

澎溪河春夏季节藻类群落结构与水质状况研究

王图锦^a, 李朝艳^a, 杨清伟^a, 杨延梅^a, 左宁^b

(重庆交通大学 a. 河海学院; b. 重庆西南水运工程科学研究所, 重庆 400074)

摘要: 三峡水库自建成运行以来, 澎溪河流域富营养化问题日益突出。本研究在2014年4-7月易发生水华的春夏时期进行, 对澎溪河流域藻类群落结构特征及水质状况进行跟踪分析。结果表明: 水华发生时, 水环境特征发生显著变化, 水质状况恶化, 藻细胞密度急剧升高, 藻细胞密度最高达到 1176×10^4 cells/L, 水华藻种为角甲藻和铜绿微囊藻, 藻种种类单一, 藻类多样性显著变低。空间分布上, 藻细胞密度从上游向下游呈增高趋势。相关性分析表明: 藻细胞密度与 TN、TP 呈显著正相关, 藻类大量增殖爆发与水体营养盐浓度升高具有重要联系, 澎溪河流域水华问题的防治有赖于对流域内营养盐排放的有效治理。

关键词: 水华; 营养盐; 藻类群落结构; 水质状况; 水环境; 三峡水库; 澎溪河

中图分类号: X172

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)05-0020-05

Study on alga community structure and water quality situation in Pengxi river in seasons of spring and summer

WANG Tujin^a, LI Zhaoyan^a, YANG Qingwei^a, YANG Yanmei^a, ZUO Ning^b

(a. School of River and Ocean Engineering; b. Southwestern Hydraulic Engineering Research Institute for Waterway, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Since the Three Gorges reservoir had been constructed and operated, the eutrophication problem in the Pengxi river has become increasingly prominent. The research was carried out in Spring and summer seasons when algal bloom is easy to take place from April to July, 2014. The paper analyzed the structure feature of algal bloom diversity and situation of water quality in Pengxi river basin. The result showed that when alga bloom took place, the feature of water environment changed evidently and the situation of water quality is more serious. The density of algal cell is quickly increased and can get to 1176×10^4 cells/L. The species of algae is water bloom algae and pseudomonas aeruginosa. The algae species are single and the diversity of algae is significantly lower. The density of algal cell in downstream was much higher than that in upstream on space distribution. The relative analysis indicated that the density of algal cell is positively correlated with TN and TP. Algae proliferation outbreak has an important link with the increase of water nutrient concentration. The control of algae bloom in Pengxi River basin depends on effective governance of watershed nutrient salt emission.

Key words: algal blooms; nutrient salt; alga community structure; water quality; water environment; Pengxi River; Three Gorges reservoir

三峡水库建成运行后, 水位大幅度抬升, 水流速度显著减缓, 水体自净能力下降, 库区生态环境问题日显突出。受水库回水顶托作用, 三峡库区支流和库湾污染加重尤为明显, 特别是富营养化问题日益

严峻, 多条支流如澎溪河、大宁河、神女溪、抱龙河、梅溪河多次爆发以水华鱼腥藻、铜绿微囊藻和甲藻等为优势种的水华^[1-2]。

目前有关三峡库区支流富营养化问题的研究较

收稿日期: 2015-02-03; 修回日期: 2015-03-09

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAJ21B08-06); 交通运输部科技项目(2013329814230); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2014jcyjA20011、cstc2013jcyjA20013)

作者简介: 王图锦(1981-), 男, 重庆黔江人, 博士, 讲师, 主要从事环境化学及环境微生物研究。

通讯作者: 杨清伟(1972-), 男, 重庆永川人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水利工程、水资源与水环境研究。

多,有关水华爆发的机理多从真光层、氮磷营养盐、水动力学、水温分层等进行分析研究^[3-7],对于水华优势种形成原因,也有研究从底泥及原位水体分析种源来源^[8-9]。尽管目前研究积累了较多的数据,但是对于库区支流水华特征的认识仍然十分不足,研究三峡库区富营养化以及支流的水质监测和水华特征,对于揭示水华发生机理及制定水华防治方法具有重要意义。

