

三峡水库蓄水前后水生态系统动态的初步研究

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: 本专辑登录的论文系中国科学院知识创新工程重要方向性项目“三峡水库库区蓄水前后水生态系统变化的研究”的部分研究结果, 内容包括 1) 蓄水前后水体理化参数变化; 2) 蓄水前后水生生物群落变化; 3) 三峡水库的富营养化问题; 4) 春季水华暴发过程的连续监测与动力学; 5) 对三峡水库生态研究的几点思考和建议。

关键词: 三峡水库; 水生态系统; 群落演替; 富营养化; 藻类水华

中图分类号: Q118.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2006)01-0001-06

三峡工程是举世瞩目的特大型水利水电工程, 其生态环境问题一直受到国内外广泛关注。如何在保证三峡工程安全运行和充分发挥工程最大效益的同时, 保证水库生态系统健康, 实现其生态系统服务的最大价值, 并最终实现库区流域生态系统可持续发展, 是关系国计民生的大事。特别是大坝建成蓄水之初, 正是库区水生生物群落和水生态系统发生剧变的关键时刻, 这种变化将直接影响三峡水库生态系统的完整性和健康状态, 并对三峡工程综合效益的发挥产生重大影响。因此, 对这一阶段库区水生态系统特征进行跟踪研究, 其重要性是不言而喻的。

为此, 中国科学院在知识创新工程二期试点期间专门设立了重要方向性项目“三峡水库库区蓄水前后水生态系统变化的研究”, 通过对蓄水前后三峡水库库首(茅坪—归州段)及其主要支流(香溪河)众多生态因子及功能参数的跟踪监测, 研究三峡水库蓄水前后水生生物群落如何演替, 水生态系统如何变化; 分析库区典型支流(香溪河)流域土地利用格局如何影响支流的水质和水生生物群落, 并最终对库区水环境及水生态系统有何影响; 评价水体健康状况的变化趋势, 探讨如何预测和预防蓄水后三峡水库水质的恶化及如何合理利用库区流域自然资源。

本专辑收录上述研究的部分成果。

1 水体理化参数变化

根据2002年6月—2005年5月的逐月监测, 对三峡水库(茅坪—归州段)蓄水前后的理化特征及其动态进行了比较分析。结果表明^[1, 2], 主要理化指标空间差异不大, 均随时间变化。如水温随季节变化, 各采样点间差异不大, 周年变化范围为10.5—27.6℃, 平均温度18.4℃; 蓄水后多次逐米测量水温, 发现三峡水库无温跃层形成。部分指标(如pH、碱度、总硬度、COD、Cl⁻和SiO₂等)蓄水前后无显著变化, 部分理化指标则有显著差异, 如蓄水后电导率、TDS较蓄水前同期有明显降低, 而透明度、浊度月变化很大, 且呈良好的负相关, 并在7—9月分别有显著降低与升高, 表明该地区水土流失在雨季十分剧烈。TN、TP蓄水后与蓄水前同期比较明显降低, 分别由蓄水前的年均2.38和0.274mg/L下降到蓄水后的1.62和0.132mg/L。无机氮组成中, NO₃-N达91.25%, NO₂-N仅占1.05%, 表明水域自净能力较强。TP随库区水体中悬浮物增高而显著增高, 表明流失水土受磷污染严重, 但由于同期PO₄-P反而是降低的, 说明此污染并未有效转化为PO₄-P。叶绿素a的空间分布差异极大, 一般来说, 近岸采样点Chl. a监测值比江中采样点更高, 表明近岸水滞留点藻类容易暴发生长。整个调查期间Chl. a基本

收稿日期: 2005-07-31; 修订日期: 2005-09-28

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-111); 国家自然科学基金重点项目(30330140); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412300)资助

作者简介: 胡征宇(1957—), 湖北人, 博士, 研究员。主要从事水生生物学、藻类分类与生态学研究。唐涛、刘国祥、叶麟、况琪军、黎道丰、方涛、周广杰、曹明、刘瑞秋、邵美玲、汤宏波、韩新芹、胡建林、徐耀阳、付长营等同志参加野外工作, 并提供相关数据资料, 谨致谢忱。

