

长江流域重庆段浮游生物群落结构及多样性现状*

张玉凤, 李清华, 周鑫鑫, 张家铭, 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:为研究长江流域重庆段(后简称重庆段)浮游生物群落结构特征、多样性及区域内水质现状,评估区域内水生态环境健康状态,于 2022 年 5—6 月在重庆段设置了 14 个采样断面,对各采样断面的浮游生物进行了调查和分析,并运用浮游生物多样性指数评估水质污染程度。结果显示:1) 共鉴定出 8 门 63 属 132 种浮游植物,其中硅藻门(Bacillariophyta)物种数最多,密度和生物量也较大;绿藻门(Chlorophyta)和蓝藻门(Cyanophyta)的物种数也较多;浮游植物多样性指数对应的水质污染程度为从清洁至轻度污染。2) 共鉴定出 5 门 31 属 56 种浮游动物,其中轮虫类(Rotifer)物种数最多,占浮游动物总物种数的 50%;枝角类(Cladocerans)和桡足类(Copepods)的密度和生物量较高;浮游动物多样性指数对应的水质污染程度为从轻度污染至中度污染。研究结果提示:重庆段的浮游植物以硅藻门为主,浮游动物以轮虫类、枝角类和桡足类为主;与浮游动物相比,浮游植物种类更为丰富;重庆段的整体水质状况为从清洁到中度污染,段内水生态环境治理与保护工作需要得到加强和重视。

关键词:浮游生物;生物多样性;长江流域;三峡库区

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2024)06-0086-17

浮游生物是构成水生食物网物质循环与能量流动的基础^[1],是水域生态系统的重要组成部分^[2]。浮游生物对水体环境变化具有敏感性,它们的群落结构组成和改变可作为水质评价中的一项重要生物学指标^[3-4]。浮游生物的丰度、多样性及生物量变化作为反映水体水质状况的指标现已得到广泛应用^[5],例如:白雪兰等人^[6]通过调查涪水水库浮游生物群落结构特征发现库区水质处于中营养状态;罗杨等人^[7]在研究澎溪河重要支流普里河浮游生物群落结构、生物多样性特征后认为普里河流域整体水质污染程度为清洁至中度污染。此外,浮游生物是鱼类的天然饵料,因而对浮游生物群落的研究分析将有助于进一步了解水域生态系统结构和功能^[8-9],对维护水域生态安全的工作实践也具有指导意义。

长江流域重庆段(后简称重庆段)起于江津石蟆镇、止于巫山培石镇,区域内河流众多、水网复杂,域内长江干流江段约为 691 km,流经重庆市江津区、万州区、奉节县、巫山县等 17 个区县^[10],为沿岸居民生产及生活提供了丰富的水资源和渔业资源。由于长期受人类活动过度干扰^[11-12],重庆段水质遭受到不同程度的污染,由此影响了水体中浮游生物生存,并进一步影响到鱼类及其他水生生物的生存和繁衍。由于相关研究资料缺乏,目前人们对重庆段整体浮游生物群落结构及水质状况尚无清晰的认知。为此,本研究于 2022 年 5—6 月通过在重庆段的干流及支流设置多个采样断面,对重庆段浮游生物群落结构及生物多样性进行了调查,以期重庆段内水生态环境监测及渔业资源保护工作提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 采样断面设置与采样时间

综合重庆段的地理特征、水系特点和生境多样性特性,本研究在 2022 年 5—6 月期间共设置了 14 个采样断面,其中:巫山断面、云阳断面、忠县断面、涪陵断面、南岸断面和江津断面为干流断面,代号分别为 S1、S3、S6、S8、S11 和 S14;大宁河断面、小江断面、磨刀溪断面、龙河断面、乌江断面、御临河断面、嘉陵江断面和綦江断面为

* 收稿日期:2023-09-25 修回日期:2024-01-16 网络出版时间:2024-12-25T16:23

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 32202939);重庆市水产科技创新联盟重点创新攻关项目(No. CQFTIU-20220101);重庆市自然科学基金面上项目(No. CSTB2022NSCQ-MSX0793)

第一作者简介:张玉凤,女,研究方向为水域生态学,E-mail:2668984316@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://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20241225.1009.010

重要支流断面,代号分别为 S2、S4、S5、S7、S9、S10、S12 和 S13。所有采样断面的具体地理位置如图 1 所示。

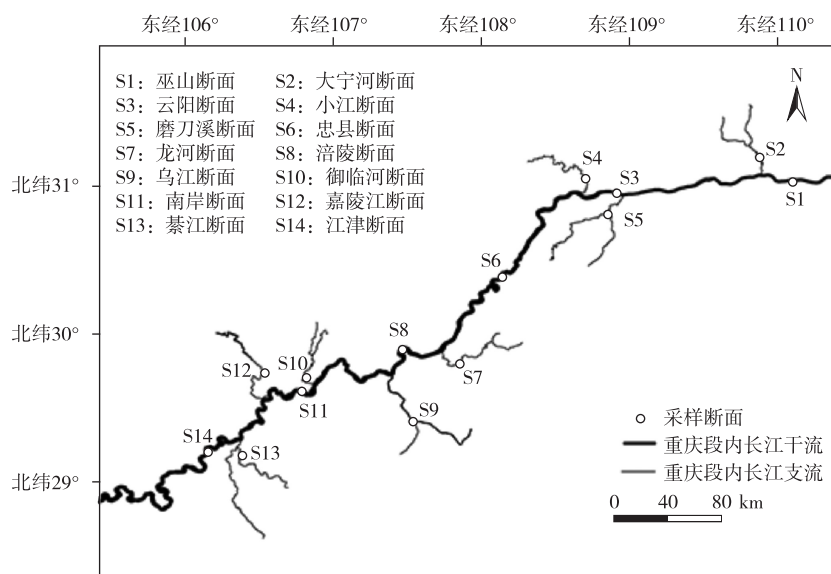


图 1 重庆段采样断面分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the Chongqing Section

1.2 样品采集

1.2.1 浮游植物采样方法

浮游植物定性样品采集方法为:用 25[#] 浮游生物网在各采样断面水面下 0~0.5 m 以“∞”字形拖动 3~5 min,然后缓慢将网提出水面使水样集中到网底收集管,将收集管中样品转存至样品瓶后,立即用体积为 1%~1.5%水样体积的鲁哥氏液固定,并贴上标签记录水样采集的时间、地点等内容。将样品带回实验室,静置 24 h 以上,然后进行镜检和种类鉴定。浮游植物定量样品于定性样品采集之前用采水器采集,在各采样断面均取 1 L 水样并立即用体积为 1%~1.5%水样体积的鲁哥氏液固定,所有样品带回实验室静置 24 h 以上,经沉淀和浓缩后进行计数^[13]。

