

重庆市涪陵区梨香流域和麻溪河流域 浮游生物及鱼类资源现状^{*}

杨娜, 杨鑫, 李英文, 刘智皓, 陈启亮, 沈彦君

(重庆师范大学 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】调查研究重庆市涪陵区梨香流域和麻溪河流域浮游生物及鱼类资源的现状。【方法】于2019年3月23—28日在梨香流域和麻溪河流域分别设置6个和3个采样点,进行浮游生物及鱼类资源现状调查,分析它们的群落物种组成、Shannon-Wiener物种多样性指数(H')、Margalef丰富度指数(D)和Pielou均匀度指数(J)。【结果】该研究区域共采集到浮游植物6门61属155种(含变种),其中硅藻门(Bacillariophyta)种类最多。优势种为变异直链藻(*Melosira varians*)、钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)和二头脆杆藻(*Fragilaria biceps*)。浮游植物平均密度为296.4个·L⁻¹,平均生物量为1.97×10⁻²mg·L⁻¹, H' 、 D 和 J 的平均值分别为1.819,1.752和0.798。浮游动物共计4门21属28种(含变种),其中轮虫(Rotifera)种类最多,共15种。优势种为角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)。浮游动物平均密度为202.22个·L⁻¹,平均生物量为11.598mg·L⁻¹, H' 、 D 和 J 的平均值分别为0.896,0.752和0.897。鱼类共采集到3目5科17种,其中鲤科(Cyprinidae)鱼类最多。优势种为鲫(*Carassius auratus*)和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)。【结论】研究区域目前河流浮游生物及鱼类资源可能受到一定程度的影响,基于浮游生物多样性指数评价法可知河流水质表现出清洁至中度污染状态。

关键词:涪陵区;梨香流域;麻溪河流域;浮游生物;鱼类资源

中图分类号:X171

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2020)06-0063-15

浮游生物(Plankton)泛指生活于水体中缺乏有效移动能力的漂浮生物,主要为浮游动物、浮游植物以及超微浮游生物^[1]。浮游生物形态多样、分类复杂、物种丰富、生物量大,是水生态系统的重要组成部分。其中,浮游植物(Phytoplankton)指在水体中营浮游生活的微小植物,主要为浮游藻类。浮游动物(Zooplankton)为水体中营浮游生活异养型的无脊椎动物和脊索动物幼体的总称^[2]。浮游动植物作为水体中的初级生产者,对维持水生态系统平衡起着关键的作用,它们的群落结构组成、多样性指数及种群数量变化能够较好地反映水体的营养状况,是水体健康检测的指标之一^[3-13]。浮游动植物作为鱼类的饵料,对鱼类资源也存在一定影响^[14-18]。鱼类作为水生态系统中的重要组成部分,对水生态系统的健康至关重要。水生态系统的稳定与平衡不仅关系到鱼类的生存,还会影响到鱼类资源的丰富度及该资源产生经济价值的可持续性^[8]。

随着社会经济的快速发展,人类对能源的需求不断加大,梯级水电站工程建设也得到迅速发展。梯级水电站建设是指在河流或河段上建设一系列阶梯式的电站,利用河流的落差及渠化河道来获取河流的水能资源^[19]。梯级水电站的建设具有双面性,已经成为人们关注的焦点^[20-21]:一方面,水电开发属于清洁能源的利用,相对于火力发电等利用化石能源的发电方式,水力发电过程中产生的污染物更小;另一方面,河流的梯级开发也会带来一些消极的影响,例如梯级电站的建设会改变河流的天然分布状态,对河床、河道等存在一定破坏,可能导致水质变坏、河流水生态系统失衡等^[22]。同时,梯级电站的建设还可能影响浮游动植物的生存及群落结构,鱼类的生存及鱼类资源的丰富度也会受到一定的影响^[23-25]。由于鱼类对于水的温度、深度、流速及水质等都有一定要求,它们的生存极易收到外界环境的影响;因此,如何平衡人们对水电资源的巨大需求与水生态环境保护,是水利工

^{*} 收稿日期:2019-10-14 修回日期:2020-07-18 网络出版时间:2020-11-27 14:47

资助项目:国家自然科学基金(No. 31901183);重庆市自然科学基金(No. cstc2019jcyj-msxmX0157);重庆师范大学校立博士启动基金(No. 18XLB007)

第一作者简介:杨娜,女,研究方向为鱼类分子生态学,E-mail: 1377005417@qq.com;通信作者:沈彦君,男,讲师,博士,E-mail: shenyanjun@cqnu.edu.cn.

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20201127.1334.012.html

程建设中应该重点综合考虑的问题。

涪陵区位于重庆市中部、三峡库区腹地,境内水系发达,水资源丰富。长江、乌江及众多支流流经该区,为区内水资源的利用发挥了重要的作用。据统计,涪陵区共有 148 条河流,其中有 36 条区级重点河流。流域面积在 50 km^2 以上河流有 21 条,过境水资源总量达 $4\,023 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。涪陵区的山区河流中存在多个中小型水电站,使得有关河流的水动力情势及水生生物群落结构可能发生了改变。此外,涪陵区还存在居民、养殖户将大部分未经环保处理的生活垃圾和污水直接或间接排向河道的问题,这使得区域内水体污染程度加剧,严重影响到水生生态环境的平衡及生物多样性。韩宝华等人^[26]对重庆涪陵核电厂温排水对三峡库区水生生物的潜在影响进行了研究,发现核电厂温排水长期排放对排水口的浮游生物会产生一定的影响;张晟等人^[27]于 2003 年以三峡水库的上游区(长寿区、涪陵区、丰都县)、中游区(万州区、云阳县、奉节县)和下游区(巫山县)为研究对象,对三峡水库成库初期营养盐与浮游植物分布特征进行分析,初步探讨了包括涪陵区在内的三峡库区水体的营养盐、生物量分布规律及其他指标关系。但是,目前关于涪陵山区河流现状及梯级水电站开发对河流内水生生物资源影响的研究较少,有关涪陵山区河流的研究还不够全面,缺乏针对性。因此,本研究以涪陵区梨香河流域及麻溪河流域为研究区,于 2019 年春季在该区域通过设置采样点对其中的浮游动植物数量、群落种类组成及鱼类资源现状进行了调查,并对浮游动植物多样性指数进行了分析,旨在为对涪陵山区河流的合理开发利用及生态治理修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样点设置

涪陵区内有长江、乌江及两江下属多条支流,在各个支流中分布有众多规模不等的水电站。本次研究于 2019 年 3 月 23—28 日对涪陵山区河流展开调查,分别将 9 个采样点设置在梨香河流域及麻溪河流域。为了使取得的水样更能代表水电站库区的水体,各采样点均设置在距水电站坝址约 500 m 的库区内。

