DOI:10.15928/j.1674-3075.2016.06.002

三峡水库典型支流河口浮游植物群落与水环境相关性分析

潘晓洁[1,2],刘 诚[1,3],万成炎[1,2],赵以军[3],朱梦灵[1]

(1.水利部中国科学院水工程生态研究所,水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,武汉 430079;
2.水资源安全保障湖北省协同创新中心,武汉 430072;
3.湖北工业大学资源与环境工程学院,河湖生态修复与藻类利用湖北省重点实验室,武汉 430068)

摘要:2015年4月在三峡水库库首、库中、库尾分别选择香溪河、澎溪河、御临河进行采样,比较浮游植物群落特征和浮游植物功能类群的异同,并用综合营养指数对水质进行评价。结果显示,3条支流浮游植物群落特征存各有不同,共鉴定出浮游植物8门、46属、68种;其中,御临河口(50种)>澎溪河口(33种)>香溪河口(20种),主要为硅藻和绿藻。御临河、澎溪河、香溪河的浮游植物平均密度分别为61×10^4个/L、4×10^4个/L、3×10^4个/L,平均生物量分别为0.64 mg/L、0.07 mg/L、0.035 mg/L,御临河现存量明显高于其它2条支流。3条支流共有23个功能群,优势功能类群为御临河(G, C, P),澎溪河(L_M, MP),香溪河(F, Y)。研究表明,库尾、库中和库首河口浮游植物种群结构组成相似,从库尾支流到库首支流浮游植物种类和现存量逐渐减少。浮游植物库尾支流由硅藻为优势种的功能群转变为库中甲藻为优势种和库首绿藻为优势种的功能群。浮游植物现存量从库首到库尾支流逐渐增加,对透明度的变化有所影响;而库首到库尾支流水体氮、磷营养更多地取决于蓄水产生的水文水动力变化。

关键词:三峡水库;浮游植物;功能群;水质评价;相关性

中图分类号:Q145;X824 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2016)06-0007-07

三峡库区江河纵横、水系发达,有次级河流400多条。三峡水库蓄水运行后,库区水位抬高,支流水动力条件及水环境条件因而发生改变。已有研究表明,三峡水库成库后,支流流速减缓,水体富营养化程度大幅提升,回水区水华事件频繁发生(胡征宇等, 2006; 李崇明等, 2007;郑志伟,2014;潘晓洁,2016);尤其在支流河口区域,由于既受干流顶托作用影响,又受支流中上游来水影响,营养来源、水文条件等更有利于水华藻类的生长和繁殖。三峡库区地跨湖北省西部和重庆市中东部,由于地理位置差异,位于库首、库中及库尾的支流受三峡水库运行影响是不同的。受工程运行水位波动以及库区高程分布等因素的影响,库首支流受工程运行的影响要大于库中和库尾支流;加上人类活动的影响,三峡水库蓄水运用后,库首、库中及库尾支流的水生生物群落存在显著差异(王珂, 2013; 王宝强等, 2015)。为反映三峡水库蓄水运用后库首、库中、库尾支流的生态环境状况,本文在三峡水库支流水华易于暴发的春季,选取香溪河、澎溪河、御临河3条典型支流的河口进行浮游植物群落监测,比较其种类组成、现存量、功能类群差异,分析了浮游植物主要功能群与水环境的相关性,并使用综合营养指数对3条支流河口区的水质状况进行了评价。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

2015年4月于三峡库区库首、库中、库尾分别选取香溪河、澎溪河、御临河共计3个典型支流开展浮游植物群落特征监测。采样断面设置在3条典型支流的回水区距河口2~3 km处,每个采样断面设置左、中、右3个采样点,分别记为Y1、Y2、Y3,P1、P2、P3,X1、X2、X3。采样断面位置及其GPS位点如图1所示。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 *浮游植物* 浮游植物定性样品采用25号浮游生物网在水面"∞"形来回拖动数次,捞取浓缩藻样后,用4%的福尔马林溶液固定保存。浮游植物定量样品用有机玻璃采水器采集1 L表层水样,当场加入1.5%的鲁哥试液固定,静置沉淀48 h后定

