

三峡水库童庄河浮游植物及其与水质的关系*

雷欢, 梁银铨**, 朱爱民, 汪红军, 谢文星, 俞伏虎, 胡小健
(水利部、中国科学院水工程生态研究所, 武汉 430079)

摘要: 通过对三峡水库支流童庄河库区的浮游植物进行调查, 共检出浮游植物 132 种, 其中蓝藻门 23 种, 隐藻门 2 种, 甲藻门 3 种, 硅藻门 55 种, 裸藻门 3 种, 绿藻门 46 种. 其中硅藻门的种类居首位, 甲藻和隐藻则在数量上占优势. 主要优势种为飞燕角甲藻 (*Ceratium hirundinella*) 和隐藻一种 (*Cryptomonas* sp.). 浮游植物的种类和数量随季节和水域不同而呈现差异. 应用水质理化指标、污染指示种和污染指示群落评价童庄河水质, 显示其水质为 V 类, 为 β -中污型水体.

关键词: 三峡水库; 童庄河; 浮游植物; 水质

Phytoplankton and water quality in the Tongzhuang River of Three Gorges Reservoir

LEI Huan, LIANG Yinqun, ZHU Aimin, WANG Hongjun, XIE Wenxing, YU Fuhu & HU Xiaojian
(*Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P. R. China*)

Abstract: The paper introduced that there were 132 species of phytoplankton were identified during the survey period in Tongzhuang River district, Three Gorges Reservoir, including 23 species of Cyanophyta, 2 species of Cryptophyta, 3 species of Pyrrophyta, 55 species of Bacillariophyta, 3 species of Euglenophyta and 46 species of Chlorophyta. Bacillariophyta has the most diversified species, while Pyrrophyta and Cryptophyta were the abundant ones. The dominant species were *Ceratium hirundinella* and *Cryptomonas* sp. The species and abundance of phytoplankton varied with seasons and survey areas. Water quality assessment was calculated by using the chemical and physical index, saprobic indicator and saprobic community indicator, overall evaluation result of water quality was V, and the β -type of moderately polluted type.

Keywords: Three Gorges Reservoir; Tongzhuang River; phytoplankton; water quality

水体浮游植物是水生生物资源的重要组成部分, 其个体、种群、群落等特性对水环境的变化极为敏感. 通过监测浮游植物评价水质污染和营养水平在国内外已被广泛采用^[1-4], 如根据定性、定量数据的观察结果, 对该水系浮游藻类的现状作初步分析评价; 对采得水样中浮游植物的种类和数量进行定性、定量分析, 并在此基础上对其水环境质量状态进行评价^[5-9], 为今后水系流域的环境综合治理提供基础资料.

三峡大坝的阻隔及水库径流调节的驱动, 对关联区域的生态与环境产生了巨大影响. 蓄水后, 入库支流和库湾水域的水体理化性质发生了很大变化, 形成了一些新的、非常不稳定的生境, 造成水体营养负荷过重, 水体流速减缓, 水华暴发的风险增高. 在营养、光照和温度等因素适宜时, 水库的水动力学过程是藻类水华发生的决定性因素. 三峡水库水流减缓主要发生在支流库湾, 因此库湾是容易发生水华的区域, 近几年已有三峡水库入库支流库湾发生水华的相关报道^[10-13]. 童庄河为三峡库区的一级支流, 位于长江西陵峡南岸秭归县, 2006 年 10 月已蓄水至 156m, 此次蓄水后对该支流浮游植物的研究还较少. 为了解蓄水后支流浮游植物群落结构及其动态变化与水质之间的关系, 本文于 2007 年通过对三峡水库童庄河支流浮游植物进行调查, 采用指示生物、藻类综合指数, 对该水体的营养状况及污染程度进行了初步评价以期为了保护生态环境、治理环境污染提供基本依据.

* 国家科技支撑项目(2006BAD03B00)资助. 2009-04-02 收稿; 2009-09-04 收修改稿. 雷欢, 女, 1981 年生, 助理研究员; E-mail: leihappy@mail.ihe.ac.cn.