1.2.2 浮游动物采样方法

浮游动物定性样品采集方法为:用 25[#] 浮游生物网采集轮虫(Rotifera)与原生动物门(Protozoa)物种,用 13[#] 浮游生物网采集桡足类(Copepoda)与枝角类(Cladocera)物种;除桡足类与枝角类样品改用体积为 5%水样体积的甲醛溶液(甲醛体积分数为 30%~40%)固定外,其余操作方法均与浮游植物定性样品采集方法一致。浮游动物定量样品采集方法为:用采水器采集 10~50 L 水样,用 13[#] 浮游生物网过滤后立即用体积为 5%水样体积的甲醛溶液(甲醛体积分数为 30%~40%)固定。所有样品瓶贴上标签做好标记后带回实验室,经 24 h 静置,再经沉淀和浓缩后进行镜检、种类鉴定和计数^[13]。

1.3 数据分析

1.3.1 浮游生物种类鉴定与计数

参照文献[13-16]对样品中的浮游生物种类进行鉴定,并用万深 AlgaeC 浮游生物智能鉴定计数仪进行定性、定量辅助分析。

1.3.2 浮游生物多样性

参考文献[7]中对普里河浮游生物群落结构的分析方法,运用 Shannon-Weiner 指数(H')、Marglef 指数(D)和 Pielou 指数(J)对重庆段水质污染程度进行评价,上述指数计算公式及与水质污染程度关系见文献[17-19],它们的具体对应关系见表 1。此外,运用优势度指数^[20]确定浮游生物优势种,将优势度指数值大于 0.02 的生物确定为优势种。

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落结构特征

由表 2 可知,在重庆段 14 个采样断面共鉴定出浮游植物 8 门 63 属 132 种,其中:硅藻门(Bacillariophyta)为

物种数最多门类,含 21 属 58 种,占浮游植物总物种数的 43.94%;绿藻门(Chlorophyta)和蓝藻门(Cyanophyta)物种数占比分别为 28.79%和 20.45%;甲藻门(Dinophyta)、隐藻门(Cryptophyta)、裸藻门(Euglenophyta)、黄藻门(Xanthophyta)与金藻门(Chrysophyta)物种数共占浮游植物总物种数的 6.82%。对各采样断面的鉴定结果进行对比后可知:綦江断面(S13)浮游植物物种数最多,忠县断面(S6)浮游植物物种数最少;6 个干流断面浮游植物物种数的平均值为 32 种,8 个重要支流断面浮游植物物种数的平均值为 36 种。此外,整个研究区域浮游植物优势种为颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、飞燕角藻(*Ceratium hirundinella*)、颗粒直链藻极狭变种(*Melosira granulata* var. *angustissima*)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、变异直链藻(*Melosira varians*)和简单舟形藻(*Navicula simplex*)。

表 1 多样性指数与水质污染程度关系

Tab. 1 Relationship between diversity index and water quality pollution level

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

表 2 重庆段浮游植物种类组成

Tab. 2 Phytoplankton species composition in the Chongqing Section

门	属	种	采样断面代号													
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
绿藻门 (Chlorophyta)	集星藻属 (<i>Actinastrum</i>)	小形集星藻(<i>A. gracillimum</i>)	+								+					
		汉斯集星藻(<i>A. hantzschii</i>)							+		+	+				
	纤维藻属 (<i>Ankistrodesmus</i>)	狭形纤维藻(<i>A. angustus</i>)	+	+	+											
		纤细纤维藻(<i>A. gracilis</i>)													+	
	空球藻属 (<i>Eudorina</i>)	华美空球藻(<i>E. elegans</i>)	+		+	+	+			+		+		+		
	卵囊藻属 (<i>Oocystis</i>)	单生卵囊藻(<i>O. solitaria</i>)	+	+	+		+		+							+
	盘星藻属 (<i>Pediastrum</i>)	单角盘星藻具孔变种 (<i>P. simplex</i> var. <i>duodenarium</i>)	+		+	+			+	+		+	+	+	+	+
		双射盘星藻(<i>P. biradiatum</i>)			+	+				+				+	+	+
		二角盘星藻(<i>P. duplex</i>)				+	+		+			+			+	
		二角盘星藻纤细变种 (<i>P. duplex</i> var. <i>gracilimum</i>)					+									
		整齐盘星藻(<i>P. integrum</i>)										+				+
		单角盘星藻(<i>P. simplex</i>)											+			+
		杂球藻属 (<i>Pleodorina</i>)														
	丝藻属(<i>Ulothrix</i>)	加州杂球藻(<i>P. californica</i>)	+		+											
		环丝藻(<i>U. zonata</i>)	+	+	+	+			+	+						+
	团藻属(<i>Volvox</i>)	美丽团藻(<i>V. aureus</i>)	+	+			+									
		球团藻(<i>V. globactor</i>)			+					+						
	小球藻属 (<i>Chlorella</i>)															
		普通小球藻(<i>C. vulgaris</i>)		+				+								

门	属	种	采样断面代号																	
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14				
绿藻门 (Chlorophyta)	新月藻属 (<i>Closterium</i>)	针状新月藻(<i>C. aciculare</i>)	+																	
		埃伦新月藻(<i>C. ehrenbergii</i>)								+		+	+		+					
		纤细新月藻(<i>C. gracile</i>)								+				+	+					
		库氏新月藻(<i>C. kuetzingii</i>)								+					+	+				
		锐新月藻(<i>C. acerosum</i>)									+		+		+					
		狭新月藻(<i>C. angustatum</i>)											+							
	拟新月藻属 (<i>Closteriopsis</i>)	长拟新月藻(<i>C. longissima</i>)																+		
	球粒藻属 (<i>Coccomonas</i>)	球粒藻(<i>C. orbicularis</i>)	+		+		+		+											
	胶网藻属 (<i>Dictyosphaerium</i>)	未鉴定种					+													
	实球藻属 (<i>Pandorina</i>)	实球藻(<i>P. morum</i>)	+		+					+										
	栅藻属 (<i>Scenedesmus</i>)	四尾栅藻(<i>S. quadricauda</i>)	+									+								
		丰富栅藻(<i>S. abundans</i>)								+				+						
		龙骨栅藻(<i>S. carinatus</i>)								+										
		二形栅藻(<i>S. dimorphus</i>)								+				+						
		被甲栅藻(<i>S. armatus</i>)											+				+			
	转板藻属 (<i>Mougeotia</i>)	微细转板藻(<i>M. parvula</i>)			+	+	+				+	+	+							
	四星藻属 (<i>Tetrastrum</i>)	平滑四星藻(<i>T. glabrum</i>)					+													
	毛枝藻属 (<i>Stigeoclonium</i>)	滑毛枝藻(<i>S. lubricum</i>)								+								+		
	水绵属 (<i>Spirogyra</i>)	异形水绵(<i>S. varians</i>)								+		+		+						
		河生水绵(<i>S. fluviatilis</i>)										+	+			+				
四棘鼓藻属 (<i>Arthrodesmus</i>)	英克斯四棘鼓藻(<i>A. incus</i>)											+								
棒形鼓藻属 (<i>Gonatozygon</i>)	布雷棒形鼓藻(<i>G. brebissonii</i>)													+		+				
蓝藻门 (Cyanophyta)	鱼腥藻属 (<i>Anabaena</i>)	链状鱼腥藻(<i>A. catenula</i>)	+				+	+				+				+	+			
		螺旋鱼腥藻(<i>A. spiroides</i>)	+				+	+				+								
	束丝藻属 (<i>Aphanizomenon</i>)	水华束丝藻(<i>A. flosaquae</i>)	+	+																+
		隐球藻属 (<i>Aphanocapsa</i>)	细小隐球藻(<i>A. elachista</i>)	+	+	+	+								+	+				
		美丽隐球藻(<i>A. pulchra</i>)	+	+																

