

# 韶关市 3 座供水水库蓝藻种群及微囊藻毒素的季节变化

黄成, 邱劭婷

(韶关市环境监测中心站, 广东 韶关 512026)

**摘要:**为了解供水水库的蓝藻种群和微囊藻毒素的季节变化,于 2012 年 1—12 月对韶关的苍村、瀑布和花山 3 座供水水库进行了采样分析。结果表明,3 座水库为中营养型水库,监测蓝藻共 9 属(种),优势种为鱼腥藻和微囊藻,蓝藻最高丰度为  $5.67 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ ;降水导致营养盐物质带入水库和水质不稳定性是蓝藻种群和优势种在夏秋两季季节变化和占优势的主要影响因子。3 座水库  $\rho$ (微囊藻毒素)为  $0.1 \sim 0.9 \mu\text{g/L}$ ,最高值接近世界卫生组织对饮用水中 MC-LR 的指导性限制值 ( $1 \mu\text{g/L}$ ) 标准。微囊藻与微囊藻毒素呈显著正相关性 ( $R=0.871, P<0.01$ ),表明产微囊藻毒素的蓝藻主要为微囊藻,当水库发生微囊藻水华时有发生微囊藻毒素的风险。

**关键词:**富营养化;蓝藻种群;微囊藻毒素;水库;季节变化;韶关

中图分类号:X835

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2018)01-0057-04

## Seasonal Variation of Cyanobacterial Population and Microcystin in Three Reservoirs for Drinking Water Supply in Shaoguan City

HUANG Cheng, QIU Jie-ting

(Shaoguan Environmental Monitoring Center, Shaoguan, Guangdong 512026, China)

**Abstract:** In order to understand seasonal variation of cyanobacterial population and microcystin in reservoirs, we analyzed three drinking water supplying reservoirs in Shaoguan from January to December in 2012, they are: Cangcu reservoir, Pubu reservoir and Huashan reservoir. The results showed the three reservoirs were mesotrophic reservoirs. 9 species of cyanobacteria were observed. *Anabaena azotic* and *Microcystis flos-aquae* were the predominant species. The highest abundance of cyanobacteria ranged was up to  $5.67 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ . Increasing of nutrient and water instability caused by rainfall were important factors lead to seasonal variation and predomination of cyanobacterial population and microcystin in Summer and Autumn. The microcystin ranged from  $0.1$  to  $0.9 \mu\text{g/L}$  in three reservoirs, the highest concentration was close to the WHO's MC-LR standard in drinking water ( $1 \mu\text{g/L}$ ). The significant positive correlation between *Microcystis flos-aquae* and microcystin ( $R=0.871, P<0.01$ ) showed that *Microcystis flos-aquae* was mainly toxic algae, and there is risk of microcystin when the bloom of microcystis occurs in the reservoir.

**Key words:** Eutrophication; Cyanobacterial population; Microcystin; Reservoir; Seasonal variation; Shaoguan

我国是水资源短缺的国家,城市供水越来越依赖水库供水。但是近 10 年来,随着环境污染的加重,水库的水质明显下降,有 1/3 担负重要供水功能的水库达到富营养化水平,蓝藻水华事件时有发生<sup>[1]</sup>。蓝藻水华暴发不仅影响水体的自然景观和城市供水,而且有毒蓝藻产生的微囊藻毒素可使动物、家畜等中毒和危害人体健康<sup>[2]</sup>。

目前对珠江三角洲城市附近水库研究显示,其富营养化都比较严重,浮游植物以蓝藻为优势种,在部分水库检测出  $\rho$ (微囊藻毒素)高达  $1.38 \mu\text{g/L}$ ,

毒素水平较高<sup>[3-5]</sup>。韶关位于广东省北部,关于韶关市供水水库富营养化的研究显示,水体大部分处于中营养化状态,浮游植物以绿藻和硅藻种群结构为主<sup>[6-9]</sup>,而专门针对蓝藻种群和微囊藻毒素研究少有报道。现对韶关市 3 座典型供水水库进行了

收稿日期:2017-04-30;修订日期:2017-10-30

基金项目:韶关市社会发展科技专项基金资助项目(2014CX/K353)

