青岛棘洪滩水库浮游藻类状况及水质评价

赵先富[1,3]　于　军[2]　葛建华[1,3]　刘国祥[1]　胡征宇[1]
(1. 中国科学院水生生物研究所,武汉　430072;2. 山东省棘洪滩水库管理处,青岛　510065;3. 中国科学院研究生院,北京　100039)

摘要:2003 年 5 月至 2004 年 5 月对棘洪滩水库藻类的群落结构进行了研究。共发现藻类 49 属 63 种。水库进水口、水库中心、出水口藻类的种类组成没有明显差异,群落季节变化明显,冬春季以硅藻、隐藻为主,其优势种分别为小环藻和尖尾蓝隐藻。金藻有短时大规模出现,主要是分歧锥囊藻。夏秋季以蓝藻、绿藻为主。藻类周年变动模式为单峰型,藻类细胞密度最低值出现在 1 月份出水口,为 0.05 $\times 10^6$ ind./L,主要是硅藻类的小环藻和隐藻,占总数的 92.8%;最高值出现在 10 月份进水口,为 196.7 $\times 10^6$ ind/L,主要是丝状蓝藻包括伪鱼腥藻、颤藻等占总数的 81.2%。藻类生物量在 0.34—7.77mg/L 内变动,最低值出现在 1 月份出水口,此时硅藻门的小环藻占 69.6%;最高值出现在 8 月份进水口,其中丝状蓝藻占 71.44%;年均值进水口为 1.82mg/L,出水口为 1.09mg/L。Shannon-Weaver 多样性指数变化范围为 0.93—3.30,最低值和最高值分别出现在 2004 年 1 月进水口和 2003 年 11 月水库中心。年均值进水口为 1.88,出水口为 2.15。水质总体状况较好,处于中营养,但有向富营养转变的趋势,应注意加强对水源及水库的管理和保护。

关键词: 棘洪滩水库;浮游植物;群落结构;多样性指数;水质评价
中图分类号:Q949.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-3207(2005)06-0639-06

棘洪滩水库是山东省引黄济青工程下游的调节水库,设计水位 14.2 m。围坝长 14.2 km,设计水面 14.14km^2,库容 1.568 亿 m^3。整个围坝呈八角形,是中国目前最大的平原型水库。从 2002 年开始,棘洪滩水库向青岛市区的供水为 9 $\times 10^7$m^3/a,占青岛市城市用水的 50%以上。浮游藻类是水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。因此被广泛用作水体营养状态的指示种。藻类的生态位较广,从寡营养到富营养条件下均能生长,且同属的不同种类,可以在不同营养条件下生长,成为不同营养水平的指示种,可以根据藻类群落组成特征来评定水体营养状态[1]。为了解水库浮游植物的现状并通过浮游植物认识水库水质的基本状况,为科学合理利用该水库提供技术参数,特进行本研究。在对水库浮游藻类群落组成进行长期监测的基础上,本文主要对 2003—2004 年结果进行分析,为科学管理水库提供参考。

1　材料与方法

1.1　样品采集　在 2003 年 5 月至 2004 年 5 月期间每月取样。取样点设在水库进水口和出水口离岸约 20m 处(图 1),另外 2003 年 11 月和 2004 年 5 月在水库中心各取一次样。每次将水面下 0.5m 和 4m 处各取 1L 水样混匀后取 1L 作为定量样品。定性样品直接用 25 号浮游生物网捞取。往年数据来自水库常规监测。

