

重庆江津复兴河流域浮游生物群落结构、水质及鱼类资源现状^{*}

张 钰, 练小龙, 李英文, 刘智皓, 陈启亮, 沈彦君

(重庆师范大学 生命科学学院 重庆市高校动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】考察重庆江津复兴河流域浮游生物群落结构、水质及鱼类资源现状。【方法】采集复兴河流域7个采样点的浮游生物、水质理化参数和鱼类资源数据,通过计算生物多样性指数、水质标识指数等,研究分析该流域浮游生物群落结构、水质以及鱼类资源的现状。【结果】复兴河流域浮游植物共5门44属78种,平均密度为 $387.1\text{个}\cdot\text{L}^{-1}$,平均生物量为 $0.5020\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,Shannon-Wiener物种多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)和Margalef丰富度指数(D)的平均值为1.9618、0.7549和2.0174;浮游动物共3门6属11种,平均密度为 $18.7\text{个}\cdot\text{L}^{-1}$,平均生物量为 $0.3316\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, H' 、 J 和 D 的平均值分别为1.7653、0.7453和2.9812。7个采样点的综合水质标识指数分别为3.102、2.502、3.502、3.202、2.502、3.202和3.002。流域内鱼类共2目5科13种,其中鲤科(Cyprinidae)鱼类9种,占鱼类总数的70%。【结论】复兴河流域水质总体上为Ⅲ类水,水体有机物含量过高;流域各段水体营养水平为贫或中营养型,水体污染类型为寡污型至 β 中污型;复兴河鱼类资源较以往有所减少,且主要集中在下游。

关键词:江津复兴河;浮游生物;水质评价;水质标识指数;鱼类资源;重庆

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2021)04-0036-12

在水域生态系统中,浮游植物作为自养型生物不仅是重要的能量来源,还是测量水质的重要指示生物。浮游植物的丰富程度和群落组成通常被作为评估水域水质的重要标准^[1]。浮游动物作为初级消费者,在水域生态系统的能量传递和物质交流中起到重要作用,并且有些种类对环境变化比较敏感或者能通过自身代谢分解一定量的污染物。因此,浮游动物对于检测和净化水域水质方面具有不可忽视的作用^[2]。鱼类则对调控浮游生物的种群数量和维持水域生态系统的稳定起着重要作用,而且在山区河流中,部分鱼类也能反映河流的生态状况,比如洄游性鱼类、特有鱼类、濒危鱼类、敏感鱼类等^[3]。

重庆市江津区位于三峡水库库尾,区内水系发达,有綦江、塘河、壁南河、笋溪河、复兴河等。三峡水库属于典型的河道型水库,它的库尾为易产生淤积的生态脆弱的特殊区域,库尾附近有关支流的水质状况对于库尾区生态系统的稳定具有重要意义^[4]。目前有关三峡库区水质状况的研究较少涉及库尾地区的长江各级支流^[5]。复兴河位于重庆市江津区四面山国家级风景名胜区东北侧,发源于贵州省习水县两路乡金顶山。复兴河全长44.7 km,其中江津境内有33.0 km;流域总面积达249 km²,其中江津境内有190 km²。该河为笋溪河一级支流、綦江二级支流、长江三级支流^[6]。复兴河流域内居民共计5万余人,居民的集中饮水和当地的农业灌溉用水主要取自此河。复兴河的水质状况不仅与当地居民的生产生活息息相关,而且对维持该河及它下游河流的水生态环境稳定有着重要影响。本研究于2020年8月对复兴河流域内浮游生物群落结构、水质及鱼类资源现状进行了调查,并通过浮游生物多样性指数、水质标识指数等对该流域水质状况进行了评价,旨在为复兴河的合理开发利用、生态保护和环境治理提供科学依据,并为三峡水库库尾区域的水环境生态研究提供更多基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样点

根据复兴河流域结构及地理环境共设置7个采样点(图1),于2020年8月22—23日完成现场水质及水生

^{*} 收稿日期:2020-12-11 修回日期:2020-12-30 网络出版时间:2021-06-30 10:36

资助项目:国家自然科学基金(No. 31901183);重庆市自然科学基金面上项目(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:张钰,男,研究方向为鱼类生态学,E-mail: zhang_yv@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.20210630.0912.014.html

生物调查和样品采集。

1.2 浮游生物调查及分析

1.2.1 浮游生物的采集与处理 按照文献[7]中的方法采集浮游生物定性定量样品。浮游植物定性样品的采集使用25号浮游生物网(200目),将网口置于水面以下40~50 cm并朝向来水方向停留(静水水域则在水体中按“∞”字形拖拽)3~5 min,然后将样品装入标本瓶中按1.5%的体积比加入Lugol氏液固定。浮游植物定量样品的采集方法为使用采水器取水面以下50 cm水样1 L,现场滴加15 mL Lugol氏液固定,然后带回实验室用浮游生物沉淀器将样品浓缩至30 mL。

对浮游动物定性样品进行采集时,对原生动物(Protozoa)和轮虫(Rotifera)使用25号浮游生物网,对枝角类(Cladocera)和桡足类(Copepoda)使用13号浮游生物网(125目),采集方法为将网口至于水面以下40~50 cm并朝向来水方向停留或按“∞”字形拖拽5~8 min。样品采集完成后加入2~2.5 mL体积分数为30%~40%的甲醛溶液固定。浮游动物定量样品的采集方法为使用采水器在水面以下0.5 m采集20 L水样,使用25号浮游生物网过滤,再加入适量Lugol氏液固定,最后将样品静置48 h并浓缩至5 mL。

1.2.2 浮游生物的定性与定量分析 浮游生物的定性分析使用万深AlgaeC浮游生物智能鉴定计数仪在10×20和10×40倍显微镜下进行观察和拍照,按照文献[8-11]进行浮游生物的种类鉴定,并使用万深浮游生物智能鉴定计数分析系统软件v2.0辅助鉴定。浮游植物和浮游动物计数分别使用规格为0.1、0.5 mL浮游生物计数框在显微镜下镜检,并使用万深浮游生物智能鉴定计数分析系统软件v2.0辅助计算Shannon-Wiener物种多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(J)和Margalef物种丰富度指数(D)^[12-13],具体计算公式如下:

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i), J = \frac{H'}{H_{\max}}, D = \frac{S-1}{\ln N}.$$

其中: P_i 为第*i*种的个体数与总个体数的比值; $H_{\max} = \ln S$;S为样品中物种的种类总数; N 为样品中的生物总个体数。参照文献[14],结合上述浮游生物多样性指数对水体的污染类型与营养水平做出评估。

