

梁开学, 王晓燕, 张德兵, 等. 汉江中下游硅藻水华形成条件及其防治对策[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(12J): 113-116. Liang Kai-xue, Wang Xiao-yan, Zhang De-bing, et al. Ecological conditions of diatom water bloom formulation in the middle and lower reach of the Hanjiang River and strategy for water bloom control[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 35(12J): 113-116.

# 汉江中下游硅藻水华形成条件及其防治对策

梁开学<sup>1</sup>, 王晓燕<sup>1</sup>, 张德兵<sup>2</sup>, 周裕红<sup>3</sup>

(1. 湖北省水利厅, 湖北 武汉 430071 2. 长江水利委员会长江中游水环境监测中心, 湖北 武汉 430012;  
3. 长江水利委员会汉江水环境监测中心, 湖北 丹江口 442700)

**摘要:** 文章总结了汉江中下游五次硅藻水华开始发生的时间、地点及范围、持续时间、浮游植物最高密度以及浮游植物群落结构特点, 1992-2000 年汉江中下游硅藻水华呈现加重趋势, 2000 年以后, 硅藻水华发生范围有所减小, 但发生频度明显增加。在对历次硅藻水华形成的气象条件、水文条件、营养条件和生物条件进行分析的基础上, 从控制汉江污染途径、提高汉江中下游硅藻水华预警时效和生态调水方式等方面, 提出了防治汉江中下游硅藻水华对策。

**关键词:** 汉江中下游; 硅藻水华; 生态条件; 水华防治

中图分类号: X522 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2012.12J.026 文章编号: 1003-6504(2012)12J-0113-04

## Ecological Conditions of Diatom Water Bloom Formulation in the Middle and Lower Reach of the Hanjiang River and Strategy for Water Bloom Control

LIANG Kai-xue<sup>1</sup>, WANG Xiao-yan<sup>1</sup>, ZHANG De-bing<sup>2</sup>, ZHOU Yu-hong<sup>3</sup>

(1. Department of Hubei Water Resources, Wuhan 430071, China;

2. Yangtze Mid-reaches Water Environmental Monitoring Center of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430012, China;

3. Hanjiang River Water Environment Monitoring Centre of Changjiang Water Resources Commission, Danjiangkou, 442700, China)

**Abstract:** The present paper reported the time, place, range, duration, the highest density of phytoplankton and community structure characteristics of 5 diatom water blooms in the middle and lower reach of the Hanjiang River. The results indicated that there is a worse trend for the occurrence of diatom water blooms from 1992-2000 in the middle and lower reaches of the Hanjiang River. After 2000, the range of diatom water bloom was smaller but the frequency was significantly higher. Based on the analysis of meteorological, hydraulic, nutritional and biological conditions for diatom water bloom occurrence, strategies for controlling diatom water bloom in the middle and lower reaches of the Hanjiang River was put forwarded from different aspects of water pollution control in the Hanjiang River, early warning and ecological water transition.

**Key words:** Hanjiang River; diatom water bloom; ecological condition; water bloom control

汉江是长江中游最长的一级支流,也是湖北省第二大河流,发源于陕西秦岭南麓,流经陕西和湖北两省,在武汉市汇入长江。干流全长 1 577 km,流域面积  $15.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,年径流总量为  $591 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。汉江干流丹江口以上为上游,河道长 925 km,占全长的 58.7%,流域面积  $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占全流域的 59.9%。上游位于秦岭与大巴山之间,两岸坡陡谷深,只有少数盆地,地形以山地为主,占 79%,丘陵占 18%,平原占 3%。丹江口至钟祥为中游,河道长 270 km,流域面积  $4.68 \times 10^4$

$\text{km}^2$ ,钟祥以下至汉口为下游,流经江汉平原,河道长 382 km,流域面积  $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。汉江中下游人口密度较高,经济较发达,经济社会活动较为活跃,在湖北省经济社会发展中具有重要地位。汉江中下游发生硅藻水华,对该地区造成诸多不利影响,也给饮水安全带来潜在威胁。有关汉江中下游硅藻水华研究已有较多报道,作者根据已有的研究报道,对历年硅藻水华发生情况、形成原因进行了总结和分析,并提出了汉江中下游硅藻水华防治对策。

《环境科学与技术》编辑部 (网址) <http://fjks.chinajournal.net.cn> (电话) 027-87643502 (电子信箱) [hjkyjys@126.com](mailto:hjkyjys@126.com)

收稿日期 2012-05-03,修回 2012-09-03

作者简介 梁开学(1963-),男,高级工程师,学士,主要从事水资源与环境管理技术工作 (电话) 027-87221837 (电子信箱) [liangkx21842@163.com](mailto:liangkx21842@163.com)。