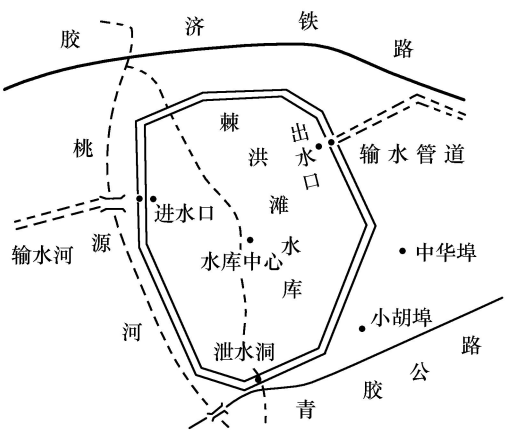


图 1　棘洪滩水库示意图及样点设置

Fig. 1　Sampling stations in the Jihongtan Reservoir

收稿日期:2004-10-26;**修订日期**:2005-06-27
基金项目:中国科学院知识创新方向性项目(KSCX2-SW-111);国家自然科学基金项目(30470140)资助
作者简介:赵先富(1979—),男,湖北荆州人,博士,主要从事淡水生理生态学研究
通讯作者:刘国祥(1970—),男,湖北仙桃人,副研究员,主要从事淡水藻类系统分类学研究,liugx@ihb.ac.cn

1.2 固定和浓缩 采集的水样立即用鲁哥氏液固定,1L 水样加 20mL 固定液。水样沉淀 48h 后浓缩至 30mL。

1.3 计数与生物量估算 计数使用浮游生物计数框。计数方法采用行格法,每一样品计数至少两次,每次结果与两次计数平均值之差不大于 ±15 %。

每个种类至少测量 30 个细胞的大小,取平均值依相应的几何体积公式计算体积[2,3]。再按 $10^9\mu m^3$ = 1mg 藻类鲜重换算成该种藻类的生物量(鲜重)。

1.4 生物多样性指数的计算 共计算三种生物多样性指数和 Pielou 均匀度指数,公式分别如下[4]: Margalef 多样性指数(d_{Mar}): $d = (S - 1)/\log_e N$; Simpson 指数(d_{Sim}): $d = 1 - \sum(n_i/N)^2$; Shannon-Weaver 指数(H'): $H' = -\sum(n_i/N)\log_2(n_i/N)$;式中 S —种类数,n_i —i 种的个体数,N —总个体数。Pielou 均匀度指数(E),$E = H'/\log_2 S$,式中 S 为群落中总的物种数。

2 结果与分析

2.1 浮游藻类种类组成

在 1 年的监测中,共发现藻类 49 属 63 种,分属七个门,其中绿藻门(Chlorophyta)24 属 31 种,硅藻门(Bacillariophyta)10 属 12 种,蓝藻门(Cyanophyta)10 属 14 种,甲藻门(Pyrrophyta)1 属 1 种,裸藻门(Eugenophyta)1 属种,隐藻门(Cryptophyta)2 属 3 种,金藻门(Chrysophyta)1 属 1 种。各门藻类种类数所占比例见图 2。

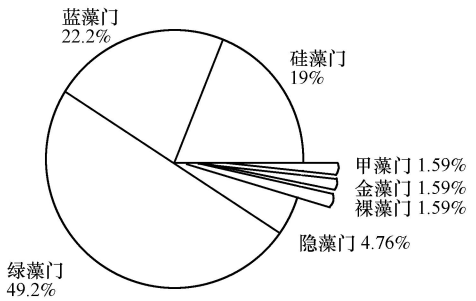


图 2 棘洪滩水库浮游藻类种类组成

Fig. 2 Phytoplankton species composition in Jihongtan Reservoir

对藻类数量分析,硅藻门中小环藻属(*Cyclotella*);蓝藻门中伪鱼腥藻属(*Pseudanabaena*)和颤藻属(*Oscillatoria*);金藻门中分歧锥囊藻(*Dinobryon divergens*);隐藻门中尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)占优势。绿藻门的种类数多,但生物量有限,不占优势。

栅藻(*Scenedesmus* spp.)、颗粒直链藻(*Melosira granulate*)、针杆藻(*Synedra* spp.)是典型的富营养水体指示藻类,小环藻、尖尾蓝隐藻为中营养化水体指示藻类。因此,从水库浮游植物构成看,夏秋季主要以富营养性藻类为主,冬春以中或寡营养性藻类为主。值得警惕的是,微囊藻在冬季也不完全消失,大小 2 —3mm 的藻团在湖边时有发现。结果表明水库目前水质状况大体较好,处于中营养阶段,但有一定的富营养化趋势。