如图 1 所示,梨香河流域设有 6 个采样点,分别为羊石溪(S1)(东经 $107^{\circ}2'19.8''$ 、北纬 $29^{\circ}32'35.82''$)、全善桥(S2)(东经 $107^{\circ}1'28.56''$ 、北纬 $29^{\circ}34'51.20''$)、增福电站(S3)(东经 $106^{\circ}59'44.78''$ 、北纬 $29^{\circ}30'26.14''$)、红沙子坝址(S4)(东经 $107^{\circ}5'36.62''$ 、北纬 $29^{\circ}34'52.61''$)、青烟洞五级坝址(S5)(东经 $107^{\circ}8'6.18''$ 、北纬 $29^{\circ}33'26.06''$)和青烟洞一级坝址(S6)(东经 $107^{\circ}11'3.05''$ 、北纬 $29^{\circ}30'37.89''$);麻溪河流域设有 3 个采样点,分别为华昌隆取水口(S7)(东经 $107^{\circ}29'30.95''$ 、北纬 $29^{\circ}38'5.67''$)、庙塘(S8)(东经 $107^{\circ}32'39.62''$ 、北纬 $29^{\circ}39'24.55''$)和富家洞(S9)(东经 $107^{\circ}39'9.26''$ 、北纬 $29^{\circ}38'19.04''$)。

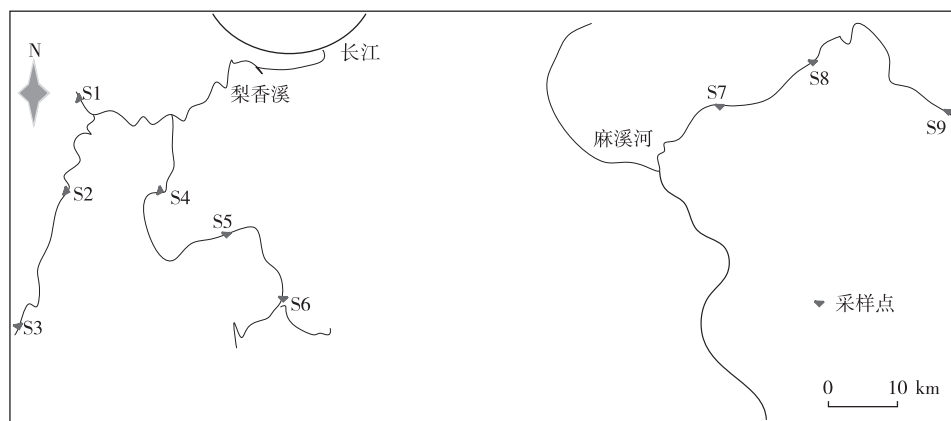


图 1 各采样点位置

Fig. 1 The location of each sampling point

1.2 样品采集和处理

1.2.1 浮游生物样品的定性与定量采集 1) 浮游植物采集与处理。定性样品采集:用 25 号浮游生物网(网孔直径 0.064 mm)在水体表面($0 \sim 0.5 \text{ m}$)按照“ ∞ ”形状缓慢拖曳 $3 \sim 5 \text{ min}$,过滤并按 1.5% 体积比例加入鲁哥氏液进行固定,将样品带回实验室进行镜检^[28]。定量样品采集:由于研究区域为上下层混合较好的可涉水河流,故按照常规方法用采水器于水面以下 0.5 m 左右水层直接取水 2 L ,按 1.5% 体积比例加入鲁哥氏液进行固定,将样

品静置沉淀 48 h,最后虹吸、定容到 30 mL^[28]。

2) 浮游动物采集与处理。定性样品采集:采集方法同上,但改用 13 号浮游生物网(网孔直径 0.112 mm),过滤并按 5% 体积比例加入溶质体积分数为 30%~40% 的甲醛溶液进行固定,最后将样品带回实验室进行镜检^[28]。定量样品采集:用采水器在各水层采集 10 L 水,用 25 号浮游生物网过滤后,将样品装入 100 mL 小方瓶中,按 5% 体积比例加入溶质体积分数为 30%~40% 的甲醛溶液进行固定,将样品静置沉淀 48 h,最后虹吸、定容到 30 mL^[14-15]。

1.2.2 鱼类资源现状调查 涪陵区水系主要为典型的山区小型河流,河面较窄,无专门从事捕捞作业的渔民,只有零星的钓鱼爱好者偶尔通过刺网、杆钓等方式进行捕捞。由于本次调查正处于鱼类繁殖季节,经过当地主管部门同意,采取地笼网、低电压电捕等手段,同时结合对当地居民及餐馆的访问调查等方法,确定该流域鱼类种类组成和资源量情况。为了不损害目前的鱼类资源,现场采集的同一鱼类物种计数后仅留 1 尾用无水乙醇浸泡作为标本,其余样本均放归采集地。渔获物样本依据文献^[29-33]进行鉴定。

1.3 物种鉴定、计数及多样性分析

1.3.1 物种鉴定及计数 浮游动物、浮游植物的定性样品分别在 10×20 及 10×40 倍显微镜下进行观察、拍照、鉴定。浮游植物和浮游动物的鉴定分别参照文献^[34-35]进行。浮游生物数量计数和生物量计算参照文献^[36]进行,并用万深 AlgaeC 浮游生物智能鉴定计数仪(杭州万深检测科技有限公司生产)作为辅助。浮游植物的定量分析方法:吸取 0.1 mL 处理后的定量样品于浮游植物计数框(Palmer counting cell)内,在 10×40 倍镜下进行计数。每瓶计数 2 片,每片计数 100 个视野,取平均值。若同一样品两次计数结果与平均值之差大于 15%,则相应增加计数片数,再取平均值^[1,37]。浮游动物的定量分析方法:吸取 0.1 mL 处理后的定量样品,在 10×20 倍镜下用 0.1 mL 浮游动物计数框计数原生动物;再吸取 1 mL 处理后的定量样品,在 10×10 倍镜下用 1 mL 浮游动物计数框计数轮虫;吸取 5 mL 处理后的定量样品,用 5 mL 浮游动物计数框全片计数枝角类(Cladocera)和桡足类(Copepoda)。若浮游动物较少则需要进行整瓶计数。

1.3.2 多样性指数评价 浮游生物多样性指数可表示多种生物组成的混合生物群落的数量和种类之间的关系,是评价水体是否健康的一个重要的指标^[3,7,15,17]。其中 Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')、Margalef 物种丰富度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)是最常用的指标^[11,14],它们的计算公式分别如下:

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i),$$

式中: P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值,如样品总个数为 n ,第 i 种个体数为 n_i ,则 $P_i = \frac{n_i}{n}$;

$$D = \frac{S-1}{\ln N},$$

式中: S 为物种种数; N 为物种个体数;

$$J = \frac{H'}{H_{\max}},$$

式中 $H_{\max} = \log_{10} S$ 。

各个多样性指数与水质污染类型的关系见表 1^[6]。

表 1 浮游生物多样性指数与水质污染类型的关系
Tab.1 The relationship between phytoplankton diversity index and types of water pollution

多样性指数	清洁型	寡污型	β 中污型	α 中污型-重污型
Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')	>4	>3~4	>1~3	0~1
Margalef 物种丰富度指数(D)	>4	>3~4	>2~3	0~2
Pielou 均匀度指数(J)	0.8~1	>0.5~0.8	>0.3~0.5	0~0.3

