

陈婧怡, 侯亮, 林深, 等. 清江流域恩施段浮游生物及鱼类资源现状调查[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(4): 204-219.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.04.020

清江流域恩施段浮游生物及鱼类资源现状调查

陈婧怡¹, 侯亮¹, 林深¹, 姜鸣晨¹, 刘雪瑜¹,
王绍迪¹, 马毓灿¹, 侯杰^{1,2}, 何绪刚^{1,2}

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;
2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070

摘要 为了解清江流域恩施段浮游生物及鱼类资源现状, 于2023年1月、4月、7月对清江流域恩施段干流及长偏河、小溪河、忠建河、马水河等支流的浮游植物、浮游动物和鱼类等水生生物资源进行调查分析。共检出浮游植物8门100种(包括变种), 其中绿藻门种类数最多, 有28种; 优势种19种, 以蓝藻门为主; 浮游植物种类、密度和生物量呈上升趋势。检出浮游动物4类40科55属, 其中原生动物种类数最多, 有25属; 优势种浮游动物3种, 均属于原生动物门; 浮游动物种类增多, 密度和生物量无明显变化。采集到鱼类51种, 隶属于3目11科44属, 其中鲤形目最多, 有39种, 优势种为尖头鲮、麦穗鱼、马口鱼和鲮。与1987年和1990年清江流域鱼类历史种类数(合计122种)相比, 清江流域恩施段现阶段鱼类种类大幅减少, 但较2020—2022年(44种)有所增加。清江流域恩施段鱼类整体趋于小型化, 生物多样性偏低, 长鳍吻鲈、中华倒刺鲃等产漂流性卵的珍稀鱼类资源衰退严重, 而以产黏性卵为主的珍稀鱼类如重口裂腹鱼、青石爬鮡和岩原鲤等, 以及红鳍原鲂、鲢、鳙等经济鱼类资源量有所回升。上述变化主要与大型水利工程修建、近期的人工增殖放流等活动相关。建议对重口裂腹鱼等产黏性卵鱼类栖息地进行保护和修复, 对长鳍吻鲈、中华倒刺鲃等及鲢、鳙定期人工增殖放流, 以提高清江流域恩施段水生生物多样性。

关键词 清江流域; 渔业资源; 浮游植物; 浮游动物; 生物多样性

中图分类号 S932.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)04-0204-16

清江是长江一级支流, 发源于湖北省恩施州利川市汪营镇上十庙龙洞沟, 流经利川、恩施、宣恩、建始、巴东、长阳、宜都7个县市, 在宜都陆城汇入长江^[1]。清江干流全长428 km, 流域面积16 714 km², 恩施州内河长275 km, 控制流域面积11 036 km²^[2], 主要支流有车坝河、忠建河、马水河、野三河、龙王河、招徕河等。近几十年来, 清江流域恩施段水文环境发生了巨大改变, 相当多的鱼类因此消失, 生物多样性快速下降增加了生态系统的脆弱性。因此, 维持清江流域恩施段生物多样性稳定对整个清江流域的生态保护意义重大^[3-4]。始于2020年的清江干流恩施段“十年禁捕”、陆续在咸丰、利川、宣恩等县市开展的增殖放流活动等, 为清江流域恩施段生物多样性恢复起到了良好作用^[5-6]。然而该区域内水生

生物资源量、多样性等现状不明, 不利于针对性制订相应保护措施。因此, 有必要重新调查、评估该区域内水生生物资源现状。本研究调查分析了清江流域恩施段干流及主要支流的浮游生物、鱼类等资源现状, 以为清江流域生态保护提供基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

清江流域恩施段干、支流是指清江流经恩施土家苗族自治州区域的江段及其支流, 即除来凤县外的五县两市, 属清江上中游。这里海拔较高、地势环境复杂, 造就了清江中上游独特的水文条件和物种组成, 包含四川白甲鱼、重口裂腹鱼等14种国家二级

收稿日期: 2024-06-03

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD2400900); 湖北省科技重大专项(2023BBA001); 中央高校基本科研业务费专项(2662023SCP004)

陈婧怡, E-mail: 464686502@qq.com

通信作者: 何绪刚, E-mail: xgh@mail.hzau.edu.cn

重点保护鱼类,小口白甲鱼、中华裂腹鱼等 6 种湖北省重点保护鱼类和齐口裂腹鱼、短体副鳅等 8 种长江上游特有鱼类。流域涉及咸丰县忠建河大鲵国家级自然保护区(保护区范围以忠建河干流源头至草坪 39 km 河段和沿河两岸所有支流 58.74 km 河段的历史高水位线向外扩展 50 m 为界)1 个重要生态敏感区,水布垭水库、老渡口水库 2 个大型水库和车坝河水库、云龙河水库、野三河水电站水库、龙洞电站水库等多个中小型水库。

根据流域特点,于枯水期(2022 年 11 月至 2023 年 3 月)、平水期(2023 年 4 月至 6 月)、丰水期(2023 年 7 月至 10 月)共设置了 29 个采样断面。采样点位置信息见表 1,采样要素包括浮游植物、浮游动物和鱼类;采样区域包含清江流域恩施段干流和长偏河、小溪河、云龙河、车坝河、忠建河、马水河、伍家河、野三河等重要支流。

表 1 清江流域恩施段采样点位及要素

Table 1 Sampling sites and elements in Qingjiang River Basin , Enshi Prefecture

采样点位 Sampling section		经纬度 Longitude and latitude	1 月(枯水期) January (low-water period)			4 月(平水期) April (normal-water period)			7 月(丰水期) July (high-water period)		
编号 No.	名称 Name		浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch	浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch	浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch
S1	龙船水乡 Dragon Boat Water Town	30°17'15"N 108°49'38"E	√	√	√	√	√	√	—	—	—
S2	雪照河水电站 Xuezhao River power station	30°23'54"N 109°8'23"E	√	√	√	—	—	√	√	√	√
S3	小溪河 Xiaoxi River	30°20'50"N 109°14'18"E	—	—	—	—	—	√	—	—	√
S4	长偏河 Changpian River	30°24'49"N 109°08'35"E	—	—	—	√	√	√	—	—	√
S5	雪照水库区 Xuezhao River Reservoir	30°22'22"N 109°05'34"E	—	—	—	—	—	√	—	—	—
S6	汪营干流 Wangying main stream	30°17'41"N 108°42'51"E	—	—	—	—	—	√	—	—	—
S7	鸭松溪渡口 Yasongxi ferry	30°21'16"N 109°26'54"E	√	√	√	√	√	√	—	—	—
S8	姚家坪 Yaojiaping	30°21'30"N 109°17'09"E	√	√	√	√	√	√	—	—	—
S9	南里渡 Nanlidu	30°26'56"N 109°43'43"E	√	√	√	√	—	√	—	—	—
S10	浑水河大桥 Hunshui River Bridge	30°15'01"N 109°40'19"E	√	√	√	—	—	—	—	—	—
S11	太阳河 Taiyang River	30°35'40"N 109°31'29"E	—	—	—	—	—	√	—	—	—
S12	云龙河水库 Yunlong River Reservoir	30°26'50"N 109°11'16"E	—	—	—	—	—	—	√	√	√
S13	车坝河水库 Cheba River Reservoir	30°15'29"N 109°17'07"E	—	—	—	—	—	—	√	√	√
S14	河落子 Heluozi	30°36'43"N 110°06'17"E	√	√	√	—	—	—	—	—	—

续表 1 Continued Table 1

采样点位 Sampling section		经纬度 Longitude and latitude	1月(枯水期) January (low-water period)			4月(平水期) April (normal-water period)			7月(丰水期) July (high-water period)		
编号 No.	名称 Name		浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch	浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch	浮游植物 Phytoplankton	浮游动物 Zooplankton	渔获物 Fish catch
S15	后河 Hou River	30°39′06″N 109°47′38″E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	—	—
S16	小茶园 Xiaochayuan	30°39′19″N 109°39′10″E	—	—	—	✓	✓	✓	—	—	—
S17	龙门子 Longmenzi	30°39′12″N 109°39′20″E	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓
S18	长梁镇 Changliang Town	30°39′04″N 109°45′46″E	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓
S19	磨谷坝村 Moguba Village	30°41′16″N 109°45′33″E	—	—	—	✓	✓	✓	—	—	—
S20	金竹园 Jinzhuyuan	30°42′56″N 109°47′41″E	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓
S21	小溪口水库 Xiaoxikou Reservoir	30°35′03″N 109°46′16″E	—	—	—	—	—	✓	—	—	✓
S22	大沙河 Dasha River	30°30′48″N 109°46′29″E	—	—	—	—	—	✓	—	—	—
S23	伍家河 Wujia River	30°17′12″N 109°58′25″E	—	—	—	—	—	✓	✓	✓	✓
S24	景阳河 Jingyang River	30°21′55″N 109°59′40″E	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓
S25	两河口 Lianghekou	30°30′17″N 110°08′01″E	—	—	—	✓	✓	✓	—	—	—
S26	白马林 Baimalin	30°24′26″N 110°07′39″E	—	—	—	—	—	✓	—	—	—
S27	水布娅水库 Shuibuya Reservoir	30°25′42″N 110°19′19″E	—	—	—	✓	—	✓	—	—	—
S28	小坝 Xiaoba	30°01′05″N 109°35′43″E	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓
S29	龙洞水库 Longdong Reservoir	29°58′48″N 109°26′52″E	—	—	—	—	—	—	✓	✓	✓

注：“—”表示未采集样品。 Note: “—” indicates that no samples were taken.

