

密云水库东西库区的水质与浮游藻类分析*

李慧敏¹, 孟凡艳¹, 杜桂森^{1**}, 刘晓端², 刘静¹, 宋福³

(1:首都师范大学生命科学学院, 北京 100037)

(2:国家地质实验测试中心, 北京 100037)

(3:中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:密云水库被围堰隔为东、西两个库区。由于1999年以来华北地区的连续干旱, 水库蓄水量迅速下降, 两库区水体交换很少, 相对稳定。2001年至2002年的调研结果显示, 东库区比西库区BOD₅、TN、TP、Fe、浮游藻类细胞密度分别高出16.7%、40.2%、46.7%、161.1%和41.8%, TSI_m显示西库区的营养程度低于东库区, 主要原因是: (1) 西库区水体深于东库区, 自净能力相对较强。 (2) 东库区以氮、磷为主的植物营养物的污染大于西库区; (3) 由于潮河(东库区的主要入库河流)流域数座小铁矿的污染, 东库区铁含量大于西库区。东库区水体中铁的浓度在适合浮游藻类生长的范围内, 对浮游藻类, 特别是蓝藻(Cyanophyta)的增殖有促进作用。有效地防治密云水库水体富营养化, 应在统筹规划、分步实施的基础上, 把防治的重点放在潮河流域。

关键词:密云水库; 东西库区; 理化性状; 浮游藻类

Analysis on the phytoplankton and water quality in eastern and western Miyun Reservoir

LI Huimin¹, MENG Fanyan, DU Guisen^{1**}, LIU Xiaoduan², LIU Jing¹ & SONG Fu³

(1: College of Life Science, Capital Normal University, Beijing 100037, P. R. China)

(2: National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, P. R. China)

(3: Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, P. R. China)

Abstract: The Miyun Reservoir could be separated into two parts by enclosing dam. The water quantity has been reduced rapidly due to dry climate since 1999. During 2001 - 2002, the study on the water quality and the phytoplankton was carried out. The results were as follows: BOD₅, TN, TP, Fe and cells density of phytoplankton in east region were 16.7%, 40.2%, 46.7%, 161.1%, 41.8% higher than those in west part; The water quality of west part was better than that of east region. The main causes of water quality difference between two reservoir parts were: (1) The water depth and its buffer capability of west region was bigger than that of east part; (2) The pollution in Chao river valley was more than it in Bai river valley; (3) Because of several iron mines' contamination, the iron concentration of east region was higher than that of west region, whereas the iron concentration of east part was suitable to phytoplankton growth, especially Cyanophyta. In order to control eutrophication efficiently, we proposed an emphasis on Chao river valley basing on a carefully designed plan and step-by-step implementation.

Keywords: Miyun Reservoir; east and west region; physicochemical properties; phytoplankton

北京为严重资源型缺水的特大城市, 年人均水资源量不足 300 m³, 向市区提供地表水的只有官厅、密云两座水库。官厅水库由于上游污染严重, 不符合国家饮用水源标准(GB3838-88), 已于1997年被迫退出首都饮用水源系统。密云水库坐落在燕山群峰中的潮、白河上游, 控制流域面积为 15788 km², 总库容 43.75 × 10⁸ m³, 最大水深为 45 m, 相应水面面积 188 km²。其水量与水质直接关系到首都的人民生活、经济发展与社

* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999045705)资助。2006-05-10 收稿; 2006-07-08 收修改稿。李慧敏, 女, 1981年生, 硕士研究生。