2 结果与分析

2.1 浮游植物的群落特征

2.1.1 浮游植物的种类组成 通过对研究区 9 个采样点进行调查分析,得到的浮游植物共 6 门 61 属 155 种(表

2)。其中属于绿藻门(Chlorophyta)、硅藻门(Bacillariophyta)、裸藻门(Euglenophyta)、蓝藻门(Cyanophyta)、黄藻门(Xanthophyta)和甲藻门(Pyrrophyta)的分别有 39,87,8,13,6 和 2 种。S9 样点的浮游植物种类最多,共计 66 种;而 S4 样点的种类最少,仅发现 15 种。综合来看,研究区水体浮游植物的优势种为变异直链藻(*Melosira varians*)、钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)及二头脆杆藻(*Fragilaria biceps*)。

表 2 各采样断面浮游植物种类组成

Tab. 2 The phytoplankton species composition of each sampling point

门	属	种	采样点									
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
绿藻门 (Chlorophyta)	集星藻属(<i>Actinastrum</i>)	汉斯集星藻(<i>A. hantzschii</i>)			+							
		针状集星藻(<i>A. aciculare</i>)									+	
		辐射鼓藻属未鉴别	+	+	+							
	辐射鼓藻属(<i>Actinotaenium</i>)	南瓜形辐射鼓藻(<i>A. cucurbita</i>)						+			+	
		十字形辐射鼓藻(<i>A. cruciferum</i>)									+	
	鼓藻属(<i>Cosmarium</i>)	短鼓藻(<i>C. abbreviatum</i>)									+	
		项圈鼓藻(<i>C. moniliforme</i>)									+	
	鞘藻属(<i>Oedogonium</i>)	普林鞘藻(<i>O. pringsheimii</i>)							+			
	弯丝鼓藻属(<i>Ancylonema</i>)	弯丝鼓藻(<i>A. nordenskioldii</i>)				+						
	纤维藻属(<i>Ankistrodesmus</i>)	狭形纤维藻(<i>A. angustus</i>)			+						+	
		卷曲纤维藻(<i>A. convolutus</i>)							+			
	小球藻属(<i>Chlorella</i>)	普通小球藻(<i>C. vulgaris</i>)									+	
	空球藻属(<i>Eudorina</i>)	华美空球藻(<i>E. elegans</i>)			+		+					
	胶丝藻属(<i>Gloeotila</i>)	胶丝藻属未鉴别			+							
	水网藻属(<i>Hydrodictyon</i>)	网状水网藻(<i>H. reticulatum</i>)		+	+							
	栅藻属(<i>Scenedesmus</i>)	四尾栅藻(<i>S. quadricauda</i>)			+						+	
		尖细栅藻(<i>S. acuminatus</i>)									+	
		双对栅藻(<i>S. bijuga</i>)						+				
	新月藻属(<i>Closterium</i>)	锐新月藻长形变种 (<i>C. acerosum</i> var. <i>elongatum</i>)		+								
		锐新月藻安哥变种 (<i>C. acerosum</i> var. <i>angolense</i>)	+									
		长拟新月藻(<i>C. longissima</i>)									+	
	转板藻属(<i>Mougeotia</i>)	微细转板藻(<i>M. parvula</i>)	+	+		+						
		球孢转板藻(<i>M. globulisporea</i>)	+									
	十字藻(<i>Crucigenia</i>)	窗格十字藻(<i>C. fenestrata</i>)									+	
	四角藻属(<i>Tetraedron</i>)	三叶四角藻(<i>T. triangulare</i>)									+	
	双星藻属(<i>Zygnema</i>)	双星藻属未鉴别	+	+		+						
	拟双星藻属(<i>Zygnemopsis</i>)	拟双星藻属未鉴别	+									
	空星藻属(<i>Coelastrum</i>)	长角空星藻(<i>C. proboscideum</i>)									+	
	胶毛藻属(<i>Chaetophora</i>)	渐狭胶毛藻(<i>C. attenuata</i>)	+									
		优美胶毛藻(<i>C. elegans</i>)	+									
	丝藻属(<i>Planktonema</i>)	游丝藻(<i>P. lauterborni</i>)					+					

续表 2

门	属	种	采样点								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
绿藻门 (Chlorophyta)	弓形藻(<i>Schroederia</i>)	拟菱形弓形藻(<i>S. nitzschioides</i>)					+				
		致细水绵(<i>S. arta</i>)	+			+					
	水绵属(<i>Spirogyra</i>)	水绵属未鉴别									+
		普通水绵(<i>S. communis</i>)	+			+		+	+		+
		拟波皱水绵(<i>S. daedaleoides</i>)				+					
	小箍藻属(<i>Trochiscia</i>)	网纹小箍藻(<i>T. reticularis</i>)	+					+		+	+
	角丝鼓藻属(<i>Desmidium</i>)	角丝鼓藻属未鉴别							+		
		矩形角丝鼓藻(<i>D. baileyi</i>)	+			+					+
	双眉藻属(<i>Amphora</i>)	卵圆双眉藻(<i>A. ovalis</i>)			+						
	棍形藻属(<i>Bacillaria</i>)	奇异棍形藻(<i>B. paradoxa</i>)			+		+				+
	波缘藻属(<i>Cymatopleura</i>)	椭圆波缘藻(<i>C. elliptica</i>)						+			+
		椭圆缢波缘藻缩变种 (<i>C. elliptica</i> var. <i>constricta</i>)							+		+
	星杆藻属(<i>Asterionella</i>)	美丽星杆藻(<i>A. Formosa</i>)								+	
	长蓖藻属(<i>Neidium</i>)	长蓖藻属未鉴别									+
		细纹长蓖藻(<i>N. affine</i>)									+
硅藻门 (Bacillariophyta)	小环藻属(<i>Cyclotella</i>)	星肋小环藻(<i>C. asterocostata</i>)		+	+			+		+	
		链形小环藻(<i>C. catenata</i>)		+	+						
		湖北小环藻(<i>C. hubeiana</i>)		+							
		扭曲小环藻(<i>C. compta</i>)				+					
	桥弯藻属(<i>Cymbella</i>)	膨胀桥弯藻(<i>C. tumida</i>)		+	+			+	+		++
		近缘桥弯藻(<i>C. affinis</i>)						+		+	+
		粗糙桥弯藻(<i>C. aspera</i>)	++	+							
		尖头桥弯藻(<i>C. cuspidate</i>)									+
		箱形桥弯藻(<i>C. cistula</i>)		+		+		+			+
	异极藻属(<i>Gomphonema</i>)	尖异极藻(<i>G. acuminatum</i>)			+			+	+	+	
		缢缩异极藻头状变种 (<i>G. constrictum</i> var. <i>capitatum</i>)		+	+			+	+		+
		缢缩异极藻膨胀变种 (<i>G. constrictum</i> var. <i>ventricosum</i>)						+			
		缠结异极藻矮小变种 (<i>G. intricatum</i> var. <i>pumilum</i>)									+
		窄异极藻(<i>G. angustatum</i>)		+		+			+	+	
		橄榄形异极藻(<i>G. olivaceum</i>)			+						+
		纤细异极藻(<i>G. gracile</i>)							+		
		微细异极藻(<i>G. parvulum</i>)			+				+		
	布纹藻(<i>Gyrosigma</i>)	尖布纹藻(<i>G. acuminatum</i>)			+						
	沟链藻(<i>Aulacoseira</i>)	膜糊沟链藻(<i>A. ambigua</i>)					+			+	+

