

官厅水库水体营养状况分析*

杜桂森¹ 王建厅² 张为华² 冯伶亲² 刘 静¹

(1: 首都师范大学生物系, 北京 100037; 2: 北京市水环境监测中心, 北京 100038)

提 要 2001-2002年的调研结果显示, 官厅水库为富营养型湖泊。初级生产力为浮游藻类与大型水生高等植物混合型。浮游藻类细胞密度为 1126.54×10^4 cells/L, 其中蓝藻占 53.4%, 绿藻占 32.1%。优势种为水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*) 和铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*)。7-10月库区水体出现大面积的微囊藻水华。TN、TP 分别为 1.182mg/L 和 0.045mg/L, 水体已达富营养。官厅水库 TN 和 TP 的质量浓度比大于 7, Chl a 与 TP 存在显著的正相关。磷是水体中初级生产力增长的限制性营养盐。官厅水库的污染物主要来自点源, 其次是面源和内源。应以点源为主进行综合防治, 恢复其饮用水源地功能, 以缓解北京市淡水资源的紧缺状态。

关键词 官厅水库 水体污染 富营养化

分类号 X524

官厅水库于 1954 年建成, 位于北京西北约 100km 处, 东经 $115^{\circ}30'$, 北纬 $40^{\circ}14'$ 。坝顶高程 485m, 设计总库容 $22.7 \times 10^8 \text{m}^3$, 相应 485m 高程的水面面积 238km^2 。入库河流有桑干河、洋河、妫水河, 坝址以上控制流域面积 43402km^2 。1989 年大坝加高、加固后, 坝顶高程为 492m, 总库容增加到 $41.6 \times 10^8 \text{m}^3$ 。至 2002 年, 官厅水库已安全运行 48 年, 在供水、灌溉、发电、防洪等方面发挥了巨大作用, 一直是北京两大供水水库之一。20 世纪 80 年代以来, 官厅水库由于水体污染逐渐严重^[1-3], 不符合国家规定的饮用水源标准 (GB3838-88), 于 1997 年被迫退出首都饮用水源系统, 使北京水资源紧缺问题更加突出。防治水体富营养化是各个国家和地区面临的共同问题^[4]。为了解官厅水库水体的营养程度、发展趋势和制约因素, 作者于 2001-2002 年对库区水体和上游流域的社会经济状况进行了调研, 以期为落实 21 世纪初期首都水资源可持续利用规划中提出的“稳定密云, 改善官厅”的重大措施提供依据。

1 调研方法

选择与水体富营养化密切相关的 12 个项目 (蓄水量、水深、水温、透明度、pH、TN、TP、 COD_{Mn} 、BOD₅、溶解氧、叶绿素 a、浮游藻类), 在库区设 5 个代表性断面 (图 1), 于 2001 年 8、9 月, 2002 年 4、6、8 月作现场调查, 同步取样, 分别进行定性、定量测定, 并对上游流域自然和社会经济状况进行调研^[5]。

2 结果与讨论

2.1 库区水体的理化特征 (图 2)

监测表明, 官厅水库 pH 值相对稳定。COD_{Mn} 总体上呈上升趋势, 表明水体中有机物含量增高, 2002 年 6 月水体中 COD_{Mn} 达 5.6mg/L。官厅水库 DO 含量有随着浮游藻类细胞密度增加或减少而变化的趋势。总氮 2002 年 4-6 月呈上升趋势, 6 月份最高 (2.420mg/L), 8 月份有所下降。2002 年 4 月总磷达到最高值 (0.051mg/L), 6 月有所下降, 而后又缓慢上升, 8 月达到 0.051mg/L。Chl. a 是浮游植物现存量的重要指标, 随着浮游植物密度的变化而升高或降低。官厅水库 Chl. a 含量 2002 年 4 月至 8 月呈递增趋势。8 月以后有所下降。2002 年 8 月比 2001 年 8 月的 Chl. a 含量要高出 95.4%。2002 年 8 月浮游藻类密度 (1823.16×10^4 cells/L) 比 4 月 (120.4×10^4 cells/L) 高 15.1 倍, 说明在富营养化湖泊中, 藻类密度随着光照的增强和水温