2.2 藻类群落现存量及其变化

藻类总数最低值为 0.05×10^6 cells/L(1 月份出水口),主要是硅藻类 —小环藻和隐藻,占总数的 92.8 %;最高值为 196.7×10^6 cells/L(10 月份进水口),主要是丝状蓝藻包括伪鱼腥藻、颤藻等占总数的 81.2 %(图 3)。由于这些丝状体细胞较小,且每根丝状体所含细胞数较多,因此如果以植物体个数来计算只有 8.45×10^6 ind./L。藻类总数年平均值为:进水口 25.06×10^6 cells/L、出水口 7.44×10^6 cells/L。以出水口为例,冬季至早春 1 —4 月小于 6×10^5 cells/L,5 个月(5 —7,11 —12)的藻类数量虽然都低于 10^7 cells/L,但仍处于富营养化水平,8 和 10 月的藻类细胞数高于 10^7 cells/L,处于极富营养化水平。

藻类生物量的变化趋势与数量变动规律基本一致,生物量除了与数量有关外,还与细胞大小有关。藻类生物量最低值为 0.34mg/L(1 月出水口),硅藻门的小环藻等占 69.6 %,最高值为 7.77 mg/L(8 月进水口),其中丝状蓝藻占 71.44 %;年均值进水口为 1.82mg/L,出水口为 1.09mg/L,均处于中营养化水平(1 —5mg/L)。除了 8 月和 10 月外,其他月份的藻类生物量都低于富营养化水平,而且出水口藻类生物量均低于 5mg/L。

由图 3 可见,出水口生物量一般较小,表明本水库具有较好的自净作用,在一定程度上能净化外来水。藻类季节变化为单峰型,峰值出现在秋季,这与太湖春季单峰型有明显区别[5]。

2.3 藻类种群结构的变化

出水口藻类组成与进水口基本一致。冬季至初夏硅藻和隐藻占优势,两门藻类之和均超过 50 %,最高达 86.90 %(5 月份进水口)(图 4,5)。但 2 月分歧锥囊藻所占比例相当大,达到 68 %(出水口)。从夏季到秋末蓝藻占优势,生物量高达 5.55mg/L,占总量的 71.44 %(8 月份进水口)。绿藻在 2 月所占比重最小,出水口仅占 0.85 %,而 11 月出水口高达 35.31 %。藻类季节变化明显,温度是造成水库藻类季节变化的主要原因,夏季水温高,适合蓝藻的生