** 通讯作者; E-mail: liangyq@mail.ihe.ac.cn.

1 材料与方法

1.1 研究范围及采样点

本文研究范围为童庄河河口段(自童庄河河口至邓家坡数千米河段). 从上游邓家坡至下游河口共设三个采样断面(邓家坡、杨家垅、吴家湾), 每个断面设左中右3个采样点(河流中间、距左右岸约30m各一个), 共9个常规采样点. 其中吴家湾断面位于童庄河河口处; 杨家垅断面的河流北岸处有一小支流, 此断面与吴家湾断面距离1.5km; 邓家坡上游水位为145m, 此断面与杨家垅断面距离2.7km.

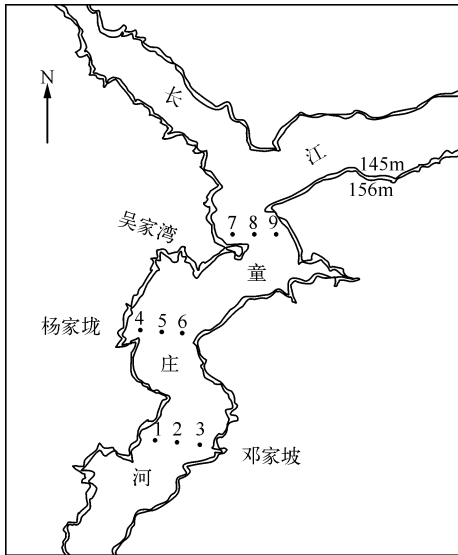


图1 调查水域采样站位设置

Fig. 1 The sampling sites in survey area

1.2 采样时间与分析方法

本次实验于2007年3月(出现拟多甲藻水华)、6月、9月、12月各采样一次. 按《淡水浮游生物研究方法》^[14]采集生物检测样、定性、定量和分析; 按《水和废水监测分析方法》^[15]进行理化检测样的采集、现场监测和实验室分析. 浮游植物样采集: 用25#浮游植物采集网采集定性样在显微镜下鉴定, 将浮游植物鉴定到种或属; 定量样品用采水器分层(0m、1m、2m、3m、4m和5m)等量采集2000ml, 混合均匀后取1000ml, 现场加鲁哥氏液固定. 将已固定的水样按常规方法沉淀、去除上清液、定容至30ml. 取0.1ml于计数框内在显微镜下计数各种类的细胞密度, 用细胞体积法推算生物量^[14].

2 结果

2.1 童庄河调查样点的理化性质

童庄河各调查断面的水体水质因子调查结果(表1)表明, 邓家坡总氮(TN)浓度一直保持在较高水平, 3月最高, 为2.66mg/L, 9月和12月则有降低; 杨家垅TN浓度相对较低, 6月浓度最高(1.86mg/L), 9月浓度最低(0.99mg/L); 吴家湾TN浓度6月最高(2.21mg/L), 9月浓度最低. 这表明3月和6月水体营养盐浓度较高. 水体总磷(TP)浓度范围为0.04-0.17mg/L, 邓家坡TP浓度相对较高. 3月不同位点的浓度都高, 9月浓度最低. 化学需氧量(COD)往往作为衡量水中有机物质含量多少的指标. 化学需氧量越大, 说明水体受有机物的污染越严重. 监测结果显示水体COD浓度范围为2-21mg/L, 变化范围较广, 3月份各站点的浓度都较高, 表明污染较重.

依据地表水水环境质量标准 GB3838-2002, 童庄河水体水质为V类.

