

## 香溪河库湾浮游藻类种类演替及水华发生趋势分析

周广杰 况琪军 胡征宇 蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所,淡水生态与生物技术国家重点实验室,武汉 430072)

**摘要:**三峡水库一期工程蓄水前半年(2003年1月—2003年6月)和蓄水后(2003年7月—2004年12月)期间,香溪河库湾浮游藻类的种类演替和数量变化的调查结果。与蓄水前的数据相比,蓄水仅半年绿藻的种类数就明显增加,约相当于蓄水前的3倍;硅藻的种类数略有减少;其余各门藻类的种类数亦有轻度变化。整个调查期间,藻类细胞密度和生物量的最高峰值均出现在S6采样点,细胞密度达 $6.93 \times 10^7$  cells/L(2004年6月),生物量达87.24mg/L(2004年3月),其余采样点基本显示由北向南依次递减的趋势。本文参考早期资料并比较不同类型水域中藻类的种类演替和垂直分布情况,对三峡湖北库区水域水华的发生趋势进行了分析,初步认为三峡干流江段形成藻类水华的几率较小;流动的支流水域,在阳光充足、水温逐渐升高的春季容易发生藻类水华;在较封闭的静水区则随时都有发生藻类水华的可能性。

**关键词:**香溪河;浮游藻类;细胞密度;生物量;水华

**中图分类号:**X171   **文献标识码:**A   **文章编号:**1000-3207(2006)01-0042-05

香溪河是长江三峡水库湖北库区内最大的一级支流,位于湖北省西北部,河流全长94km,流域总面积3099km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>。香溪河发源于神农架南坡,流经神农架林区的木鱼和红花镇,兴山县的湘潭、南阳、高阳和峡口镇,最终在秭归县香溪镇注入长江<sup>[2]</sup>。香溪河两岸为高山和峡谷地带,除种植业外,尚有一些小型造纸和采矿业,主要二级支流有九冲河、古夫河和高岚河。三峡建坝蓄水后,香溪河下游由河流变为库湾,水流速度减缓,泥沙沉积量增加,以致水生生物的栖息生境及区系组成发生变化。建坝工程对水生态系统造成影响以及对出现的水华进行控制,国外早有相关报道<sup>[3,4]</sup>。本文在前期工作的基础上<sup>[5,6]</sup>,对蓄水一年半后,香溪河库湾浮游藻类的种类演替、垂直分布和数量变化作了进一步调查,以期为香溪河库湾的水资源综合利用、流域的综合整治和藻类水华发生的预警预报与控制提供参考依据。

### 1 材料与方法

**1.1 采样点设置及水质概况** 采样点的设置同作者的早期报道<sup>[5]</sup>,本文仅涉及其中6个采样点,各采样点编号及其概况大致如下:

S1 香溪河口,采样点离长江口2—3km,为长江干流与支流的交汇水域,水深约60m,水面开阔,其水流速度和水体紊动扩散能力受长江干流水位升降的影响较大。

S2 官庄坪、S3 盐关、S4 贾家店,3个采样点之间彼此相隔约4km左右,均主要接纳生活污水,水深分别约为40m,30m,25m,透明度分别波动在38—280cm,70—260cm,65—280cm之间。

S5 峡口,接纳大量生活污水和采矿废水,在6个采样点中污染最严重,水深约20m,透明度65—250cm。

S6 高岚河口,代表一级支流与二级支流的交汇水域,水深约5m,透明度12—280cm,由于常年接纳沿岸磷化工生产企业未经达标处理的大量含磷废水,该采样点的磷浓度较高。

从2003年1月至2004年12月,每月定期采样一次,以6个月为一时间段进行数据整理和结果分析,将2003年1—6月,2003年7—12月,2004年1—6月和2004年7—12月分别简称为蓄水前,蓄水半年,蓄水一年和蓄水一年半(以下同)。此外,于2004年8月3日在S2采样点进行了浮游藻类的分层采样,以监测藻类的垂直分布情况。

