

文章编号:1004-8227(2006)02-0254-05

三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素

张远,郑丙辉,刘鸿亮

(中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室,北京 100012)

摘要:根据2003年10月和2004年4月的水生生物调查,对三峡库区二期蓄水后的浮游植物组成与分布变化进行研究,探讨水力学与营养盐条件变化对库区浮游植物结构与数量的影响。结果表明,库区浮游植物以硅藻类为优势种,2003年10月数量介于 $2.02 \times 10^4 \sim 31.6 \times 10^4$ 个/L之间,与未蓄水前相比无明显变化,2004年4月浮游植物种类与数量发生较大变化,部分断面浮游植物数量显著增加,总体介于 $3.18 \times 10^4 \sim 16\,288 \times 10^4$ 个/L之间。通过对浮游植物与水力学条件、营养盐水平的关系分析,发现蓄水前后水动力学条件的变化与所形成的空间差异是造成浮游植物变化的关键因素,而偏高的营养盐水平则为浮游植物的生长创造了有利条件。为此,根据流速差异将库区水体划分为河流型水体、过渡型水体、湖泊型水体三种类型,对比分析表明过渡型水体和湖泊型水体的浮游植物数量在二期蓄水后增加较多,它们是三峡库区富营养化暴发的敏感区域。

关键词:三峡水库;蓄水;浮游植物;水力条件

文献标识码:A

浮游植物是水生态系统的组分之一,是水体初级生产者,其群落结构与数量对水体生态系统的演替和发展影响较大^[1]。水库在兴建和形成过程中,由于水动力学条件的变化,浮游植物的种属和数量通常会发生改变,甚至会出现“疯长”,并导致水华爆发^[2,3]。因此,掌握其变化特征对于水库的富营养化防治以及实施生态管理都具有重要的意义。三峡工程是我国在建的最大水利工程,于2003年6月开始二期蓄水,水位抬升60 m以上,水位线达到135 m。蓄水后库区水流显著变缓,坝前深水区断面流速比天然河道断面平均流速减小约10倍^[3]。水位、流速等水文要素的变化对三峡水库的浮游植物的影响是大家十分关注的问题。本文根据2003年与2004年对蓄水后库区的浮游植物的跟踪调查结果,分析其结构与数量的动态变化及其与水动力学、营养要素变化的关系,为防治三峡库区水体的富营养化问题提供科学依据。

1 调研与测试方法

选择藻类容易爆发的季节,对三峡库区进行两

次实地调查,第一次调查时间为2003年10月12~17日,是二期蓄水结束后第4个月,第二次调查时间为2004年4月13~23日,是二期蓄水结束后第10个月。调查区域位于受蓄水影响较大的重庆市巫山县至三峡大坝之间的库区干流水域(图1),共设采样断面12个,其中长江干流4个,支流河口4个,支流回水段4个。

浮游植物定量样品在表层0.5 m处采取,采集1 000 mL水带回实验室沉淀浓缩计数,定性样品是采用25号浮游生物网(64 μm)于水平及垂直方向拖网捞取,定量与定性样品均用15%鲁哥氏液现场固定。定量水样静置24 h后,用细小虹吸管小心吸去上清液,如此反复多次,最后浓缩至30 mL;分析时取均匀样品0.1 mL,注入0.1 mL的浮游植物计数框内,在光学显微镜下计数100个视野。每瓶水样计数2次,取其平均值,每次结果与平均值差不大于10%。定性样品用于种类鉴定分析^[4,5]。水库动力学参数采用多普勒河流流量测量系统(ADCP)测定,项目包括断面流量、流速、宽度、水深等。酸碱度(pH值)、水温、透明度、浊度、电导率(Eh)、溶解氧(DO)、叶绿素a(Chla)采用YSI-6600型水质自动

收稿日期:2005-03-28; 修订日期:2005-07-28

基金项目:国家高技术研究发展计划项目(2002AA648010-06),国家“十五”科技攻关计划项目(2003BA614-04-07)。

作者简介:张远(1970~),男,辽宁省沈阳人,博士,副研究员,主要从事水生态与水环境领域研究。

E-mail: zhangyuan@craes.org.cn

分析仪现场测定。另取 1 000 mL 水样进行水质理化指标室内测试,具体项目包括高锰酸钾指数(COD_{Mn})、总磷(TP)、总氮(TN)等,现场采样和室内测试方法均按照《水和废水监测分析方法》(第四版)^[6]相关规定进行。