通讯作者: 蔡庆华, E-mail: qhcai@ihb.ac.cn; 胡征宇, E-mail: huzy@ihb.ac.cn

随季节变动, 范围为 $0.019\text{--}12.81\text{mg/m}^3$, 平均为 2.31mg/m^3 。

以香溪河库湾为例, 分析了进入库湾的主要营养物质 N、P 的来源、组成及时间上的动态。进入香溪河库湾的主要支流有两条, 一是香溪河干流, 一是高岚河。为便于计算, 分别取干流上的兴山水文站和高岚河口 2 个周年 (2002 年 7 月—2004 年 6 月) 的监测数据, 与各自流量相乘, 可得出汇入库湾的 TN 为 1292 42t, 香溪河及高岚河分别为 903.75t 和 388.67t, 分别占总量的 69.93% 和 30.07%, 汇入库湾的 TP 为 274.1t, 两大支流分别为 260.36t 和 13.74t, 占总量的比例分别为 94.99% 和 5.01%。在汇入库湾的 TN 中, $\text{NO}_3\text{-N}$ 占 52%, $\text{NO}_2\text{-N}$ 占 1%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 占 7%, 而 TP 的组成中, 93% 为 $\text{PO}_4\text{-P}$ 。由此可见, 香溪河库湾的主要污染仍为无机污染。上述结果说明, 进入库湾的营养物质主要来源于香溪河干流, 特别是 P 负荷的近 95% 来源于香溪河干流。为摸清污染物来源, 在其上游的两大支流 (南阳河、古夫河) 分别设点监测, 并与上述 2 采样点进行比较, 分析表明, 古夫河 TN 显著大于其他 3 站点, 说明自 2002 年 9 月底兴山县城搬迁至古夫镇后对古夫河的污染有所加重。而 TP 的分析表明, 兴山水文站的浓度远远高于其他 3 站点, 南阳河和古夫河差异不显著, 说明 P 污染的主要来源应位于其间。调查表明, 位于南阳河上的某化工厂的工业废水对香溪河有重要污染。

香溪河沉积物磷污染严重, 总磷含量高达 1221mg/kg , 主要以无机磷污染为主^[3]。通过对库湾沉积物中磷的自然吸附实验和不同粒径下沉积物的胁迫吸附试验, 研究了沉积物对磷的吸附特征。结果表明^[4]: 上覆水中的磷浓度与沉积物中的总磷含量有很好的相关性, 沉积物中的总磷含量对上覆水的水质有很大的影响; 粒径对沉积物对磷的吸附量影响程度与沉积物理化参数也存在很大的关系; 香溪河沉积物中的磷在现有条件下表现为“源”, 条件改变时也可能转化为“汇”。

2 水生生物群落变化

三峡水库为峡谷型水库, 2003 年蓄水后纵向长度达 400 余 km, 来源于不同支流的水体理化因子不同, 整个库区水质在短期内难以达到均匀稳定的状态, 导致水生生物的种类组成和时空分布出现差异。

三峡水库蓄水前后湖北库区干流江段及主要支

流 (香溪河) 藻类的种群结构和细胞密度存在明显差异, 蓄水前共鉴定藻类 7 门 66 属 79 种, 硅藻、绿藻、蓝藻分别占 34.6%, 38.5% 和 10.3%, 其余藻类合计 16.6%; 蓄水后, 藻类的总种类数增至 151 种, 硅藻、绿藻、蓝藻所占比例依次为 23.8%, 55.0% 和 9.9%, 其余藻类合计 11.3%。藻类的细胞密度, 蓄水前, 干流平均 $272.6 \times 10^4 \text{cell/L}$, 支流 $1042 \times 10^4 \text{cell/L}$; 蓄水后干、支流的平均分别达 $384.8 \times 10^4 \text{cell/L}$ 和 $2066.7 \times 10^4 \text{cell/L}$, 较蓄水前增加 41.2% 和 92.6%, 说明三峡成库过程对库区水生态系统中的藻类种群结构产生了影响, 尤以对支流中的影响更为明显^[5-9]。