* 2003-07-25 收稿; 2004-01-12 收修改稿。杜桂森, 男, 1947 年生, 教授。

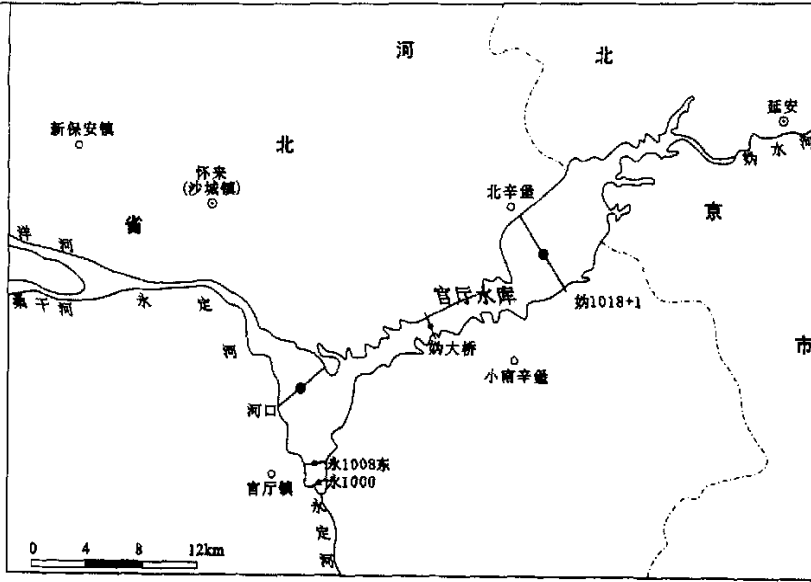


图1 官厅水库采样断面分布图

Fig. 1 Map of sampling point in Guanting Reservoir

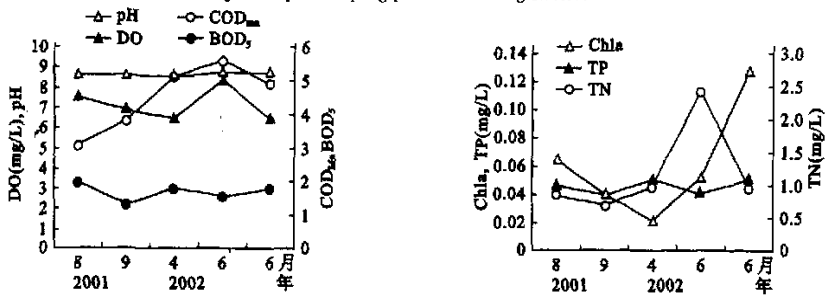


图2 官厅水库水质现状(2001-2002年)

Fig. 2 Water quality in Guanting Reservoir, 2001-2002

的升高而增加。

2.2 官厅水库的浮游藻类群落组成

从库区水体定性、定量水样中共鉴定出浮游藻类7门71种2变种^[6]。其中绿藻门(Chlorophyta)33种、2变种,占47.9%,蓝藻门(Cyanophyta)12种,占16.4%,硅藻门(Bacillariophyta)16种,占21.9%。此外,甲藻门(Pyrophyta)、隐藻门(Cryptophyta)各3种,裸藻门(Euglenophyta)、金藻门(Chrysophyta)各2种。平均密度为 1126.54×10^4 cells/L,其中绿藻门占32.1%,蓝藻门占53.4%,硅藻门占9.5%(图3)。蓝藻门中的水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae* Witttr Kivch.)和铜绿微囊藻(*M. aeruginosa* Kütz.)为优势种。

官厅水库平均水深7.6m。水体中除密度很大的浮游藻类外,还有分布面积广、生长旺盛的水生维管植物。其中沉水植物优势种主要有菹草(*Potamogeton crispus* L.)、大茨藻(*Najas marina* L.)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum* L.)、黑藻(*Hydrilla verticillata* Royle)、马来眼子菜(*P. malainus* Mia)、莴齿眼子菜(*P. pectinatus* L.)等。挺水植物主要是禾本科(Gramineae)、莎草科(Cyperaceae)和蓼科(Polygonaceae)的一些种类。

2.3 官厅水库的营养程度

国内外有关研究表明,氮、磷是造成水体富营养化的主要营养元素^[7]。根据 Sakamoto, Aizaki, Swindler 等提出的湖泊营养程度分级标准^[8-9],官厅水库均属富营养湖泊(TP, $45 \mu\text{g/L}$; TN, $1182 \mu\text{g/L}$; Chl. a, 6.1mg/L 。