续表 2

门	属	种	采样点								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
硅藻门 (Bacillariophyta)	直链藻属(<i>Melosira</i>)	颗粒直链藻(<i>M. granulata</i>)		+	+					++	+
		颗粒直链藻极狭变种 (<i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i>)	+					+	+	+	+
		颗粒直链藻原变种 (<i>M. granulata</i> var. <i>granulata</i>)		+				+			
		颗粒直链藻螺旋变种 (<i>M. granulata</i> var. <i>spiralis</i>)		+							
		岛直链藻(<i>M. islandica</i>)			+				+		
		变异直链藻(<i>M. varians</i>)	++	+	+	+	++	+	+	++	+
	弯楔藻属(<i>Rhoicosphenia</i>)	弯形弯楔藻(<i>R. curvata</i>)								+	
	菱形藻属(<i>Nitzschia</i>)	细菱形藻(<i>N. acicularis</i>)	+	+	+			+	+		+
		线形菱形藻(<i>N. linearis</i>)	+	+							+
		分散菱形藻(<i>N. dissipata</i>)			+		+				
		谷皮菱形藻(<i>N. palea</i>)			+						
		拟螺形菱形藻(<i>N. sigmoidea</i>)	+		+			+	+		+
		近线形菱形藻(<i>N. sublinearis</i>)			+						+
	伪菱形藻属(<i>Pseudonitzschia</i>)	伪菱形藻属未鉴别			+				+		+
	舟形藻属(<i>Navicula</i>)	辐头舟形藻(<i>N. capitatoradiata</i>)	+	+	+		+				+
		系带舟形藻(<i>N. cincta</i>)			+						
		线形舟形藻(<i>N. graciloides</i>)	+		+		+	+	+		+
		阿比司库舟形藻(<i>N. abiskoensis</i>)	+	+				+			
		适中舟形藻(<i>N. accomoda</i>)		+							+
		英吉利舟形藻(<i>N. anglica</i>)		+							
		燕麦舟形藻(<i>N. avenacea</i>)		+				+			
		双球舟形藻(<i>N. amphibola</i>)									+
		隐头舟形藻(<i>N. cryptocephala</i>)		+			+	+			+
		尖头舟形藻(<i>N. cuspidate</i>)					+				
		披针形舟形藻(<i>N. lanceolata</i>)						+			+
		狭形舟形藻(<i>N. angusta</i>)									+
	羽纹藻属(<i>Pinnularia</i>)	大羽纹藻(<i>P. major</i>)									+
		著名羽纹藻(<i>P. nobilis</i>)	+	+	+						
		弯羽纹藻(<i>P. gibba</i>)		+				+			
	辐节藻属(<i>Stauroneis</i>)	尖辐节藻(<i>S. acuta</i>)	+	+	+	+		+			+
		双头辐节藻(<i>S. anceps</i>)	+	+	+		+	+	+	+	+
		施密斯辐节藻(<i>S. smithii</i>)			+						
	斜纹藻属(<i>Pleurosigma</i>)	斜纹藻属未鉴别						+			

续表 2

门	属	种	采样点								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
蓝藻门 (Cyanophyta)	颤藻属(<i>Oscillatoria</i>)	阿氏颤藻(<i>O. agardhii</i>)	+	+	+			+	+		+
		尖头颤藻(<i>O. acutissima</i>)									+
		泥生颤藻(<i>O. limosa</i>)									+
		博恩颤藻(<i>O. borneti</i>)			+				+		
		给水颤藻(<i>O. irrigua</i>)							+		
		简单颤藻(<i>O. simplicissima</i>)							+		
	念珠藻属(<i>Nostoc</i>)	普通念珠藻(<i>N. commune</i>)						+			
	鱼腥藻属(<i>Anabaena</i>)	多产鱼腥藻(<i>A. fortissima</i>)									+
		固氮鱼腥藻(<i>A. azotica</i>)					+				
		链状鱼腥藻(<i>A. catenula</i>)		+				+			
黄藻门 (Xanthophyta)	黄丝藻属(<i>Tribonema</i>)	黄丝藻属未鉴别		+							+
		普通黄丝藻(<i>T. vulgare</i>)							+		
		黄丝藻(<i>T.</i>)								+	
		小型黄丝藻(<i>T. minus</i>)							+		
		近缘黄丝藻(<i>T. affine</i>)	+								
	膝口藻属(<i>Gonyostomun</i>)	膝口藻属未鉴别					+			+	+
甲藻门 (Pyrrophyta)	角甲藻属(<i>Ceratium</i>)	飞燕角甲藻(<i>C. hirundinella</i>)								+	
	夜光藻属(<i>Noctiluca</i>)	夜光藻(<i>N. scientillans</i>)								+	
总计/种			38	41	44	15	21	39	28	28	66

注: + 和 ++ 分别表示亚优势种和优势种, 下同

2.1.2 浮游植物的密度和生物量 通过对样品进行处理和分析, 得到各个采样点不同门类浮游植物的密度及生物量(表 3)。除 S8 样点以外, 其余每个样点的硅藻门和绿藻门的密度及生物量均高于其他种类的藻类。整体上看, 研究区水体中硅藻门种类所占比例最大。此外, S2 样点浮游植物的密度及生物量最大, 分别为 $595.2 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$, $6.40 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; S3 样点浮游植物的密度及生物量最小, 分别为 $62.4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $6.00 \times 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。所有采样点浮游植物的平均密度为 $296.4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均生物量为 $1.97 \times 10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 3 各采样断面浮游植物群落密度和生物量

Tab. 3 The phytoplankton community density and biomass of each sampling point

采样点	绿藻门		裸藻门		硅藻门		蓝藻门		总计	
	密度/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
S1	0	0	0	0	410.0	4.40×10^{-3}	0	0	410.0	4.40×10^{-3}
S2	6.4	2.00×10^{-4}	0	0	588.8	6.20×10^{-3}	0	0	595.2	6.40×10^{-3}
S3	59.2	6.00×10^{-4}	0	0	3.2	1.0×10^{-4}	0	0	62.4	6.00×10^{-4}
S4	20.0	5.50×10^{-3}	0	0	140.0	5.90×10^{-3}	0	0	160.0	1.14×10^{-2}
S5	0	0	50.0	1.20×10^{-3}	430.0	2.30×10^{-3}	0	0	480.0	3.50×10^{-3}
S6	0	0	0	0	120.0	3.10×10^{-3}	0	0	120.0	3.10×10^{-3}
S7	0	0	0	0	500.0	3.63×10^{-2}	0	0	500.0	3.63×10^{-2}
S8	5.0	3.20×10^{-3}	142.5	5.56×10^{-2}	20.0	5.00×10^{-4}	2.5	4.34×10^{-6}	170.0	5.92×10^{-2}
S9	290.0	2.02×10^{-2}	20.0	5.60×10^{-3}	1 110.0	3.71×10^{-2}	10.0	5.00×10^{-4}	1 430.0	6.32×10^{-2}

2.1.3 浮游植物多样性指数评价 表 4 显示, 该 9 个调查点 H' , D 和 J 分别为 $0.721\ 5 \sim 2.712\ 4$, $0.557\ 9 \sim$

3.491 7 和 0.506 8~0.921 2,平均值分别为 1.819,1.752 和 0.798,参照浮游生物多样性指数与水质污染类型的关系(表 1),对应的评价结果为 β 中污型、 α 中污型和寡污型,因此研究区水质按上述结果评价应属于轻度污染至中度污染。

