

调查与评价

玄武湖蓝藻水华成因探讨

张哲海, 梅卓华, 孙洁梅, 欧阳夏骏
(南京市环境监测中心站, 江苏 南京 210013)

摘要: 为了解南京玄武湖蓝藻水华的成因, 对玄武湖长期监测资料进行了分析和现场调查。结果表明, 玄武湖鲢鳙急剧减少中断了正常的食物链, 使浮游植物的牧食压力降低, 在东南湖回水的诱因作用下, 发生了以微囊藻为优势种群的蓝藻水华。指出, 玄武湖蓝藻水华的发生进程表明, 东南湖回水可能是蓝藻水华发生的诱因, 生态失衡是蓝藻水华发生的主要原因, 蓝藻水华的暴发与富营养化程度无显著相关性, 其暴发加重了玄武湖富营养化程度。

关键词: 蓝藻; 水华; 富营养; 玄武湖

中图分类号: X824 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2006)02-0015-04

Study on the Reasons of Blue Alga in Xuanwu Lake of Nanjing

ZHANG Zhehai MEI Zhuo Hua SUN Jie Mei OUYANG Xiajun

(Nanjing Environmental Monitoring Central Station, Nanjing, Jiangsu 210013, China)

Abstract In order to find out the reasons of blue alga in Xuanwu Lake, this article had investigated the long term monitoring information of Xuanwu Lake and the results had shown that the most important reason is sharp decline of two kinds of fishes so that the normal food chain was interrupted and the amount of phytoplankton was increased in short time with the reason of circle water in its East-South part. The eruption course of blue alga had shown that its inducement was because of circle water in its East-South part and its main reason was environment unbalance. In addition, there is no relativity between the pollution of blue alga and the degree of over-enrichment and the eruption of blue alga will aggravate the level of over-enrichment of Xuanwu Lake.

Key words Blue alga; Water pollution; Over-enrichment; Xuanwu Lake of Nanjing

2005年7月, 南京玄武湖首次发生大面积以微囊藻为主要优势种群的蓝藻水华。蓝藻水华大量聚集于下风向岸边及死水区域, 造成湖水水质恶化, 局部区域散发恶臭气味, 严重破坏了玄武湖的景观功能, 并危及水产养殖和水上运动功能。现通过对玄武湖长期监测资料的分析 and 现场调查, 探讨玄武湖蓝藻水华的成因, 为玄武湖的长效治理提供依据。

1 玄武湖水环境特征

1.1 自然概况

玄武湖属于浅水湖泊, 面积为 3.7 km²。常年水位为 9.8 m~10.2 m, 在 10 m 水位时, 平均水深 1.2 m~1.3 m, 库容约 5 × 10⁶ m³。玄武湖区域属暖湿的亚热带气候, 多年平均气温为 15 °C ~

16 °C, 一般 7 月至 8 月气温最高, 平均 28 °C 左右。年均降水量约 1 000 mm。

1.2 环境综合整治状况

玄武湖于 1997 年 12 月) 1998 年 4 月实施了全湖清淤。1998 年完成了环湖截污, 雨季每天最大截流污水 6.2 万 t, 旱季每天最少截流污水 2.3 万 t, 平均每天截流污水约 3 万 t。除暴雨时入湖口闸满溢外, 基本无点源污染, 仅存少量的非点源污染。

从 2000 年起, 玄武湖实施了生态补水, 引大桥水厂生态补水量为 5 万 t/d, 2003 年生态补水量为 18 万 t/d, 2004 年达 28 万 t/d。

收稿日期: 2005-10-25; 修订日期: 2006-02-25

作者简介: 张哲海 (1965), 男, 河南上蔡人, 工程师, 大学, 从事环境监测工作。

2004 年 5 月) 2005 年 6 月因隧道施工在东南湖围堰, 2005 年 6 月 8 日东南湖开始回水, 引水约 180 万 m³ 从北湖进入东南湖, 6 月 19 日东南湖全面恢复水面, 水位标高约 10.2 m, 水深 1.3 m ~ 1.5 m。

2 监测分析方法

监测点位: 在玄武湖 4 个湖心布设 4 个监测点。

监测项目: 水温、SD、DQ、pH、COD、I_{mn}、TN、NH₄⁺-N、TP、浮游植物、浮游动物、底栖动物。

监测频次: 理化指标每月一次, 生物指标每年 4 次, 蓝藻水华暴发期间不定期采样分析。

监测方法: 5 水和废水监测分析方法 6 (第四版) 5 湖泊富营养化调查规范 6。

评价标准: 5 地表水环境质量标准 6 (GB 3838 - 2002)。

3 结果分析

3.1 玄武湖富营养化趋势

用修正的 Carlson 综合营养状态指数 (TSI_c) 评价玄武湖的富营养化水平, 公式为:

$$TSI_c = 49.5 + 13.81 \lg Q(Chl a) + 6.56 \lg Q(TP) + 4.19 \lg Q(TN) + 1.74 \lg Q(I_{mn}) - 1.74 \lg Q(SD)$$