蓄水前三峡江段水流较急不适合枝角类栖息, 仅在水流相对较缓的岸边采集到 2 种; 蓄水后 1 周年共采集到 20 种, 并存在明显的季节变化。此外, 只有短尾秀体溞 (*Diaphanosoma brachyurum*)、僧帽溞 (*Daphnia cucullata*)、筒弧象鼻溞 (*Bosmina coregoni*)、脆弱象鼻溞 (*B. fatalis*)、颈沟基合溞 (*Bosminopsis deitersi*) 和点滴尖额溞 (*Alona guttata*) 6 个种在各断面都有出现, 其他种则只在部分断面出现, 显示水环境虽有一定相似性, 但也存在明显差异^[7]。桡足类方面, 蓄水前共发现 5 种, 蓄水后采集到 11 种, 种类数明显增加。在 11 种桡足类中仅有舌状叶镖水蚤 (*Phyllodiaptomus tunguidus*)、闻名大剑水蚤 (*Macrocyclus distinctus*)、沙居剑水蚤 (*Psemmop-hilocyclops* sp.) 和北碚中剑水蚤 (*Mesocyclops pehpeiensis*) 4 种在各断面中都有采到, 其他种类只分布于部分断面。茅坪断面种类数最多, 有 10 种, 随断面离大坝距离的增加, 种类数逐渐减少, 归州断面仅采到 5 种^[8]。

在香溪河库湾, 蓄水半年间共鉴定藻类 7 门 85 属 115 种^[9], 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增加, 以绿藻增幅最大。蓄水 1 年时, 增加金藻 2 种, 但藻类的总种类数减少至 86 种, 主要因绿藻和蓝藻的种类减少所致。蓄水 1 年半时, 硅藻和绿藻分别减少 4 和 5 种, 其余藻类的合计种类数亦较蓄水 1 年时少。藻类优势种方面, 蓄水半年间优势种为颗粒直链藻 (*Melosira granulata*)、脆杆藻 (*Fragilaria* sp.)、小环藻 (*Cyclotella* sp.), 蓄水 1 年为拟多甲藻 (*Peridiniopsis* spp.)、新星形冠盘藻 (*Stephanodiscus neoastraea*)、里海小环藻 (*Cyclotella caspia*)、美丽星杆藻 (*Asterionella formosa*), 1 年半期间则为里海小环藻、卵形隐藻 (*Cryptomonas ovata*)、湖

沼红胞藻(*Rhodomonas lacustris*)。

香溪河库湾共发现浮游轮虫 80 种^[10], 分属于 17 科 27 属。其中冷水性种类 12 种、暖水性 20 种、广温性 48 种。优势种为疣毛轮虫(*Synchaeta* sp.)、针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)、螺形龟甲轮虫(*K. cochlearis*)等。不同月份轮虫密度差异显著; 库湾轮虫空间分布异质性明显, 沿着水流方向, 轮虫密度逐渐降低。香溪河库湾共采集到枝角类 13 种^[11], 隶属于 5 个科; 不同季节种类组成存在较大差异, 夏季种类数最多(11 种), 春季次之(4 种), 秋季仅发现 2 种, 冬季在定量标本中没有枝角类出现, 只在定性样品中发现 1 种。春季优势种为简弧象鼻溞, 夏季优势种为简弧象鼻溞、短尾秀体溞和长肢秀体溞(*Diaphanosoma leuchtenbergianum*), 秋季以简弧象鼻溞相对居多。优势种简弧象鼻溞具有明显的垂直分布现象: 春季在 5m 水层密度最高(达 44.7 ind./L), 夏季的最大密度层则上升到 2m。短尾秀体溞是夏季数量最大的枝角类, 每一层中密度都较其他枝角类高, 最高密度在 2m 水层, 最低密度在 0.5m 水层。