1.3 水质调查分析

1.3.1 水质参数测定 本研究共测定了11项水质指标。6项在调查现场测定的指标中,pH使用Lichen pH-10笔式测试仪测定,温度和溶解氧含量(DO)使用HANNA HI98193型便携式溶氧仪测定,电导率和总溶解性固体物质含量(TDS)使用TDS水质测试笔电导率仪测定,透明度则通过黑白盘(塞氏盘)测量。其余5项指标则通过参照文献[7,15]使用采水器在水面下0.5 m采集1 L水样带回实验室测定,其中:化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮含量(NH₃-N)和总磷含量(TP)使用LH 5B-3B(V8)型多参数水质测定仪测定,实验流程按照测定仪附带手册完成;五日生物需氧量(BOD₅)使用LH-BOD601生物化学需氧量测定仪测定,实验流程按照配套使用说明手册完成;悬浮物含量(SS)参照文献[16]来测定。

1.3.2 水质评价方法 选取DO、COD_{Cr}、TP、BOD₅和NH₃-N共5项水质参数进行水质评价,评价方法采用水质标识指数法^[17-18],各项水质指标的标准值参见文献[19]。

1) 单因子水质标识指数。该指数由1位整数(X_1)、1个小数点、小数点后2或3位有效数字(X_2 和 X_3)组成,即它的表现形式为 $X_1.X_2X_3$ 。其中: X_1 代表第*i*个水质指标的水质类别; X_2 表示监测数据在 X_1 类水质变化区间中所处的位置,按照四舍五入原则取1位有效数字(图2); X_3 代表表示水质类别与功能区划类别的比较结果,为1或2位有效数字。

值得注意的是,由于DO的参数随着水质类别的增大而减小,这与其他指标相反,所以在确定 X_1 、 X_2 时需要与其他水质指标分开计算。对于DO,有:

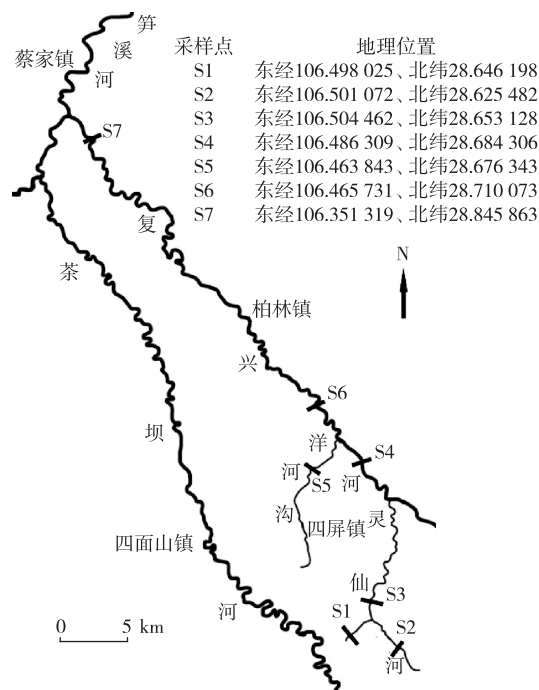


图1 各采样点地理分布

Fig.1 The geographic distribution of each sampling point

$$A = a + 1 - \frac{C_i - C_{\text{标下}}}{C_{\text{标上}} - C_{\text{标下}}};$$

对于其他指标,有:

$$A = a + \frac{C_i - C_{\text{标下}}}{C_{\text{标上}} - C_{\text{标下}}}。$$

以上两式中, A 的数值表现形式即为 X_1 、 X_2 、 C_i 表示第 i 项指标的实测值; $C_{\text{标上}}$ 表示指标在 a 类水质标准区间的上限值; $C_{\text{标下}}$ 表示指标在 a 类水质标准区间的下限值; $a=1,2,3,4,5$,根据实测数据并参照文献[19]来确定。

2) 综合水质标识指数。综合水质标识指数是由单因子水质指数总和的平均值、 X_3 以及参与整体水质评价的水质指标中劣于功能区标准的水质指标个数(X_4)组成,具体计算公式为:

$$I_{\text{WQ}} = \sum \left(\frac{P_i}{n} \right) X_3 X_4。$$

式中: I_{WQ} 为综合水质标识指数, P_i 为单因子水质标识指数, n 表示参加水质评价因子个数, X_4 通过参评的 P_i 中的 X_3 不为 0 的个数来确定。各采样点的综合水质标识指数参考综合水质指数对应的综合水质类别判断水质类别。

1.4 鱼类资源调查

由于复兴河为鱼类资源相对匮乏且水位较浅的小型山区河流,因此本研究采用安放地笼网进行鱼类采集和访问当地渔民与垂钓者的方法进行调查。对采集到的鱼类进行现场拍照并记录形态用于鉴定。在不损害当地的鱼类资源的前提下,同一种鱼类只保留 1 尾作为标本浸泡于无水乙醇中保存,其余样本均放归原采集地。鱼类的鉴定依据文献[20-22]来进行。

2 结果与分析

2.1 浮游生物的群落结构特征

2.1.1 浮游植物种类组成 从复兴河流域各采样点的浮游植物水样中鉴定出浮游植物共 5 门 44 属 78 种(表 1),其中:属于硅藻门(Bacillariophyta)的种类最多,共 34 种,占种类总数的 43.59%;绿藻门(Chlorophyta)的浮游植物种类数次之,共 32 种,占种类总数的 41.03%;蓝藻门(Cyanophyta)、裸藻门(Euglenophyta)和甲藻门(Dinophyta)的浮游植物分别有 6,4 和 2 种,分别占种类总数的 7.69%,5.13%和 2.56%。在 7 个采样点中,S2 处的浮游植物种类最少,共 21 种;S4 处的浮游植物最多,共 35 种;其余采样点的浮游植物种类数在 22~29 种之间,各采样点间种类数差异相对较小。各采样点种类组成均以硅藻门最多而绿藻门次之。整体上来看,复兴河流域浮游植物优势物种为系带舟形藻(*Navicula cincta*)、隐头舟形藻(*Navicula cryptocephala*)、谷皮菱形藻(*Nitzschia palea*)、近缘桥弯藻(*Cymbella affinis*)和扁圆卵形藻(*Cocconeis placentula*)。