玄武湖综合营养状态指数变化见图 1。2003 年) 2005 年玄武湖综合营养状态指数变化图 2。

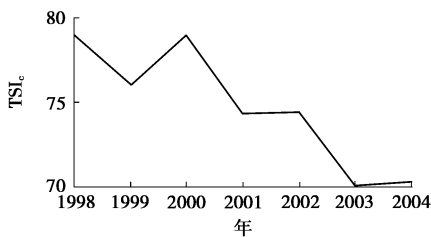


图 1 玄武湖综合营养状态指数变化

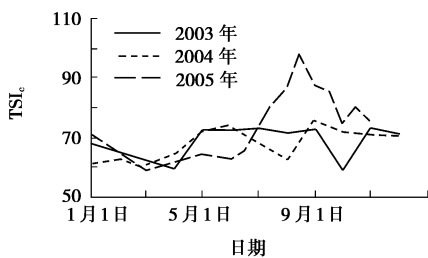


图 2 2003 年) 2005 年玄武湖综合营养状态指数变化

由图 1、图 2 可见, 1998 年) 2004 年, 玄武湖富营养化水平有所缓解, 由重富营养化降低为富营养化水平。2005 年 7 月蓝藻水华暴发, Chl a、TP 浓度值大幅升高, 玄武湖处于极富营养化状态。

3.2 理化指标

2003 年) 2005 年玄武湖理化指标变化见图 3。

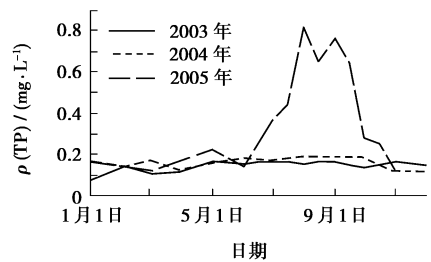
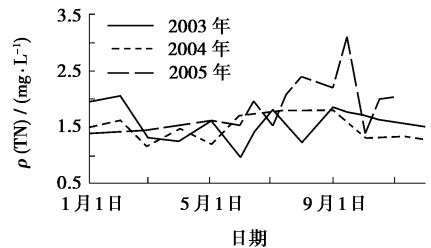
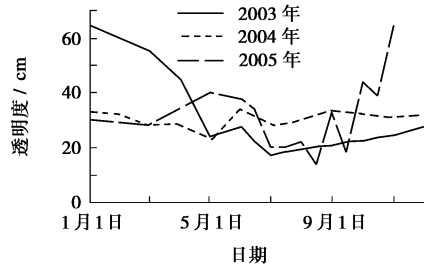
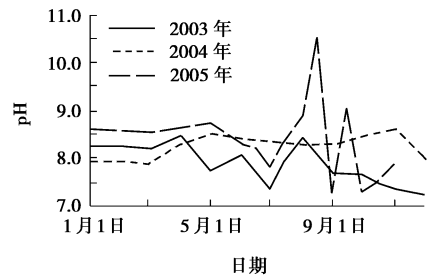
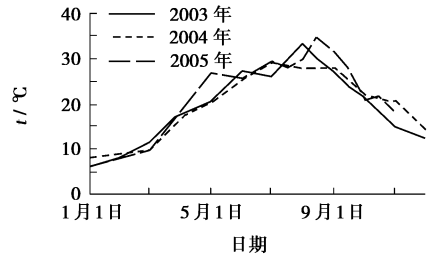


图 3 2003 年) 2005 年玄武湖理化指标变化

由图 3 可见, 水温、透明度、pH、TP、TN 变化有一定差异。湖水水温受气候影响 2005 年 5 月较 2004 年同期上升 6.5℃。水体透明度因悬浮于水体表层的微囊藻绿色网状胶群体而大幅下降。微囊藻暴发性增殖, 光合作用消耗大量水体中 CO₂, 水体 pH 值大幅升高, 最高达 11。pH 值和温度的升高加快了底泥的释磷速率, 水体中 TP 质量浓度值急剧上升。TN 中有机氮占 93.3% ~ 98.7%, TN 质量浓度值的升高主要与浮游植物生物量有关。

3.3 生态结构

3.3.1 浮游植物

2003 年和 2004 年, 玄武湖浮游植物组成主要以蓝藻、绿藻和硅藻为主, 种类数有所上升, 主要优势种为小环藻、蓝纤维藻等。浮游植物数量 2003 年为 $4.4 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 2004 年为 $7.9 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 2005 年 6 月东南湖复水后, 玄武湖浮游植物数量为 $1.68 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$, 种类数 38 种, 优势种为蓝纤维藻、

