

北京城区河湖水质分析*

杜桂森¹, 吴玉梅², 扬忠山², 武佃卫², 刘靖¹

(1:首都师范大学生命科学学院 北京 100037)

(2:北京市水环境监测中心 北京 100038)

摘要:调研结果显示,2003年北京城区河湖(11个监测水体)总磷、总氮含量分别为0.142mg/L、1.481mg/L,已达到比较严重的富营养状态。北京城市河湖属于藻型水体,初级生产力主要决定于浮游藻类的群落结构与密度。河湖水体中浮游藻类密度为 37867.82×10^4 cells/L,其群落由蓝藻(Cyanophyta)、绿藻(Chlorophyta)、硅藻(Bacillariophyta)、甲藻(Pyrophyta)、隐藻(Cryptophyta)、黄藻(Xanthophyta)、金藻(Chrysophyta)和裸藻(Eugleniphyta)构成。群落中蓝藻占绝对优势(89.54%)。在近几年的夏秋季连续发生程度不同的微囊藻(microcystis)水华,对水体功能和城市景观造成了不良影响。主要原因是:(1)氮磷和有机物的污染,(2)给城市河湖补给的水量少,(3)河湖生态系统被损害,水体自净能力差。本文对如何改善北京城市河湖水质提出了建议。

关键词:北京;城区河湖;富营养;微囊藻水华

Analysis of Water Quality on Urban Rivers and Lakes in Beijing

DU Guisen¹, WU Yumei², YANG Zhongshan², WU Dianwei² & LIU Jing¹

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

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

Abstract: The research results indicate that total phosphorus and total nitrogen of urban rivers and lakes in Beijing had been attained separately 0.142mg/L and 1.481mg/L in 2003. The water bodies belonged to hyper-trophic type. The primary production was determined by community structure and cells density of phytoplankton. The urban rivers and lakes in Beijing were a water body of algal type. Phytoplankton cells density were 37867.82×10^4 /L and the community were constructed by Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Cryptophyta, Xanthophyta, Eugleniphyta, Pyrophyta and Chrysophyta. 89.54% was blue-green algae in phytoplankton community. The water bloom of blue-green algae had taken place continuously in summer and autumn in recent years. Its influence was not good to function of water body and city view. The primary factor was: (1) pollution of nitrogen, phosphorus and organic material; (2) water quantity to supply the rivers and lakes were short; and (3) the ecosystem of urban rivers and lakes were changed and self-cleaning capacity was reduced seriously. The proposal to improve water quality of urban rivers and lakes in Beijing were advanced in the paper.

Keywords: Beijing; urban rivers and lakes; eutrophication; water bloom of blue-green algae

北京城区河湖具有供水、防洪和环境生态三种功能,特别是在构建城市景观、传承古都文化、调节城市气候、创造适合城区人民生活、工作环境方面的作用尤为突出。北京城区河湖的设施和水质是面向国内外的窗口、是实现“绿色奥运”的重要组成部分,同时也体现着一座城市的经济发展和文明程度。北京城区河湖的设施已得到明显改善,景观效果显著提高,但近几年水质变差,连续发生微囊藻水华,对城区水环境和首都声誉产生了不良影响,已引起各界人士的关注。城市河湖的富营养化在国内外较为普遍,对于北京城市河湖的水质曾有报道^[1-3]。为了解北京城区河湖水体的营养程度、水华发生原因与制约因素,近几年我们进行了连续监测和调研,以期改善北京城区河湖水质提供依据。

* 北京市重大科技项目资助(H01211001011903)。2004-12-28收稿;2005-04-28收修改稿。杜桂森,男,1947年生,教授。E-mail: duguisen@126.com.

1 材料与方法

北京城区的西北侧有团城湖、昆明湖(通过水闸相连),西侧有昆玉河,西南侧有永定河罗道庄段、玉渊潭湖及其向南输水河道的二热闸段,南侧有南护城河,东侧有龙潭湖,北侧有小月河及土城沟,城区中部有长河与北护城河。北京城市心脏区域有六海(西海、后海、前海、北海、中海、南海)与筒子河(图1)。长河通过松林闸向六海及筒子河输水。我们在长河水系(麦钟桥至筒子河出口)选择了11个监测断面,并以团城湖作对照。从河湖生态系统中确定了与水体富营养化密切相关的11个项目:即水深、水温、透明度(SD)、pH值、溶解氧(DO)、总氮(TN)、总磷(TP)、化学耗氧量(COD_{Mn})、生化需氧量(BOD₅)、叶绿素a(chla)和浮游藻类群落构成与细胞密度^[4],于2003年4至10月定期作现场调查,同步取样,分别进行定性、定量测定和统计分析。2001年—2004年对水华发生状况进行观测。



