

普里河浮游生物群落结构、生物多样性及鱼类资源现状*

罗 杨,程如丽,王 梦,李英文,陈启亮,刘智皓,沈彦君
(重庆师范大学 生命科学学院 水生态健康与环境安全实验室,重庆 401331)

摘要:【目的】研究三峡库区普里河浮游生物群落结构、生物多样性及鱼类资源现状,为普里河流域生态环境的监测和治理提供数据支撑。【方法】于2019年3—4月在普里河设置8个采样断面,开展浮游生物群落结构及鱼类资源现状调查与分析,并运用 Shannon Wiener 多样性指数(H')、Pielou 指数(J)及 Marglef 指数(D)评价浮游生物的生物多样性,由此综合评价水质受污染程度。【结果】在普里河共采集到浮游植物6门44属92种,以硅藻门(Bacillariophyta)为主,硅藻门物种数占浮游植物总物种数的60.87%;浮游植物的密度和生物量平均值分别为 4.0×10^4 个 $\cdot L^{-1}$ 、 0.0619 mg $\cdot L^{-1}$;浮游植物 H' 、 J 和 D 的平均值分别为2.244 0、0.896 8和2.961 7。普里河的浮游动物共4门21属28种,以轮虫类(Rotifera)为主,轮虫类物种数占浮游动物总物种数的53.57%;浮游动物的密度与生物量平均值分别为246个 $\cdot L^{-1}$ 、3.684 7 mg $\cdot L^{-1}$;浮游动物 H' 、 J 和 D 的平均值分别为1.370 4、0.889 5和1.326 7。普里河的鱼类共3目5科24种,以鲤科(Cyprinidae)为主,鲤科物种数占全部鱼类物种数的62.5%。【结论】普里河流域整体水质污染程度为清洁至中度污染,鱼类资源与历史调查纪录相比有明显减少。普里河流域水生态治理与渔业资源保护管理工作需要重视和加强。

关键词:普里河;浮游生物;鱼类资源;生物多样性;三峡库区

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2023)02-0054-11

浮游生物主要由浮游动物及浮游植物两大类组成,它们个体微小、游动能力较差、移动主要受水流的支配^[1]。浮游生物在水生态系统中发挥着重要的作用^[2-5],它们与水质之间存在比较明确的关系,它们的群落结构的变化规律可以反映水体的健康状况^[6-7]。在水体中,某些浮游生物可作为指示生物,能够指示水体环境受污染的情况;浮游生物的种类组成、种群密度、生物量等参数变化以及生物多样性指数等指标也能够用于水域生态环境评价^[8-10]。此外,鱼类以浮游生物为饵料,是水生态系统中的顶级群落,对生态平衡的维持具有重要作用。鱼类资源属于可再生自然资源,当自然生态环境遭到破坏时,鱼类资源的可持续发展可能会受到影响。因此在进行水体环境和水生生物资源调查时,需要对鱼类资源现状进行调查评估。

普里河为长江二级支流,地处三峡库区回水末端,长约110 km,流域面积约1 180 km²。普里河发源于重庆市梁平区,主要流经重庆市开州区的岳溪镇、南门镇、长沙镇、赵家街道和渠口镇,并于渠口镇汇入澎溪河。普里河水域辽阔,满足了沿岸城乡居民生产、生活用水需求。当前,普里河沿岸城镇的建设有了较大发展,河岸带土地被大量开发,为当地居民带来了极大的利益。与此同时,该流域的水生态系统也因此受到剧烈干扰。人们在河岸带开拓耕地、在河道修建堤坝等活动改变了普里河河床、河道的天然分布状态和普里河原有的水文特征,严重影响了水生生物的生存与繁殖^[11-13],并可能导致河流水生态系统失衡^[14]。迄今为止,对普里河流域生态环境和水生生物资源现状的相关研究甚少。有鉴于此,本研究于2019年春季通过在普里河流域设置多个采样断面,对该流域的浮游生物群落结构、生物多样性和鱼类资源现状进行了调查,旨在为今后普里河流域的生态监测和治理提供数据支撑,促进该流域水生态环境持续健康发展,并为三峡库区的水资源环境保护及生态治理提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样点设置

2019年3—4月,在对普里河流域(东经107°45'04"~108°31'17"、北纬30°39'44"~31°08'58")水文特征现状以及地理环境等进行综合考察的基础上,共设置了8个采样断面(图1)。

* 收稿日期:2022-03-29 修回日期:2022-05-16 网络出版时间:2023-04-21T10:02

资助项目:国家自然科学基金面上项目(No. 31901183);重庆市教育委员会科学技术研究计划项目(No. KJQN202100503)

第一作者简介:罗杨,男,研究方向为水生生物学,E-mail:1426915329@qq.com;通信作者:沈彦君,男,副教授,博士,E-mail:shenyanjun@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20230420.1730.036.html

1.2 样品采集

1.2.1 浮游动物采样方法

1) 定性样品采集。用 25# 浮游生物网采集原生动物(Protozoa)和轮虫(Rotifera)的定性样品,用 13# 浮游生物网采集枝角类(Cladocera)和桡足类(Copepoda)的定性样品。以“∞”字形来回缓慢拖动浮游生物网 3~5 min,用水样瓶收集网中的样品,然后用相当于 1%~1.5%水样体积的鲁哥氏液固定原生动物和轮虫样品,用相当于 5%水样体积的甲醛溶液固定枝角类和桡足类样品。给水样瓶贴上标签并作好记录,全部带回实验室,静置 24 h 以上,经沉淀、浓缩后进行镜检及种类鉴定。2) 定量样品采集。用采水器采集 10~50 L 水样,再用 13# 浮游生物网过滤后,立即用相当于 5%水样体积的甲醛溶液进行固定。将样品带回实验室,所有定量样品经过 24 h 以上的静置、沉淀和浓缩后用于浮游动物计数^[15]。

1.2.2 浮游植物采样方法

1) 定性样品采集。浮游植物的定性采集方法与浮游动物的定性采集方法相同。2) 定量样品采集。于定性采样前用采水器采集水样,每个采样点取水样 1 L,然后立即用相当于 1%~1.5%水样体积的鲁哥氏液固定。将样品带回实验室,所有定量样品经过 24 h 以上的静置、沉淀和浓缩后用于浮游植物计数^[15]。

