

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.03.004

河道型水库富营养化演变过程监测分析

郑铁刚^{1 2}, 戴会超^{1 2}, 王玲玲², 毛劲乔^{1 2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098 ; 2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要 根据河道型水库的特点, 以三峡水库为例, 对水库 2002—2005 年间的总磷浓度、总氮浓度、藻类细胞密度的监测资料进行了系统的对比分析, 结合库区内营养盐排放, 对比了蓄水前后氮磷比变化情况. 监测分析结果表明, 河道型水库蓄水前后产生了由“ 河流型硅藻类到湖泊型蓝、绿藻类 ” 的演变趋势, 并有明显的季节性差异. 河道型水库蓄水使水库总磷沉降作用加速, 抑制库区磷排放和利用支流上游的水工建筑物或动力工程增加水动力是控制河道型水库富营养化的有效途径.

关键词 河道型水库; 富营养化; 藻华; 三峡水库

中图分类号: X524; P343.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2011)03-0254-05

水体富营养化是当今世界面临的一个重大环境问题, 由于发展快、危害大、处理难以及恢复慢等特点, 自 20 世纪 70 年代初起, 水体富营养化问题就受到各国的高度重视, 并成为全球性前沿研究课题. 尽管国际上在富营养化机理、富营养化的水动力条件、富营养化模拟预测、富营养化标准等方面已经开展了许多研究^[1-6], 并且在治理方面也有一些成功的案例, 但是水体富营养化防治一直是一个未能得到解决的技术难题. 在国内, 以太湖、巢湖、滇池为重点开展了大量的湖泊水体富营养化研究^[7-10], 取得了不少有益的成果, 但是针对河道型水库水体富营养化演变过程的研究尚十分少见.

河道型水库与传统意义上的湖泊型水库不同, 在建库前后, 水动力条件及水文情势将会发生很大的变化^[11], 这一变化对库区富营养化状态将产生决定性的影响. 本文以三峡水库为例, 通过对三峡水库 2002—2005 年间的总磷(TP)浓度、总氮(TN)浓度、藻类细胞密度等指标进行监测并做系统的对比研究, 特别是这些关键因子在蓄水之前(2002 年 6 月至 2003 年 5 月)与蓄水之后(2003 年 6 月至 2004 年 5 月)的变化情况, 结合库区污染物排放情况, 根据河道型水库的特点, 分析三峡水库富营养化演变的过程, 提出改善库区水环境的措施.

1 试验安排及方法

1.1 采样点布设

三峡水库坝前作为监测的第一个横断面, 命名为 CJ01. 从 CJ01 向上游方向大约每 8 km 设置一组采样点, 其中, CJ04 位于香溪河与长江交汇处, CJ05 位于归州, 见图 1. 采样点遵循江中心与近岸点布置原则, 2003 年 6 月前, 在库区的 5 个横断面设置了 10 个采样点, 2003 年 7 月在原基础上增至 14 个采样点.

1.2 监测方法

自 2002 年 12 月至 2004 年 5 月, 每月定期采样 1 次, 进行水生生物种类鉴定和多项水质指标分析. 根据《水和废水监测分析方法》^[12]测定水中叶绿素 a、总氮、总磷浓度. 库区

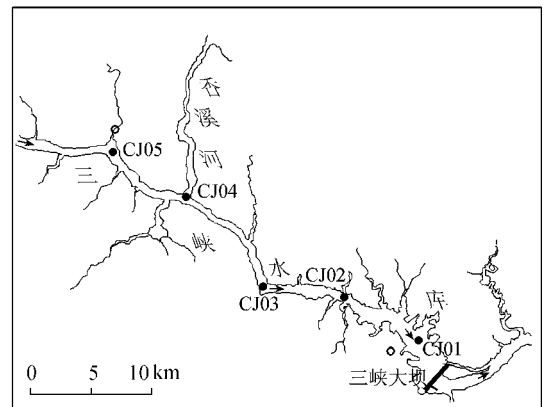


图 1 采样点布设

Fig. 1 Layout of sampling sites

营养盐排放数据来自国家环境保护总局发布的《长江三峡工程生态与环境监测公报》^[13]。

2 水库蓄水前后富营养化指标变化

2.1 藻类资源调查

根据重庆市环境科学研究院和武汉水生生物研究所等多家单位对三峡库区的监测资料^[14-16]分析,库区藻类资源丰富。三峡水库蓄水前浮游植物共计 7 门 66 属 78 种,蓄水后浮游植物共计 8 门 103 属 151 种(表 1),大部分的藻类种类都有所增加,其中绿藻门从蓄水前的 30 种增加到蓄水后的 83 种,蓝藻门从蓄水前的 8 种增加到蓄水后的 15 种,蓄水前不存在的黄藻门在蓄水后也初次出现,淡水水体中的大部分藻类在水库均有分布。其中,包括硅藻门的小环藻、绿藻门的衣藻、小球藻、蓝藻门的微囊藻、隐藻门的隐藻、裸藻门的裸藻等种类在条件适宜的情况下容易形成优势种,甚至发生“藻华”。