## 1 硅藻水华发生情况

### 1.1 硅藻水华发生频度

自 1992 年 2 月汉江中下游首次发生硅藻水华以来,之后分别于 1998 年、2000 年、2003 年、2008 年 2 月,在中下游江段共出现了 5 次硅藻水华<sup>[1-3]</sup>。2008 年以后,虽然没有像以前那样全面报道,但据调查和了解,在汉江中下游江段,特别是下游东荆河几乎每年春季均会发生不同程度的硅藻水华。汉江中下游硅藻水华发生频率由多年一次增加到几乎每年一次。

### 1.2 硅藻水华发生特点

根据已有报道<sup>[1-3]</sup>,汉江中下游五次硅藻水华发生

特点见表 1。从表 1 可以看出,汉江中下游硅藻水华开始发生时间最早在 2 月 7 日、最晚在 2 月 28 日。1992-2000 年,硅藻水华呈现加重趋势,水华发生范围由潜江以下江段逐步向上游推进,最上到达钟祥。发生水华时浮游植物最高密度由  $2.104 \times 10^4$  cells/L 增加到  $7.460 \times 10^4$  cells/L。持续时间也有增加。浮游植物群落结构也有一些变化,硅藻所占比例由 90% 下降到 60% 左右,绿藻所占比例上升到 20% 左右。2003 年以后硅藻水华主要发生在下游的武汉江段和东荆河,浮游植物最大密度大幅下降、持续时间缩短。表明汉江中下游硅藻水华发生范围有所减小。

### 1.3 硅藻水华种类

表 1 汉江中下游硅藻水华特点

| 出现年份   | 开始时间     | 地点及范围        | 持续时间/d | 浮游植物最高密度/ $\times 10^4$ cells/L | 浮游植物群落结构                         |
|--------|----------|--------------|--------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1992 年 | 2 月 7 日  | 潜江以下约 240 km | 18     | 2 104                           | 硅藻占 90%,其他 10%,优势种类为梅尼小环藻。       |
| 1998 年 | 2 月上旬    | 沙洋以下约 300 km | >20    | 2 877                           | 硅藻 53%~60% 绿藻 33%,优势种类为梅尼小环藻。    |
| 2000 年 | 2 月 28 日 | 钟祥以下约 400 km | >20    | 7 460                           | 硅藻 60% 绿藻 20%,其他 20%,优势种类为梅尼小环藻。 |
| 2003 年 | 2 月 23 日 | 汉江武汉段        | 6      | 3 500                           |                                  |
| 2008 年 | 2 月 24 日 | 东荆河段         |        |                                 |                                  |

有关汉江硅藻水华的研究报道,大多将汉江硅藻水华种类确定为小环藻属(*Cyclotella*)种类<sup>[2,4]</sup>。郑凌凌在运用传统光学显微镜和电子显微镜进行形态分类基础上,通过分子生物学手段对此水华优势种的分类地位进行研究,初步将汉江硅藻水华优势种定为冠盘藻属(*Stephanodiscus*)种类<sup>[5]</sup>。

## 2 硅藻水华形成的生态条件

### 2.1 气象条件

1992 年、1998 年和 2000 年汉江中下游三次硅藻水华发生前一段时间久旱少雨,1-2 月平均降雨量比往年同期减少幅度较大。同时气候晴暖、气温偏高、光照充足<sup>[6-7]</sup>。光照直接影响藻类光合作用,适宜的光照强度和波长将导致藻类大量生长繁殖。在一定的光强范围内,小环藻(*Cyclotella*)的生长随光强的增加而加快,当光强低于 2 000 lux 时,硅藻细胞仍可正常繁殖,2 000~5 000 lux 时,生长最佳,但当光强提高到 8 000 lux 时,生长速度明显减慢,10 000 lux 时,细胞变白,生长完全停止<sup>[8]</sup>。汉江水华硅藻室内实验表明,较低光照强度(5、10  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$ )条件下,该硅藻比增长速率较低,光照强度为 20、30、50  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$  时,比增长速率差别不大,且比 5、10  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$  条件下该水华藻类比增长速率高,但 50  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$  条件下,其比增长速率略低于 20、30  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$ ,以 30  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$  条件下,其比增长速率最快<sup>[9]</sup>。因此,适宜小环藻(*Cyclotella*)或汉江水华硅藻生长的最适光照为 2 000~5 000 lux 或 30  $\mu\text{Es}^{-1}\text{m}^{-2}$ 。