收稿日期:2016-04-21

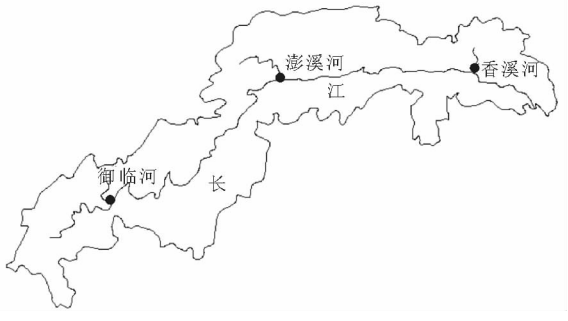
基金项目:三峡后续工作科研项目(2013HXKY2-3);国家自然科学基金项目(51009100;51209147)。

作者简介:潘晓洁,1980年生,女,副研究员,主要从事藻类环境生物学与生态规划工作。E-mail: panxj2008@163.com

通信作者:万成炎,1964年生,男,研究员,主要从事生态修复与生态规划工作。E-mail: chywan@mail.ihe.ac.cn

容至30 mL,用于定量分析。浮游植物种类鉴定以及定量分析参照相关文献进行(章宗涉和黄祥飞,1991;胡鸿钧和魏印心,2006)。藻类体积根据各藻类相近几何形状的体积公式计算(Hillebrand,1999),假定浮游植物的密度为1 g/cm^3,计算浮游植物的生物量。

1.2.2 环境因子 在监测现场使用塞氏盘测量透明度(SD);采用YSI-650水质分析仪测量水温(T)、溶解氧(DO)、pH值、电导率(COND)等参数,同时用有机玻璃采水器在每个采样点采集1 L表层水样,参照水与废水监测分析方法(魏复盛,2002)测定总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、叶绿素(Chl-a)、硝氮(NO_3-N)、氨氮(NH_4-N)等指标;其中,总氮测定采用碱性过硫酸钾紫外分光光度法(HJ636-2012),氨氮测定采用纳氏试剂分光光度法(HJ535-2009),硝酸盐氮测定采用酚二磺酸分光光度法(GB7480-1987),磷酸盐及总磷测定采用钼酸铵分光光度法(GB11893-1989),高锰酸盐指数测定采用酸性高锰酸钾氧化法(GB11892-1989)。



支流名称	所在地区	采样点经纬度	距三斗坪/km
御临河	重庆渝北区	E 106°51′06″; N 29°39′33″	556.5
澎溪河	重庆万州区	E 108°40′27″; N 30°56′47″	247.0
香溪河	宜昌秭归县	E 110°45′48″; N 30°58′46″	30.0

图1 采样断面位置及其GPS位点示意

Fig. 1 Location and coordinates of sampling sites

1.3 数据分析

1.3.1 浮游植物功能组划分 根据Reynolds等(2006)的藻类功能分组及Padisák等(2009)的后续补充完善,对3条支流河口的浮游植物群落进行功能组分类,对个别生理生态特征缺失的藻种,则结合前人研究结果、栖息生境特征和形态特征,确定其C-R-S生长策略,并粗判其功能组别。

1.3.2 综合营养状态指数分析 根据湖泊富营养化调查规范(金相灿和屠清瑛,2014),选取叶绿素a(Chl-a)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、化学需氧量(COD)为指标,采用综合营养状态指数法来评价水体营养程度。综合营养状态指数采用卡尔森指数,计算公式为:

$$TLI(\sum) = \sum_{i=1}^{j} W_j \times TLI(j)$$

式中:W_j为第j种参数对应状态指数的相关权重;$TLI(j)$为第j种参数的营养状态指数。$TLI(\sum)<20$为贫营养状态;$20 \leqslant TLI(\sum)<30$为贫-中营养状态;$30 \leqslant TLI(\sum)<40$为中营养状态;$40 \leqslant TLI(\sum)<50$为中-富营养状态;$TLI(\sum) \geqslant 50$为富营养状态。

2 结果

2.1 浮游植物群落特征

2.1.1 种类组成 调查期间,香溪河、澎溪河、御临河3条典型支流共鉴定出浮游植物8门、46属、68种(表1)。以绿藻门(23种)和硅藻门(22种)种类居多,其次是裸藻门(9种)和蓝藻门(5种),这4门藻类占浮游植物总数的86.7%,其他4门藻种类数较少,均不超过3种。

