

研究简报

## 三峡库区重庆段主要支流春季浮游植物调查

胡建林<sup>1,2</sup> 刘国祥<sup>1</sup> 蔡庆华<sup>1</sup> 胡征宇<sup>1</sup>

(1. 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;

2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

### INVESTIGATION ON THE PHYTOPLANKTON OF SPRING FROM THREE GORGES RESERVOIR IN CHONGQING

HU Jian-Lin<sup>1,2</sup>, LIU Guo-Xiang<sup>1</sup>, CAI Qing-Hua<sup>1</sup> and HU Zheng-Yu<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory for Freshwater Ecology and Biotechnology of China; Wuhan 430072;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

关键词:三峡库区;支流;浮游植物;水华;重庆

Key words: Three Gorges Reservoir; Branch; Phytoplankton; Water Bloom; Chongqing

中图分类号:Q178.51 文献标识码:A 文章编号:1000-3207(2006)01-0116-04

三峡库区位于东经 107°20′—111°01′、北纬 30°31′—30°20′之间,流经重庆市和湖北省两个省级行政区<sup>[1]</sup>。三峡水位提升至 139m 后,河面变宽,水深加大,水流明显减缓。库区主要污染源为工业污染源,其次按顺序排列为农田径流、生活污水、城市径流和船舶流动污染源<sup>[2]</sup>。随着经济发展和人口增长,污染物排放增加,致使水体中营养物质浓度升高,库区水环境污染面临严峻形势,部分支流发生了藻类水华。

作者于 2005 年 3 月即春季水华高发期对长江三峡库区干流重庆段及 18 条主要支流共 56 个采样点进行监测。旨在调查水位提升后三峡库区重庆段水体浮游植物群落结构和分布特征,研究非回水区与回水区河流的藻类分布差异,进而分析蓄水对库区总体水质的影响,为防治三峡水库水华提供重要的科学依据。

#### 1 材料与方法

**1.1 采样点设置** 于 2005 年 3 月 19 日至 3 月 23 日分三个小组同期开展对长江三峡库区干流重庆段及主要支流进行浮游植物的调查,共设 56 个采样点,覆盖重庆地区 7 个县 18 条主要支流,分别是:涪陵县和武隆县:乌江;丰都县:龙河;忠县:东溪、黄金河、沿溪、龙滩河、后溪;万县:芭溪河;云阳县:彭溪河(小江)、汤溪河、磨刀溪、长滩河;奉节县:朱衣河、梅溪河、草堂河、大溪河;巫山县:大宁河、神女溪。详见表 1。

**1.2 浮游植物采集及定性定量** 通过采水器取表层 0.5m 水样 1.2L,用鲁哥氏液现场固定,沉淀 48h,浓缩至 30mL。用

浮游植物计数框在光学显微镜( $\times 40$ )下观察计数,然后按照相关公式换算藻类的细胞密度<sup>[3]</sup>。藻类种类鉴定参照胡鸿均等<sup>[4]</sup>。

#### 2 结果与讨论

##### 2.1 浮游植物细胞密度及水华分布

从表 1 可见,长江三峡库区干流重庆段各采样点的浮游植物总细胞密度均低于  $100 \times 10^4$  cells/L。云阳新津口段和奉节段的长江干流中浮游植物细胞密度相对忠县沿溪段和巫山段低,分别为  $29.1$  和  $12.7 \times 10^4$  cells/L,显示水质较好。

