

重庆市都市圈大中型水库富营养化现状及评价*

李静¹, 魏世强¹, 张晟², 江帆¹

(1. 西南农业大学资源与环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020)

摘要 对重庆市都市圈6座水库的监测结果表明,所有调查的水库均具备了产生富营养化的条件。各水库 Chla 值范围为 4.62~36.40mg/m³;TP 范围为 0.012~0.323mg/L;TN 范围为 0.005~5.94mg/L;SD 范围为 0.48~1.95m;COD_{Mn} 范围为 1.24~7.03mg/L。3种评价方法的相关性较好,综合营养状态指数法可作为评价水库富营养化的统一方法。评价结果5座大中型水库中,达到重度富营养化的1座,轻度富营养化的2座,中营养水平的2座。这表明都市圈内大中型水库的富营养化程度已经相当严重。

关键词 水库;富营养化;评价

中图分类号 X524

文献标识码 A

文章编号 1672-6693(2005)01-0043-04

Investigation and Evaluation of Reservoir Eutrophication in Chongqing City Zone

LI Jing¹, WEI Shi-qiang¹, ZHANG Sheng², JIANG Fan¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716;

2. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 400020, China)

Abstract An investigation of the 6 large and medium sized reservoirs in Chongqing city zone was carried out and has revealed that concentration of chlorophyll-a, total P(TP), total N(TN), see chi disk depth and COD_{Mn} are ranged from 4.62~36.40mg/m³, 0.012~0.323mg/L, 0.005~5.94mg/L, 0.48~1.95m, 1.24~7.03mg/L. There is significant correlation among the 3 methods. Evaluation with the methods of synthesis index of nutrition state, 1 of 5 reservoirs evaluated are hyper eutropher, 2 are light eutropher, 2 are mesotropher. The eutrophication of the reservoirs in Chongqing city zone is more and more serious.

Key words reservoir; eutrophication; evaluation

富营养化是当今世界面临的重大环境问题。湖泊水库发生富营养化的区域一般要同时具备以下特征:氮磷营养物质水平达到湖泊富营养化标准水平,国际上一般认为,TP质量浓度为0.02mg/L, TN质量浓度为0.2mg/L,是湖泊水库富营养化的发生浓度^[1],水深不超过10m,平均流速小于0.05m/s,而且水温在10~25℃之间,气候温暖、日照充足等^[2]。2003年6月三峡水库成库后,由于水流速减缓,透明度增加,冬季水温升高,日照时间变长,有利于水体中浮游藻类的生长,增加了水库特别是流速缓慢的库湾和回水区域富营养化发生的可能性^[3,4]。三峡水库是否富营养化成为倍受世人关注的环

境问题。重庆都市发达经济圈大中型水库一般都位于长江的一些次级河流上,由于其库容量大,其水污染必然会影响长江干流三峡库区的水质状况。因此,对重庆都市圈大中型水库富营养化的调查研究不仅能了解水库富营养化状况,而且对三峡水库水质的保护具有重要意义。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域水库特征及分布

根据《重庆市城市规划法》的有关规定,确定重庆特大城市的范围为渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区、北碚区、渝北区、巴南区

* 收稿日期 2005-01-04

资助项目 重庆市科技攻关资助项目(NO. 6756)

作者简介 李静(1969-) 男,重庆合川人,讲师,博士研究生,主要从事环境科学与工程研究。

全部行政区域。重庆特大城市即为都市发达经济圈,简称“都市圈”,该区域用地面积为 5 472.82 km² 2001 年末总人口 543.42 万人,人口密度为每平方公里 993 人。按重庆市地理及经济区划,重庆都市圈内有库容量大于 1 000 万 m³ 的大中型水库 6 座,分布于北碚区、渝北区、巴南区(见表 1)。

表 1 重庆都市圈内大中型水库统计

地点	水库名称	库容/万 m ³
渝北区	新桥水库	36 800
渝北区	两岔水库	3 660
巴南区	下洞口水库	1 129
巴南区	南彭水库	1 330
北碚区	胜天水库	1 076
北碚区	海底沟水库	1 340