[illegible]

续表 2

门	属	种	采样断面代号													
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
硅藻门 (Bacillariophyta)	直链藻属 (<i>Melosira</i>)	颗粒直链藻螺旋变种 (<i>M. granulata</i> var. <i>spiralis</i>)			+				+	+		+	+	+	+	
		波形直链藻(<i>M. undulata</i>)									+				+	
		放射舟形藻(<i>N. radiosa</i>)	+	+	+	+			+							
	舟形藻属 (<i>Navicula</i>)	适中舟形藻(<i>N. accomoda</i>)		+												
		隐头舟形藻 (<i>N. cryptocephala</i>)		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
		简单舟形藻(<i>N. simplex</i>)		+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
		微小舟形藻(<i>N. atomus</i>)			+											
		小头舟形藻(<i>N. capitata</i>)				+			+							+
		尖头舟形藻(<i>N. cuspidata</i>)							+					+	+	+
		瞳孔舟形藻(<i>N. pupula</i>)														+
		双头菱形藻(<i>N. amphibia</i>)	+	+		+	+	+	+					+		+
		细长菱形藻(<i>N. gracilis</i>)	+													
		线形菱形藻(<i>N. linearis</i>)	+													+
	菱形藻属 (<i>Nitzschia</i>)	谷皮菱形藻(<i>N. palea</i>)	+	+	+	+		+	+		+		+	+	+	+
		细菱形藻(<i>N. acicularis</i>)			+				+						+	
		弯曲菱形藻(<i>N. sinuata</i>)							+							
		拟螺形菱形藻(<i>N. sigmoidea</i>)									+		+		+	+
		新月菱形藻(<i>N. closterium</i>)										+				
		灌木菱形藻(<i>N. fruticosa</i>)													+	
		弯羽纹藻线形变种 (<i>P. gibba</i> var. <i>linearis</i>)	+													
	羽纹藻属 (<i>Pinnularia</i>)	中狭羽纹藻(<i>P. mesolepta</i>)	+			+										
		微绿羽纹藻(<i>P. viridis</i>)														+
		端毛双菱藻(<i>S. capronii</i>)	+							+	+	+	+	+	+	+
	双菱藻属 (<i>Surirella</i>)	美丽双菱藻(<i>S. elegans</i>)	+							+	+	+	+	+	+	+
		粗壮双菱藻(<i>S. robusta</i>)	+		+					+	+	+	+	+	+	+
		螺旋双菱藻(<i>S. spiralis</i>)							+				+	+	+	
		线形双菱藻(<i>S. linearis</i>)												+	+	
		尖针杆藻(<i>S. acus</i>)	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	针杆藻属 (<i>Synedra</i>)	双头针杆藻 (<i>S. amphicephala</i>)	+													
		平滑针杆藻(<i>S. laevigata</i>)	+													
		肘状针杆藻(<i>S. ulna</i>)	+		+	+				+	+	+	+	+	+	+
		棍形藻属 (<i>Bacillaria</i>)														
		奇异棍形藻(<i>B. paradoxa</i>)	+		+			+	+	+			+	+	+	+

[illegible]

续表 2

门	属	种	采样断面代号													
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
黄藻门 (Xanthophyta)	黄丝藻属 (<i>Tribonema</i>)	近缘黄丝藻(<i>T. affine</i>)								+				+	+	
金藻门 (Chrysophyta)	锥囊藻属 (<i>Dinobryon</i>)	圆筒锥囊藻(<i>D. cylindricum</i>)										+				
总计/种			46	40	37	37	21	13	42	31	24	30	28	38	56	38

注:“+”代表此物种在采样断面有分布,各断面代号对应的断面名称见表 1,下同。

14 个采样断面浮游植物的密度与生物量结果(表 3)显示:除大宁河断面(S2)、小江断面(S4)和磨刀溪断面(S5)外,其余各采样断面中硅藻门的密度和生物量均为最大;大宁河断面(S2)中硅藻门的密度最大而甲藻门的生物量最大,小江断面(S4)中蓝藻门的密度最大而绿藻门的生物量最大,磨刀溪断面(S5)中蓝藻门的密度和生物量均为最大;浮游植物密度在御临河断面(S10)最大而在綦江断面(S13)最小,浮游植物生物量在磨刀溪断面(S5)中最大而在云阳断面(S3)中最小。6 个干流断面浮游植物的平均密度和平均生物量分别为 9.2 万个·L⁻¹ 和 0.342 8 mg·L⁻¹,8 个支流断面浮游植物的平均密度和平均生物量分别为 16.3 万个·L⁻¹ 和 0.576 4 mg·L⁻¹,全部采样断面浮游植物的平均密度和平均生物量分别为 13.3 万个·L⁻¹ 和 0.476 3 mg·L⁻¹。

2.2 浮游动物群落结构特征

由表 4 可知,从重庆段 14 个采样断面中共鉴定出浮游动物 5 门 31 属 56 种,其中:轮虫类有 15 属 28 种,物种数最多且占浮游动物物种总数的 50%;枝角类物种数次之,占比为 16.07%。对各采样断面的鉴定结果进行比较后可知:云阳断面(S3)浮游动物物种数最多,龙河断面(S7)浮游动物物种数最少;6 个干流断面的浮游动物物种数平均值为 12 种,8 个重要支流断面的浮游动物物种数平均值为 9 种。此外,整个研究区域浮游动物优势种为长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、无节幼体(本研究无节幼体被视为单独的一个物种)、瓶累枝虫(*Epistylis urceolata*)和普通表壳虫(*Arcella vulgaris*)。