### 2.2 水文条件

水温:硅藻适应的温度范围较广,在 15~35  $^{\circ}\text{C}$  之间均生长良好,但以 20~30  $^{\circ}\text{C}$  时为最佳。室内实验表明,汉江水华硅藻在 30  $^{\circ}\text{C}$  的高温条件下,几乎不生长。20  $^{\circ}\text{C}$  最适宜该水华藻类细胞分裂及色素积累,在此温度下,藻类光合作用能力强,合成产物含量高<sup>[5]</sup>。汉江中下游历次硅藻水华发生时的实测水温在 10~13  $^{\circ}\text{C}$  之间,比不发生硅藻水华年份水温通常高 2  $^{\circ}\text{C}$  以上<sup>[2]</sup>,但比室内实验得出的最适水温要低得多。

水位、流量与流速:发生硅藻水华的 1992 年、1998 年、2000 年 1-3 月,皇庄、沙洋和仙桃水文站平均水位分别为 40.72 m、33.29 m 和 23.61 m,平均流量分别为 422  $\text{m}^3/\text{s}$ 、432  $\text{m}^3/\text{s}$  和 424  $\text{m}^3/\text{s}$ ,与未发生硅藻水华的 1991 年、1993-1997 年、1999 年 1-3 月相比,平均水位分别降低了 1.08 m、1.16 m 和 1.35 m,平均流量分别降低了 53.83%、52.00% 和 49.94%<sup>[9]</sup>。1992 年、1998 年、2000 年发生硅藻水华时仙桃水文站和宗关断面的流速分别为 0.59~0.75 m/s、0.13~0.21 m/s,比 1993-1997 年和 1999 年同期流速低 0.18~0.52 m/s 和 0.11~0.45 m/s<sup>[7,10]</sup>。谢敏等分析得出汉江硅藻水华发生的临界流量在 500  $\text{m}^3/\text{s}$  附近<sup>[10]</sup>。王红萍等以藻类密度  $500 \times 10^4$  cells/L 作为汉江春季水华的警戒值,提出宗关断面发生水华的警戒水流速度为 0.225 m/s<sup>[11]</sup>。1992 年、1998 年、2000 年 2-3 月仙桃与长江汉口平均水位落差在 5.70~8.00 m,比未发生硅藻水华的 1993-1997 年、1999 年同期低 0.86~5.26 m<sup>[11]</sup>。因此,发

生硅藻水华时,汉江各水文站流量均小于  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,仙桃水文站和宗关断面的流速分别不超过  $0.75 \text{ m/s}$  和  $0.21 \text{ m/s}$ ,仙桃与长江汉口水位落差不得超过  $8.00 \text{ m}$ 。

### 2.3 营养条件

氮磷是浮游植物繁殖生长需要的主要营养物质。1987 年至 1989 年 1-4 月汉江武汉段总磷含量在  $0.07\sim 0.15 \text{ mg/L}$  之间,氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮分别在  $0.04\sim 0.60$ 、 $0.18\sim 0.66$  和  $0.12\sim 0.30 \text{ mg/L}$  之间<sup>[12]</sup>,1990-2000 年枯水期,水体中无机氮含量(氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮浓度总和)保持在  $0.8 \text{ mg/L}$  以上水平,水体中总磷浓度保持在  $0.087 \text{ mg/L}$  以上水平,呈逐年上升<sup>[2]</sup>。1992-2000 年宗关断面 2-3 月总氮含量在  $0.973\sim 1.653 \text{ mg/L}$ ,总磷含量在  $0.073\sim 0.196 \text{ mg/L}$ <sup>[7]</sup>。与以前相比,1990-2000 年汉江下游氮磷含量有所增加,即使在 1992 年首次硅藻水华发生前,汉江下游的氮磷含量已经较高,远超过总氮含量  $0.2 \text{ mg/L}$ 、总磷含量  $0.02 \text{ mg/L}$  的富营养化水平。表明汉江中下游氮磷含量较高,可能已经满足藻类形成水华条件。

### 2.4 生物条件

大型浮游甲壳动物和鲢鳙摄食对浮游植物水华形成具有控制作用。汉江中下游 2002 年春季浮游甲壳动物,除丹江口水库坝下较高外,其它各点均较低,密度变动在  $0.3\sim 16.9 \text{ ind./L}$  之间,平均为  $(3.9\pm 4.2) \text{ ind./L}$ ;生物量变动在  $0.007\sim 0.540 \text{ mg/L}$  之间,平均为  $(0.140\pm 0.127) \text{ mg/L}$ <sup>[13]</sup>。2005 年汉江中下游鱼类种类组成与 1976-1978 年没有变化,但经济鱼类的渔获物组成发生了较大变化,主要经济鱼类由草鱼、铜鱼和长春鳊为主(占整个渔获物的 48%),变成鲤和鲫为主(分别占渔获物的 40%和 30%),鲢、鳙等摄食浮游植物鱼类的比例低于 2%<sup>[14]</sup>。汉江中下游春季大型甲壳动物密度比一般水库同期低一倍以上,鲢、鳙占渔获物的比例比一般水库(通常占 90%以上)低几十倍。表明汉江中下游浮游甲壳动物和鲢鳙现存量极低,对浮游植物的摄食压力很小,生物环境也有利于硅藻水华发生。

