

棘洪滩水库浮游藻类变化及富营养化防治

刘 浩¹, 刘玉华², 张保民²

(1. 山东省引黄济青工程管理局青岛分局, 山东 青岛 266100; 2. 山东省引黄济青工程棘洪滩水库管理处, 山东 青岛 266111)

摘要 详细分析了 2004 ~ 2006 年度棘洪滩水库浮游藻类的细胞密度及种群结构变化。2004 年进水口与放水口藻类细胞密度年均值分别为 $3.892 \times 10^6/\text{L}$ 和 $2.269 \times 10^6/\text{L}$, 冬季以硅藻为主, 春季以隐藻、金藻为主, 夏、秋季以蓝藻为主。2005 年进水口与放水口藻类细胞密度年均值分别为 $6.654 \times 10^6/\text{L}$ 和 $5.903 \times 10^6/\text{L}$, 冬、春季以硅藻、隐藻为主, 夏季以绿藻为主, 秋季则以蓝藻为主。2006 年进水口与放水口藻类细胞密度年均值分别为 $3.001 \times 10^6/\text{L}$ 和 $3.687 \times 10^6/\text{L}$, 夏末至秋季绿藻占优势, 代替了先前在此阶段占优势的蓝藻, 其他季节多以硅藻为主, 隐藻和金藻分别在冬季和春季占有一定比例, 说明 2006 年的水质状况较 2004 年、2005 年有所改善。棘洪滩水库藻类峰值出现在夏末和秋季, 此阶段水库的水质呈中富营养状态, 其他月份为中营养或贫营养状态。Shannon-weaver 多样性指数显示, 目前水库的水质总体呈中度污染。入库的源水质量对水库水质影响很大, 控制引入的源水质量并采取相应的生物防治措施可有效避免水库发生富营养化。

关键词 棘洪滩水库 浮游藻类 群落结构 多样性指数 富营养化

中图分类号 X172 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2008)04-0040-04

Phytoplankton variation and eutrophication prevention in Jihongtan Reservoir

LIU Hao¹, LIU Yu-hua², ZHANG Bao-min²

(1. Qingdao Branch of Management Bureau of Water Diversion from the Yellow River into Qingdao of Shandong Province, Qingdao 266100, China; 2. Jihongtan Reservoir Management Section of Management Bureau of Water Diversion from the Yellow River into Qingdao of Shandong Province, Qingdao 266111, China)

Abstract The changes of cell density and community composition of phytoplankton in 2004, 2005 and 2006 in the Jihongtan Reservoir were analyzed in detail. The annual mean cell densities of phytoplankton were $3.892 \times 10^6/\text{L}$ at the inlet and $2.269 \times 10^6/\text{L}$ at the outlet in 2004, and the community composition of phytoplankton was dominated by diatoms in winter, cryptomonad and Chrysophyta in spring and blue algae in summer and autumn. In 2005, the annual average cell densities of phytoplankton were $6.654 \times 10^6/\text{L}$ at the inlet and $5.903 \times 10^6/\text{L}$ at the outlet, and dominant species were diatoms and cryptomonad in winter and spring, green algae in summer and blue algae in autumn. The water quality of the reservoir was better in 2006 than in 2004 and 2005. The annual average cell densities of phytoplankton were $3.001 \times 10^6/\text{L}$ at the inlet and $3.687 \times 10^6/\text{L}$ at the outlet in 2006; diatoms were the main phytoplankton in all seasons except the period from the end of summer to autumn, when green algae, instead of blue algae as in 2004 and 2005, were the dominant phytoplankton. In the meantime, cryptomonad and Chrysophyta existed in winter and spring, respectively. The peak value of cell density appeared at the end of summer and autumn, when the water in the reservoir was in a eutrophic state rather than the mesotrophic or oligotrophic states of other months. The Shannon-weaver diversity index shows that water in Jihongtan Reservoir was medium-polluted. The water quality of the Jihongtan Reservoir was influenced greatly by its water sources. In order to avoid eutrophication, it is important to control the quality of the source water and to adopt biological control methods in the reservoir.

