

# 横山水库浮游植物群落结构季节性变化特征

吴东浩, 徐兆安, 王 玉, 高 怡

(太湖流域管理局水文水资源监测局, 江苏 无锡 214024)

**摘要:**分析了2010–2011年不同季节横山水库浮游植物群落结构的变化特征。结果表明,4个季节共采集到90种(属)浮游植物,蓝藻和硅藻在横山水库浮游植物季节性演替中的作用非常重要。在太湖流域首次发现拟柱胞藻(*Cylindrospermopsis* sp.),夏季在水库成为优势种并引起水华,密度达到 $1.01 \times 10^8$ 个/L。富营养化日趋严重的横山水库为拟柱胞藻水华奠定了基础。作为生态入侵种,拟柱胞藻可以产生毒素,危害生态系统和人体健康。应加强监测和流域综合管理,防止拟柱胞藻水华扩散到流域内其它大型水库。

**关键词:**拟柱胞藻;横山水库;浮游植物

中图分类号:Q145 文献标志码:A 文章编号:1674–3075(2012)04–0054–04

作为太湖流域内重要的大型水库,横山水库在保障宜兴市饮用水安全方面起着重要的作用。2005年,横山水库被水利部和国家环保总局列为全国唯一的水源地保护示范性综合试点。由国务院批复实施的《太湖流域水环境综合治理总体方案》中,建议将横山水库岸边300~500 m范围内划为“红线”区(中华人民共和国国务院,2008);江苏省政府推出的《太湖流域水环境综合治理实施方案》中,明确提出要重点实施横山水库饮用水安全保障工程(江苏省人民政府办公厅,2008)。对流域内浙江省的69个重要水库型水源地进行评价,其营养状态年际变化总体有加重的趋势(蔡临明,2010)。目前,江苏省尚未进行系统的水库富营养化状况评价研究,通过比较分析近几年的《太湖流域及东南诸河重点水功能区水资源质量状况通报》,可见江苏省的水库富营养化状况也日趋严重。谢福林和于涛(2009)的研究结果表明,2008年横山水库水质基本符合饮用水源的水质要求,但TN、TP、BOD<sub>5</sub>等主要污染指标接近或超过地表水Ⅱ类标准。

由于富营养化问题日益突出,许多水库甚至发生不同程度的水华(刘蕾等,2008)。近年来,关于水库浮游植物群落结构的研究逐渐增多(刘霞等,2003);但太湖流域的相关研究较少。本文根据2010–2011年的调查结果,研究了横山水库浮游植物群落结构的季节性变化,旨在为该水库富营养化防治及水资源保护与可持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 水库概况

横山水库是太湖流域七座大型水库之一,位于江苏省宜兴市宜溧太华山区,是屋溪河水系的拦蓄工程。横山水库北依西渚镇横山村,南靠太华镇,库周属宜溧山脉太华低山丘陵区,流域南部与安徽广德接壤;水库总库容1.02亿m<sup>3</sup>,流域总面积154.8 km<sup>2</sup>,其中,宜兴市太华镇85.4 km<sup>2</sup>,占55.2%;溧阳市横涧镇69.4 km<sup>2</sup>,占44.8%。横山水库是无锡地区唯一的大(Ⅱ)型水库,为江苏省宜兴市城镇供水的主要水源地,也是太湖流域重要的源头水保护区之一;水库汇水面积内有众多纵横交错的涧水呈扇形汇入水库,杨店涧和横涧是2条主要入库河流。水库以防洪、供水为主,结合发电、水产养殖等综合利用。

### 1.2 样品采集与分析

选择库首近出水口处的A点和分别受横涧镇、太华镇来水影响的B点和C点作为年度浮游植物群落结构调查站点(图1)。2010年的6月、9月、11月和2011年的2月采集浮游植物样本,分别代表春季、夏季、秋季和冬季;水样均取自水面以下0.5 m。由于2010年年末,太湖流域降水较少且水库的蒸发量较大,从而导致水库水位急剧下降,受采样条件的限制,2011年2月的A点位未采集样品。