1.2 监测项目与方法

采样时间为 2003 年 6—8 月。水质监测项目有 TP 质量浓度 ρ_{TP} 、TN 质量浓度 ρ_{TN} 、叶绿素 *a*、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、透明度(SD)等 5 项。所有项目均为采水器在水面下 0.5 m 处采样。透明度测定采用塞氏盘法;高锰酸盐指数测定采用 GB11892-89;叶绿素 *a* 测定采用分光光度法;总氮测定采用碱性过硫酸钾消解、紫外分光光度法 GB11894-89;总磷测定采用钼酸铵分光光度法 GB11893-89^[5]。

1.3 评价方法

目前,湖泊富营养化评价采用较多的有营养物浓度评价、生物指标评价和综合评价 3 种方法,前两种方法偏重从某一方面进行富营养化评价,评价的结果往往比较片面,而综合评价则是采用多指标进行评价,能够比较全面地反映出水体的营养状况。综合评价主要有特征法、参数法、营养状态指数法和营养度指数法(AHP-PCA法),营养状态指数法包括卡尔森营养状态指数、修正的营养状态指数(TSI_M)、综合营养状态指数 $TLI(\Sigma)$ ^[6]。为了解重庆都市圈大中型水库的富营养化程度,采用修正的营养状态指数(TSI_M)、综合营养状态指数(TLI)、营养度指数法(AHP-PCA法)对其富营养化现状进行评价。选取 Chla、TP、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 NH_3-N 5 个项目作为评价指标。

1.3.1 修正的卡尔森营养状态指数法(TSI_M) 计算公式为:

$$TSI_M(Chla) = 10(2.46 + \ln chla / \ln 2.5)$$

$$TSI_M(SD) = 10[2.46 + (3.69 - 1.53 \ln SD) / \ln 2.5]$$

$$TSI_M(TP) = 10[2.46 + (6.71 + 1.15 \ln \rho_{TP}) / \ln 2.5]$$

分别计算 $chla$ 、 SD 、 ρ_{TP} 的卡尔森修正指数,取其平均值作为最后的评价参数。式中:叶绿素 a ($chla$) 单位为 mg/m³,透明度 SD 单位为 m, ρ_{TP} 单位均为 mg/L。

1.3.2 综合营养状态指数法 $TLI(\Sigma)$ 该法系中国环境监测总站推荐的湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定。计算公式为

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j)$$

式中: $TLI(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重, $TLI(j)$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。

以 $chla$ 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化相关权重计算公式为:

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 $chla$ 的相关系数; m 为评价参数的个数。

中国湖泊(水库)的 $chla$ 与其它参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2 见表 2。

表 2 中国湖泊(水库)的 $chla$ 与其它参数的相关关系

参数	ρ_{chla}	ρ_{TP}	ρ_{TN}	SD	COD_{Mn}
r_{ij}	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
r_{ij}^2	1	0.705 6	0.672 4	0.688 9	0.688 9

营养状态指数计算公式为:

$$TLI(chla) = 10(2.5 + 1.086 \ln \rho_{chla})$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln \rho_{TP})$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln \rho_{TN})$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn})$$

式中:叶绿素 a (ρ_{chla})单位为 mg/m³,透明度 SD 单位为 m;其它指标单位均为 mg/L。

1.3.3 营养度指数法(AHP-PCA法) 将层次分析法(AHP)和主成分分析法(PCA)结合起来,作为评价湖泊富营养化状态的综合方法,即层次分析-主成分分析营养度指数法。

综合营养度的计算公式为:

$$TLI_c = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI_j = \sum_{j=1}^m W_j (a_j + b_j \ln C_{jx})$$

$$a_j = -\frac{\ln C_{jmin}}{\ln C_{jmax} - \ln C_{jmin}} \times 100$$

$$b_j = \frac{1}{\ln C_{jmax} - \ln C_{jmin}} \times 100$$

式中, TLI_c 为湖泊营养状态的综合营养度; TLI_j 为第 j 个因子的分营养度; W_j 为第 j 个因子的“综合权”。 C_{jx} 为第 j 个因子的监测值(平均值、丰季均值或最大值); C_{jmin} 和 C_{jmax} 分别是第 j 个因子相应于营养度为 0 和 100 时的浓度值; a_j 和 b_j 为由上述两个值所确定的常数。