收稿日期:2005-07-10;修订日期:2005-09-25

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-SW-111);国家自然科学基金重点项目(30330140)资助

作者简介:周广杰(1978—),男,山东聊城人;硕士研究生。主要从事淡水藻类生态学研究。E-mail:kaituo2003@ihb.ac.cn

通讯作者:胡征宇,E-mail:Huzy@ihb.ac.cn

**1.2 水样采集及检测方法** 采样时,现场测定透明度、水温和水深,同时记录水表面的感观特征。定性样品用25#绢网捞取,定量水样用5L采水器从表层至2倍于透明度的深度分层取水,各层水样混合均匀后,取1.5L加鲁哥氏液固定,于室内条件下沉淀浓缩并收集藻类细胞<sup>[7]</sup>,用修改过的“计数框行格法”进行藻细胞计数<sup>[6]</sup>。根据每种藻类的近似几何图形首先在显微镜下用微尺进行测量,再按相应图形的几何公式计算出藻类的细胞体积,设藻类比重为1,换算成藻类生物量<sup>[8]</sup>(鲜重,mg/L)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 藻类的种类演替及优势种

不同时间段藻类的种类组成显示以下演替趋

势:在蓄水半年期间,定性定量样品中共鉴定藻类7门85属115种,其中硅藻19属22种,绿藻42属67种,蓝藻11属12种,甲藻4属4种,裸藻5属5种,隐藻1属2种,黄藻3属3种。除硅藻外,其余藻类种类数较蓄水前都有所增加,其中绿藻种类数的增幅最大。蓄水一周年时,虽增加了金藻门的2个种,但藻类的总种类数减少至86种,减少率达25%,主要因绿藻和蓝藻的种类减少所致。蓄水一年半时,上述8门藻类中,硅藻和绿藻分别减少4种和5种,其余藻类的合计种类数亦较蓄水一年时少(表1)。图1是不同时间段主要藻类所占比例。

不同调查时段,藻类的优势种表现为以下变化:蓄水前基本上没有优势种<sup>[6]</sup>,蓄水半年期间,优势种为颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、脆杆藻(*Fragilar-*

表1 香溪河库湾不同蓄水时段藻类的种类组成

Tab. 1 Species composition of algae in Xiangxi Bay during different periods

采样时段 Sampling date	硅藻 Bac.	绿藻 Chl.	蓝藻 Cya.	甲藻 Pyr.	裸藻 Eug.	隐藻 Cry.	金藻 Chr.	黄藻 Xan	总计 Total
2003-01-06	28	27	7	4	5	1			72
2003-07-12	22	67	12	4	5	2	0	3	115
2004-01-06	23	47	4	4	2	3	2	1	86
2004-07-12	19	42	7	3	2	3	1	1	78

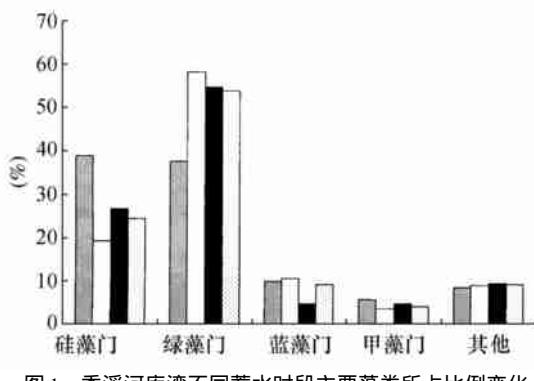


图1 香溪河库湾不同蓄水时段主要藻类所占比例变化

Fig. 1 Changes of the main algae in Xiangxi Bay during different periods

■ 2003-01-06 □ 2003-07-12 ■ 2004-01-06 ■ 2004-07-12

*ria* sp.)、小环藻(*Cyclotella* sp.);蓄水一年期间,优势种为拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp<sub>1</sub>)、拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp<sub>2</sub>)、新星形冠盘藻(*Stephanodiscus neoastrea*)、里海小环藻(*Cyclotella caspia*)、美丽星杆藻(*Asterionella formosa*) ;一年半期间,优势种为里海小环藻(*Cyclotella caspia*)、卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)、湖沼红胞藻(*Rhodomonas lacustris*)。