从空间分布特征来看,浮游植物种类数由库尾至库首逐渐减少,库尾御临河(50种)明显高于库中澎溪河(33种)和库尾香溪河(20种),但3个河口浮游植物种类组成相似,均以硅藻和绿藻种类居多。

表1 3条典型支流浮游植物种类组成

Tab. 1 Phytoplankton community composition in the three tributaries

门类	总种数	各河口采样点浮游植物种数											
		御临河				澎溪河				香溪河			
		Y1	Y2	Y3	小计	P1	P2	P3	小计	X1	X2	X3	小计
蓝藻门	5	3	2	3	5	0	0	0	0	1	0	1	1
硅藻门	22	10	13	8	16	4	6	7	13	2	5	5	8
绿藻门	23	8	9	9	17	4	3	4	9	3	3	2	6
甲藻门	3	0	1	1	2	0	1	1	1	0	1	2	3
裸藻门	9	2	0	2	4	2	2	2	6	0	0	0	0
隐藻门	3	0	0	3	3	1	2	3	3	0	0	1	1
金藻门	2	2	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	1
黄藻门	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
合 计	68	26	26	27	50	11	15	17	33	7	9	11	20

2.1.2　现存量　调查期间,御临河、澎溪河、香溪河浮游植物平均总密度均处于较低水平,分别为 61×10^4 个/L、4×10^4 个/L、3×10^4 个/L;浮游植物的平均生物量差别较大,分别为 0.64 mg/L、0.07 mg/L、0.035 mg/L。从空间分布特征来看,浮游植物密度和生物量均从库尾至库首逐渐减小(图 2)。就密度而言,库尾御临河较其它 2 条支流高 1 个数量级;就生物量而言,库尾御临河分别是库中澎溪河、库首香溪河的 9.14 倍和 18.28 倍。

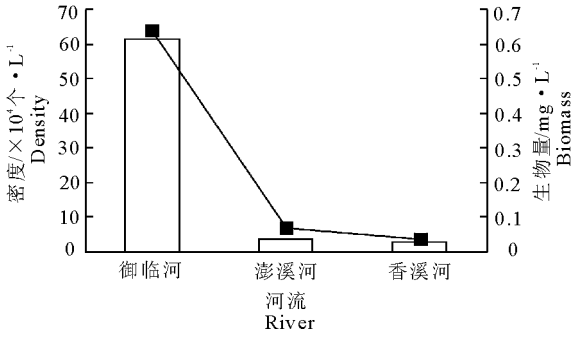


图 2　3 条典型支流浮游植物密度和生物量组成

Fig. 2　Comparison of phytoplankton density and biomass in the three tributaries

2.1.3　功能类群　根据功能群分类方法(Padisák, 2009),对本次采样鉴定出的浮游植物进行功能类群划分,共得到 23 个功能群类。从空间分布特征来看,浮游植物功能类群数量从库尾到库首逐渐减少,库尾御临河、库中澎溪河、库首香溪河的浮游植物功能类群分别为 22 个、17 个和 14 个(表 2)。此外,3 条典型支流的优势浮游植物功能类群各不相同(表 3);其中,御临河是以硅藻为代表的 C、P 功能组以及以绿藻为代表的 G 功能组(图 3-a),澎溪河是以甲藻为代表的 L_M 功能组和以硅藻为代表的 MP 功能组(图 3-b),而香溪河则是以绿藻为代表的 F 功能组和以甲藻为代表的 Y 功能组(图 3-c)。

2.2　浮游植物与水环境的相关性

2.2.1　水环境特征及水质状况评价　3 条典型支流的水体理化指标监测结果见表 4。从库尾至库首,总氮逐渐升高,而氨氮与总氮的变化趋势相反;总磷呈逐渐升高的趋势,但库中澎溪河与库首香溪河的总磷含量差别很小;高锰酸盐指数逐渐减小;透明度呈逐渐升高的趋势,御临河的平均透明度仅为 0.83 m,其他 2 个河口的透明度均在 3.00 m 以上;御临河的水温明显高于其他 2 个河口;pH 和溶解氧的差别不大。