1.2 样品获取及鉴定

所有样品获取,均提前报请恩施州农业农村局及流域所涉及县市相关渔业渔政主管部门批准,获得捕捞许可后在渔业渔政主管部门监督下采集。

浮游生物样品采集,按照文献[7-8]的方法进行,统计分析物种种类、密度、生物量和多样性指数等。

鱼类样品采集方法参照文献[9],采集网具均为规格、数量相同的刺网和地笼(各2张)。刺网网目规

格分别为4.6 cm(2指)和8 cm(4指),长50 m×宽1.5 m;地笼规格为25 cm×30 cm×5.5 m,网眼大小为4 mm。统计分析鱼类种类、数量、体长(cm,读数时保留一位小数)、全长(cm,读数时保留1位小数)、体质量(g,根据电子秤称量范围取整数)、多样性和相对重要性指数等。现场鉴定渔获物种类,难以现场鉴定的种类用福尔马林固定后带回实验室进行分类鉴定,其余渔获物均交由当地渔业渔政主管部门人员进行处理。

浮游生物的鉴定参照相关资料^[10-12]进行。鱼类的种类鉴定依据文献^[13-14]进行,对清江流域鱼类的历史种类,通过文献调研的方式梳理总结获得。

1.3 浮游生物密度、生物量、优势度和多样性的确定

1)密度。浮游植物和浮游动物密度分别参照文献^[7]的公式(1)、公式(2)计算:

$$N=\frac{S_c}{F_n\times S_F}\times\frac{V_s}{V_C}\times P_n$$
 (1)

$$N=\frac{V_s\times n}{V\times V_C}$$
 (2)

式(1)中: S_C 为计算框面积,单位 mm^2 ,一般为 400 mm^2 ; S_F 为每个视野面积, mm^2 ; F_n 为计数过的视野数; V_s 为1 L水样沉淀浓缩后的体积, mL ; V_C 为计数框的容积(0.1 mL); P_n 为每片镜检计算出的各类浮游植物个数。

式(2)中: V 为采集水样的体积 20 L , V_s 为样品浓缩后的体积, V_C 为计数框的容积(1 mL), n 为每片镜检计数的各类浮游动物个数。

2)生物量。浮游植物生物量的计算方法:对各个种群进行细胞计数,查阅文献找出平均细胞体积,再计算生物量^[7]。浮游动物生物量的计算方法:轮虫生物量按体积法计算^[9];桡足类(不包括无节幼体)由相近的几何形状计算出体积,再乘以密度换算成生物量^[15];枝角类的生物量根据体长-体质量回归方程计算^[16]。

3)优势度。群落优势种选用Mcnaughton优势度指数(Y ,以优势度指数 $Y>0.02$ 确定优势种)确定,公式如下:

$$Y=\frac{n_i}{N\times f_i}$$
 (3)

式(3)中, n_i 为该物种个体数, N 为所有物种个体总数, f_i 为第 i 种在各站点出现的频率。

4)多样性。丰富度用Margalef物种丰富度指数(d ,以2为底),均匀度由Pielou均匀度指数(J'),物种多样性由Shannon-Wiener多样性指数(H')来表示,群落多样性用Simpson多样性指数(D)^[17],公式如下:

$$d=\frac{S-1}{\ln N}$$
 (4)

$$J'=\frac{H'}{\log_2 S}$$
 (5)

$$H'=-\sum\left(\frac{n_i}{N}\times\ln\frac{n_i}{N}\right)$$
 (6)

$$D=1-\sum\left(\frac{n_i}{N}\right)^2$$
 (7)

式(4)~(7)中, n_i 为该物种个体数, N 为所有物种个体总数, f_i 为第 i 种在各站点出现的频率, S 代表生物种类数。

3种浮游生物多样性指数评价标准如表2, Simpson群落多样性指数仅用于样点间比较。

表2 3种多样性指数评价标准
Table 2 Three evaluation criteria of diversity index

指数类型 Type of index	指数值 Index number	评价结果 Evaluation result
Shannon-Wiener 多样性指数(H') Shannon-Wiener diversity index	0	严重污染 Severe pollution
	0~1	重污染 Heavy pollution
	1~2	α -中污染 α -Medium pollution
	2~3	β -中污染 β -Medium pollution
	>3	清洁-寡污型 Clean-oligocontaminant type
	0~0.3	重污染 Heavy pollution
Pielou均匀度指数(J') Pielou evenness index	0.3~0.5	中污染 Medium pollution
	0.5~0.8	无污染或轻污染 No pollution or light pol- lution
	0	严重污染类型 Severe pollution type
Margalef物种丰富度指数 (d ,以2为底) Margalef species richness index (d , base 2)	0~1	重污染类型 Heavy pollution type
	1~2	中度污染类型 Medium pollution type
	2~3	轻污染类型 Light pollution type
	>3	清洁环境类型 Clean environment type

1.4 渔获物分析

1)多样性分析。采用Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数进行分析。

2)优势种确定。用Pinkas相对重要性指数(index of relative importance, IRI,公式中以 I_{RI} 表示)分析流域内的优势种^[18],公式如下:

$$I_{RI}=\left(W_i+\frac{N_i}{S}\right)\times F_i\times 100$$
 (8)

式(8)中, S 为总渔获物物种数量, N_i 为第 i 个渔获物物种的样本数量, W_i 为第 i 个渔获种类的个体质量在全部渔获物总质量中所占的比例, F_i 为 i 渔获物

种类出现的频率。 $IRI \geq 100$ 时判定为优势种, $10 \leq IRI < 100$ 则为次优势种。当 $F_i \geq 30\%$ 认为是常见种,低于 10% 认为是偶见种^[19]。

1.5 数据分析

数据处理和图表制作用Excel 2016、Origin 2022和IBM SPSS Statistics 29.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 浮游植物

1)种类。清江流域共检出浮游植物8门100种(包括变种)。其中,绿藻门种类数最多,有21属28种,占28.00%;其次为硅藻门,有13属25种,占25.00%;再次为蓝藻门,有12属21种,占21.00%;另有裸藻门和甲藻门各3属7种,均占7.00%;隐藻门2

属5种,占5.00%;金藻门2属4种,占4.00%;以及黄藻门2属3种,占3.00%。

2)密度和生物量。清江流域各点浮游植物密度变幅在 $1.50 \times 10^6 \sim 70.72 \times 10^6$ ind./L范围内(图1),平均密度为 31.49×10^6 ind./L;其中,蓝藻门平均密度最高,为 17.42×10^6 ind./L;裸藻门平均密度最低,为 0.20×10^6 ind./L。各点浮游植物生物量范围为0.35~11.91 mg/L,平均生物量为5.48 mg/L;同样以蓝藻门平均生物量最高,为1.49 mg/L;黄藻门平均生物量最低,为0.12 mg/L。如表3所示,4月(平水期)浮游植物密度显著高于7月(丰水期)($P < 0.05$);3个时期的生物量呈现出4月(平水期) > 1 月(枯水期) > 7 月(丰水期)的趋势,且有显著性差异($P < 0.05$)。

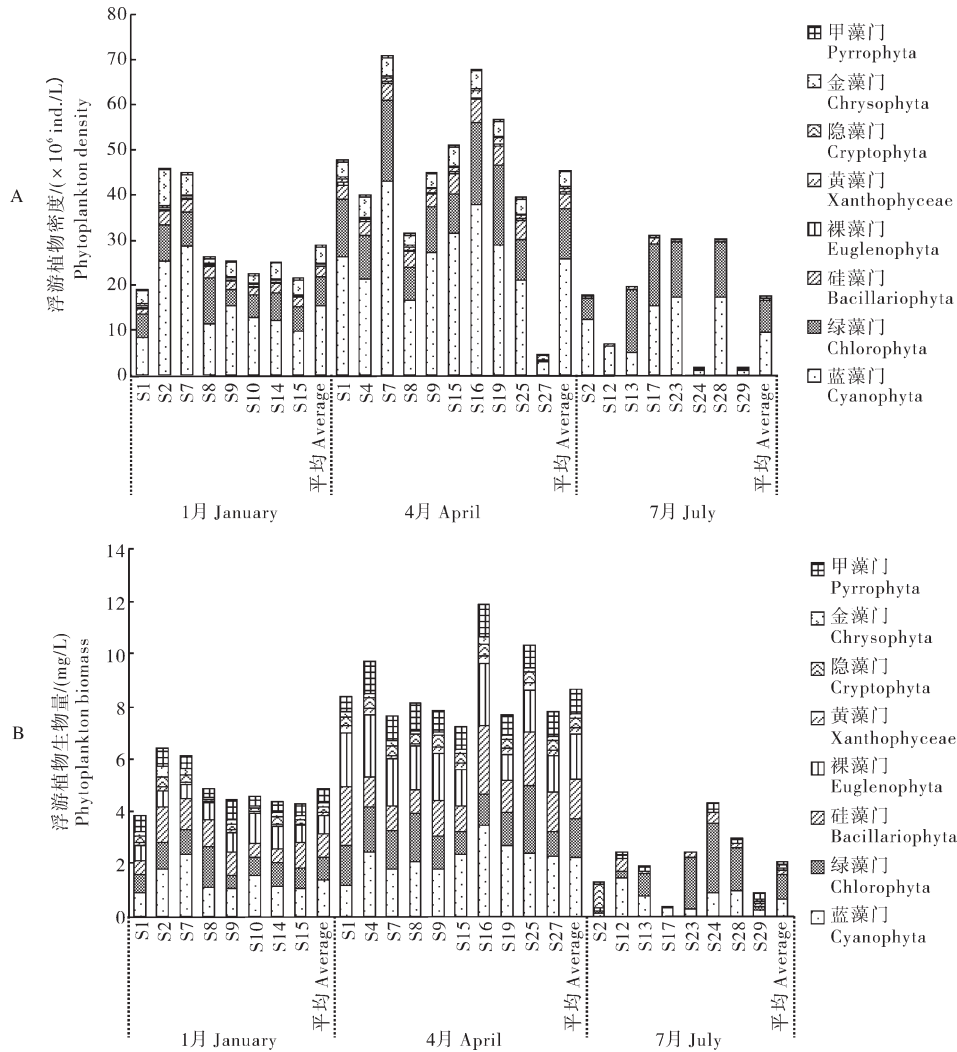


图1 清江流域恩施段各站点浮游植物密度(A)和生物量(B)分布

Fig.1 Distribution of phytoplankton density (A) and biomass (B) in different sites of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