1.2.3 鱼类资源现状调查

鱼类资源调查区域以赵家街道河段以上河段为主,此区域河道水面宽阔且生境保持较好。在取得当地主管部门许可后,本研究主要采用底置笼网、刺网、杆钩等方式对该河段渔业资源现状进行调查,并辅之以走访调查,从而摸清该流域鱼类资源现状。对采集到的鱼类进行现场鉴定测量和记录,然后放归于原采样河道;若有当场无法识别种类的鱼类,则将鱼类标本保存于体积分数为 95%的乙醇溶液中,带回实验室做进一步鉴定。

1.3 分析方法和数据处理

1.3.1 种类鉴定

浮游生物的镜检、种类鉴定及计数参照文献[15-18],并辅以万深 AlgaeC 浮游生物智能鉴定计数仪进行定量、定性分析。渔获物样本依据文献[19-22]进行鉴定、分类。

1.3.2 生物多样性指数评价

本研究运用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 指数(J)及 Marglef 指数(D)对普里河水质污染程度进行评价^[23],具体计算公式参见文献[9-10]。多样性指数与水质污染程度的关系参照文献[24]来判定,具体情况见表 1。

表 1 多样性指数与水质污染程度的关系

Tab.1 Relationship between diversity index and water pollution degree

污染程度	H'	J	D	污染程度	H'	J	D
清洁	>3	>0.8	>6	重度污染	$>0\sim1$	$>0.1\sim0.3$	$>0\sim1$
轻度污染	$>2\sim3$	$>0.5\sim0.8$	$>4\sim6$	严重污染	0	≤ 0.1	0
中度污染	$>1\sim2$	$>0.3\sim0.5$	$>1\sim4$				

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落结构特征

在普里河 8 个采样断面共鉴定出浮游植物 6 门 44 属 92 种(表 2),其中:硅藻门(Bacillariophyta)含 20 属 56 种,占浮游植物总物种数的 60.87%;绿藻门(Chlorophyta)含 17 属 23 种,占比为 25.00%;蓝藻门(Cyanophyta)含 3 属 7 种,占比为 7.61%;裸藻门(Euglenophyta)、甲藻门(Pyrophyta)和黄藻门(Xanthophyta)分别含 2 属 3 种、1 属 1 种以及 1 属 2 种,这 3 门共占浮游植物总物种数的 6.52%。在各采样断面中,S8 断面浮游植物种类最

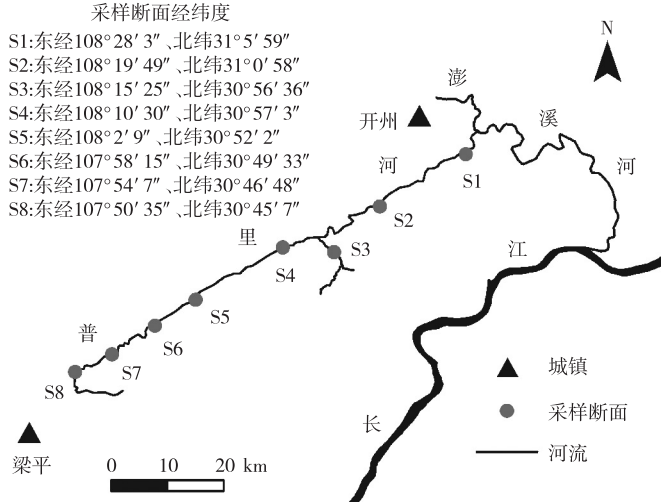


图 1 普里河采样断面分布

Fig.1 Sampling sections distribution of the Puli River

少(19种)而 S3 断面浮游植物种类最多(46种)。优势藻类主要包括变异直链藻(*Melosira varians*)、钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)和膨胀桥弯藻(*Cymbella tumida*)。

表 2 普里河浮游植物种类组成

Tab. 2 Composition of phytoplankton species of the Puli River

门	属	种	采样断面											
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8				
硅藻门 (Bacillariophyta)	星杆藻属(<i>Asterionella</i>)	美丽星杆藻(<i>Asterionella formosa</i>)	+											
	双眉藻属(<i>Amphora</i>)	简单双眉藻(<i>Amphora exigua</i>)											+	
	沟链藻属(<i>Aulacoseira</i>)	颗粒沟链藻(<i>Aulacoseira granulata</i>)	+	+									+	
	圆筛藻属(<i>Coscinodiscus</i>)	湖沼圆筛藻(<i>Coscinodiscus lacustris</i>)		+	+									
	小环藻属(<i>Cyclotella</i>)	广缘小环藻(<i>Cyclotella bodanica</i>)				+								
		梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)	+				+				+			
	波缘藻属(<i>Cymatopleura</i>)	椭圆波缘藻(<i>Cymatopleura elliptica</i>)			+	+			+					+
		草鞋形波缘藻(<i>Cymatopleura solea</i>)						+						
	桥弯藻属(<i>Cymbella</i>)	近缘桥弯藻(<i>Cymbella affinis</i>)				+	+							
		膨胀桥弯藻(<i>Cymbella tumida</i>)	+	+	+	+	+	+	+				+	+
	等片藻属(<i>Diatoma</i>)	冬生等片藻(<i>Diatom hiemale</i>)				+		+						
		普通等片藻(<i>Diatom vulgare</i>)	+	+	+				+				+	+
	脆杆藻属(<i>Fragilaria</i>)	二头脆杆藻(<i>Fragilaria biceps</i>)	+	+			+	+					+	
		钝脆杆藻(<i>Fragilaria capucina</i>)	+	+	+	+					+	+	+	+
		中型脆杆藻(<i>Fragilaria intermedia</i>)			+									
	异极藻属(<i>Gomphonema</i>)	尖异极藻花冠变种 (<i>Gomphonema acuminatum</i> var. <i>coronatum</i>)												+
		窄异极藻(<i>Gomphonema angustatum</i>)					+							
		缢缩异极藻(<i>Gomphonema constrictum</i>)						+						+
		中间异极藻(<i>Gomphonema intricatum</i>)	+	+	+	+								
		橄榄形异极藻(<i>Gomphonema olivaceum</i>)											+	
	布纹藻属(<i>Gyrosigma</i>)	尖布纹藻(<i>Gyrosigma acuminatum</i>)	+			+	+	+	+	+				
		铍刀状布纹藻(<i>Gyrosigma scalproides</i>)				+	+		+					
	水链藻属(<i>Hydrosera</i>)	黄埔水链藻(<i>Hydrosera whampoensis</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>)					+	+	+				+	+
		岛直链藻(<i>Melosira islandica</i>)	+	+			+							
		变异直链藻(<i>Melosira varians</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		双球舟形藻(<i>Navicula amphibola</i>)					+	+	+	+			+	+
		系带舟形藻(<i>Navicula cincta</i>)					+	+					+	
		隐头舟形藻(<i>Navicula cryptocephala</i>)					+	+	+	+			+	+
	舟形藻属(<i>Navicula</i>)	尖头舟形藻(<i>Navicula cuspidata</i>)						+						
		双头舟形藻原变种 (<i>Navicula dicephala</i> var. <i>dicephala</i>)	+											
		双头舟形藻(<i>Navicula dicephala</i>)											+	
		线形舟形藻(<i>Navicula graciloides</i>)						+	+		+		+	+
		放射舟形藻(<i>Navicula radiosa</i>)	+				+							
		瞳孔舟形藻(<i>Navicula pupula</i>)						+						
	长萼藻属(<i>Neidium</i>)	彩虹长萼藻(<i>Neidium iridis</i>)						+						
	菱形藻属(<i>Nitzschia</i>)	双头菱形藻(<i>Nitzschia amphibia</i>)					+	+						
		分散菱形藻(<i>Nitzschia dissipata</i>)							+					
		线形菱形藻(<i>Nitzschia linearis</i>)					+	+		+			+	+
		谷皮菱形藻(<i>Nitzschia palea</i>)					+						+	
		奇异菱形藻(<i>Nitzschia paradoxa</i>)	+											
拟螺形菱形藻(<i>Nitzschia sigmoidea</i>)							+	+	+	+		+		
近线形菱形藻(<i>Nitzschia sublinearis</i>)						+	+				+	+		
羽纹藻属(<i>Pimularia</i>)	大羽纹藻(<i>Pimularia major</i>)	+	+	+										
辐节藻属(<i>Stauroneis</i>)	尖辐节藻(<i>Stauroneis acuta</i>)												+	
	双头辐节藻(<i>Stauroneis anceps</i>)	+			+			+					+	