2.1.2 浮游植物密度与生物量 7 个采样点中 S2 处浮游植物的密度和生物量最高,分别为 $629.7 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.0188 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;S1 处浮游植物的这两项指标最低,分别为 $191.7 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.0120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;其余采样点的密度和生物量差异较小,分别在 $348.8 \sim 402.4 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间和 $0.4081 \sim 0.5953 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间(表 2)。所有采样点浮游植物的平均密度为 $387.1 \text{ 个} \cdot \text{L}^{-1}$,平均生物量为 $0.5020 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。各采样点的优势类群均为硅藻门,在各采样点的浮游植物总密度和总生物量中均占最大比例,其次为绿藻门。研究表明,贫营养水体中优势种通常为硅藻,中营养型水体中优势种通常为绿藻,而富营养水体中优势种通常为蓝藻^[23]。因此,可初步判断复兴河流域水体营养水平偏向中营养或贫营养型。

2.1.3 浮游动物种类组成 表 3 显示,从复兴河流域 7 个采样点中采集到的浮游动物共 3 门 6 属 11 种,其中轮虫种类最多,共 6 种,占种类总数的 54.54%;桡足类浮游动物有 3 种,占种类总数的 27.27%;原生动物门浮游动物有 2 种,占种类总数的 18.19%。在 7 个采样点中,S4 处浮游动物种类最多,共 6 种;其余各采样点浮游动物种类数差异较小,居于 2~4 种之间。整体上看复兴河流域浮游动物优势种为桡足类的长刺温剑水蚤(*Thermocyclops oithonoides*),然而在 S4、S5 和 S6 处采集到的桡足类生物量太低,无法体现出差异性(表 4);除此之外,复兴河该流域中桡足类浮游动物分布最广,在各采样点均有采获。

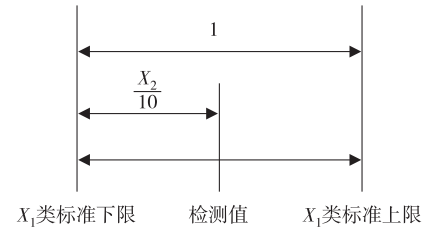


图 2 X_1 与 X_2 的关系

Fig. 2 The relationship between X_1 and X_2

表 1 各采样点浮游植物种类组成

Tab.1 The phytoplankton species composition of each sampling point

门	属	种	采样点						
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
绿藻门 (Chlorophyta)	集星藻属(<i>Actinastrum</i>)	河生集星藻(<i>Actinastrum fluviatile</i>)				+			
		针形纤维藻(<i>Ankistrodesmus acicularis</i>)				+			
	纤维藻属(<i>Ankistrodesmus</i>)	狭形纤维藻(<i>Ankistrodesmus angustus</i>)	+	+	+			+	
		螺旋纤维藻(<i>Ankistrodesmus spiralis</i>)	+						
	小球藻属(<i>Chlorella</i>)	普通小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)	+	+	+	+	+	+	+
	新月藻属(<i>Closterium</i>)	锐新月藻(<i>Closterium acerosum</i>)		+	+				
		纤细新月藻(<i>Closterium gracile</i>)	+			+			
	鼓藻属(<i>Cosmarium</i>)	特平鼓藻(<i>Cosmarium turpinii</i>)					+	+	
		双齿鼓藻(<i>Cosmarium binum</i>)						+	
		近膨胀鼓藻(<i>Cosmarium subtumidum</i>)							+
	波缘藻属(<i>Cymatopleura</i>)	草鞋形波缘藻(<i>Cymatopleura solea</i>)					+		
	空球藻属(<i>Eudorina</i>)	华美空球藻(<i>Eudorina elegans</i>)		+					
	双胞胎藻属(<i>Geminella</i>)	椭圆双胞胎藻(<i>Geminella ellipsoidea</i>)	+	+	+				
	多芒藻属(<i>Golenkinia</i>)	放射多芒藻(<i>Golenkinia radiata</i>)				+			+
	微孢藻属(<i>Microspora</i>)	丛毛微孢藻(<i>Microspora floccosa</i>)	+						
		厚壁微孢藻(<i>Microspora pachyderma</i>)	+						
		维利微孢藻(<i>Microspora willeana</i>)		+					
	中带鼓藻属(<i>Mesotaenium</i>)	中带鼓藻(<i>Mesotaenium endlicherianum</i>)							+
		双射盘星藻(<i>Pediastrum biradiatum</i>)				+			
		短棘盘星藻(<i>Pediastrum boryanum</i>)					+		
	盘星藻属(<i>Pediastrum</i>)	二角盘星藻纤细变种 (<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracilimum</i>)	+						
		二角盘星藻原变种 (<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>duplex</i>)				+			
		单角盘星藻(<i>Pediastrum simplex</i>)				+			+
		单角盘星藻具孔变种 (<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>)				+			+
	柱形鼓藻属(<i>Penium</i>)	珍珠柱形鼓藻(<i>Penium margaritaceum</i>)		+					
	针丝藻属(<i>Raphidonema</i>)	针丝藻(<i>Raphidonema nivale</i>)			+				
	栅藻属(<i>Scenedesmus</i>)	丰富栅藻(<i>Scenedesmus abundans</i>)		+		+	+		
	水绵属(<i>Spirogyra</i>)	长形水绵(<i>Spirogyra longata</i>)	+				+		
		普通水绵(<i>Spirogyra communis</i>)					+		
		异形水绵(<i>Spirogyra varians</i>)						+	
		芬兰水棉(<i>Spirogyra fennica</i>)						+	
	角顶鼓藻属(<i>Triploceras</i>)	角顶鼓藻(<i>Triploceras gracile</i>)						+	