图1 北京城区河湖与监测点(昆明湖至筒子河出口)分布
Fig. 1 Map of monitoring point in lakes and rivers Beijing city

2 结果与讨论

2.1 河湖水体的理化性状

北京城区长河水系平均水深仅131 cm,且基本稳定,只有补水时才有缓慢流动,缓冲和自净能力很弱。6、7、8月水温最高,平均为26.8℃,4月与10月相接近(相差0.96℃),5月与9月是春夏与夏秋之间的过度期。河湖水温的升降、浮游藻类密度的变化与北京地区(39°28′-41°05′N,115°25′-117°3′E)中纬度、暖温带、半湿润、大陆季风气候的年周期季节更替相适应。河湖水体的透明度很低,平均仅46 cm(表1),主要受浮游生物密度的影响,说明水体的污染状况与富营养化程度较重。COD_{Mn}和BOD₅已分别达到7.429 mg/L与4.343 mg/L(图2),表明北京城市河湖水体中能被氧化的无机物质和能被微生物降解的有机物质均处于较高水平。按我国地表水环境质量标准(GB3838-2002),在北京城市河湖12个监测水体中,团城湖水质较好,TP为Ⅲ类、TN为Ⅱ类;松林闸TP为Ⅳ类、TN为Ⅴ类;西海TP为Ⅳ类、TN为Ⅴ类,其它9处水体的富营养程度介于团城湖与松林闸、西海之间(图2、3)。

北京城区河湖4-10月,日间水体处于偏碱性状态(pH 8.64-8.88,表1),我们每月定期观测的时间均在9:30-15:30,是一天中光照强,水温高,藻类光合作用旺盛时段。北京城区河湖清淤、硬化后,水生维

管植物极少,藻类是主要的初级生产力. 由于藻类密度大,旺盛的光化学合成作用大量消耗了溶解在水体中的 CO₂,使水体 pH 值升高,同时释放 O₂,使水体 DO 增加^[5]. 太阳降落后,藻类的光合作用停止,但水体中各种生物的呼吸作用和有机物的氧化分解仍继续进行,使水体中 CO₂浓度增加,pH 下降,O₂迅速减少,直至黎明前的几个小时达到日周期中的最低值,使水体处于缺氧状态,导致鱼类等对 DO 敏感的水生生物窒息死亡. 在温度较高的 7、8、9 月,我们作现场调查时经常看到水面有死鱼、死螺漂浮.

表 1 北京城区河湖的物理指标和 pH 值
Tab.1 Physical characters and pH in lakes and rivers, Beijing city

时间	水深 (cm)	水温 (°C)	SD (cm)	pH
4 月	99	12.93	55	8.77
5 月	149	22.99	60	8.7
6 月	124	26.64	41	8.64
7 月	125	27.78	48	8.82
8 月	121	26.04	35	8.87
9 月	149	21.38	41	8.81
10 月	150	11.97	42	8.88
\bar{x}	131	21.39	46	8.78