表 3 各采样断面浮游植物密度与生物量
Tab.3 Phytoplankton density and biomass at each sampling site

采样断面代号	硅藻门(Bacillariophyta)		绿藻门(Chlorophyta)		蓝藻门(Cyanophyta)	
	密度/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	密度/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	密度/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)
S1	10.1	0.583 0	2.6	0.013 4	1.7	0.015 6
S2	2.0	0.039 7	0.9	0.003 0	0.6	0.009 4
S3	2.6	0.047 3	0.4	0.001 3	0.1	0.000 9
S4	2.6	0.010 6	2.4	0.567 3	3.0	0.112 5
S5	2.2	0.016 1	7.0	0.799 5	9.2	0.802 0
S6	12.6	0.262 1	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0
S7	9.8	0.036 3	4.2	0.011 9	0.3	0.000 5
S8	4.0	0.234 7	0.3	0.007 0	0.0	0.000 0
S9	3.1	0.125 8	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0
S10	34.4	0.412 3	15.0	0.306 9	5.7	0.041 5
S11	10.2	0.323 4	0.2	0.002 2	0.4	0.025 1
S12	4.8	0.220 1	0.2	0.010 4	0.0	0.000 0
S13	2.0	0.069 7	0.3	0.000 3	0.5	0.000 7
S14	6.9	0.404 8	0.3	0.040 2	0.0	0.000 0
平均值	7.7	0.199 0	2.4	0.126 0	1.5	0.072 0

[illegible]

门	属	种	采样断面代号															
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14		
轮虫类 (Rotifer)	腔轮虫属 (<i>Lecane</i>)	长圆腔轮虫(<i>L. ploenensis</i>)		+														
		柔韧腔轮虫(<i>L. flexilis</i>)				+												
	无柄轮虫属 (<i>Ascomorpha</i>)	没尾无柄轮虫(<i>A. ecaudis</i>)	+															
	晶囊轮虫属 (<i>Asplanchna</i>)	前节晶囊轮虫(<i>A. priodonta</i>)	+	+	+	+						+				+		
		卜氏晶囊轮虫(<i>A. brightwelli</i>)		+														
	拟聚花轮虫属 (<i>Conochiloides</i>)	叉角拟聚花轮虫 (<i>C. dossuarius</i>)	+															
	须足轮虫属 (<i>Euchlanis</i>)	小须足轮虫(<i>E. parva</i>)		+														
		大肚须足轮虫(<i>E. dilatata</i>)				+	+									+		
	异尾轮虫属 (<i>Trichocerca</i>)	长刺异尾轮虫(<i>T. longiseta</i>)				+												
		圆筒异尾轮虫(<i>T. cylindrica</i>)											+					
	镜轮虫属 (<i>Testudinella</i>)	盘镜轮虫(<i>T. patina</i>)				+												
		裂足臂尾轮虫 (<i>B. diversicornis</i>)				+							+					
		萼花臂尾轮虫 (<i>B. calyciflorus</i>)				+							+		+			
	臂尾轮虫属 (<i>Brachionus</i>)	角突臂尾轮虫(<i>B. angularis</i>)											+		+			
		方形臂尾轮虫 (<i>B. quadridentatus</i>)											+					
		壶状臂尾轮虫(<i>B. urceus</i>)													+			
	龟甲轮虫属 (<i>Keratella</i>)	螺形龟甲轮虫(<i>K. cochlearis</i>)				+							+	+	+	+	+	
		曲腿龟甲轮虫(<i>K. valga</i>)													+		+	
	聚花轮虫属 (<i>Conochilus</i>)	独角聚花轮虫(<i>C. unicornis</i>)				+												
	巨头轮虫属 (<i>Cephalodella</i>)	大头巨头轮虫 (<i>C. megalcephala</i>)				+												
疣毛轮虫属 (<i>Synchaeta</i>)	尖尾疣毛轮虫(<i>S. stylata</i>)				+													
多肢轮虫属 (<i>Polyarthra</i>)	针簇多肢轮虫(<i>P. trigla</i>)				+				+			+						
鬼轮虫属 (<i>Trichotria</i>)	方块鬼轮虫(<i>T. tetractis</i>)				+													
三肢轮虫属 (<i>Filinia</i>)	长三肢轮虫(<i>F. longiseta</i>)											+						

续表 4

门	属	种	采样断面代号													
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
甲壳亚门 (Crustacea)	象鼻溞属 (<i>Bosmina</i>)	筒弧象鼻溞(<i>B. coregoni</i>)	+	+	+	+	+				+	+				
		长额象鼻溞(<i>B. longirostris</i>)	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+
	溞属 (<i>Daphnia</i>)	僧帽溞(<i>D. cucullata</i>)	+	+		+	+									
		盔形溞(<i>D. galeata</i>)		+	+		+	+		+						
	裸腹溞属(<i>Moina</i>)	多刺裸腹溞(<i>M. macrocopa</i>)			+	+	+			+	+	+				
	尖额溞属 (<i>Alona</i>)	点滴尖额溞(<i>A. guttata</i>)			+	+										
		肋形尖额溞(<i>A. costata</i>)							+							
	基合溞属 (<i>Bosminopsis</i>)	颈沟基合溞(<i>B. deitersi</i>)			+							+				
	平直溞属 (<i>Pleuroxus</i>)	光滑平直溞(<i>P. laevis</i>)					+									
	荡镖水蚤属 (<i>Neutrodiaptomus</i>)	特异荡镖水蚤 (<i>N. incongruens</i>)	+	+	+	+	+			+	+					+
甲壳亚门 (Crustacea)		翼状荡镖水蚤(<i>N. alatus</i>)	+													+
	中剑水蚤属 (<i>Mesocyclops</i>)	广布中剑水蚤(<i>M. leuckarti</i>)	+	+	+			+	+			+			+	
		无节幼体	+	+	+	+	+	+				+		+		
	新镖水蚤属 (<i>Neodiaptomus</i>)	长江新镖水蚤 (<i>N. yangtsekiangensis</i>)	+													
		右突新镖水蚤(<i>N. schmackeri</i>)			+	+		+		+						
	温剑水蚤属 (<i>Thermocyclops</i>)	透明温剑水蚤(<i>T. hyalinus</i>)	+													
	基齿哲水蚤属 (<i>Clausocalanus</i>)	宽头基齿哲水蚤(<i>C. laticeps</i>)						+	+							
总计/种			19	11	24	15	9	6	2	6	6	18	9	8	7	9