作者简介:黄成(1985—),男,工程师,硕士,主要从事水环境监测与研究作。

为期一年的监测,分析蓝藻种群结构和微囊藻毒素季节变化,为科学合理管理水库和供水安全提供基础数据。

### 1 研究方法

#### 1.1 水库概况

苍村水库、瀑布水库和花山水库是韶关市 3 座供水水库,分别位于曲江区、南雄市和始兴县,库容分别为  $6.98 \times 10^7$ 、 $3.31 \times 10^7$  和  $1.36 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,3 座水库均为山地型中型集雨水库,无大的面源或点源污染源,具备饮用和农业用水功能,见图 1。

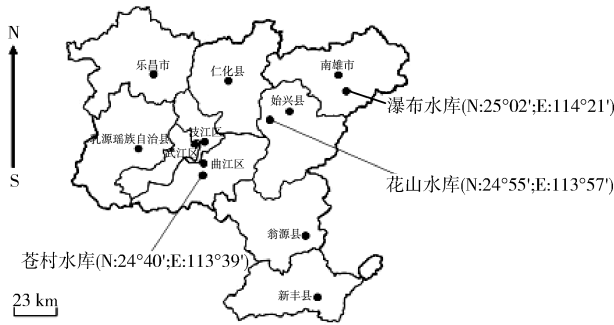


图 1 水库的位置

#### 1.2 样品采集与分析

于 2012 年 1—12 月对 3 座水库的敞水区进行每月一次的采样。使用采水器对浮游植物进行定量采样,取表层 0.5 m 处混合水样 1 L,用鲁哥氏液固定,带回实验室浓缩;定性采样使用 25 号浮游生物网(64  $\mu\text{m}$ ),从不同方向拖网,用 50 mL 的小白瓶收集,甲醛固定,最终浓度(体积比)为 4%。定量和定性样品均使用 OLYMPUS CX-41 显微镜鉴定和计数。

用 YSI-多参数水质检测仪现场测定水体温度、电导率和 pH 值等,用赛氏盘(Secchi Disk)测定 SD,按照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)测定 TP、TN 等,Chla 按文献[10]的方法测定。

微囊藻毒素则是取表层 0.5 m 处混合水样 1 L,保存于棕色的有机玻璃瓶中,低温保存带回实验室,采用 Beacon 微囊藻毒素酶联免疫检测试剂盒进行微囊藻毒素的测定。

#### 1.3 营养状态指数计算和数据处理

参照文献[11]计算水库营养状态指数(Trophic state index, TSI),包括 Chla、TP、TN、SD 和  $I_{Mn}$  在内 5 个水质变量,经加权计算出综合营养状态指数  $TSI(\Sigma)$ 。若  $TSI(\Sigma) < 30$ 、 $30 \sim 50$  和  $50 \sim 100$ ,则水体分别为贫营养化、中营养化和富营养化。

采用 IBM SPSS Statistics 21 对蓝藻种群丰度、水温、pH 值、电导率、DO、TN、TP、SD、Chla、毒素、微囊藻、鱼腥藻和降雨(由韶关市水文局提供)进行双变量的 Pearson 相关系数分析。

## 2 结果分析

### 2.1 理化指标

3 座水库水质理化参数见表 1。

由表 1 可见,3 座水库的透明度为 0.9 ~ 3.1 m,夏季和秋季的透明度相对高些;水温变化具有较明显的季节差异,冬季温度最低,为 9 ~ 14 $^{\circ}\text{C}$ ,夏季温度最高,为 24 ~ 27 $^{\circ}\text{C}$ ;pH 值季节变化不大,为 6.9 ~ 7.9,略显碱性; $\rho$ (TP) 年变化为 0.03 ~ 0.08 mg/L, $\rho$ (TN) 为 0.29 ~ 0.82 mg/L, $\rho$ (Chla) 为 1.6 ~ 6.0  $\mu\text{g}/\text{L}$ , $\rho$ ( $I_{Mn}$ ) 为 1.20 ~ 1.99 mg/L;枯丰 2 期的  $TSI(\Sigma)$  分别为 32 ~ 34、32 ~ 37 和 39 ~ 43,为中营养型水库。