香溪河库湾共采集到底栖动物 26 种, 隶属 4 门 6 科, 其中双壳类 2 科 2 种、寡毛类 2 科 13 种、摇蚊 10 种、线形动物 1 种。总平均密度为 276 ind./m², 总平均生物量为 0.301 g/m², 优势种为霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)和前突摇蚊幼虫(*Procladius* sp.)。研究表明, 随蓄水时间的延长, 底栖动物的现存量在逐渐增加。霍甫水丝蚓和前突摇蚊幼虫等耐污种发展为优势种, 表明水质有恶化趋势, 而寡毛类的平缓发展说明目前香溪河库湾的沉积情况尚不严重^[12]。

香溪河库湾共调查到 21 种鱼类^[13]。水库蓄水对鱼类群落构成影响显著: 鲤科鱼类占总种数 76.2%, 其中鲃亚科有 7 种, 占鲤科总数的 43.8%。静水性生活的鱼类所占比重较大, 已经形成优势种群。种类组成以中、下层鱼类占绝大多数, 杂食性鱼类种类居首(47.62%), 其次为肉食性(38.95%)。杂食性鱼类不论在种类数、个体数和生物量等方面都占据绝对优势, 植物食性鱼类却相对较缺乏, 表明水体因为新增淹没区有机碎屑、腐殖质较为丰富, 植物饵料则明显不足。水体中缺乏大型滤食性鱼类, 也表明蓄水对原有水环境的剧烈改变尚未形成适合滤食性鱼类的生境。

3 水库富营养化问题

三峡水库及其主要库湾的 TN、TP 含量都相当

高, 已远远超过国际公认的富营养化标准。比较蓄水前后同期数据, 蓄水后三峡水库营养盐浓度虽有所下降, 但由于流速减缓的影响, 藻类得到更适宜的生存条件, 富营养化征兆更加明显。与水库主体部分相比, 库湾的藻类叶绿素 *a* 含量更高, 富营养化现象也更显著, 研究表明, 部分库湾已暴发了数次以甲藻(拟多甲藻)和硅藻(小环藻)为主的水华现象, 特别是在春季。

香溪河库湾 2 周年的营养状态变化表明, 除冬季外, 大多数月份为富营养, 在春季则为重富营养^[14]。形成水华的藻类主要有拟多甲藻、美丽星杆藻、新星形冠盘藻、里海小环藻、湖沼红胞藻; 其中以拟多甲藻水华涉及面积最大, 持续时间最久, 程度最为严重^[15]。

以 2005 年春季香溪河库湾峡口段一次甲藻水华为例, 比较研究了水华的发生、相持及消亡过程^[16]。研究表明, 超高的营养盐如 TN、TP 等是水华发生的主要原因, 其他条件如气温、水温的回升等是重要的诱因。2 月 22 日开始出现表层水华, 3 月 5 日达到高峰(表层叶绿素 *a* 高达 512.61 mg/m³), 至 3 月 19 日甲藻水华消失。水华期间表层硅藻及其他藻类的密度变化不大, 而甲藻的数量有剧烈变化。底层的甲藻从 3 月 5 日的 1.67×10^4 cell/L 变为 3 月 19 日的 5.02×10^4 cell/L。这在一定程度上说明, 营养盐被不断繁殖的甲藻消耗, 以至于不能满足甲藻的营养需求, 最终部分甲藻下沉到底层。

室内毒理学实验表明^[15], 拟多甲藻水华对藻类的生长无明显抑制作用, 其细胞提取液对小白鼠亦未产生明显的致毒效应, 说明拟多甲藻没有明显的生物毒性。但水华甲藻爆发性增殖时会消耗水体中的大量营养物质, 并造成水体缺氧, 从而间接影响其他的水生生物, 尤其是还可能堵塞鱼鳃, 造成鱼类窒息死亡。藻类水华不仅给水生态系统和养殖业造成一定影响, 而且对旅游业的发展也有妨碍。