表 2　3 条典型支流支流浮游植物功能群及其代表种

Tab. 2　Phytoplankton functional groups and the representative species in the three tributaries

御临河		澎溪河		香溪河	
功能类群	代表种	功能类群	代表种	功能类群	代表种
A	小环藻. sp	A	小环藻. sp	A	小环藻. sp
B	冠盘藻	B	广缘小环藻	D	尖针杆藻
C	梅尼小环藻	C	美丽星杆藻	E	具尾鱼鳞藻
D	尖针杆藻、肘状针杆藻	D	尖针杆藻、肘状针杆藻	F	椭圆卵囊藻、单生卵囊藻
E	具尾鱼鳞藻	E	具尾鱼鳞藻	G	空球藻
F	波吉卵囊藻、肥壮蹄形藻	G	美丽团藻	L_0	多甲藻
G	实球藻	J	二角盘星藻	L_M	角甲藻
H_1	水华鱼腥藻	L_M	角甲藻	MP	尖头舟形藻
J	二角盘星藻	MP	扁圆卵形藻多孔变种	P	颗粒直链藻
L_0	多甲藻	P	颗粒直链藻、具槽直链藻	S_N	尖头藻
L_M	角甲藻	TB	纤细异极藻	TB	简单舟形藻
M	微囊藻. sp	W_0	小球藻、衣藻	W_0	小球藻、衣藻
P	颗粒直链藻、沃切里脆杆藻小头变种	W_1	梭型裸藻、圆形扁裸藻	X_1	镰形纤维藻
S_1	泽丝藻、土生假鱼腥藻	W_2	珍珠囊裸藻	Y	裸甲藻
S_N	尖头藻	X_1	狭形纤维藻		
T_B	简单直链藻	X_2	尖尾蓝隐藻		
W_0	小球藻、衣藻	Y	啮噬隐藻		
W_1	裸藻				
W_2	囊裸藻				
X_1	镰形纤维藻				
X_2	尖尾蓝隐藻				
Y	啮噬隐藻				

表3 3条典型支流优势浮游植物功能类群

Tab.3 Dominant phytoplankton functional groups in the three tributaries

河流	优势功能类群	环境特征	代表种
御临河	G	富营养、停滞水体	实球藻
	C	富营养、中小型水体	梅尼小环藻
	P	持续或半持续的混合水层	颗粒直链藻
澎溪河	L_M	贫到富营养、中到大型水体可深可浅	角甲藻
	MP	经常性搅动、浑浊	扁圆卵形藻多孔变种
香溪河	F	中到富营养、洁净、混合强	椭圆卵囊藻单生卵囊藻
	Y	静水环境	裸甲藻

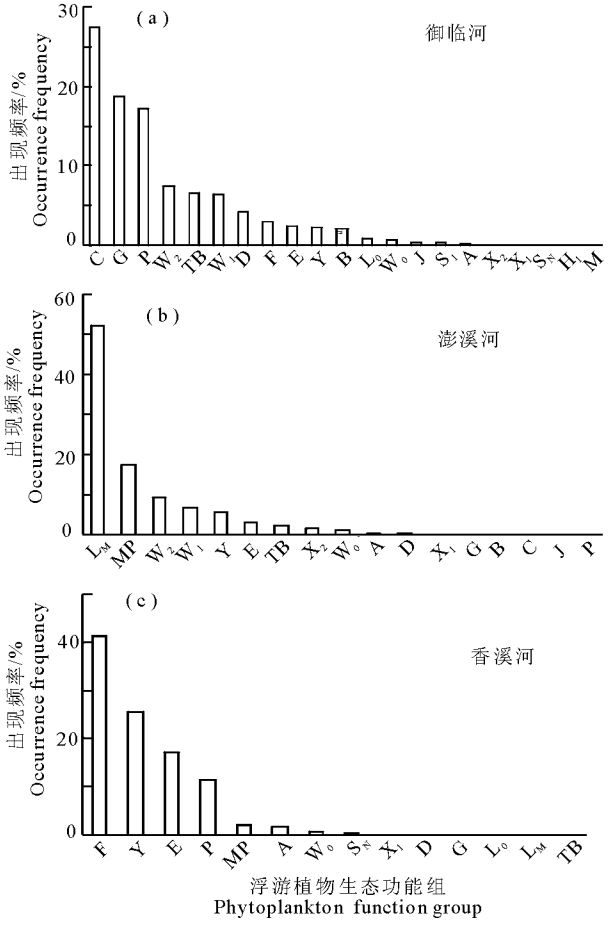


图3 3条典型支流支流浮游植物功能群出现频率

Tab.3 Occurrence frequency of phytoplankton function group in the three tributaries