表 1 3 座水库水质理化参数<sup>①</sup>

参数	苍村水库				花山水库				瀑布水库			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
透明度/m	1.9	2.3	3.1	2.5	1.0	1.5	2.0	1.9	1.0	2.0	1.1	0.9
温度/ $^{\circ}\text{C}$	19	27	25	14	19	25	24	12	18	24	26	9
pH 值	7.1	7.6	7.5	6.9	7.0	6.9	7.0	7.1	7.2	6.9	7.9	7.5
$\rho$ (TP)/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.04	0.03	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06
$\rho$ (TN)/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.49	0.40	0.33	0.29	0.57	0.39	0.46	0.29	0.75	0.81	0.82	0.68
$\rho$ (Chla)/( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	3.3	4.2	2.8	2.5	2.6	2.0	2.6	1.6	5.2	2.6	6.0	5.5
$\rho$ ( $I_{Mn}$ )/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.20	1.67	1.43	1.23	1.67	1.77	1.50	1.65	1.60	1.99	1.70	1.94
$TSI(\Sigma)$	33 ± 0.8 34 ± 1.0 32 ± 1.1 32 ± 0.5				37 ± 2.1 35 ± 1.0 35 ± 0.8 32 ± 1.3				41 ± 1.7 39 ± 1.9 43 ± 1.7 43 ± 2.1			
$\rho$ (微囊藻毒素)/( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.3(11月),0.1(12月)				0.5(10月),0.3(11月)				0.2(6月),0.2(10月) 0.9(11月),0.1(12月)			

①均值。

3 座水库都能检测到微囊藻毒素, 苍村水库在 11 和 12 月  $\rho$  (微囊藻毒素) 为 0.3 和 0.1  $\mu\text{g/L}$ 。花山水库在 10 和 11 月  $\rho$  (微囊藻毒素) 为 0.5 和 0.3  $\mu\text{g/L}$ 。而瀑布水库在 6、10、11 和 12 月都监测到了微囊藻毒素, 其值分别为 0.2、0.2、0.9 和 0.1  $\mu\text{g/L}$ 。

2.2 蓝藻种类及其丰度和相对丰度

3 座水库共鉴定出浮游植物 58 属(种)。分别为: 蓝藻门 9 属(种), 绿藻门 30 属(种), 硅藻门 12 属(种), 甲藻门 4 属(种), 裸藻门、隐藻门和金藻门各有 1 属(种)。其中蓝藻门的种类有固氮鱼腥藻 (*Anabaena azotica*)、假鱼腥藻 (*Pseudanabaena* sp.)、水华微囊藻 (*Microcystis flos-aquae*)、泽丝藻 (*Limnithrix* sp.)、色球藻 (*Chroococcus* sp.)、颤藻 (*Oscillatoria* sp.)、隐球藻 (*Aphanocapsa* sp.)、平裂藻 (*Merismopedia* sp.) 和螺旋藻 (*Spirulina* sp.)。蓝藻种群丰度和相对丰度的季节变化见图 2(a)(b)(c)。

由图 2 可见, 3 座水库浮游植物的丰度都较低, 分别为  $1.03 \times 10^5 \sim 7.27 \times 10^6$ 、 $3.77 \times 10^5 \sim 1.89 \times 10^7$  和  $1.32 \times 10^5 \sim 5.68 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ 。从季节变化看, 苍村水库和花山水库在秋季的浮游植物丰度比较高, 瀑布水库则在夏秋 2 季。从蓝藻丰度和蓝藻优势种分析, 苍村水库蓝藻主要出现在秋季, 在 11 和 12 月份占优势, 丰度为  $3.91 \times 10^6$  和  $1.73 \times 10^5 \text{ L}^{-1}$ , 微囊藻为优势种, 相对丰度分别为 50% 和 53%。

花山水库的蓝藻丰度为  $5.10 \times 10^3 \sim 6.21 \times 10^6 \text{ L}^{-1}$ , 在 6—7 月和 10—11 月蓝藻相对丰度较高。其中 2、6 和 7 月, 鱼腥藻为花山水库的优势种, 相对丰度为 34%、40% 和 33%, 而 10—11 月, 微囊藻为优势种, 相对丰度为 22% 和 69%, 微囊藻优势的月份与苍村水库相似。

瀑布水库的蓝藻优势种丰度季节变化与花山水库相似, 在 5—8 月和 10—12 月(主要为夏秋两季)蓝藻丰度为  $1.48 \times 10^5 \sim 5.67 \times 10^7 \text{ L}^{-1}$ , 相对丰度为 11%~99%。其中 5 月, 鱼腥藻为优势种, 相对丰度为 47%; 而在 6 月, 鱼腥藻成为绝对优势种, 相对丰度为 99%, 瀑布水库发生鱼腥藻水华; 在 11 月, 则微囊藻为优势种, 相对丰度为 57%, 与苍村水库和花山水库出现优势时间相同。