表 3 清江流域恩施段不同时期浮游植物密度和生物量显著性差异分析

Table 3 Significance difference analysis of phytoplankton density and biomass in different periods of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

时期 Period	密度/($\times 10^6$ ind./L) Density	生物量/(mg/L) Biomass
1 月(枯水期) January (low-water period)	32.41 \pm 13.44ab	5.14 \pm 1.29b
4 月(平水期) April (normal-water period)	37.52 \pm 33.20a	9.57 \pm 2.34a
7 月(丰水期) July (high-water period)	16.04 \pm 14.54b	2.34 \pm 1.99c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。Notes:Different lowercase letters in the same column indicate significant differences($P<0.05$). The same as below.

3)优势种。清江流域恩施段的浮游植物优势度分析结果(表4)显示,共有优势种浮游植物 19 种,分别有蓝藻门 9 种、绿藻门 8 种和硅藻门 2 种,优势度

范围为 0.02~0.22。其中点形平裂藻(*Merismopedia punctata*)在枯水期、平水期和丰水期均为优势种。1 月(枯水期)的绝对优势种(优势度 >0.1)为拟短形颤藻(*Oscillatoria subbrevis*)和项圈藻(*Anabaena* sp.)、4 月(平水期)的绝对优势种为项圈藻(*Anabaena* sp.)和拟短形颤藻(*Oscillatoria subbrevis*)、7 月(丰水期)的绝对优势种为微囊藻(*Microcystis* sp.)。

4)多样性。清江流域恩施段浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')范围在 2.06~3.08(图 2);均匀度指数(J')范围在 0.33~0.62;Margalef 物种丰富度指数(d)范围在 2.12~8.21。综合考虑以上 3 种指标,对其 1 月(枯水期)、4 月(平水期)和 7 月(丰水期)进行单因素评价,所有采样点均属于轻度污染。Simpson 多样性指数(D)范围在 0.05~0.92,枯水期 S10 和 S14、平水期 S16 和 S27 以及丰水期 S23 采样点浮游植物 Simpson 多样性指数最高。

表 4 清江流域恩施段不同时期浮游植物优势度

Table 4 Dominance of phytoplankton in different periods of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

优势种 Dominant species		1 月(枯水期) January (low-water period)	4 月(平水期) April (normal-water period)	7 月(丰水期) July (high-water period)
蓝藻门 Cyanophyta	颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.	—	—	0.05
	拟短形颤藻 <i>Oscillatoria subbrevis</i>	0.22	0.13	—
	项圈藻 <i>Anabaena</i> sp.	0.10	0.17	—
	微囊藻 <i>Microcystis</i> sp.	—	—	0.20
	粗大微囊藻 <i>Microcystis robusta</i>	0.04	—	—
	铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	—	0.03	—
	点形平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	0.03	0.03	0.04
	细小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	—	0.05	—
	鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	—	0.07	—
	二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>	0.06	0.06	—
绿藻门 Chlorophyta	湖生卵囊藻 <i>Oocystis lacustris</i>	0.05	0.02	—
	双尾栅藻 <i>Scenedesmus bicaudatus</i>	0.02	0.04	—
	弯曲栅藻 <i>Scenedesmus arcuatus</i>	—	0.04	—
	盘藻 <i>Gonium</i> sp.	—	0.02	—
	空球藻 <i>Eudorina</i> sp.	—	—	0.06
	实球藻 <i>Pandorina morum</i>	—	—	0.03
硅藻门 Bacillariophyta	小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	—	—	0.03
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	0.03	—	—
	短缝藻 <i>Eunotia</i> sp.	—	—	0.02

注:“—”表示该物种在该季节不是优势物种。下同。Note:“—” indicates this specie is not the dominant species in this season. The same as below.

2.2 浮游动物

1)种类。清江流域共检出浮游动物 4 类 40 科 55 属,其中原生动物种类数最多,有 23 科 25 属,占

45.45%;其次为枝角类,有 7 科 13 属,占 23.64%;再次为桡足类,有 4 科 9 属,占 16.36%;最后是轮虫,有 6 科 8 属,占 14.55%。

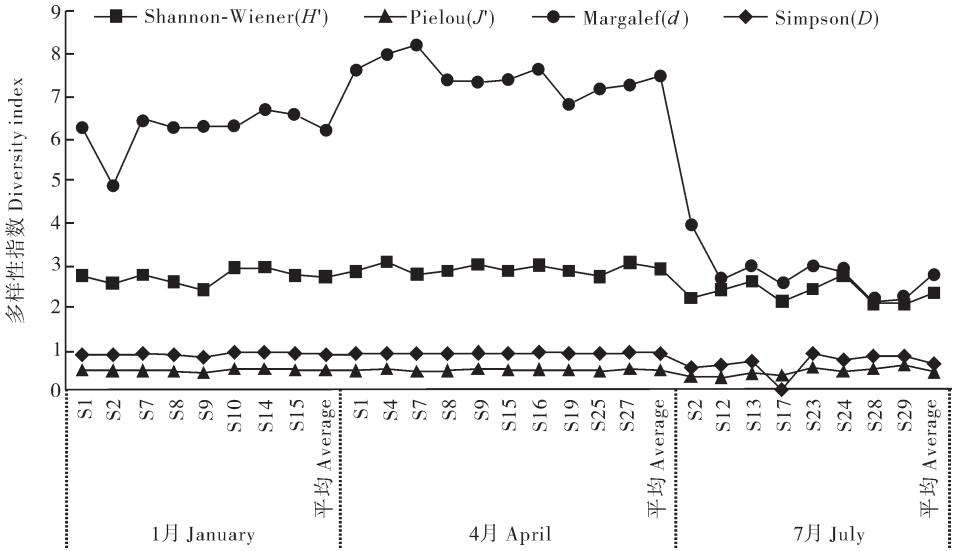


图 2 清江流域恩施段不同时期浮游植物多样性指数

Fig.2 Diversity index of phytoplankton in different periods of Qingjiang River Basin , Enshi Prefecture

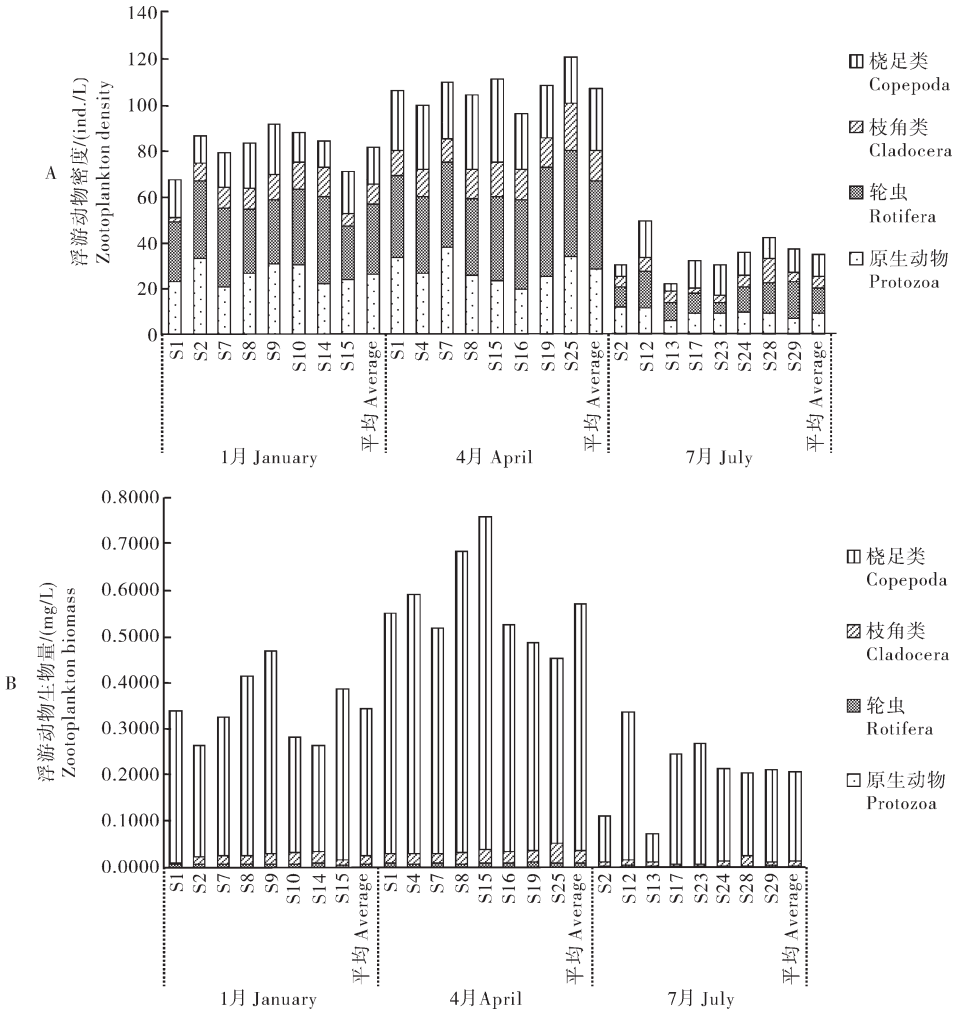


图 3 清江流域恩施段各站点不同时期浮游动物密度(A)和生物量(B)分布

Fig.3 Distribution of zooplankton density (A) and biomass (B) in different periods of Qingjiang River Basin , Enshi Prefecture