续表 1

门	属	种	采样点						
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
硅藻门 (Bacillariophyta)	双眉藻属(<i>Amphora</i>)	卵圆双眉藻(<i>Amphora ovalis</i>)					+		
	卵形藻属(<i>Cocconeis</i>)	扁圆卵形藻(<i>Cocconeis placentula</i>)	+		+		+	+	++
	桥弯藻属(<i>Cymbella</i>)	近缘桥弯藻(<i>Cymbella affinis</i>)		+	+	+	+	++	+
		舟形桥弯藻(<i>Cymbella naviculiformis</i>)	+						
		膨胀桥弯藻(<i>Cymbella tumida</i>)			+	+			
		偏肿桥弯藻(<i>Cymbella ventricosa</i>)		+					
	等片藻属(<i>Diatoma</i>)	普通等片藻(<i>Diatoma vulgare</i>)					+		
	直链藻属(<i>Melosira</i>)	颗粒直链藻极狭变种 (<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>)	+			+			+
		颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)	+		+				
		变异直链藻(<i>Melosira varians</i>)			+	+	+	+	+
	扇形藻属(<i>Meridion</i>)	环状扇形藻(<i>Meridion circulare</i>)			+		+	+	
	舟形藻属(<i>Navicula</i>)	奥尔韦舟形藻(<i>Navicula arvensis</i>)	+						
		小头舟形藻(<i>Navicula capitata</i>)							+
		隐头舟形藻(<i>Navicula cryptocephala</i>)	+		++	+	+	+	+
		系带舟形藻(<i>Navicula cincta</i>)	+	++	+	+	+	+	
		尖头舟形藻含糊变种 (<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>ambigua</i>)				+		+	
		尖头舟形藻赫里保变种 (<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>heribaudii</i>)				+		+	
		尖头舟形藻(<i>Navicula cuspidata</i>)				+	+		+
		细长舟形藻(<i>Navicula gracilis</i>)		+					
		披针形舟形藻(<i>Navicula lanceolata</i>)	+						
		细纹长蓖藻(<i>Neidium affine</i>)	+	+	+	+	+	+	
	长蓖藻属(<i>Neidium</i>)	不定长蓖藻(<i>Neidium dubium</i>)	+						+
		彩虹长蓖藻原变种 (<i>Neidium iridis</i> var. <i>iridis</i>)							+
	菱形藻属(<i>Nitzschia</i>)	谷皮菱形藻(<i>Nitzschia palea</i>)		+	+	++	++	+	+
	脆杆藻属(<i>Fragilaria</i>)	钝脆杆藻(<i>Fragilaria capucina</i>)	+		+	+	+	+	+
	肋缝藻属(<i>Frustulia</i>)	普通肋缝藻(<i>Frustulia vulgaris</i>)		+	+	+	+	+	+
	异极藻属(<i>Gomphonema</i>)	尖异极藻(<i>Gomphonema acuminatum</i>)	+	+	+	+	+	+	
		窄异极藻延长变种 (<i>Gomphonema angustatum</i> var. <i>productum</i>)					+		+
		缢缩异极藻头状变种 (<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitatum</i>)							+
	布纹藻属(<i>Gyrosigma</i>)	尖布纹藻(<i>Gyrosigma acuminatum</i>)	+		+	+	+	+	+
	双菱藻属(<i>Surirella</i>)	端毛双菱藻(<i>Surirella capronii</i>)							+
		线形双菱藻(<i>Surirella linearis</i>)							+
	针杆藻属(<i>Synedra</i>)	肘状针杆藻(<i>Synedra ulna</i>)			+	+		+	+
		尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)	+			+		+	

续表 1

门	属	种	采样点						
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
蓝藻门 (Cyanophyta)	鱼腥藻属(<i>Anabaena</i>)	多变鱼腥藻(<i>Anabaena variabilis</i>)	+	+		+			
	色球藻属(<i>Chroococcus</i>)	湖沼色球藻(<i>Chroococcus limneticus</i>)				+			
	平裂藻属(<i>Merismopedia</i>)	旋折平裂藻(<i>Merismopedia convoluta</i>)							+
		点形平裂藻(<i>Merismopedia punctata</i>)		+		+	+		+
	螺旋藻属(<i>Spirulina</i>)	大螺旋藻(<i>Spirulina major</i>)	+	+	+		+		+
	颤藻属(<i>Oscillatoria</i>)	悦目颤藻(<i>Oscillatoria amoena</i>)		+	+	+	+	+	+
裸藻门 (Euglenophyta)	裸藻属(<i>Euglena</i>)	绿色裸藻(<i>Euglena viridis</i>)	+					+	
		旋纹裸藻(<i>Euglena spirogyra</i>)				+			
	鳞孔藻属(<i>Lepocinclis</i>)	秋鳞孔藻(<i>Lepocinclis autumnalis</i>)				+	+	+	+
	囊裸藻属(<i>Trachelomonas</i>)	相似囊裸藻(<i>Trachelomonas similis</i>)		+					
甲藻门 (Dinophyta)	裸甲藻属(<i>Gymnodinium</i>)	深绿裸甲藻(<i>Gymnodinium aeruginosum</i>)				+			
	拟多甲藻属(<i>Peridiniopsis</i>)	坎宁顿拟多甲藻(<i>Peridiniopsis cunningtonii</i>)				+			
总计/种			26	21	22	35	27	26	29

注: + 和 ++ 分别表示亚优势种和优势种, 下同

表 2 各采样点浮游植物密度与生物量

Tab. 2 The phytoplankton density and biomass of each sampling point

采样点	硅藻门		绿藻门		蓝藻门		其他藻类		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)	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)
S1	153.5	0.106 1	30.4	0.005 4	3.2	0.000 2	4.6	0.000 3	191.7	0.112 0
S2	414.6	0.583 5	154.5	0.314 2	25.5	0.090 7	35.1	0.030 4	629.7	1.018 8
S3	235.4	0.378 5	147.4	0.213 0	2.1	0.000 1	17.5	0.003 7	402.4	0.595 3
S4	245.6	0.306 5	122.1	0.148 8	3.2	0.001 2	3.2	0.000 2	374.1	0.456 7
S5	248.4	0.286 5	94.4	0.108 6	8.4	0.006 8	24.3	0.006 2	375.5	0.408 1
S6	228.7	0.204 0	84.4	0.109 8	12.6	0.068 4	23.1	0.008 0	348.8	0.471 1
S7	215.6	0.231 0	134.2	0.184 5	3.3	0.001 3	34.4	0.035 5	387.5	0.452 3

2.1.4 浮游动物密度与生物量 由表 4 可知,各采样点桡足类浮游动物在密度与生物量方面均为最大。在 7 个采样点中,S2 处浮游动物的密度和生物量最大,分别为 72.6 个·L⁻¹和 1.002 1 mg·L⁻¹;S7 处浮游动物的密度和生物量次之,分别为 16.8 个·L⁻¹和 0.441 0 mg·L⁻¹;S1 和 S3 处浮游动物的生物量较为接近,分别为 0.209 2 和 0.212 1 mg·L⁻¹,它们的密度分别为 15.2 和 13.6 个·L⁻¹;S4,S5 和 S6 处浮游动物的生物量较为接近,分别为 0.072 1,0.051 0 和 0.053 1 mg·L⁻¹,它们的密度分别为 4.4,3.6 和 4.6 mg·L⁻¹。所有采样点浮游动物的平均密度为 18.7 个·L⁻¹,平均生物量为 0.331 6 mg·L⁻¹。

2.1.5 浮游生物多样性指数 表 5 显示:各采样点浮游植物和浮游动物的 H' 平均值分别为 1.961 8 和 1.765 3, J 平均值分别为 0.754 9 和 0.661 1, D 平均值分别为 2.017 4 和 2.981 2。通过与表 6 对比后发现,各采样点浮游生物的 J 值所对应的营养水平和污染程度均比 H' 和 D 值对应的营养水平和污染程度更低。整体上看,复兴河流域各段水体营养水平处于贫营养或中营养水平,污染类型为寡污型至 β 中污染型。