2.2.2 *浮游植物主要功能群的相关性* 浮游植物总现存量、各功能群现存量与环境因子的相关性(表5)表明,3条典型河流浮游植物总密度和总生物量与水质状况密切相关,但浮游植物功能组除C、P组与水质状况密切相关外,其他功能组与水质状况均不相关。

表4 3条典型支流水体环境理化指标监测结果

Tab.4 Aquatic physical and chemical factors in the three tributaries

环境因子	御临河	澎溪河	香溪河
TN/mg·L^{-1}	1.72±0.07	1.98±0.03	2.13±0.11
NO_3-N/mg·L^{-1}	1.08±0.03	1.49±0.05	1.81±0.04
NH_4-N/mg·L^{-1}	0.56±0.04	0.36±0.03	0.08±0.03
TP/mg·L^{-1}	0.08±0.00	0.15±0.00	0.16±0.01
COD_{Mn}/mg·L^{-1}	4.66±0.88	2.46±0.35	2.03±0.14
Chl-a/ μg·L^{-1}	5.53±2.25	1.11±0.18	0.58±0.05
SD/m	0.83±0.04	3.07±0.28	3.30±0.20
T/℃	21.44±0.04	18.34±0.04	18.72±0.25
COND/μS·cm^{-1}	463.33±18.48	406.33±7.51	358.00±2.65
DO/mg·L^{-1}	4.77±0.40	5.41±0.64	5.64±0.23
ORP	85.03±3.39	108.37±4.04	115.13±4.16
pH	7.30±0.03	7.48±0.16	7.67±0.06

计算库尾御临河、库中澎溪河、库首香溪河的综合营养状态指数TLI(∑)分别为50.58、40.67、38.03,即从空间分布上看,TLI(∑)从库尾至库首逐渐降低。通过TLI(∑)分析,得出的水质评价结果显示,御临河为轻度富营养状态,澎溪河处于中-富营养状态,香溪河处于中营养状态。比较3条典型支流各水质指标对综合营养指数TLI(∑)的贡献发现(图4),各支流TLI(TN)和TLI(TP)均较高,御临河最低,但与其它2条支流差异较小;而TLI(SD)、TLI(COD_{Mn})和TLI(Chl-a)御临河均明显高于其它支流。

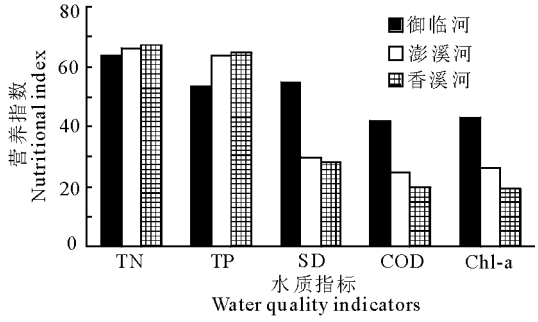


图4 3条典型支流各水质指标对综合营养状态指数的贡献

Fig.4 Contribution of water quality indicators to comprehensive nutritional index of the three tributaries

3 讨论

3.1 浮游植物功能群特征

三峡水库运行对库尾至库首3条典型支流河口的影响形成了不同的生境条件,生境条件的不同也影响到浮游植物组成。总体来看,3条支流浮游植

表 5　3 条典型支流浮游植物现存量和与环境因子的 Pearson 相关性分析

Tab. 5　Pearson correlation analysis between phytoplankton standing stock and environmental factors in the three typical tributaries