浮游植物的采集和人工镜检参照《水和废水监测分析方法》(第4版)(水和废水监测分析方法编委会,2002)。相关理化数据由江苏省无锡市水利局提供。

收稿日期:2011–10–25

基金项目:水利部生态修复试点城市委托监测项目。

作者简介:吴东浩,1987年生,男,助理工程师,主要从事水生态监测与修复工作。E-mail: wudonghao@126.com

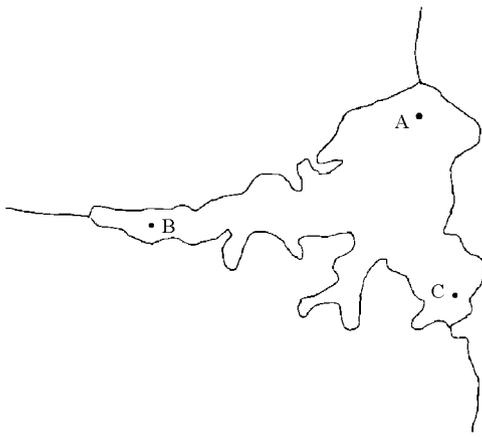


图1 横山水库采样点示意

Fig. 1 Sampling sites in the Hengshan Reservoir

### 1.3 数据分析

基础数据统计分析在 Excel 2003 中完成,相关图形制作在绘图软件 Origin 7.5 中完成。应用 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )进行浮游植物群落结构评价。

$$H' = - \sum_{i=1}^n \left( \frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

式中: $N$ 为样品中所有浮游植物的总个体数; $n_i$ 为第*i*个物种的数量。

## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物数量的季节性变化

横山水库四季共采集到 90 种(属)浮游植物,但未采集到黄藻门的种类。就整个横山水库而言,春季藻类密度最低,为  $5.17 \times 10^6$  个/L,以硅藻和蓝藻为主;夏季水体中藻类密度最高,总数可以达到  $1.10 \times 10^8$  个/L,其中绝大部分为蓝藻;秋季藻类密度迅速降低,以蓝藻和隐藻为主;冬季藻类密度有所上升,并且基本以硅藻为主(表1)。总体说来,蓝藻和硅藻在横山水库的浮游植物季节性演替中的作用非常重要。

表1 横山水库浮游植物的季节性变化

Tab. 1 Seasonal variation of phytoplankton community

季节	community						
	蓝藻	硅藻	绿藻	隐藻	甲藻	金藻	裸藻
春	139	278	50.2	46.5	2.79	0	0.34
夏	10 800	67	73.6	25.3	3.96	0	11.80
秋	528	147	69.1	177.0	1.23	2.87	3.64
冬	20	1 560	17.4	6.3	0	0	0

3个监测站点中,春季、夏季和秋季的浮游植物群落结构相似,冬季干旱少雨,横山水库水位较低,受上游来水的影响,太华监测站点附近水域水体浑

浊,可能有利于肘状针杆藻(*Synedra ulna*)的大量繁殖,该站点肘状针杆藻的密度达到  $1.76 \times 10^7$  个/L,远高于横涧站点。

### 2.2 浮游植物优势种的季节性变化

四季中,出现频率较高的种类主要是一些  $\beta$  中污型至多污型水体指示种类,如蓝藻中微囊藻(*Microcystis*)、硅藻中的小环藻(*Cyclotella*)和桥弯藻(*Cymbella*),说明横山水库遭受了一定程度的有机污染。在秋季采集到了金藻门中的密集锥囊藻(*Dinobryon sertularia*),其为清洁水体指示种并且分布在温度较低的水体中,但是冬季并未采集到该种,可能与冬季水体较浑浊有关(林秋奇等,2003)。

本次调查共采集到 16 种(属)的蓝藻,夏季水体中的藻类密度特别高,此时期的优势种为拟柱胞藻(*Cylindrospermopsis* sp.),整个水库平均值达到  $1.01 \times 10^8$  个/L;进入秋季后,其数量迅速下降,平均值仅为  $6.05 \times 10^5$  个/L;另外,春季和冬季并未在水体中检测到拟柱胞藻,说明温度的高低是左右拟柱胞藻能否大量繁殖的重要环境因子(江启明等,2010)。虽然国内有拟柱胞藻相关的研究报道(刘蕾等,2008;江启明等,2010),但该藻在太湖流域为首次发现。

Sommer 等(1986)通过对大量温带湖泊浮游生物和理化因子数据的分析,提出了著名的 PEG (plankton ecology group)模型,认为浮游植物群落季节演替是从冬春的隐藻和硅藻转变为夏季的绿藻,到夏末秋初则是蓝藻占优势,秋季时硅藻数量再次上升,这一模式主要反映中营养水平、深水湖泊的情况;但本研究中,发现蓝藻在春季已大量出现,进入夏季大量繁殖形成水华,且一直延续到秋末(11月),即蓝藻在横山水库的生长时间大大延长,这是该水库富营养化的标志。