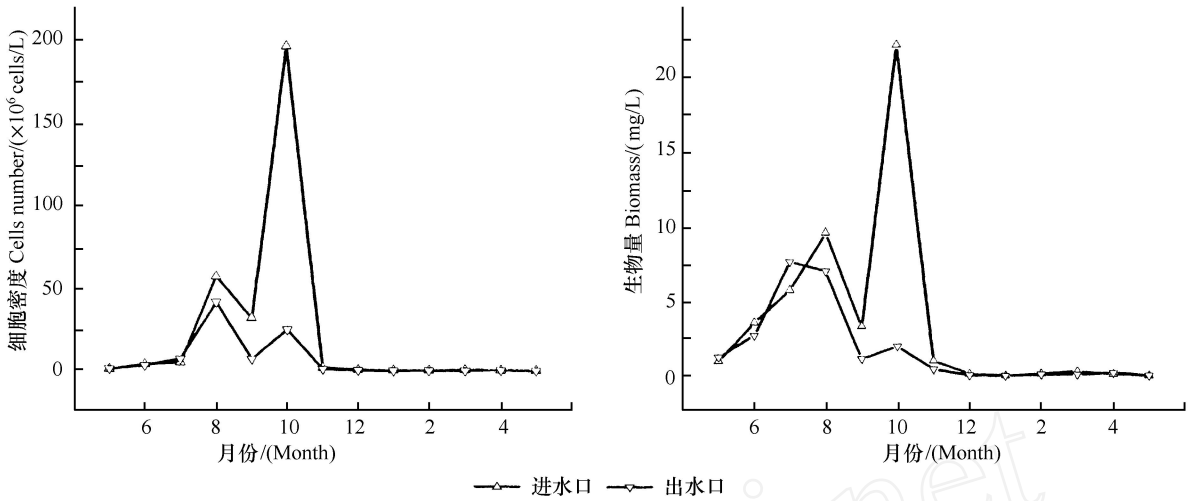


图 3　浮游藻类生物量、数量变化图

Fig. 3　Variation of algal biomass and density during May, 2003 and May, 2004

长[6],其生物量也高。9 月由于受水库引水影响,进水口蓝藻所占比例从 8 月的 71.43 %,下降到 43.88 %,减少了 37.55 %,到 10 月又回升到 64.98 %;而在出水口蓝藻在 8 月、9 月、10 月所占的比例一直在上升,分别为 42.79 %、49.00 %、66.66 %。表明水源对水库藻类影响很大。

藻类种类组成季节变化明显(图 5)。春季水温低,隐藻(35.41 %)和硅藻(32.75 %)占优势;夏季硅藻占优势(47.07 %),而蓝藻和绿藻随着水温升高增长较快,分别占到 19.04 %和 18.96 %,在夏秋时蓝藻高速增长取代硅藻而占优势,达到 40.44 %,绿藻则保持原有比例(22.66 %)。随着气温下降,蓝藻消