表 3 各采样点浮游动物种类组成
Tab. 3 The zooplankton species composition of each sampling point

门	属	种	采样点						
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
轮虫 (Rotifera)	臂尾轮虫属(<i>Brachionus</i>)	剪形臂尾轮虫(<i>Brachionus forficula</i>)				+			
		双棘萼花臂尾轮虫 (<i>Brachionus calyciflorus</i> f. <i>amphiceros</i>)				+			
		尾突臂尾轮虫(<i>Brachionus caudatus</i>)					+		
	龟甲轮虫属(<i>Keratella</i>)	螺形龟甲轮虫(<i>Keratella cochlearis</i>)	+			+			
		曲腿龟甲轮虫(<i>Keratella valga</i>)				+			
	腔轮虫属(<i>Lecane</i>)	月形腔轮虫(<i>Lecane luna</i>)						+	
桡足类 (Copepoda)	温剑水蚤属(<i>Thermocyclops</i>)	长刺温剑水蚤(<i>Thermocyclops oithonoides</i>)	++	++	++				++
		透明温剑水蚤(<i>Thermocyclops hyalinus</i>)		+					
	无节幼体	无节幼体		+	+	+	+	+	
原生动物 (Protozoa)	砂壳虫属(<i>Diffugia</i>)	冠砂壳虫(<i>Diffugia corona</i>)			+	+	+		+
		长圆砂壳虫(<i>Diffugia oblonga</i>)		+					
总计/种			2	4	3	6	3	2	2

注:本研究中将无节幼体作为属(种)来进行统计

表 4 各采样点浮游动物密度与生物量
Tab. 4 The zooplankton density and biomass of each sampling point

采样点	原生动物		轮虫		桡足类		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	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	15.2	0.209 2	15.2	0.209 2
S2	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	72.6	1.002 1	72.6	1.002 1
S3	0.3	0.024 9	1.2	0.033 4	12.1	0.153 8	13.6	0.212 1
S4	0.0	0.000 0	0.2	0.015 1	4.2	0.057 0	4.4	0.072 1
S5	0.0	0.000 0	0.2	0.013 4	3.4	0.037 6	3.6	0.051 0
S6	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	4.6	0.053 1	4.6	0.053 1
S7	0.0	0.000 0	3.5	0.184 3	13.3	0.256 7	16.8	0.441 0

表 5 各采样点浮游生物多样性指数
Tab. 5 The plankton diversity index of each sampling point

采样点	浮游植物			浮游动物		
	<i>H'</i>	<i>J</i>	<i>D</i>	<i>H'</i>	<i>J</i>	<i>D</i>
S1	3.518 0	0.630 4	3.208 5	2.923 4	0.234 0	2.354 5
S2	2.329 4	0.723 4	2.340 4	1.490 9	0.723 8	3.433 5
S3	1.732 9	0.724 9	1.430 4	1.348 5	0.803 9	2.358 4
S4	2.002 3	0.932 4	2.602 1	2.380 3	0.623 9	3.375 8
S5	1.375 0	0.824 3	1.592 3	1.624 5	0.693 3	3.487 9
S6	1.304 5	0.624 3	1.406 3	1.348 5	0.823 4	2.489 7
S7	1.470 2	0.824 8	1.541 9	1.240 9	0.725 3	3.368 5

表 6 浮游生物多样性指数与营养水平及水质污染类型的关系
Tab. 6 Relationship between plankton diversity index and nutrient levels, water pollution types

营养水平及水质污染类型		<i>H'</i>	<i>J</i>	<i>D</i>
营养水平	贫营养	>3	>0.5~0.8	>3
	中营养	>1~3	>0.3~0.5	>1~3
	富营养	0~1	0~0.3	0~1
水质污染类型	清洁型	>4	0.8~1.0	>4
	寡污型	>3~4	>0.5~0.8	>3~4
	β 中污型	>1~3	>0.3~0.5	>2~3
α 中污-重污型		0~1	0~0.3	0~2

2.2 水质状况

由表 7 得知,复兴河流域的水体为中性或偏弱酸性,pH 的平均值为 6.8。该流域水体的 TDS、电导率和水温都从上游(S1)到下游(S7)逐渐上升,平均值分别为 101×10^{-6} 、 $202\text{ }\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 和 $27.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在 7 个采样点的各理化参数中,S2 处水体的 COD_{Cr} 远比其他采样点的 COD_{Cr} 更低,SS 则远高于其他采样点的 SS,且该处的透明度也更低,其中原因可能与此处居民较少且水流落差较大有关,因而此处水体受污染程度较小,且水体含沙量较大^[24]。

表 8 显示:采样点 S2 和 S5 的水体为Ⅱ类水,其余 5 个采样点的水体则均为Ⅲ类水。各采样点的单因子水质标识指数评价结果显示,相较于其他指标, COD_{Cr} 和 BOD_5 的单因子水质标识指数总体上更高,这意味着水体中有机污染物含量较高^[25-26]。而在 5 项参评的水质指标中,DO 和 TP 的单因子水质标识指数总体上要更优于其他指标的这一指数,且基本都能达到Ⅰ或Ⅱ类水的标准。

表 7 各采样点水质理化参数
Tab.7 The physicochemical parameters of water quality of each sampling point

采样点	pH	DO/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	TDS	电导率/ ($\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$	透明 度/cm	水质 类别
S1	6.4	7.52	25.58	0.008	5	47	0.564	69×10^{-6}	140	22.5	15*	Ⅲ
S2	7.0	6.01	7.52	0.002	6	147	0.396	79×10^{-6}	160	23.6	10	Ⅱ
S3	6.7	7.40	25.58	0.041	5	13	0.876	93×10^{-6}	186	24.3	40*	Ⅲ
S4	6.8	7.29	30.10	0.006	5	8	0.372	114×10^{-6}	224	29.7	30	Ⅲ
S5	6.8	8.11	19.56	0.003	4	18	0.432	113×10^{-6}	226	29.7	50	Ⅱ
S6	6.9	7.71	31.60	0.003	5	8	0.627	115×10^{-6}	230	29.8	30*	Ⅲ
S7	6.8	8.22	25.58	0.005	5	9	0.546	124×10^{-6}	248	30.7	25	Ⅲ

注:* 表示采样点水域透明度与水深相等

表 8 各采样点水质标识指数
Tab.8 The water quality identification index of each sampling point