澎溪河是三峡库区淹没面积最大、移民数量最多、消落区面积最广的一级支流,这里也是三峡水库建库以来富营养化重灾区,近些年水华频繁发生,同时不同年份之间水华优势种也存在差异^[10-11]。本文从2014年4-7月采集澎溪河水样,分析不同时期水体藻类种类、藻细胞密度、优势种类别,分析藻类生长与水环境相关关系,对5月水华特征进行分析,以期揭示三峡库区典型支流水生态系统特征,为三峡库区支流富营养化治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

根据澎溪河流域回水情况及水文地质特征,以三峡库区澎溪河流域永久回水区作为研究区域,进行分段采样,总共布置8个采样点,见图1。采样点分别位于渠马、猫爪子、高阳、张王庙、康家沟、黄石、澎桥、河口。

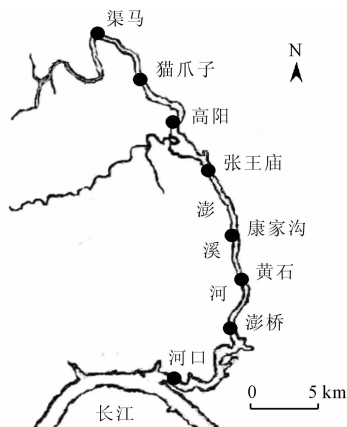


图1 澎溪河采样点

采样时间选择澎溪河易于发生水华的春夏季敏感时期,从2014年4-7月每月采集一次水样,按照SL 219-98《水环境监测规范》使用采水器采集各个采样点水样,采集深度为0.5 m处水样。水质理化参数分析包括总氮(TN)、总磷(TP)、溶解氧(DO)、叶绿素a(Chl-a)、透明度(SD)、pH、气温、水温等。气温、水温、透明度(SD)、pH、溶解氧(DO)、浊度在

采样现场测定。

1.2 样品分析与测试

水样总氮测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,总磷测定采用钼酸铵分光光度法,叶绿素a采用丙酮萃取分光光度法^[12]。水样经Lugol's液固定,藻类的计数采用显微镜视野计数法^[13],分类鉴定参照《中国淡水藻类——系统、分类及生态》^[14]进行。

1.3 数据分析

相关性分析采用SPSS16.10统计软件处理。藻类多样性采用Shannon-Weaver多样性指数 H' 进行表征,计算公式为:

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

式中: N 为同一水样中的藻类总个体数; n_i 为水样第*i*种藻类的个体数; S 为水样中藻类种类数。

2 结果与分析

2.1 各个时期水环境参数特征

各个时期澎溪河水环境主要理化参数如表1所示。不同时期澎溪河水体TN和TP浓度存在显著差异,监测期间水体TN和TP浓度最低值出现在4月,TN平均值为1.19 mg/L,TP平均值为0.08 mg/L。5月水华爆发时水体氮磷营养盐浓度显著高于其他3个时期,TN平均值为2.80 mg/L,TP平均值为0.22 mg/L。伴随水华发生,水体叶绿素浓度明显升高,水体浑浊,透明度显著降低,水体呈红棕色,但水华已经消退的6月水体透明度最低,可能是受连日阴雨天气影响,水土流失导致水体中泥沙含量增高所致。澎溪河5月水华期间pH变化范围为5.65~6.33,平均值5.88,为偏酸性水体,整个研究水域波动较小。水华发生时期水体pH低于其他3个时期,说明水华发生对水体pH的影响较为显著,其原因推测为藻类大量增殖后分泌过多的有机酸类物质进入水体中,改变了水体原有酸碱性^[15-16]。水华发生阶段DO浓度范围为11.12~15.14 mg/L,平均值为13.25 mg/L,显著高于其他3个时期,水华阶段水体中DO浓度升高,表明藻类白天强烈的光合作用对水体DO影响明显。4-7月水温处于20~30℃之间,适宜藻类的生长,为水华的爆发创造了有利条件。