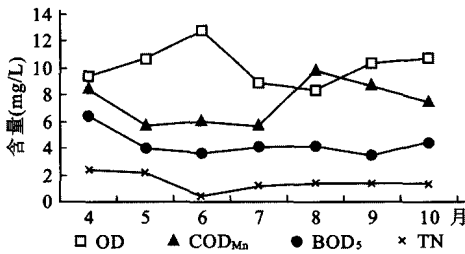


图 2 北京城区河湖 4 项化学指标的变化

Fig. 2 Change of 4 item chemical characters on urban lakes and rivers, Beijing

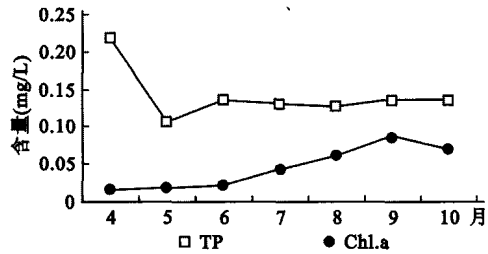


图 3 北京城区河湖 2 项化学指标的变化

Fig. 3 Change of 2 item chemical characters on urban lakes and rivers, Beijing

2.2 河湖水体的富营养状态

湖泊与缓慢流动的河流中, TN、TP、COD_{Mn}、chl_a 和 SD 是反应水体营养程度的主要指标,而且存在着明显的相关性. Aizaki 修正的 Carlson 营养状态指数——TSI (Tropic state index) 计算公式,以 chl_a 为基准,较好地解决了浮游藻类以外的因子对 SD 的影响,并分析了 chl_a 与 TN、TP、COD_{Mn} 等指标的相关性,得出了 TSI_m 计算公式^[6]. 利用指数的大小来判别湖泊的营养状态, TSI_m < 37, 贫营养; TSI_m 38 - 53, 中营养; TSI_m > 53, 富营养^[5]. 由于此法科学性较强,已被国内外广泛采用. 北京城市河湖 5 项参数(表 1, 图 2、3)的 TSI_m 值计算结果为:

$$\begin{aligned} \text{TN}(\text{TSI}_m) &= 71.9 & \text{TP}(\text{TSI}_m) &= 73.3 & \text{SD}(\text{TSI}_m) &= 76.9 \\ \text{COD}_{Mn}(\text{TSI}_m) &= 70.6 & \text{Chl}_a(\text{TSI}_m) &= 62.0 & & \end{aligned}$$

TSI_m 显示,北京城市河湖水体为富营养型.

国内外许多研究显示,氮磷是造成水体富营养化的主要元素^[7]. Sakamoto 通过调查日本的调型和湖泊与河流的主要化学成分,并在综合各国研究成果的基础上,提出了以 TN、TP 为标准的湖泊营养状态分级标准. 按此标准北京城市河湖水体中 TP、TN 含量已经达到较严重的富营养程度(表 2).

2.3 河湖水体中浮游藻类的群落构成、密度与优势种群的指示作用

2.3.1 浮游藻类的群落构成和密度 北京城区河湖水体中浮游藻类群落由蓝藻(Cyanophyta)、绿藻(Chlorophyta)、硅藻(Bacillariophyta)、隐藻(Cryptophyta)、黄藻(Xanthophyta)、裸藻(Euglenophyta)、甲藻(Pyrrhophyta)和金藻(Chrysophyta)构成。4-10月细胞密度平均达到 3.78×10^8 cells/L, 4月密度相对较小, 而后随着光照的增强和水温的升高增加, 8-9月达到高峰, 10月明显下降。北京城市河湖的浮游藻类中蓝藻为绝对优势, 细胞密度占总数的89.54%, 其次为绿藻和硅藻, 细胞密度分别占总数8.38%、1.27%(图4)。

表2 北京城区河湖的营养状态

Tab. 2 Trophic state of urban rivers and lakes in Beijing

营养程度	TP(μg/L)	TN(μg/L)
贫营养	2-20	20-200
中营养	10-30	100-700
富营养	20-90	500-1300
北京城市河湖	141.9	1481.1

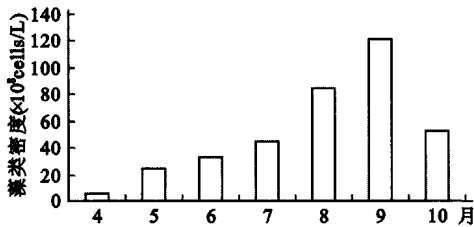


图4 北京城区河湖浮游藻类密度变化
Fig. 4 Density change of phytoplankton in Beijing urban lakes

出现频度均为100%。它们都是富营养或重富营养型水体的指示种群, 说明北京城区河湖的富营养程度比较严重。

3 关于改善北京城区河湖水质的建议

2001-2004年的调研结果显示, 引起北京城市河湖水体富营养化和发生蓝藻水华的主要原因是: (1) 以N、P为主的植物营养物的污染。2003年城区河湖TN、TP含量平均已分别达到V类、IV类; (2) 城市河湖补给水量少。补给的水量仅能够维持水体的蒸发与渗漏, 河湖水浅, 流动性差, 缓冲能力明显下降; (3) 城市河湖底部硬化、河道两侧与湖泊周围衬砌, 虽然减少了水的渗漏, 但却破坏了水体生态系统, 使其自净能力急剧降低。

