

专栏 长江大保护

DOI:10.14188/j.ajsh.20260205001

长江上游宜宾至合江江段鱼类群落结构及优势种分析

李茂华^{1,2}, 杨磊^{1,2}, 周波³, 汪斌³, 叶少文^{1,2*}, 张雪玲³, 姜伟^{1,2}

(1. 中国长江三峡集团有限公司中华鲟研究所, 三峡工程鱼类资源保护湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443100;

2. 中国长江三峡集团有限公司长江经济带生态环境国家工程研究中心, 湖北 武汉 430010;

3. 四川省农业科学院水产研究所, 四川 成都 610066)

摘要: 为探究“十年禁渔”实施初期长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区(宜宾-合江段)鱼类群落结构的变化特征,于2024年在保护区干流宜宾、江安、江阳、合江4个江段开展鱼类群落调查。通过分析鱼类物种组成、生态类型、优势度特征以及群落稳定性,评估禁渔背景下鱼类群落的阶段性响应。调查共采集鱼类5809尾,隶属4目18科59属84种,其中包括长江鲟(*Acipenser dabryanus*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)和长薄鳅(*Leptobotia elongata*)5种国家重点保护野生动物;长江上游特有鱼类23种,外来鱼类9种。鱼类群落以底层、杂食性和喜流水鱼类为主,优势种(IRI>1000)为长江鲟、铜鱼(*Coreius heterodon*)和瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachellii*)。群落整体Shannon-Wiener指数为3.38, Simpson优势度指数为0.95, Margalef种丰富度指数为9.59, Pielou均匀度指数为0.76。丰度-生物量比较曲线分析表明,各采样江段鱼类群落结构处于中度干扰状态。与禁渔前历史资料对比,结果显示,禁渔初期该保护区干流鱼类群落结构已出现一定程度的变化响应,珍稀特有鱼类物种数有所增加,优势种结构由小型鱼类为主转向包含中大型鱼类的复合格局,但整体仍处于结构调整的过渡阶段。本研究为认识长江禁渔长期鱼类群落响应特征提供了基础数据。

关键词: 长江上游; 鱼类组成; 群落结构; 优势种; 十年禁渔**中图分类号:** S932.4**文献标志码:** A**文章编号:** 2096-3491(2026)02-0135-14

Fish community structure and dominant species in Yibin-Hejiang section of the upper Yangtze River

LI Maohua^{1,2}, YANG Lei^{1,2}, ZHOU Bo³, WANG Bin³, YE Shaowen^{1,2*}, ZHANG Xueling³, JIANG Wei^{1,2}

(1. Hubei Key Laboratory of Three Gorges Project for Fish Resource Conservation, Chinese Sturgeon Research Institute of China Three Gorges Corporation, Yichang 443100, Hubei, China;

2. National Engineering Research Center for the Eco-Environment of the Yangtze River Economic Belt, China Three Gorges Corporation, Wuhan 430010, Hubei, China;

3. Fisheries Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, Sichuan, China)

Abstract: To evaluate the initial response of fish communities to the “Ten-Year Fishing Ban” in the National Nature Reserve for Rare and Endemic Fish in the Upper Yangtze River (Yibin - Hejiang section), a survey was conducted across four mainstream reaches (Yibin, Jiang'an, Jiangyang, and Hejiang) in 2024. We analyzed fish species composition, ecological types, dominance patterns, and community stability to assess post-ban ecological changes. A total of 5809 individuals representing 84 species, 59 genera, 18 families, and 4 orders were collected. Notable captures included 5

收稿日期: 2026-02-05 修回日期: 2026-03-30 接受日期: 2026-04-15

作者简介: 李茂华(1995-),男,硕士,工程师,主要从事鱼类保护生物学研究, E-mail: li_maohua@ctg.com.cn

*通信作者: 叶少文(1979-),男,博士,副研究员,主要从事鱼类生态学、生态保护与修复研究, E-mail: ye_shaowen@ctg.com.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC3204200); 三峡集团公司项目(NBZZ202200609)

引用格式: 李茂华, 杨磊, 周波, 等. 长江上游宜宾至合江江段鱼类群落结构及优势种分析[J]. 生物资源, 2026, 48(2): 135-148.