表1 童庄河水水质理化指标监测情况

Tab. 1 The chemical and physical index in survey area of Tongzhuang River

项目	3月			6月			9月			12月		
	邓家坡	杨家垅	吴家湾	邓家坡	杨家垅	吴家湾	邓家坡	杨家垅	吴家湾	邓家坡	杨家垅	吴家湾
水温(°C)	12.60	12.45	12.50	27.89	26.36	26.39	23.80	24.05	24.45	15.22	15.65	15.75
TN(mg/L)	2.66	1.34	1.89	2.24	1.86	2.21	1.60	0.99	1.14	1.57	1.50	1.56
TP(mg/L)	0.17	0.08	0.13	0.10	0.10	0.10	0.05	0.04	0.04	0.10	0.08	0.08
COD(mg/L)	21	14	10	2	3	3.5	9	11	7	5	5	10.5
DO(mg/L)	9.39	9.29	9.36	7.89	10.83	11.58	8.86	9.50	9.87	9.19	9.87	9.81
TDS(mg/L)	282	414.5	581.5	432	467.5	461.5	308	314	255	197	175	192

2.2 浮游植物的种类组成

各采样点共检出浮游植物132种, 其中蓝藻门23种, 隐藻门2种, 甲藻门3种, 硅藻门55种, 裸藻门3

种,绿藻门46种.可见浮游植物以硅藻(占41.67%)、绿藻(占34.85%)种类为主,其次为蓝藻(占17.42%)、隐藻(占1.52%)、甲藻(占2.27%)和裸藻(占2.27%).

常见的检出种类有不定腔球藻(*Ceolosphaerium dubium*)、隐藻一种(*Cryptomonas* sp.)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、集星藻(*Actinastrum hantzschii*)等,这些种类常年均可以看到.此外,美丽隐球藻(*Aphanocapsa pulchra*)、飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)、变异直链藻(*Melosira varians*)、螺旋颗粒直链藻(*M. granulata* var. *angustissima*)、偏凸针杆藻小头变种(*S. vaucheriae* var. *capitellata*)、镰形纤维奇异变种(*A. falcatus* var. *mirabilis*)、二角盘星藻纤细变种(*P. duplex* var. *gracillimum*)等,全年中有少数时期(1-3个月)检测不到.

从上述不同时期的藻类组成情况分析,无论是哪个季节,均以硅藻门的种类为主体,再次为绿藻和蓝藻.而从各站位浮游植物数量分析,甲藻和隐藻为优势种,且具有一定的季节演替变化.3月拟多甲藻(*Peridiniopsis* sp.)为绝对优势种类,夏季拟多甲藻仍为优势种类,但优势度大幅下降,针杆藻(*Synedra*)和隐藻(*Cryptomonas* sp.)处于亚优势地位,其优势度比拟多甲藻低.秋季隐藻优势度在上升,冬季隐藻成为优势种类,硅藻中的小环藻(*Cyclotella*)、针杆藻、直链藻(*Melosira*)处于亚优势地位.

2.3 浮游植物的现存量及季节变动

浮游植物细胞密度是水生态系统功能和水质评价的重要参数之一,其季节变化与水温的季节变化、营养盐和光照密切相关.

调查各站位浮游植物密度平均值为 786.43×10^4 cells/L. 定量样品中包含6个门类,各类群中以甲藻的数量最多,平均值达 474.47×10^4 cells/L, 占总密度的60.331%;其次是隐藻,为 279.01×10^4 cells/L(占35.478%),绿藻为 13.65×10^4 cells/L(占1.736%);再其次是硅藻为 11.02×10^4 cells/L(占1.401%);蓝藻为 8.17×10^4 cells/L(占1.039%);裸藻最少,为 0.11×10^4 cells/L(占0.014%).

浮游植物生物量平均值为32.332mg/L. 各类群生物量的变化与密度变化趋势相同.甲藻的生物量最大,为30.252mg/L,占总生物量的93.565%;其它依次为隐藻1.925mg/L(占5.953%);硅藻0.091mg/L(占0.281%);绿藻0.032mg/L(占0.100%);蓝藻0.025mg/L(占0.077%);裸藻0.008mg/L(占0.024%).

