	0.1396	0.1950	0.2714	0.3424	0.4079
预警等级 Forewarning level	1 无警	2 轻警	3 中警	4 重警	5 超重警

## 2.2 水库水环境综合预警等级与 $k_i$ 值的关系

以  $k_i$  值为自变量,水环境综合预警等级为因变量,建立两者之间的函数关系(见图 1)。结果表

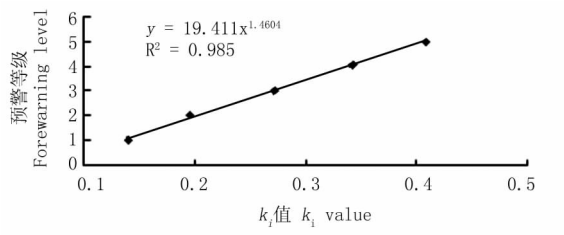


图 1  $k_i$  值与水环境综合预警等级的关系

Fig. 1 Relationship between  $k_i$  value and comprehensive forewarning level of water environment for reservoirs

$$k_i = \sum_{j=1}^n k_{ij} \quad (3)$$

式中, $k_i$  为第  $i$  个监测点污染或水环境指标对人体的综合影响指数。

## 2 水库水环境综合预警

### 2.1 水库水环境综合预警等级划分

根据 W-F 定律以及水环境质量评价的指标要求和水库水环境实测数据完整度情况,参照地表水环境质量标准<sup>[9]</sup>,选择化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)和氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)4 个表征水库水环境质量的评价指标,计算得出其权重分别为 0.0858、0.4190、0.2370 和 0.2582,根据式(2)、(3)计算  $k_i$  值,根据  $k_i$  值将水库水环境综合预警等级从低到高划分为 5 级,分别为:无警、轻警、中警、重警、超重警(见表 1)。

明, $k_i$  值-水环境综合预警等级之间为幂函数关系,其关系式为: $y=19.411x^{1.4604}$ , ( $R^2=0.985$ )。式中, $x$  为  $k_i$  值; $y$  为水环境综合预警等级,计算结果采用收尾法。

## 3 实例研究

依据辽河流域 6 座水库 8 个监测点 2004~2010 年监测数据,应用 W-F 定律计算  $k_i$  值。其中葭窝水库及汤河水库未测定 NH<sub>3</sub>-N 的浓度,2005~2008 年期间大伙房水库未测定 TN 的浓度,计算  $k_i$  值时采用缺项计算,各水库实际水环境综合预警等级结果(见表 2)。

表 2 辽河流域 6 座水库实际水环境综合预警结果分析  
 Table 2 Comprehensive forewarning results of actual water environment  
 for the six reservoirs in Liaohe river basin

水库 Reservoir	年份 Year	COD/ mg·L <sup>-1</sup>	TP/ mg·L <sup>-1</sup>	TN/ mg·L <sup>-1</sup>	NH <sub>3</sub> -N/ mg·L <sup>-1</sup>	<i>k<sub>i</sub></i> 值 <i>k<sub>i</sub></i> value	预警等级 Forewarning level
柴河口水库 Chaihekou reservoir	2004	6.33	0.06	2.58	0.02	0.2182	2.1020(中警)
	2005	17.5	0.11	3.35	0.007	0.2801	3.0269(重警)
	2006	9.11	0.10	2.06	0.010	0.2192	2.1157(中警)
	2007	12.78	0.03	2.05	0.017	0.2198	2.1240(中警)
	2008	5	0.014	2.47	0.027	0.2001	1.8516(轻警)
	2009	5	0.02	1.59	0.27	0.1951	1.7850(轻警)
清河水库 Qinghe reservoir	2004	6.67	0.057	3.77	0.013	0.2481	2.5355(中警)
	2005	16.67	0.158	4.14	0.01	0.3032	3.3982(重警)
	2006	6.78	0.079	2.50	0.010	0.2205	2.1339(中警)
	2007	6.44	0.033	3.08	0.016	0.2272	2.2287(中警)
	2008	5	0.016	4.08	0.03	0.2402	2.4176(中警)
	2009	5	0.083	2.11	0.313	0.2287	2.2506(中警)
观音阁水库太子河南支 South branch of Taizi river of Guanying reservoir	2009	5	0.06	0.76	0.129	0.1491	1.2053(轻警)
观音阁水库太子河北支 North branch of Taizi river of Guanying reservoir	2009	5	0.05	0.76	0.13	0.1474	1.1847(轻警)
菱窝水库 Shenwo reservoir	2005	5	0.017	2.7	—	0.2757	3.3531(重警)
	2006	10.53	0.117	3.43	—	0.3565	4.5533(超重警)
	2007	5	0.043	4.91	—	0.3467	4.4223(超重警)
	2008	12.93	0.129	5.46	—	0.4210	5.3289(超重警)
	2009	5	0.109	1.33	—	0.2330	2.5692(中警)
汤河水库下込河 Xiada river of Tanghe reservoir	2004	10.38	0.005	1.73	—	0.2626	3.1259(重警)
	2005	5	0.005	2.14	—	0.2500	2.8970(中警)
	2006	9.77	0.028	2.25	—	0.2895	3.5813(重警)
	2007	5	0.03	1.59	—	0.2292	2.4904(中警)
	2008	5	0.096	4.05	—	0.3372	4.2917(超重警)
汤河水库二道河 Erdao river of Tanghe reservoir	2009	5	0.049	2.23	—	0.2644	3.1574(重警)
	2004	8.1	0.005	1.74	—	0.2519	2.9316(中警)
	2005	5	0.005	1.83	—	0.2353	2.6149(中警)
	2006	7.8	0.021	1.5	—	0.2414	2.7341(中警)
	2007	5	0.021	1.74	—	0.2347	2.6028(中警)
大伙房水库 Dahuofang reservoir	2008	6.97	0.091	4.38	—	0.3590	4.5854(超重警)
	2009	5	0.039	1.83	—	0.2435	2.7741(中警)
	2004	6.24	0.035	1.79	0.01	0.1869	1.6763(轻警)
	2005	5	0.035	—	0.010	0.0637	0.5351(无警)
	2006	5	0.031	—	0.005	0.0620	0.4589(无警)
	2007	5	0.04	—	0.008	0.0640	0.5470(无警)
	2008	5	0.02	—	0.006	0.0606	0.3945(无警)
	2009	5	0.014	1.90	0.025	0.1815	1.6063(轻警)
	2010	5	0.028	1.57	0.037	0.1730	1.4971(轻警)