Li M H, Yang L, Zhou B, et al. Fish community structure and dominant species in the Yibin-Hejiang section of the upper Yangtze River [J]. Biotic Resources, 2026, 48(2): 135-148.

nationally key-protected wildlife species, namely *Acipenser dabryanus*, *Myxocyprinus asiaticus*, *Coreius guichenoti*, *Procypris rabaudi*, and *Leptobotia elongata*, along with 23 Yangtze-endemic fish species and 9 alien fish species. The fish community was characterized primarily by demersal, omnivorous, and rheophilic fishes. Dominant species ($IRI > 1000$) were identified as *Acipenser dabryanus*, *Coreius heterodon*, and *Pelteobagrus vachellii*. Community-level diversity indices were: Shannon-Wiener = 3.38, Simpson dominance = 0.95, Margalef richness = 9.59, and Pielou evenness = 0.76. Abundance-biomass comparison (ABC) curve analysis indicated that the fish community structures in all surveyed sections were in a state of moderate disturbance. Comparative analysis with pre-ban historical data revealed early signs of recovery: the richness of rare and endemic species increased, and the dominance structure shifted from small-bodied species to a complex assemblage involving medium- and large-sized fish. However, the community structure generally remained in a transitional adjustment phase. These findings provide essential baseline data for monitoring the long-term ecological trajectories of fish communities under the fishing ban.

Key words: upper Yangtze River; fish composition; community structure; dominant species; ten-year fishing ban

0 引言

长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区于2005年由国务院批准成立,跨越四川、贵州、云南、重庆四省市,河流总长度1138.31 km,总面积31 713.8 hm²^[1]。历史调查显示,保护区内共记录鱼类199种,其中长江上游特有鱼类70种,多种鱼类被列入国家和省级重点保护名录^[2]。保护区干流江段位于金沙江向家坝水电站与三峡库区之间,始于金沙江向家坝水电站中轴线下1.8 km处,止于重庆地维大桥,是目前长江上游少数仍保持自然河流生态特征的连续河段之一^[3],同时与赤水河等重要支流共同构成了长江上游水生生物多样性保护的核心区域。受地形地貌、水动力条件和河床底质差异的影响,该河段生境类型多样,为多种珍稀和特有鱼类提供了重要的栖息和繁殖条件。

近几十年来,受水域污染、水工程建设、过度捕捞及外来物种入侵等多重人类活动影响,长江流域生态系统结构和功能发生显著改变,天然鱼类资源持续衰退^[4]。为缓解捕捞压力、促进水生生物资源恢复,自2021年1月1日起,长江全流域正式实施“十年禁渔”政策,该举措对拯救濒危水生生物、维护生物多样性、修复水域生态系统具有重大意义^[5]。禁渔实施前,针对长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流宜宾至巴南江段的调查结果显示,该区域鱼类群落结构已发生明显变化,小型广适性鱼类占据优势地位^[6],为评估禁渔实施后的变化提供了重要参照。

在禁渔政策实施背景下,捕捞压力的解除在一定程度上相当于一次大尺度人为干扰的消退过程,为研究鱼类群落结构对外界压力变化的生态响应提供了重要窗口。然而,鱼类群落恢复通常具有明显的阶段性特征,其结构变化可能受到物种生活史特

征、生境条件及人为干预措施(如增殖放流)的共同影响。因此,有必要在禁渔实施初期,通过系统调查阐明保护区干流鱼类群落结构及优势种组成的变化特征。

基于此,本研究以长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区宜宾-合江段为研究对象,于2024年开展鱼类群落调查,系统分析鱼类物种组成、多样性水平、优势种结构及群落稳定性特征,并结合历史资料对比,探讨禁渔实施初期鱼类群落结构的阶段性变化及其空间差异特征,为认识长江禁渔初期生态响应提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样时间

研究区域位于长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区宜宾-合江段,该河段处于金沙江向家坝水电站下游与三峡库区上游之间,河道以峡谷-宽谷交替分布为主,水动力条件复杂,河床底质以卵石、砾石为主,局部夹杂砂质底。沿程汇入多条支流,不同河段在水动力条件和生境类型上存在一定差异。根据河段地理位置及生境特征,按长江干流上游至下游的纵向水文梯度依次在保护区干流设置4个调查江段,具体位置为:李庄镇(104.78°E, 28.80°N)、江安县(105.09°E, 28.72°N)、江阳区(105.43°E, 28.87°N)、合江县(105.83°E, 28.82°N)。鱼类群落调查于2024年开展,共进行2次野外调查,分别为春季(2024年4月—5月)和秋季(2024年9月—10月)。每次调查持续数日,各调查江段在相近水文条件下同步开展采样,以降低季节性水文变化对调查结果的影响。