表 2 和图 2 分别给出了三峡水库蓄水前后水库主要藻种及藻类细胞密度的变化。由表 2 可以清楚看出,蓄水后库区优势藻种由硅藻转向绿藻。图 2 表明,蓄水前三峡水库藻类没有明显的季节差异,蓄水后 2004 年 3 月三峡水库藻类密度迅速增加,并于 4 月达到峰值,季节差异明显。

表 2 三峡水库蓄水前后不同藻类所占比例

Table 2 Comparison of proportion of major algae species before and after impoundment of Three Gorges Reservoir				
Three Gorges Reservoir				%
时间	硅藻门	绿藻门	蓝藻门	其他
蓄水前	46.83	42.02	9.83	1.32
蓄水后	30.11	52.27	6.70	10.92

2.2 水库蓄水前后富营养盐分布

图 3 为三峡水库 TN、TP 的现场监测数据,分别反映了三峡水库蓄水前后 TN、TP 质量浓度动态变化趋势。蓄水前后同期相比,蓄水后 TN、TP 质量浓度有所降低,可以看出水库蓄水量的大幅增加,有效地降低了上述指标的质量浓度。分析其原因,是由于蓄水后库区内流速降低,河流对污染物的扩散能力大大减弱,同时水体中难溶污染物沉降作用加强造成的。在雨水较多的 6—9 月,TP 质量浓度有显著升高,表明调查水域受上游地区磷污染胁迫严重且说明该地域主要是磷污染。同时由图 3 还可以看出,三峡水库水体中 TN、TP 质量浓度均已基本达到或超过富营养化的阈值,表明水

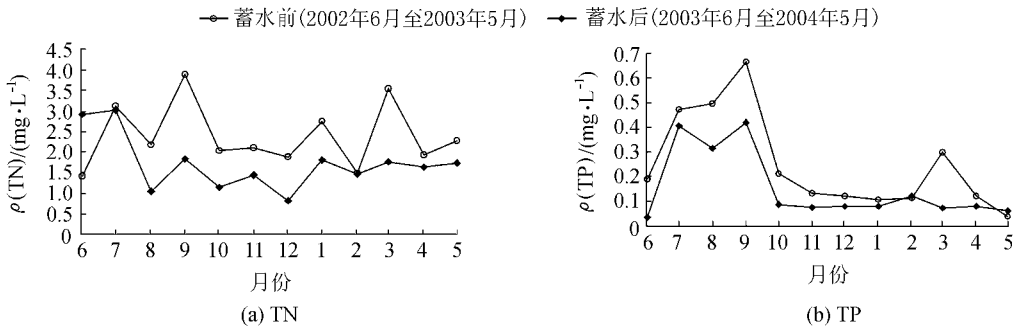


图 3 三峡水库蓄水前后营养盐变化
Fig. 3 Variation of nutrient salt before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

表 1 三峡水库蓄水前后藻种组成及变化情况

Table 1 Composition and variation of algae species before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

藻类门别	蓄水前		蓄水后	
	种类数	属数	种类数	属数
硅藻门	27	19	36	26
绿藻门	30	27	83	49
蓝藻门	8	8	15	12
隐藻门	5	5	5	5
裸藻门	2	1	2	1
甲藻门	4	4	5	5
金藻门	2	2	3	3
黄藻门	0	0	2	2
合计	78	66	151	103

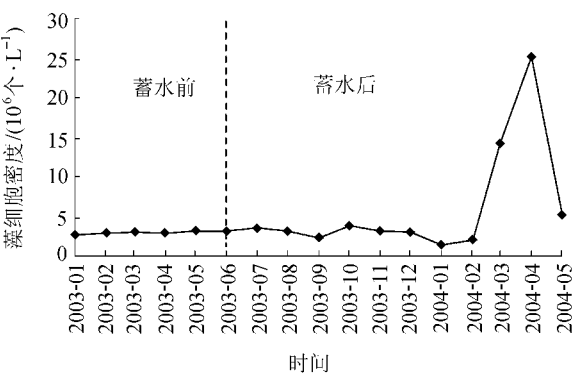


图 2 三峡水库蓄水前后藻类密度逐月变化
Fig. 2 Monthly variation of algae cell density before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

体已具备了发生富营养化的营养条件.