** 通讯联系人; E-mail: duguisen@126.com.

会稳定. 二十世纪八十年代以来对密云水库的水质已有陆续报道^[1-4], 但均把其作为一整体. 实际上在密云水库的库东(4号断面)与金沟(5号断面)之间有一条人工建造的围堰, 把此库分为东、西两个库区, 围堰上只有两个人工挖开的几米宽的缺口. 由于1999年以来华北地区的连续干旱, 库区蓄水量锐减, 2001-2003年的蓄水量分别仅有 $14.03 \times 10^8 \text{ m}^3$, $12.09 \times 10^8 \text{ m}^3$, $8.15 \times 10^8 \text{ m}^3$, 水位急剧下降. 两库区水体仅能通过围堰缺口进行交换. 2002年我们在库区8个断面均测不出流速, 两库区水体基本稳定, 交换率很低. 西库区的人库河流主要是白河, 其次为白马关河、对家河. 东库区主要入库河流是潮河, 其它还有清水河、安达木河、放马峪河、牯牛河. 5年多的连续干旱, 除白河、潮河有少量水入库外, 其它河流基本处于干涸状态, 只有每年的汛期偶有大雨时才有少量浑水进入河道. 所以西库区水质主要决定于白河, 东库区主要决定于潮河. 为探讨密云水库东、西库区水质差异, 作者于2001-2002年对两库区的理化性状与浮游藻类进行了调研, 以期为有效地防治密云水库富营养化提供科学依据.



图1 密云水库采样断面分布图

Fig. 1 Distribution of sampling section in Miyun Reservoir

1 材料与方法

从湖泊生态系统中选择了水深、水温、透明度(SD)、pH值、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD_{Mn})、生化需氧量(BOD₅)、总氮(TN)、总磷(TP)、铁(Fe)和浮游藻类11项指标^[5], 根据密云水库的形态学特征, 在东、西库区用GPS定位, 各选择了4个有代表性的断面(图1), 于2001年5月、9月, 2002年4月、9月(4-5月为枯水期, 9月为丰水期)在库区做现场调查. 各断面从表层开始, 每隔5m(深度)同步取样, 分别进行定性、定量测定, 对结果进行统计分析, 并对潮河流域与白河流域的自然和社会经济状况作调查.

2 结果与讨论

2.1 两库区的理化指标与营养状态

西库区4个监测断面(1[#]-4[#])与东库区4个监测断面(5[#]-8[#])各项指标实测值的算术平均数显示, 西库区比东库区平均水深大7.7m; SD高0.71m; BOD₅、TP、TN、Fe东库区比西库区分别高出16.7%、40.2%、46.7%、161.1%(表1).

表1 密云水库西库区(1[#]-4[#])与东库区(5[#]-8[#])主要理化指标比较Tab. 1 Comparisons of physical and chemical targets of west part(1[#]-4[#]) and east part(5[#]-8[#]) in Miyun Reservoir

年.月	样点	水深 (m)	水温(5m) (℃)	SD (m)	pH	DO (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	Fe (mg/L)
2001.5	1 [#] -4 [#]	25.8	20.1	3.53	8.19	7.33	1.31	0.53	0.011	0.694	0.016
2002.4	1 [#] -4 [#]	30.5	7.5	2.76	8.50	7.12	1.92	0.10	0.007	0.803	0.018
2001.9	1 [#] -4 [#]	27.5	25.6	3.53	8.21	2.76	2.16	0.73	0.025	0.879	0.016
2002.9	1 [#] -4 [#]	23.8	21.8	1.88	8.30	5.32	2.83	0.78	0.017	0.380	0.020
平均		26.9	18.8	2.93	8.30	5.63	2.06	0.54	0.015	0.689	0.018
2001.5	5 [#] -8 [#]	17.5	20.0	2.71	8.35	7.06	2.11	0.56	0.035	0.755	0.030
2002.4	5 [#] -8 [#]	19.3	8.1	2.57	7.60	9.10	1.81	0.69	0.007	1.131	0.029
2001.9	5 [#] -8 [#]	20.0	25.1	1.85	8.38	4.03	2.33	0.51	0.023	1.320	0.064
2002.9	5 [#] -8 [#]	20.0	21.5	1.75	7.49	6.21	2.44	0.77	0.023	0.656	0.033
平均		19.2	18.7	2.22	8.00	6.60	2.17	0.63	0.022	0.966	0.047

经统计检验,东、西两库区铁的分布却存在显著性差异 (Sig. = 0.042 < 0.05). 东库区的 COD_{Mn} 、TP、TN、SD 四项指标的 TSI_{mM} 指数也分别高出西库区 1.6%、12.3%、8.6%、10.8% (表 2), 西库区的水质和营养状态好于东库区.