Key words Jihongtan Reservoir; phytoplankton; community composition; diversity index; eutrophication

作者简介 刘浩(1967—),男,山东青岛人,高级工程师,硕士,主要从事水环境监测和富营养化防治工作。E-mail: yhj-qd@sina.com

棘洪滩水库是山东省引黄济青工程的调蓄水库，是全国最大的平原围坝型水库，是青岛市和周边地区供水水源。水库围坝长 14.2 km，总库容 1.568 亿 m³，日供水能力达 30 多万 m³。1989 年 11 月 25 日正式通水运行后，17 年来，已向青岛市供水近 12 亿 m³，完全满足了青岛市民的用水需求。棘洪滩水库管理处常年对水库水质进行理化指标和浮游藻类的监测。本文归纳了该水库 2004~2006 年的藻类监测数据，结合历年监测资料及相关理化数据，对其水质进行了分析与评价，并据此提出了相应的富营养化防治措施。

1 材料与方法

1.1 水样采集、固定和浓缩

每月在水库进水口和出水口各采样 1 次，每次在水面下 0.5 m 和 4 m 处各取 1 L 水混合，混合样立刻用鲁哥氏液固定，1 L 水加固定液 15 mL，取 1 L 混合样沉淀 48 h 后浓缩至 30 mL 左右^[1]。

1.2 浮游藻类计数

计数使用浮游藻类计数框。计数方法采用目镜视野法，每一样品计数 100 个视野，若计数值小于 300 个细胞数，则再增加 100 个视野，依此类推，计数的视野均匀分布在计数框的全部面积上^[1]。

1.3 生物多样性指数计算

共采用 3 种计算式计算多样性指数^[2]：

Margalef 多样性指数

$$d_{\text{mar}} = (S - 1) / \log_e N$$

Shannon-weaver 指数

$$H' = - \sum (n_i / N) \log_2 (n_i / N)$$

Simpon 指数

$$d_{\text{sim}} = 1 - \sum (n_i / N)^2$$

式中： S 为种类数； n_i 为 i 种的个体数； N 为总个体数。

2 结果与分析

2.1 浮游藻类种类组成

在 2004~2006 年的监测中，所发现藻类的门

类、属数、种数及各门藻类种类所占比例如表 1。

由表 1 可见，绿藻门的种类数量最多，其次是硅藻门和蓝藻门。2005 年、2006 年度较 2004 年度增加 1 门——黄藻门。

对藻类进行分析，2004 年中硅藻门的小环藻属、隐藻门的隐藻属、蓝藻门的颤藻属占优势。2005 年，硅藻门的小环藻属、曲壳藻属，隐藻门的隐藻属，蓝藻门的微囊藻属占优势。绿藻门虽种类较多，但数量有限，不占优势。而 2006 年，硅藻门的小环藻属，隐藻门的红细胞藻属，绿藻门的栅藻、浮丝藻属，金藻门的锥囊藻属占优势。2004 年、2005 年出现较多的微囊藻，2006 年已不多见，仅在秋季少量出现，说明 2006 年水质较前两年有所改善。

2.2 藻类的细胞密度及其变化

藻类的细胞密度是水生态系统功能和水质评价的重要参数之一。图 1 是 2004~2006 年度藻类细胞密度月变化图。

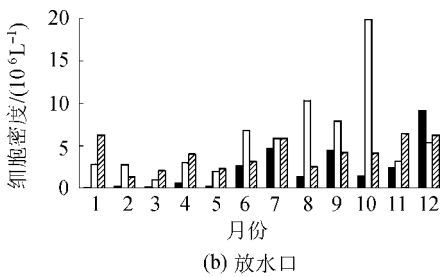
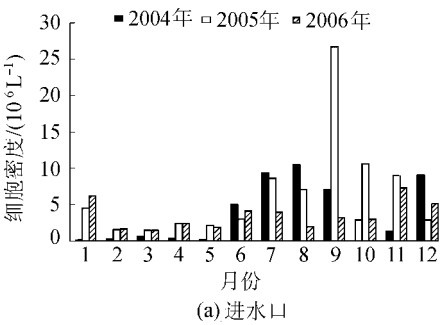