2.3 蓝藻与理化指标相关性分析

蓝藻与理化指标、微囊藻和鱼腥藻的相关系数见表 2。由表 2 可见, 蓝藻与鱼腥藻及毒素呈极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与 pH 值和 TP 呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 与 TN 呈负相关性 ( $P < 0.05$ ), 与微囊藻正相关性不显著 ( $R = 0.330, P > 0.05$ ); 微囊藻与毒素呈显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 而鱼腥藻与毒素相关性不显著。

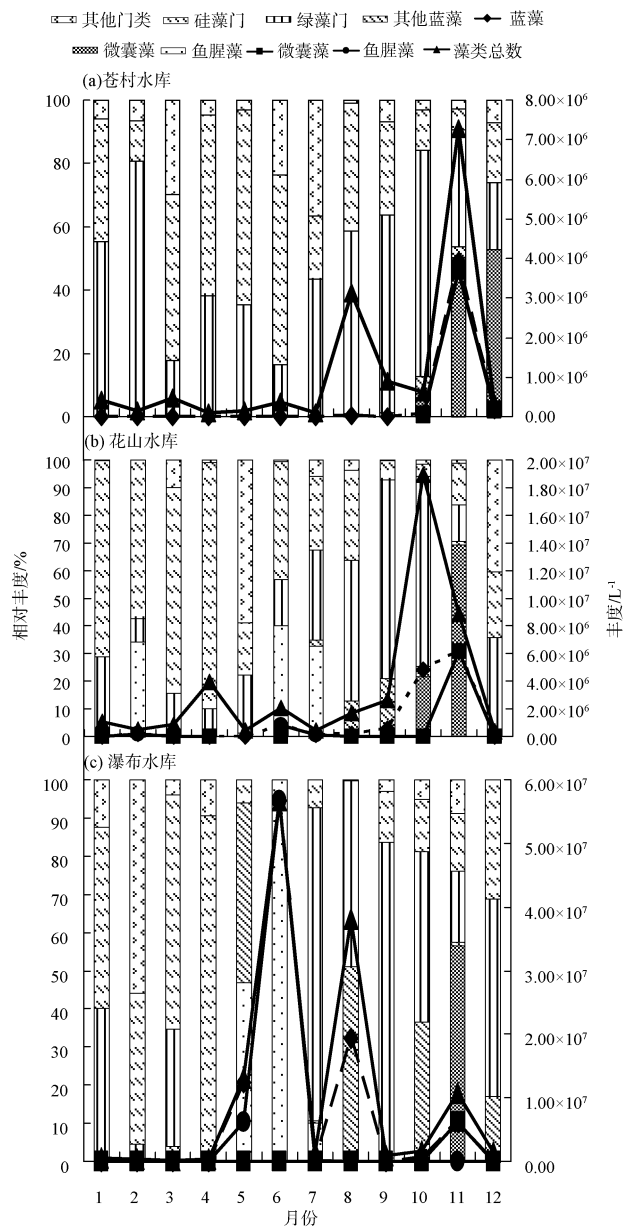


图 2 蓝藻种群丰度和相对丰度的季节变化

表 2 蓝藻与理化指标、微囊藻和鱼腥藻的相关系数<sup>①</sup>

参数	水温	pH 值	电导率	DO	TN	TP	SD	Chla	蓝藻	毒素	微囊藻	鱼腥藻	降雨
水温	1												
pH 值	0.424 *	1											
电导率	-0.243	0.213	1										
DO	-0.394	0.104	0.445 *	1									
TN	0.279	-0.491 *	-0.453 *	-0.572 **	1								
TP	-0.127	0.191	0.351	0.439 *	-0.411	1							
SD	0.259	0.339	-0.086	-0.096	0.151	-0.556 **	1						
Chla	0.101	0.606 **	0.115	0.252	-0.539 *	0.177 *	-0.006	1					
蓝藻	0.141	0.402 *	-0.032	0.013	-0.366 *	0.146 *	-0.171	0.107	1				
毒素	0.056	-0.031	0.041	-0.059	-0.154	0.036	-0.157	0.054	0.551 **	1			
微囊藻	-0.043	-0.161	0.043	-0.042	-0.103	-0.096	-0.073	-0.056	0.330	0.871 **	1		
鱼腥藻	0.073	0.300	-0.101	-0.016	-0.214	0.295	-0.144	-0.086	0.697 **	0.024	-0.115	1	
降雨	-0.136	-0.138	-0.219	0.021	-0.04	0.036	-0.222	-0.221	0.551 **	0.315	0.354	0.521 **	1