改善城市河湖水质是北京城市生态环境建设和实现“绿色奥运”的重要组成部分, 是首都各界人士的期盼。根据近几年的调研结果, 对如何改善北京城市河湖水质提出如下建议:

(1) 采取有力措施减少点源、面源对河湖的污染。如清除排污口, 进行雨水、污水排放系统的分流改道, 防止污水和固体废弃物向城市河湖排放等。在环境综合治理中, 把消减面源污染作为重要内容, 将生态工程与环境工程相结合, 控制河湖水体的营养盐浓度。

(2) 适当增加城市河湖的生态用水。北京水资源紧缺, 在有可能的情况下, 尽量增加城市河湖的补给水量, 以提高河湖水体的缓冲与自净能力。在有条件的地方, 可对中水在河湖景观水体中的应用进行实验。

(3) 建立城市河湖水系良性循环系统。利用工程和生物措施尽快修复受损的城区河湖生态系统, 提高水体自净能力, 促进良性循环。

(4) 加强宣传教育, 制定相应条例。通过各种方式加强宣传教育, 提高市民, 特别是河湖汇水区群众的环保意识, 自觉地保护水环境, 不乱倒污水和垃圾, 不损坏植被。为实现北京奥运行动计划中提出的青山、碧水、绿地、蓝天和建设生态城市的目标做贡献。

4 参考文献

- [1] 杜桂森,孟繁艳,寇淑清等.北京城近郊区湖泊营养状态评价.首都师范大学学报(自然科学版),1993,14(4):16-21.
- [2] 杜桂森,王建厅,张为华.北京城市河湖营养状态分析.北京水利,2002,6:25-27.
- [3] 屠清瑛,章永泰,扬贤智.北京什刹海生态修复实验工程.湖泊科学,2004,16(1):61-66.
- [4] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范(第二版).北京:中国环境科学出版社,1990:21-32.
- [5] 联合国环境规划署(UNEP).水体富营养化.世界环境,1994,1:23-26.
- [6] 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.
- [7] Thomas GH et Karyony, Hassan AH. 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] 日本水产学会.韩书文,鲁守范译.水圈的富营养化.北京:农业出版社,1986:1-23.

作者: [杜桂森](#), [吴玉梅](#), [扬忠山](#), [武佃卫](#), [刘靖](#), [DU Guisen](#), [WU Yumei](#), [YANG Zhongshan](#), [WU Dianwei](#), [LIU Jing](#)

作者单位: [杜桂森, 刘靖, DU Guisen, LIU Jing\(首都师范大学生命科学学院北京, 100037\)](#), [吴玉梅, 扬忠山, 武佃卫, WU Yumei, YANG Zhongshan, WU Dianwei\(北京市水环境监测中心北京, 100038\)](#)

刊名: [湖泊科学](#) **ISTIC PKU**

英文刊名: [JOURNAL OF LAKE SCIENCES](#)

年, 卷(期): 2005, 17(4)

被引用次数: 13次

参考文献(8条)

1. [杜桂森;孟繁艳;寇淑清](#) [北京城近郊区湖泊营养状态评价](#)[期刊论文]-[首都师范大学学报\(自然科学版\)](#) 1993(04)
2. [杜桂森;王建厅;张为华](#) [北京城市河湖营养状态分析](#)[期刊论文]-[北京水利](#) 2002(6)
3. [屠清瑛;章永泰;扬贤智](#) [北京什刹海生态修复实验工程](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2004(01)
4. [金相灿;屠清瑛](#) [湖泊富营养化调查规范](#) 1990
5. [联合国环境规划署\(UNEP\)](#) [水体富营养化](#) 1994(01)
6. [Aizaki M](#) [Application of modified Carlson's trophic station index to Japanese lake and Its relationships to others parameters related trophic state](#) 1981
7. [Thomas G;Het Karyony;Hassan AH](#) [Phosphorus-nitrogen loaing and trend of fish cath as index of lake Mariut](#) 1993(5-6)
8. [日本水产学会;韩书文;鲁守范](#) [水圈的富营养化](#) 1986

本文读者也读过(10条)