续表 2

门	属	种	采样断面							
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
硅藻门 (Bacillariophyta)	双菱藻属(<i>Surirella</i>)	窄双菱藻(<i>Surirella angustata</i>)			+					
		端毛双菱藻(<i>Surirella capronii</i>)							+	+
		美丽双菱藻(<i>Surirella elegans</i>)					+			+
		粗壮双菱藻(<i>Surirella robusta</i>)	+	+	+		+	+		
	针杆藻属(<i>Synedra</i>)	尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)	+		+	+				+
		平片针杆藻(<i>Synedra tabulata</i>)				+			+	+
		肘状针杆藻二头变种 (<i>Synedra ulna</i> var. <i>biceps</i>)	+					+		
		肘状针杆藻缢缩变种 (<i>Synedra ulna</i> var. <i>contracta</i>)					+	+	+	
		肘状针杆藻(<i>Synedra ulna</i>)					+	+	+	+
绿藻门 (Chlorophyta)	集星藻属(<i>Actinastrum</i>)	集星藻(<i>Actinastrum hantzschii</i>)			+					
	弯丝鼓藻属(<i>Ancylonema</i>)	弯丝鼓藻(<i>Ancylonema nordenskioldii</i>)							+	
	纤维藻属(<i>Ankistrodesmus</i>)	狭形纤维藻(<i>Ankistrodesmus angustus</i>)			+		+			
	衣藻属(<i>Chlamydomonas</i>)	简单衣藻(<i>Chlamydomonas simplex</i>)			+	+			+	
	小球藻属(<i>Chlorella</i>)	椭圆小球藻(<i>Chlorella ellipsoidea</i>)	+	+	+			+		
	新月藻属(<i>Closterium</i>)	锐新月藻(<i>Closterium acerosum</i>)								+
		莱布新月藻(<i>Closterium leibleinii</i>)								+
	空星藻属(<i>Coelastrum</i>)	小空星藻(<i>Coelastrum microporum</i>)				+			+	
		长角空星藻(<i>Coelastrum proboscideum</i>)				+				
	鼓藻属(<i>Cosmarium</i>)	近膨胀鼓藻(<i>Cosmarium subtumidum</i>)			+	+			+	
	十字藻属(<i>Crucigenia</i>)	四角十字藻(<i>Crucigenia quadrata</i>)					+			
	角丝鼓藻属(<i>Desmidiium</i>)	矩形角丝鼓藻(<i>Desmidiium baileyi</i>)	+							
	凹顶鼓藻属(<i>Euastrum</i>)	小齿凹顶鼓藻(<i>Euastrum denticulatum</i>)						+		
	空球藻属(<i>Eudorina</i>)	华美空球藻(<i>Eudorina elegans</i>)			+					
	盘星藻属(<i>Pediastrum</i>)	具孔盘星藻(<i>Pediastrum clathratum</i>)			+					
	宽带鼓藻属(<i>Pleurotaenium</i>)	节球宽带鼓藻(<i>Pleurotaenium nodosum</i>)				+				
	栅藻属(<i>Scenedesmus</i>)	四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)			+	+				
	水绵属(<i>Spirogyra</i>)	致细水绵(<i>Spirogyra arta</i>)	+		+				+	+
		普通水绵(<i>Spirogyra communis</i>)	+						+	+
李氏水绵(<i>Spirogyra lians</i>)									+	
长形水绵(<i>Spirogyra longata</i>)									+	
韦伯水绵(<i>Spirogyra weberi</i>)								+		
双星藻属(<i>Zygnema</i>)	近十字双星藻(<i>Zygnema subcruciatum</i>)	+	+				+	+	+	
鱼腥藻属(<i>Anabaena</i>)	固氮鱼腥藻(<i>Anabaena azotica</i>)	+			+			+		
	卷曲鱼腥藻(<i>Anabaena circinalis</i>)	+								
	铜绿微囊藻(<i>Microcystis aeruginosa</i>)								+	
	鱼害微囊藻(<i>Microcystis ichthyoblabe</i>)	+								
颤藻属(<i>Oscillatoria</i>)	尖头颤藻(<i>Oscillatoria acutissima</i>)				+					
	阿氏颤藻(<i>Oscillatoria agardhii</i>)	+	+	+		+			+	
	博恩颤藻(<i>Oscillatoria borneti</i>)	+		+				+	+	
柄裸藻属(<i>Colacium</i>)	囊形柄裸藻(<i>Colacium vesiculosum</i>)				+					
裸藻属(<i>Euglena</i>)	尾裸藻(<i>Euglena caudata</i>)	+	+	+				+	+	
	静裸藻(<i>Euglena deses</i>)					+	+			
甲藻门 (Pyrrophyta)	角藻属(<i>Ceratium</i>)	飞燕角藻(<i>Ceratium hirundinella</i>)	+					+		
黄藻门 (Xanthophyta)	黄丝藻属(<i>Tribonema</i>)	近缘黄丝藻(<i>Tribonema affine</i>)	+	+		+				
		小型黄丝藻(<i>Tribonema minus</i>)	+							
总计/种			34	40	46	24	27	20	31	19