大部分库区支流水域的浮游藻类细胞密度较高。支流 48 个样点中有 30 个样点的浮游植物总细胞密度超过了  $100 \times 10^4$  cells/L,其中局部区域还发生了严重的水华,总细胞密度超过  $1000 \times 10^4$  cells/L,比如忠县的东溪河库湾、黄金河中部、黄金河上游、云阳县的彭溪河支流陈家沟、奉节县大溪河下游和巫山县的大宁河熊猫洞;有部分区域虽然细胞密度没有超过  $1000 \times 10^4$  cells/L,但由于优势种类细胞体积较大,叶绿素 *a* 的浓度超过  $50 \mu\text{g/L}$ ,水体颜色发生了明显改变,为暗红色或酱油色,也应该视为发生了水华,比如忠县的龙滩河大桥和石宝大桥;云阳县的彭溪河的浏兰溪、老高阳、汤溪河的一个库湾、磨刀溪的普安及普安上 3km 等样点。除大宁河的水华种类为绿藻门的实球藻(*Pandorina monum*)外,其他样点的水华种类均为甲藻门的一种拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.)。

收稿日期:2005-07-25;修订日期:2005-09-28

基金项目:中国科学院知识创新工程方向性项目(KSCX2-SW-111;KSCX2-SW-129)资助

作者简介:胡建林(1982—),男,浙江萧山人;硕士。主要从事淡水甲藻生理生态学研究。野外采样过程中得到邱昌恩、赵先富、邓中洋博士、马沛明、汤宏波、周广杰硕士的大力支持,特此一并感谢

通讯作者:胡征宇, E-mail: huzy@ihb.ac.cn

表 1 三峡库区藻类组成( %)