图 1 2004~2006 年度藻类细胞密度月变化

由图 1 可见，棘洪滩水库进水口与放水口藻类细胞密度变化规律基本一致。藻类峰值出现在夏末和秋季。2004 年 12 月进、出水口藻类细胞密度突然

表 1 棘洪滩水库藻类组成及其种类所占比例

年份	分类	硅藻门	绿藻门	甲藻门	裸藻门	隐藻门	金藻门	蓝藻门	黄藻门	合计
2004	属	7	30	3	1	2	1	11		55
	种	9	41	3	1	3	2	16		75
	种数/%	12	54.67	4	1.33	4	2.67	21.33		100
2005	属	12	38	3	2	2	5	8	1	71
	种	12	45	3	3	3	5	8	1	80
	种数/%	15	56.25	3.75	3.75	3.75	6.25	10	1.25	100
2006	属	9	30	3	3	3	4	10	1	63
	种	9	50	3	3	4	4	11	1	85
	种数/%	10.59	58.82	3.53	3.53	4.71	4.71	12.94	1.17	100

升高,这与引入大沽河水有关。3 个年度藻类细胞密度的年均值、最高最低值及其出现的月份和主要种类如表 2。

表 2 藻类细胞密度的年均值和峰值及其主要种类

年份	平均值		峰 值	
	进水口	放水口	最低值及主要藻类	最高值及主要藻类
2004	3.892	2.269	0.049(1 月放水口) 小环藻、隐藻	10.465(8 月进水口) 颤藻
2005	6.654	5.903	0.982(3 月放水口) 隐藻、小环藻	19.900(10 月放水口) 微囊藻
2006	3.001	3.687	1.386(2 月放水口) 小环藻	12.023(11 月进水口) 微囊藻

由表 2 可见,2004 年、2005 年度放水口藻类细胞密度年均值小于进水口,2006 年度进、放水口的细胞密度年均值相当,说明水库具有一定自净能力。但无论进水口还是放水口,2005 年度年均值较 2004 年度高,而 2006 年度又降低,分析是由于 2005 年度引入含藻较高的峡山水库水,使得本水库藻类含量升高,而 2006 年引入少量黄河水,加上水库自身自净能力,使得藻类数量降低。可见,源水质量对藻类含量影响较大。