注：“+”代表此物种在该采样断面有分布，下同。

普里河 8 个采样断面浮游植物的密度和生物量如表 3 所示。除 S5 断面以外,其余各断面的绿藻门和硅藻门藻类密度及生物量均远比其他藻类的密度及生物量更高。S3 断面的浮游植物密度及生物量最大,分别为 7.6×10^4 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $0.126 3 \text{ mg} \cdot L^{-1}$;S5 断面的浮游植物密度及生物量最小,分别为 0.3×10^4 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $0.017 4 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。普里河各采样断面的浮游植物群落密度和生物量均较低,平均密度和平均生物量分别为 4.0×10^4 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $0.061 9 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。

表 3 普里河各采样断面浮游植物密度及生物量

Tab. 3 Phytoplankton density and biomass of each sample section of the Puli River

采样断面	硅藻门		绿藻门		蓝藻门		其他藻类		合计	
	密度/ (个 $\cdot L^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot L^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot L^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot L^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot L^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot L^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot L^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot L^{-1}$)	密度/ (个 $\cdot L^{-1}$)	生物量/ ($\text{mg} \cdot L^{-1}$)
S1	3.4×10^4	0.035 1	0.5×10^4	0.006 5	0.2×10^4	0.002 1	0.2×10^4	0.001 5	4.3×10^4	0.045 2
S2	4.9×10^4	0.073 5	1.0×10^4	0.036 2	0.1×10^4	0.000 4	0.1×10^4	0.001 4	6.1×10^4	0.111 5
S3	6.1×10^4	0.087 4	1.0×10^4	0.035 6	0.4×10^4	0.000 8	0.1×10^4	0.002 5	7.6×10^4	0.126 3
S4	3.4×10^4	0.035 1	0.5×10^4	0.007 5	0.2×10^4	0.002 1	0.2×10^4	0.001 5	4.3×10^4	0.046 2
S5	0.1×10^4	0.004 4	0	0	0	0	0.2×10^4	0.013 0	0.3×10^4	0.017 4
S6	1.8×10^4	0.018 8	0.6×10^4	0.017 4	1.1×10^4	0.024 9	1.6×10^4	0.020 2	5.1×10^4	0.081 3
S7	0.6×10^4	0.014 6	0.4×10^4	0.006 6	0	0	0	0	1.0×10^4	0.021 2
S8	2.2×10^4	0.020 2	1.2×10^4	0.026 2	0	0	0	0	3.4×10^4	0.046 4
平均值	2.8×10^4	0.036 1	0.7×10^4	0.017 0	0.3×10^4	0.003 8	0.3×10^4	0.005 0	4.0×10^4	0.061 9

注:各浮游植物类群的拉丁学名见表 2,其他藻类包括裸藻门、甲藻门和黄藻门的藻类植物。

从表 4 可知,普里河 8 个采样断面浮游植物的 H' 、 J 和 D 的数值范围分别为 $0.636 5 \sim 3.423 1$ 、 $0.729 1 \sim 0.970 7$ 和 $0.630 9 \sim 5.601 9$,其中:S2 断面的 H' 和 J 最高,分别为 $3.423 1$ 和 $0.970 7$,S3 断面的 D 最高,为 $5.601 9$;S5 断面的 H' 和 D 最低,分别为 $0.636 5$ 和 $0.630 9$;S6 断面的 J 最低,为 $0.729 1$ 。 H' 、 J 和 D 的平均值分别为 $2.244 0$ 、 $0.896 8$ 和 $2.961 7$ 。根据表 1 可知,普里河 8 个采样断面浮游植物 H' 、 J 和 D 的平均值对应的水质污染程度分别为轻度污染、清洁和中度污染。

表 4 普里河各采样断面浮游植物多样性指数

Tab. 4 Phytoplankton diversity index at sampling sections of the Puli River

采样断面	H'	J	D	采样断面	H'	J	D	采样断面	H'	J	D
S1	2.497 3	0.900 7	2.764 3	S4	2.497 3	0.900 7	2.764 3	S7	1.559 6	0.969 0	1.923 6
S2	3.423 1	0.970 7	5.564 2	S5	0.636 5	0.918 3	0.630 9	S8	1.637 1	0.841 3	1.179 4
S3	3.384 1	0.944 4	5.601 9	S6	2.317 1	0.729 1	3.265 0	平均值	2.244 0	0.896 8	2.961 7

2.2 浮游动物群落结构特征

从普里河流域 8 个采样断面共鉴定出浮游动物 4 门 21 属 28 种(表 5)。其中轮虫类(Rotifera)最多,共 10 属 15 种,占浮游动物总物种数的 53.57%;桡足类(Copepoda)共 6 属 6 种,占比为 21.43%;原生动物(Protozoa)共 2 属 4 种,占比为 14.29%;枝角类(Cladocera)最少,共 3 属 3 种,占比为 10.71%。就各采样断面来看,S7 和 S8 断面的浮游动物种类最多,共 11 种;S5 断面浮游动物种类最少,仅 2 种。表 5 还显示,普里河流域浮游动物主要优势种为无节幼体和广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)。

普里河各采样断面浮游动物密度和生物量见表 6,其中:轮虫类和枝角类的密度及生物量较大,桡足类和原生动物的密度及生物量较低;S1 断面浮游动物密度及生物量最高,分别为 496 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $8.901 2 \text{ mg} \cdot L^{-1}$;S3 断面浮游动物密度及生物量最低,分别为 48 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $0.722 8 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。普里河流域浮游动物的密度及生物量均较低,各采样断面的浮游动物密度及生物量平均值分别为 246 个 $\cdot L^{-1}$ 、 $3.684 7 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ 。