湖泊(水库)营养状态指数评价标准如表 3 所示。湖泊(水库)营养状态进行分级为: $TLI(\Sigma) < 30$ 为贫营养(Oligotropher); $30 \leq TLI(\Sigma) \leq 50$ 为中营养(Mesotropher); $TLI(\Sigma) > 50$ 为富营养(Eutropher); $50 < TLI(\Sigma) \leq 60$ 为轻度富营养(Light eutropher); $60 < TLI(\Sigma) \leq 70$ 为中度富营养(Middle eutropher); $TLI(\Sigma) > 70$ 为重度富营养(Hyper eutropher)。在同一状态下,指数值越高,其富营养程度越重^[6]。

表 3 中国湖泊营养状态指数评分标准

TLI	$\rho_{Chla}/$ ($mg \cdot m^{-3}$)	$\rho_{TP}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{TN}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	SD/m	$COD_{Mn}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)
0	0.10	0.003	0.04	13.83	0.96
10	0.25	0.005	0.07	8.25	1.40
20	0.64	0.010	0.13	4.93	2.04
30	1.59	0.019	0.24	2.94	2.96
40	3.98	0.035	0.42	1.76	4.32
50	10.00	0.065	0.77	1.05	6.29
60	25.12	0.120	1.38	0.63	9.15
70	63.10	0.223	2.49	0.38	13.33
80	158.50	0.413	4.50	0.22	19.40
90	398.00	0.760	8.11	0.13	28.25
100	1 000	1.415	14.64	0.08	41.14

2 结果与讨论

2.1 富营养化指标结果

重庆都市圈大中型水库的 $Chla$ 值范围为 4.62 ~ 36.40 mg/m^3 ; TP 质量浓度范围为 0.012 ~ 0.323 mg/L ; TN 质量浓度范围为 0.005 ~ 5.94 mg/L ; SD 范围为 0.48 ~ 1.95 m ; COD_{Mn} 范围为 1.24 ~ 7.03 mg/L (表 4)。从监测结果看,所有的水库都出现了指标超标现象,但各个指标之间以及各地区之间的超标情况存在一定差异。对比 GHZBI-1999 湖泊水库特定项目标准(表 5),叶绿素 a 最低值只能达到 III 类水质标准,最高值超过 IV 类水质标准;TP 最低含量只能达到 III 类水质标准,最大值超过 V 类水质标准约 1.7 倍;TN 最低含量能达到 II 类水质标准,最高

值超过 V 类水质标准约 4 倍,透明度均处于 IV 类、V 类水质之间。作为有机污染的 COD_{Mn} 指标,当其超过 4 mg/L 时,表示水体已受到有机污染^[7]。水库监测结果表明,只有渝北区的新桥和两岔水库 COD_{Mn} 含量超过 4 mg/L ,表明这一地区有机污染较为严重,分析原因主要与这一地区经济较发达,工农业污水、生活污水排放量大,且缺乏处理有关,污染物通过多种途径进入水库导致 COD_{Mn} 含量较高。

从水体中营养盐含量分析,TP 含量超过 V 类水质标准的水库为 1 座;TN 超过 V 类水质标准的水库为 4 座。按照湖泊水库发生富营养化的氮磷营养物质浓度标准(表 5),所有调查的水库均具备了产生富营养化的条件。

表 4 水库富营养化监测结果

水库名称	$\rho_{Chla}/$ ($mg \cdot m^{-3}$)	$\rho_{TP}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$\rho_{TN}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)	$SD/$ m	$COD_{Mn}/$ ($mg \cdot L^{-1}$)
渝北新桥水库	36.40	0.062	5.94	0.48	7.03
渝北两岔水库	19.12	0.049	3.53	0.69	5.00
巴南下洞口水库	5.37	0.084	1.27	1.40	2.73
巴南南彭水库	4.80	0.026	1.06	1.60	1.86
北碚胜天水库	4.62	0.012	1.62	1.95	1.24
北碚海底沟水库	-	0.323	0.005	-	1.55