指标	CD	BM	G	C	P	LM	MP	F	Y
TN	−0.92**	−0.90**	−0.72*	−0.88**	−0.65	0.09	0.03	0.21	0.50
NO_3-N	−0.93**	−0.91**	−0.61	−0.84**	−0.74*	0.08	0.10	0.44	0.43
NH_4-N	0.84*	0.81*	0.54	0.73	0.62	0.07	0.02	−0.57	−0.40
TP	−0.99**	−0.99**	−0.67	−0.91**	−0.84**	0.18	0.23	0.20	0.24
COD_{Mn}	0.92**	0.94**	0.65	0.85**	0.87**	−0.09	−0.30	−0.30	−0.25
Chl-a	0.94**	0.92**	0.42	0.75*	0.89**	−0.12	−0.12	−0.23	−0.34
SD	−0.99**	−0.99**	−0.64	−0.90**	−0.84**	0.16	0.28	0.26	0.27
T	0.97**	0.96**	0.66	0.91**	0.83*	−0.31	−0.29	−0.19	−0.17
COND	0.87**	0.87**	0.59	0.79*	0.77*	−0.04	−0.04	−0.46	−0.40
DO	−0.72*	−0.59	−0.39	−0.62	−0.43	0.56	−0.17	0.16	0.36
ORP	−0.95**	−0.94**	−0.61	−0.86**	−0.86**	0.27	0.09	0.28	0.41
TDS	0.99**	0.96**	0.65	0.91**	0.83*	−0.30	−0.28	−0.20	−0.25
pH	−0.78*	−0.83*	−0.50	−0.68**	−0.65	−0.36	0.02	0.29	0.45
TLI(∑)	0.83*	0.84**	0.57	0.75*	0.74*	0.04	−0.05	−0.49	−0.36

注:* 表示显著相关($P<0.05$),** 表示极显著相关($P<0.01$),CD 表示细胞密度,BM 表示生物量;G、C、P、L_M、MP、F、Y 分别代表不同功能组。

Notes: * indicates a significant correlation ($P<0.05$), ** indicates a highly significant correlation ($P<0.01$). CD: cell density, BM: biomass; G, C, P, L_M, MP, F, Y represent different phytoplankton function groups.

物主要由硅藻和绿藻组成,与相关研究结果一致(周广杰等, 2006; 张远等, 2006; 朱爱民等, 2013),但优势功能群之间却差异较大。御临河的优势功能群为 G、C 和 P,其中 C 功能类群代表种为硅藻门的梅尼小环藻,其能适应弱光条件(Padisák, 2009),御临河的透明度均值仅为 0.8 m 左右,是 3 个支流中最浑浊的,这与梅尼小环藻为优势功能类群相吻合。P 功能类群代表种为硅藻门的颗粒直链藻,其比重较大,适应水体扰动的环境,容易在水流紊乱的环境中已形成优势(Reynolds, 2006)。G 功能类群代表种为绿藻门的实球藻,此类群适应富营养化水体,这与水质评价结果相吻合。有研究表明,同期澎溪河河口的优势功能群为 L_M(李哲等, 2011),代表种为角甲藻,这与本研究结果一致;而香溪河的优势功能类群为 F 和 Y,本次调查期间,三峡水库处于泄水期,位于库首的香溪河,干流倒灌明显增强(李媛等, 2012)。河口区一方面流速减缓,呈静置状态;另一方面得到干流稀释,营养水平下降。F 功能类群的物种耐受低营养的环境,Y 功能类群的分布特征为静水环境,因此二者占有优势。