表 5 普里河各采样断面浮游动物物种组成
Tab. 5 Species composition of zooplankton at each sampling section of the Puli River

门	属	种	采样断面												
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8					
枝角类 (Cladocera)	尖额溞属(<i>Alona</i>)	肋形尖额溞(<i>Alona costata</i>)	+		+	+									
	象鼻溞属(<i>Bosmina</i>)	长额象鼻溞(<i>Bosmina longirostris</i>)					+		+	+	+				
	盘肠溞属(<i>Chydorus</i>)	圆形盘肠溞(<i>Chydoru sphaericus</i>)									+	+			
桡足类 (Copepoda)	刺剑水蚤属(<i>Acanthocyclops</i>)	角突刺剑水蚤(<i>Acanthocyclops thomasi</i>)				+	+					+			
	剑水蚤属(<i>Cyclops</i>)	近邻剑水蚤(<i>Cyclops vicinus</i>)							+						
	中剑水蚤属(<i>Mesocyclops</i>)	广布中剑水蚤(<i>Mesocyclops leuckarti</i>)					+	+		+	+	+			
	无节幼体	无节幼体					+	+		+	+	+			
	新镖水蚤属(<i>Neodiantomus</i>)	右突新镖水蚤(<i>Neodiantomus schmackeri</i>)					+								
	温剑水蚤属(<i>Thermocyclops</i>)	短尾温剑水蚤(<i>Thermocyclops brevifurcatus</i>)						+	+						
原生动物 (Protozoa)	砂壳虫属(<i>Difflugia</i>)	湖沼砂壳虫(<i>Difflugia limnetica</i>)										+			
		球形砂壳虫(<i>Difflugia globulosa</i>)										+	+	+	
	草履虫属(<i>Paramecium</i>)	绿草履虫(<i>Paramecium bursaria</i>)						+		+					
		尾草履虫(<i>Paramecium caudatum</i>)								+		+			
轮虫 (Rotifera)	晶囊轮虫属(<i>Asplanchna</i>)	前节晶囊轮虫(<i>Asplanchna priodonta</i>)											+		
		盖氏晶囊轮虫(<i>Asplanchna girodi</i>)											+		
		西氏晶囊轮虫(<i>Asplanchna sieboldi</i>)											+		
	无柄轮虫属(<i>Ascomorpha</i>)	没尾无柄轮虫(<i>Ascomorpha ecaudis</i>)								+			+	+	
		卵形无柄轮虫(<i>Ascomorpha ovalis</i>)												+	
	臂尾轮虫属(<i>Brachionus</i>)	萼花臂尾轮虫(<i>Brachionus calyciflorus</i>)							+			+			
	巨头轮虫属(<i>Cephalodella</i>)	小链巨头轮虫(<i>Cephalodella catellina</i>)												+	
		剪形巨头轮虫(<i>Cephalodella forficula</i>)												+	
	聚花轮虫属(<i>Conochilus</i>)	独角聚花轮虫(<i>Conochilus unicornis</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>)											+	+	+
	鞍甲轮虫属(<i>Lepadella</i>)	尖尾鞍甲轮虫(<i>Lepadella acuminata</i>)												+	
	单趾轮虫属(<i>Monostyla</i>)	尖趾单趾轮虫(<i>Monostyla closterocerca</i>)												+	+
叶轮虫属(<i>Notholca</i>)	唇形叶轮虫(<i>Notholca labis</i>)												+		
总计/种			9	5	6	7	2	8	11	11					

注:无节幼体在本研究中作为属(种)来进行统计。

普里河各采样断面浮游植物多样性指数见表 7。各采样断面的 H' 、 J 、 D 的数值范围分别为为 0.636 5~2.075 4、0.627 8~1 和 0.630 9~1.806 2,其中, H' 、 J 和 D 的最高值分别出现在 S7、S5 和 S6 断面;S3 断面的 H' 和 D 以最低,S1 断面的 J 最低。 H' 、 J 和 D 的平均值分别为 1.370 4、0.889 5 和 1.326 7。根据表 1 可知,普里河 8 个采样断面浮游动物的 H' 和 D 平均值对应的水质污染程度为中度污染,而 J 平均值对应的水质污染程度为清洁。

2.3 鱼类资源现状

在普里河流域的 8 个采样断面共捕获到鱼类 3 目 5 科 24 种(表 8),其中:鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)15 种、花鳅科(Cobitidae)3 种;鲇形目(Siluriforme)鲿科(Bagridae)4 种、鲇科(Siluridae)1 种;鲈形

目(Perciformes)鰕虎鱼科(Gobiidae)1种。鲤科物种数占比最大,占鱼类总物种数的 62.5%;其余各科物种数占比均较小,共占鱼类总物种数的 37.5%。从鱼类分布情况来看,位于普里河下游的 S1 断面的种类最多,有 12 种;而位于普里河上游的 S8 断面的种类最少,仅 3 种。

表 6 普里河各采样断面浮游动物密度及生物量

Tab. 6 Zooplankton density and biomass of each sample section of the Puli River

采样断面	桡足类		枝角类		轮虫类		原生动物		合计	
	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	48	0.123 7	16	0.250 8	432	8.526 7	0	0	496	8.901 2
S2	32	1.162 0	32	0.930 0	0	0	16	0.088 6	80	2.180 7
S3	0	0	16	0.571 5	32	0.151 4	0	0	48	0.722 8
S4	16	0.551 6	144	3.424 5	96	1.144 1	0	0	256	5.120 1
S5	16	0.509 9	0	0	0	0	96	0.736 0	112	1.245 9
S6	16	0.544 2	48	0.994 2	64	0.334 3	32	0.238 5	160	2.111 3
S7	0	0	64	2.566 8	320	1.843 2	32	0.252 0	416	4.662 0
S8	32	1.222 6	80	1.842 6	224	1.144 3	64	0.324 2	400	4.533 7
平均值	20	0.514 3	50	1.322 6	146	1.643 0	30	0.204 9	246	3.684 7