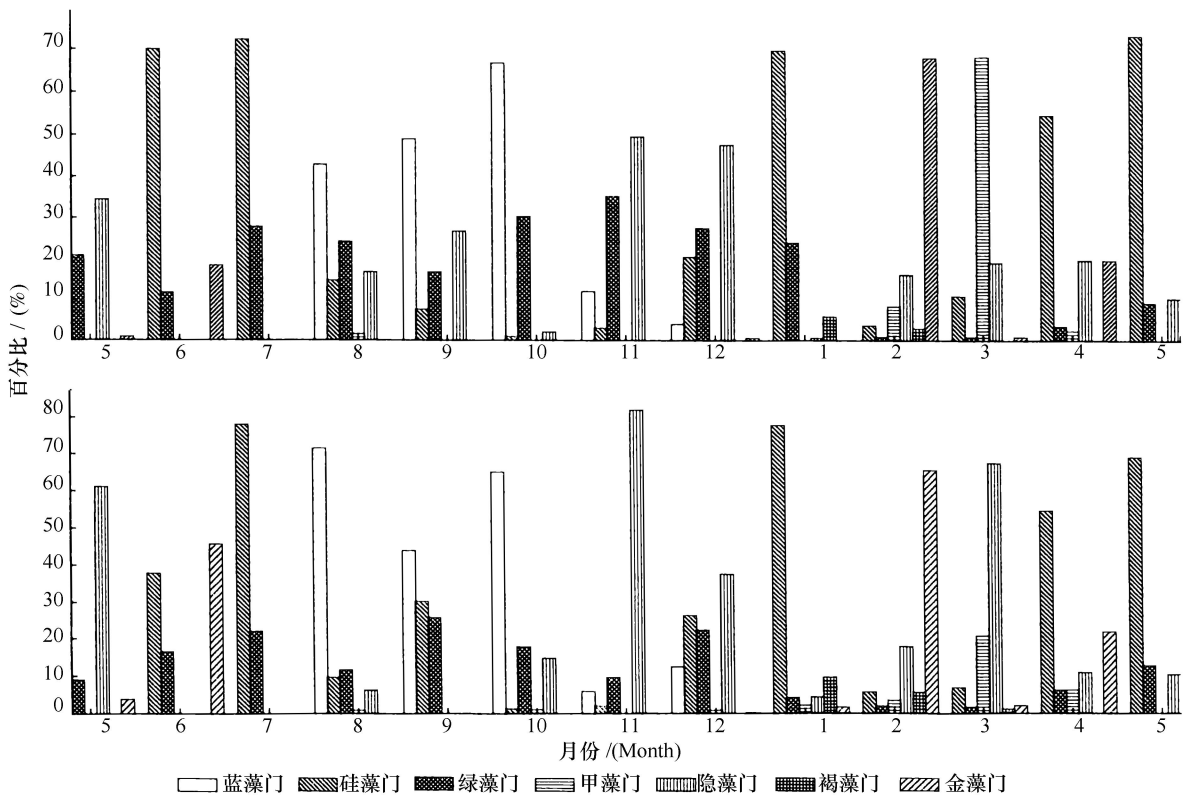


图 4　浮游藻类组成变化(2003 年 5 月—2004 年 5 月)

Fig. 4　Variation of phytoplankton species compositon

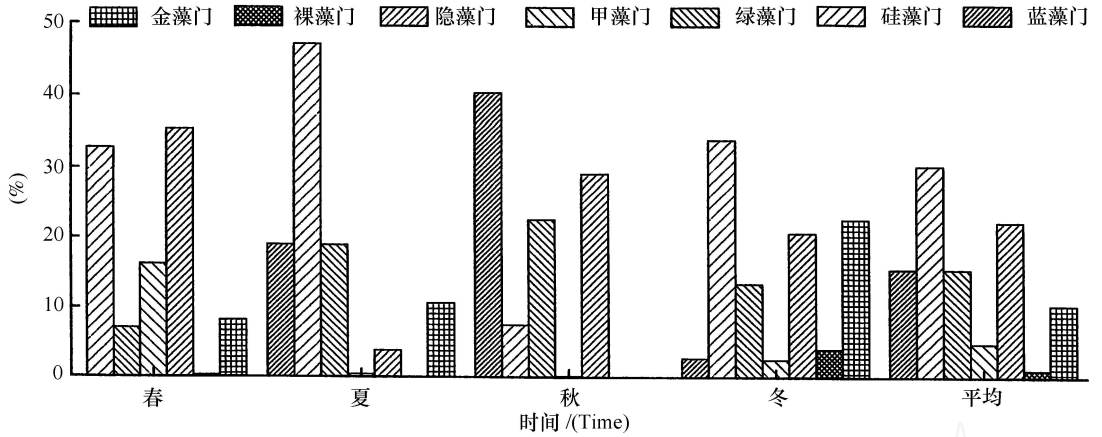


图 5 浮游藻类季节变化

Fig. 5 Seasonal variation of phytoplankton species composition

去很快,冬天硅藻占优势(33.89 %),隐藻和金藻分别占 20.69 %和 22.65 %。从生物量的角度总的来看,全年为硅藻占优势,平均为 30.31 %。棘洪滩水库的优势浮游藻类为硅藻型,属于中营养化水平。

2.4 棘洪滩水库浮游藻类的长期变动

水库浮游藻类长期监测结果分析,发现从 1993—2002 年中,除 1997 年外藻类生物量变化不大,藻类细胞数的年均值为 1.091×10^6 cells/L。而 1997 年细胞数高达 4.83×10^7 cells/L(图 6)。1997 年夏季从大沽河大量引水,水量超过库存水量的一半,总氮总磷丰富,分别是当时水库的 1.6 倍(1.2 mg/L)和 5 倍(0.1mg/L)。2003 年水库中藻类数量增加较大,达到 2.397×10^6 cells/L,也可能是因为多次从大沽河引水,导致营养盐水平上升,藻类大量生长,值得引起重视,注意避免营养盐大量流入。

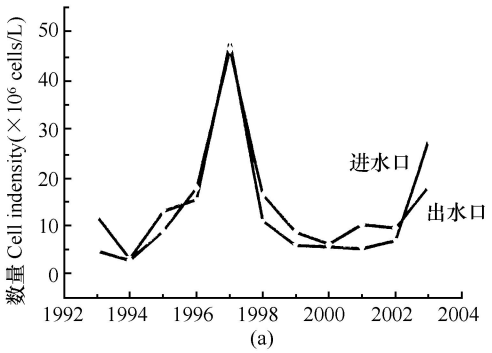


图 6 藻类密度的长期变化

Fig. 6 Long term change of phytoplankton density

2.5 浮游藻类多样性指数的年变化分析

生物的多样性指数能反应出不同环境下浮游藻类个体分布丰度和水体污染程度。指数越小,水质污染程度越大。因此可以依据藻类多样性指数判定湖泊营养状况以及富营养化程度和发展趋势。