对三峡水库 22 条入库支流库湾的营养状态进行综合评价, 结果表明, 有 5 条(22.7%)支流库湾为中营养, 17 条(77.3%)支流库湾为富营养(重富营养化支流库湾有 10 条, 占 45.5%); 但三峡水库本身水质尚好, 仍保持中营养状态。统计分析表明, 入库支流流域的年均流量(*D*, m³/s)和流域面积(*A*, km²)与支流库湾叶绿素 *a* (μg/L)存在显著负相关关系:

$$\text{年均流量}(D) \text{与 Chl. } a: \text{Chl. } a = -55.494 \ln(D) + 239.64, R^2 = 0.8652$$

$$\text{流域面积}(A) \text{与 Chl. } a: \text{Chl. } a = -51.795 \ln(A) +$$

423.51, $R^2=0.7465$

这一结果说明, 支流库湾越小或年均流量越小, 藻类叶绿素 a 浓度就越高, 即越容易在春季形成水华^[14]。

有关三峡蓄水后藻类水华成因已有探讨, 认为是由工业废水、生活污水、地表径流和船舶污水油污等点源和面源污染负荷增加, 水流减缓等原因造成。但大量农田的湮没也是水华形成的不可忽视的重要因素, 部分库湾网箱养鱼也加速了水体富营养化, 春季适宜的温度是水华形成的引导因素。此外, 风向改变着水华藻类的分布状态, 船舶等在水华藻类的迁移过程中也起了一定作用, 而温度变化及降雨同样影响水华藻的种类和水华持续时间。因此, 应采取有效措施, 减少营养盐的输入, 在适宜的时间, 通过调节大坝放水而增加水体流速, 尽量控制水华发生的诱因, 使蓄水后的三峡水质向良好环境发展^[15]。

4 藻类水华的连续监测与动力学

根据三峡水库蓄水后, 大部分库湾易在春季出现藻类水华这种态势, 2005 年 2 月 21 日—4 月 28 日, 在香溪河库湾进行每日连续监测, 以揭示水华暴发的过程和机制。

香溪河库湾春季水华期间水体可见光衰减系数时空变异很大, 其变化特征取决于叶绿素 a 和 DOC 浓度的时空变化^[17], 类似于深水湖泊; 可见光衰减系数与透明度间呈显著反比关系, 但这种反比关系因叶绿素 a 和无机悬浮颗粒的空间差异而有所不同。水华暴发过程中不同水深悬浮颗粒物 24h 动态分布特征的初步分析表明, 浅层水样 (0.5m、2m 和 5m) 粒度变化趋势比较接近, 粒度较小^[18]。

水华暴发期间, 硝酸盐和磷酸盐在香溪河库湾中存在明显的时空分布规律: 空间上, 河口的硝酸盐浓度高, 库尾浓度低, 其变化随与河口距离的增加而降低; 磷酸盐则在库尾浓度高, 河口浓度低, 其变化趋势与硝酸盐恰好相反。时间上: 河口硝酸盐浓度在不同时间的变化幅度较小, 库尾采样点的变化幅度较大, 随与河口距离的增加变化幅度逐渐增大; 而磷酸盐则是库湾中部样点的变化幅度较大, 两端 (河口和库尾) 的变化幅度较小^[19]。

对香溪河库湾叶绿素 a 动态及其与 TN、TP 等环境因子关系研究表明, 从库湾下游到上游, 叶绿素 a 存在明显的水平分布。叶绿素 a 浓度与 TN、TP 之间存在着一定的负相关关系, TN 与叶绿素 a 的相关性较显著。香溪河库湾极可能是 N 限制型水