① \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

### 3 讨论

韶关 3 座中型水库平均 TSI( $\Sigma$ ) 为 32 ~ 43, 水库属于中营养水平。水库蓝藻种类较少, 出现的多细胞蓝藻有色球藻、平裂藻、微囊藻和隐球藻, 丝状蓝藻有假鱼腥藻、鱼腥藻和颤藻、泽丝藻, 这些种类为广东省水库出现频率较高的蓝藻种类<sup>[8,12]</sup>。

从蓝藻种群的季节变化分析, 蓝藻优势主要出现在夏季和秋季, 优势种主要为鱼腥藻, 次之为水华微囊藻。鱼腥藻和微囊藻是一种具有伪空泡种类, 在分层的水体中能够利用其悬浮机制来获取更多的营养和光照, 降低沉降损失而增加水体表面的积累, 从而获得优势<sup>[13-14]</sup>。而在夏秋季, 由于降雨变大, 会把水库周边的营养物质带入水库, 同时入库水量大量增加, 水库排洪频次增加, 加上夏秋两季的供水量增大, 供水水库的水体在水库滞留时间减少, 水体变得不稳定, 具有悬浮机制的鱼腥藻和微囊藻通过在水体中移动减少损失和吸收营养大量生长。

相关性分析也表明, 蓝藻与磷营养盐都呈正相关性( $R = 0.146, P < 0.05$ ), 与降雨量呈明显的正相关性( $R = 0.551, P < 0.01$ )。因此, 夏秋 2 季的降雨导致的水体不稳定和营养盐带入水库是花山水库和瀑布水库在出现鱼腥藻和微囊藻为优势种的主要环境因子。同时蓝藻与总氮呈负相关性( $R = -0.366, P < 0.05$ )<sup>[14-15]</sup>表明, 蓝藻中具固氮能力的鱼腥藻在水体中缺乏氮营养盐的条件下, 部分营养细胞会转变成具有固氮作用的异形胞, 能在低氮环境中成为优势种。

蓝藻中微囊藻属和鱼腥藻属某些种类或品系

能产生微囊藻毒素, 当微囊藻毒素释放在水体中会危害人类和其他生物安全<sup>[16-17]</sup>。

研究的 3 座水库都能检测到微囊藻毒素, 但检出的频次和质量浓度都不高, 最大值  $0.9 \mu\text{g/L}$ , 低于世界卫生组织对饮用水中 MC-LR 的指导性限制值( $1 \mu\text{g/L}$ )<sup>[18]</sup>。从相关性分析, 微囊藻和微囊藻毒素呈显著正相关性( $R = 0.871, P < 0.01$ ), 微囊藻占优势时, 微囊藻毒素都比较高, 而鱼腥藻数量高的时候, 微囊藻毒素虽能检测到, 但是其浓度不高, 鱼腥藻与毒素不呈正相关性( $R = 0.024, P > 0.05$ ), 表明 3 座水库中产微囊藻毒素的蓝藻主要为微囊藻, 当水库发生微囊藻水华时有发生微囊藻毒素危害的风险。

### 4 结语

韶关的 3 座水库全年的蓝藻种类较少, 丰度水平不高, 其优势种为鱼腥藻和微囊藻, 都能检测到微囊藻毒素, 产微囊藻毒素的蓝藻主要为微囊藻。降雨导致营养盐物质带入水库和水体不稳定性是蓝藻在夏秋 2 季季节变化和伪空泡种类鱼腥藻和微囊藻占优势的主要影响因素。一旦水库水体营养盐充足, 水动力条件适合, 鱼腥藻和微囊藻大量生长和聚集, 有产生微囊藻毒素危害的风险, 微囊藻和鱼腥藻大量生长也会堵塞水厂的过滤膜, 影响供水。

对水库周边流域进行合理的规划, 有效减少外源营养盐入库, 科学调度水库水, 减少水体滞留时间, 促进水体流动和交换, 从营养盐和水动力学 2 方面控制水质, 保障水库供水安全。

(下转第 67 页)

了一些经验,也制定了一些规范和标准,但还有很多不足之处。特别是“十九大”以来,新的形势对环境监测质量管理工作提出了更高要求,因此县级环境监测站要从加强现有质管体系建设力度、提高现场监测水平、提升整体意识三方面入手,最大限度地发挥质量管理的作用,保证监测数据的高质量和高水平,打好基层环境监测坚实基础。