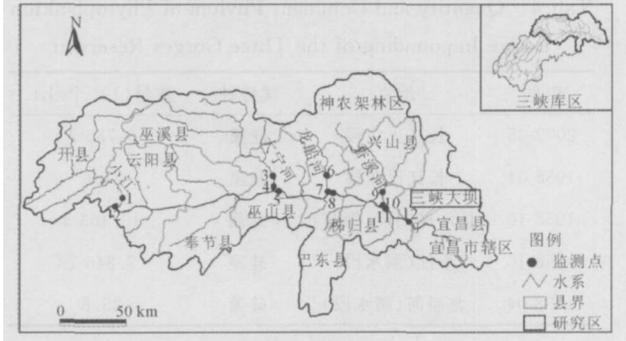


图 1 三峡库区调查样点分布图

(1:小江洄水段;2:小江河口;3:大宁河洄水段;4:大宁河口;5:长江巫山河段;6:龙船河洄水段;7:龙船河口;8:长江巴东河段;9:香溪河洄水段;10:香溪河口;11:长江秭归段;12:长江坝前)

Fig.1 Map of Sampling Sites of the Three Gorges Reservoir

查的透明度指标差异较大,2003 年 10 月平均为 0.54 m,2004 年 4 月平均为 1.76 m,究其原因在于河流泥沙含量不同所至,2003 年 10 月为丰水期刚过时段,河流泥沙含量较高。两次调查的水化指标有所差异,调查样点的 COD_{Mn}、N/P、TN、Chla 等指标在 2004 年 4 月普遍高于 2003 年 10 月,而 TP 为 2003 年 10 月普遍高于 2004 年 4 月。

表 1 三峡库区调查样点的理化性质

Tab.1 Water Physical and Chemical Characters in the Sampling Sites

项目	2003 年 10 月			2004 年 4 月		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
pH 值	7.60	8.25	8.08	8.00	9.11	8.40
水温()	19.17	21.24	20.07	18.06	20.34	19.11
平均流速(m/s)	0.01	0.60	0.15	0.02	0.24	0.09
透明度(m)	0.40	0.70	0.54	0.80	2.60	1.76
高锰酸盐指数(mg/L)	1.27	2.04	1.64	1.34	3.82	2.38
总磷(mg/L)	0.07	0.18	0.11	0.03	0.14	0.08
总氮(mg/L)	0.70	1.84	1.12	0.63	1.80	1.35
N/P	5.40	19.64	10.81	8.50	22.50	17.42
chl _a (mg/m ³)	1.20	12.90	3.85	2.20	123.35	38.18

2 水体理化条件

两次调查样点的物理条件相似(表 1),平均水温分别为 19.11 和 20.07,在浮游植物的适宜生长温度范围(18 ~ 25)内,平均流速分别为 0.09 m/s 和 0.15 m/s,均显著低于蓄水前的库区水流平均流速(约 2~3 m/s)。在所测物理指标中,两次调

3 三峡库区浮游植物组成与数量变化

3.1 浮游植物的种属组成

两次采样调查的浮游植物种属变化不大。2004 年 4 月调查共鉴定出浮游植物 7 门 29 属 63 种,2003 年调查为 7 门 33 属 62 种(表 2)。

表 2 三峡库区浮游植物的种类

Tab.2 Components of Phytoplankton Species in Investigated Area of the Three Gorges Reservoir