体。叶绿素 a 与透明度存在反双曲线关系, 与溶解氧呈显著正相关^[20]。

香溪河库湾叶绿素 a 浓度、初级生产力在各水层的变化具有相同的周期性, 均存在 5 个峰值, 平均每个周期为 7—10d 左右, 但两者不同步。官庄坪观测站的真光层深度为 10m 左右, 介于湖泊与海洋之间, 光补偿点为 4—5m。初级生产力最大值出现在水下 0.5m 处, 并沿物理深度逐渐降低; 叶绿素 a 最大值出现在水下 2m 处。水温的垂直变化在后期差异明显, 各水层日平均水温增量与平均毛初级生产、净初级生产存在极显著的相关性^[21]。监测表明, 随时间推移, 香溪河库湾叶绿素 a 有逐渐升高趋势; 其间共暴发了两次水华: 第一次历时较短, 第二次历时较长。DOC 的变化趋势与叶绿素 a 基本一致。根据天然水体中 DOC 来源的主要途径, 推测在第一次暴发过程中 DOC 主要来自水体中藻类光合作用的代谢产物, 而第二次暴发过程中 DOC 主要是水体中藻类死亡腐烂而产生的有机物质^[22]。

5 对三峡水库生态研究的几点思考

三峡工程规模宏伟, 举世瞩目, 是目前世界上最大的水利工程; 三峡库区的生态环境问题也因此倍受国内外的广泛关注。近年来, 随着工程建设及库区移民、安置政策的实施和库区社会、经济发展的加速, 三峡库区社会、经济、环境的可持续发展问题显得日趋重要, 确保三峡库区水环境质量和三峡水利枢纽工程的正常运行已经成为当前环境工作的指导思想。

三峡水库蓄水后, 水域环境发生巨大变化, 水生生物群落也随之发生了很大改变。由于生态系统的复杂性以及水文情势的不可预见性, 蓄水两年来, 三峡水库生态系统尚处在系统重建的初期, 远未达到稳定或平衡状态, 两年多的监测数据也缺乏可比性, 尚不足以说清水生生物群落的演替规律, 仍需持续监测一段较长时间。

三峡库区生态环境问题的严重性早已引起有关部门的重视, 一系列的生态监测及工程正在进行中, 但由于这些项目的研究分别隶属于不同部门, 其研究的出发点各异, 对三峡库区生态建设而言显得较为分散, 缺乏较高的系统层面上的整合。

此外, 就研究对象而言, 目前大多数的生态学研究都是单纯针对水域生态系统或陆地生态系统的。其实, 水生态系统有其脆弱性, 易受岸上周边地区的影响; 与此同时, 水始终是陆地生态系统一个十分重

要的生态因子, 对陆地生态系统的研究从来就不能离开有关水的研究而进行, 将水生态系统与陆地生态系统整合起来研究显得十分必要。流域作为包含水陆生态系统并有明确地理学边界的自然区域, 是研究诸多环境问题的合适尺度^[23-24]。

为此, 建议在典型库湾(如香溪河、大宁河、小江等)进行生态系统长期监测的基础上, 以流域生态学思想为指导, 进一步研究三峡库区蓄水前后水生生物群落演替和水库生态系统结构、功能的变化及其发展趋势, 开展入库支流流域土地利用格局/人类活动变化等与水质和水生生物群落关系的研究, 探讨预测和预防三峡水库水质恶化及水库可持续管理的生态学对策^[25-27], 为整个三峡库区的生态管理提供理论基础和研究范例。

参考文献:

- [1] Cao M, Cai Q H, Liu R Q, *et al.* Comparative research on physico-chemical factors of Three Gorges Reservoir before and after impoundment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 12—19[曹明, 蔡庆华, 刘瑞秋, 等. 三峡水库初期蓄水前后理化因子的比较研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 12—19]
- [2] Cao M, Cai Q H, Liu R Q, *et al.* Comparative study on physico-chemical characters between Xiangxi Bay and the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 20—25[曹明, 蔡庆华, 刘瑞秋, 等. 三峡水库及香溪河库湾理化特征的比较研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 20—25]
- [3] Fang T, Fu C Y, Ao H Y, *et al.* The comparison of phosphorus and nitrogen pollution status of the Xianxi River before and after the impoundment of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 26—30[方涛, 付长营, 敖鸿毅, 等. 三峡水库蓄水前后香溪河氮磷污染状况研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 26—30]
- [4] Fu C Y, Tao M, Fang T, *et al.* Characters of phosphorus sorption in sediment of Three Gorges Reservoir Xiangxi Bay [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 31—36[付长营, 陶敏, 方涛, 等. 三峡水库香溪河库湾沉积物对磷的吸附特征研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 31—36]
- [5] 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]
- [6] 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]
- [7] Xue J Z, Ye L, Cai Q H, *et al.* Variation of cladocerans from Maoping to Guizhou in the Three Gorges Reservoir before and after impoundment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 113—115[薛俊增, 叶麟, 蔡庆华, 等. 三峡水库(坝前段)蓄水前后周年枝角类的变化. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 113—115]
- [8] Xue J Z, Ye L, Cai Q H, *et al.* Variation of copepod from Maoping to Guizhou in the Three Gorges Reservoir before and after impoundment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 58—63[薛俊增, 叶麟, 蔡庆华. 三峡水库坝前段蓄水前后桡足类种类组成的变化. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 58—63]
- [9] Zhou G J, Kuang Q J, Hu Z Y, *et al.* Study on the succession of algae and the trend of water-blooms occurred in Xiangxi River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 42—46[周广杰, 况琪军, 胡征宇, 等. 香溪河浮游藻类种类演替及水华发生趋势分析. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 42—46]
- [10] Zhou S C, Huang X F, Tang T, *et al.* Primary studies on plankton rotifers and water quality assessment in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 52—57[周淑婵, 黄祥飞, 唐涛, 等. 三峡水库香溪河库湾轮虫现状及水质评价初探. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 52—57]
- [11] Xue J Z, Han X Q, Cai Q H, *et al.* Composition and vertical distribution of cladoceran in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 120—122[薛俊增, 韩新芹, 蔡庆华, 等. 三峡水库香溪河库湾枝角类的种类组成与垂直分布. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 120—122]
- [12] Shao M L, Xie Z G, Ye L, *et al.* Monthly change of community structure of zoobenthos in Xiangxi Bay after impoundment of Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 64—69[邵美玲, 谢志才, 叶麟, 等. 三峡水库蓄水周年来香溪河库湾底栖动物群落结构的变化规律. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 64—69]
- [13] Shao X Y, Li D F, Cai Q H, *et al.* The composition of the fish community in Xiangxi River and resources evaluation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 70—74[邵晓阳, 黎道丰, 蔡庆华. 香溪河鱼类群落组成及资源评价. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 70—74]
- [14] Cai Q H, Hu Z Y, *et al.* Studies on eutrophication problem and control strategy in the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 7—11[蔡庆华, 胡征宇. 三峡水库富营养化问题与对策研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 7—11]
- [15] Zhou G J, Kuang Q J, Liu G X, *et al.* Investigation on algal water-bloom in the Three Gorges Reservoir and its toxicological study [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 37—41[周广杰, 况琪军, 刘国祥, 等. 三峡库区藻类水华调查及其毒理学研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 37—41]
- [16] Tang H B, Liu G X, Hu Z Y, *et al.* Preliminary research on the algal bloom of *Peridiniopsis* sp. in Gaolan River of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 47—51[汤宏波, 刘国祥, 胡征宇. 三峡库区高岚河甲藻水华的初步研究. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 47—51]
- [17] Xu Y Y, Ye L, Han X Q, *et al.* Characteristic and regression analysis of the PAR attenuation coefficient in Xiangxi Bay during spring bloom [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, **30**(1): 84—88[徐耀阳, 叶麟, 韩新芹, 等. 三峡水库香溪河库湾春季水华期间水体