1.2 鱼类群落采样

鱼类群落调查在当地渔业主管部门的监督下进行,根据科研捕捞许可要求采用定置刺网和流刺网

进行采样。定置刺网规格为长 100 m、高 2 m,网目尺寸分别为 2 cm、6 cm、10 cm 和 14 cm;流刺网规格为长 100 m、高 2 m,网目尺寸为 5 cm 和 10 cm。每个采样区域的上下游 100 m 范围内,根据具体生境类型(如岸边、回水区等)布设 4 个定置刺网,采样时间为 17:00 至次日 07:00;流刺网每天上午放网一次,每次布设时长为 30 min。每次采样持续 7~10 d。

1.3 样品鉴定与处理

采集到的鱼类样品在现场进行分类、测量和处理。物种鉴定和生态类型划分主要依据《四川鱼类志》^[7]、《中国动物志 硬骨鱼纲》^[8-10]、《中国内陆鱼类物种与分布》^[11]等文献。根据鱼类主要栖息水层,划分为中下层、中上层和底层鱼类;根据鱼类对水流环境的偏好,划分为喜流水和喜静缓水鱼类;根据鱼类洄游习性,划分为河道洄游性、江湖洄游性和定居性鱼类;根据鱼卵形态结构及孵化所需环境条件,划分为产漂流性卵、黏性卵、沉性卵和喜贝产卵 4 大类群;根据鱼类成年阶段摄食类型,划分为植食性、肉食性、杂食性鱼类。对所有个体逐尾进行生物学测量,记录全长和体长(精确至 1 mm)以及体重(精确至 0.1 g)。完成测量后,大多数活体样本和国家重点保护鱼类立即放回原水域。对于现场无法准确鉴定的个体带回实验室进行复核和生物学测量。

1.4 数据分析

1.4.1 群落多样性与优势种分析

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')^[12]、Pielou 均匀度指数(J')^[13]、Simpson 优势指数(X')^[14]和 Margalef 丰富度指数(D')^[15]评价鱼类群落多样性特征,计算公式如下:

$$\begin{cases} H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i; J' = \frac{H'}{\ln S} \\ X' = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2; D' = \frac{S-1}{\ln N} \end{cases} \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 种物种数量占总数量的比例; N 为总物种数量; S 为鱼类种类数。

通过相对重要性指数(index of relative importance, IRI)^[16]对鱼类优势种进行描述。将 $IRI \geq 1000$ 的物种定为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 的物种定为常见种, $10 \leq IRI < 100$ 的物种定义为一般种, $IRI < 10$ 的物种定为少见种。IRI 计算公式如下:

$$IRI = (N_i + W_i) \times F_i \quad (2)$$

式中, N_i 为第 i 种鱼的数量百分比; W_i 为第 i 种鱼的重量百分比; F_i 为第 i 种鱼出现的频率。

1.4.2 群落结构分析

基于各采样单元鱼类物种相对丰度数据,采用 Bray-Curtis 距离构建群落相似性矩阵,并进行非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling, NMDS)排序和等级聚类分析,以揭示不同调查江段鱼类群落结构的差异特征。NMDS 分析主要以 Stress 值评价排序结果的可靠性。

1.4.3 群落稳定性分析

采用丰度-生物量比较曲线(abundance-biomass comparison, ABC)法^[17]评价群落的稳定性及受干扰程度。该方法通过 W 统计量来表示:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50(S-1)} \quad (3)$$

式中, A_i 和 B_i 分别为第 i 种生物的丰度和生物量的累计百分比; S 为出现的物种总数。当 W 为正值时,生物量曲线位于丰度曲线之上,群落较为稳定; W 处于零附近,两条曲线出现相交,群落受到中度干扰; W 为负值时,则丰度曲线位于生物量曲线之上,群落受到严重干扰。

1.4.4 数据处理与制图

所有调查数据的整理、校验与标准化在 WPS Office 2024 中完成,统计分析工作均在 R 4.4.1 软件中开展,主要使用 vegan 和 ggplot2 等程序包进行群落分析与可视化绘图。