Tab. 1 The algal taxa composition of Three Gorges

地点 Place	蓝藻 Cyan.	绿藻 Chlor.	甲藻 Dino	隐藻 Crypt.	硅藻 Bacil	裸藻 Eugl.	金藻 Chry.	总细胞密度 cell densities (cells/L)
沿溪湾(长江)	10.42	10.42	4.17	4.17	70.83	—	—	669685.5
云阳(长江)	5.62	9.55	1.97	2.81	80.06	—	—	290733.3
奉节(长江)	2.08	4.51	1.39	4.86	87.15	—	—	126942.1
巫山(长江)	0.61	17.01	—	17.83	63.11	1.43	—	306320.3
涪陵乌江大桥	1.57	—	—	—	98.43	—	—	3557704.0
白涛	15.75	0.50	—	—	83.75	—	—	5755110.0
白马	0.96	0.64	—	—	98.41	—	—	4517761.0
武隆	—	—	—	—	100.00	—	—	3167054.0
龙河大桥	—	9.09	—	—	90.91	—	—	143877.7
龙河雪玉洞	—	50.00	—	—	50.00	—	—	27903.6
东溪河下游	—	8.11	37.84	29.73	24.32	—	—	516215.9
东溪水库湾	—	0.31	95.77	1.24	2.27	0.41	—	13519276.0
黄金河下游	0.89	4.02	13.84	41.52	39.29	0.45	—	804334.4
黄金河中部	1.59	1.20	85.26	9.83	1.73	0.40	—	10505691.0
黄金河上游	47.91	5.32	13.18	16.22	16.98	0.38	—	11007955.0
沿溪河下游	—	18.75	16.96	45.54	18.75	—	—	1464937.0
龙滩河大桥	31.09	9.84	32.12	9.33	15.54	—	2.07	2776840.0
后溪石宝大桥	2.60	5.21	50.00	18.75	23.44	—	—	2762453.0
芭溪坝后	—	19.23	—	3.85	76.92	—	—	555455.3
芭溪坝前	3.85	73.85	—	2.31	13.08	6.92	—	2947314.0
芭溪上游	45.79	27.89	0.53	2.63	23.16	—	—	4141935.0
彭溪河双江大桥	—	8.60	18.28	9.68	63.44	—	—	511349.3
彭溪河浏兰溪	1.73	72.42	10.80	10.05	4.31	0.69	—	6165098.0
彭溪河老高阳	0.67	28.22	15.33	37.63	17.47	0.67	—	3243979.0
彭溪河电站前	2.24	43.27	—	1.60	52.88	—	—	650000.0
彭溪河渠马	15.38	29.23	0.22	5.05	50.11	—	—	568750.0
彭溪河陈家沟	—	5.65	87.17	3.76	3.08	0.34	—	14777404.0
汤溪河旧云阳大桥	2.79	33.49	30.23	2.79	30.70	—	—	869401.1
汤溪河碛村库湾	0.00	25.51	48.04	5.67	19.84	0.94	0.00	2432384.0
汤溪河云安镇	—	—	0.06	3.22	96.66	0.06	—	676622.7
磨刀溪口大桥	2.99	10.30	5.65	5.65	75.42	—	—	288458.3
磨刀溪普安	—	48.93	30.73	4.45	15.89	—	—	3430329.0
磨刀溪普安上 3km	2.00	10.86	50.29	24.85	11.43	0.57	—	7020189.0
长滩河故陵镇	—	7.82	69.86	16.75	5.58	—	—	2010111.0
长滩河上游	—	—	—	—	100.00	—	—	4446694.0
朱衣河下游	—	60.00	—	7.27	32.73	—	—	761473.5
朱衣河上游	6.08	—	9.73	11.28	72.04	0.87	—	1595084.0
梅溪河下游	—	4.55	—	54.55	40.91	—	—	856132.0
梅溪河下游 5km	—	93.49	0.07	3.66	2.78	—	—	18482939.0
梅溪河上游	17.24	12.93	—	5.17	64.66	—	—	1552483.0
草堂河下游	—	1.72	—	27.59	67.24	—	3.45	776241.5
草堂河中	6.10	19.51	9.76	30.49	34.15	—	—	1135288.0
大溪河下游	—	11.36	4.55	6.82	77.27	—	—	597933.5
大溪河下游 4km	—	6.06	61.65	30.30	1.99	—	—	14828750.0
大溪河上游	—	—	14.29	2.04	83.67	—	—	710272.5
大宁河下游东	1.92	6.73	0.96	8.65	81.73	—	—	1508443.0
大宁河下游中	0.38	16.79	1.15	6.49	75.19	—	—	3627383.0
大宁河下游西	0.11	16.81	1.59	10.36	71.14	—	—	11351032.0
大宁河熊猫洞	1.04	72.06	1.15	15.61	10.13	—	—	23183014.0
大宁河东坪坝	—	47.39	1.90	32.46	18.25	—	—	5474056.0
大宁河双龙	7.69	8.55	—	4.27	78.63	0.85	—	1568278.0
大宁河睡美人	4.86	2.08	—	9.03	84.03	—	—	1867924.0
大宁河洋溪大桥	16.82	1.25	6.54	0.62	74.77	—	—	198966.9
大宁河大昌	—	1.57	—	0.52	97.91	—	—	2229835.0
神女溪口	4.58	20.42	16.25	52.08	6.67	—	—	6226415.0
神女溪上游	—	—	—	—	100.00	—	—	727279.8

—:未发现该门藻类。

## 2.2 浮游植物分布特征及分析

长江三峡库区干流重庆段各采样点的浮游植物以硅藻为主,其所占比例都超过 60%,主要种类为中心纲的小环藻(*Cyclotella* spp.)。长江干流总体水质良好,巫山的硅藻比例相对其他长江干流样点低,可能是由于样点靠近巫山县城,受城区污染和支流大宁河的影响,绿藻和隐藻门的比例比较高,主要种类为实球藻与蓝隐藻(*Chroomonas* sp.),基本上是由大宁河带入。由于云阳新津口和奉节采样点人口较稀。污染源较少,硅藻的比例相对较高,分别为 80.06%,87.15%。