表 2 密云水库西库区(1[#]-4[#])与东库区(5[#]-8[#]) TSI_{mM} 指数比较

Tab. 2 TSI_M comparisons of west part(1[#]-4[#]) and east part(5[#]-8[#]) in Miyun Reservoir

样点	COD_{Mn}	TP	TN	SD
1 [#] -4 [#]	50.3	39.0	58.4	43.5
5 [#] -8 [#]	51.1	43.8	63.4	48.2

2.2 两库区浮游藻类的群落组成与密度

两库区浮游藻类的群落组成相似,但细胞密度、各门比例与优势种群差异明显(表 3). 东库区的密度比西库区高 41.8%,其中蓝藻是西库区的 2.08 倍. 蓝藻门所占比例比西库区高 12.8%,而绿藻门所占比例则比西库区低 8.7%,硅藻、金藻、甲藻所占比例相近. 在表层水(0-3m)的定性样品中,4-5 月,西库区浮游藻类的优势种群是:巴豆叶脆杆藻(*Fragilaria crotonensis*litton)、分歧锥囊藻(*Dinobryon divergens*);东库区是:尖针杆藻(*Synedra acus*)、巴豆叶脆杆藻(*Fragilaria crotonensis*litton). 9 月,西库区浮游藻类的优势种群是:巴豆叶脆杆藻,颗粒直链藻(*Melosira granulata*),东库区则为铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*). 2001—2002 年的夏秋季,东库区表层水体中出现肉眼可见的淡黄绿色、颗粒状微囊藻(*Microcystis*)细胞团,局部水面形成微囊藻藻胞层. 西库区则出现较少,且程度较轻.

表 3 密云水库西库区与东库区浮游植物群落构成与细胞密度($\times 10^4$ cells/L)的比较

Tab. 3 Community composition and cells density of phytoplankton on west part(1[#]-4[#]) and east part(5[#]-8[#]) in Miyun Reservoir($\times 10^4$ cells/L)

年.月	样点	蓝藻	绿藻	硅藻	金藻	甲藻	隐藻	黄藻	裸藻	Σ
2001.5	1 [#] -4 [#]	3.33	36.11	59.70	168.73	1.03	15.84	0.16	0	284.90
2002.4	1 [#] -4 [#]	0.32	48.33	156.64	4.51	0.32	0	0	0	229.31
2001.9	1 [#] -4 [#]	19.32	201.93	210.33	2.38	2.38	41.65	3.48	0	481.47
2002.9	1 [#] -4 [#]	726.35	576.95	376.03	68.03	10.07	25.82	1.26	11.34	2279.85
	平均	187.33	213.83	200.68	60.91	3.45	20.83	1.23	2.84	693.10
	比例	27.0%	31.1%	29.0%	8.8%	0.5%	3.0%	0.2%	0.4%	100%
2001.5	5 [#] -8 [#]	5.23	48.79	31.36	235.77	0.95	16.47	0	0	338.57
2002.4	5 [#] -8 [#]	0.95	15.52	158.38	4.56	0.32	24.72	0	0	204.45
2001.9	5 [#] -8 [#]	41.82	269.88	155.13	6.41	5.94	34.45	2.38	0	516.01
2002.9	5 [#] -8 [#]	1514.19	544.83	769.69	0	3.78	8.28	0	0	2841.31
	平均	390.55	219.76	278.64	69.19	2.75	20.98	0.60	0	982.47
	比例	39.8%	22.4%	28.4%	7.0%	0.3%	2.1%	0.1%	0%	100%

密云水库东、西两库区浮游藻类密度与总磷之间有一定的正相关关系, BOD_5 与两库区藻类生长有较高的正相关性. 而两库区藻类密度与总铁之间的相关性存在着很大的差异. 西库区浮游藻类密度与总铁之间存在高度的正相关性,而东库区浮游藻类密度与总铁之间的相关性不大(表 4).