3.2　水环境因子的影响

3 个典型支流浮游植物现存量与功能群的差异与水质状况关系密切。本次调查期间,3 个支流河口的水质状况一方面受到上游污染的影响,另一方面也受到水库运行的影响。库尾至库首的氮、磷浓度和透明度均所有增加,且与浮游植物总量变化显著负相关,说明浮游植物对库区支流水体透明度变化有重要影响作用,但对库区支流水体氮、磷含量的贡献较小,不是决定水体营养盐含量变化的主要因子。对于库区支流水体的氮、磷含量而言,更多地取决于蓄水导致的水文水动力学变化。调查期间,三峡水库水位为 165 m 左右,属于高水位运行期,库首(香溪河)及库中(澎溪河)支流受干流影响较库尾支流明显,支流河口的流速较缓且透明度均高于 3 m,而库尾(御临河)位于重庆渝北区,属于水位 175 m 的库尾区域,水位在 165 m 时受回水影响相对较小,现场观测发现,御临河有较为明显的流速且水体较浑浊,水体中所携带的泥沙是御临河 COD_{Mn} 较高、SD 较低的主要原因;同时,导致御临河污染的主要因素为水土流失和沿江城镇污水(毕春伟等, 2010),与之对应的御临河高锰酸盐指数、水温和氨氮浓度均明显高于其它 2 条支流。本次调查中,3 条支流的总氮、总磷浓度远高于 0.2 mg/L、0.02 mg/L的富营养化临界浓度(郭秒等, 2005)。除浮游植物现存量、功能组 G、C、P 组现存量与总氮、总磷密切相关外,其他功能组与总氮、总磷均无显著相关,表明总氮和总磷不再是限制因子。较高的水温、高锰酸盐指数以及氨氮浓度,会促进御临河浮游植物的生长,这与御临河的叶绿素 a 含量和浮游植物现存量明显高于其它支流的结果一致。

4 结论

三峡库区不同支流河口浮游植物群落的研究结果表明,库尾、库中和库首河口浮游植物种群结构组成相似,从库尾支流到库首支流浮游植物种类和现存量逐渐减少。反映群落结构对生境变化响应特征的功能群由库尾支流以硅藻为优势种转变为库中以甲藻为优势种和库尾以绿藻为优势种。研究发现浮游植物总现存量与水质状况密切相关,但浮游植物功能组除C、P组与水质状况密切相关外,其他功能组与水质状况均不相关,需要进一步加强相关结论的研究。

参考文献

毕春伟,叶琰,骆云中,2010. 重庆市渝北区水域保护与开发利用探析[J]. 西南农业大学学报:社会科学版, 8(3): 33-35.

郭秒,王政昆,彭昌亚,等,2005. 阳宗海和滇池中紫色非硫细菌数量和种群结构的比较[J]. 生态学报, 25(6): 107-110.

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

胡征宇,蔡庆华,2006. 三峡水库蓄水前后水生态系统动态的初步研究[J]. 水生生物学报, 30(1): 3-8.

金相灿,1990. 湖泊富营养化调查规范(第2版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社.

李崇明,黄真理,张晟,等,2007. 三峡水库藻类"水华"预测[J]. 长江流域资源与环境, 16(1): 3-8.

李媛,刘德富,孔松,等,2012. 三峡水库蓄泄水过程对香溪河库湾水华影响的对比分析[J]. 环境科学学报, 32(8): 93-104.

李哲,方芳,郭劲松,等,2011. 三峡小江(澎溪河)藻类功能分组及其季节演替特点[J]. 环境科学, 32(2): 90-98.

潘晓洁, 刘诚, 朱梦灵,等,2016. 三峡水库泄、蓄水过程小江浮游植物群落结构特征研究[J]. 水生态学杂志, 37(3): 42-48.

王宝强, 刘学勤, 彭增辉, 等,2015. 三峡水库底栖动物群落结构特征及其与蓄水前资料的比较[J]. 39(5): 965-972.

王珂,2013. 三峡库区鱼类时空分布特征及与先关因子关系分析[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院.

魏复盛,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.

张远,郑丙辉,刘鸿亮,2006. 三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境,15(2): 126-130.

章宗涉, 黄祥飞,1991. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 农业出版社.

郑志伟,胡莲,邹曦, 等,2014. 汉丰湖富营养化综合评价与水环境容量分析[J]. 水生态学杂志, 35(5): 22-27.

周广杰,况琪军,胡征宇,等,2006. 香溪河库湾浮游藻类种类演替及水华发生趋势分析[J]. 水生生物学报, 30(1): 44-48.

朱爱民,胡菊香,李嗣新,等,2013. 三峡水库长江干流及其支流枯水期浮游植物多样性与水质[J]. 湖泊科学, 25(3): 64-71.

Hillebrand H, Dürselen C D, Kirschtel D, et al, 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae[J]. Journal of phycology, 35(2): 403-424.

Inés O'Ffarrell, Paula de Tezanos Pinto, Irina Izaguirre, 2007. Phytoplankton morphological response to the underwater light conditions in a vegetated wetland[J]. Kluwer Academic Publishers, 578(1): 65-77.