采样点	单因子水质标识指数					综合水质标识指数	水体功能类别
	DO	COD_{Cr}	TP	BOD_5	$\text{NH}_3\text{-N}$		
S1	2.00	4.62	1.40	4.52	3.11	3.102	Ⅲ
S2	3.01	1.50	1.10	4.02	2.70	2.502	Ⅱ
S3	2.10	4.62	2.50	4.52	3.81	3.502	Ⅲ
S4	2.50	5.03	1.30	4.52	2.61	3.202	Ⅲ
S5	1.60	3.91	1.20	3.01	2.80	2.502	Ⅱ
S6	1.90	5.13	1.20	4.52	3.31	3.202	Ⅲ
S7	1.50	4.62	1.30	4.52	3.11	3.002	Ⅲ

注:Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ和Ⅴ类水的综合水质标识指数范围分别为 $[1.0,2.0]$ 、 $(2.0,3.0]$ 、 $(3.0,4.0]$ 、 $(4.0,5.0]$ 和 $(5.0,6.0]$

2.3 鱼类资源现状

在复兴河流域的 7 个采样点发现鱼类共 5 科 13 种,隶属于鲤形目(Cypriniformes)和鲈形目(Perciformes)(表 9)。鲤科(Cyprinidae)鱼类最多,共 9 种;鲤形目的其他种类包括花鳅科(Cobitidae)1 种及平鳍鳅科(Balitoridae)1 种。鲈形目中包括真鲈科(Percichthyidae)1 种及虾虎鱼科(Gobiidae)1 种。S6 和 S7 处的鱼类远比其他采样点丰富,种类分别为 10 和 12 种,而其他采样点的种类为 3~4 种。在此次调查中,鲮(*Hemiculter leucisculus*)、云南光唇鱼(*Acrossocheilus yunnanensis*)和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)在各采样点均有捕获,且为复兴河上游鱼类种类的主要组成部分。

表 9 各采样点鱼类组成名录
Tab.9 The list of fish species of each sampling point

目	科	亚科	种	采样点						
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
鲤形目 (Cypriniformes)	鲤科 (Cyprinidae)	鲤亚科	鲤(<i>Cyprinus carpio</i>)						+	+
		(Cyprininae)	鲫(<i>Carassius auratus</i>)						+	+
		鲃亚科	棒花鱼(<i>Abbottina rivularis</i>)						+	+
		(Gobioninae)	麦穗鱼(<i>Pseudorasbora parva</i>)						+	+
		雅罗鱼亚科(Leuciscinae)	草鱼(<i>Ctenopharyngodon idella</i>)							+
		鲃亚科(Barbinae)	云南光唇鱼 (<i>Acrossocheilus yunnanensis</i>)	+	+	+	+	+	+	+
		鲃亚科(Culterinae)	鲮(<i>Hemiculter leucisculus</i>)	+	+	+	+	+	+	+
		鲢亚科	鲢(<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)						+	+
		(Hypophthalmichthyinae)	鳊(<i>Aristichthys nobilis</i>)						+	+
	花鳉科(Cobitidae)	花鳉亚科(Cobitinae)	泥鳅(<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	+	+	+	+	+	+	+
鲈形目 (Perciformes)	平鳍鳉科 (Balitoridae)		西昌华吸鳅 (<i>Sinogastromyzon sichangensis</i>)			+	+			
	真鲈科 (Percichthyidae)		鳊(<i>Siniperca chuatsi</i>)							+
	虾虎鱼科 (Gobiidae)		子陵吻虾虎鱼 (<i>Rhinogobius giurinus</i>)						+	+
总计/种				3	3	4	4	3	10	12

3 讨论

复兴河流域浮游生物的定性分析结果显示,采样点 S4 处浮游植物和浮游动物的种类数最高。甲藻门浮游植物仅出现于 S4 采样点,且该段蓝藻门与裸藻门浮游植物种类也比较丰富;其他采样点的浮游植物种类数差异不大。复兴河浮游动物种类组成主要为原生动物、桡足类和轮虫类,采样点 S4 处浮游动物的组成较其他采样点也更为全面。造成上述现象的原因可能是 S4 位于一处小型水坝附近,该处水量相较于其余采样点更加充沛、水流较缓且温度也更加稳定,因此使得浮游植物种类也更加丰富^[14]。此外,各采样点浮游植物的种类数普遍高于与之处于同一采样点的浮游动物种类数,这可能与浮游动物对于环境改变更加敏感有关^[27]。复兴河流域各段的浮游植物优势群体均为硅藻门,绿藻门则紧排其后,而硅藻门和绿藻门通常在贫营养和中营养型水体中表现为优势物种。这一结果与浮游生物多样性指数分析结果相呼应,即复兴河水体营养水平为贫营养或中营养水平。与此同时,本研究中水质指标如 COD、BOD₅ 和 NH₃-N 的数值相对较高,也表明了水体中可供浮游生物利用的营养物质较多,为浮游生物的增殖提供了基本条件。此外,较高的 COD 和 BOD₅ 表明水体中的可被氧化物质含量较高,它们在通过化学反应或生物分解的过程中会消耗大量的溶解氧;但调查结果显示复兴河内水体 DO 较高。造成这一现象的原因在于本研究的调查时间为夏季,此时水体温度较高且日照时间长,浮游植物光合作用强度较大并向水体释放大量的溶解氧。复兴河流域浮游动物优势群体为桡足类,其中优势种为长刺温剑水蚤。通常浮游动物以浮游植物、细菌、有机碎屑或比自身更小的浮游动物为食,而复兴河水体中大量的浮游植物和有机物为它们提供了丰富的食物来源。研究表明,在中营养型水体中桡足类的密度和生物量通常会增加,尤其是较小的剑水蚤和桡足类幼体的优势度明显上升^[28]。

本研究结果显示,复兴河上游分布的鱼类主要为经济价值不大的小型鱼类,如泥鳅、云南光唇鱼等;而下游种类相对较多,且多数为经济价值较大的种类,如鲤、鲫、鲢、鳊等。复兴河下游鱼类资源更丰富可能是因为位于复兴河下游的笋溪河的鱼类资源较为丰富、鱼类种类数量较多,而且多数鱼类可沿复兴河的河口进入复兴河。