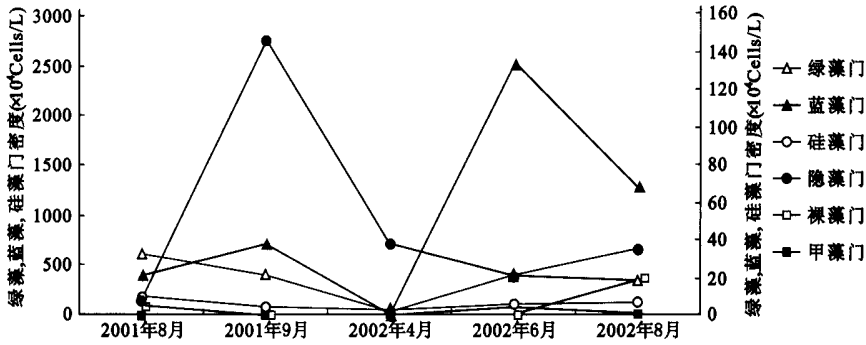


图3 官厅水库浮游藻类群落组成和密度(单位: ×10⁶cells/L)
 Fig. 3 Community composition and density of phytoplankton in Guanting Reservoir

m³; SD, 1.0m). Sakamoto^[10]对水体中 TN、TP 与浮游藻类现存量之间的关系研究表明,水体中 TN、TP 含量越高,浮游藻类现存量越多. 与 1988 年(TN, 1.18mg/L; TP, 0.043mg/L, 浮游藻类密度 967.1 × 10⁶cells/L) 相比,官厅水库 TP, TN 分别增长了 0.2% 和 4.7%, 浮游藻类细胞密度增长了 16.5%. 随着污染的加重,水体中许多生物因无法生存逐渐消亡,而一些耐污性种类则大量增殖,逐渐成为优势种群. 水体中生物种类越少,说明受到的污染程度越严重. 与 1988 年(89 种)相比,2002 年库区水体中浮游藻类种数减少了 18.0%, 水华微囊藻和铜绿微囊藻已成为优势种群. 在植物生长季节,库区水体有微囊藻形成的大片水华,8、9 月份在水面还出现大量淡蓝绿色泡沫. 浮游藻类和水生维管植物的快速增长,表明水体富营养化是官厅水库的首要问题.

2.4 官厅水库富营养化主要控制因子分析

2.4.1 官厅水库水体中氮、磷质量浓度比之间的关系 根据藻体中所含 C、N、P 原子的个数比率为 106:16:1,假定藻体以同样比率吸收 N 和 P,则可用此比率来确定限制性营养盐. 与氮磷原子个数比率为 16:1 相对应的氮、磷质量浓度比为 7.2:1. 因此,当水体中可能被藻类吸收的氮和磷质量浓度比小于 7 时,则氮时可能的限制性营养盐繁殖;如果比值大于 7 时,则磷是可能的限制性营养盐,当比值接近 7 时,则两者均可能时限制性营养盐. 由于湖泊水体中营养盐含量在年周期循环中变化较大,以氮、磷质量浓度年均值为基础的比值,常与藻体的氮磷质量浓度比(7.2:1)有很大差异,故判断限制性营养盐的氮磷质量浓度比应以藻类最大生物量时期(即藻类生长最旺盛时期)的值作为基础值. 2001 年与 2002 年的 4-9 月官厅水库 TN 与 TP 质量浓度平均值之比为 27,在藻类生长旺盛的 6-9 月份,TN 与 TP 质量浓度比均大于 7,说明磷是官厅水库初级生产力增长的限制性因子.

2.4.2 叶绿素和氮磷的相关分析 叶绿素是浮游植物现存量的重要指标,氮和磷则是浮游植物生长所必需的营养元素. 三者之间的相互关系对确定湖泊水体的限制因素具有重要意义. 对官厅水库 2001-2002 年的监测数据进行处理,得出 Chl. a 与 TN、TP 之间的相互关系如下:

$$\text{Chl. a} = 6.667 - 0.465\text{TN} \quad (r = -0.80); \quad \text{Chl. a} = 2.58\text{TP} - 5.636 \quad (r = 0.367)$$

湖水中的 Chl. a 与 TP 存在显著的正相关,即随着官厅水库磷含量的增高,官厅水库的藻类生物量相应的增长,说明了官厅水库藻类生产力的提高与磷负荷增加有相当的内在联系. 经相关分析表明总氮与 Chl. a 相关性不显著.