表 4 各采样断面浮游植物多样性指数

Tab. 4 The phytoplankton density index of each sampling point

采样点	Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')	Margalef 物种丰富度指数(D)	Pielou 均匀度指数(J)	采样点	Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')	Margalef 物种丰富度指数(D)	Pielou 均匀度指数(J)
S1	1.706 7	1.493 2	0.776 8	S6	0.721 5	0.557 9	0.656 7
S2	2.712 4	2.752 6	0.921 2	S7	1.839 6	1.240 3	0.886 4
S3	2.440 0	2.650 0	0.899 9	S8	1.053 9	1.149 9	0.506 8
S4	1.422 6	1.000 0	0.883 9	S9	2.606 3	3.491 7	0.799 9
S5	1.868 5	1.432 4	0.850 4				

2.2 浮游动物的群落特征

2.2.1 浮游动物的种类组成 表 5 显示研究区内浮游动物共计 28 种,4 门 21 属。其中轮虫(Rotifera)种类最多,为 15 种;原生动物(Protozoa)有 7 种;桡足类(Copepoda)有 5 种;枝角类(Cladocera)最少,仅 1 种。综合来看,研究区较为优势的物种为角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)。

表 5 各采样断面浮游动物种类组成

Tab. 5 Thezooplankton species composition of each sampling point

门	属	种	采样点								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
轮虫 (Rotifera)	无柄轮虫属(<i>Ascomorpha</i>)	没尾无柄轮虫(<i>A. ecaudis</i>)	++								
		卵形无柄轮虫(<i>A. ovalis</i>)			+						
	猪吻轮虫属(<i>Dicranophorus</i>)	粗壮猪吻轮虫(<i>D. robustus</i>)	+								
		吕氏猪吻轮虫(<i>D. lutkeni</i>)			+						
	臂尾轮虫属(<i>Brachionus</i>)	角突臂尾轮虫(<i>B. angularis</i>)							++	++	++
		萼花臂尾轮虫(<i>B. calyciflorus</i>)							+	+	+
	龟甲轮虫属(<i>Keratella</i>)	螺形龟甲轮虫(<i>K. cochlearis</i>)								+	
	腔轮虫属(<i>Lecane</i>)	蹄形腔轮虫(<i>L. unguate</i>)							+		
	肢轮虫属(<i>Monom mata</i>)	细长肢轮虫(<i>M. longiseta</i>)							+	+	
	单趾轮虫属(<i>Monostyla</i>)	单趾轮虫属未鉴别								+	
	旋轮虫属(<i>Philodina</i>)	旋轮虫属未鉴别					+				
	龟纹轮虫属(<i>Anuraeopsis</i>)	裂痕龟纹轮虫(<i>A. fissa</i>)		+							
	晶囊轮虫属(<i>Asplanchna</i>)	卜氏晶囊轮虫(<i>A. brightwelli</i>)		+							
		前节晶囊轮虫(<i>A. priodonta</i>)									+
桡足类 (Copepoda)	巨头轮虫属(<i>Cephalodella</i>)	小链巨头轮虫(<i>C. catellina</i>)									+
	剑水蚤属(<i>Cyclops</i>)	近邻剑水蚤(<i>C. vicinus</i>)	+				+			+	
	长腹剑水蚤属(<i>Oithona</i>)	小长腹剑水蚤(<i>O. nana</i>)							+		
	无节幼体	无节幼体	+					+	+		+
	指镖水蚤属(<i>Acanthodaptomus</i>)	太平指镖水蚤(<i>A. pacificus</i>)							+		
	隆哲水蚤属(<i>Acrocalanus</i>)	微驼隆哲水蚤(<i>A. gracilis</i>)							+		
原生动物 (Protozoa)		褐砂壳虫(<i>D. avellana</i>)		+						+	
	砂壳虫属(<i>Diffflugia</i>)	球形砂壳虫(<i>D. globulosa</i>)			+	+					
		冠砂壳虫(<i>D. corona</i>)				+					

续表 5

门	属	种	采样点								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
原生动物 (Protozoa)	草履虫属(<i>Paramecium</i>)	尾草履虫(<i>P. caudatum</i>)			+			+			
		绿草履虫(<i>P. bursaria</i>)				+					
	钟虫属(<i>Vorticella</i>)	钟虫属未鉴别					+			+	+
	表壳虫属(<i>Arcella</i>)	盘状表壳虫(<i>A. discoides</i>)			+						
枝角类 (Cladocera)	网纹溞属(<i>Ceriodaphnia</i>)	角突网纹溞(<i>C. cornuta</i>)		+							
总计/种			4	4	5	3	3	2	8	8	6

注:无节幼体在本研究中作为属或种来统计

2.2.2 浮游动物的密度和生物量 总体上看,研究区水体中浮游动物以轮虫和原生动物的密度及生物量较大,甲壳动物的密度及生物量普遍较低(表 6)。轮虫密度最高为 200 个·L⁻¹,生物量最高为 14.058 8 mg·L⁻¹;原生动物密度最高为 300 个·L⁻¹,生物量最高为 14.1136 mg·L⁻¹;甲壳动物密度最高仅为 80 个·L⁻¹,生物量最高为 10.109 6 mg·L⁻¹。所有采样点浮游动物的平均密度为 202.22 个·L⁻¹,平均生物量为 11.598 mg·L⁻¹。

表 6 各采样断面浮游动物群落密度和生物量

Tab. 6 The zooplankton community density and biomass of each sampling point

采样点	轮虫		甲壳动物		原生动物		总计	
	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)
S1	80.0	7.126 7	80.0	10.109 6	0	0	160.0	17.236 3
S2	160.0	9.566 8	0	0	160.0	7.515 2	320.0	17.082 0
S3	80.0	2.793 5	0	0	80.0	1.492 8	160.0	4.286 3
S4	0	0	0	0	200.0	12.980 3	200.0	12.980 3
S5	40.0	4.233 6	0	0	300.0	2.760 7	340.0	6.994 3
S6	0	0	60.0	5.422 6	20.0	14.113 6	80.0	19.536 2
S7	120.0	0.796 3	40.0	2.621 7	0	0	160.0	3.418 0
S8	200.0	1.877 6	0	0	0	0	200.0	1.877 6
S9	160.0	14.058 8	40.0	6.907 2	0	0	200.0	20.966 0

2.2.3 浮游动物多样性指数评价 由表 7 可知,各个采样点的浮游动物多样性指数 H' 、 D 和 J 分别为 0.362 2~1.332 2,0.244 7~1.292 0 和 0.522 6~1.000 0;三者的平均值分别为 0.896,0.752 和 0.897。参照浮游生物多样性指数与水质污染类型的关系(表 1),三者对应的评价结果为 α 中污型、 α 中污型和清洁型。因此,研究区水质按上述结果评价应属于清洁至中度污染。