据有关文献记录结合调查走访结果显示,复兴河鱼类历史记录共 51 种,隶属于 5 目 10 科 40 属^[21,29]。由此可见,复兴河现有的鱼类资源有明显减少的趋势。造成这一现象的原因在于:虽然复兴河流域浮游生物、底栖动物等水生生物资源丰富,为鱼类生存生长提供了充裕的饵料资源;同时,复兴河流域渔业不发达,无从事专业捕捞的渔民,仅有少数钓鱼爱好者通过刺网、杆钓等方式进行捕捞;然而据调查走访得知,近些年来流域内存在一系列破坏性非法捕捞行为,直接导致了复兴河鱼类数量明显减少。除此之外,复兴河流域内现有供取水和农田灌溉用的大小水坝共 9 座,而水坝会影响河流的连续性,且复兴河年平均流量较小,枯水季时常会出现大面积脱水段,这导致了鱼类的活动场所片段化。江河鱼类大多有洄游习性,水坝的存在阻隔了鱼类的洄游途径并破坏了鱼类产卵场的连续性,致使流域内鱼类无法正常洄游产卵、上下游鱼类缺乏基因交流,造成鱼类群落生物多样性降低、鱼类资源逐年下降^[30]。

据资料显示,2010 年复兴河水体在水质功能评价中被评为Ⅱ类水^[31],而本研究综合水质标识指数结果则显示当前复兴河流域水质整体上为Ⅲ类,只有少数支流为Ⅱ类水,表明复兴河干流水质呈整体下降趋势。通过分析各采样点的单因子水质标识指数发现,在 5 项参评水质指标中 DO 和 TP 两项指标基本都能达到Ⅰ或Ⅱ类,而 COD_{Cr} 和 BOD₅ 的数值则远高于其他指标,且在复兴河流域的单因子水质评价中平均评级均为Ⅳ类,这表明水体有机物含量过高。除此之外,NH₃-N 也处于中等水平,单因子水质评级为Ⅱ或Ⅲ类。水域中 COD_{Cr}、BOD₅ 和 NH₃-N 主要来自点源污染或面源污染,如土壤侵蚀、人畜排泄物、水体养殖、工业污水和生活污水等^[32]。总体来看,复兴河流域的水环境保护工作主要存在城镇污水收集处理体系滞后和点源、面源污染管控较弱^[3]的问题。复兴河流域的城镇污水收集系统不够完善,部分生活污水未被有效收集,大多被直接排入或经径流流入复兴河。另外,一些污水处理站的实际污水处理能力未能达到设计处理水平,大部分排入复兴河的生活污水处理效果较低,这导致复兴河流域有机物、氨氮等含量升高。复兴河沿岸有不少禽畜散养或集中养殖,禽畜粪便未得到妥善处理而直接排入或经地表径流流入水域,对复兴河造成了禽畜粪污污染,致使流域内有机物污染加剧和营养水平偏高^[33]。流域内农田施肥通常采用农家肥,故受化肥的影响较小,水体氮磷含量相对较低,但不排除少数地区肥料、农药的不合理使用。

综上所述,本研究通过对重庆江津复兴河流域浮游生物群落结构、水质及鱼类资源现状的调查,发现该流域内各段浮游生物群落结构受到不同程度的影响;流域水质整体为Ⅲ类水、营养水平处于贫营养或中营养水平、污染类型为寡污型至 β 中污染型;鱼类资源相比过去明显减少。复兴河水生态环境遭受了一定程度的破坏和生物多样性的下降,这与水利设施建设、面源污染管理薄弱、居民生活垃圾及污水组成成分改变且处理欠缺等密切相关。本研究进一步补充了复兴河流域的相关数据,较充分地展示了该流域浮游生物群落结构、水质及鱼类资源现状,为今后复兴河的治理和保护工作提供了基础资料。

参考文献:

- [1] 裴红艳. 上海城区公园水体浮游植物多样性及水质状况的评价研究[D]. 上海:上海师范大学,2006.
PEI H Y. Study on the phytoplankton species diversity and the evaluation of water quality in several downtown parks of Shanghai city[D]. Shanghai:Shanghai Normal University,2006.
- [2] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果[J]. 水生生物学报,1996,20(3):212-220.
XU M Q. Evaluation of self-purification efficiency of Fuhe stream-Baiyangdian lake through zooplankton[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,1996,20(3):212-220.
- [3] 翟红娟. 纵向岭谷区水电工程胁迫对河流生态完整性影响的研究[D]. 北京:北京师范大学,2009.
ZHAI H J. Study on the river ecological integrity under the threat of hydropower development in LRGR[D]. Beijing: Beijing Normal University,2009.
- [4] 苏维词,罗有贤,翁才银,等. 重庆都市圈可持续发展面临的主要生态环境问题与对策[J]. 城市环境与城市生态,2004,17(2):1-3.
SU W C, LUO Y X, WEN C Y, et al. Main ecological and environmental problems of Chongqing metropolis and their countermeasures[J]. Urban Environment & Urban Ecology,2004,17(2):1-3.
- [5] 郑永林,王海燕,秦倩倩,等. 三峡库区笋溪河流域水质评价及其空间差异[EB/OL]. (2020-04-10)[2020-12-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1785.x.20200409.1334.002.html>.
ZHENG Y L, WANG H Y, QIN Q Q, et al. Water quality assessment and spatial difference of the Sunxi river watershed in the Three Gorges reservoir area[EB/OL]. (2020-04-10)[2020-12-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1785.x.20200409.1334.002.html>.