表 5 湖泊水库营养化标准/GHZBI-1999

项目	分类				
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
$\rho_{TP}/$ ($mg \cdot L^{-1}$) \leq	0.002	0.01	0.025	0.06	0.12
$\rho_{TN}/$ ($mg \cdot L^{-1}$) \leq	0.04	0.15	0.3	0.7	1.2
$\rho_{Chla}/$ ($mg \cdot m^{-3}$) \leq	1	4	10	30	65
$SD/m \geq$	15	4	2.5	1.5	0.5

2.2 富营养化评价结果

从表 6 中数据和图 1 可看出,不同方法的评价结果有所差别,但相关性较好。水库修正的卡尔森营养状态指数法平均值范围为 45.79 ~ 67.97,综合营养状态指数法平均值范围为 39.77 ~ 72.72,营养度指数法平均值范围为 27.70 ~ 57.36。在验算中发现营养度指数法计算步骤繁琐、耗时长,不如综合营养指数法简便易行;而修正的卡尔森营养状态指数法在实际应用过程中,由于参数少,易受人为因素的干扰,影响对富营养化评价结果的准确性。因此,选取

综合营养状态指数法作为评价水库富营养化的统一方法是可行的。

表6 水库评价结果

水库名称	TSI_M (chl _a)	TLL_c	$TLL(\Sigma)$	富营养化程度
渝北新桥水库	67.97	57.36	72.72	重度富营养
渝北两岔水库	62.63	50.52	57.05	轻度富营养
巴南下闸口水库	56.32	41.28	52.43	轻度富营养
巴南南彭水库	50.26	32.96	44.35	中营养
北碚胜天水库	45.79	27.70	39.77	中营养
北碚海底沟水库	-	-	-	-

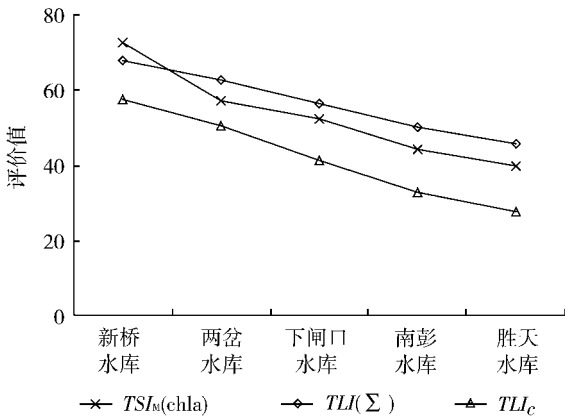


图1 各水库富营养化状况不同评价方法对比

从综合营养状态指数法的评价结果来看,各地区之间存在着差异,除北碚海底沟水库为地下水库不参与评价外,重庆都市圈内5座大中型水库营养状态评价均在中营养以上,其中达到重度富营养化水平的有1座;轻度富营养化的2座,占全部评价水

库的60%以上;中营养水平的2座。表明都市圈内大中型水库的富营养化程度已经相当严重。营养状态指数最高值(72.72)出现在渝北新桥水库,最低值(39.77)出现在北碚胜天水库。

3 结论

(1)重庆市都市圈内所有调查的大中型水库均具备了产生富营养化的条件。

(2)水库富营养化状况严重,达到富营养化水平的水库占60%,其余水库均为中营养。

参考文献:

- [1] 金相灿,刘鸿亮,屠清瑛,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- [2] 黄真理,李锦秀,廖文根.三峡水库水体富营养化的潜在分析[A].罗以生,叶闽,洪一平.中国环境水利学[C].北京:中国水利水电出版社,2002.297-302.
- [3] 张晟,李崇明,魏世强.三峡库区富营养化评价方法探讨[J].西南农业大学学报,2004,26(3):340-343.
- [4] 杜小旺,马长英.关于含磷洗衣粉对水污染的现状分析[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2004,21(3):46-49.
- [5] 魏复盛.水和废水监测分析方法(第3版)[M].北京:中国环境科学出版社,1989.176-230.
- [6] 金相灿,屠清成.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,1990.286-302.
- [7] 刘健康.东湖生态研究(第2版)[M].北京:科学出版社,1995.

(责任编辑 李若溪)