三峡库区支流的春季浮游植物特点明显。从藻类组成来看,下游主要以小环藻为优势种。库区大部分支流属于这一类,如:乌江、龙河、东溪、黄金河、后溪、芭溪、彭溪河、汤溪河、磨刀溪、朱衣河、梅溪河、草堂河、大溪河、大宁河。部分支流下游以拟多甲藻为亚优势种,这样的支流不长,流量不大且中部和上游有甲藻水华发生,或下游附近库湾有甲藻水华发生,如:东溪、黄金河、后溪、汤溪河;另外,部分河流下游以实球藻等绿藻为亚优势种,如:朱衣河、大宁河。河流中部浮游植物分布主要有两种情况:一是以拟多甲藻为优势种,发生了甲藻水华,如:东溪河、黄金河、龙滩河、彭溪河、磨刀溪、长滩河;二是以实球藻为优势种,如:大宁河。多数河流的上游主要以针杆藻(*Synedra* sp.)、舟形藻(*Navicula* sp.)为优势种,如:龙河、彭溪河、汤溪河、长滩河、朱衣河、梅溪河、大溪河、大宁河、神女溪;此外,少数河流上游以颤藻(*Oscillatoria* sp.)为优势种,如:黄金河、芭溪。

水库区别于相同面积湖泊的一个明显特征是水库水量水质受流域影响要大得多,水库水动力学过程表现出强烈的不稳定性<sup>[5,6]</sup>,因而浮游植物数量的水平分布受水流影响较大<sup>[7]</sup>。浮游植物是对水质变化较敏感的代表性水生生物<sup>[8]</sup>。水体透明度、营养盐和水流流速频繁波动,比较适合硅藻这一类具有硅质壁能抗机械损伤、对光的快速变化适应能力比较强的种类生长<sup>[9]</sup>。长江三峡库区干流以硅藻为优势种,主要种类为中心纲的真性浮游种类小环藻。库区支流的浮游植物特征不同于通常的静水型水库,也不同于水流比较大的天然型河流。支流浮游植物分布差异明显。下游以小环藻为优势种,是由于受长江干流回水影响。从生态位宽度上看,小环藻更适应浮游生活<sup>[10]</sup>。支流上游水流较急,水体交换量大,提供的环境有利于硅藻生长,硅藻种类较下游丰富,以点着生和面着生种类针杆藻、舟形藻等为主,鲜见真性浮游的小环藻,例如:龙河、彭溪河、汤溪河、长滩河、朱衣河、梅溪河、大溪河、大宁河、神女溪。但黄金河上游、芭溪上游例外,是以颤藻等蓝藻门种类为主,可能是上游的面源污染十分严重,这在万州县的芭溪河非常明显,河里的水大部分就是附近居民的生活污水。河流中部、库湾等区域水流减缓,环境条件比较稳定,局部水域接近于静水,容易暴发水华。此次调查发现,三峡库区支流部分静水区域出现甲藻水华及绿藻水华,如:东溪河、黄金河、龙滩河、彭溪河、磨刀溪、大溪河、长滩河、神女溪暴发了拟多甲藻水华,大宁河暴发了实球藻水华。

## 2.3 非回水支流与回水支流浮游植物差异

三峡库区蓄水至 139m 后,回水至丰都境内,处于其上游的乌江尚未受回水影响。

乌江的浮游植物以硅藻为主。在比例方面,各采样点都在 80%以上,从上游(武隆)至下游(白涛)硅藻比例逐渐下降,至下游(涪陵)比例又回升至 98.43%;在细胞密度方面,各采样点细胞密度均超过  $100 \times 10^4$  cells/L,从上游至下游硅藻细胞密度逐渐升高,下游(涪陵)细胞密度下降;在种类方面,上游硅藻种类丰富,主要有针杆藻、舟形藻、直链藻(*Melosira* sp.),羽纹藻(*Pinnularia* sp.),桥弯藻(*Cymbella* sp.),等片藻(*Diatoma* sp.),小环藻,各种类的比例相当,其中许多并不是真性浮游的;下游的种类减少,主要是中心纲的小环藻。结果表明硅藻和水流流向有着密切的关系,这是因为水体中为藻类生长提供重要条件的营养物质以及藻类本身随着水流流动,水流直接或间接地控制了藻类的群落结构,从而使上游和下游具有相似性。