表 4 显示,西库区浮游藻类细胞密度与总铁之间存在着正相关关系. 回归分析表明,西库区藻类密度与总铁的关系是二次函数曲线(图 2),回归方程为 $y = 80973.125 - 9445701.25x + 275551875x^2$,实测数据与曲线回归方程拟合程度高($R^2 = 0.99329$). 由图可知,当铁浓度小于 0.0175 mg/L 时,藻类密度随着铁浓度的升高而呈下降趋势,但下降的幅度不大,当铁浓度进一步升高,藻类丰度随之增加,而且增加的幅度较大.

导致小幅度下降的原因可能是由于不同的藻类对于不同形态铁的吸收有差异造成的^[6,7]。东库区铁的平均浓度为 0.047 mg/L,而东库区浮游藻类密度与铁之间的相关性不大。这就说明东库区铁的浓度在藻类生长的适宜浓度范围之内。

表 4 东、西库区浮游藻类密度和相关水质因子的相关性(R 值)比较*

Tab.4 The relevance of comparisons about cells density of phytoplankton in East, West part and water quality factors

	西库区	东库区
浮游藻类密度 - TP	0.278	0.109
浮游藻类密度 - BOD ₅	0.606	0.705
浮游藻类密度 - Fe	0.829	- 0.147

* $0 < R_{xy} < 1$, 称 Y 与 X 正相关, 且 R_{xy} 越接近 1, 则说明变量 Y 与变量 X 之间的线性关系越显著。

3 对密云水库东、西区水质差异原因的分析 and 防治建议

3.1 密云水库西库区与东库区浮游藻类密度不同的原因

密云水库为大型、山谷型深水人工湖, 库区水体的初级生产力主要决定于浮游藻类的群落结构与细胞密度^[8], 库区水体营养盐与初级生产力的关系为浮游藻类响应型^[9]。浮游藻类为低等植物, 形态构造简单(单细胞或群体), 对水体理化性状反应较为敏感。密云水库东库区浮游藻类的细胞密度高于西库区 41.8%, 而且群落构成也不同, 初步分析主要原因是: (1) 东库区 TN 与 TP 含量分别比西库区高出 40.2% 和 46.7%。(2) 东库区 Fe 的含量高于西库区 2.61 倍(表 1)。浮游藻类细胞原生质构成中除大量元素外, 还含有 Fe、Mn、Cu、Zn、B、S、Mo、Co 等微量元素。尽管它们含量很低, 但在维持细胞正常功能中是不可缺少的。Fe 是浮游藻类细胞中酶的重要组成成分与细胞合成叶绿素所必需, 适宜的 Fe 含量能促进浮游藻类的增长。东库区相对较高的 Fe 含量在适合浮游藻类生长的范围之内, 为浮游藻类的增殖创造了条件。

3.2 对防治密云水库富营养化的建议

2001 年—2002 年的调研结果显示, 密云水库两库区的 TN 含量均达富营养, 而 TP 含量相对较低。国内外大量研究表明, 湖水中 N:P 处于 10-25 的范围时, 氮量、磷量和浮游植物现存量之间构成明显的直线关系^[10-12]。但是, 密云水库的氮磷比为(43.9-45.9):1, 根据 Redfield 的假设^[13], 属于磷控型湖泊, 随着氮磷比的缩小, 其营养程度会逐渐加重。1999 年以来, 由于库区蓄水量急剧减少, 营养盐含量升高等原因, 库区水体的营养程度已由 20 世纪八十年代的中营养演变到一富营养, 已经影响到首都人民的饮水安全。