门	属	
	2003 年 10 月	2004 年 4 月
硅藻门	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp、直链藻 <i>Melosira</i> sp、针杆藻 <i>Synedra</i> sp、菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp、异极藻 <i>Gomphonema</i> sp、桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp、舟形藻 <i>Navicula</i> sp、布纹藻 <i>Gyrosigma</i> sp、等片藻 <i>Diatoma</i> sp、长篦藻 <i>Halteria</i> sp、波缘藻 <i>Cymatopleura</i> sp	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp、直链藻 <i>Nelosira</i> sp、针杆藻 <i>Synedra</i> sp、菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp、异极藻 <i>Gomphonema</i> sp、星杆藻 <i>Asterionella</i> sp、脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp
绿藻门	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp、实球藻 <i>Pandorina morum</i> 、衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp、卵囊藻 <i>Oocystis</i> sp、集星藻 <i>Actinastrum</i> sp、空球藻 <i>Eudorina elegans</i> 、盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp、小球藻 <i>Chlorella uulgaris</i> 、鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp、衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp、实球藻 <i>Pandorina morum</i> 、纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp、四鞭藻 <i>Carteria</i> sp、拟新月藻 <i>Closteropsis</i> sp、盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp、小空星藻 <i>Coelastrum microporum</i> sp、十字藻 <i>Crucigenia apiculata</i> 、空星藻 <i>Coelastrum sphericum</i>
蓝藻门	席藻 <i>Phormidium</i> sp、颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp、尖头藻 <i>Raphidiopsis</i> sp、血腥藻 <i>Anabaena</i> sp	席藻 <i>Phormidium</i> sp、颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp、蓝纤维藻 <i>Dactylococopsis</i> sp、平裂藻 <i>Merisopedia</i> sp、微囊藻 <i>Microcystis</i> sp
裸藻门	裸藻 <i>Euglena</i> sp、扁裸藻 <i>Phacus</i> sp、囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp	裸藻 <i>Euglena</i> sp、扁裸藻 <i>Phacus</i> sp
隐藻门	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp、蓝隐藻 <i>Chroomonas</i> sp	隐藻 <i>Cryptomonas</i> sp、蓝隐藻 <i>Chroomonas</i> sp
甲藻门	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp、裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp、角藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	多甲藻 <i>Peridinium</i> sp、裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp
黄藻门	黄丝藻 <i>Heterotrichales</i> sp	
金藻门		等鞭金藻 <i>Isocrysis</i> sp

3.2 优势种属与数量

三峡库区蓄水后的优势种属主要为硅藻类(表 3),硅藻类为耐磨损藻类,既比较适宜于三峡库区的石灰岩地区的水体,也能生长于三峡库区干流的水流条件。2003 年 10 月,浮游植物数量介于 $2.02 \times 10^4 \sim 31.6 \times 10^4$ 个/L 之间,长江干流秭归段最少,长江干流巴东段最多,但干支流浮游植物数量的空间差异并不显著。2004 年 4 月,大部分断面的浮游植物数量较上次调查显著增加,数量介于 $3.18 \times 10^4 \sim 16\,288 \times 10^4$ 个/L 之间,其中支流的龙船河口数量最多,长江干流巫山河段最少。干支流之间的差异显著,支流河口与回水段的浮游植数量显著高于长江干流,部分支流河口与回水河段出现了藻类爆发现象。

表 3 三峡库区蓄水后水体浮游植物种类、数量与优势门类

Tab.3 Species, Quantity and Dominant Phylum of Phytoplankton After Impounding of the Three Gorges Reservoir

		2003 年 10 月			2004 年 4 月		
		种 类	数量 (10^4 个/L)	优势 门类	种 类	数量 (10^4 个/L)	优势 门类
长江	巫山河段	7	2.02	隐藻	13	3.18	蓝藻
	巴东河段	7	15.97	绿藻	7	79.8	硅藻
	秭归河段	7	17	硅藻	9	65.82	硅藻
	大坝前	10	11.8	硅藻	11	128.8	硅藻
小江	河口	16	1.79	绿藻	12	101.1	绿藻
	回水河段	8	4.4	硅藻	8	513.6	隐藻
大宁河	河口	9	63	绿藻	9	1 995.2	硅藻
	回水河段	8	2.06	绿藻	5	156.9	隐藻
龙船河	河口	11	31.6	硅藻	9	16 288	硅藻
	回水河段	8	5.4	隐藻	8	15 800	硅藻
香溪河	河口	9	21.9	硅藻	7	62.5	硅藻
	回水河段	7	2.905	硅藻	5	7 913.5	硅藻

3.3 蓄水前后浮游植物的变化

三峡库区在天然河道状态下浮游植物数量较低(表 4),优势种也为硅藻,并且藻类数量年内变化并不显著,一般低于 30×10^4 个/L,表现为河流型的浮游植物群落特征^[7, 8]。二期蓄水后初期(2003 年 10 月),库区的浮游植物数量与蓄水前无明显差别。但至 2004 年 4 月,坝前区、支流河口和回水段的浮游植物出现较大幅度增长,数量达到了未蓄水前的数十至数百倍,但长江干流江段(坝前区除外)浮游植