2 结果与分析

2.1 物种组成与生态类型

本次调查共采集鱼类 5 809 尾,总生物量 1 369.94 kg,隶属于 4 目 18 科 59 属 84 种(表 1)。从分类组成看,鲤形目(Siluriformes)物种数最多,共 61 种,占总物种数的 72.62%;其次为鲇形目(Cypriniformes)12 种和鲈形目(Perciformes)9 种(分别占 14.29% 和 10.71%)。在科级水平上,鲤科(Cyprinidae)物种数最多,为 48 种,占总物种数的 57.1%;其次为鲮科(8 种,9.52%)和鳅科(6 种,7.14%)。

本研究共记录长江上游特有鱼类 23 种,占总物种数的 27.38%;外来鱼类 9 种,占比 10.71%。其中,国家一级重点保护野生动物为长江鲟;国家二级重点保护野生动物包括胭脂鱼(Myxocyprinus asiaticus)、岩原鲤(Procypris rabaudi)、圆口铜鱼(Coreius guichenoti)和长薄鳅(Leptobotia elongata)。为明确研究江段鱼类物种组成的年际变化特征,本次研究将调查结果与同江段已发表的历史调查数据进行系统对比,对比内容涵盖调查方法核心参数与群落物种组成关键指标,详见表 2。

从生态类型组成看,调查江段鱼类群落以底层鱼类为主,共47种,占物种总数的55.95%,中下层鱼类和中上层鱼类分别为20种(23.81%)和17种(20.24%);喜流水鱼类有49种,占比58.33%;产卵类型以沉性卵和漂流性卵为主,杂食性鱼类占据优势,共51种(60.71%)。

表1 长江上游宜宾至合江江段渔获物组成

Table 1 Composition of fish catch in the Yibin to Hejiang section of the upper Yangtze River

鱼类物种	生态类型	丰度/尾	生物量/g	相对重要性指数	李庄镇	江安县	江阳区	合江县
鲟形目(Acipenseriformes)								
鲟科(Acipenseridae)								
杂交鲟▲	B;R;V;O	12	31 980.8	40.12	+	+	+	
长江鲟(<i>Acipenser dabryanus</i>)★	B;R;V;O	585	398 488.2	3 434.97	+	+	+	+
鲤形目(Cypriniformes)								
鲤科(Cyprinidae)								
白甲鱼(<i>Onychostoma sima</i>)	B;R;D;O	28	14 578.5	40.69	+	+	+	+
半鲮(<i>Hemiculterella sauvagei</i>)★	U;N;D;O	4	370	0.34	+			
达氏鲃(<i>Culter dabryi</i>)	U;N;D;C	53	6 438	36.38	+		+	+
蒙古鲃(<i>Culter mongolicus</i>)	U;N;D;C	64	13 476.8	87.81	+	+	+	+
瓢鱼(<i>Pseudolaubuca sinensis</i>)	U;N;D;O	243	13 790.6	254.94	+	+	+	+
翘嘴鲃(<i>Culter alburnus</i>)	U;N;D;C	75	8 733.5	81.20	+	+	+	+
贝氏鲮(<i>Hemiculter bleekeri</i>)	U;N;D;O	29	883.7	4.95				+
鲮(<i>Hemiculter leucisculus</i>)	U;N;D;O	202	5 139.3	114.90	+	+	+	+
张氏鲮(<i>Hemiculter tchangi</i>)★	U;R;D;O	6	471.4	0.97	+		+	+
草鱼(<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	L;R;S-P;H	3	5 421.1	2.35		+	+	+
赤眼鲮(<i>Squaliobarbus curriculus</i>)	U;N;S-P;O	3	270.7	0.38	+	+		
中华倒刺鲃(<i>Spinibarbus sinensis</i>)	B;R;S-P;O	94	87 407.4	435.01	+	+	+	+
厚颌鲂(<i>Megalobrama pellegrini</i>)★	L;R;D;O	53	16 103.9	65.93	+	+	+	+
团头鲂(<i>Megalobrama amblycephala</i>)▲	L;N;V;H	5	3 282	2.29	+		+	
黄尾鲂(<i>Xenocypris davidi</i>)	L;R;S-P;O	98	66 965.7	242.25	+	+	+	+
细鳞鲂(<i>Xenocypris microlepis</i>)	L;R;V;O	3	1 075	0.46			+	
宜宾鲂(<i>Xenocypris fani</i>)★	L;R;V;O	1	148	0.05	+			
华鲮(<i>Sinilabeo rendahli</i>)★	B;R;V;H	10	3 733.8	5.46	+	+	+	+
唇鲮(<i>Hemibarbus labeo</i>)	B;N;D;C	231	24 665.5	385.14	+	+	+	+
花鲮(<i>Hemibarbus maculatus</i>)	B;N;D;C	10	1 607.3	3.05		+	+	+
鲫(<i>Carassius auratus</i>)	L;R;V;O	175	26 721.3	296.05	+	+	+	+
高体近红鲂(<i>Ancherythroculter kurematsui</i>)★	U;R;V;C	50	3 182.5	32.60	+	+	+	+
黑尾近红鲂(<i>Ancherythroculter nigrocauda</i>)★	U;R;V;C	62	7 461.9	56.56	+	+	+	+
汪氏近红鲂(<i>Ancherythroculter wangi</i>)★	U;R;V;C	1	180	0.05	+			
鲤(<i>Cyprinus carpio</i>)	B;R;V;O	50	60 333.4	184.73	+	+	+	+
散鳞镜鲤(<i>Cyprinus carpio specularis</i>)▲	B;R;V;O	2	1 321	0.46	+		+	
鲢(<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	U;R;S-P;H	23	29 833.7	72.24	+	+	+	+
齐口裂腹鱼(<i>Schizothorax prenanti</i>)★	B;N;V;H	1	530	0.10	+			
宽鳍鱮(<i>Zacco platypus</i>)	U;R;D;O	33	783	5.48	+	+	+	
麦瑞加拉鲮(<i>Cirrhinus mrigala</i>)▲	B;N;D;O	5	3 359	1.16			+	+
马口鱼(<i>Opsariichthys bidens</i>)	U;R;D;O	1	30	0.03	+			
墨头鱼(<i>Garra imberba</i>)	B;R;D;O	4	1 562	1.28	+	+	+	
裸腹片唇鲃(<i>Platysmacheilus nudiventris</i>)★	B;R;S-P;O	3	23.1	0.19				+