2)密度和生物量。清江流域浮游动物密度变幅在 22.00~120.50 ind./L 范围内(图 3),平均密度为 74.25 ind./L。其中,轮虫平均密度最高,为 26.65 ind./L;最低的是枝角类,为 8.96 ind./L。生物量范围为 0.071 7~0.757 8 mg/L,平均生物量为 0.373 3 mg/L。其中,桡足类平均生物量最高,为 0.349 6 mg/L;最低为原生动物,仅有 0.000 4 mg/L。如表 5 所示,无论是浮游动物密度还是生物量,均呈现出 4 月(平水期)>1 月(枯水期)>7 月(丰水期)的趋势,且有显著性差异($P<0.05$)。

表 5 清江流域恩施段不同时期浮游动物密度和生物量显著性差异分析

Table 5 Significance difference analysis of zooplankton density and biomass in different periods of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

时期 Period	密度 /(ind./L) Density	生物量/(mg/L) Biomass
1 月(枯水期) January (low-water period)	79.25±12.25b	0.37±0.10b
4 月(平水期) April (normal-water period)	108.25±12.25a	0.60±0.15a
7 月(丰水期) July (high-water period)	35.75±13.75c	0.20±0.13c

3)优势种。清江流域恩施段的浮游动物优势度分析结果(表 6)显示,共有优势种浮游动物 3 种,均属于原生动物门,优势度范围在 0.025~0.061。其中

表壳虫属(*Arcella*) 在枯水期、平水期和丰水期均为优势种。除表壳虫属外,1 月(枯水期)和 4 月(平水期)的优势种有砂壳虫属(*Diffugia*),7 月(丰水期)的优势种有累枝虫属(*Epistylis*)。

表 6 清江流域恩施段不同时期浮游动物优势度

Table 6 Dominance of zooplankton in different periods of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

优势种 Dominant species	1 月(枯水期) January (low-water period)	4 月(平水期) April (normal-water period)	7 月(丰水期) July (high-water period)
表壳虫属 <i>Arcella</i>	0.037	0.025	0.036
原生动物 Protozoa			
砂壳虫属 <i>Diffugia</i>	0.029	0.061	—
累枝虫属 <i>Epistylis</i>	—	—	0.027

4)多样性。清江流域恩施段浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')范围在 2.06~2.91(图 4);均匀度指数(J')范围在 0.55~0.64;Margalef 物种丰富度指数(d)范围在 2.03~4.63。综合考虑以上 3 种指标,对其 1 月(枯水期)、4 月(平水期)和 7 月(丰水期)进行单因素评价,所有采样点均属于轻度污染。Simpson 多样性指数(D)范围在 0.78~0.91,枯水期 S9、平水期 S1、S4、S7、S19 和 S25 以及丰水期 S23 采样点 Simpson 多样性指数最高。

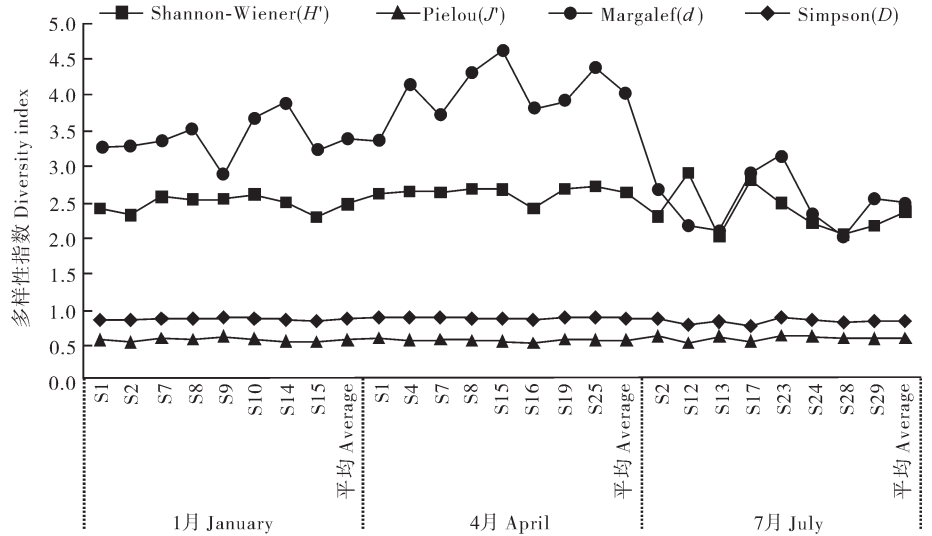


图 4 清江流域恩施段不同时期浮游动物多样性指数

Fig.4 Diversity index of zooplankton in different periods of Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

2.3 鱼类

1)种类和数量。2023 年清江流域恩施段 3 次资源调查共采集到鱼类 51 种,隶属于 3 目 11 科 44 属,

其中鲤形目鱼类 4 科 36 属 39 种,占总种类数的 76.47%,包含鲤科、平鳍鳅科、鳅科和爬鳅科;鲇形目 3 科 5 属 9 种,占总种类数的 17.65%,包含鲇科、鮡

科、鲮科和钝头鲩科;鲟形目 3 科 3 属 3 种,占总种类数的 5.88%,包含鰕虎鱼科、鲴科和塘鳢科。除了常见的鱼类外,渔获物中还包括国家二级保护野生动物重口裂腹鱼(*Schizothorax davidi*)、青石爬鮡(*Euchiloglanis davidi*)和岩原鲤(*Procypris rabaudi*)^[20],湖北省重点保护水生野生动物小口白甲鱼(*Onychostoma lini*)^[21],以及长江上游特有鱼类齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)、短体副鳅(*Paracobitis potanini*)、四川华吸鳅(*Sinogastromyzon szechuanensis*)和黄石爬鮡(*Euchiloglanis kishinouyei*)^[22]。

2)主要生物学指标。2023 年清江流域恩施段 3 次资源调查共采集到渔获物 3 802 尾,渔获物总质量 343.01 kg,体长范围为 2.9~85.0 cm,全长范围为 3.4~93.5 cm,体质量范围为 1~12 600 g。2023 年间清江流域恩施段渔获物数量前十的种类分别为尖头𩚰(*Rhynchocypris oxycephalus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、齐口裂腹鱼、高体鲮鱼(*Rhodeus ocellatus*)、银鲮鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、云南盘鮡(*Discogobio yunnanensis*)、钝吻棒花鱼(*Abbottina obtusirostris*),占渔获物总数量的 83.10%;渔获物总质量前十的种类分别为鲢、鳙(*Aristichthys nobilis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、齐口裂腹鱼、鲮、鲫(*Carassius auratus*)、尖头𩚰、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、青梢红鲃(*Erythroculter dabryi*)、银鲮鱼,占渔获物总质量的 93.32%。

3)相对重要性指数。清江流域恩施段鱼类相对重要性指数见表 7(仅保留前 20 种)。结果显示,按 IRI 判断,清江流域恩施段的优势种为尖头𩚰、麦穗鱼、马口鱼和鲮,次优势种有齐口裂腹鱼、高体鲮鱼、鲤、鲢、子陵吻鰕虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、云南盘鮡、钝吻棒花鱼、切尾拟鲿(*Pseudobagrus truncatus*)和鳙;按照频率判定,常见种为马口鱼、尖头𩚰、麦穗鱼、高体鲮鱼、大斑原缨口鳅、青梢红鲃等 36 种鱼则均为偶见种。

4)多样性。清江流域恩施段的鱼类多样性指数结果如图 5 所示。Simpson 多样性指数范围为 0.09~0.82, Shannon-Wiener 多样性指数范围为 0.20~1.92, Margalef 丰富度指数变化范围为 0.27~2.65, Pielou 均匀度指数变化范围为 0.09~0.68;1 月(枯水期)的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性

表 7 清江流域恩施段鱼类相对重要性指数
Table 7 Index of relative importance of fishes in
Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