注:无节幼体在本研究中被视为单独的一个物种。

表 5 显示:除磨刀溪断面(S5)和御临河断面(S10)外,其余采样断面中枝角类和桡足类的密度和生物量均较大;磨刀溪断面(S5)中原生动物门的密度最大,御临河断面(S10)中原生动物门和轮虫类的密度较大;浮游动物密度在御临河断面(S10)中最大,在涪陵段面(S8)中最小;小江断面(S4)的浮游动物生物量最大,龙河断面(S7)的浮游动物生物量最小。6 个干流断面浮游动物的平均密度和平均生物量分别为 8.15 个·L⁻¹ 和 0.098 6 mg·L⁻¹, 8 个重要支流断面浮游动物的平均密度和平均生物量分别为 57.5 个·L⁻¹ 和 0.135 9 mg·L⁻¹,全部采样断面浮游动物的平均密度和平均生物量分别为 36.3 个·L⁻¹ 和 0.119 9 mg·L⁻¹。

2.3 浮游生物多样性指数

表 6 显示:14 个采样断面的浮游植物多样性指数 H' 、 D 和 J 的数值范围分别为 1.979 8~2.969 7、2.456 6~6.104 6 和 0.760 7~0.957 6;比较各采样断面的浮游植物多样性指数后发现, H' 和 D 值在云阳断面(S3)最低, J 值在磨刀溪断面(S5)最低, H' 值在巫山断面(S1)最高, D 值在御临河断面(S10)最高, J 值在乌江断面(S9)最高;在整个重庆段,浮游植物多样性指数 H' 、 D 和 J 的平均值分别为 2.429 7、4.122 8 和 0.870 1,结合表 1 可知它们对应的水质污染程度分别为轻度污染、轻度污染和清洁。

表 7 显示:14 个采样断面的浮游动物多样性指数 H' 、 D 和 J 的数值范围分别为 0~3.062 7、0~2.745 0 和 0~0.918 3;在所有采样断面中,御临河断面(S10)的浮游动物 H' 值最高,大宁河断面(S2)的浮游动物 D 值最

高,綦江断面(S13)的浮游动物 J 值最高,3 项指数值在龙河断面(S7)和 S8 涪陵断面(S8)均为 0。在整个重庆段,浮游动物多样性指数 H' 、 D 和 J 的平均值分别为 1.348 9、1.542 1 和 0.699 6,结合表 1 可知它们对应的水质污染程度分别为中度污染、中度污染和轻度污染。

表 5 各采样断面浮游动物密度与生物量
Tab. 5 Zooplankton density and biomass at each sampling site

采样 断面 代号	原生动物门(Protozoa)		轮虫类(Rotifer)		枝角类(Cladocerans)		桡足类(Copepods)		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	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	1.4	0.014 3	7.6	0.056 5	9.0	0.070 8
S2	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	5.5	0.057 0	8.3	0.073 1	13.8	0.130 1
S3	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	5.2	0.208 1	4.8	0.042 9	10.0	0.251 0
S4	0.2	0.000 1	0.6	0.000 2	21.8	0.057 2	19.4	0.312 9	42.0	0.370 4
S5	70.0	0.005 5	0.0	0.000 0	8.4	0.079 0	5.6	0.049 3	84.0	0.133 8
S6	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	3.3	0.062 5	5.1	0.124 0	8.4	0.186 5
S7	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	1.0	0.006 1	0.0	0.000 0	1.0	0.006 1
S8	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	0.4	0.009 3	0.0	0.000 0	0.4	0.009 3
S9	0.0	0.000 0	0.5	0.000 1	1.5	0.004 5	0.5	0.011 3	2.5	0.015 9
S10	159.0	0.001 6	106.0	0.004 0	11.7	0.100 3	2.7	0.071 4	279.4	0.177 3
S11	0.0	0.000 0	0.4	0.002 8	18.4	0.063 4	0.8	0.001 2	19.6	0.067 4
S12	0.0	0.000 0	1.1	0.000 3	7.8	0.027 2	26.9	0.200 5	35.8	0.228 0
S13	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	0.8	0.023 2	0.4	0.002 6	1.2	0.025 8
S14	0.0	0.000 0	0.0	0.000 0	1.1	0.006 6	0.4	0.000 0	1.5	0.006 6

表 6 各采样断面浮游植物多样性指数
Tab. 6 Phytoplankton diversity index at each sampling site

采样断面代号	H'	D	J	采样断面代号	H'	D	J
S1	2.969 7	6.099 4	0.901 0	S8	2.402 7	3.970 1	0.887 2
S2	2.361 4	4.004 0	0.872 0	S9	1.991 3	2.584 9	0.957 6
S3	1.979 8	2.456 6	0.859 8	S10	2.887 7	6.104 6	0.805 8
S4	2.563 5	4.433 0	0.870 6	S11	2.822 6	5.418 1	0.900 2
S5	2.239 7	3.829 4	0.760 7	S12	2.152 5	3.146 6	0.897 7
S6	2.376 5	3.923 9	0.838 8	S13	2.250 3	3.338 1	0.938 4
S7	2.548 8	4.381 8	0.837 2	S14	2.468 9	4.028 9	0.854 2

表 7 各采样断面浮游动物多样性指数
Tab. 7 Zooplankton diversity index at each sampling site

采样断面代号	H'	D	J	采样断面代号	H'	D	J
S1	1.291 1	1.313 5	0.720 6	S8	0.000 0	0.000 0	0.000 0
S2	2.174 2	2.745 0	0.875 0	S9	0.950 3	1.242 7	0.865 0
S3	1.887 6	2.174 7	0.907 7	S10	3.062 7	2.039 9	0.854 3
S4	1.494 0	2.618 2	0.551 7	S11	1.266 4	1.027 8	0.786 9
S5	1.918 1	2.531 4	0.833 0	S12	1.732 8	2.164 0	0.752 5
S6	1.908 1	2.100 7	0.917 6	S13	0.636 5	0.910 2	0.918 3
S7	0.000 0	0.000 0	0.000 0	S14	0.562 3	0.721 3	0.811 3