官厅水库的蓝藻和绿藻占浮游植物总量的 60% 左右,夏季高达 80%,其优势种为水华微囊藻、铜绿微囊藻和颤藻(*Oscillatoria* sp.). 官厅水库水体 TN:TP 质量比大于 7,对水体中占绝对优势的蓝藻而言,磷的含量与其增长密切相关,说明磷在制约着藻类的增殖,官厅水库属于磷控制型富营养湖泊.

2.5 官厅水库富营养化原因初探

据初步调查,官厅水库的污染物主要来自点源、面源和内源。

(1)点源:官厅水库上游地区共有厂矿企业 300 多家,主要行业有轻工、食品、酿造、医药、化工、机械、冶金、纺织、选矿等,年排放污水约 $7844.76 \times 10^4 \text{t}$,达标排放的企业只有 20 多家。人口集中的城镇有张家口市区、宣化区、下花园区、涿鹿县、怀来县城等。水库周边河北省境内有 13 家旅游点、疗养院和度假村。据初步统计,水库上游地区生活污水年排放量约 $4199.5 \times 10^4 \text{t}$,其中大部分未经处理直接排入河道,汇入库区。官厅水库上游地区年均产生垃圾约 $16361 \times 10^4 \text{t}$,主要有生活垃圾、建筑垃圾、矿业垃圾等。垃圾处理以卫生填埋为主,造成洋河、桑干河两岸垃圾成堆,严重破坏环境,污染河流。八号桥监测断面位于官厅水库上游的永定河上,汇集了桑干河、洋河的全部来水,水质污染严重。1984 年以来的结果显示,水质为劣 V 类。延庆桥妫水河入库监测断面,1984 年以来的结果显示,水质也为劣 V 类。点源污染是官厅水库的主要威胁^[1]。

(2)面源:官厅水库上游流域面积 43402km^2 ,其中山区、丘陵约占 67%,自然植被差,水土流失严重,使永定河的泥沙含量多年平均达 $19.2 \text{kg}/\text{m}^3$,仅次于黄河。至 1999 年官厅水库泥沙淤积量已达 $6.45 \times 10^8 \text{m}^3$,大量泥沙携带着营养元素和有机物质汇入库区沉积,既减少库容又增加了水体营养物质含量。化肥、农药是构成面源污染的重要组成部分。官厅水库上游地区有耕地约 $39.3 \times 10^4 \text{hm}^2$,1999 年施用化肥约 42050t,平均施肥量约 $107 \text{kg}/\text{hm}^2$;施用农药约 1753t,平均施用量约 $4.5 \text{kg}/\text{hm}^2$ 。中国环境科学研究院的实验研究表明,水田对化肥的利用率为 30%~50%,旱田对化肥的利用率为 40%~60%,大部分化肥通过分解、挥发、渗漏、淋溶等途径流失到环境中,污染水体。

(3)内源:主要是库底的沉积物。库底沉积物处于相对低温、缺氧状态,微生物降解缓慢且不彻底。调查中发现库区多处因沉积物中的有机物氧化不彻底而产生的甲烷(CH_4)、硫化氢(H_2S)、氨(NH_3)等气体形成的气泡间断成串上冒。冬季库区冰面上由于水体气泡上冒形成明显的结构。库区水体中浮游藻类密度大,细胞增殖迅速,死亡也快。死亡的藻体沉积到水底,又增加了沉积物中有机质含量。库底沉积物与水层物质交换周期短,营养盐能重复利用。库底沉积物是内污染源,而且具有持久性。在库区水 1000 和水 1008 断面取淤积物样品时,2m 长的钻管中全是黑臭泥,而且还未到底,表明官厅库区的内源污染很严重。

3 改善官厅水库水质的思考

3.1 以点污染源为重点进行综合治理

调查结果显示,造成库区水体富营养化的主要原因是各种点源污染物的排放。治理点源污染是改善官厅水库水质的首要任务。应按国家环境保护局的要求,排污企业必须按期实现达标排放,不能按期实现的坚决关停并转。同时要做出规划,建立污水处理厂,对城镇生活污水进行处理。对污染物质负荷实行总量控制,使其不超过流域内河流和库区水体的自净能力。

在官厅水库流域,特别是上游地区应借鉴我国西部大开发的经验,制定优惠政策,实行退耕还林(还草),增加植被覆盖度,提高水土保持能力。同时,应积极改变农村能源结构,推广先进的燃料技术(如秸秆气化),尽量减少农村打柴草对植被的破坏。以小流域为单位进行水土流失治理。调整种植结构,推广生态农业,减少农业用水量和化肥、农药施用量。