注:各浮游动物类群的拉丁学名见表 5。

表 7 普里河各采样断面的浮游动物多样性指数

Tab. 7 Zooplankton diversity index at sampling sections of the Puli River

采样断面	H'	J	D	采样断面	H'	J	D	采样断面	H'	J	D
S1	1.305 5	0.627 8	1.412 9	S4	1.363 4	0.760 9	1.250 0	S7	2.075 4	0.944 5	1.702 0
S2	1.054 9	0.960 2	0.861 4	S5	0.693 1	1.000 0	1.442 7	S8	1.999 7	0.961 6	1.507 4
S3	0.636 5	0.918 3	0.630 9	S6	1.834 4	0.942 7	1.806 2	平均值	1.370 4	0.889 5	1.326 7

3 讨论

但言等人^[25]于 2015 年 6 月对抱龙河、梅溪河、澎溪河等 3 条位于三峡库区的长江支流分别进行了调查分析,发现抱龙河与澎溪河浮游植物的物种组成均为硅藻-绿藻型。本研究结果表明,作为澎溪河支流的普里河各采样断面浮游植物均以硅藻门的种类最多。硅藻细胞壁具有特殊的瓣片结构与硅质属性,对机体具有较好的机械保护作用^[26];同时,硅藻产生的休眠孢子能够抵御不良的外界环境^[27]。硅藻的上述特点使得硅藻在环境中的耐受力较强、适应能力与迁移能力较高,这或许是从普里河中检出的硅藻门藻类超过浮游植物总物种数一半的原因。作为普里河中浮游植物 3 个优势种之一的变异直链藻是有机污染水体的指示种^[28],该物种在水体浮游植物中占据优势表明水体可能受到了污染。普里河各采样断面的浮游植物密度及生物量均较低,其中 S3 断面的浮游植物密度及生物量最大,这与该断面的水体流速较缓、有机质含量高并适宜浮游植物生长发育有关。S5 断面的浮游植物密度及生物量最小,这是因为与其他采样断面相比,该断面水体流速较快、泥沙等固体颗粒较多、透明度较低,从而不利于浮游植物进行光合作用并进而影响了该处浮游植物的生长与繁殖。

本研究结果表明,普里河浮游动物群落结构简单,其中轮虫类物种数占浮游动物总物种数的一半以上。这一结果与近些年学者们对中国境内多条河流的调查结果相似^[29-30]。总体而言,本研究及上述有关研究都发现被调查河流冬、春两季的浮游动物种类较少且密度及生物量偏低,这可能是因为这些河流的有机质含量较低,且在采样季节水温较低而不适宜大多数的浮游动物生存。然而,轮虫的有性繁殖特性与休眠卵机制可以抵御恶劣的环境,这使得轮虫生存能力较高^[31]。因此,这也解释了为何本研究在普里河检出的浮游动物中优势门类为轮虫类而其他类型的浮游动物物种数相对较少。

表 8 普里河鱼类种类组成
Tab. 8 Composition of fish species of the Puli River

目	科	亚科	种	采样断面										
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8			
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)	棒花鱼 (<i>Abbottina rivularis</i>)	+					+		+			
			华鳊 (<i>Sarcocheilichthys sinensis</i>)											
			银鮡 (<i>Squalidus argentatus</i>)											
			麦穗鱼 (<i>Pseudorasbora parva</i>)					+		+		+	+	+
			花鱼骨 (<i>Hemibarbus maculatus</i>)					+	+					
		鲃亚科 (Danioninae)	马口鱼 (<i>Opsariichthys bidens</i>)				+	+						
		雅罗鱼亚科 (Leuciscinae)	草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)				+	+						
		鲃亚科 (Culterinae)	张氏鲮 (<i>Hemiculter tchangi</i>)				+	+						
			鲮 (<i>Hemiculter leucisculus</i>)				+	+	+		+			
		鲮亚科 (Acheilognathinae)	中华鲮 (<i>Rhodeus sinensis</i>)								+	+	+	+
			高体鲮 (<i>Rhodeus ocellatus</i>)									+	+	+
		鲮亚科 (Hypophthalmichthyinae)	鲮 (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)				+				+			
			鳊 (<i>Aristichthys nobilis</i>)				+	+						
花鳉科 (Cobitidae)	花鳉亚科 (Cobitinae)	泥鳅 (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)							+		+		+	
	沙鳉亚科 (Botiinae)	花斑副沙鳉 (<i>Parabotia fasciata</i>)						+	+					
		双斑副沙鳉 (<i>P. bimaculata</i>)							+	+				
鲇形目 (Siluriforme)	鲇科 (Bagridae)	切尾拟鲇 (<i>Pseudobagrus truncatus</i>)										+	+	+
		瓦氏黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus vachelli</i>)							+		+		+	+
		黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)							+		+		+	
		大鳍鲇 (<i>Mystus macropterus</i>)								+	+		+	
	鲇科 (Siluridae)	鲇 (<i>Silurus asotus</i>)						+	+					
鲈形目 (Perciformes)	鰕虎鱼科 (Gobiidae)	子陵吻鰕虎鱼 (<i>Rhinogobius giurinus</i>)						+		+	+	+		+
总计/种				12	9	11	7	8	5	8	8	3		

浮游生物多样性指数是评价水体健康状况的重要指标,通过浮游动植物的物种丰度及生物量呈现出生物对环境变化的响应关系,一般而言,水质状况较差的水体,浮游生物多样性指数往往偏低;而当水质较清洁时,浮游生物多样性指数较高,群落结构更加稳定^[32-33]。在本研究中,浮游植物和浮游动物 3 个多样性指数 H' 、 J 和 D 的平均值对应的水质污染程度不甚一致;但将所有的评价结果综合来看,可以发现普里河水质处于清洁至中度污染状态,这与兰开勇等人^[34]在 2019 年对独木河春季浮游生物资源进行调查与多样性分析结果相似,即独木河水质污染程度处于清洁至 β -中污染之间。在现场调查过程中,可以发现普里河采样断面河岸堆积有塑料垃圾,且沿岸有不少农业耕地,土壤中残留的农药化肥等物质易随地表径流汇入河流中,从而导致水体受到污染。因此,普里河浮游生物群落多样性偏低、水体中出现污染可能与河流附近居民的生活垃圾、农业化肥等有关。