从藻类的总种类数减少和单一种类疯长的现象

来看,香溪河库湾的水质状况呈下降趋势。

### 2.2 藻类细胞密度、生物量及其月变化

藻类细胞密度和生物量是水质生物学评价的重要指标,当被调查水域不同藻类细胞大小相差悬殊时,藻类生物量所反映的水体生产力大小比细胞密度更为准确。图2和图3分别列举了各采样点藻类细胞密度和生物量的月变化情况,由图可见,调查期间,细胞密度先后有3个峰值,分别出现在2003年8月,2004年3—4月和6月,分别以S5,S2和S6采样点的峰值最高。生物量的最高值,S5采样点出现在5月份,其余各采样点均出现在3月份,其中以S6采样点最为突出;生物量的最低值,除3月份外,其他时间几乎全出现在S1采样点,其余各采样点的生物量由北向南出现依次递减的趋势;说明越远离干流,水体的营养水平越高,藻类的生长繁殖越旺盛。4月份各采样点的生物量恢复到前期水平,5月份S5和S6采样点的小环藻再次大量出现,生物量亦随之上升。定性检测表明,3月份藻类生物量的峰值主要因甲藻和硅藻所致,5月份的峰值则主要是由硅藻引起。

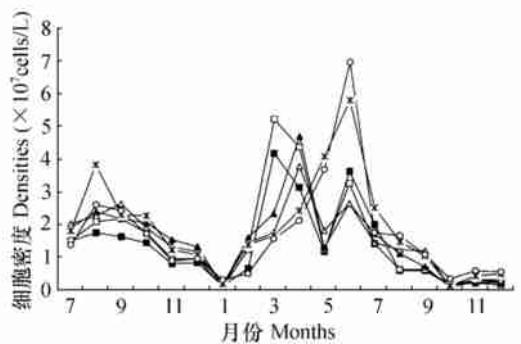


图 2 藻类细胞密度月变化 (2003.07—2004.12)

Fig. 2 Monthly variation of algal cell densities

—■— S1 —□— S2 —▲— S3 —△— S4 —×— S5 —○— S6

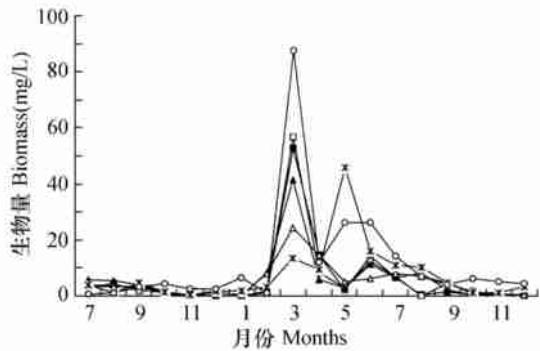


图 3 藻类生物量月变化 (2003.07—2004.12)

Fig. 3 Monthly variation of algal biomass

—■— S1 —□— S2 —▲— S3 —△— S4 —×— S5 —○— S6

### 2.3 藻类的垂直分布情况

深水水体中,由于不同深度水层所接受的光照强度以及水体热力学状态的明显差异,导致浮游藻类有垂直分层现象。图 4 和图 5 分别显示了优势藻类细胞密度和生物量的分层情况,从图中明显可见,表层的藻类细胞密度和生物量均为最高,随着水深的增加,两项定量参数呈逐渐减少的趋势;至 30m 的深度仍可采到藻类。比较图 4 和图 5,湖沼红胞藻的细胞密度和生物量的垂直分布无明显差异;而蛋白核小球藻的两项指标却显示明显不同,主要因为蛋白核小球藻的细胞个体极小,虽然在细胞密度上占据一定优势,但其生物量甚微,由此说明,藻类生物量比细胞密度更能反应被调查水域的水体生产力现状。