2.2 各个时期水体氮磷营养盐时空分布特征

各个时期水体总氮浓度在时空分布上呈现不同特征,见图2。4、6、7月未发生水华时研究水域不同采样断面TN、TP浓度波动较小,而在5月水华发生

时期,水体中 TN 浓度范围为 1.64 ~ 3.77 mg/L,平均值为 2.80 mg/L,不同水域断面 TN 浓度波动较大,上游向下游 TN 浓度总体呈现升高趋势,河口江段 TN 浓度较高,同时这一区域也是水华发生的江段,可见水华发生断面 TN 浓度高于其他水域。

由图 3 可以看出,和 TN 分布特征类似,在 5 月水华发生时期,水体 TP 浓度较高,浓度范围为

0.10 ~ 0.31 mg/L,平均值为 0.22 mg/L,水体 TP 浓度高于其他 3 个时期,水华时期 TP 浓度分布具有从上游向下游总体升高趋势,下游水华发生水域 TP 浓度较高。

可见,水体氮磷营养盐浓度与水华爆发关系密切,氮磷作为营养盐对于藻类生长具有重要作用,较高浓度的氮磷有助于藻类大量增殖爆发。

表 1 研究期间澎溪河主要水环境参数

时期	参数	TP/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	Chl - a/ (μg · L ⁻¹)	pH	DO/ (mg · L ⁻¹)	水温/°C	SD/m
4 月	均值	0.08	1.19	1.06	6.70	9.98	22.57	1.09
	范围	0.01 ~ 0.22	0.53 ~ 2.91	0.08 ~ 3.68	6.24 ~ 7.16	8.95 ~ 11.66	21.52 ~ 24.82	0.88 ~ 1.31
5 月	均值	0.22	2.80	46.70	5.88	13.25	25.30	0.49
	范围	0.10 ~ 0.31	1.64 ~ 3.77	3.05 ~ 120.58	5.65 ~ 6.33	11.12 ~ 15.14	24.77 ~ 25.91	0.36 ~ 0.65
6 月	均值	0.11	1.99	19.97	6.67	10.77	25.22	0.35
	范围	0.06 ~ 0.17	1.63 ~ 2.42	0.03 ~ 65.68	6.34 ~ 7.12	9.14 ~ 13.15	23.83 ~ 26.64	0.24 ~ 0.45
7 月	均值	0.13	2.07	9.01	6.69	11.23	27.42	0.44
	范围	0.09 ~ 0.18	1.66 ~ 2.39	0.24 ~ 27.44	6.41 ~ 7.11	9.83 ~ 12.36	25.83 ~ 27.94	0.30 ~ 0.59