种类 Species	频率/% Frequency	相对重要性指 数 IRI
尖头𩚰 <i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	0.34	858.41
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0.32	328.49
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	0.42	212.90
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.19	141.14
齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i>	0.25	95.22
高体鲮鱼 <i>Rhodeus ocellatus</i>	0.09	50.14
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.23	26.67
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.13	25.66
子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	0.21	18.73
云南盘鮡 <i>Discogobio yunnanensis</i>	0.11	17.39
钝吻棒花鱼 <i>Abbottina obtusirostris</i>	0.11	16.89
切尾拟鲿 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	0.15	13.06
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	0.11	12.40
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.13	9.97
青梢红鲃 <i>Erythroculter dabryi</i>	0.08	9.85
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0.13	8.31
大斑原缨口鳅 <i>Vanmanenia stenosoma</i>	0.09	4.44
翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	0.11	4.09
银鲮鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.02	3.35
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	0.06	2.45

指数和 Margalef 丰富度指数平均值最大,7 月(丰水期)的 Pielou 均匀度指数均值最大。从空间上看,枯水期 S7、S8 采样点的多样性较高,平水期 S1、S3、S5、S7、S9、S16 采样点的多样性较高,丰水期 S13、S21、S24、S28、S29 采样点的多样性较高。从时间上看,枯水期的多样性均值略高于平水期和丰水期,整体差异不大。

3 讨 论

3.1 调查方法的全面性、代表性、可靠性和局限性

本研究于枯水期、平水期、丰水期 3 个不同季节在清江流域恩施段进行了调查,3 次采样点位设置并非完全一致,但并不影响采样点布置的全面性、代表性和可靠性。

1)全面性。采样点位尽可能覆盖清江流域恩施段范围内河流全部典型生境,包括主要干、支流,上、中游不同江段,高、低海拔地区。

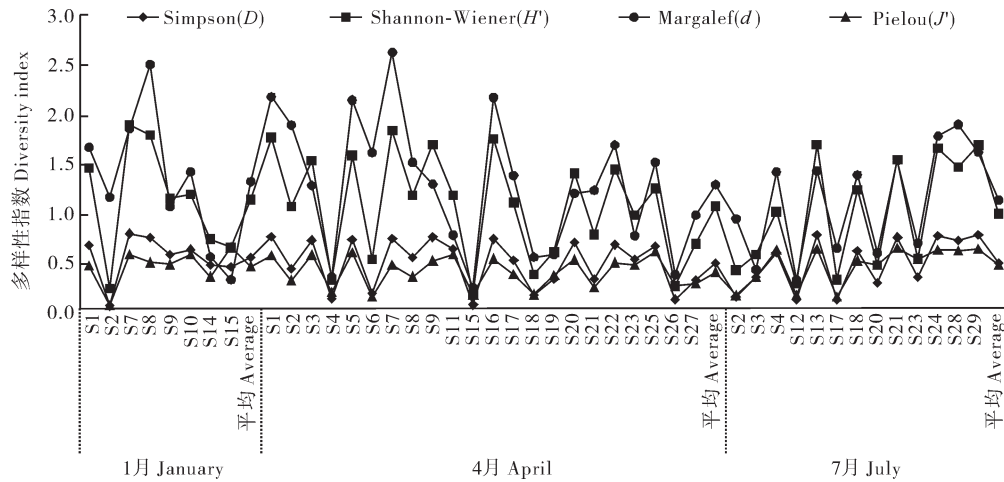


图5 清江流域恩施段鱼类生物多样性指数

Fig.5 Biodiversity index of fishes in Qingjiang River Basin, Enshi Prefecture

2)代表性。以流域范围内典型水域为主要调查对象。考虑到该区域河流片段化、水库众多,上游及支流以急流环境为主、中游以缓流静水为主进行布点采样,采样点位在各大干支流覆盖了急流、缓流、滩沱、库区等典型水域。

3)可靠性。当水域环境随水文季节变化时,部分样点难以重复获取样品,为增加研究的可靠性,按就近原则采用相邻或近似水域进行代替。

4)局限性。由于3个季节的采样点位并不完全重合,对物种时空分布相关分析的准确性有所削弱,存在一定的局限性。因此,本研究重点针对不同季节及上下游的差异性进行比较分析。

3.2 浮游生物群落结构特征

本次调查,清江流域恩施段共检出浮游植物8门100种(包括变种),密度范围为 $1.50 \times 10^6 \sim 70.72 \times 10^6$ ind./L,生物量范围0.35~11.91 mg/L。与2005年清江广润河流域调查结果(浮游植物种类共60种,密度为 $0.16 \times 10^6 \sim 1.23 \times 10^6$ ind./L,生物量为0.15~19.01 mg/L)相比^[23],清江流域恩施段的浮游植物种类、密度均更高;与同纬度低海拔地区河流相比明显较少(汉江2017—2020年共采集浮游植物7门116种^[24]、沅江2005年共采集浮游植物6门147种^[25]);与同纬度高海拔地区相比,浮游植物种类更多(如嘉陵江重庆主城江段2006年检测出浮游植物7门88种^[26])。采样季节浮游植物密度和生物量呈现出平水期(4月)>枯水期(1月)>丰水期(7月)的规律,夏季受降雨影响较大,河流径流量增大、水位升高,因此浮游植物总密度反而降低^[27-28]。清江流域恩施段不同时期浮游植物优势种均以蓝藻为主,但

丰水期绿藻有所增加、枯水期硅藻有所增长。上述差异均与水温影响浮游植物生长密切相关,高海拔地区水温更低,因此浮游植物丰度和密度均随之降低^[29];水温和水文状况的季节性差异是导致不同季节浮游植物密度、生物量差异的主要原因;优势种的变化则是因为不同种藻类对水温的喜好不同^[30]。作为评价水体健康的重要指标^[31],据浮游植物多样性结果,清江流域恩施段大多数水体属于轻度污染或中度污染,表明清江流域恩施段整体水体健康状况一般,部分采样点如枯水期的龙船水乡、浑水河大桥、河落子,平水期的长偏河、南里渡、小茶园、磨谷坝村、水布垭库区,丰水期的伍家河、小坝、龙洞水库水质状况较好,不同采样点之间污染状况的差别可能主要来源于城市建设和人类活动^[32]。

本次调查,清江流域恩施段共检出浮游动物4类40科55属,密度范围为22.00~120.50 ind./L,生物量范围为0.071 7~0.757 8 mg/L,与2005年清江广润河流域调查结果(浮游动物种类共27种,密度为0.50~127.90 ind./L,生物量为0.016 0~3.812 0 mg/L)^[23]和2013年恩施龙洞河调查结果(浮游动物种类共9种,密度为9.00~205.00 ind./L,生物量为0.347 0~3.892 0 mg/L)相比^[33],浮游动物种类有所增加,生物多样性整体更高,可能是调查范围增加、所途径的地区营养程度更高所导致的^[34]。清江流域恩施段浮游动物种类与同纬度低海拔和高海拔地区河流相比较呈现出与浮游植物相似的结果,如汉江2017—2020年共采集浮游动物55属86种^[24],沅江2005年共采集浮游动物70种^[25],嘉陵江合川段2018年检测出浮游植物7门88种^[35]。不同季节浮游动物

密度和生物量均呈现出平水期(4月)>枯水期(1月)>丰水期(7月)的规律,可能是由于高温限制了部分浮游动物的生长^[36-38]。与大多数河流生境相同,受水流和食物来源的限制,清江流域恩施段的浮游动物优势种均以原生动物和轮虫为主,整体趋小型化^[39-40]。由于轮虫和原生动物食物来源更丰富、繁殖速度快,因此流域各时段均以轮虫和原生动物密度最高,并且能够广泛分布在各个水域,小型浮游动物的繁殖和鱼类的捕食均会抑制大型浮游动物的生长,而桡足动物个体质量大,因此在生物量上仍有一定优势^[41-42]。

3.3 鱼类群落结构特征及影响因素

本次调查,清江流域恩施段共采集到鱼类51种,隶属于3目11科44属,多于2017—2019年大渡河上游调查到的2目24种和2007—2011年澜沧江上游的6种^[43-44],少于2021年长江中游调查所得6目76种^[45]。和大渡河、澜沧江等高海拔地区相比,清江流域恩施段流域栖息环境更多样、地理隔绝相对较小,鱼类种属更丰富;与长江中游相比,清江流域恩施段又以喜冷水、喜流水的鱼类为主,栖息环境高度相似,因此种类更少。此次调查渔获物个体数量最多的分别是尖头鲢、麦穗鱼、鳊;渔获物总质量最大的分别为鲢、鳊、鲤;优势种为尖头鲢、麦穗鱼、马口鱼和鳊,常见种有马口鱼、尖头鲢、麦穗鱼,和优势种基本一致,这从一定程度上说明了清江流域恩施段的鱼类也趋于小型化^[46],与大渡河上游鱼类资源的变化极为相似^[44]。鱼类多样性指数从空间上看均呈波动趋势,说明清江流域恩施段的鱼类具有不均匀分布和随机分布的特点,部分采样点的水域环境较其他采样点更好,物种多样性更高,群落结构更稳定^[44]。从时间上看鱼类多样性指数差异不大,清江流域恩施段不同季节鱼类多样性无较大变化。与2021年长江中游鱼类多样性相比^[45],清江流域恩施段鱼类多样性偏低,可能是由于清江流域恩施段海拔高、山势陡、生境相对复杂、鱼类分布比较零散,而长江中游地势较为平缓、分布大量浅滩供鱼类栖息、因而鱼类分布更为集中。

调查结果显示,自开启禁捕工作以来,清江流域恩施段的水生生物资源有逐步恢复的趋势,但与历史上丰富的鱼类资源相比依旧呈衰退趋势,尤其是产漂流性卵、喜流水、冷水等与环境高度适应的种类缺失。整理资料发现,与1987年和1990年等历史数据(共有5目15科74属122种^[13,47])相比,本次调查