## 3 硅藻水华防治对策

### 3.1 开展污染控制 改善水生态环境

目前汉江中下游氮磷含量已远超过富营养化水平,营养盐含量可能已经满足藻类形成水华条件。开展污染控制,是改善汉江水生态环境的根本办法,可以有效防治汉江中下游硅藻水华的发生。自 2000 年 5 月 1 日《湖北省汉江流域水污染防治条例》开始实施以来,流域内工业点源污染和城市生活污水得到有效治理,汉江一些支流水质在 2002 年得到明显改善。

2003 年开始,汉江中下游硅藻水华发生规模有所减小,只在下游部分江段发生,但发生频率增高,由几年一次到几乎每年发生。今后应结合经济发展方式的转变,按照国家环境保护的法律法规和《湖北省汉江流域水污染防治条例》规定,加强汉江流域各类污染控制,进一步开展工业点源污染的治理,进一步提高城市生活污水处理率,实现各类污水达标排放。同时,加强农村、农业面源污染治理,这也是未来汉江流域污染治理的重点和难点。针对面源污染治理:(1)加强汉江水环境保护法律、法规的宣传,提高群众的环境保护意识;(2)结合新农村建设,探索建立农村生活污水、垃圾、人畜粪便等的管理及处理措施;(3)开展节水农业、生态农业等农业新技术的示范和推广,通过改进施肥技术、提高肥料利用率,减少农药和化肥的施用量。

### 3.2 优化监测断面和指标 提高硅藻水华预警时效

在汉江中下游硅藻水华发生的生态条件中,拟选取气象条件中的降雨量、气温和水文条件中的水温、流量、流速、水位差等指标,对汉江中下游硅藻水华发生开展监测预警。根据汉江中下游硅藻水华发生时间为每年 2 月初的特点,在 11 月-次年 1 月期间,对降雨量(汉江中下游)、气温(汉江中下游)、水温(潜江、仙桃水文站和宗关断面)、流量(仙桃水文站)、流速(宗关断面)、水位落差(仙桃水文站水位与长江汉口水位差)等进行同步连续跟踪监测,以降雨量低于正常年份同期、气温高于正常年份同期、水温高于  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[6]</sup>、流量小于  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ <sup>[6]</sup>、流速低于  $0.225 \text{ m/s}$ <sup>[11]</sup>、水位落差不大于  $8.00 \text{ m}$  为预警阈值,将实时监测数据与预警阈值进行对比,根据满足阈值条件的指标数量及程度,对汉江中下游硅藻水华发生的可能性提出不同级别的预警。在对汉江中下游硅藻水华发生预警实践的基础上,不断优化监测断面和指标,建立汉江中下游硅藻水华发生预警预报管理系统,提高汉江中下游硅藻水华预警时效。

### 3.3 实施生态调水 避免游硅藻水华发生

生态调水是防治汉江中下游硅藻水华发生的应急办法。生态调水的目的是通过增大汉江中下游的流量、流速以及汉江与长江水位落差,尽量消除汉江中下游硅藻水华形成的水文条件,防止水华发生。根据预警结果,在汉江中下游硅藻水华可能发生时,应及时采取相应的生态调水措施,避免水华发生。生态调水包括增加丹江口水库下泄流量、增加汉江中下游干流各梯级下泄流量、减小三峡水库同期下泄流量等途径。引江济汉工程建成后,还可以通过该工程进行调水。在具体实施过程中,应根据实际情况,以高效、经