两库区水质的差异显示, 潮河水质劣于白河。潮河流域的面源、点源污染多于白河流域, 特别是从戴营至丰宁的数座小铁矿, 在矿石的开采、清洗、粉碎、转运过程中破坏环境、污染河道与水源, 增加了潮河水中 Fe 的含量, 加速了密云水库东库区水体的富营养化进程。为了更好地落实国务院批复的“21 世纪初期首都水资源可持续利用规划”和 2008 年北京“绿色”奥运的实现, 应在潮、白河流域统筹规划, 分步实施的基础上, 把防治的重点放在潮河流域。实现密云水库水资源可持续利用要解决的关键问题是: (1) 水量, 防止水资源枯竭; (2) 水质, 防治富营养化和蓝藻水华。两者均为复杂的生态学问题。在坚决治理点污染源的基础上, 对于面污染源应侧重于生态方法。为了保护密云水库的水质, 潮、白河流域的人民已经作出了长期的不懈努力, 承受着巨大经济损失。受益的北京市应该给潮、白河流域人民以生态补偿, 并积极支持上游人民连续退耕还林(草), 发展循环工业和生态农业, 以涵养水源、增加水量、改善水质, 实现水资源的可持续

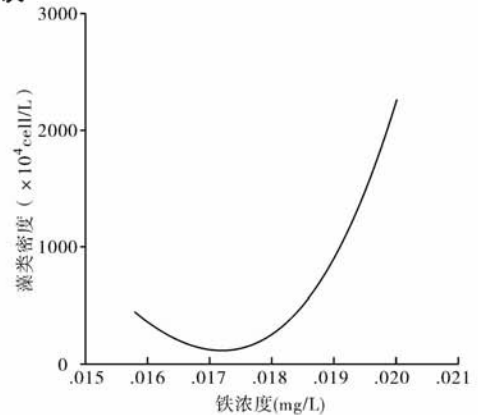


图 2 藻类细胞密度与铁浓度的关系
Fig.2 Relationship between cells density of phytoplankton and concentration of Fe

利用.

4 参考文献

- [1] 杜桂森. 密云水库水质研究. 北京师范学院学报, 1991, **12**: 82 - 85.
- [2] 宋 福, 张冀强, 王昕皓等. 密云水库水质探讨. 中国环境科学, 1996, **6**(4): 52 - 55.
- [3] 杜桂森, 孟繁艳, 李学东等. 密云水库水质现状及发展趋势. 环境科学, 1999, **20**(2): 110 - 112.
- [4] 王建平, 程声通, 贾海峰. 密云水库水质变化趋势研究. 东南大学学报(英文版), 2005, **21**(2): 215 - 219.
- [5] 金相灿, 屠清英. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 21 - 111.
- [6] 李瑞香, 朱明远. 铁对自然群落浮游植物生长的影响. 海洋科学进展, 2004, **22**(1): 50 - 54.
- [7] 欧明明, 张曼平, 冯媛媛. 海水中铁的几种形态对海生小球藻生长的影响. 青岛海洋大学学报, 2002, **32**(4): 627 - 633.
- [8] Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. *Archiv Für Hydrobiologie*, 1996, **62**: 1 - 28.
- [9] 舒金华, 黄文钰, 吴延根. 中国湖泊营养类型的分类研究. 湖泊科学, 1996, **8**(3): 193 - 200.
- [10] 日本水产学会. 韩书文, 鲁守范译, 水圈的富营养化与水产增殖. 北京: 农业出版社, 1986: 1 - 19.
- [11] 杨广杏, 李适宇, 李耀初. 里湖浮游藻类与氮、磷营养盐的相关性. 中山大学学报(自然科学版), 1998, **37**(2): 204 - 207.
- [12] 徐大勇, 张文丽, 曹江峪. 氮、磷对藻类生长及污水净化的影响. 西昌农业高等专科学校学报, 2003, **17**(2): 70 - 71.
- [13] Vollenweider R A. Elemental and biochemical composition of plankton biomass; some comments and explorations. *Arch Hydrobiol*, 1985, **105**: 11 - 29.