- 光学特征及相关分析. 水生生物学报, 2006, 30(1): 84—88]
- [18] Han S, Wang H, Cai Q H, *et al.* Size distribution of suspended particulate matter in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir during an algal bloom in spring [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 123—125[韩霜, 王欢, 蔡庆华, 等. 三峡水库香溪河库湾春季水华期间悬浮颗粒物粒度动态的初步研究. 水生生物学报, 2006, 30(1): 123—125]
- [19] Ye L, Xu Y Y, Cai Q H. The spatial and temporal distribution of nitrate and phosphate in the Xiangxi Bay, Three Gorges Reservoir region during spring bloom period [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 75—79[叶麟, 徐耀阳, 蔡庆华. 三峡水库香溪河库湾春季水华期间硝酸盐、磷酸盐的时空分布. 水生生物学报, 2006, 30(1): 75—79]
- [20] Han X Q, Ye L, Xu Y Y, *et al.* Analysis of the spatial and temporal changes of chlorophyll *a* concentration in Xiangxi Bay in Spring and its impact factors [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 89—94[韩新芹, 叶麟, 徐耀阳, 等. 香溪河库湾春季叶绿素 *a* 浓度动态变化及其影响因子分析. 水生生物学报, 2006, 30(1): 89—94]
- [21] Shao X Y, Xu Y Y, Han X Q, *et al.* The distribution of chlorophyll *a* content and primary productivity in Guanzhuangping Bay of Xiangxi River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 95—100[邵晓阳, 徐耀阳, 韩新芹, 等. 香溪河官庄坪库湾叶绿素 *a* 及初级生产力的分布特征. 水生生物学报, 2006, 30(1): 95—100]
- [22] Ye L, Han X Q, Cai Q H. Kinetic study of the dissolved organic carbon in the Xiangxi Bay, Three Gorges Reservoir region during the spring bloom period [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 80—83[叶麟, 韩新芹, 蔡庆华. 三峡水库香溪河库湾春季水华期间可溶性碳动力学研究. 水生生物学报, 2006, 30(1): 80—83]
- [23] Cai Q H, Chen Y Y, King L. Why watershed ecology? -a new approach for research and protection of aquatic ecosystems. In: King L, Metzler M and Jiang T (eds.): *Flood Risks and Land Use Conflicts in the Yangtze Catchment, China and at the Rhein River, Germany-Strategies for a Sustainable Flood Management*. Frankfurt; Peter Lang, 2001, 21—42
- [24] Cai Q H, Wu G, Liu J K. Watershed ecology [J]. *Sci. Tech. Review*, 1997, (5): 24—26[蔡庆华, 吴刚, 刘建康. 流域生态学: 水生态系统多样性研究和保护的一个新途径. 科技导报, 1997, (5): 24—26]
- [25] Tang T, Qu X D, Cai Q H, *et al.* River ecosystem management-a case study of Xiangxi River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(6): 594—598[唐涛, 渠晓东, 蔡庆华, 等. 河流生态系统管理研究. 以香溪河为例. 长江流域资源与环境, 2004, 13(6): 594—598]
- [26] Cai Q H, Tang T, Liu J K. Several research hotspots in river ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1573—1577 [蔡庆华, 唐涛, 刘建康. 河流生态学研究中的几个热点问题. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1573—1577]
- [27] Ge J W, Cai Q H, Liu J K. A new method for economic value evaluation of aquatic biodiversity; Wildlife Judicial Price Method [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 126—128[葛继稳, 蔡庆华, 刘建康. 水域生态系统中生物多样性经济价值评估的一个新方法—司法价格法. 水生生物学报, 2006, 30(1): 126—128]

PRELIMINARY REPORT ON AQUATIC ECOSYSTEM DYNAMICS OF THE THREE GORGES RESERVOIR BEFORE AND AFTER IMPOUNDMENT

HU Zheng-Yu and CAI Qing-Hua

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

Abstract: Papers in this special issue represent a part of research results from a Key Project of Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences. The project focuses on dynamics of aquatic ecosystem and environmental changes of the Three Gorges Reservoir (and its main tributaries) before and after water storage. Based on the 3-year monitoring and studying, this paper gives a summary of the researches, including 5 parts: 1) physicochemical changes of the waters before and after impoundment; 2) aquatic community changes before and after impoundment; 3) eutrophication problem in the Three Gorges Reservoir; 4) continuously monitor and kinetics of a spring algal blooming; 5) some consideration and suggestion for further ecological studies on the Three Gorges Reservoir.

Key words: Three Gorges Reservoir; Aquatic ecosystem; Community succession; Eutrophication; Algal bloom