物增长并不显著,说明坝前区和支流回水区是库区富营养化的敏感区域,在适宜的营养盐和水温条件下,容易发生藻类爆发。

表 4 长江三峡库区二期蓄水前的浮游植物数量与优势种

Tab.4 Quantity and Dominant Phylum of Phytoplankton Before Impounding of the Three Gorges Reservoir

时间	地点	优势种	数量(10^4 个/L)
2002-05	长江巫山段	硅藻	6.785 2
1958-04	长江巴东段	硅藻	21.5
1958-10	长江秭归段(坝前)	硅藻	10.463 3
1958-10	小江(洄水段)	硅藻	7.845 7
1958-04	龙船河(洄水段)	硅藻	25.8

4 浮游植物组成与分布变化的影响因素分析

水库蓄水之后,由于水体滞留时间变长和流速变缓,浮游植物拥有更长时间生长繁殖,在适宜的营养条件下数量往往会显著增长。一般认为,当水流速小于 0.2 m/s 时,因水体的交换作用减弱,就会有大量的浮游植物能够生长^[9, 10]。对于河道型水库而言,水动力学条件还具有一定的空间分布特征,表现出由激流环境到静水环境过渡性的变化规律,这也决定了浮游植物结构与数量的空间分布特征。二期蓄水之后,长江干流从库中至坝前平均流速在 0.10 m/s 以上,支流河口与回水河段的流速在 0.05 m/s 以下。根据水库的流速特征,可以将水库划分为河流型水体($>0.2 \text{ m/s}$)、过渡型水体($0.05 \sim 0.2 \text{ m/s}$)、湖泊型水体(0.05 m/s)^[11]。按照这个标准,三峡库区长江巴东段以上为河流型水体,巴东段至三峡大坝水域为过渡型水体,支流河口与回水河段为湖泊型水体。蓄水导致的水体类型转变对浮游植物变化影响显著,长江巫山河段以上蓄水前后均保持为河流型水体类型,所以浮游植物数量未呈现显著的增长,而坝前区、支流河口和洄水段在蓄水后从河流型转变为过渡型和湖泊型,造成浮游植物数量快速增长。

氮、磷等营养成分是否充足也是影响浮游植物数量变化的重要因素。一般认为当水体中总磷和总氮的浓度分别达到 0.02 mg/L 和 0.2 mg/L 时,从营养盐单因子考虑,就有可能发生浮游植物疯长的现象^[3]。二期蓄水之后,库区水体总磷平均浓度两

次调查分别为 0.08 mg/L 和 0.11 mg/L,总氮平均浓度分别为 1.12 mg/L 和 1.35 mg/L,营养盐浓度总体偏高,意味着在适宜的水体和自然条件下,浮游植物就可能快速繁殖与生长,甚至造成“水华”的爆发。从营养盐的分布来看,河流型水体 TP 浓度秋季显著高于春季,而过渡型和湖泊型水体的总磷浓度 4 月份和 10 月份相差不大(图 3)。因此,营养盐偏高是库区浮游植物组成和数量变化的基本原因之一,而水流运动速度减缓则是库区浮游植物数量增长的诱发因素。

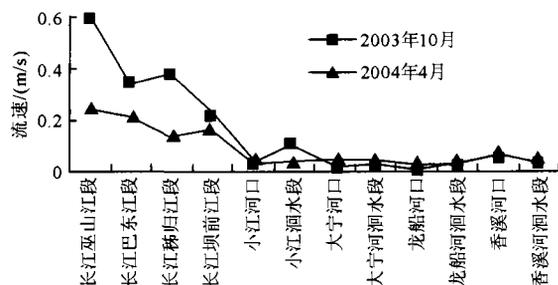


图 2 三峡库区蓄水后的流速分布

Fig. 2 River Velocities After Water Storage of the Three Gorges Reservoir

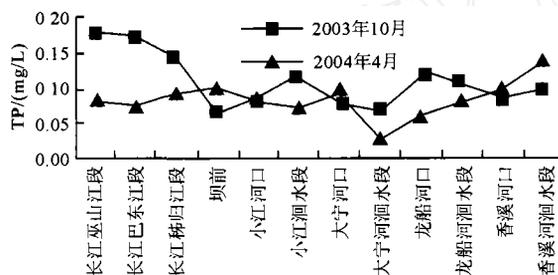


图 3 三峡库区蓄水后的 TP 含量

Fig. 3 Content of TP After Water Storage of the Three Gorges Reservoir

5 基本结论

通过对库区干支流的调查分析,发现蓄水后库区水体浮游植物以硅藻类为主,数量介于 3.18×10^4 个/L ~ $16\ 288 \times 10^4$ 个/L 之间,较未蓄水前有明显增长,特别是坝前和支流河口及洄水段的浮游植物数量增加较多,部分支流藻类数量超过 10 000