3 讨论

一般而言,影响浮游植物生长的关键因子为水流速度与藻类细胞自身浮力^[21]。硅藻含硅质细胞壁,在稳定水体中容易下沉,并在不同基质上附着生长;当水流速度变大时,则有利于硅藻悬浮成为浮游植物;因此硅藻在混合水体中可以较好地避免沉降损失^[22-23]。与相同面积湖泊不同,水库的水质与水量受流域影响较大,水动力学过程强烈且不稳定^[24-25]。考虑到三峡库区水体营养盐含量、水流速度、水体透明度等环境因子波动较大,结合已有研究^[26],可认为重庆段水体更适合硅藻生长。此外,硅藻对于低温有较高耐受性^[23,27],而本研究的采样时间正值春末,气温和水温均较低,因此这也可能是重庆段浮游植物中以硅藻门物种数为最多的一个原因。同样地,绿藻对低温也有一定耐性,且有研究表明,水温偏低时硅藻和绿藻都可能成为优势种类^[28]。此外,大部分蓝藻具伪空泡,可通过浮力调节机制在稳定水体中生长从而有效避免沉降损失^[29-30];而且相较于硅藻而言,蓝藻对高水温的耐受能力更强^[31],生长速率甚至会随温度增加而增加^[22]。还需要注意的是:高水位意味着高水温与低营养盐浓度,此时更有利于蓝藻的生长;低水位则伴随低水温与较高营养盐浓度,蓝藻门因水体混合扰动与水温影响而生长受到抑制^[22]。在本研究的采样期间,三峡水库正处于排水期,此时更有利于硅藻生长。总体上看,本研究中重庆段硅藻门物种数最多而绿藻门、蓝藻门物种数次之应与上述因素的共同作用有关。另外值得一提的是,与其他采样断面相比,綦江断面(S13)浮游植物物种数最多,这可能与此处的水温、氮和磷的含量等因素适合更多种类的浮游植物生长有关^[32-33]。

本研究确定重庆段的浮游植物优势种为 7 种,其中以颗粒直链藻的优势度最高。有研究表明,颗粒直链藻分布广泛,是江河、水库、湖泊等淡水系统中的常见优势种;它对水体环境变化敏感,易受环境条件影响,在水体富营养条件下极易成为优势物种^[34]。与其他种类的直链藻相比,颗粒直链藻更能适应混合水体环境并占据优势^[35]。重庆段其他浮游植物优势种还包括尖针杆藻、梅尼小环藻、简单舟形藻等。尖针杆藻喜冷水,在水温较低的春季会更容易繁殖^[6];而本研究采样时间处于春末,因此尖针杆藻占据优势应与此时重庆段水温较低有关。此前也有其他研究表明,三峡库区支流下游春季主要以小环藻为优势种,多数河流上游主要以针杆藻和舟形藻为优势种^[25],这与本研究结果存在一定相似性。此外,优势物种中的颗粒直链藻和变异直链藻均为富营养化及污染水体的指示物种^[36-38],这些物种占据优势则表明水体可能受到了一定程度的污染。此外本研究发现,在多数采样断面中或是硅藻门的密度和生物量较大,或是蓝藻门和绿藻门的密度和生物量较大,这在一定程度上与本研究中浮游植物种类数量的调查结果相符。与其他采样断面不同的是,大宁河断面(S2)中甲藻门的生物量最大,这可能与该采样断面中飞燕角藻数量较多有关,而且飞燕角藻在本研究中被确认为重庆段的优势种。

本研究在重庆段共检测到浮游动物 56 种,远少于重庆段的浮游植物种类,而且各采样断面的浮游植物物种数也普遍比浮游动物物种数更多,这可能与河流生境改变和浮游动物对环境变化相对敏感有关^[39]。浮游动物种类组成上以轮虫类物种数最多,占浮游动物物种总数的 50%。轮虫主要以藻类、有机碎屑和细菌为食,对藻类的同化率达 30%^[40],库区内有大量食物可被该类动物摄食,因而上述结果应与之相关。还有相关研究表明,轮虫类的丰度在春、秋和冬季较大,枝角类和桡足类的丰度在夏季较大^[6-7]。本研究采样时间为春末,因此有关结果与上述研究基本一致。另外需要注意的是,云阳断面(S3)浮游动物物种数最多,这可能与该采样断面水流速度较缓因而浮游动物捕食成功率高有关^[19],且该采样断面的其他水文条件也适宜更多浮游动物生存。

本研究中重庆段浮游动物优势种有 5 种,包括长额象鼻溞、螺形龟甲轮虫、无节幼体等。由于长额象鼻溞等枝角类物种和轮虫类存在生态位重叠,因此可能会发生食物和生存空间的竞争;但枝角类个体更大、滤食率高,因而通常是上述竞争中的优势者^[41-42]。有相关研究表明,螺形龟甲轮虫与大型溞和蚤状溞等大型枝角类无法共存,但却能与长额象鼻溞等小型枝角类长期共存^[43],这可能是本研究结果所显示的长额象鼻溞和螺形龟甲轮虫均为重庆段浮游动物优势种的原因。在本研究有关浮游动物密度和生物量的结果中,除磨刀溪断面(S5)和御临河断面(S10)外其余采样断面中均以枝角类和桡足类的密度和生物量较高而原生动物门和轮虫类物种的个体数量普遍较少,这可能与网采法在浮游生物的采集中存在着一定的弱点有关——一些小于采集网孔径的浮游生物种类会被漏检,因此后续研究中应综合考虑结合沉降法来进行进一步的定量分析;至于磨刀溪断面(S5)和御临河断面(S10)中原生动物门和轮虫类的密度和生物量较高则可能与这些断面中大型枝角类不存在或者数量较少且藻类资源较丰富有关^[44]。

本研究发现,与6个干流断面相比,8个重要支流断面浮游生物的平均密度和平均生物量均较高;但它们的浮游生物物种数平均值却无较大差别。这一结果可能暗示支流生境条件相对较好。浮游生物生活史与湖泊水文条件关系密切,它们的种类、密度、生物量、多样性指数等直接关系到水域生态系统结构与功能^[45]。浮游生物多样性指数作为评价水体健康状况的重要指标在水质较差时数值通常偏低;反之当水质较清洁时,多样性指数较高,浮游生物群落结构也更加稳定^[46]。在本研究中,由于在龙河断面(S7)和涪陵断面(S8)实际检测到的浮游动物数量太少,因而这2个采样断面中浮游动物的3个多样性指数均为0。而综合重庆段浮游植物和浮游动物的3个多样性指数所对应的水质污染程度后可以判断,重庆段水质整体上可能处于清洁至中度污染状态。然而,也有相关研究表明:浮游生物多样性指数与环境变化之间的关系并不稳定,在一些并未受到严重污染的水域可能会由于某种藻类存在明显优势而导致多样性指数偏低,由此将水质污染程度估计得过于严重;而在一些严重污染的水域,浮游生物多样性指数反而较高^[47]。因此,本研究通过浮游生物多样性指数来评估水质污染程度的方法仍有一定误差,在后续研究中应综合考虑结合更多的评估指标和研究方法,从而获得更为准确的水质结果。