2.3 藻华现象发生的规律

根据三峡库区水质情况的连续观测发现,库湾藻华发生频率在增加,范围在扩大.据不完全统计,2004 年累计发生藻华 6 起,2005 年累计发生藻华 19 起,仅 2006 年 2—3 月,库湾累计发生藻华 10 余起.在调查的 10 条河流中,小江、汤溪河、磨刀溪、长滩河、梅溪河、大宁河和香溪河等 7 条受回水顶托影响的河流,均出现了不同程度或频次的藻华,而御临河、龙溪河和龙河等 3 条未受回水影响或影响较小的河流目前还未发生藻华.藻华发生时间统计表明,春、夏季为藻华高发期,秋季少有发生,冬季则未见发生,主要集中在 3—7 月.

2.4 库区营养盐排放

磷和氮是引起水体富营养化的主要元素,因此有必要对库区内磷、氮的排放量进行调查.根据《长江三峡工程生态与环境监测公报》^[13]公布的数据计算 TN 和 TP 排放量如图 4 所示.由于 2003 年以后缺少部分 TN 数据,因此出现了如图 4 骤减的趋势,但从总体看来,TN 排放量变化趋势是趋于稳定的.TN 主要来源于工业源,TN 排放量的稳定也就表明工业污水处理基本达标,库区经济的发展并未明显增加 TN 的排放量.由图 4 可知,TP 排放量并未呈现下降趋势,说明库区磷污染较为严重,这可能与库区内磷化工厂点源排放有关,从而为藻华的暴发提供了条件.

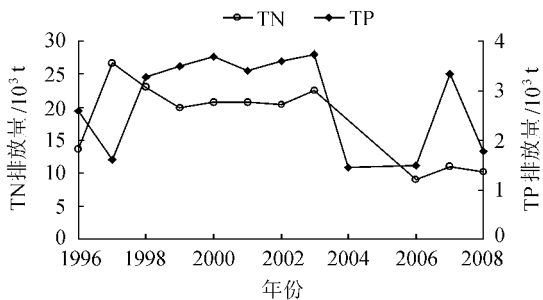


图 4 三峡水库营养盐排放量逐年变化
Fig. 4 Yearly variation of discharge of nutrient salt in Three Gorges Reservoir

3 蓄水对河道型水库富营养化的影响

河道型水库在建库前后,水动力条件及水文情势将会发生很大的变化,这一变化对库区富营养化状态将产生决定性的影响.以三峡水库为例,蓄水前,三峡库区保持天然河道流态,库区河段年内水位变幅可达 30~50 m,洪峰陡涨陡落,汛期水位日涨、落可达 5~10 m,库区河道平均水面比降约为 0.2%,急流险滩处比降达 1% 以上,峡谷段水面流速可达 3~5 m/s,大多数藻类均不适宜在此条件下生长.蓄水后,随着坝前水位抬高,库区靠坝前的干、支流水体的水流将相对变缓,水体中泥沙含量下降,水体透明度增大,有利于浮游藻类的光合作用.

大量研究证明,水体氮、磷浓度的比值与藻类繁殖有密切的关系.文献^[17-18]研究指出:当湖水中的 TN 和 TP 质量浓度的比值(氮磷比)在 10~25 的范围时,最适宜藻类繁殖,若氮磷比小于此值时,则藻类繁殖可能受到影响.根据三峡水库蓄水前后 TN、TP 监测数据可得氮磷比变化如图 5 所示.

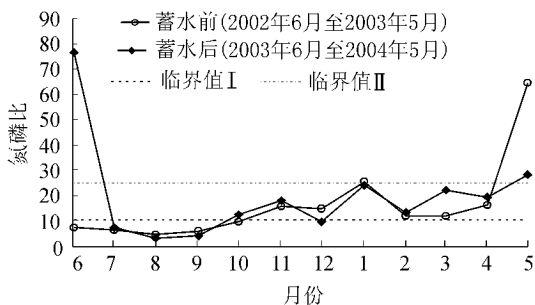


图 5 三峡水库蓄水前后氮磷比变化

Fig. 5 Variation of ratio of nitrogen to phosphorus before and after impoundment of Three Gorges Reservoir

由图 5 可以看出,除 8 月外,根据藻类大量繁殖的氮磷比,三峡水库蓄水前后均已达到藻类繁殖的条件.正如表 2 所示,蓄水前河道型水库流速较大,适合流水生活的硅藻类大量繁殖,成为水库浮游藻类的优势种群.蓄水后,库区水动力条件对藻类生长繁殖的制约影响显著下降,部分适合微流水或静水生活的小环藻、多甲藻等繁殖迅速,于是就表现出由“河流型硅藻类到湖泊型蓝、绿藻类”的演变趋势.由图 5 还可以看出,除 2003 年 5—6 月外,三峡水库蓄水前后氮磷比未发生较大变化.这说明水库在蓄水过程中,磷化工厂的存在并未使水库内溶解磷含量迅速增加.