本研究发现,普里河鱼类资源较少,仅 3 目 5 科 24 种;其中鲤科物种数占鱼类物种总数的一半以上,其他鱼

类物种数占比较小。这可能与鲤科物种适应能力相对较强、分布广泛有关。从鱼类分布情况来看,普里河下游较上游而言鱼类种类更多,可能是由于普里河下游汇入澎溪河,而澎溪河的鱼类易沿河口进入普里河下游,从而使普里河下游鱼类种类增加。此外,普里河河道沿线人造堤坝众多,而上游河道狭窄,水深较小,易形成减脱水河段,致使鱼类进入上游水体的通道被阻隔,这也导致了普里河上游鱼类资源较少。据 2018 年四川省水产学校对普里河鱼类的调查结果显示:普里河共有鱼类 5 目 10 科 40 属 51 种,其中鲤科鱼类 32 种,占总物种数的 64.7%^[35]。与这一调查资料进行对比后不难发现,当前普里河流域鱼类资源已明显减少。除了人造堤坝等各种人为因素导致河道的连通性降低而使鱼类迁移受阻并进而导致鱼类的区系组成与分布发生了变化以外,水库的径流调节对鱼类原有的产卵场地破坏并导致鱼类产卵繁殖的条件发生改变也是原因之一。同时,人造堤坝、乱石堆砌等人为因素对河流的阻断造成原有的生境碎片化,破坏了水域中众多鱼类的栖息生境,不利于部分鱼类的生存,这也导致了鱼类生物多样性降低^[14,36-37]。此外,普里河沿岸捕鱼者人数较多,他们的渔获物中小个体鱼类颇多,这也是造成当地鱼类资源减少的一个原因。

综上所述,通过对普里河流域浮游生物群落结构及鱼类资源现状进行调查,本研究发现该流域整体水质污染程度为清洁至中度污染,而鱼类资源较历史调查纪录而言已有明显的减少。因此,需要重视和加强普里河流域水生生态治理与渔业资源保护管理工作。本研究结果不仅为普里河流域生态环境的监测和治理工作提供数据支撑,也为三峡库区的资源环境生态研究提供了更新的基础资料,对推进三峡库区水资源环境与水质安全保护工作有着积极意义。

参考文献:

- [1] 陈红,刘清,潘建雄,等. 瀾河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,2019,39(1):173-184.
CHEN H, LIU Q, PAN J X, et al. Spatial and temporal variation of the plankton community and its relationship with environmental factors in the city section of the Ba River[J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(1):173-184.
- [2] LEPISTÖ L, HOLOPAINEN A-L, VUORISTO H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of Finnish boreal lakes[J]. Limnologia,2004,34(3):236-248.
- [3] 刘陈,魏南,王庆,等. 广东汕头南澳岛近岸海域浮游植物群落结构与环境特征[J]. 应用与环境生物学报,2019,25(5):1091-1098.
LIU C, WEI N, WANG Q, et al. Phytoplankton community and environmental characteristics in the coastal waters of the Nanao Island, Shantou, Guangdong[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology,2019,25(5):1091-1098.
- [4] 姚建良,薛俊增,王登元,等. 三峡水库初次蓄水后干流库区桡足类的纵向分布与季节变化[J]. 生物多样性,2007,15(3):300-305.
YAO J L, XUE J Z, WANG D Y, et al. Seasonal variation and longitudinal distribution of copepods in the main river area of the Three Gorges Reservoir [J]. Biodiversity Science,2007,15(3):300-305.
- [5] 张昊,于洪贤,马成学,等. 嫩江下游春、秋两季浮游动物数量特征与群落结构分析[J]. 东北林业大学学报,2013,41(5):131-135.
ZHANG H, YU H X, MA C X, et al. The composition and community structure of zooplankton of Nenjiang river downstream in spring and autumn[J]. Journal of Northeast Forestry University,2013,41(5):131-135.
- [6] 陶敏,王永明,谢碧文,等. 沱江浮游生物群落时空分布及相关环境因子分析[J]. 水生生物学报,2016,40(2):301-312.
TAO M, WANG Y M, XIE B W, et al. Spatio-temporal distribution of plankton and driving environmental factors in the Tuojiang River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2016,40(2):301-312.
- [7] ZWART J A, SOLOMON C T, JONES S E. Phytoplankton traits predict ecosystem function in a global set of lakes[J]. Ecology,2015,96(8):2257-2264.
- [8] FRAU D, MEDRANO J, CALVI C, et al. Water quality assessment of a neotropical pampean lowland stream using a phytoplankton functional trait approach[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2019,191(11):681.
- [9] 张钰,练小龙,李英文,等. 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[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2021,38(4):36-47.
ZHANG Y, LIAN X L, LI Y W, et al. The current situation of plankton community structure, water quality, and fish resources of the Fuxing River basin in Jiangjin, Chongqing[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science),2021,38(4):36-47.
- [10] 杨娜,杨鑫,李英文,等. 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[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 the Lixiangxi Rivulet and Maxi River in Fuling District of Chongqing Municipality[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science),2020,37(6):63-77.
- [11] ZHOU S C, TANG T, WU N C, et al. Impacts of a small dam on riverine zooplankton [J]. International Review of Hydrobiology,2008,93(3):297-311.
- [12] 钱红,严云志,储玲,等. 巢湖流域河流鱼类群落的时空分布[J]. 长江流域资源与环境,2016,25(2):257-264.
- QIAN H, YAN Y Z, CHU L, et al. Spatial and temporal patterns of fish assemblages in the rivers of Chaohu Basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2016,25(2):257-264
- [13] LI Y R, TAO J, CHU L, et al. Effects of anthropogenic disturbances on α and β diversity of fish assemblages and their longitudinal patterns in subtropical streams, China [J]. Ecology of Freshwater Fish,2018,27(1):433-441.
- [14] 韦宏军. 人类活动对山区溪流鱼类多样性的影响[J]. 安徽农学通报,2020,26(5):81-85.
- WEI H J. Effects of human activities on fish diversity in mountain streams [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2020,26(5):81-85.
- [15] 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. Methods for freshwater plankton research [M]. Beijing: Science Press,1991.
- [16] 周凤霞. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2011:337-363.
- ZHOU F X. Atlas of freshwater microorganisms and benthos [M]. 2nd edition. Beijing: Chemical Industry Press,2011:337-363.
- [17] 韩茂森,束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京:海洋出版社,1995:192-294.
- HAN M S, SHU Y F. Atlas of freshwater organisms in China [M]. Beijing: China Ocean Press,1995:192-294.
- [18] 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. The freshwater algae of China: systematics taxonomy and ecology [M]. Beijing: Science Press,2006.
- [19] 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.
- [20] 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. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press,2000.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 孙军,刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报,2004,26(1):62-75.
- SUN J, LIU D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies [J]. Acta Oceanologica Sinica,2004,26(1):62-75.
- [24] 白海锋,王怡睿,宋进喜,等. 渭河浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报,2022,31(1):117-130.
- BAI H F, WANG Y R, SONG J X, et al. Characteristics of plankton community structure and its relation to environmental factors in the Weihe River, China [J]. Journal of Ecology and Environment,2022,31(1):117-130.
- [25] 但言,沈子伟,余凤琴,等. 三峡库区3条支流夏季浮游生物现状及多样性分析[J]. 南方农业,2021,15(4):21-24.
- DAN Y, SHEN Z W, YU F Q, et al. Current situation and diversity analysis of plankton in three Tributaries of Three Gorges Reservoir Area in summer [J]. South China Agriculture,2021,15(4):21-24.
- [26] RLYNOLDS C S. The ecology of freshwater phytoplankton [M]. Cambridge: Cambridge University Press,1984.
- [27] 林均民,金德祥. 双突角毛藻休眠孢子的形成和萌发[J]. 海洋学报(中文版),1986,8(1):92-100.
- LIN J M, JIN D X. Formation and germination of dormant spores in *Chaetoceros didymus* [J]. Acta Oceanologica Sinica,1986,8(1):92-100.
- [28] KELLY M G, WHITTON B A. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers [J]. Journal of Applied Phycology,1995,7(4):433-444.
- [29] 何滔,刘建虎,张春霖,等. 长江上游支流抱龙河浮游生物现状及多样性评价[J]. 淡水渔业,2014,44(3):51-55.
- HE T, LIU J H, ZHANG C L, et al. Species and diversity of plankton in Baolong River on the upper reaches of the Yangtze River [J]. Freshwater Fisheries,2014,44(3):51-55.
- [30] 季世琛,李媛,赵文,等. 碧流河水库及其流域河流浮游动物的群落结构研究[J]. 生物学杂志,2018,35(6):68-73.
- JI S C, LI Y, ZHAO W, et al. Study on the community structure of zooplankton in Biliuhe Reservoir and basin [J]. Journal of