1. [伍晓涛. 王世峰](#) [水质分析质量控制的探讨](#)[期刊论文]-[城市建设](#)2010(21)
2. [杨卫红. YANG Wei-hong](#) [对《水工混凝土水质分析试验规程》的探讨](#)[期刊论文]-[云南水力发电](#)2005, 21(6)
3. [孙一平. SUN Yi-ping](#) [浙江省供水水质网上管理系统的开发](#)[期刊论文]-[中国给水排水](#)2006, 22(4)
4. [李季芳](#) [水质分析数据合理性检验方法](#)[期刊论文]-[山西水利](#)2006, 22(2)
5. [张津京. 陈欣娟](#) [水质测试结果的质量分析](#)[期刊论文]-[陕西煤炭](#)2008, 27(2)
6. [吕唤春. 陈英旭. 虞左明. 王飞儿. 方志发](#) [千岛湖水体主要污染物动态变化及其成因分析](#)[期刊论文]-[浙江大学学报\(农业与生命科学版\)](#)2003, 29(1)
7. [张晋红. ZHANG Jin-hong](#) [质量控制在水质分析化验中的应用](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#)2009, 19(14)
8. [王子江. 吴芳若. 李蓉仑. WANG Zi-jiang. WU Fang-ruo. LI Rong-lun](#) [《铁路工程水质分析规程》侵蚀性分析应注意的问题](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#)2009(8)
9. [敖静](#) [浅水湖泊二维水流—沉积物污染水质耦合模型研究与应用](#)[学位论文]2005
10. [张青. 杜禹. 张华孝. 徐泽海](#) [干旱区湖泊水质预测的数学模型](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#)2003, 33(12)

引证文献(13条)

1. [王云中. 杨成建. 陈兴都](#) [西安市景观水体营养状态调查及浮游藻类多样性研究](#)[期刊论文]-[环境监测管理与技术](#) 2010(3)
2. [何望. 欧燎原. 陈湘芝. 张政军. 廖伏初. 黄向荣. 曾春芳](#) [东江湖水环境动态变化及评价](#)[期刊论文]-[水生态学杂志](#) 2009(2)
3. [万晓红. 李旭东. 王雨春. 陆瑾. 赵茵茵. 刘玲花. 周怀东](#) [不同水生植物对湿地无机氮素去除效果的模拟](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2008(3)

4. [刘载文](#), [杨斌](#), [黄振芳](#), [张艳](#) [基于神经网络的北京市水体水华短期预报系统](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2007(28)
5. [万晓红](#), [刘玲花](#), [王雨春](#), [周怀东](#), [匡尚富](#) [水生植物模拟湿地对受污河水中氮素去除的初步研究](#)[期刊论文]-[水利水电技术](#) 2007(11)
6. [曲疆奇](#), [张清靖](#), [刘盼](#), [贾成霞](#), [朱华](#), [李文通](#) [北京陶然亭湖水质的时空变化](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2013(4)
7. [贺晓庆](#), [黄俊雄](#), [雷思聪](#) [引温济潮工程受水区水质分析评价](#)[期刊论文]-[北京水务](#) 2009(5)
8. [刘波](#), [崔莉凤](#), [刘载文](#) [北京市城区地表水体叶绿素a与藻密度相关性研究](#)[期刊论文]-[环境科学与技术](#) 2008(8)
9. [陈思佳](#), [苏德荣](#) [北京市绿地中不同水体水质状况的监测与比较](#)[期刊论文]-[中南林业科技大学学报](#) 2013(6)
10. [高媛媛](#), [王红瑞](#), [韩鲁杰](#), [王岩](#), [王喆](#) [北京市水危机意识与水资源管理机制创新](#)[期刊论文]-[资源科学](#) 2010(2)
11. [陈英硕](#), [刘娇](#), [顾华](#), [王帅](#) [潮白河\(顺义段\)水体富营养化分析与评价](#)[期刊论文]-[北京水务](#) 2011(4)
12. [史明](#), [王昉](#), [黎聪](#), [潘星](#), [曾庆伟](#) [基于TM数据北京城区水体叶绿素a浓度反演方法研究](#)[期刊论文]-[环境科技](#) 2012(6)
13. [万晓红](#), [匡尚富](#), [周怀东](#), [王雨春](#) [外源氮素对人工湿地N20排放通量影响的研究](#)[期刊论文]-[中国水利水电科学研究院学报](#) 2009(4)

引用本文格式: [杜桂森](#), [吴玉梅](#), [扬忠山](#), [武佃卫](#), [刘靖](#), [DU Guisen](#), [WU Yumei](#), [YANG Zhongshan](#), [WU Dianwei](#), [LIU Jing](#) [北京城区河湖水质分析](#)[期刊论文]-[湖泊科学](#) 2005(4)