纵观三峡建库以来,1996 年 8 月国务院发布《关于环境保护若干问题的决定》,1998 年国家发展和改革委员会牵头组织颁布《长江上游水污染整治规划》,2001 年 11 月国务院批准并实施《三峡库区及其上游水污染防治规划(2001—2010 年)》,这些政策的实施有效地遏制了重点工业污染源,降低了污染负荷,增加了生活污水处理率,减少了库区化肥及农药使用量,使化肥施用比例趋于合理化,从而有效地降低了 TN 的排放量.但由于磷化工厂的存在及人们生活水平和卫生意识的提高,磷污染源排放量逐年增加,导致了 TP 排放量呈

上升趋势.由于水中的 TP 由颗粒态磷及溶解态磷组成,在三峡水库蓄水过程中,水流变缓,以颗粒态形式存在的磷将发生沉降,从而引起 TP 质量浓度的降低.因此,尽管库区内 TP 排放污染严重,三峡水库氮磷比并未发生较大变化.虽然氮磷比受蓄水影响不大,但水库已具备富营养化条件,同时监测资料显示,库区已发生多起藻华现象,因此,解决三峡水库水环境问题势在必行,而控制库区内氮磷的排放量是解决水环境问题的有效途径.

国外一些专家通过藻类化学成分的研究发现,藻类的生产量主要取决于水环境中磷的供应量^[19-20].但是,库区 TP 排放量并未得到有效控制,库区 TP 排放量的逐年增加势必会加强水库富营养化,从而引起藻华的暴发,降低库区磷排放量刻不容缓.

众所周知,水体水动力条件强可抑制藻华的暴发,但从理论研究的角度来看,水动力强弱不仅可以用流速的大小来衡量,还可以用水体的紊动动能或垂向扩散系数的大小来衡量.从这点出发,改变水体的局部紊动及水体在立面上的循环都可以提高水体的水动力,进而抑制藻华的暴发.因此,考虑用支流上游的水工建筑物或动力工程来带动水体可能是改善河道型水库水环境的另一有效途径.

4 结 论

a. 蓄水后,三峡库区藻种种类发生较大变化,产生了由“河流型硅藻类到湖泊型蓝、绿藻类”的演变趋势,且藻类密度季节性变化明显.

b. 限制库区磷排放量是当前首要任务,建议进一步加强对磷化工厂污染物排放的控制,同时对生活源污染物进行有效处理,降低 TP 排放量,遏制水体藻类的暴发.

c. 考虑用支流上游的水工建筑物或动力工程来带动水体可能是改善河道型水库水环境的另一有效途径.

参考文献:

[1] HUDNELL H K. The state of U.S. freshwater harmful algal blooms assessments ,policy and legislation[J].Toxicon ,2010 ,55(5) :1024-1034.

[2] JACKSON J B C ,KIRBY M X ,BERGER W H ,et al. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystem[J]. Science , 2001 ,293(5530) :629-638.

[3] CARPENTER S R ,CARACO N F ,CORRELL D L ,et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen[J]. Ecological applications ,1998 ,8(3) :559-568.

[4] RYTHER J H ,DUNSTAN W M. Nitrogen ,phosphorus ,and eutrophication in the coastal marine environmen[J]. Science , 1971 ,171 :1008-1013.

[5] SMITH V H ,TILMAN G D ,NEKOLA J C. Eutrophication :impacts of excess nutrient inputs on freshwater ,marine ,and terrestrial ecosystem[J]. Environmental Pollution ,1999 ,100(1/2/3) :179-196.

[6] ASaeda T ,VAN B T. Modelling the effects of macrophytes on algal blooming in eutrophic shallow lakes[J]. Ecological Modelling ,1997 , 104(2) :261-287.