### 2.3 浮游植物多样性指数的季节性变化

由表2可以看出,横山水库秋季的 Shannon-Wiener 多样性指数最高,夏季最低,春季和冬季相近;夏季由于拟柱胞藻单一物种的大量繁殖,群落结构极不稳定,所以多样性指数较低;秋季,随着拟柱胞藻密度降低,其它藻类种类和密度迅速上升,从而导致群落多样性指数迅速升高。微囊藻作为长江中下游大型浅水湖泊水华优势种一直倍受关注,本研究中发现,横山水库夏季和秋季水体中的微囊藻密度一直处于较低的水平,平均值仅为  $9.80 \times 10^5$  个/L,说明在适宜条件下,拟柱胞藻相对于微囊藻具备更强的竞争力(Wu et al, 2009)。

表2 横山水库不同季节的多样性指数  
Tab.2 Seasonal variation of Shannon-Wiener diversity index

季 节	采样站点			多样性 指数均值
	A	B	C	
春	2.35	3.41	2.69	2.82
夏	0.12	0.65	1.71	0.83
秋	3.28	3.85	3.60	3.58
冬	/	3.29	2.14	2.71

### 3 讨论

#### 3.1 拟柱胞藻水华的特殊性

横山水库藻类密度呈现出强烈的季节性变化,春季最低,进入夏季后,藻类密度迅速上升,达到 $1.10 \times 10^8$ 个/L,主要是由拟柱胞藻贡献。与常见的微囊藻水华不同,拟柱胞藻水华通常发生在水面以下2~3 m (Saker & Griffiths, 2001);另外,拟柱胞藻水华通常不产生有异味的挥发性有机化合物(Chiswell et al, 1997),所以其水华通常不易被察觉。从镜检结果可以看出,横山水库夏季实际已发生拟柱胞藻水华。作为生态入侵种,拟柱胞藻水华相关报道更多地出现在非洲、美国、澳大利亚和欧洲(Wu et al, 2009)。国内,该种水华相关报道目前仅局限在福建和广东地区(刘蕾等, 2008;江启明等, 2010),在太湖流域属于首次发现。由于形态相似,拟柱胞藻曾被错误地鉴定为项圈藻(*Anabaenopsis*)和尖头藻(*Raphidiopsis*)等藻类(Hawkins et al, 1997),该种具有直线型和卷曲型2种形态(McGregor & Fabbro, 2000),并且在本研究中都有发现,且以直线型为主;另外,本次研究也发现,拟柱胞藻没有异形胞且很少形成孢子,与Amand (2002)的研究结果一致;可以推断横山水库的氮浓度已达到足够维持其大量繁殖的水平。将横山水库的浮游植物群落结构与华南地区发生拟柱胞藻水华的水库相比,发现在这些水库中,蓝藻和硅藻所占的比例都比较大,而且在温度较低的季节水体中检测不到拟柱胞藻(刘蕾等, 2008;江启明等, 2010);轻度富营养化水体浮游植物季节性演替过程中,蓝藻和硅藻的比重一般比较大,说明拟柱胞藻水华需要一定的营养水平和温度支持。

#### 3.2 拟柱胞藻水华的危害及其控制

拟柱胞藻可以产生拟柱胞藻毒素,其中直线型的藻丝细胞个体较大且每个细胞可以产生的毒素更高,拟柱胞藻毒素对动物的肝脏和肾脏造成损害(Saker et al, 2003);所以夏秋季节抑制拟柱胞藻水华的发生显得尤为重要。横山水库夏季水体浑浊

(横涧和太华站点平均透明度仅为0.46 m),为拟柱胞藻的大量繁殖创造了有利条件。拟柱胞藻具有较强的适应能力,对磷的吸收和利用能力较强(Wu et al, 2009);另外,有研究表明,较高的水温和较差的水体流动性等环境特征有益于拟柱胞藻水华的发生(McGregor & Fabbro, 2000)。因此,控制过量营养物质的输入是改善横山水库水质的当务之急,而加强水库水体流动性的调控也是管理横山水库水质和控制拟柱胞藻水华再次发生的重要途径。

太湖流域是典型的水质型缺水地区,且流域内各水资源分区的水质状况不容乐观,河湖生态系统遭到严重破坏(朱威, 2003;叶建春等, 2007a; 2007b)。相对而言,流域内的7座大型水库水质较好,总库容达到10.17亿 $m^3$ ,在保障流域防洪抗灾和饮用水安全方面起着重要作用;但最新的《太湖流域及东南诸河重点水功能区水资源质量状况通报》显示,这7座大型水库的水质均未达到相应的水功能区目标,河口水库水质甚至降到V类(太湖流域管理局, 2011)。太湖地区气候条件差异较小,流域内其它大型水库在营养盐水平和水文条件方面存在一定的相似性;因此,应加强流域综合管理与污染控制,防止拟柱胞藻水华范围的进一步扩大。