的清江流域鱼类种类显著下降,历史上存在的长鳍吻鲈、中华倒刺鲃等在本次调查中未采集到,而鲢、鳊等鱼类则多为人工增殖放流所补充。与本世纪调查历史数据(2005年广润河调查到37种鱼类^[23]和2020—2022年姚家平调查到44种鱼类^[48])相比,本次野外调查清江流域恩施段鱼类资源有所回升,尤其是新增了重口裂腹鱼、青石爬鮡和岩原鲤3种国家二级保护野生动物。重口裂腹鱼主要分布在岷江、嘉陵江和金沙江等水系^[49],青石爬鮡主要分布于岷江、大渡河、青衣江、雅砻江^[50],岩原鲤常见于金沙江、岷江、赤水河、嘉陵江和长江上游等干支流^[51]。它们均属于适应流水和急流水生活的类群,且种群资源衰退严重^[52],此前的调查(2020—2022年)中并未出现上述3种鱼类,此次调查中均仅在部分采样点作为清江流域恩施段偶见种出现(重口裂腹鱼采自恩施市干流姚家平附近;青石爬鮡采自利川市干流雪照河及支流小溪河;岩原鲤采自建始县支流马水河)。此外,红鳍原鲌、翘嘴鲌等重要经济性鱼类资源量呈显著增高趋势,清江流域禁捕等保护工作效果显著。

推测流域环境变化是导致鱼类资源变化的主要原因,清江流域特有鱼类种类繁多,得天独厚的水文条件使之进化出了特有的生存方式,但历年来大型水利工程的开发修建陆续改变了河流的自然演化过程和水文条件^[53],水文条件的变化和鱼类多样性具有直接关联^[54],若生境变化的程度超出特有鱼类的适应能力则会高度影响到它们的生存繁衍^[55]。有研究显示1984—2000年和2001—2020年2个时段整个清江流域净减少水面面积和新增充填的陆域水面面积分别达到了6.11%和90.95%,其减少和增加的水域均和水库有直接联系^[3],其中较大型的水库有水布垭水库、老渡口水库等。水利工程还导致了清江流域持续长达几十年的生境片段化现象,主要体现在急流江段被水利工程截断而距离缩短、水流量调控使水体流速减缓、大型水库建设形成的新型的反季节性人工消落带、泥沙沉积等方面^[3,56],以上因素均不利于产漂流性卵鱼类产卵和幼鱼的生长发育^[57]。对于喜急流环境的鱼类,由于库区的形成,它们的生存空间也遭到了极大程度的压缩,不利于种群多样性的维持。如过去在青衣江较为常见的重口裂腹鱼,由于水电开发自几年前就已经很难见到^[58]。几十年间变化的水域生态环境已使清江鱼类多样性发生了极大的变化,如不实行针对性保护措施,清江的

鱼类种群结构可能会完全改变。

3.4 保护措施建议

由于清江鱼类特有种较多,要恢复清江流域恩施段的水生生物多样性,除了在已有基础上加强执法监督、继续落实禁捕制度,还可以对重点流域进行环境影响评价、建立水生生物多样性区域联动机制、开展生态补偿措施。根据清江流域恩施段珍稀濒危鱼类生存现状,建议针对鱼类是否具有良好的自然增殖条件,实行以下两种保护措施。

1)以自然恢复为主。通过以上调查结果,对于清江流域恩施段现存的一些以产黏性卵为主、喜流水环境的鱼类,尤其是实行禁捕后资源量呈上升趋势、但与历史相比整体资源量还有待恢复的种类,它们的栖息地尚未完全遭到破坏、种群具有一定的自然增长能力,通过对其产卵场进行保护可以起到较好的多样性恢复作用。适宜采用就地保护结合生态补偿的方式,建立现有珍稀濒危水生生物,如重口裂腹鱼、青石爬鮡、岩原鲤、小口白甲鱼等物种的栖息地保护机制。首先对其栖息地进行原状保护,在充分调查的基础上划分其合理的栖息地保护范围,栖息地范围内的流域限制不利的水利工程和人为活动,尽量维护鱼类栖息地的完整;在此基础上对其栖息地进行近自然修复,通过建立过鱼设施、人工鱼巢等生态设施给鱼类提供良好的产卵条件,并做好生态流量调控以保证鱼类繁殖的水文条件。

2)以人为补充为主。对于清江流域恩施段较典型的产漂流性卵的鱼类,如长鳍吻鮡、中华倒刺鲃等,由于流域片段化、水流条件丧失等因素,它们可能失去了大批量自然产卵孵化、维持群体多样性的条件。因此,建议在清江流域恩施段干流和重要支流上游修建鱼类增殖放流工作站,定期开展人工增殖放流工作并进行珍稀鱼类苗种繁育,定期投放优质苗种,人为对产漂流性卵的长鳍吻鮡、中华倒刺鲃等珍稀鱼类和鲢、鳙等经济鱼类资源量进行补充,以此达到提高清江流域恩施段水生生物多样性的目的。

参考文献 References

[1] 杨娇.清江流域梯级电站对河流水文的影响[J].河南科技,2021,40(34):77-79. YANG J. Influence of cascade hydropower stations on river hydrology in Qingjiang River Basin[J]. Henan science and technology, 2021, 40(34): 77-79 (in Chinese with English abstract).

[2] 袁玉顶.清江流域生态环境存在的问题及措施建议[J].今日科苑,2023(1):32-41. YUAN Y D. Problems and suggested measures in the ecological environment of Qingjiang River Basin[J]. Modern science, 2023(1): 32-41 (in Chinese with English abstract).

[3] 王琳,丁放,曹坤,等.长江流域水域及消落区现状、变迁与渔业资源变动[J].水产学报,2023,47(2):31-49. WANG L, DING F, CAO K, et al. Status and transition of surface water fluctuation zones in the Yangtze River Basin and fishery resource change[J]. Journal of fisheries of China, 2023, 47(2): 31-49 (in Chinese with English abstract).

[4] 李亚莉,杨正健,许尤,等.清江上游利川段浮游细菌群落结构特征及其影响因素[J].生态学杂志,2020,39(11):3756-3765. LI Y L, YANG Z J, XU Y, et al. Community structure of planktonic bacteria and its driving factors along the upstream area of Qingjiang River in Lichuan City, Hubei Province[J]. Chinese journal of ecology, 2020, 39(11): 3756-3765 (in Chinese with English abstract).

[5] 恩施土家族苗族自治州人民政府.恩施州人民政府关于恩施州长江流域重点水域禁捕退捕工作的通告(恩施州政规[2020]5号)[EB/OL].(2020-11-28)[2024-06-03].http://www.enshi.gov.cn/xw/esxw/202011/t20201128_1061426.shtml. People's Government of Enshi Tujia-Miao Autonomous Prefecture. Notice of the People's Government of Enshi Prefecture on the fishing ban and retreat in key waters of the Yangtze River Basin in Enshi Prefecture (Enshi Prefecture Zheng Gui [2020] No. 5) [EB/OL]. (2020-11-28) [2024-06-03]. http://www.enshi.gov.cn/xw/esxw/202011/t20201128_1061426.shtml (in Chinese).

[6] 恩施土家族苗族自治州人民政府.恩施州农业农村局开展渔业资源增殖放流活动[EB/OL].(2020-10-10)[2024-06-03].http://www.enshi.gov.cn/zc/zc/gfxwj_1/202010/t20201010_1062629.shtml. People's Government of Enshi Tujia-Miao Autonomous Prefecture. Enshi Prefecture Bureau of Agriculture and Rural Development carries out fishery resources breeding and releasing activities [EB/OL]. (2020-10-10) [2024-06-03]. http://www.enshi.gov.cn/zc/zc/gfxwj_1/202010/t20201010_1062629.shtml (in Chinese).

[7] 白雪兰,范泽宇,徐聚臣,等.澧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 (in Chinese with English abstract).

[8] 中华人民共和国农业部.淡水浮游生物调查技术规范:SC/T 9402—2010[S].北京:中国农业出版社,2011. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Specifications for freshwater plankton surveys: SC/T 9402—2010 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2011 (in Chinese).