由于官厅水库上游地区水土流失严重,致使库区已累计淤积泥沙 $6.45 \times 10^8 \text{m}^3$ (1999 年),含有大量的营养盐和有机物,已成为湖泊内负荷的蓄积库。如何有效的减少库区水体的内源污染有待进一步实验研究。

3.2 建立流域经济体系,走水资源可持续利用之路

官厅水库上游地区位于河北省张家口市境内,地处蒙古高原与华北平原间的过渡带。入库河流为洋河、桑干河和位于北京市延庆县境内的妫水河。洋河、桑干河均流经 4 县。张家口市境内河流总长度 360km,总面积 $1.766 \times 10^4 \text{km}^2$,人口 302 万,耕地约 $39.3 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。几十年来,上游地区为保障输入官厅水库的水量和水质做出了巨大贡献。但随着经济发展和人民生活水平的提高,上游地区的拦蓄和用水量不断增加,排入河流的各种污染物逐渐增多,导致库区水体污染严重。官厅水库流域的地形、植被、经济结构、人口及生活方式等都影响着水量和水质。应打破条块分割,逐步建立起流域经济体系。相对发达的下游地区应支持上游地

区的经济发展,帮助上游地区建立循环工业和生态农业结构.对水量实行统一管理、合理调度,逐渐减少点源和面源污染,直至把污染物控制在水体自净的阈值之内.全流域各个方面共同努力,才能有效地涵养水源,保护水质,实现水资源的可持续利用.

参 考 文 献

- 1 杜桂森.官厅水库富营养化状况研究.北京师范学院学报(自然科学版),1989,10(3):82-85
- 2 张为华,武佃卫.官厅水系水质评价及建议.北京水利,1997,(6)
- 3 胡治飞,张振兴,郭怀成等.北京官厅水库水质预报系统.中国环境科学,2001,21(3):275-278
- 4 联合国环境规划(UNEP).水体富营养化.世界环境,1994,(1):23-26
- 5 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范.北京:中国环境科学出版社,1990:21-32
- 6 胡鸿钧,李晓英,魏印心等.中国淡水藻类.上海:上海科学技术出版社,1980
- 7 Thomas G H, Karyony E L, Hassan A H. Phosphorus-nitrogen loading and trend of fish catch as index of lake. *Mariut Eutrophication Egypt Public Health Assoc*, 1993, 68(5-6):93-615
- 8 宋福,张冀强,王昕皓等.密云水库水质探讨.中国环境科学,1986,6(4):52-55
- 9 Aizaki M, et al. Application of modified Carlson's trophic station index to Japanese lake and its relationships to others parameters related trophic state. *Res Rep Natl Inst Environ Stud*, 1981, 23:13-31
- 10 Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some japans lakes and its dependence on lake depth. *Archiv fur Hydrobiologie*, 1996, 62:1-28
- 11 姜树君,王净.官厅水库污染状况及趋势分析.北京水利,2003,(2):31-32

On the Nutrient Status of Guanting Reservoir, 2001 - 2002

DU Guisen¹, WANG Jianting², ZHANG Weihua², FENG Lingqin² & LIU Jing¹

(1: Dept. of Biology, Capital Normal Univ., Beijing 100037, P. R. China;

2: Monitoring Center of Beijing Water Environment, Beijing 100038, P. R. China)

Abstract

The investigations in 2001 - 2002 revealed that Guanting Reservoir was a eutrophic lake. The density of phytoplankton was 1126.54×10^4 cells/L, with 53.4% of Cyanophyta and 32.1% of chlorophyta. Water blooms of *Microcystis* from July to November were noted. The content of TN and TP was separately 1.182 mg/L and 0.045 mg/L, indicating the reservoir water has come up to eutrophication. The quality ratio of TN and TP in Guanting reservoir was more than 7 and the concentration of chlorophyll-a had close relation with TP. The phosphorus was the limitative nutrient element to algal growth in the reservoir. The pollutants were mainly from point and/or non-point sources and lake sediment. To resume the function of water supplier and mitigate the staggering situation of water supply in Beijing, it is necessary to harness the pollution in the basin synthetically, i. e., to put point sources under strict control.

Keywords: Guanting Reservoir; water pollution; eutrophication.