小环藻、隐藻, 浮游植物组成与往年基本一致。7 月份后蓝藻水华暴发, 其组成主要以蓝藻为主, 种类数急剧下降, 最低为 4 种; 微囊藻占绝对优势, 其数量比例最高接近 100%; 浮游植物数量大幅上升, 最高为 $5.23 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$; 浮游植物生物量也大幅提高。2003 年) 2005 年玄武湖 Chl a 年度变化见图 4, 2005 年浮游植物数量组成的同期变化见表 1, 2005 年各湖区浮游植物种类数量变化见表 2。

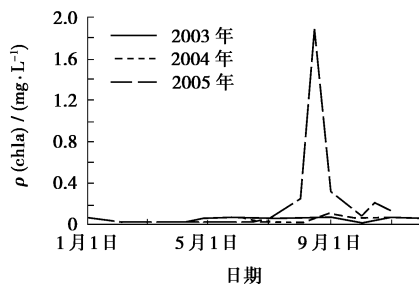


图 4 2003 年) 2005 年玄武湖 Chl a 年度变化

表 1 2005 年浮游植物数量组成的同期变化

日期	微囊藻	蓝藻	绿藻	硅藻	隐藻	裸藻	甲藻	总数
2005 年 4 月 4 日	0	1 280	360	1 950	2 000	4 25	0	5 590
2005 年 6 月 20 日	26.3	434	700	302	230	7.00	7.00	1 680
2005 年 7 月 14 日	9 100	9 180	409	63.4	31.2	0.348	0.195	9 690
2005 年 7 月 19 日	8 130	8 130	396	2.34	0.215	0.198	0.108	8 520
2005 年 8 月 2 日	5 960	5 980	61.5	1.33	0.329	0	0	6 040
2005 年 8 月 16 日	136 000	137 000	423	15.5	109	0	0.035	138 000

表 2 2005 年各湖区浮游植物种类数量变化

湖区	6 月 20 日		7 月 14 日		7 月 19 日		8 月 2 日		8 月 16 日	
	种类数	数量 / 10^7 L^{-1}	种类数	数量 / 10^7 L^{-1}	种类数	数量 / 10^7 L^{-1}	种类数	数量 / 10^7 L^{-1}	种类数	数量 / 10^7 L^{-1}
东南湖	13	0.53	15	9.4	15	7.2	10	9.2	18	6.5
东北湖	18	1.3	10	11	6	7.8	11	2.8	17	0.32
西北湖	21	1.7	11	11	13	11	8	4.5	8	20
西南湖	27	3.2	24	6.8	17	7.8	10	7.5	4	520

由表 2 可见, 在蓝藻水华暴发前后, 玄武湖各湖区浮游植物种类数量分布差异显著。6 月 20 日东南湖回水的稀释作用, 东南湖浮游植物种类数量最少; 西南湖区湖水受回水影响较小, 种类数量均较高。8 月份后, 玄武湖再次启动生态补水, 主流经区域东北湖、东南湖浮游植物数量下降, 种类数增加。但西南湖、西北湖因湖水交换缓慢和风向影响, 浮游植物种类数量变化与东北湖、东南湖

相反。

3.3.2 浮游动物

2003 年和 2004 年, 玄武湖浮游动物数量年均值分别为 3.915 L^{-1} 和 7.679 L^{-1} , 原生动物为主要优势种群。2005 年 6 月, 西南湖浮游动物数量为 4.391 L^{-1} , 轮虫为优势种群; 2005 年 9 月, 西南湖浮游动物数量为 $8.535 \text{ L}^{-1} \sim 59.234 \text{ L}^{-1}$, 各种群数量均大幅提升, 其中轮虫、枝角类、桡足类升幅较

大, 优势种群为原生动物。

3.3.3 底栖生物

2003 年和 2004 年, 玄武湖底栖动物数量分别为 549 m^{-2} 和 367 m^{-2} , 主要优势种为粗腹摇蚊。2005 年 1 月) 7 月, 西南湖底栖动物数量为 $384 \text{ m}^{-2} \sim 480 \text{ m}^{-2}$, 优势种为粗腹摇蚊。

3.3.4 鱼类

玄武湖人工养鱼始于 20 世纪 70 年代, 养鱼规模由 1970 年的 835 kg/hm^2 增加到 1980 年的 1839 kg/hm^2 , 1980 年) 1986 年鱼产量维持 1839 kg/hm^2 。1986 年后, 玄武湖鱼产量减少, 至 2004 年鱼产量为 200 kg/hm^2 。2003 年前, 玄武湖鲢鳙比例为 70% ~ 80%, 2003 年后由于隧道施工未放养鱼苗, 玄武湖鱼类现存量约 $4 \times 10^4 \text{ kg}$ 鲢鳙鱼仅占 1%。玄武湖鱼产量变化见图 5。