2.3 藻类群落结构变化

2004 ~ 2006 年度进、出水口藻类细胞密度分门季节变化如图 2 所示。

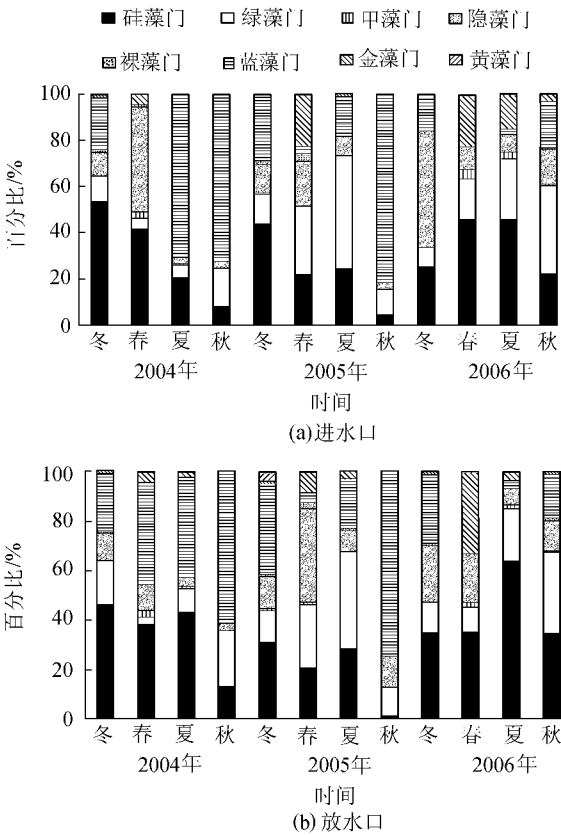


图 2 2004 ~ 2006 年度水库藻类种类组成的季节变化

由图 2 可见,出水口藻类季节变化与进水口基本一致。2004 年冬、春季以硅藻、隐藻为主,夏、秋季则蓝藻占优势,所以 2004 年水库藻类为硅藻-蓝藻型。2005 年冬、春季以硅藻、绿藻、隐藻为主,夏、秋季则绿藻、蓝藻占优势,所以 2005 年水库藻类为硅藻-绿藻-蓝藻型。2006 年,硅藻在一年四季都占优势,隐藻、金藻分别在冬、春季略占优势,而绿藻从夏季到秋末一直较强,代替了以前此阶段占优势的蓝藻,因此 2006 年水库藻类为硅藻-隐藻-金藻-绿藻型。

2.4 水库浮游藻类的长期变动状况

从藻类 1994 ~ 2002 年的长期监测结果分析(图 3),除 1997 年外,其余年份藻类细胞密度年均值为 $0.72 \times 10^6/L$,而 1997 年稍高,为 $3.67 \times 10^6/L$,原因是由于 1997 年一开始水库以较低水位运行,而后又引入大量大沽河水,总氮、总磷丰富,使得藻类生长旺盛。2003 ~ 2005 年由于引入含藻量较高的峡山水库水,使本水库藻类含量升高,而 2006 年由于控制了源水质量,使得藻类含量又有所下降。

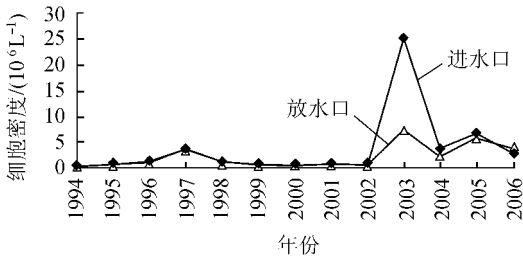


图 3 水库浮游藻类长期变化趋势

2.5 浮游藻类多样性指数的变化分析

湖泊中各种水生生物的数量通常维持相对稳定关系,一旦发生富营养化,浮游植物中某些属类将大量繁殖,而另一些属类则相对减少,因此多样性指数能够反映水体的污染程度^[3]。通常,指数越大,水质越好。2004 ~ 2006 年的多样性指数变化如图 4 所示。

由图 4 可见,2004 ~ 2006 年,进水口与放水口的多样性指数变化规律基本一致,且 H' 与 d_{sim} 的趋势一致,并呈明显正相关(2004 年 $H'_{\text{进水口}} = 3.857d_{sim\text{进}} - 0.132, r = 0.937$; $H'_{\text{放水口}} = 3.731d_{sim\text{放}} - 0.135, r = 0.885$; 2005 年 $H'_{\text{进水口}} = 3.626d_{sim\text{进}} + 0.052, r = 0.98$; $H'_{\text{放水口}} = 4.539d_{sim\text{放}} - 0.586, r = 0.97$, 2006 年 $H'_{\text{进水口}} = 4.784d_{sim\text{进}} - 0.587, r = 0.947$, $H'_{\text{放水口}} = 4.573d_{sim\text{放}} - 0.495, r = 0.953$)。而 d_{mar} 的结果与另外两种指数相关性不强或不相关,可能由于 Margalef 指数对群落多样性判别能力不高,需谨慎使用^[4]。2004 年进水口与放水口的 H' 的年均值分别为 2.264 和 2.273,水质属于中度污染($H' = 0$,严重污染; $H' < 1$,重污染; $H' = 1 \sim 3$,中污染; $H' > 3$,清洁)^[5],2005 年进水口与放水口的 H'