- Biology, 2018, 35(6): 68-73.
- [31] DAHMS H U, HAGIWARA A, LEE J S. Ecotoxicology, ecophysiology, and mechanistic studies with rotifers[J]. Aquatic Toxicology, 2011, 101(1): 1-12.
- [32] 杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 水生生物学报, 2014, 38(4): 720-728.
YANG L J, LU G H, ZHU J Q, et al. Characteristics of zooplankton community in Hengshan Reservoir and water quality assessment[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(4): 720-728.
- [33] CHEN Q F, GUO B B, ZHAO C S, et al. A comprehensive ecological management approach for northern mountain rivers in China[J]. Chemosphere: environmental toxicology and risk assessment, 2019, 234: 25-33.
- [34] 兰开勇, 刘碧洪, 彭德清, 等. 独木河春季浮游生物资源调查及多样性分析[J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(5): 15-22.
LAN KY, LIU B H, PENG D Q, et al. Investigation and diversity analysis on plankton resources in the Dumu River[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2021, 40(5): 15-22.
- [35] 四川省水产学校. 普里河鱼类调查[R]. 合川: 四川省水产学校, 2018.
Fisheries School of Sichuan Province. Investigation of fishes in Puli River[R]. Hechuan: Fisheries School of Sichuan Province, 2018.
- [36] 熊芳园, 刘晗, 陆颖, 等. 长江源区河流及典型湖泊丰水期水质与鱼类群落分析[J]. 中国环境监测, 2022, 38(1): 86-94.
XIONG F Y, LIU H, LU Y, et al. Water quality and fish assemblage patterns in river and typical lakes in the source region of the Yangtze River during the wet period[J]. Environmental Monitoring in China, 2022, 38(1): 86-94.
- [37] ZHU R, LI Q, WANG W J, et al. Effects of local river-network and catchment factors on fish assemblages in the headwater streams of the Xin'an basin, China[J]. Journal of Freshwater Ecology, 2017, 32(1): 309-322.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Community Structure and Biodiversity of Plankton and Fish Resources of the Puli River

LUO Yang, CHENG Ruli, WANG Meng, LI Yingwen, CHEN Qiliang, LIU Zhihao, SHEN Yanjun
(Laboratory of Water Ecological Health and Environmental Safety, School of Life Sciences,
Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] It aims to investigate the plankton community structure, biodiversity, and fish resources in the Puli River Basin of the Three Gorges Reservoir Area, and provide data support for the monitoring and management of the ecological environment in the Puli River Basin. [Methods] From March to April 2019, eight sampling sections were set up in the Puli River to conduct investigations and analyses on the plankton community structure and fish resources. The Shannon-Wiener diversity index (H'), Pielou index (J), and Marglef index (D) were used to evaluate the biodiversity of plankton and comprehensively assess the degree of water pollution. [Findings] A total of 92 species belonging to 44 genera and six phyla of phytoplanktons were collected in the Puli River, dominated by the Bacillariophyta phylum, which accounted for 60.87% of the total species. The average density and biomass of phytoplanktons were 4.0×10^4 individuals $\cdot L^{-1}$ and 0.0619 mg $\cdot L^{-1}$, respectively. The average values of H' , J , and D for phytoplanktons were 2.244 0, 0.896 8, and 2.961 7, respectively. A total of 28 species belonging to 21 genera and four phyla of zooplanktons were collected, dominated by the Rotifera phylum, which accounted for 53.57% of the total species. The average density and biomass of zooplanktons were 246 individuals $\cdot L^{-1}$ and 3.6847 mg $\cdot L^{-1}$, respectively. The average values of H' , J , and D for zooplanktons were 1.370 4, 0.889 5, and 1.326 7, respectively. A total of 24 species belonging to five families and three orders of fish were identified in the Puli River, dominated by the Cyprinidae family, which accounted for 62.5% of the total species. [Conclusions] The overall water quality of the Puli River Basin ranged from clean to moderately polluted, and the fish resources were significantly reduced compared to historical survey records. Therefore, it is necessary to strengthen the water ecological management and fishery resource protection in the Puli River Basin.

Keywords: Puli River; plankton; fish resources; biodiversity; Three Gorges Reservoir Area

(责任编辑 方 兴)