#### 参考文献

- 蔡临明. 2010. 浙江省重要水库型饮用水水源地富营养化态势分析及对策[J]. 中国水利, (11): 19-20.
- 江启明, 侯伟, 顾继光, 等. 2010. 广州市典型中小型水库营养状态与蓝藻种群特征[J]. 生态环境学报, 19(10): 2461-2467.
- 江苏省人民政府办公厅. 2008. 太湖流域水环境综合治理实施方案[R].
- 林秋奇, 胡切, 段舜山, 等. 2003. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应[J]. 生态学报, 23(6): 1101-1108.
- 刘蕾, 雷腊梅, 肖利娟, 等. 2008. 一座南亚热带小型水库水体营养状态与浮游植物的季节变化[J]. 生态科学, 27(2): 71-76.
- 刘霞, 杜桂森, 张会, 等. 2003. 密云水库的浮游植物及水体营养程度[J]. 环境科学研究, 16(1): 27-29.
- 水和废水监测分析方法编委会. 2002. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 太湖流域管理局. 2011. 太湖流域及东南诸河重点水功能区水资源质量状况通报[R].
- 谢福林, 于涛. 2009. 横山水库水源地水质现状及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2(5): 136-139.
- 叶建春, 贾更华, 朱威. 2007a. 加强太湖流域综合管理 维护

- 河湖健康生态[J]. 人民长江, 38(11): 1-3.
- 叶建春, 李蓓, 陈方. 2007b. 太湖流域河道内用水控制指标分析计算[J]. 水利水电技术, 38(3): 1-5.
- 中华人民共和国国务院. 2008. 太湖流域水环境综合治理总体方案[R].
- 朱威. 2003. 太湖流域水质型缺水问题和对策[J]. 湖泊科学, 15(2): 133-138.
- Amand S A. 2002. *Cylindrospermopsis*: an invasive toxic algae [J]. *Lakeline*, 22: 36-38.
- Chiswell R, M Smith, R Norris, et al. 1997. The cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii*, and its related toxin, cylindrospermopsin[J]. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 3(1): 7-23.
- Sommer U, Gliwicz Z M, Lampert W, et al. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters[J]. *Arch Hydrobiol*, 106: 433-447.
- Hawkins P R, N R Chandrasena, G J Jones, et al. 1997. Isolation and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* from an ornamental lake[J]. *Toxicon*, 35(3): 341-346.
- McGregor G B, L D Fabbro. 2000. Dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanoprokaryota) in Queensland tropical and subtropical reservoirs: Implications for monitoring and management [J]. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 5(3): 195-205.
- Saker M L, D J Griffiths. 2001. Occurrence of blooms of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya and Subba Raju in a north Queensland domestic water supply [J]. *Marine and Freshwater Research*, 52(6): 907-915.
- Saker M L, I C G Nogueira, V M Vasconcelos, et al. 2003. First report and toxicological assessment of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* from Portuguese freshwaters [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55(2): 243-250.
- Wu Z, Shi J, Li R. 2009. Comparative studies on photosynthesis and phosphate metabolism of *Cylindrospermopsis raciborskii* with *Microcystis aeruginosa* and *Aphanizomenon flos-aquae* [J]. *Harmful Algae*, 8(6): 910-915.

(责任编辑 万月华)

## Seasonal Variation of Phytoplankton Community Structure in Hengshan Reservoir

WU Dong-hao, XU Zhao-an, WANG Yu, GAO Yi

(Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, P. R. China)

**Abstract:** As a large reservoir in Taihu basin, Hengshan Reservoir plays an important role in flood control and drinking water safety of Yixing City. In the present study, the seasonal variations of phytoplankton assemblages were investigated between 2010 and 2011. A total of 90 taxa were identified and most of them belonged to blue-green algae and diatom. *Cylindrospermopsis* sp. was the first time found in Taihu basin, which could induce algal bloom in summer with the density reached to  $1.01 \times 10^8$  cells/L. More and more pollutants were flowed into Hengshan Reservoir in recent years, which lay the foundation for *Cylindrospermopsis* bloom. As an invasive cyanobacterium, *Cylindrospermopsis* can produce several toxins, which would be endangered to ecological system equilibrium and public healthy. Through regulating the nutrients concentrations and water level or hydraulic retention time in Hengshan Reservoir, *Cylindrospermopsis* blooming would be controlled. Meanwhile, we should increase monitoring frequency and strengthen management in order to prevent *Cylindrospermopsis* invading other large reservoirs of Taihu basin.

**Key words:** *Cylindrospermopsis* sp.; Hengshan Reservoir; phytoplankton