彭溪河(小江)于云阳境内汇入长江干流,大宁河于巫山境内汇入长江干流,调查期间两河分别暴发了拟多甲藻水华和实球藻水华。根据硅藻的比例变化,彭溪河、大宁河从上游至下游呈下降趋势,至下游处比例再次升高。规律与乌江大致相同,但是比例有所下降。彭溪河浏兰溪、支流库湾陈家沟总藻类细胞密度较高,分别达到  $617 \times 10^4$  cells/L、 $1480 \times 10^4$  cells/L。种类主要是绿藻、甲藻。大宁河熊猫洞总藻类细胞密度最高,为  $2320 \times 10^4$  cells/L,以绿藻为主。

通过分析 3 条河流浮游植物的特征,发现随着河流的空间变化各支流硅藻分布比例呈现出相同的趋势,但有数量差异,表现为相同空间位置乌江的硅藻比例高于其他两条河流。从硅藻和绿藻所占的比例变化来看,三峡库区非回水区藻类群落结构表现出河流型的生态特征,回水区则表现为河流型和湖泊水库型的双重生态特征<sup>[11]</sup>,绿藻比例有所上升。由此表明回水区与非回水区河流浮游植物特征大致相似,但回水区水质相对较差。各支流下游上段即未到下游的采样点藻类密度都明显高于河流的其他河段。

## 参考文献:

- [1] Fu B J, Liu G H, Chen L D, et al. Scheme of ecological regionalization in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 1—6 [傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案. 生态学报, 2001, 21(1): 1—6]
- [2] Hydraulic committee of Yangtze River. Study on ecological impact of Three Gorges Project [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997, 25 [长江水利委员会. 三峡工程生态环境影响研究. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997, 25]
- [3] Zhang Z S, Huang X F. Research methods of phytoplankton in freshwater [M]. Beijing: Science Press, 1991, 338, 340, 345—347 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游植物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 338, 340, 345—347]
- [4] Hu H J, Li R Y, Wei Y X et al. Freshwater Algae in China [M]. Shanghai: Shanghai Science and technology Press, 1980, 93—101 [胡

- 鸿钧,李尧英,魏印心,等. 中国淡水藻类. 上海:上海科学技术出版社,1980,93—101]
- [ 5 ] Lin Q Q, Han B P. Reservoir limnology and its application in water quality management: An overview [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**:1034—1040 [ 林秋奇,韩博平. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用. 生态学报, 2001, **21**:1034—1040 ]
- [ 6 ] Han B P, Armengol J, Garcia J C, *et al.* The thermal structure of Sau Reservoir (N E: Spain): a simulation approach [J]. *Ecol. Model.*, 2000, **125**:109—122
- [ 7 ] Dai M, Li C H, Jia X P, *et al.* Ecological characteristics of phytoplankton in coastal area of Pearl River estuary [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**:1389—1394 [ 戴明,李纯厚,贾晓平,等. 珠江口近海浮游植物生态特征研究. 应用生态学报, 2001, **15**:1389—1394 ]
- [ 8 ] Hong S, Chen J S. Structure characteristics of aquatic community from the main rivers in China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(3):295—305 [ 洪松,陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. 水生生物学报, 2002, **26**(3):295—305 ]
- [ 9 ] Reynolds C S, Descy J P, Padiak J. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1994, **289**:1—7
- [ 10 ] Wang C H, Zhang J T. Niche analysis of diatoms in Fenhe river and Fenhe reservoir [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, **23**(3):58—62 [ 王翠红,张金屯. 汾河水库及河道中优势硅藻生态位的研究. 生态学杂志, 2004, **23**(3):58—62 ]
- [ 11 ] Kuang Q J, Bi Y H, Zhou G J, *et al.* Study on the phytoplankton in the there 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 ]