济为原则,在综合分析经济、社会效益基础上,选择一种方式调水或多种方式联合调水。

#### [参考文献]

- [1] 沙鸿勋. 对汉江两度出现“水华”污染的思考[J]. 环境导报, 1998(3): 23-24.  
Sha Hong-xun. Thoughts on the water bloom pollution in the Hanjiang River[J]. Environment Herald, 1998(3): 23-24. (in Chinese)
- [2] 邵开忠, 吴青文, 刘晓云. 汉江下游江段春季频发“硅藻水华”原因分析[J]. 城市环境, 2002, 16(3): 18-20.  
Shao Kai-zhong, Wu Qing-wen, Liu Xiao-yun. The analysis on the cause of the frequent arising “diatom water bloom” at Hanjiang River downstream’s water body in spring[J]. Urban Environment, 2002, 16(3): 18-20. (in Chinese)
- [3] 丁玥. 汉江“水华”呈现新趋势 持续时间延长频率加快[EB/OL]. (2009-03-05) [2012-04-30] <http://news.sohu.com/20090305/n262615461.shtml>.
- [4] 况琪军, 谭渝云, 万登榜, 等. 汉江中下游江段藻类现状调查及“水华”成因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 63-70.  
Kuang Qi-jun, Tan Yu-yun, Wan Deng-bang, et al. On the phytoplankton in the middle and lower reaches of the Hanjiang River and the prevention of water-blooms[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(1): 63-70. (in Chinese)
- [5] 郑凌凌. 汉江硅藻水华优势种生理生态学研究 [D]. 福州: 福建师范大学, 2005.  
Zheng Ling-ling. The Physiological and Ecological Research about the Dominant Species in Hanjiang River Diatom Bloom [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2005. (in Chinese)
- [6] 卢大远, 刘培刚, 范天俞, 等. 汉江下游突发“水华”的调查研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(2): 28-31.  
Lu Da-yuan, Liu Pei-gang, Fan Tian-yu, et al. The investigation of “water bloom” in the downstream of the Hanjiang River[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(2): 28-31. (in Chinese)
- [7] 窦明, 谢平, 夏军, 等. 汉江水华问题研究 [J]. 水科学进展, 2002, 13(5): 557-561.  
Dou Ming, Xie Ping, Xia Jun, et al. Study on algal bloom in Hanjiang River[J]. Advances in Water Science, 2002, 13(5): 557-561. (in Chinese)
- [8] 潘俊敏, 张宪孔. 小环藻的光强适应 [M]. // 中国科学院水生生物研究所. 洪湖水体生物生产力综合开发及湖泊生态环境优化研究. 北京: 海洋出版社, 1991: 81-84.  
Pan Jun-min, Zhang Xian-kong. Adaptation of Chlorella sp. to Light Intensity [M]. // Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences. Integrated Development of Biological Productivity and Optimization of Lake Environment in Honghu Lake. Beijing: Ocean Press, 1991: 81-84. (in Chinese)
- [9] 陈根祥, 胡高平, 张德兵. 汉江发生“水华”的水文因素[J]. 长江职工大学学报, 2002, 19(1): 57-58.  
Chen Gen-xiang, Hu Gao-ping, Zhang De-bing. Hydrographic factors of water bloom in the Hanjiang River[J]. Journal of Changjiang Vocational University, 2002, 19(1): 57-58. (in Chinese)
- [10] 谢敏, 王新才, 管光明, 等. 汉江中下游“水华”成因分析及其对策初探[J]. 人民长江, 2006, 37(8): 43-45.  
Xie Min, Wang Xin-cai, Guan Guang-ming, et al. Preliminary investigations of the water bloom in the middle and lower reaches of the Hanjiang River [J]. Yangtze River, 2006, 37(8): 43-45. (in Chinese)
- [11] 王红萍, 夏军, 谢平, 等. 汉江“水华”水文因素作用机理[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3): 282-285.  
Wang Hong-ping, Xia Jun, Xie Ping, et al. Mechanisms for hydrological factors causing algal blooms in Hanjiang River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(3): 282-285. (in Chinese)
- [12] 刘培刚, 卢大远. 汉江武汉段水环境现状背景值调查与研究[J]. 环境科学与技术, 1991(2): 16-18.  
Liu Pei-gang, Lu Da-yuan. Investigation of the base-line of the water-environment status in Wuhan section of the Hanjiang River [J]. Environmental Science & Technology, 1991(2): 16-18. (in Chinese)
- [13] 向贤芬, 陈受忠, 曹文宣. 汉江中下游春季浮游甲壳动物群落结构的时空差异[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 187-192.  
Xiang Xian-fen, Chen Shou-zhong, Cao Wen-xuan. Spatial variations of planktonic crustacea communities in the middle and lower Hanjiang River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(2): 187-192. (in Chinese)
- [14] 何力, 张斌, 刘绍平, 等. 汉江中下游水文特点与渔业资源状况[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1788-1792.  
He Li, Zhang Bin, Liu Shao-ping, et al. Hydrological characteristics and fishery resources status of mid-lower Hanjiang River [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26 (11): 1788-1792. (in Chinese)