$\times 10^4$ 个/L,出现了水华爆发现象。分析库区水体蓄水前后的水动力学条件、营养盐含量等影响因素的变化,发现相对于不同类型的水体浮游植物的特征变化程度不同,河流型水体浮游植物蓄水前后结构与数量变化不大,而过渡型和湖泊型水体的浮游植物数量显著增加,说明三峡库区水动力学条件变化是造成浮游植物种属和数量变化的关键性要素,而偏高的营养盐含量为浮游植物的生长创造了有利条件。

参考文献:

- [1] Thornton K W, Kimmel B L, Payne F E. Reservoir limnology: ecological perspective [M]. New York: John Wiley & Sons, 1990. 246.
- [2] Kiplagat K, Lothar K, Francis M M. Temporal changes in phytoplankton structure and composition at the Turkwel Gorge Reservoir [J]. Hydrobiologia, 1998, 368: 41 ~ 59.
- [3] 李锦秀, 廖文根. 三峡库区富营养化主要诱发因子分析 [J]. 科技导报, 2003, (2): 49 ~ 52.
- [4] 金相灿, 屠清瑛. 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. 300 ~ 301.
- [5] 林碧琴, 谢淑琦. 水生藻类与水体污染监测 [M]. 沈阳: 辽宁大学出版社, 1988. 230 ~ 234.
- [6] 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(第 4 版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 12.
- [7] E B 波鲁茨基, 王乾麟, 陈受忠, 等. 长江三峡水库库区水生生物调查和渔业利用的规划意见 [J]. 水生生物学集刊, 1959, (1): 1 ~ 32.
- [8] 唐 毅, 刘建虎, 唐洪玉, 等. 长江云阳江段四大家鱼产卵场浮游植物初步调查 [J]. 淡水渔业, 2003, 33(3): 32 ~ 35.
- [9] 王 孟, 邬红娟, 马经安. 长江流域大型水库富营养化特征及成因分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 477 ~ 481.
- [10] 王红萍, 夏 军, 谢 平, 等. 汉江水华水文因素作用机理——基于藻类生长动力学研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 282 ~ 285.
- [11] Strskraba M, Tundisi J G. Guidelines of lake management (Volume 9): reservoir water quality management [M]. International lake Environment Committee, 1999. 229.

CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON COMPOSITION WITH ANALYSIS OF ITS IMPACT FACTORS AFTER IMPOUNDING OF THE THREE GORGES RESERVOIR

ZHANG Yuan , ZHENG Bing-hui , LIU Hong-liang

(River and Coastal Environmental Research Center , Chinese Research Academy of Environmental Sciences , Beijing 100012 , China)

Abstract : According to the aquatic ecosystem investigations in October of 2003 and April of 2004 , the composition and quantity of phytoplanktons after impounding of the Three Gorges Reservoir were studied. We discussed the influence of water dynamics condition , water nutrient level on the phytoplankton components and quantity. The results indicated that dominated species of phytoplankton in investigated area were diatoms , and the quantity of phytoplankton investigated on October of 2003 was not obviously different from that before impounding , and was between 2.02×10^4 individuals/L and 31.6×10^4 individuals/L. The quantity of phytoplankton increased obviously between 3.18×10^4 individuals/L and 16288×10^4 individuals/L on April of 2004. According to the change of hydraulic condition , the reservoir is plotted to three types of waterbody ; the upstream of Wushan County of Yangtze River belongs to river-type , and section from Wushan County to the Three Gorges Reservoir is transition-type , and the estuaries and backwaters of tributary located in section from Wushan County to the dam are lake-type. The phytoplankton growing in river-type water region has not increased obviously after the impounding , and those in lake-type and transition-type water region have increased notably. Therefore , the transition type and lake type are the eutrophication sensitive regions in the Three Gorges Reservoir.

Key words : Three Gorges Reservoir ; impound ; phytoplankton ; quantity ; structure