的年均值分别为 2.659 和 2.529,2006 年则分别为 2.966 和 2.649,水质皆属于中度污染。

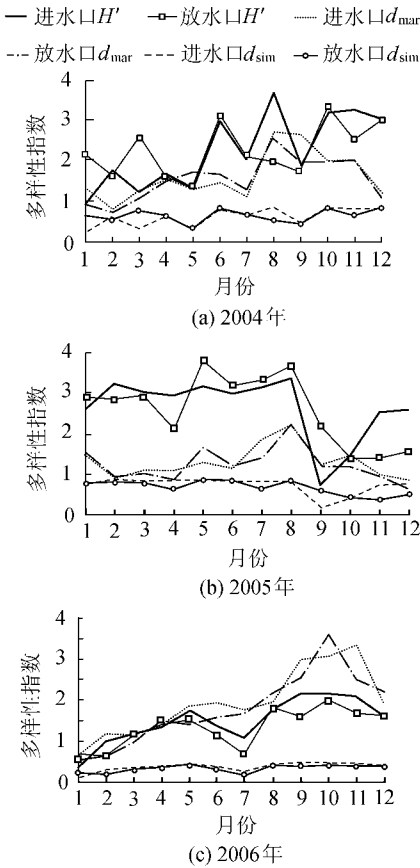


图 4 2004~2006 年水库藻类多样性指数变化
2.6 水体中氮磷等营养物质对藻类数量影响

水体中氮、磷等营养物质是影响浮游植物生长的主要营养盐。有的学者指出,当 $c(TN)/c(TP)$ (摩尔比) > 14 ,磷是水体的限制性营养盐^[6],当 $c(TN)/c(TP) < 10$,氮是水体的限制性营养盐^[7],而总氮与总磷比在 10:1 至 15:1 时,最利于藻类繁殖^[6]。水库进、出水口总氮、总磷的年均浓度及其比值如表 3。由表 3 可见,进水口总氮、总磷变化分别与出水

表 3 棘洪滩水库总氮、总磷的长期变动

年份	进水口		放水口			
	$c(TN)/$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$c(TP)/$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$c(TN)/$ $c(TP)$	$c(TN)/$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$c(TP)/$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	$c(TN)/$ $c(TP)$
1994	1.319	0.012	110	1.123	0.012	94
1995	1.276	0.020	64	1.290	0.017	76
1996	1.161	0.012	97	1.144	0.011	104
1997	1.183	0.026	46	1.164	0.020	58
1998	1.492	0.022	68	1.443	0.020	72
1999	1.411	0.037	38	1.303	0.030	43
2000	1.308	0.026	50	1.223	0.020	61
2001	1.926	0.016	120	1.888	0.018	105
2002	1.338	0.013	103	1.295	0.016	81
2003	2.198	0.023	96	2.098	0.017	123
2004	3.324	0.020	162	3.185	0.016	199
2005	1.701	0.018	95	1.705	0.014	122
2006	1.424	0.018	81	1.498	0.012	125

口基本一致,总氮与总磷浓度比值远远大于 14,不在适宜藻类生长的范围内。

3 结 语

通过以上对棘洪滩水库浮游藻类数量、种群结构的分析,认为水库中藻类细胞密度年均值保持在 10^6 的数量级,藻类种群结构冬、春季以硅藻、隐藻和金藻为主,夏、秋季以绿藻或蓝藻为主。藻类峰值出现在夏末和秋季,此阶段水库水质呈富营养状态,其他月份为中营养或贫营养状态。由于控制了入库源水质量,2006 年水质较 2004 年、2005 年有所改善。Shannon-weaver 多样性指数 $H' < 3$,显示水质呈中度污染。水库中的营养盐虽总氮较高,但总磷较低,氮磷浓度比 > 14 ,不在适宜藻类生长的范围内,可抑制藻类过量繁殖。

棘洪滩水库作为一个封闭性平原水库,只要控制好入库源水的质量,采取适当的生物措施控制藻类过量繁殖,就可以避免水库发生大规模富营养化,不会影响正常供水。

参考文献:

[1] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991:334-337.
[2] 沈韞芬,章宗涉,龚循矩.微型生物监测新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,1990.
[3] 《全国主要湖泊、水库富营养化调查研究》课题组.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1987:280.
[4] 孙军,刘东艳.多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J].海洋学报,2004,26(1):62-75.
[5] 国家环保局.水生生物监测手册[M].南京:东南大学出版社,1992:170-171.
[6] 屠清瑛,顾丁锡,尹澄清,等.巢糊——富营养化研究[M].合肥:中国科学技术出版社,1990:95.
[7] 刘建康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,1999:328.

(收稿日期 2007-01-22 编辑 傅伟群)