从种类随季节变化上,发现甲藻、隐藻和裸藻的种类随季节变化不大;蓝藻、绿藻在3月时种类均最少,6月和12月时种类最多;硅藻在9月时种类均最少,12月时种类最多.但从浮游植物现存量季节变化表明(图2),3月甲藻的数量和生物量最高,平均值达 460.78×10^4 cells/L 和29.291mg/L, 占总密度的96.288%和总生物量的99.639%;6月优势浮游植物也为甲藻门,其数量和生物量均最高,但比3月明显降低,平均值达 7.13×10^4 cells/L 和0.623mg/L, 占总密度的35.994%和总生物量的84.563%;9月隐藻的数量和生物量最高,平均值达 256.20×10^4 cells/L 和1.776mg/L, 占总密度的90.763%和总生物量的81.833%;12月隐藻的数量和生物量仍最高,但低于9月,平均值达 2.09×10^4 cells/L 和0.017mg/L, 占总密度的49.493%和总生物量的61.839%.

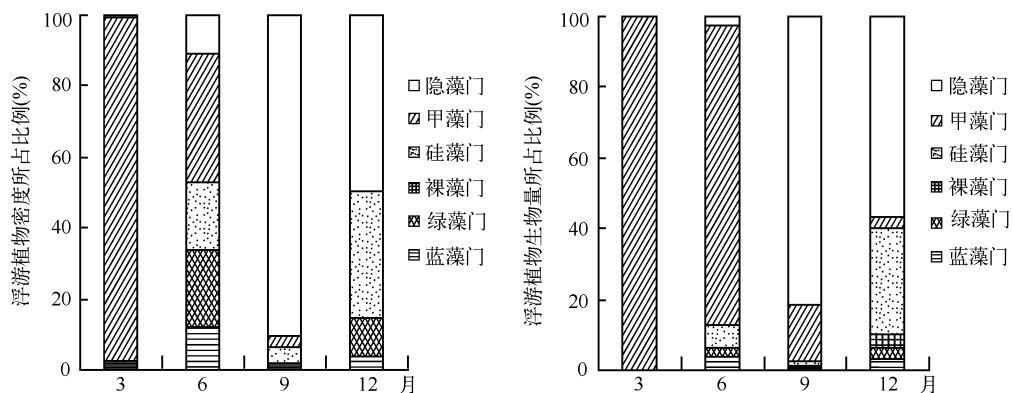


图2 浮游植物现存量季节变化

Fig. 2 Seasonal change of standing crop of phytoplankton

3 分析与讨论

3.1 水环境质量

富营养化发生所需的必要条件基本上是一样的,最主要影响因素有3个方面:总磷、总氮等营养盐相对比较充足;缓慢的水流流态(流速、水深等);适宜的气象条件(水温、光照等)。只有在3方面条件都比较适宜的情况下,才会出现某种优势藻类“疯”长现象,暴发富营养化。对三峡库区次级河流而言,水体营养盐含量均能满足发生富营养化的条件,一般在2月,三峡库区水温达到10℃左右,达到藻类适宜生长的温度范围内。以乌江为例,多次发生水体藻类暴发性生长的时期为2月,表明水温较低月份,也能导致富营养化的发生^[16],2月为乌江流速、流量最小且水深最浅的月份,因此水流流态可能是三峡库区水体发生富营养化的主要限制条件。

TN、TP含量差异随季节变化有相应改变,TN含量范围为0.99-2.66mg/L,最大值超过地表水V类水质标准;TP含量范围为0.04-0.17mg/L,最大值接近地表水V类水质标准(0.2mg/L)(表1)。国际上一般认为,TN浓度为0.2mg/L,TP浓度为0.02mg/L,是湖泊水库富营养化的发生浓度。按此标准三峡水库童庄河流域在不同季节均具备了产生富营养化的营养盐浓度条件,这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”的暴发。合田健^[17]提出:湖水TN/TP为12:1-13:1时,最适宜藻类生长,当该比值小于4时,N是水体富营养化的限制性因素。对调查断面的TN/TP进行计算,其比值均大于4,表明此流域中N元素不是发生富营养化的限制因子,P元素可能成为此流域藻类生长的限制因子。从调查断面营养盐的分布来看,水体TP浓度春季较高,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。

此外,童庄河中安放几个养鱼网箱,所投放饵料仅部分为养殖鱼类利用,其余均以不同形式进入水体,再加上鱼类的排泄,致使养殖水域富营养化。但是网箱密度小,对水体的影响还不是主导因素,只是加速了水体的富营养化程度。