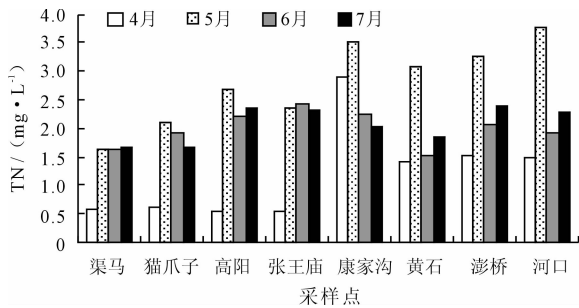


图 2 不同时期总氮浓度变化特征

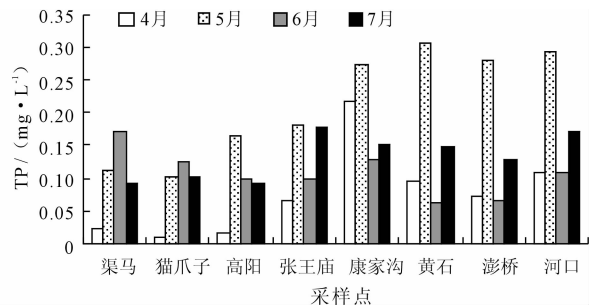


图 3 不同时期总磷浓度变化特征

2.3 各个时期藻细胞密度变化特征

4 个时期藻细胞密度如图 4 所示。由图可以看出,5 月在澎溪河下游地区藻类大量增殖,藻细胞密度较大,爆发以角甲藻和铜绿微囊藻为优势藻种的水华,水华发生阶段水体藻细胞密度远高于未发生水华的时期。5 月初持续高温天气,日照充足,温度和光照是藻类生长的重要因素,气温回暖有助于藻类大量增殖^[17-18]。

同时从不同采样点藻细胞密度分布特征来看,从上游向下游藻细胞密度呈显著上升趋势,上游地区藻细胞密度较低,在上游未发生水华水域藻细胞密度最低点在猫爪子,藻细胞密度仅为 55×10^4 cells/L。下游藻细胞密度最高采样点位于河口水域,藻细胞密度达到 1176×10^4 cells/L,藻细胞密度远高于其他水域。水华期间藻细胞密度从上游向下游增高趋势在其他 3 个时期也存在这种现象,总体靠近河口水域藻细胞

密度高于上游水域。说明澎溪河流域水体藻细胞密度分布不均,藻类增殖呈现不同特点,这可能与澎溪河流域不同水域水环境特征有关,靠近河口地区更易于发生藻类增殖、水华爆发。

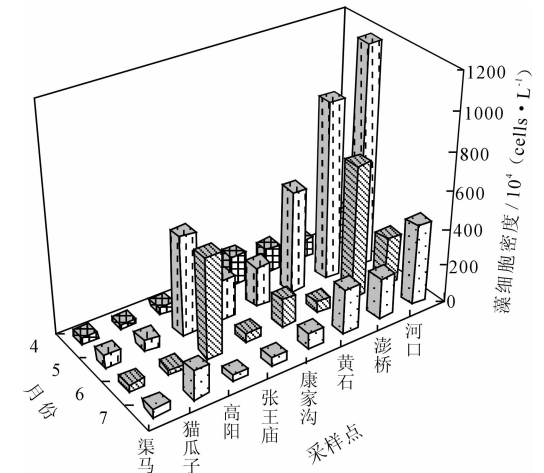


图 4 不同时期藻细胞密度变化特征

2.4 水华时期藻类种群组成

水华期间藻类种群结构如图 5 所示。藻类多样性分析表明,水华期间藻类多样性较低,各采样点 Shannon - Weaver 多样性指数 H' 范围为 1.434 ~ 2.628,均值为 2.012。最低值出现在水华水域的澎溪河口断面,优势种群明显,藻类较少,总计发现 7 门 12 种,水华优势种为角甲藻和铜绿微囊藻,分别占据藻细胞总密度的 54% 和 38%,水华现象在靠近河口水域极其明显。未发生水华的 3 个时期藻类种群丰富,多样性较高,优势种群不明显,其中多样性最高的是 4 月,共发现藻类 7 门 42 种,其中蓝藻门 8 种、绿藻门 12 种、甲藻门 4 种、硅藻门 8 种、隐藻门 5 种、裸藻门 4 种,黄藻门 1 种,多样性指数 H' 范围为 2.169 ~ 3.674,均值为 2.971,反映出藻类种群分布格局均匀,藻类群落结构更为稳定。

值得注意的是,5 月澎溪河下游地区爆发以角甲藻和铜绿微囊藻为优势种的水华,尽管上游地区藻密度较低,并未发生明显水华,但是从藻类群落结构分析图 5 可以看出,上游地区藻细胞种群结构已经出现以