- [9] 张觉民,何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991.ZHANG J M, HE Z H. Handbook of investigation of fishery natural resources in inland waters [M]. Beijing: Agriculture Press, 1991 (in Chinese).
- [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 [M]. Beijing: Science Press, 2006 (in Chinese).
- [11] 邓坚,水利部水文局,长江流域水环境监测中心.中国内陆水域常见藻类图谱[M].武汉:长江出版社,2012.DENG J, Hydrology Bureau, Ministry of Water Resources, Yangtze River Basin Water Environment Monitoring Center. Atlas of common algae in inland waters of China [M]. Wuhan: Changjiang Press, 2012 (in Chinese).
- [12] 蒋燮治,堵南山.中国动物志:节肢动物门,甲壳纲,淡水枝角类[M].北京:科学出版社,1979.JIANG X Z, DU N S. Zoology of China: Arthropoda, Crustacea, freshwater dendrobatids [M]. Beijing: Science Press, 1979 (in Chinese).
- [13] 杨干荣.湖北省鱼类志[M].武汉:湖北科学技术出版社,1987:15-18.YANG G R. Hubei Provincial fish journal [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1987: 15-18 (in Chinese).
- [14] 甘西,蓝家湖,吴铁军,等.中国南方淡水鱼类原色图鉴[M].郑州:河南科学技术出版社,2017.GAN X, LAN J H, WU T J, et al. Photographic guide to freshwater fishes in South China [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2017 (in Chinese).
- [15] 陈雪梅.淡水桡足类生物量的测算[J].水生生物学集刊,1981,7(3):397-408.CHEN X M. Measurement of freshwater copepod biomass [J]. Journal of aquatic biology, 1981, 7(3): 397-408 (in Chinese).
- [16] 黄祥飞.淡水浮游动物的定量方法[J].水库渔业,1982,3(4):52-59.HUANG X F. Quantitative method of freshwater zooplankton [J]. Journal of hydroecology, 1982, 3(4): 52-59 (in Chinese).
- [17] 刘晓红,李校,彭志杰.生物多样性计算方法的探讨[J].河北林果研究,2008,23(2):166-168.LIU X H, LI X, PENG Z J. The discussion on calculation methods of biodiversity [J]. Hebei journal of forestry and orchard research, 2008, 23(2): 166-168 (in Chinese with English abstract).
- [18] CORTÉS E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes [J]. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 1997, 54(3): 726-738.
- [19] 张虎,贲成恺,汪振华,等.江苏近岸海域鱼类组成和群聚时空变化[J].水产研究,2018,5(2):76-84.ZHANG H, GUI C K, WANG Z H, et al. Species composition and spatial-temporal patterns of fish assemblages in Jiangsu coastal waters [J]. Open journal of fisheries research, 2018, 5(2): 76-84 (in Chinese with English abstract).
- [20] 中华人民共和国中央人民政府.新调整的《国家重点保护野生动物名录》公布[EB/OL].(2021-02-09)[2024-06-03].https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm. Central People's Government of the People's Republic of China. Newly adjusted List of National Key Wildlife Protection announced [EB/OL]. (2021-02-09) [2024-06-03]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/content_5586227.htm (in Chinese).
- [21] 湖北省农业事业发展中心渔业资源养护处.湖北省省级重点保护水生野生动物名录[CP/OL].[2022-07-08].<http://longshang.cjyun.org/p/50788.html>. Fishery Resources Conservation Department, Hubei Provincial Agricultural Development Center. List of provincial key protected aquatic wildlife in Hubei Province [CP/OL]. [2022-07-08]. <http://longshang.cjyun.org/p/50788.html> (in Chinese).
- [22] 危起伟,吴金明.长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区鱼类图集[M].北京:科学出版社,2015.WEI Q W, WU J M. Atlas of fishes in the national nature reserve for the rare and endemic fishes in the upper reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: Science Press, 2015 (in Chinese).
- [23] 张俊友.广润河流域水生生物资源调查与水生态环境评价[D].武汉:华中农业大学,2005.ZHANG J Y. Hydrobiological resources and water-ecological environment assessment in the Guangrun River Basin [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [24] 徐聚臣,杜红春,王晓宁,等.2017—2020年汉江干流水生生物资源现状及变化趋势[J].华中农业大学学报,2021,40(5):126-137.XU J C, DU H C, WANG X N, et al. Current situation and changing trend of aquatic organisms resources in main stream of Hanjiang River from 2017 to 2020 [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(5): 126-137 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘明典.沅水浮游生物群落结构研究[D].武汉:华中农业大学,2007.LIU M D. Studies on structure of planktonic community of Yuanshui River [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007 (in Chinese with English abstract).
- [26] 曾婷.重庆长江嘉陵江浮游藻类分布特征及水质状况研究[D].重庆:重庆大学,2008.ZENG T. Study on phytoplankton composition and water quality in Chongqing reach of Jialing River and Yangtze River [D]. Chongqing: Chongqing University, 2008 (in Chinese with English abstract).
- [27] 邢锴,张生月,任晓冬.黄河流域浮游植物的季节变化及其环境影响因子[J].水生态学杂志,2021,42(6):49-56.XING K, ZHANG C Y, REN X D. Seasonal variation of phytoplankton community and driving environmental factors in the Huangzhou River Basin [J]. Journal of hydroecology, 2021, 42(6): 49-56 (in Chinese with English abstract).
- [28] 韦进进,白添,陈家宝.河流型水库蓄水前水质、浮游植物群落结构与季节变化:以西江老口水利枢纽为例[J].环境科学

- 导刊, 2015, 34(6): 8-12. WEI J J, BAI T, CHEN J B. Seasonal variations of water quality and phytoplankton community in riverine reservoir before water storing: a case study of Laokou water conservancy project in Xijiang River, Guangxi [J]. Environmental science survey, 2015, 34(6): 8-12 (in Chinese with English abstract).
- [29] 马宝珊, 徐滨, 魏开金, 等. 安宁河中游浮游植物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3332-3341. MA B S, XU B, WEI K J, et al. Phytoplankton community structure and its relation to environmental conditions in the middle Anning River, China [J]. Chinese journal of ecology, 2020, 39(10): 3332-3341 (in Chinese with English abstract).
- [30] 李锋, 曾如奎, 刘小帅, 等. 二滩水库浮游植物群落结构特征及水环境因子的季节变化 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 50-61. LI F, ZENG R K, LIU X S, et al. The seasonal change of phytoplankton community structure and water environmental factors in Ertan Reservoir [J]. Journal of Chongqing Normal University (natural science), 2021, 38(3): 50-61 (in Chinese with English abstract).
- [31] 刘天慧. 北运河水体浮游植物群落特征及在水质评价中的应用 [D]. 焦作: 河南理工大学, 2020. LIU T H. Characteristics of phytoplankton community in the north canal and its application in water quality evaluation [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [32] 尤能华, 李娟娟, 石应, 等. 清江流域近年水环境质量的规律及原因分析 [J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(8): 47-49. YOU N H, LI J J, SHI Y, et al. Research on the causes and variation regularities of water environment quality for Qingjiang River Basin in recent years [J]. Ningxia journal of agriculture and forestry science and technology, 2011, 52(8): 47-49 (in Chinese with English abstract).
- [33] 傅悦, 伊剑锋, 谢凡, 等. 恩施市龙洞河浮游动物调查与水环境评价 [J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2013, 31(3): 297-299. FU Y, YI J F, XIE F, et al. Investigation of zooplankton and water quality assessment in Longdong River of Enshi City [J]. Journal of Hubei University for Nationalities (natural science edition), 2013, 31(3): 297-299 (in Chinese with English abstract).
- [34] 兰波, 朱迟, 黄玉静, 等. 三峡水库蓄水期长江万州段干支流浮游动物群落特征研究 [J]. 四川动物, 2020, 39(5): 517-530. LAN B, ZHU C, HUANG Y J, et al. Research on zooplankton community in the mainstream of Yangtze River and its tributaries of Wanzhou section during impounding [J]. Sichuan journal of zoology, 2020, 39(5): 517-530 (in Chinese with English abstract).
- [35] 王恕桥, 但言, 李燕, 等. 嘉陵江合川段浮游生物及其与环境因子的关系 [J]. 中国农学通报, 2022, 38(36): 74-79. WANG S Q, DAN Y, LI Y, et al. Plankton community structure in Hechuan section of Jialing River and its relationship with environmental factors [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2022, 38(36): 74-79 (in Chinese with English abstract).
- [36] 代培, 王银平, 匡箴, 等. 长江安庆新洲水域浮游动物群落结构特征及其与环境因子的关系 [J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(4): 623-631. DAI P, WANG Y P, KUANG Z, et al. Community structure of zooplankton and its relation with environmental factors in Xinzhou water, Anqing section of Yangtze River [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(4): 623-631 (in Chinese with English abstract).
- [37] 吴利, 唐会元, 龚云, 等. 三峡水库正常运行下库区干流浮游动物群落特征研究 [J]. 水生态学杂志, 2021, 42(1): 58-65. WU L, TANG H Y, GONG Y, et al. Temporal-spatial distribution of zooplankton community in the main stem of Three Gorges Reservoir under normal operation [J]. Journal of hydroecology, 2021, 42(1): 58-65 (in Chinese with English abstract).
- [38] 孙海博, 王小豪, 何苗, 等. 长江如皋段的浮游动物群落结构及其与水环境因素的关系 [J]. 湿地科学, 2023, 21(4): 555-563. SUN H B, WANG X H, HE M, et al. Structure of zooplankton community in Rugao section of Yangtze River and its relationship with water environmental factors [J]. Wetland science, 2023, 21(4): 555-563 (in Chinese with English abstract).
- [39] 向浩, 林枫, 伍遇普, 等. 长江中游宜昌段浮游动物群落结构特征与环境因子相关性分析 [J]. 黑龙江水产, 2022, 41(5): 3-12. XIANG H, LIN F, WU Y P, et al. Correlation analysis between zooplankton community structure characteristics and environmental factors in the Yichang section in middle reaches of the Yangtze River [J]. Northern Chinese fisheries, 2022, 41(5): 3-12 (in Chinese with English abstract).
- [40] 吴湘香, 王银平, 张燕, 等. 长江干流浮游动物群落结构及时空分布格局 [J]. 水产学报, 2023, 47(2): 183-192. W. X X, WANG Y P, ZHANG Y, et al. Zooplankton community structure and spatio-temporal dynamics in the main stream of the Yangtze River [J]. Journal of fisheries of China, 2023, 47(2): 181-190 (in Chinese with English abstract).
- [41] 雷琦, 包宇飞, 谭庆军, 等. 澜沧江下游梯级水库浮游动物群落结构与环境因子关系 [J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2023, 51(6): 128-138. LEI Q, BAO Y F, TAN Q J, et al. Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in cascade reservoirs in the lower reaches of the Lancang River [J]. Journal of Henan Normal University (natural science edition), 2023, 51(6): 128-138 (in Chinese with English abstract).
- [42] 商颖欣, 石恺, 刘春晶, 等. 小清河淄博段浮游动物群落结构特征调查分析 [J]. 河南水产, 2023(4): 31-34. SHANG Y X, SHI K, LIU C J, et al. Investigation and analysis of zooplankton community structure in Xiaoqing River, Zibo [J]. Henan shuichan, 2023(4): 31-34 (in Chinese with English abstract).
- [43] 何斌, 颜涛, 黄颖颖, 等. 大渡河上游鱼类资源现状 [J]. 淡水渔业, 2021, 51(1): 38-45. HE B, YAN T, HUANG Y Y, et al. Analysis of fish resources status in the upper reaches of the