3.2 浮游植物数量和种类间的差异

枯水期和丰水期的水文条件和物化环境具有很大的差异,径流速率及径流量的改变均对浮游植物群落结构产生很大的影响。丰水期,虽然水温较高,但流速快,加上此时河水变浑,均对浮游植物生长不利。相反,平水期河水流速减缓,利于浮游植物生长,因而尽管水温较低,浮游植物种类、数量和生物量均较多。童庄河12月至翌年3月为蓄水期,水位为156m,降雨量少,径流量减少,流速较慢,营养物容易堆积,适合浮游植物生长,特别到3月份,温度升高,有利于藻类繁殖,TP浓度在春季较高,在高营养盐以及相对稳定的环境条件下更有利于浮游植物的生长和繁殖,3月份水华现象的发生是很好的说明;3月份开始排水,水位下降,6月份水位降为145m,此期间降雨量大,流量较大,流速较快,水流的冲刷和稀释作用使浮游植物细胞数量较低;9月份开始蓄水,水位为145-156m,水流变缓,营养物堆积,对浮游植物生长有利,也有暴发水华的可能。

调查结果表明,硅藻和蓝藻以杨家垅处较为丰富,绿藻以吴家湾处种类较多,此外甲藻在各断面出现的种类虽少,但密度较大,其中邓家坡断面的甲藻数量相对较多,这也与各断面的地理特征和水体受污染情况相吻合。童庄河沿岸为居民区,主要污染物为生活垃圾,邓家坡断面上游水位为145m,此处水流较缓,营养物容易堆积,营养化程度较高;杨家垅断面的河流北岸处有一小支流,此处水流较快,营养物交换频繁;距吴家湾断面不远处有网箱养鱼区,营养化程度较高,但由于此断面靠近童庄河河口处,水流较快,营养化程度得以适当减缓。

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。胡建林等^[18]对三峡库区重庆段主要支流的调查研究发现,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。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,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。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,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。此外,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、龙滩河、彭溪河、磨刀溪、长滩河.童庄河是长江一级支流,属于长江中下游江段的支流,本次调查点位于童庄河流域下游,在调查期间,也有甲藻水华发生,这与胡建林等调查的三峡库区重庆段一些支流情况相似^[18],如:东溪河、黄金河等.

周广杰等 2004 - 2005 年调查研究表明^[12],童庄河春季甲藻较多,其细胞密度和生物量分别达到 227.91×10^4 cells/L, 18.233mg/L;童庄河秋季硅藻的量较少,春季的量较高,其细胞密度和生物量分别达 281.27×10^4 cells/L 和 0.326mg/L;隐藻既没有像甲藻一样成为“水华”优势种,而保持了较大的生物量,春季的隐藻量要高于秋季的量.与此比较,童庄河春季(3月)甲藻仍较多,但其细胞密度和生物量有所增加,分别为 460.78×10^4 cells/L 和 29.291mg/L;隐藻仍保持了较大的生物量,为亚优势种,但秋季(9月)隐藻较多,数量和生物量各为 256.20×10^4 cells/L 和 1.776mg/L;比较得出,童庄河有污染加重的趋势.

参考况琪军等^[19]利用浮游植物细胞数量评价水质:细胞密度在 $1 \times 10^6 - 9 \times 10^6$ cells/L 时水质为 α - β -中污型, $10 \times 10^6 - 40 \times 10^6$ cells/L 时水质为 β -中污型, $41 \times 10^6 - 80 \times 10^6$ cells/L 时水质为 α - β -中污型, $81 \times 10^6 - 99 \times 10^6$ cells/L 时水质为 α -中污型, $\geq 100 \times 10^6$ cells/L 时水质为 ps 型.童庄河水质评价为 β -中污型.

3.3 浮游植物优势种类

浮游植物是水生生态系统的初级生产者,它对水体营养状态的变化能迅速做出响应.藻类不同的优势种反映不同的营养状况.从上述分析中可以看出童庄河浮游植物是以甲藻-隐藻型为主,绿藻、硅藻次之,间有蓝藻-裸藻型群落.