### 2.4 不同水域藻类水华发生趋势分析

根据以上调查结果及前期发表的资料<sup>[6]</sup>,对三峡库区湖北省境内水域的藻类种类演替及水华发生的可能趋势大致分析如下:

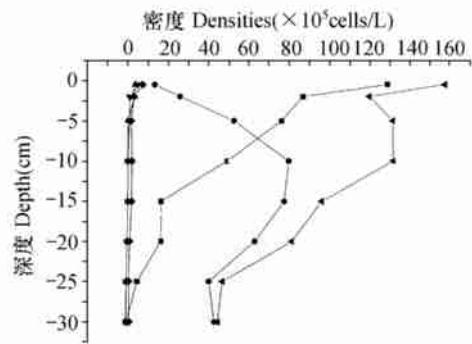


图 4 藻类细胞密度分层示意图

Fig. 4 Sketch of delamination about algal cell densities

—■— 湖沼红胞藻 —●— 蛋白核小球藻  
—▲— 实球藻 —▼— 色球藻  
—●— 其他藻 —◀— 合计

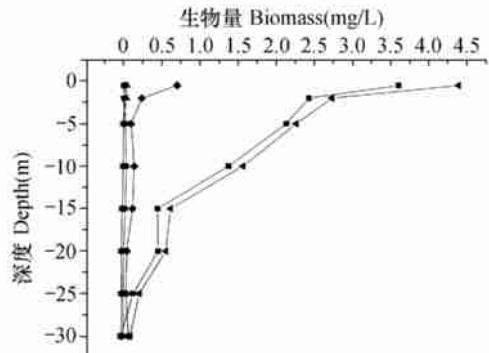


图 5 藻类生物量分层示意图

Fig. 5 Sketch of delamination about algal biomass

—■— 湖沼红胞藻 —●— 蛋白核小球藻  
—▲— 实球藻 —▼— 色球藻  
—●— 其他藻 —◀— 合计

**2.4.1 三峡水库干流江段** 干流江段藻类的种类演替仍以硅藻为主,绿藻次之,二者所占比例相差不会太大。因为三峡建坝后,虽水面变宽,流速减缓,但干流江段仍有较大水量自水库出水口向下游流出,并保持一定的流速;三峡沿岸两侧的石灰岩山坡被淹后,岩层加速溶解而使水体的碱度增加;水位的升高在一定程度上对阳光的直接照射起到了缓解作用,这些条件均有利于硅藻的生长繁殖。在今后的 1—2 年内,可能仍以小环藻、直链藻、舟形藻、肋缝藻、冠盘藻、桥弯藻和异极藻等为主要种群。在这类开阔的流动水域中形成藻类水华的几率较小。

**2.4.2 流动的支流水域** 与干流江段相比,支流水域的藻类种类会有所增加,其细胞密度和生物量也会很高,尤其在流速较缓的区域,这种趋势更

为明显。因为三峡大坝蓄水后,支流区域内的大量农田被淹,水体有机营养物浓度增加,为藻类的大量繁殖提供了足够的营养来源。在未来1—2年内,推测主要藻类大致有:绿藻:盘星藻、衣藻、栅藻、卵囊藻、实球藻、空球藻、胶网藻、小球藻;硅藻:小环藻、美丽星杆藻、直链藻、针杆藻、脆杆藻、舟形藻、冠盘藻;隐藻:卵形隐藻、啮蚀隐藻;蓝藻:鱼腥藻、颤藻、平裂藻、色球藻和微囊藻;甲藻:角甲藻、拟多甲藻,且有可能向小型化演替。在阳光充足、水温逐步回升的春季,极易出现藻类疯长并发生藻类水华。

**2.4.3 较封闭的静水区** 在沿岸浅水区,尤其是较封闭的静水区,藻类的种群结构比流动水体中的藻类区系更为简单,主要表现为种类单一、密度很大。因为封闭的静水区的水体只随风微动而无法畅流,营养物质不易扩散,极易成为死水区而有利于藻类的单一种类大量繁殖,一旦阳光充足、水温升高,随时都有可能发生藻类水华。