- [6] 郑瀚,张军红,侯新,等.重庆市江津区复兴河流域水资源保护研究[J].南方农业,2020,14(17):171-173.
ZHENG H,ZHANG J H,HOU X,et al. Research on water resources protection in Fuxing river basin in Jiangjin district of Chongqing[J]. South China Agriculture,2020,14(17):171-173.
- [7] 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.
- [8] 韩茂森,束蕴芳.中国淡水生物图谱[M].北京:海洋出版社,1995.
HAN M S,SHU Y F. Atlas of freshwater biota in China[M]. Beijing:China Ocean Press,1995.
- [9] 周凤霞,陈剑虹.淡水微生物与底栖动物图谱[M].北京:化学工业出版社,2011.
ZHOU F X,CHEN J H. Map of freshwater micro-organisms and benthos[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2011.
- [10] 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.
HU H J,WEI Y X. The freshwater algae of China:systematics,taxonomy and ecology[M]. Beijing:Science Press,2006.
- [11] 翁建中,徐恒省.中国常见淡水浮游藻类图谱[M].上海:上海科学技术出版社,2010.
WEN J Z,XU H S. Atlas of common freshwater planktonic algae in China[M]. Shanghai:Shanghai Scientific and Technical Publishers,2010.
- [12] 赵建刚,肖林,许总能.水域生态学实验指导[M].广州:暨南大学出版社,2013.
ZHAO J G,XIAO L,XU Z N. Experimental guidance of water ecology[M]. Guangzhou:Jinan University Press,2013.
- [13] 国家环境保护总局.水生生物监测手册[M].南京:东南大学出版社,1993.
State Environmental Protection Administration. Handbook of aquatic biology monitoring[M]. Nanjing:Southeast University Press,1993.
- [14] 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.
- [15] 金相灿,屠清英.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
JIN X C,TU Q Y. Investigation specifications for lake eutrophication[M]. Beijing:China Environmental Science Press,1990.
- [16] 范彩玲.分析化学[M].北京:中国农业出版社,2014.
FAN C L. Analytical chemistry[M]. Beijing:China Agriculture Press,2014.
- [17] 林小媛.水质标识指数法在城市内河水质评价中的应用[J].低碳世界,2018(2):24-25.
LIN X Y. Application of water Quality Index method in urban inland river water quality evaluation[J]. Low Carbon World, 2018(2):24-25.
- [18] 郭明明.标识指数法在河流水质评价中的应用[J].上海环境科学,2005,24(4):160-163.
GUO M M. An application of marked index method in river water quality evaluation[J]. Shanghai Environmental Sciences, 2005,24(4):160-163.
- [19] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准 GB3838—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Environmental quality standards for surface water GB3838—2002[S]. Beijing:China Environmental Science Press,2002.
- [20] 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,1995.
- [21] 丁瑞华.四川鱼类志[M].成都:四川科学出版社,1994.
DENG R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu:Sichuan Science Press,1994.
- [22] 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. The fauna of China,Teleost,Cypriniformes (volume two)[M]. Beijing:Science Press,2000.
- [23] 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.
- [24] 陈永宽.悬移质含沙量沿垂线分布[J].泥沙研究,1984(1):31-40.
CHEN Y K. Vertical distribution of suspended sediment in open channel[J]. Journal of Sediment Research,1984(1):31-40.
- [25] 赵云.河流有机物污染综合指标相关性研究[J].吉林水利,2018(6):35-37.
ZHAO Y. Study on correlativity of comprehensive index of river organic pollution[J]. Jilin Water Resources,2018(6):35-37.

- [26] 丁一然,李英文.长溪河浮游生物群落特征及水质评价[J].西华师范大学学报(自然科学版),2020,41(3):242-248.
DING Y R,LI Y W. Community characteristics and water quality evaluation of plankton in Changxi river[J]. Journal of China West Normal University (Natural Sciences),2020,41(3):242-248.
- [27] 杨娜,杨鑫,李英文,等.重庆市涪陵区梨香溪流域和麻溪河流域浮游生物及鱼类资源现状[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2020,37(6):63-77.
YANG N,YANG X,LI Y W,et al. The current situation of plankton and fish resources of Lixiang rivulet and Maxi river in Fuling district of Chongqing municipality[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science),2020,37(6):63-77.
- [28] 李莹,林秋奇,韩博平.三座南亚热带大型水库敞水区桡足类群落结构比较[J].生态科学,2010,29(1):22-29.
LI Y,LIN Q Q,HAN B P. Comparative analysis of community structures of planktonic copepods in three large reservoirs, South China[J]. Ecological Science,2010,29(1):22-29.
- [29] 叶学瑶,陶敏,朱光平,等.三峡库区小江鱼类群落特征及其历史变化[J].长江流域资源与环境,2017,26(6):841-846.
YE X Y,TAO M,ZHU G P,et al. Assemblage characteristics and historical changes of fish in the Xiaojiang river of the Three Gorge reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2017,26(6):841-846.
- [30] 张东亚.水利水电工程对鱼类的影响及保护措施[J].水资源保护,2011,27(5):75-77.
ZHANG D Y. Influence of water conservancy and hydropower engineering on fish and protection measures[J]. Water Resources Protection,2011,27(5):75-77.
- [31] 王凯,侯新,罗倩,等.江津区河流水功能区纳污能力核定及分阶段限排总量控制方案研究[J].吉林农业,2014(10):43-45.
WANG K,HOU X,LUO Q,et al. Study on the assessment of pollutant carrying capacity of river water functional area in Jiangjin district and the scheme of controlling the total discharge by stages[J]. Agriculture of Jilin,2014(10):43-45.
- [32] 杨丽标,雷坤,乔飞,等.铁岭市河流氮素时空分布及源解析[J].环境科学,2018,39(2):711-719.
YANG L B,LEI K,QIAO F,et al. Spatio-temporal distribution and source apportionment of nitrogen in rivers of Tieling[J]. Environmental Science,2018,39(2):711-719.
- [33] 王光正.农村养殖业带来的环境污染及应对路径[J].中国畜禽种业,2020,16(8):27.
WANG G Z. The environmental pollution brought by rural aquaculture and its countermeasures[J]. The Chinese Livestock and Poultry Breeding,2020,16(8):27.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

The Current Situation of Plankton Community Structure, Water Quality, and Fish Resources of Fuxing River Basin in Jiangjin, Chongqing

ZHANG Yu, LIAN Xiaolong, LI Yingwen, LIU Zhihao, CHEN Qiliang, SHEN Yanjun

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

Abstract: [Purposes] To investigate the plankton community structure, water quality and fish resources in Fuxing river basin, Jiangjin of Chongqing. [Methods] Plankton, physicochemical parameters of water quality and fish resources data were collected from 7 sampling points in Fuxing river basin. The current situation of plankton community structure, water quality and fish resources were analyzed by calculating biodiversity index and water quality identification index etc. [Findings] There are 78 species of phytoplankton in 5 phyla, 44 genera, the average density was $387.1 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, the average biomass was $0.5020 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, the average Shannon-Wiener biological diversity index (H'), Pielou evenness index (J) and Margalef richness index (D) were 1.961 8, 0.754 9, and 2.017 4; there are 11 species of zooplankton in 3 phyla, 6 genera, the average density of zooplankton was $18.7 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, and the average biomass was $0.3316 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, H' , J , and D were 1.765 3, 0.745 3, and 2.981 2, respectively. The comprehensive water quality identification index of the 7 sampling points is 3.102, 2.502, 3.502, 3.202, 2.502, 3.202, and 3.002 respectively. There are 13 species in 2 orders, 5 families, among which 9 species are Cyprinidae, accounting for 70% of the total. [Conclusions] The water quality of the Fuxing river basin was class III and the content of organic pollutants in water was too high. The water nutrient level of several sections of the basin was oligotrophic or mesotrophic type, and the water pollution type was oligotrophic or β moderate type. The fish resources in Fuxing river was less than before and mainly concentrated in the lower reaches.

Keywords: Fuxing river in Jiangjin; plankton; water quality assessment; water quality identification index; fish stocks; Chongqing

(责任编辑 方 兴)