角甲藻和铜绿微囊藻为优势种的种群结构特征。

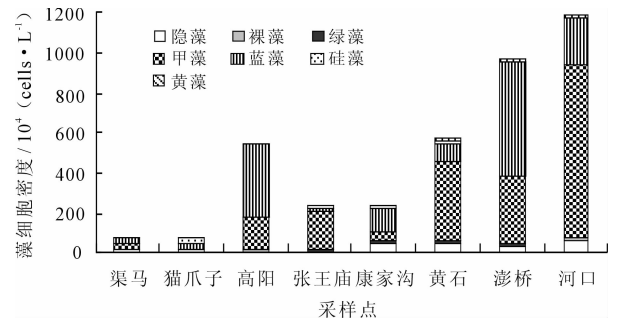


图 5 水华期间藻类群落结构

2.5 水环境因子对水华爆发的影响

自然水体藻类的大量增殖受到复杂的水环境因素影响,例如氮磷营养盐、光照、泥沙量等。对澎溪河水华时期藻细胞密度和 TN、TP、pH、叶绿素等水环境参数做相关性分析,结果如表 2 所示。水华期间藻细胞密度与 TN、TP、Chl - a 浓度、DO 呈显著正相关,与 SD 呈显著负相关。可见,氮磷营养盐对藻类生长起着重要作用,而藻类大量增殖必然对水体 DO、浊度、透明度等带来一定影响。

表 2 水华期间藻细胞密度与环境因子相关关系

	细胞密度	TP	TN	Chl - a	浊度	pH	DO	水温	SD
细胞密度	1								
TP	0.779 *	1							
TN	0.756 *	0.876 **	1						
Chl - a	0.877 **	0.863 **	0.899 **	1					
浊度	0.554	0.928 **	0.845 **	0.702	1				
pH	-0.492	-0.084	-0.065	-0.058	0.086	1			
DO	0.827 *	0.677	0.638	0.828 *	0.410	-0.240	1		
水温	0.317	0.456	0.559	0.629	0.330	0.407	0.551	1	
SD	-0.737 *	-0.920 **	-0.720 *	-0.856 **	-0.795 *	-0.089	-0.672	-0.516	1

注: ** 表示极显著相关, $P < 0.01$; * 表示显著相关, $P < 0.05$ (双尾检验)

从水华期间水体氮磷营养盐分布来看,水华水域氮磷营养盐浓度与藻细胞密度具有直接关系,氮磷作为藻类生长必需的营养要素,是造成水体富营养化的罪魁祸首,是水华爆发的必要条件^[19-20]。据文献报道^[21-22],水华发生时常伴随相关水域氮磷营养盐浓度的上升,水华发生水域氮磷浓度显著高于未发生水华的水域,本文研究也得出相同结论,据推测这与水华期间藻类富集氮磷营养盐有关。可见,氮磷营养盐浓度与藻细胞密度关系密切,氮磷营养盐的上升和藻类密度的升高相辅相成,水体氮磷浓度的上升有助于藻类的大量增殖。

3 结 语

(1) 不同时期澎溪河水环境参数存在显著差异,水华阶段水环境特征显著有别于水华发生前后时期,水体透明度显著降低,pH 较低,水体 DO 升高,水华时期氮磷营养盐浓度较高,且呈现从上游向下游增高趋势,氮磷营养盐浓度与藻细胞密度呈显著正相关关系。

(2) 2014 年 5 月澎溪河流域下游靠近河口地区爆发水华,藻细胞密度最高处达到 1176×10^4 cells/L,水华优势种为角甲藻和铜绿微囊藻,藻种单

一,藻类多样性显著低于未发生水华时期。上游虽未爆发水华,但水华藻种在上游也已形成优势种,优势种的形成为水华爆发提供了前提条件。

(3)藻细胞密度与水环境条件显著相关,春季气温回暖、下游氮磷营养盐浓度上升有利于藻类增殖,爆发水华。澎溪河流域水环境受到流域内农业生产影响,合理使用农药、化肥,有效控制流域内农业面源污染,对于防治流域富营养化具有重要意义。

参考文献:

[1] 邱光胜,胡圣,叶丹,等. 三峡库区支流富营养化及水华现状研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(3): 311-316.