#### [参考文献]

- [1] 陈迎新. 县级环境监测质量管理工作浅谈[J]. 资源节约与环保, 2013(9):76-78.
- [2] 韩英. 有效开展环境监测质量管理的思考[J]. 现代测量与实验室管理, 2012(1):56-57.
- [3] 袁力. 加强环境监测质量管理队伍建设的思考[J]. 环境

- 监测管理与技术, 2010(22):5-7.
- [4] 袁力. 谈环境监测质量管理体系文件的宣贯[J]. 环境监控与预警, 2014(6):52-54.
- [5] 陈敏. 浅谈环境监测实验室的质量管理[J]. 石河子科技, 2013(1):21-23.
- [6] 顾乃亚. 关于环境监测质量管理创新思路的探讨[J]. 环境与可持续发展, 2014(6):130-131.
- [7] 耿勇超. 加强环境监测现场采样质量管理[J]. 科技信息, 2012(23):414.
- [8] 张美丽. 环境监测工作质量管理的问题及对策[J]. 能源与节能, 2013(3):80-81.
- [9] 董铮,王琳,田芳. 浅谈两高司法解释出台后环境监测质量管理工作的新思路[J]. 环境科学导刊, 2014(33):42-43.

责任编辑 王 湜 周立平

(上接第60页)

#### [参考文献]

- [1] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 151-160.
- [2] 潘晓洁,常锋毅,沈银武,等. 滇池水体中微囊藻毒素含量变化与环境因子的相关性研究[J]. 湖泊科学, 2006, 18(6): 572-578.
- [3] 江启明,侯伟,顾继光,等. 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, 2010, 9(10): 2461-2467.
- [4] 黄成,侯伟,顾继光,等. 珠江三角洲城市周边典型中小型水库富营养化与蓝藻种群动态[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(3): 295-302.
- [5] 江启明. 珠江三角洲典型中小型水库蓝藻与微囊藻毒素的分布特征研究[D]. 广州:暨南大学, 2011:39-40.
- [6] 岳强,黄成,史元康,等. 广东南水水库富营养化与浮游植物群落动态[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(8):112-116.
- [7] 岳强,黄成,史元康,等. 粤北2座不同营养水平水库浮游植物功能类群的季节演替[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(4):432-438.
- [8] 岳强,黄成,史元康,等. 粤北2座饮用水源地水库的富营养化与浮游植物群落动态[J]. 生态环境学报, 2012, 21(3): 503-508.
- [9] 侯伟,黄成,江启明,等. 粤北三座典型中型水库富营养化与浮游植物群落特征[J]. 生态环境学报, 2011, 21(3):913

- 919.
- [10] 林少君,贺立静,黄沛生,等. 浮游植物叶绿素 a 的提取方法比较与改进[J]. 生态科学, 2005(24):9-11.
- [11] 王明翠,刘雪芹,张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
- [12] 王朝晖,林秋奇,胡韧,等. 广东省水库的蓝藻污染状况与水质评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(2): 117-123.
- [13] REYNOLDS C S. Cyanobacterial water - blooms[C]//CALLOW J A. Advances in Botanical Research. London: Academic Press, 1987, 13: 67-143.
- [14] SHAPIRO J. Current beliefs regarding dominance by blue - greens: the case for the importance of CO<sub>2</sub> and pH[J]. International Vereinigung fuer Theoretische Angewandte Limnologie, 1990, 24:38-54.
- [15] 李涵,许秋瑾,储昭升,等. 不同形态氮对洋河水库螺旋鱼腥藻和惠氏微囊藻生长的影响[J]. 环境科学研究, 2010, 23(12):1494-1498.
- [16] DING W X, SHEN HM, ZHU HG, et al. Genotoxicity of microcystic cyanobacteria extract of a water source in China[J]. Mutation Research, 1999(442): 69-77.
- [17] 谢平. 微囊藻毒素对人类健康影响相关研究的回顾[J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 603-613.
- [18] WHO. Guidelines for drinking water quality [R]. World Health Organisation, Geneva, 1998.

责任编辑 李文峻

· 变更启事 ·

### 变更出刊时间启事

为适应期刊发展,更好地为作者和读者服务,经主办部门同意并报江苏省新闻出版广电局备案,本刊自2018年1月份起由每逢双月15日出版,变更为每逢单月30日出版。竭诚欢迎广大作者继续惠赐佳稿。敬请本刊编委、审稿专家以及广大作者、读者一如既往地关心、支持本刊。

《环境监控与预警》编辑部