从不同藻类优势度的变化来看,拟多甲藻和隐藻的优势度随季节变化表现出消涨关系.拟多甲藻优势度最高的春季,隐藻的优势度则最低,夏季拟多甲藻优势度大幅下降,隐藻的优势度明显上升,秋季隐藻的优势度全年最高,此时没有检出拟多甲藻,冬季隐藻的优势度开始下降,此时拟多甲藻出现,显示出很低的优势度,表明隐藻可能只与拟多甲藻存在一定的消涨关系.隐藻四季出现,只在秋季和冬季成为优势种类,同时卵形隐藻(*C. ovata*)也在秋季和冬季出现,表明秋季和冬季可能更适合隐藻生长.童庄河出现拟多甲藻水华的春季,正是隐藻大量出现的秋冬季之后.王武^[20]也发现在隐藻(*Cryptomonas*)大量繁殖后,蓝绿色裸甲藻(*Gymnodinium* sp.)水华逐渐形成,认为隐藻是蓝绿色裸甲藻水华的前兆.但是,该种隐藻四季出现,只在秋季和冬季成为优势种类.浮桥河水库冬季也出现了大量隐藻(密度占 65.6%)^[21],但该水库在随后的季节并没有出现甲藻水华.因此,在童庄河易发拟多甲藻水华河段,该种隐藻形成优势的条件及其与拟多甲藻发生水华的关系值得深入研究.

3.4 污染指示种

污染指示种是指在不同污染程度下存在一些特定的种类.根据国内外学者资料^[22-23]并结合实际,利用浮游植物污染指示种对水质进行评价.调查发现有些指示生物存在,其中甲藻门的飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*),硅藻门的钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)、变异直链藻(*Melosira varians*)和尖针杆藻(*Synedra acus*),绿藻门的双射盘星藻(*P. biradiatum*)常年可见,但从现存量上可以看出飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)为主要污染指示生物,据此分析,童庄河介于寡污带和弱-中污带之间.

另外也有其它不少指示生物检测出,但由于其检出时间段较短,以及现存量不大,故为次要污染指示生物,对水质影响较小.如小颤藻(*O. tenuis*)、扎卡四棘藻(*Attheya zachariasii*)、扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)、美丽星杆藻(*Asterionella formosa*)、团藻(*Volvox* sp.)等等.

上述评价说明童庄河目前污染较轻,各断面的污染指示种数较少,但有加重趋势.

4 结论

三峡水库建成后,对次级河流而言,由于水位的抬高,次级河流河口区面积和长度有不同程度的增加,水流流速迅速减小^[24-25],如乌江从武隆至入库汇流口全长约 68km,小江开县段枯水期平均流速由建库前的 0.65m/s 降低为 0.006m/s.这些变化对浮游植物群落结构及其演替有很大的影响,水力滞留时间的长短决定了浮游植物生物量和生产力、种类组成、多样性及其时间和空间分布.浮游植物作为水体物质代谢和能量循环的初级生产者,在维持水生态系统的平衡中起着十分重要的作用,藻类的种群结构和污染指示种是水库营养型评价的重要参数.

(1) 浮游植物种类. 童庄河库区的浮游植物情况调查结果, 共检出浮游植物 132 种, 其中蓝藻门 23 种, 隐藻门 2 种, 甲藻门 3 种, 硅藻门 55 种, 裸藻门 3 种, 绿藻门 46 种. 其中硅藻门的种类居首位, 甲藻和隐藻则在数量上占优势. 浮游植物的种类和数量随季节和水域不同而呈现差异. 水体中浮游植物在周年内能形成相对稳定的群落, 且优势种类较明显, 优势种的类型决定了群落特征, 因此结合种类数目, 童庄河为甲藻-隐藻型为主, 绿藻、硅藻次之, 间有蓝藻-裸藻型群落.