表 7 各采样断面浮游动物生物多样性指数

Tab. 7 The zooplankton density index of each sampling point

采样点	Shannon-Wiener 物种 多样性指数(H')	Margalef 物种 丰富度指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)	采样点	Shannon-Wiener 物种 多样性指数(H')	Margalef 物种 丰富度指数(D)	Pielou 均匀度 指数(J)
S1	0.690 0	0.500 0	1.000 0	S6	0.562 3	0.500 0	0.811 3
S2	1.039 7	0.666 7	0.946 4	S7	1.039 7	1.000 0	0.946 4
S3	0.693 1	0.500 0	1.000 0	S8	1.332 2	1.292 0	0.961 0
S4	1.011 4	0.773 7	0.920 6	S9	1.332 2	1.292 0	0.961 0
S5	0.362 2	0.244 7	0.522 6				

2.3 鱼类资源现状

本研究区域共采集到鱼类共 3 目 5 科 17 种(表 8),其中鲤科(Cyprinidae)鱼类数量最多,有 12 种;鳅科(Cobitidae)有 2 种;鲮科(Bagridae)、鲃科(Siluridae)和虾虎鱼科(Gobiidae)分别有 1 种。研究区水体中鱼类优势种为鲫(*Carassius auratus*)和麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*),在所有采样点中均有分布。各采样点中鱼类种类普遍较少,其中 S9 样点的鱼类种类最少,仅有 5 种。

表 8 涪陵山区河流鱼类资源调查名录
Tab.8 The inventory of rivers fish stocks

目	科	亚科	种	采样点								
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
鲤形目 (Cypriniformes)	鲤科 (Cyprinidae)	鲤亚科 (Cyprininae)	鲤(<i>Cyprinus carpio</i>)	+	+	+			+			
			鲫(<i>Carassius auratus</i>)	++	+	++++	++	+	+	++	+	+
		鮡亚科 (Gobioninae)	麦穗鱼 (<i>Pseudorasbora parva</i>)	++++	++++	++++	+		+	+	++	+
			花鲮 (<i>Hemibarbus maculates</i>)	+			+			+		
			拉氏鲮 (<i>Rhynchocypris lagowskii</i>)							+	++++	
		鲃亚科 (Danioninae)	马口鱼 (<i>Opsariichthys bidens</i>)	+	+	+	+	+		+		
			草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	+	+	+			+			
		鲃亚科 (Culterinae)	鲮鱼 (<i>Hemiculter leucisculus</i>)	++++			+	+		+	+	
		鲮亚科 (Acheilognathinae)	中华鲮 (<i>Rhodeus sinensis</i>)	++++	+		+	+				
			高体鲮 (<i>Rhodeus ocellatus</i>)	++	+	+	+	+				
			细鳞华鲮 (<i>Sinorhodeus microlepis</i>)		++							
		鲮亚科 (Hypophthalmichthyinae)	鲮 (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)		+	+						
	花鳅科 (Cobitidae)	花鳅亚科 (Cobitinae)	泥鳅 (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)		+	+	+	+	+			
		条鳅亚科 (Noemacheilinae)	红尾荷马条鳅 (<i>Homatula variegata</i>)							+	++++	
鲃形目 (Siluriformes)	鲃科 (Bagridae)		黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)					+	+			
	鲃科 (Siluridae)		鲃 (<i>Silurus asotus</i>)					+	+			
鲈形目 (Perciformes)	虾虎鱼科 (Gobiidae)		子陵吻虾虎鱼 (<i>Rhinogobius giurinus</i>)					+		++++	++	
合计/种				9	11	9	8	10	7	8	6	5

3 讨论

水能资源的开发利用是推动国家经济可持续发展的重要举措,人类社会对电能的巨大需求极大地促进了人类对水能资源的开发^[20]。涪陵山区河流目前建设有多个中小型水电站,而山区河流是中国重要的河流类型,生境比一般平原河流复杂,河道形态多变、流态复杂、生境多样性敏感而脆弱、抗干扰力低^[38]。流域开发对河流的影响很大,可能从根本上改变河流及流域的生态系统结构、自然属性、资源形式等^[21,23,39]。目前关于涪陵山区河流流域如梨香河流域及麻溪河流域的相关研究报道较少,本研究通过在梨香河流域及麻溪河流域设置 9 个采样点进行对两条河流中的浮游生物和鱼类进行了调查,结果显示该研究区内浮游生物种类及生物量偏低。其中,浮游动物主要以轮虫和原生动物占绝对优势,枝角类和桡足类罕见。浮游动物中优势种为角突臂尾轮虫,而臂尾轮虫等常被认为是富营养化水体的指示种类^[16]。另外,浮游植物中以硅藻门和绿藻门为主,属于硅藻-绿藻型,其中优势种为变异直链藻、钝脆杆藻和二头脆杆藻。一般认为,硅藻门为贫营养型水体优势种,绿藻门为中营养型水体优势种^[5,11]。各个采样点中浮游植物普遍比浮游动物丰富,可能与河流生境改变及浮游动物本身对环境变化的敏感性相关^[37,40]。许多研究指出,流域梯级水电站的建设期和运行期对河流的水质、水文形势及水流量等会产生一定的影响,可能改变浮游生物种群和数量在空间的分布状况^[5,23-24]。马永红等人^[3]对嘉陵江四川段河段藻类植物群落结构进行分析,认为研究河段水质整体为中污染水体,其中浮游植物以硅藻门及绿藻门为主。而在本研究区域内,S8 样点中裸藻门的密度及生物量所占比例最大,均高于其余各采样点。裸藻门为水体富营养化指示种,主要分布于淡水水体中,在有机质丰富的水体中生长较好^[22]。因此,S8 样点的水体中有有机质含量可能比其他采样点丰富,这可能与周围居民的生活污水直接排入水体有密切的关系。

浮游生物多样性指数是评价水体是否健康的一个重要的指标,表示多种生物组成的混合生物群落的数量和种类之间的关系。张饮江等人^[37]在对上海市黄浦江倪家浜口进行浮游生物调查及水质评价时,运用浮游生物多样性指数评定研究区域水体水质为中度-重度污染。柏程华等人^[2]对海南省虎威岭海域浮游生物群落结构特征进行了分析,其中便根据多样性指数污染评价分析判定该海域处于轻污染到中污染。在本研究中,9 个采样点,浮游植物 H' 、 D 和 J 的平均值所对应的水质评测结果为轻度污染至中度污染,浮游动物上述指标数的平均值所对应的水质评测结果为清洁至中度污染。综合上述结果来看,目前研究区域河流的水质大致处于清洁至中度污染状态。

河流生态系统的健康与稳定不仅会影响浮游生物群落的结构与功能、浮游生物的多样性,还会使鱼类的生存受到极大影响,进而影响到鱼类资源的经济效益^[24]。林明利等人^[41]对洪泽湖的鱼类资源进行调查分析后认为:江河阻隔、过度捕捞、环境污染和生境破坏是造成鱼类群落生物多样性降低的主要原因。李德越^[42]在 2016 年 11 月—2017 年 9 月期间对广西大王滩水库鱼类及浮游生物资源进行调查研究,指出渔业资源现状是水质因子、浮游生物和鱼类共同作用的结果。在本研究中,目前发现研究区内鱼类种类仅 17 种,且优势种为鲤科鱼类,其他种类鱼则出现较少。相比其他鱼类,鲤科鱼类分布比较广泛,适应能力较强,更能够在发生变化的水环境中生存。涪陵山区河流梯级水电站的修建,阻断了河流原本的连续性及流动性,使河流呈现出片段化,局部河段断流脱水,这可能直接或间接影响到鱼类的生存、繁衍、基因交流,导致鱼类生物多样性下降^[24,40-41,43]。