多样性指数全年的变化趋势见图 7。H'的年平均值进水口为 1.88,出水口为 2.15,在 0.93—3.30 间变化,水质属中度污染[7]。最小值出现在 2004 年 1 月进水口,此时硅藻占 77.54 %,其绝对优势种为小环藻;最大值出现在 2003 年 11 月水库中心,这时隐藻和硅藻占 76.51 %,其优势种分别为尖尾蓝隐藻和小环藻。

d_{Sim}与 H'的趋势一致,两者呈明显的正相关($H' = 3.2904 d_{Sim} - 0.0091$, $r = 0.95$)。而 d_{Mar}的结果与另外两种指数相关性不明显,所得结果也有明显区别,结果也不易解释。可能由于 Margalef 指数对群落多样性的判别能力不高,稀有种对该指数有强烈影响,所以结果可能被错误理解,因此 Margalef 指数在浮游植物群落结构研究中要谨慎使用[8]。而 Shannon 指数和 Simpson 指数分别代表对浮游植物群落物种数敏感和不敏感的两类指数,能较好反映浮游植物群落多样性[9]。

进水口的多样性指数受引水影响波动很大,如 2003 年 12 月和 2004 年 1 月(图 7),但出水口则相对稳定,说明水库水质受进水口的影响,具有一定的稳定性。总体而言出水口的多样性指数高于进水口,水质相对较好。但统计分析表明进水口和出水口的三种多样性指数都无显著差异($P > 0.05$),这与通过对生物量和细胞数的结果分析所得的结论一致。

多样性指数和水质的关系复杂,受水体类型、计数方法及鉴定种类等因素影响[8]。此外选择合适的多样性指数对浮游藻类群落分析也有一定影响,一般应该选择几种指数并结合其他理化指标对结果进行分析。