[2] 杨敏,张晟,胡征宇. 三峡水库香溪河库湾蓝藻水华暴发特性及成因探析[J]. 湖泊科学, 2014, 26(3): 371-378.

[3] 田泽斌,刘德富,杨正健,等. 三峡水库香溪河库湾夏季蓝藻水华成因研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(11): 2083-2089.

[4] Long Tianyu, Wu Lei, Meng Guohu, et al. Numerical simulation for impacts of hydrodynamic conditions on algae growth in Chongqing Section of Jialing River, China[J]. Ecological Modeling, 2011, 222(1): 112-119.

[5] Xu Yaoyang, Cai Qinghua, Ye Lin, et al. Asynchrony of spring phytoplankton response to temperature driver within a spatial heterogeneity bay of Three Gorges Reservoir, China[J]. Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters, 2011, 41(3): 174-180.

[6] 王岚,蔡庆华,张敏,等. 三峡水库香溪河库湾夏季藻类水华的时空动态及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1940-1946.

[7] 朱孔贤,毕永红,胡津林,等. 三峡水库神农溪2008年夏季铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)水华暴发特性[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 220-226.

[8] 谭啸,孔繁翔,于洋,等. 升温过程对藻类复苏和群落演替的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(6): 578-582.

[9] 杨霞,刘德富,杨正健. 三峡水库香溪河库湾春季水华暴发藻类种源研究[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2051-2056.

[10] 李哲,郭劲松,方芳,等. 三峡小江回水区蓝藻季节变化及其与主要环境因素的相互关系[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 301-309.

[11] 陈小娟,潘晓洁,邹曦,等. 三峡水库小江回水区水华爆发期原生物群落的初步研究[J]. 水生生态学杂志, 2013, 34(6): 1-6.

[12] 国家环境保护局,水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

[13] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

[14] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[15] Pokrovsky O S, Shirokova L S. Diurnal variations of dissolved and colloidal organic carbon and trace metals in a boreal lake during summer bloom[J]. Water Research, 2013, 47(2): 922-932.

[16] Ye Linlin, Shi Xiao, Wu Xiaodong, et al. Dynamics of dissolved organic carbon after a cyanobacterial bloom in hypereutrophic Lake Taihu (China) [J]. Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters, 2011, 41(4): 382-388.

[17] Havens K E, James R T, East T L, et al. N:P ratios, light limitation, and cyanobacterial dominance in a subtropical lake impacted by non-point source nutrient pollution[J]. Environmental Pollution, 2003, 122(3): 379-390.

[18] Brunberg A K, Blomavist P. Recruitment of *Microcystis* (Cyanophyceae) from lake sediments: the importance of littoral inocula[J]. Journal of Phycology, 2003, 39(1): 58-63.

[19] Domingues R B, Anselmo T P, Barbosa A B, et al. Nutrient limitation of phytoplankton growth in the freshwater tidal zone of a turbid, Mediterranean estuary[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2011, 91(2): 282-297.

[20] Kim Ho-Sub, Hwang Soon-Jin, Shin Jae-ki, et al. Effects of limiting nutrients and N:P ratios on the phytoplankton growth in a shallow hypertrophic reservoir[J]. Hydrobiologia, 2007, 581(1): 255-267.

[21] 曹承进,郑丙辉,张佳磊,等. 三峡水库支流大宁河冬、春季水华调查研究[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3471-3480.

[22] 张晟,李崇明,付永川,等. 三峡水库成库后支流库湾营养状态及营养盐输出[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 7-12.