综合上述,通过对涪陵区梨香河流域及麻溪河流域浮游生物及鱼类资源进行调查,可以发现目前该区域河流浮游生物及鱼类资源或已受到一定程度的影响。基于浮游生物多样性指数的水质评价结果指出,研究区内的水生态环境也受到一定程度的破坏,水质呈现出清洁至中度污染状态。上述结果可能与研究区内梯级水电站的建设有密切的关系。通过本次调查,本研究初步填补了研究区域的一些相关研究数据空白,揭示了目前该区域的浮游生物及鱼类资源的现状,为后续的深入研究奠定了基础,也为涪陵山区河流的合理开发利用、综合有效管理及生境保护提供了更有价值的依据。

参考文献:

- [1] 周健,秦伯强. 风浪对湖泊浮游生物影响的研究进展[J]. 水科学进展,2018,29(2):293-300.
- [2] 柏程华,王章义,秦利娜,等. 海南省虎威岭海域浮游生物群落结构特征分析[J]. 海南大学学报(自然科学版),2019,37(2):1-13.
- ZHOU J, QIN B Q. A review of the effects of wind waves on plankton in lakes[J]. Advances in Water Science, 2018, 29(2):293-300.

- BO C H, WANG Z Y, QIN L N, et al. Characteristics of plankton community structure in the Huwei island, Hainan province[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2019, 37(2): 1-13.
- [3] 马永红, 曾燊, 任丽萍, 等. 嘉陵江四川段藻类植物群落结构及水质评价[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2573-2579.
- MA Y H, ZENG Y, REN L P, et al. Community structure of phycophyta and evaluation of water quality in Sichuan section of Jialing river[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(9): 2573-2579.
- [4] 冯佳, 沈红梅, 谢树莲. 汾河太原段浮游藻类群落结构特征及水质分析[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1111-1117.
- FENG J, SHEN H M, XIE S L. Community structure and water quality analysis of planktonic algae in the Taiyuan segment of the Fenhe river[J]. Resources Science, 2011, 33(6): 1111-1117.
- [5] 姜雪芹, 禹娜, 毛开云, 等. 冬季上海市城区河道中浮游植物群落结构及水质的生物评价[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2009(2): 78-87.
- JIANG X Q, YU N, MAO K Y, et al. Assessment of algal diversity and water quality in the four urban rivers of Shanghai in winter[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2009(2): 78-87.
- [6] 夏子杨, 李英文. 重庆彭水棣棠河浮游生物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2019, 36(2): 114-121.
- XIA Z Y, LI Y W. The plankton community structure of Ditang river in Pengshui of Chongqing and its relationship with environmental factors[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2019, 36(2): 114-121.
- [7] 李延凤. 湄洲湾浮游植物群落结构特征与水质污染关系分析[J]. 农村生态环境, 1999, 15(4): 28-31.
- LI Y F. Study on the relationship between the community structural characteristics and the water pollution in Meizhou bay[J]. Rural Eco-Environment, 1999, 15(4): 28-31.
- [8] 刘淑德, 钱薇薇. 三峡水库蓄水前后春季长江口鱼类浮游生物群落结构特征[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 82-87.
- LIU S D, XIAN W W. Ichthyoplankton community structure characteristics during spring in Yangtze river estuary before and after impoundment of Three Gorges reservoir [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(10): 82-87.
- [9] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892-900.
- GUO P Y, SHEN H T, LIU A C, et al. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary[J]. Acta Ecological Sinica, 2003, 23(5): 892-900.
- [10] 邓捷, 童猛, 张红星, 等. 雅鲁藏布江湘河流域浮游生物群落结构与多样性分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 38(9): 1-9.
- DENG J, DONG M, ZHANG H, et al. Analysis of plankton community structure and diversity in Xianghe river basin of Yarlung Zangbo river[J]. Genomics and Applied Biology, 2018, 38(9): 1-9.
- [11] 郭沛涌, 林育真, 李玉仙. 东平湖浮游植物与水质评价[J]. 海洋湖沼通报, 1997(4): 37-42.
- GUO P Y, LIN Y Z, LI Y X. Study on phytoplankton and evaluation of water quality in Dongping lake[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1997(4): 37-42.
- [12] MATHIVANAN V, VIJAYAN P, SABHANAYAKAM S, et al. An assessment of plankton population of Cauvery river with reference to pollution[J]. Journal of Environmental Biology, 2007, 28(2): 523-526.
- [13] KIRETA A R, REAVIE E D, SGRO G V, et al. Planktonic and periphytic diatoms as indicators of stress on great rivers of the United States: testing water quality and disturbance models[J]. Ecological Indicators, 2012, 13(1): 222-231.
- [14] 王启军, 郑娟, 邓捷, 等. 陕西汉中三河口水库浮游生物群落结构分析[J]. 河北渔业, 2019(4): 40-44.
- WANG Q J, ZHENG J, DENG J, et al. Community structure analysis of plankton in Sanhekou reservoir in Hanzhong, Shanxi [J]. Hebei Fisheries, 2019(4): 40-44.
- [15] 陆丹, 张静, 耿昭克, 等. 三江源重点河段湖泊浮游动物群落结构与水质评价[J]. 人民长江, 2019, 50(5): 41-46.
- LU D, ZHANG J, GENG Z K, et al. Community structures of zooplankton and assessment of water quality in important reaches and lakes of Three-River head-waters region[J]. Yangtze River, 2019, 50(5): 41-46.
- [16] 陈光荣, 钟萍, 张修峰, 等. 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351-356.
- CHEN G R, ZHONG P, ZHANG X F, et al. Zooplankton and its relationship with water quality in Huizhou West lake[J]. Journal of Lake Science, 2008, 20(3): 351-356.
- [17] 谢进金, 许友勤, 陈寅山, 等. 晋江流域水质污染与浮游动物四季群落结构的关系[J]. 动物学杂志, 2005, 40(5): 8-13.
- XIE J J, XU Y Q, CHEN Y S, et al. The relationship of community structure of zooplankton and the water pollution of the Jinjiang river valley[J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(5): 8-13.
- [18] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 715-721.
- BI H S, SUN S, GAO S W, et al. The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai sea I. species composition and community structure[J]. Acta Ecological Sinica, 2000, 20(5): 715-721.