#### 参考文献:

[ 1 ] Tang T, Li D F, Pan W B, et al. River continuum characteristics of Xiangxi River [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15**(1):141—144 [唐涛,黎道丰,潘文斌,等. 香溪河河流连续系统特征研究. 应用生态学报, 2004, 15(1):141—144]

[ 2 ] Ye L, Li D F, Tang T, et al. Spatial distribution of water quality in Xiangxi River, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14**(11):1959—1962 [叶麟,黎道丰,唐涛,等. 香溪河水质空间分布特性研究. 应用生态学报, 2003, 14(11):1959—1962]

[ 3 ] Asaeda T, Pham H S, Priyantha D G N, et al. Control of algal blooms in reservoirs with a curtain: a numerical analysis [J]. *Eco-logical Engineering*, 2001, **16**(3):395—404

[ 4 ] Kimor B. Changes and stress signs in plankton communities as a result of man-induced perturbations in enclosed coastal seas (Mediterranean, Baltic) [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1991, **23**:171—174

[ 5 ] Kuang Q J, Hu Z Y, Zhou G J, et al. Investigation on phytoplankton in Xiangxi River Watershed and the evaluation of its water quality [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2004, **22**(6):507—513 [况琪军,胡征宇,周广杰,等. 香溪河流域浮游植物调查与水质评价. 武汉植物学研究, 2004, 22(6):507—513]

[ 6 ] Kuang Q J, Bi Y H, Zhou G J, et al. Study on the phytoplankton in the Three Gorges Reservoir before and after sluice and the protection of water quality [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(4):353—358 [况琪军,毕永红,周广杰,等. 三峡水库蓄水前后浮游植物调查及水环境初步分析. 水生生物学报, 2005, 29(4):353—358]

[ 7 ] Kuang Q J, Xia Y C, Wu Z B. Study on algae in a synthetic biological pond ( ) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1994, **18**(2):97—106 [况琪军,夏宜峰,吴振斌. 综合生物塘中的藻类研究. 水生生物学报, 1994, 18(2):97—106]

[ 8 ] Xia Y C, Kuang Q J. Study on the phytoplankton in a large reservoir [J]. *Chin. J Oceanol. Limnol.* 1992, **10**(4):359—370

## STUDY ON THE SUCCESSION OF ALGAE AND THE TREND OF WATER-BLOOMS OCCURRED IN XIANGXI BAY

ZHOU Guang-Jie, KUANG Qi-Jun, HU Zheng-Yu and CAI Qing-Hua

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072)

**Abstract :**This paper represents the results of an investigation on algal succession and the occurring trend of water-blooms in Xiangxi Bay from January 2003 to December 2004. The results were discussed in four periods. The first period was from January 2003 to June 2003, the second was from July 2003 to December 2003, the third was from January 2004 to June 2004, and the fourth was from July 2004 to December 2004, each period was 6 months. A total of 115 species of algae belonging to 7 phyla and 85 genera was observed when the Three Gorges Reservoir had been sluiced for half a year. The species number of each phylum were as follows: Bacillariophyta 22, Chlorophyta 67, Cyanophyta 12, Pyrrophyta 4, Euglenophyta 5, Cryptophyta 2, Xanthophyta 3. The results showed that the species richness of green algae increased notably in the second period. It was almost 3 times of that before sluice, and then went down slowly in the third and the fourth period. The species richness of diatoms represented a trend of decrease. Other phyla varied slightly. The peak value of cell density and biomass of algae were both noted at the S6 station with the highest cell numbers of  $6.93 \times 10^7$  cells/L (June) and the most biomass of 87.24mg/L (March). The minimal values were almost noted at the S1 station except in March. According to the investigated results, the authors give a forecast analysis on the trend of water-blooms occurring in the Xiangxi Bay. We predict that the occurring odds of water-blooms is small in the main channel, and the water-blooms are easy to occur in distributaries and some lentic areas, especially in spring when the water temperature rises gradually and sunlight becomes abundant.

**Key words :**Xiangxi Bay; Algae; Cell density; Biomass; Water-blooms