- Dadu River[J]. Freshwater fisheries, 2021, 51(1): 38-45 (in Chinese with English abstract).
- [44] 唐文家, 崔玉香, 赵霞. 青海省澜沧江水系水生生物资源的初步调查[J]. 水生生态学杂志, 2012, 33(6): 20-28. TANG W J, CUI Y X, ZHAO X. Hydrobiontes resource survey of Lancang River in Qinghai Province[J]. Journal of hydroecology, 2012, 33(6): 20-28 (in Chinese with English abstract).
- [45] 方冬冬, 杨海乐, 张辉, 等. 长江中游鱼类群落结构及多样性[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 154-170. FANG D D, YANG H L, ZHANG H, et al. Fish community structure and diversity in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Journal of fisheries of China, 2023, 47(2): 154-170 (in Chinese with English abstract).
- [46] 王鹤, 朱龙, 轩晓博, 等. 延河流域水生生物资源调查与多样性分析[J]. 家畜生态学报, 2022, 43(1): 36-42. WANG H, ZHU L, XUAN X B, et al. Investigation and diversity analysis of aquatic biological resources in Yanhe River[J]. Acta ecologica animalis domestici, 2022, 43(1): 36-42 (in Chinese with English abstract).
- [47] 陈伟. 湖北省的鱼类及其分布[J]. 资源开发与保护, 1990, 6(3): 144-150. CHEN W. Fishes and their distribution in Hubei Province[J]. Resource development and conservation, 1990, 6(3): 144-150 (in Chinese).
- [48] 长江水资源保护科学研究所. 湖北姚家坪水利枢纽工程环境影响报告书[R]. 武汉: 长江水资源保护科学研究所, 2022. Yangtze River Water Resources Protection Institution. Environmental impact report on Hubei Yaojiaping water conservancy hub project[R]. Wuhan: Yangtze River water resources protection institution, 2022 (in Chinese).
- [49] 李忠利, 陈永祥, 胡思玉, 等. 四川裂腹鱼和重口裂腹鱼形态差异的多元分析[J]. 动物学杂志, 2015, 50(4): 547-554. LI Z L, CHEN Y X, HU S Y, et al. Multivariate analysis on the morphological differentiation of Kozlov's Schizothoracin (*Schizothorax kozlovi*) and David's Schizothoracin (*S. davidi*) [J]. Chinese journal of zoology, 2015, 50(4): 547-554 (in Chinese with English abstract).
- [50] 郭宪光, 张耀光, 何舜平. 中国石爬属鱼类的形态变异及物种有效性研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(3): 260-268. GUO X G, ZHANG Y G, HE S P. Morphological variations and species validity of genus *Euchiloglanis* (Siluriformes Sisoridae) in China[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2004, 28(3): 260-268 (in Chinese with English abstract).
- [51] 张晓宇, 张富铁, 姚富城, 等. 岩原鲤遗传多样性和种群历史动态研究[J]. 水生生物学报, 2020, 44(2): 330-338. ZHANG X Y, ZHANG F T, YAO F C, et al. Study on genetic diversity and population historical dynamics of *Procypris Rabaudi* (Tchang) endemic in the upper Yangtze River[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2020, 44(2): 330-338 (in Chinese with English abstract).
- [52] 邓其祥, 李操, 吴光举. 岷江上游的鱼类[J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 2001, 22(1): 21-25. DENG Q X, LI C, WU G J. Notes on the fishes of upper reaches Minjiang River[J]. Journal of Sichuan Teachers College (natural science), 2001, 22(1): 21-25 (in Chinese with English abstract).
- [53] 蒋固政. 长江流域大型水利工程与鱼类资源救护[J]. 中国三峡, 2011(3): 64-69. JIANG G Z. Large-scale water conservancy projects and fish resources conservation in the Yangtze River Basin[J]. China Three Gorges, 2011(3): 64-69 (in Chinese).
- [54] 金耀广. 长江生态水文变异及其鱼类影响[D]. 保定: 华北水利水电大学, 2023. JIN Y G. Ecohydrological variability of the Yangtze River and its fish impacts[D]. Baoding: North China University of Water Resources and Electric Power, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [55] 蒋固政, 张先锋, 常剑波. 长江防洪工程对珍稀水生动物和鱼类的影响[J]. 人民长江, 2001, 32(7): 39-41. JIANG G Z, ZHANG X F, CHANG J B. Influence of the Yangtze flood control project on rare aquatic animals and fishes[J]. Yangtze river, 2001, 32(7): 39-41 (in Chinese with English abstract).
- [56] 操文颖, 王瑞琳. 清江水布垭水利枢纽生态环境影响分析[J]. 人民长江, 2007, 38(7): 133-134. CAO W Y, WANG R L. Ecological and environmental impact analysis of Qingjiang Shuibuya water conservancy hub[J]. Yangtze river, 2007, 38(7): 133-134 (in Chinese with English abstract).
- [57] 刘明典, 高雷, 田辉伍, 等. 长江中游宜昌江段鱼类早期资源现状[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 147-158. LIU M D, GAO L, TIAN H W, et al. Status of fishes at the early life history stage in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Journal of fishery sciences of China, 2018, 25(1): 147-158 (in Chinese with English abstract).
- [58] 曹文宣. 十年禁渔是长江大保护的重要举措[J]. 水生生物学报, 2022, 46(1): 1. CAO W X. Ten-year fishing ban is an important initiative for the protection of the Yangtze River[J]. Acta hydrobiologica sinica, 2022, 46(1): 1 (in Chinese).

Survey on status of plankton and fish resources in Enshi Section of Qingjiang River Basin

CHEN Jingyi¹, HOU Liang¹, LIN Shen¹, JIANG Mingchen¹,
LIU Xueyu¹, WANG Shaodi¹, MA Yucan¹, HOU Jie^{1,2}, HE Xugang^{1,2}

1.College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2.Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the
Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China

Abstract To assess the current status of plankton and fish resources in the Enshi Section of the Qingjiang River Basin, surveys and analyses of aquatic biological resources such as phytoplankton, zooplankton, and fish were carried out in January, April, and July 2023 in the mainstem of the Enshi Section of the Qingjiang River Basin and its tributaries, which include the Changpian River, Xiaoxi River, Zhongjian River, and Mashui River. A total of 100 species (including varieties) of phytoplankton were identified in 8 phyla, with 28 species belonging to the Chlorophyta and 19 species classified as dominant within the Cyanophyta. The species diversity, density, and biomass of phytoplankton showed an upward trend. Zooplankton were categorized into 4 groups, comprising 40 families and 55 genera, with 25 genera of Protozoa identified as the most abundant. Three species of zooplankton were found to be dominant, all belonging to the Protozoa. Although the number of zooplankton species increased, there were no significant changes in density or biomass. A total of 51 species of fish were collected, classified into 3 orders, 11 families, and 44 genera, with the Cypriniformes representing the largest number of species at 39. The dominant fish species included *Rhynchocypris oxycephalus*, *Pseudorasbora parva*, *Opsariichthys bidens* and *Hemiculter leucisculus*. The number of fish species in the Enshi Section of the Qingjiang River Basin decreased significantly compared to the historical data from 1987 and 1990, which recorded a total of 122 species. However, there has been an increase in species diversity compared to the survey data from 2020 to 2022, which identified 44 species. Fish in the Enshi Section of the Qingjiang River Basin tend to be miniaturized and exhibit low biodiversity. Rare fish species such as *Rhinogobio ventralis* and *Spinibarbus sinensis*, which produce drifting eggs, are in serious decline, but the population of rare fish that primarily produce adhesive eggs, such as *Schizothorax davidi*, *Euchiloglanis david*, and *Procypris rabaudi*, as well as economically important fish like *Cultrichthys erythropterus*, have shown signs of recovery. These changes are mainly related to the changes in hydrological conditions resulting from the development and construction of large-scale water conservancy projects. It is recommended that the habitat of stickleback egg-laying fishes, such as *Schizothorax davidi*, be protected and restored. Additionally, we recommend the regular implementation of artificial enhancement and the release of fishes species such as *R. ventralis*, *S. sinensis*, *Hypophthalmichthys molitrix*, and *Aristichthys nobilis*. These methods aim to improve aquatic biodiversity in the Enshi Section of the Qingjiang River Basin.

Keywords Qingjiang River Basin; fishery resources; phytoplankton; zooplankton; biodiversity

(责任编辑:边书京)