[7] 毛新伟,徐枫,徐彬,等.太湖水质及富营养化变化趋势分析[J].水资源保护,2009,25(1) :48-51.(MAO Xin-wei ,XU Feng ,XU Bin ,et al. Changes of water quality and eutrophication in Taihu Lak[J]. Water Resources Protection ,2009 ,25(1) :48-51.(in Chinese))

[8] 钱奎梅,陈宇炜,宋晓兰.太湖浮游植物优势种长期演化与富营养化进程的关系[J].生态科学,2008,27(2) :65-70.(QIAN Kui-mei ,CHEN Yu-wei ,SONG Xiao-lan. Long-term development of phytoplankton dominant species related to eutrophication in Lake Taihu[J]. Ecological Science ,2008 ,27(2) :65-70.(in Chinese))

[9] 王在高.因子分析法在巢湖富营养化评价中的应用[J].安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2009,17(6) :68-72.(WANG Zai-gao. The use of factor analysis ways in the assessment of Lake Chaohu eutrophication[J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry :Natural Science ,2009 ,17(6) :68-72.(in Chinese))

[10] 陈毓岭,张世森.滇池水体富营养化水质预测模型的研究[J].成都科技大学学报,1991(6) :63-69.(CHEN Yu-ling ,ZHANG Shi-sen. A simulation model for eutrophication prediction in Lake Dianchi[J]. Journal of Chengdu University of Science and Technology Edition ,1991(6) :63-69.(in Chinese))

[11] 戴会超,庞永祥.三峡工程与长江中下游生态环境[J].水力发电学报,2005,24(4) :26-30.(DAI Hui-chao ,PANG Yong-xiang. Study on relationship between TGP and the eco-environment of the middle & lower Yangtze[J]. Journal of Hydroelectric Engineering ,

2005, 24(4):26-30.(in Chinese))

- [12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:239-258.
- [13] 国家环境保护总局.长江三峡工程生态与环境监测公报(1997—2009)[DB/OL].[2010-04-10].<http://www.mep.gov.cn/gzfw/xzzx/wdxx/>.
- [14] 黄真理,李玉樑,陈永灿,等.三峡水库水质预测和环境容量计算[M].北京:中国水利水电出版社,2006:124-195.
- [15] 周广杰,况琪军,胡征宇,等.香溪河库湾浮游藻类种类演替及水华发生趋势分析[J].水生生物学报,2006,30(1):42-46.
(ZHOU Guang-jie, KUANG Qi-jun, HU Zheng-yu, et al. Study on the succession of algae and the trend of water blooms occurred in Xiangxi Bay[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(1):42-46.(in Chinese))
- [16] 李崇明,黄真理,张晟,等.三峡水库藻类“水华”预测[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):1-6.(LI Chong-ming, HUANG Zhen-li, ZHANG Hao, et al. Risk forecast of algal bloom in the Three Gorges Reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(1):1-6.(in Chinese))
- [17] 张晨.三峡库区水体中营养盐与浮游生物量分布特征[D].重庆:西南农业大学,2005.
- [18] KLAUSMEIER C A, LITCHMAN E, DAUFRESNE T, et al. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton[J]. Nature, 2004, 429(6988):171-174.
- [19] MARTIN J H, COALE K H, JOHNSON K S, et al. Testing the iron hypothesis in ecosystem of equatorial Pacific Ocean[J]. Nature, 1994, 371:123-129.
- [20] FISHER T R, PEELE E R, AMMERMAN J W, et al. Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay[J]. Marine Ecology Progress Series, 1992, 83(1):51-63.

Monitoring and analysis of evolution process of eutrophication in channel reservoirs

ZHENG Tie-gang^{1,2}, DAI Hui-chao^{1,2}, WANG Ling-ling², MAO Jing-qiao^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the characteristics of channel reservoirs, taking Three Gorges Reservoir as an example, a comparative analysis of monitoring data of the total phosphorus (TP) concentration, the total nitrogen (TN) concentration and the algae cell density during 2002-2005 in the reservoir area was performed. Combined with the discharge of nutrient salt in reservoir area, the ratio of nitrogen to phosphorus before and after impoundment of Three Gorges Reservoir was compared. The analytic results indicate that an evolution trend “from river diatomeae to lake blue and green algae” is aroused during the process of impoundment in channel reservoirs, and seasonal difference is significant. The settling of TP in reservoirs is accelerated because of the reservoir impoundment. The effective ways to control eutrophication of channel reservoirs are to control discharge of phosphorus in the reservoir area and to enhance hydrodynamics by using hydraulic structures or projects in the upper reaches of river branches.

Key words: channel reservoir; eutrophication; algal bloom; Three Gorges Reservoir