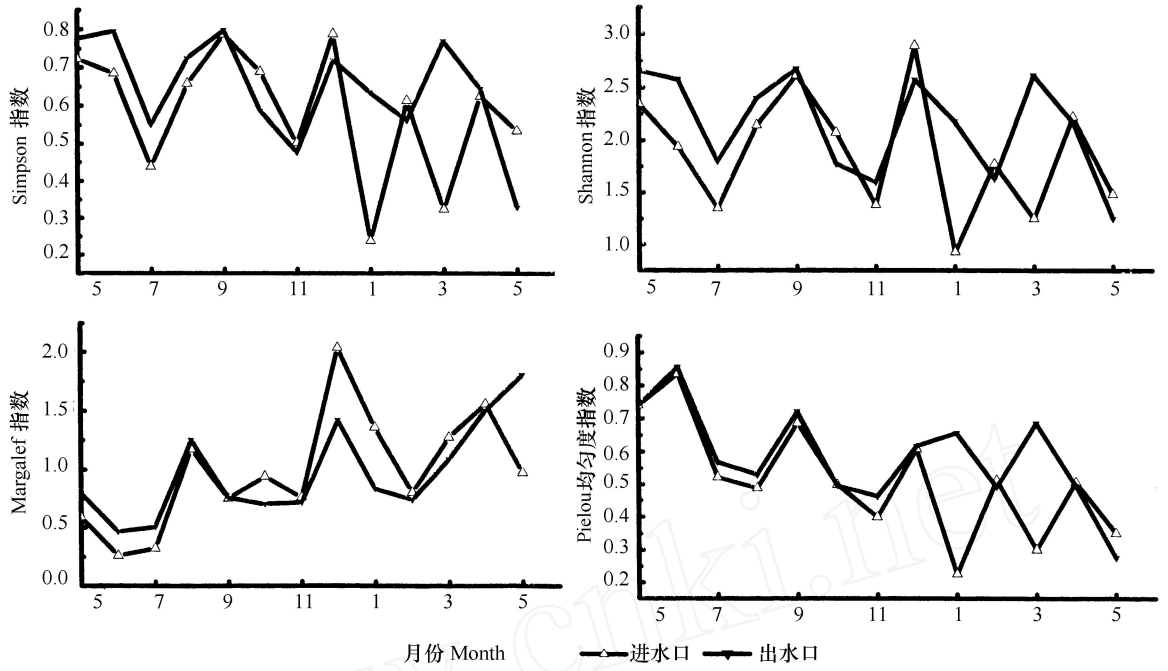


图 7　棘洪滩水库藻类多样性指数变化图(2003 年 5 月 —2004 年 5 月)

Fig. 7　Variation of species diversity index of phytoplankton

2.6　浮游藻类的空间分布特征

由于水库堤坝采用水泥护坡,沿岸带均一,但水库大部分仍是中心区域,库心的藻类不容忽视。2003 年 11 月水库中心(距离岸边约 500m)硅藻和隐藻占优势,与同期进水口一致;细胞数为 1.38 $\times10^6$ cells/L、生物量为 0.51mg/L,低于进水口而高于出水口(表 1)。2004 年 5 月库心硅藻(小环藻和羽纹藻)占 86.76 %(生物量),与同期相比生物量最高。结果表明,由于水库的交换率大,库心和沿岸带区别小,生物量一般处于中间水平。

表 1　水库中心与进、出水口参数比较

Tab. 1　Parameters comparison of the centre, inlet and outlet of the reservoir

	2003 年 11 月			2004 年 5 月		
	水库中心	进水口	出水口	水库中心	进水口	出水口
Margalef 指数	0.99	0.76	0.72	1.92	0.59	0.80
Shannon 指数	3.30	1.38	1.60	1.25	2.35	2.66
Simpson 指数	0.87	0.50	0.48	0.32	0.72	0.78
生物量(mg/L)	0.51	1.05	0.45	0.13	0.09	0.08
细胞数($\times10^6$ cells/L)	1.38	1.91	1.14	0.26	0.23	0.19

2.7　水库水质综合评价

引水对本水库的藻类生长有明显影响,大量引水对藻类有短期稀释作用,如 9 月份藻类数量突然下降。由于进水口水质变化受引水影响,变化没有规律,而出水口环境相对比较稳定,值得关注,因此选用出水口的各项指标进行统计学分析,发现藻类的生物量和饮用水源地水质监测 35 项指标[未列出数据]中只与两项指标相关:和温度成正相关,和水深成负相关。固定水温,计算藻类生物量和水深的偏相关系数:$r = -0.69$, $p = 0.006$。

由于不同藻类大小不同,因此藻类数量不能客观地反映营养状态,相比而言,生物量更能可靠地反映水质的营养状态。2003 年监测的藻类生物量年均值进水口为 1.82 mg/L,出水口为 1.09 mg/L,均处于中营养化水平(中营养化范围 1 —5 mg/L)。而水库中心 11 月份监测的生物量也只有 0.51 mg/L。事实上,即使 8 月和 10 月的生物量大于 5 mg/L,但都小于 10 mg/L。

对棘洪滩水库进水口、出水口、中心的藻类的数量、生物量、种群结构综合分析,认为棘洪滩水库除了 8 月和 10 月表现为富营养化(以生物量为依据),其他大部分月份表现为正在由中营养向富营养化过

渡或贫营养化。总体而言,目前水库水质营养状态良好,不会因为水库大规模富营养化而影响正常供水。

参考文献:

[1] Reynolds C S. What factors influce the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 11—26

[2] Zhang Z S, Huang X F. Study method on freshwater plankon [M]. Beijing: Science press, 1991 [章宗涉、黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社. 1991]

[3] Hillebrand H, Düselen C D, Kirschtel D, *et al*. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae [J]. *Journal of Phycology*, 1999, **35**: 403—424.