- [19] 李庆庆. 大河家水电站工程对水生生态环境的影响研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2017.
LI Q Q. Research on the impact of Dahejia hydropower station on aquatic ecological environment[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017.
- [20] 范继辉. 梯级水库群调度模拟及其对河流生态环境的影响: 以长江上游为例[D]. 成都: 中国科学院研究生院(成都山地灾害与环境研究所), 2007.
FAN J H. The operating simulation of cascade reservoirs and it's impacts on river eco-environment: a case study on upper reaches of the Yangtze river[D]. Chengdu: The Graduate School of Chinese Academy of Sciences (Chengdu Mountain Hazards and Environment Research Institute), 2007.
- [21] 李德旺. 长江上游生态敏感度与水电开发生态制约研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
LI D W. Study of the eco-environmental sensitivity of upper Changjiang river and ecological restriction on hydropower development[D]. Wuhan: Wuhan University, 2012.
- [22] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 等. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物的响应[J]. 生态学报, 2003, 23(6): 1101-1108.
LIN Q Q, HU R, DUAN S S, et al. Reservoir trophic states and the response of plankton in Guangdong province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(6): 1101-1108.
- [23] 黄勇. 西南山地河流梯级水电开发的生态影响研究: 以宝兴河为例[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
HUANG Y. Impacts of hydropower cascade development in southwest mountainous area on river ecological factors: a case study of Baoxing river[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [24] 邓旭艳. 丘陵区水电工程建设对河流湿地生态的影响及调控措施研究: 以安谷水电站为例[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
DENG X Y. The effects and control measures of the river wetland ecology from the hydropower construction in hilly area: based on Angu hydropower station[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2016.
- [25] 杨志, 陈小娟, 唐会元, 等. 乌江银盘水电站蓄水前后坝上和坝下江段的鱼类资源及其变动特征[J]. 三峡生态环境监测, 2019, 4(5): 70-81.
YANG Z, CHEN X J, TANG H Y, et al. Fish resources and their variation characteristics in the upstream and downstream of Yinpan dam in Wujiang river before and after the impoundment of the reservoir[J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2019, 4(5): 70-81.
- [26] 韩宝华, 李建国, 张跃, 等. 重庆涪陵核电厂温排水对三峡库区水生生物的潜在影响分析[C]//中国核科学技术进展报告(第二卷): 中国核学会 2011 年学术年会论文集第 3 册(核能动力分卷(下)). 贵阳: 中国核学会, 2011: 338-344.
HAN B H, LI J G, ZHANG Y, et al. Potential impact of thermal effluents from Chongqing fuling nuclear power plant to the Three Gorges reservoir[C]//Progress report on China Nuclear Science & Technology(vol. 2): volume 3 of the Proceeding of the 2011 Annual Conference of the Chinese Nuclear Society (Nuclear Power Division (Part II)). Guiyang: Chinese Nuclear Society, 2011: 338-344.
- [27] 张晟, 刘景红, 黎莉莉, 等. 三峡库区成库初期营养盐与浮游植物分布特征[J]. 环境科学, 2005, 27(6): 1056-1061.
ZHANG S, LIU J H, LI L L, et al. Distribution features of nutrient and phytoplankton in incipient Three Gorges reservoir[J]. Environmental Science, 2005, 27(6): 1056-1061.
- [28] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration. Methods for water and waste water monitoring and analysis[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [29] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.
ZHU S Q. Synopsis of freshwater fishes of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1995.
- [30] 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
DING R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 1994.
- [31] 陈宜瑜. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
CHEN Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [32] 褚新洛, 陈银瑞. 云南鱼类志下册[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
CHU X L, CHEN Y R, et al. The second volume of Yunnan fishes annals[M]. Beijing: Science Press, 1990.
- [33] 乐佩琦. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目下卷[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
LE P Q, et al. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [34] 胡鸿均, 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.
HU H J, WEI Y X. Chinese freshwater algae: systems, classification and ecology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [35] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
ZHANG J M, HE Z H. Manual of natural resource surveys for inland waters fisheries[M]. Beijing: Agricultural Press, 1991.

- [36] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991.
ZHANG Z S, HUANG X F. Freshwater plankton research methods[M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [37] 张饮江,罗思亭,徐晶,等.上海黄浦江倪家浜口浮游生物调查与水质评价[J].水生态学杂志,2010,3(4):8-15.
ZHANG Y J, LUO S T, XU J, et al. Water quality assessment by means of plankton in the Nijiabing mouth of Huangpu river, Shanghai[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(4): 8-15.
- [38] 王丽萍,郑江涛,周晓蔚,等.山区河流可持续发展能力评价研究[J].水利学报,2012,43(6):726-733.
WANG L P, ZHENG J T, ZHOU X W, et al. Assessment on sustainable development for rivers in mountain area [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(6): 726-733.
- [39] 刘湘春,杨玖贤.坪头水电站建设对河流水生生态的影响及保护措施[J].水电站设计,2012,28(2):90-106.
LIU X C, YANG J X. The effects and protections of the river water ecology from the Pingtuo hydropower construction[J]. Hydropower Station Design, 2012, 28(2): 90-106.
- [40] 许栋,杨海滔,及春宁,等.梯级水库影响下南渡江干流浮游生物群落沿程变化[J].水生态学杂志,2018,39(4):63-72.
XU D, YANG H T, JI C N, et al. Variation of plankton community in Nanduijiang river in flood and draught seasons under the influence of cascaded reservoirs[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(4): 63-72.
- [41] 林明利,张堂林,叶少文,等.洪泽湖鱼类资源现状、历史变动和渔业管理策略[J].水生生物学报,2013,37(6):1118-1127.
LIN M L, ZHANG T L, YE S W, et al. Status of fish resources, historical variation and fisheries management strategies in Hongze lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2013, 37(6): 1118-1127.
- [42] 李德越.广西大王滩水库鱼类及浮游生物资源研究[D].南宁:广西大学,2018.
LI D Y. Study on fish and plankton resources in the Dao-tan reservoir of Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2018.
- [43] 麻泽龙,程根伟.河流梯级开发对生态环境影响的研究进展[J].水科学进展,2006,17(5):748-753.
MA Z L, CHENG G W. Progress in research on impacts of river hydro-power engineering on eco-environment[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(5): 748-753.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

The Current Situation of Plankton and Fish Resources of Lixiang Rivulet and Maxi River in Fuling District of Chongqing Municipality

YANG Na, YANG Xin, LI Yingwen, LIU Zhihao, CHEN Qiliang, SHEN Yanjun

(Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] To investigate the status quo of plankton and fish resources of Lixiang rivulet and Maxi river in Fuling District of Chongqing Municipality. [Methods] There were six and three sampling sections set up in Lixiang rivulet and Maxi river respectively, to survey the current situation of plankton and fish resources, and then analyze the composition of plankton species, Shannon-Winner diversity index (H'), Margalef richness index (D), and Pielou evenness index (J), from 23rd to 28th, March, 2019. [Findings] A total of 155 species (including varieties) of 7 phylum 61 genera of phytoplankton were collected in this research area, among which Bacillariophyta has the largest number of species. The dominant species were *Melosira varians*, *Fragilaria capucina*, and *Fragilaria biceps*. The average density and biomass of all phytoplankton species was $296.4 \text{ individuals} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1.97 \times 10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The average H' , D , and J were 1.819, 0.798, and 1.752, respectively. There were 28 species of zooplankton in 21 genera of 4 phylum (including varieties), among which Rotifera was the largest. The dominant species was *Brachionus angularis*. The average density of all zooplankton species was $202.22 \text{ individuals} \cdot \text{L}^{-1}$, average biomass was $11.598 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The mean H' , D , and J were 0.896, 0.897, and 0.752, respectively. There was collected 17 species fishes including 3 orders 5 families, among which the most was Cyprinidae. The dominant species were *Carassius auratus* and *Pseudorasbora parva*. [Conclusions] Recently, the plankton and fish resources might been affected more or less in this research area. The quality of the whole rivers is clean to moderate pollution, by the diversity index analysis.

Keywords: Fuling; Lixiang rivulet; Maxi river; plankton; fish stocks

(责任编辑 方 兴)