Lean D, Pick F R, 1981. Photosynthetic Response of Lake Plankton to Nutrient Enrichment: A Test for Nutrient Limitation[J]. American Society of Limnology and Oceanography, 26(6): 1001-1019.

Padisák J, Borics G, Fehér G, et al, 2003. Dominant species, functional assemblages and frequency of equilibrium phases in late summer phytoplankton assemblages in Hungarian smallshallow lakes[J]. Hydrobiologia, 502(5): 157-168.

Padisaák J, Borics G, Grigorszky I, et al,2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index[J]. Hydrobiologia, 553(1): 1-14.

Padisaák J, Crossetti L O, Naselli-Flores L, 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates[J]. Hydrobiologia, 621(1): 1-19.

Reynolds C, 2006. Ecology of Phytoplankton[M]. UK: Cambridge University Press.

Reynolds C, 2007. Variability in the provision and function of mucilage in phytoplankton: Facultative responses to the environment[J]. Hydrobiologia, 578: 37-45.

(责任编辑 万月华)

Phytoplankton Community Structure in Typical Tributary Coves of Three Gorges Reservoir and Its Relationship to the Water Environment

PAN Xiao-jie[1,2], LIU Cheng[2,3], WAN Cheng-yan[1,2], ZHAO Yi-jun[3], ZHU Meng-ling[1]

(1. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences. Wuhan 430079, P. R. China;
2. Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan 430072, P. R. China;
3. Hubei Province Key Laboratory of Lakes Ecological Restoration and Algae Use, College of Resources and Environment Sciences, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, P. R. China)

Abstract: The aquatic community structure in tributary coves of Three Gorges Reservoir varies significantly with distance from the dam. To characterize the aquatic ecological environment of tributaries of Three Gorges Reservoir, we investigated the phytoplankton community in the bays of Xiangxi River, Pengxi River and Yulin River. These are three typical tributaries and are located, respectively, in the lower, middle and upper reach of Three Gorges Reservoir. Phytoplankton species composition, standing stock and functional groups of the three rivers were compared, the relationship between phytoplankton functional groups and water quality parameters was analyzed, and water quality in the three rivers was evaluated based on the comprehensive nutrient index. Phytoplankton sampling was carried out in April of 2015 and the sampling section was located 2 – 3 km upstream from the confluence, with three sampling sites in each section. Water samples were collected and in-situ measurements made at the same time phytoplankton were collected and the water quality parameters included water transparency, water temperature, conductivity, DO, pH, TN, TP, COD_{Mn}, Chl-a, NO_3-N and NH_4-N. Characteristics of phytoplankton community from the three tributaries were significantly different. A total of 68 phytoplankton species from 46 genera, 8 phyla were identified, dominated by diatoms and green algae. The number of phytoplankton species by river was 50 species (Yulin), 33 species (Pengxi) and 20 species (Xiangxi). The average phytoplankton density and biomass were 62×10^4 ind/L and 0.64 mg/L (Yulin), 4×10^4 ind/L and 0.07 mg/L (Pengxi), 3×10^4 ind/L and 0.035 mg/L (Xiangxi). The phytoplankton standing stock of Yulin River was obviously higher than the other two rivers. There were 23 phytoplankton functional clusters obtained for the three tributaries, with dominance by G, C, P functional clusters inYulin River, L_M, MP functional clusters in Pengxi River and F, Y functional clusters in Xiangxi River. In general, the phytoplankton population structures in the estuary of the three tributaries were similar, but species composition and standing crops of phytoplankton community gradually decreased from the upper to the lower reservoir. In terms of the phytoplankton functional groups, the dominant species were diatoms in the lower tributaries, dinoflagellates in the middle tributaries, and green algae in the upper tributaries. It was shown that phytoplankton quantity of the three tributaries was associated with the change of transparency from upper to lower tributaries and the variation in the nitrogen and phosphorus concentrations, which are highly dependent on hydrodynamic changes resulting from operating Three Gorges Reservoir.

Key words: Three Gorges Reservoir; phytoplankton community; phytoplankton functional group; water quality evaluation; correlation analysis