[4] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X J, The new detection technique on minibiology [M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 1990 [沈韫芬,章宗涉,龚循矩. 微型生物监测新技术. 北京:中国建筑工业出版社, 1990]

[5] Qing B Q, Hu W P, Chen W M, *et al*. Water environment evolution and mechanism in Taihu Lake [M]. Beijing: Science Press, 2003 [秦伯强,胡维平,陈伟民,等. 太湖水环境演化过程与机理. 北京:科学出版社, 2003]

[6] Zhang S Y, Shao J B, Dai X J. Studies on eutrophication and phytoplankton diversity in Hangzhou Bay [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2001, **25**(6): 512—517. [章守宇,邵君波,戴小杰. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨. 水产学报, 2001, **25**(6): 512—517]

[7] Wilhm, J L, Dorris, T C. Biological parameters for water quality cateria [J]. *Bioscience*, 1968, **18**: 477—481

[8] Sun J, Liu D Y. The application of diversity indics in marine phytoplankton studies [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004. **26**(1): 62—75. [孙军,刘东艳, 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, **26**(1): 62—75]

[9] Lei A P, Shi Z X. Diversity of phytoplankton in Donghu Lake, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 2003, **27**(2): 179—184. [雷安平,施之新,魏印心. 武汉东湖浮游藻类物种多样性的研究. 水生生物学报, 2003, **27**(2): 179—184]

STUDY ON THE PHYTOPLANKTON AND WATER QUALITY OF JIHONGTAN RESERVOIR IN QINGDAO

ZHAO Xian-Fu[1,3], YU Jun[2], GE Jian-Hua[1,3], LIU Guo-Xiang[1] and HU Zheng-Yu[1]

(1. *Institute of Hydrobiology; the Chinese Academy of Sciences; Wuhan* 430072; 2. *Jihongtan Management Section of Management Bureau of Water Diversion from the Yellow River into Qingdao of Shandong Province; Qingdao* 510065; 3. *Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039)

Abstract: The investigation on phytoplankton of abundance, dominant species was carried out from May 2003 to May 2004 in Jihongtan Reservoir, Shandong Province. Jihongtan Reservoir is the largest plain reservoir in China. We sampled phytoplankton in inlet and outlet of the reservoir every month. The samples were identified and counted with microscope. The results showed that there were 63 species in total, representing 49 genera. And there was no significant difference among the inlet, outlet and centre of Jihongtan Reservoir with phytoplankton composition. When biomass was concerned, inlet > centre > outlet, which means the reservoir's ability to self purify was working. The phytoplankton composition changed significantly during the year. The phytoplankton was dominated by diatoms and cryptophytes in winter and spring, the species respectively were *Cylotella* sp. and *Chroomonas acuta*, but in summer and autumn were cyanobacterias and green alga. The standing corp of phytoplankton peaked only in autumn. The average phytoplankton fresh biomass was 1.82 mg/L (inlet) and 1.09 mg/L (outlet), ranged from 0.34 to 7.77 mg/L. The lowest value was appeared in outlet in January. *Cyclotella* sp. was 69.6 %to total phytoplankton biomass, and the highest value appeared in inlet in August, filamentous cyanobacteria was 71.44 % of the total phytoplankton biomass. In summer we found some *Microcystis* sp. colony on the surface of the reservoir, even in winter some of them were still there. The average value of Shannon-Weaver diversity index of phytoplankton community was 1.88, ranged from 0.93～3.30, the lowest and highest value appeared in inlet in January 2004 and centre of reservoir in November 2003, respectively. The diversity index of inlet was affected lightly by indraught, but the outlet was relatively stable. In general, the diversity indexes of outlet were higher than inlet, but not significantly. In conclusion water quality was well, belong to mesotrophic, but had the potential to turn to eutrophication. So we should pay attention to protect the water source and enhance the management of the reservoir. For example we can indraught water when water quality was well and raise some herbivore fish in order to control the growth of phytoplankton.

Key words: Jihongtan Reservoir; Phytoplankton; Community compositon; Diversity index