综上所述,本研究通过对重庆段14个干、支流断面进行样品采集,对重庆段浮游生物群落结构及多样性现状进行了调查,并就调查结果所反映出的重庆段水质状况进行了评估。研究结果显示重庆段的浮游植物物种多为硅藻门物种,浮游动物则以轮虫类、枝角类和桡足类为主;与浮游动物相比,浮游植物种类更加丰富。此外,依据浮游生物多样性指数可以判断重庆段水质整体污染程度为清洁至中度污染,提示人们应加强对重庆段水生态环境的治理与保护。本研究为重庆段水生态环境监测提供了更新的基础数据和支撑,对当地渔业资源保护工作也有着积极意义。

参考文献:

- [1] HANSSON L-A, GUSTAFSSON S, RENGEFORS K, et al. Cyanobacterial chemical warfare affects zooplankton community composition[J]. *Freshwater Biology*, 2007, 52(7): 1290-1301.
- [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]. *Limnologica*, 2004, 34(3): 236-248.
- [3] 刘建康. 高级水生生物学[J]. 北京: 科学出版社, 1999.
LIU J K. Advanced aquatic biology[J]. Beijing: Science Press, 1999.
- [4] 日本生态学会环境问题专门委员会. 环境和指示生物(水域分册)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
Specialized Committee on Environmental Issues of the Ecological Society of Japan. Environment and indicator organisms (watershed fascicle)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1987.
- [5] ZHOU J, QIN B Q, ZHU G W, et al. Long-term variation of zooplankton communities in a large, heterogenous lake: Implications for future environmental change scenarios[J]. *Environmental Research*, 2020, 187: 109704.
- [6] 白雪兰, 范泽宇, 徐聚臣, 等. 洩水水库浮游生物群落结构特征及水质评价[J]. *华中农业大学学报*, 2023, 42(1): 118-127.
BAI X L, FAN Z Y, XU J C, et al. Characteristics of plankton community structure and water quality evaluation in Weishui Reservoir[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2023, 42(1): 118-127.
- [7] 罗杨, 程如丽, 王梦, 等. 普里河浮游生物群落结构、生物多样性及鱼类资源现状[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 40(2): 54-64.
LUO Y, CHENG R L, WANG M, et al. Community structure and biodiversity of plankton and fish resources of the Puli River[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2023, 40(2): 54-64.
- [8] 李静, 崔凯, 卢文轩, 等. 春季和夏季巢湖浮游生物群落组成及其动态分析[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(1): 185-192.
LI J, CUI K, LU W X, et al. Community dynamics of spring-summer plankton in Lake Chaohu[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(1): 185-192.
- [9] GENKAI-KATO M, VADEBONCOEUR Y, LIBORIUSSEN L, et al. Benthic-planktonic coupling, regime shifts, and whole-lake primary production in shallow lakes[J]. *Ecology*, 2012, 93(3): 619-631.
- [10] 何滔, 黎学练, 郑永华, 等. 长江重庆段干流与主要支流鱼类分布的比较分析[J]. *淡水渔业*, 2016, 46(3): 47-51.
HE T, LI X L, ZHENG Y H, et al. Comparative analysis of fish distribution between main stream and tributaries in Chongqing district of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(3): 47-51.
- [11] 李陈. 长江上游梯级水电开发对鱼类生物多样性影响的初探[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.

- LI C. A preliminary analysis of the impacts of the cascade hydropower development on the fish biodiversity in the upper reach of the Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.
- [12] WANG J Z. Three Gorges Project: the largest water conservancy project in the world[J]. *Public Administration & Development*, 2002, 22(5): 369-375.
- [13] 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 of freshwater plankton research[M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [14] 周凤霞. 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. Atlas of freshwater microfauna and benthos[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [15] 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 organisms in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1995.
- [16] 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.
- [17] 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 Fuxing River Basin in Jiangjin, Chongqing[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2021, 38(4): 36-47.
- [18] 杨娜, 杨鑫, 李英文, 等. 重庆市涪陵区梨香河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.
- [19] 白海峰, 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 Weihe River, China[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2022, 31(1): 117-130.
- [20] 赵祺, 张秀文, 于佳, 等. 安格庄水库浮游生物群落季节演替及鲢、鳙鱼产力评估[J]. 水产科学, 2022, 41(5): 876-882.
- ZHAO Q, ZHANG X W, YU J, et al. Seasonal succession of plankton community and evaluation of silver carp and bighead carp production in Angezhuang Reservoir[J]. *Fisheries Science*, 2022, 41(5): 876-882.
- [21] 张琦, 陈宇琛, 林育青, 等. 不同水期澜沧江梯级水库浮游植物群落结构空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2022, 42(12): 392-401.
- ZHANG Q, CHEN Y C, LIN Y Q, et al. Spatial distribution patterns of phytoplankton community during different water periods along cascade reservoirs in the Lancang River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, 42(12): 392-401.
- [22] 刘金福, 刘宇天, 邹皓月, 等. 鄱阳湖浮游植物群落季节变化特征及其影响因素[C]//中国环境科学学会 2023 年科学技术年会论文集(二). 南昌: 中国环境科学学会, 2023: 752-757.
- LIU J F, LIU Y T, ZOU H Y, et al. Seasonal characteristics of phytoplankton community in Poyang Lake and its influencing factors[C]//Proceedings of Science and Technology Annual Symposium of the Chinese Society for Environmental Sciences, 2023(II). Nanchang: Chinese Society for Environmental Sciences, 2023: 752-757.
- [23] HARRIS G P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. mechanisms, methods, models, and management[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, 37(5): 877-900.
- [24] 林秋奇, 韩博平. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用[J]. 生态学报, 2001, 21(6): 1034-1040.
- LIN Q Q, HAN B P. Reservoir limnology and its application in water quality management: an overview[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6): 1034-1040.
- [25] 胡建林, 刘国祥, 蔡庆华, 等. 三峡库区重庆段主要支流春季浮游植物调查[J]. 水生生物学报, 2006, 30(1): 116-119.
- HU J L, LIU G X, CAI Q H, et al. Investigation on the phytoplankton of spring from Three Gorges Reservoir in Chongqing[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(1): 116-119.
- [26] REYNOLDS C S, DESCY J-P, PADISÁK J. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes? [J]. *Hydrobiologia*, 1994, 289: 1-7.
- [27] 刘兴荣. 基于环境影响的硅藻研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3092-3093.
- LIU X R. Research progress on diatom based on effects of environment[J]. *Journal of Anhui Agriculture Sciences*, 2010, 38(6): 3092-3093.
- [28] 钱玺亦, 李金彪, 敖文, 等. 呼伦湖浮游植物群落季节动态及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2022, 34(6): 1814-1827.