(2) 应用污染指示种、污染指示群落和细胞密度来评价童庄河水质状况. 评价结果与监测的水质理化评价结果有些出入. 主要原因有化学方法虽然可以得到比较系统准确的数据, 但是这些数据往往只能代表采样瞬间的水质情况, 有些不是连续排放的污染物就不易检出. 生物学方法虽然不能精确地监测出污染物的性质和含量, 但是浮游植物是水生生态系统的初级生产者, 它对水体营养状态的变化能迅速做出响应, 对水体中污染物的侵入能作出快速反应. 一方面说明各项生物学评价指标应当结合使用才能得出正确的结论, 另一方面也表明利用浮游植物生态学特征来反映水质是完全可行的, 与水化学监测并举, 对进一步提高水环境的监测水平有着重要意义.

水质调查结果显示童庄河水质为 V 类, 浮游植物评价水质为 β -中污型, 污染现象有加重趋势, 应引起有关部门重视并采取措, 以免水质恶化. 此外, 研究水库形成后水质因子的变化以及浮游植物的响应, 为建坝对生态环境的影响以及合理利用建坝形成的库区大水面发展水产养殖, 提供了科学依据.

5 参考文献

- [1] 赵怡冰, 许武德, 郭宇欣. 生物的指示作用与水环境. 水资源保护, 2002, (2): 11-16.
- [2] 刘宇, 沈建忠. 藻类生物学评价在水质监测中的应用. 水利渔业, 2007, (4): 5-7.
- [3] Kamenir YZ, Dubinsky TZ. Phytoplankton size structure stability in mesoeutrophic subtropical lake. *Hydrobiologia*, 2004, **520**: 89-104.
- [4] 蔡庆华. 湖泊富营养化评价方法. 湖泊科学, 1997, **9**(1): 89-94.
- [5] 王新华, 纪炳纯, 李明德等. 引滦工程上游浮游植物及其水质评价. 环境科学研究, 2004, **17**(4): 18-24.
- [6] 朱圣潮, 何爱兰. 浙江瓯江开潭水库库区浮游植物与水质的关系. 湖泊科学, 2003, **15**(4): 353-358.
- [7] 欧阳昊, 韩博平. 从东江湖水后契谷石水库的水质和浮游植物群落结构特征. 湖泊科学, 2007, **19**(2): 204-211.
- [8] 房英春, 田春, 肖友红. 苏子河浮游藻类多样性与水质的生物评价. 水利渔业, 2007, **27**(1): 53-58.
- [9] 高远, 宇祥, 元树财. 沂河流域浮游植物与水质评价. 湖泊科学, 2008, **20**(4): 544-548.
- [10] 周广杰, 况琪军, 胡征宇. 大宁河春季浮游藻类“水华”及其营养限制. 长江流域资源与环境, 2007, **16**(5): 628-633.
- [11] 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.
- [12] 周广杰, 况琪军, 胡征宇等. 三峡库区四条支流藻类多样性评价及“水华”防治. 中国环境科学, 2006, **26**(3): 337-34.
- [13] 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): 38-41.
- [14] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1993.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] 张晨, 李崇明, 王毓丹等. 乌江水污染调查. 中国环境监测, 2003, **19**(1): 23-26.
- [17] 合田健编著. 水环境指标. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [18] 胡建林, 刘国祥, 蔡庆华等. 三峡库区重庆段主要支流春季浮游植物调查. 水生生物学报, 2006, **30**(1): 116-119.
- [19] 况琪军, 马沛明, 胡征宇等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展. 安全与环境学报, 2005, **5**(2): 87-91.
- [20] 王武. 高产成鱼池蓝绿色裸甲藻水华的研究. 水产学报, 1981, **5**(4): 351-360.
- [21] 吴晓辉, 刘家寿, 朱爱民等. 浮桥水库浮游植物的多样性及其演变. 长江流域资源与环境, 2003, **12**(3): 218-222.
- [22] 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.
- [23] 福迪 B(捷) 著. 藻类学. 罗迪安译. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [24] 黄真理, 李玉梁, 李锦秀等. 三峡水库水环境容量计算. 水利学报, 2004, (3): 7-14.
- [25] 李锦秀, 廖文根, 黄真理. 三峡工程对水流水质影响预测. 水利水电技术, 2002, **33**(10): 22-25.