由表2可见,2004~2009年柴河口水库水环境综合预警等级逐渐下降;清河水库和汤河水库二道河监测点预警等级变化不大;筏窝水库2005~2008年预警等级较重,2009年有所好转;汤河水库下达河监测点预警等级呈波浪式变化。截止2009年柴河口水库、观音阁水库和大伙房水库水环境综合预警等级为轻警,说明水库水环境状况较好,水库可实施常规调度管理措施;清河水库和筏窝水库预警等级为中警,水库应加强管理调度;汤河水库二道河监测点预警等级为中警、下达河监测点预警等级为重警,说明水库水环境已发生重污染,需及时确定污染物来源,采取针对性的管理措施。6座水库均未达到国家Ⅰ类水质标准,其监测指标中TP、TN含量超标,需引起重视。

#### 4 结论

以化学需氧量(COD)、总磷(TP)、总氮(TN)、氨态氮( $\text{NH}_3-\text{N}$ )4个表征水库水环境质量的评价指标,基于水库水环境预警模型,建立了水库 $k_i$ 值和水环境状态等级间的线性函数关系,并应用此预警模型对辽河流域水库水环境质量进行了预警。结果显示: $k_i$ 值与水环境状态函数表示为 $y=19.411x^{1.4604}$ , ( $R^2=0.985$ )。

柴河口水库 $k_i$ 值在0.1951~0.2801,清河水库 $k_i$ 值在0.2205~0.3032,观音阁水库 $k_i$ 值在0.1474~0.1491,筏窝水库 $k_i$ 值在0.2330~

0.4260,汤河水库 $k_i$ 值在0.2292~0.3590,而大伙房水库 $k_i$ 值在0.6060~0.1869,辽河流域6座水库均未达到国家Ⅰ类水质标准,其监测指标中TP、TN含量超标。

#### 参考文献:

- [1] 李键,杨玉楠,吴舜泽,等.水环境预警系统的研究进展[J].环境保护,2009,416(3):4-7.
- [2] 董志颖,王娟,李兵.水质预警理论初探[J].水土保持研究,2002,9(3):224-226.
- [3] Cadjo S, Miletic A, Djurkovic A. Zooplankton of the Potpec reservoir and the saprobiological analysis of water quality[J]. Desalination, 2007, 213: 24-28.
- [4] Cabecinha E, Cortes R, Pardal M A, et al. A Stochastic Dynamic Methodology (StDM) for reservoir's water quality management: Validation of a multi-scale approach in a south European basin (Douro, Portugal) [J]. Ecological Indicators, 2009, 9(2): 329-345.
- [5] 汪尚朋,李江云,郑旭荣,等.水质模糊评价的探讨[J].中国农村水利水电,2005(1):48-51.
- [6] Cabecinha E, Cortes R, Cabral J A, et al. Multi-scale approach using phytoplankton as a first step towards the definition of the ecological status of reservoirs [J]. Ecological Indicators, 2009, 9(2): 240-255.
- [7] 孟伟,张远,郑丙辉.辽河流域水生态分区研究[J].环境科学学报,2007,27(6):911-918.
- [8] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005,25(4):552-556.
- [9] GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S].

## Research of Water Environment Comprehensive Forewarning for Reservoirs in Liaohe River Basin Based on Weber-Fechner Law

WANG Zhao-qing<sup>1</sup>, YIN You<sup>1</sup>, ZHOU Wang-ming<sup>2</sup>

(1. Forestry College of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016)

**Abstract:** As an important water source and nature reserve, the reservoir has an irreplaceable role to security of regional water resources. The monitoring date of COD, TP, TN and  $\text{NH}_3-\text{N}$  from 6 reservoirs in Liaoning province were collected, which were closely related to water environment quality. According to Weber-Fechner law, the relationship between water environmental impacts index ( $k_i$ ) and surface water environment quality forewarning level, and the forewarning model of water environment quality were studied. The results showed that the relationship between  $k_i$  value and surface water environment quality forewarning level was power function. At the end of 2009, the water qualities of 6 reservoirs were all lower than the level of national water quality standard I. The forewarning level of Xiadahe monitor site of Tanghe reserve was serious level, which indicated that water quality monitoring needed improve and a stricter management of the reserve should be carried out.

**Key words:** Weber-Fechner Law; water environmental quality evaluation; forewarning