- QIAN X Y, LI J B, AO W, et al. Seasonal dynamics of phytoplankton and its relationship with environmental factors in Lake Hulun[J]. Journal of Lake Sciences, 2022, 34(6): 1814-1827.
- [29] PAERL H W, HUISMAN J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms[J]. Environmental Microbiology Reports, 2009, 1(1): 27-37.
- [30] SHERMAN B S, WEBSTER I T, JONES G J, et al. Transitions between Aulacoseira and Anabaena dominance in a turbid river weir pool[J]. Limnology and Oceanography, 1998, 43(8): 1902-1915.
- [31] LÜ H, YANG J, LIU L M, et al. Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2014, 21: 5917-5928.
- [32] 郭跃华. 广东省三座大型供水水库浮游植物群落结构动态及其与环境因子的关系[D]. 广州:暨南大学, 2011.
- GUO Y H. Dynamics of phytoplankton community and its relationship with environmental factors in three large reservoirs for drinking water supply, Guangdong Province[D]. Guangzhou: Jinan University, 2011.
- [33] 徐兴华, 陈椽, 宁爱丽, 等. 阿哈水库浮游植物数量与环境因子的关系[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(10): 6106-6109.
- XU X H, CHEN C, NING A L, et al. Relations between the phytoplankton quantity and environment factors in Aha Reservoir[J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2012, 40(10): 6106-6109.
- [34] 马增岭, 高倩, 赵敏. 颗粒直链藻水华生消对婆罗异剑水蚤(桡足类)种群动态的影响[J]. 环境科学学报, 2014, 34(1): 265-271.
- MA Z L, GAO Q, ZHAO M. Effects of *Aulacoseira granulate* bloom process on population dynamics of *Apocyclops borneoensis* (Copepod)[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(1): 265-271.
- [35] KILHAM P. Ecology of melosira species in the great lakes of Africa[M]//TILZER M M, SERRUYA C. Large lakes: ecological structure and function. Heidelberg: Springer-Verlag, 1990: 414-427.
- [36] NOGUEIRA M G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil[J]. Hydrobiologia, 2000, 431(2/3): 115-128.
- [37] KAMENIR Y, DUBINSKY Z, ZOHARY T. Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake[J]. Hydrobiologia, 2004, 520: 89-104.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 胡菊香, 梁亮, 池仕运, 等. 环境因子对供水水库原生动物群落特征的影响[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(4): 30-41.
- HU J X, LIANG G, CHI S Y, et al. Effects of environmental factors on the protozoan community in a water supply reservoir[J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(4): 30-41.
- [41] GILBERT J J. Suppression of rotifer populations by Daphnia: a review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure[J]. Limnology and Oceanography, 1988, 33(6): 1286-1303.
- [42] 杨宇峰, 黄祥飞. 浮游动物生态学研究进展[J]. 湖泊科学, 2000, 12(1): 81-89.
- YANG Y F, HUANG X F. Advances in ecological studies on zooplankton[J]. Journal of Lake Sciences, 2000, 12(1): 81-89.
- [43] 黄林, 席贻龙. 轮虫和枝角类的种间竞争及其影响因子研究进展[J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6720-6728.
- HUANG L, XI Y L. Research advances in interspecific competition and influencing factors between rotifers and cladocerans[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 6720-6728.
- [44] 黄林. 两种轮虫和多刺裸腹蚤的种间竞争及机理研究[D]. 芜湖: 安徽师范大学, 2014.
- HUANG L. Outcomes and mechanisms of interspecific competition between rotifer *Brachionus calyciflorus* or *Brachionus angularis* and cladoceran *Moina macrocopa* [D]. Wuhu: Anhui Normal University, 2014.
- [45] 贾丽, 黄雪梅, 张秋英, 等. 大明湖浮游生物群落结构调查[J]. 水产养殖, 2023, 44(5): 26-29.
- JIA L, HUANG X M, ZHANG Q Y, et al. Investigation of plankton community structure in Daming Lake of Jinan in autumn[J]. Journal of Aquaculture, 2023, 44(5): 26-29.
- [46] CHEN Q F, GUO B B, ZHAO C S, et al. A comprehensive ecological management approach for northern mountain rivers in China[J]. Chemosphere, 2019, 234: 25-33.
- [47] 章宗涉, 莫珠成, 戎克文, 等. 用藻类监测和评价图们江的水污染[J]. 水生生物学报, 1983, 7(1): 97-104.
- ZHANG Z S, MO Z C, RONG K W, et al. Monitoring and evaluation of water pollution in Tumen River by means of algae[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1983, 7(1): 97-104.

Ecology and Biodiversity Conservation in Three Gorges Area**Phytoplankton Community Structure and Biodiversity in
the Chongqing Section of the Yangtze River Basin**

ZHANG Yufeng, LI Qinghua, ZHOU Xinxin, ZHANG Jiaming, SHEN Yanjun

(Laboratory of Water Ecological Health and Environmental Safety, School of Life Sciences,

Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In order to study the characteristics of plankton community structure, diversity and water quality status in the Chongqing Section of the Yangtze River Basin (hereafter referred to as the Chongqing Section), and to assess the health status of water ecology in the region, 14 sampling transects were set up in the Chongqing Section from May to June 2022, and the plankton in each sampling transect was surveyed and analyzed, and the plankton diversity index was applied to assess the water quality pollution. The degree of water pollution was assessed using the plankton diversity index. The results showed that: 1) A total of 132 species of phytoplankton from 63 genera in 8 phyla were identified, among which the diatom phylum (Bacillariophyta) had the highest number of species, and its density and biomass were also large; the number of species of the green alga phylum (Chlorophyta) and cyanobacteria phylum (Cyanophyta) was also high; and the phytoplankton diversity indices corresponded to the degree of water pollution ranging from clean to mildly polluted. The phytoplankton diversity index corresponded to water pollution levels ranging from clean to mild. 2) A total of 56 species of zooplankton from 5 phylums and 31 genera were identified, among which Rotifer had the highest number of species, accounting for 50% of the total number of zooplankton species; Cladocerans and Copepods had high densities and high biomasses; and the zooplankton diversity index corresponded to the degree of water pollution ranging from mild to moderate pollution. The results suggest that the phytoplankton in the Chongqing Section is dominated by diatoms, and the zooplankton is dominated by Rotifers, Cladocerans and Copepods; the phytoplankton is more abundant than the zooplankton; the overall water quality in the Chongqing Section ranges from clean to moderately polluted, and the management and protection of the water ecosystems in the section need to be strengthened and emphasized.

Keywords: plankton; biodiversity; Yangtze River Basin; Three Gorges Reservoir Area

(责任编辑 方 兴)