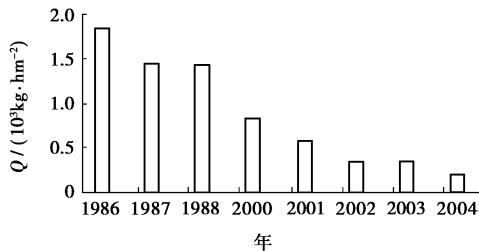


图 5 玄武湖鱼产量变化

4 讨论

4.1 玄武湖富营养化水平与蓝藻水华的关系

玄武湖近年来均处于重富营养化 - 富营养化状态, 经过多年的综合整治, 富营养化程度逐年下降, 在蓝藻水华发生前已接近中富营养化水平。有学者曾提出微囊藻水华暴发与氮、磷等营养盐浓度并无直接关系^[1], 陈宇炜^[2]指出太湖微囊藻水华暴发虽与氮、磷等营养盐浓度值过高有关, 但并没有显著的相关关系。从玄武湖近年来富营养化水平的变化可见, 蓝藻水华的暴发与富营养化程度无显著的相关性。

武汉东湖^[3]和山东东周水库^[4]围隔试验结果表明蓝藻水华的暴发诱导沉积物中磷的大量释放, 而玄武湖蓝藻水华暴发后, 水体 TP 质量浓度值也大幅升高。另外, 微囊藻大量增殖, 水体中 Chla 浓度值、有机氮浓度值随之上升, 水体透明度下降, 加重了水体富营养化程度。

4.2 东南湖回水时间与蓝藻水华的关系

根据有关资料, 玄武湖曾于 1990 年 4 月、9 月进行了两次引水冲污, 引水后浮游植物数量、生物量急剧上升, 但对浮游植物群落结构影响较小。而此次东南湖回水选择在 6 月, 较高的水温 (26 e 左右) 宜于蓝藻的生长而对其他藻类生长有所抑制^[5], 大量的回水稀释了浮游生物数量同时也为浮游生物的迅速繁殖提供了空间, 加之玄武湖水体 pH 偏碱性, 形成了蓝藻大量增殖的环境和条件。

4.3 生态结构变化与蓝藻水华的关系

蓝藻水华暴发前, 玄武湖生态结构与往年相比, 鱼类数量种类有明显变化。因隧道施工, 玄武湖 2003 年和 2004 年未放养鱼苗, 鱼类组成鲢鳙由 70% 下降至 1%, 鲢鳙的存量由 2000 年以前的 $> 50 \text{ g/m}^3$ 急剧下降至 2005 年 $< 5 \text{ g/m}^3$ 。鲢鳙属滤食性鱼类, 主要滤食浮游植物和浮游动物。武汉东湖的围隔试验表明^[3], 鲢鳙养殖密度的上升是导致东湖 20 世纪 80 年代中期蓝藻水华消失的根本原因, 东湖有效控制蓝藻水华的鲢鳙生物量的临界阈值为 50 g/m^3 。玄武湖鱼类, 尤其是鲢鳙的大幅减少, 使水体生态结构失衡, 中断了正常的食物链, 大型浮游植物的牧食压力降低, 使微囊藻得以迅速成为优势种群暴发蓝藻水华。

5 结论

玄武湖蓝藻水华的发生进程表明, 鲢鳙鱼类的急剧减少使大型浮游植物的牧食压力降低, 是微囊藻暴发性增殖的主要原因。东南湖回水后为浮游植物迅速增殖提供了空间, 由于回水时机不当, 形成了蓝藻大量繁殖的环境和条件。蓝藻水华的发生与富营养化程度虽无显著的相关性, 但其暴发后加重了玄武湖富营养化程度。

[参考文献]

- [1] BUCKA H. Ecology of selected planktonic algal causing water blooms [J]. *Acta Hydrobiol* 1989, 31(3/4): 207-258.
- [2] 陈宇炜, 高锡云, 陈伟民, 等. 太湖微囊藻的生长特征及其分离纯培养的初步研究 [J]. *湖泊科学*, 1999, 11(4): 351-356.
- [3] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] 李琪, 李德尚, 熊那喜, 等. 放养鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix* C et V) 对水库围隔浮游生物群落的影响 [J]. *生态学报*, 1993, 13(4): 30-37.
- [5] 胡川, 康升云. 蓝藻发生与控制方法初探 [J]. *江西水产科技*, 2001(4): 35-37.