鱼类物种	生态类型	丰度/尾	生物量/g	相对重要性指数	李庄镇	江安县	江阳区	合江县
寡鳞瓢鱼(<i>Pseudolaubuca engraulis</i>)	U;N;S-P;O	29	963	8.99	+		+	
宜昌鳅鮀(<i>Gobiobotia filifer</i>)	B;R;S-P;C	5	100	0.16	+			
华鯪(<i>Sarcocheilichthys sinensis</i>)	L;N;S-P;O	4	173.6	0.43			+	+
光唇蛇鮡(<i>Saurogobio punctatus</i>)	B;R;S-P;O	17	686.5	6.01	+		+	+
蛇鮡(<i>Saurogobio dabryi</i>)	B;R;S-P;O	291	9167.9	448.32	+	+	+	+
似鲮(<i>Pseudobrama simoni</i>)	L;N;S-P;O	195	14251.9	162.00	+	+	+	+
铜鱼(<i>Coreius heterodon</i>)	L;R;S-P;O	565	187 674.6	1 643.92	+	+	+	+
圆口铜鱼(<i>Coreius guichenoti</i>)★	L;R;S-P;O	22	10 557.2	24.20	+	+		+
吻鮡(<i>Rhinogobio typus</i>)	B;R;S-P;O	330	38 442.9	521.13	+	+	+	+
圆筒吻鮡(<i>Rhinogobio cylindricus</i>)★	B;R;S-P;O	105	20 837.5	122.63	+	+	+	+
银鮡(<i>Squalidus argentatus</i>)	L;R;S-P;O	300	6 766.2	407.00	+	+	+	+
鲮(<i>Aristichthys nobilis</i>)	U;R;S-P;C	11	17 158.9	15.18	+	+	+	+
缺须鲮(<i>Acheilognathus imberbis</i>)	L;N;S;O	3	28	0.19			+	
岩原鲤(<i>Procypris rabaudi</i>)★	B;R;V;O	155	37 300.9	397.24	+	+	+	+
圆吻鲴(<i>Distoechodon tumirostris</i>)	L;N;S-P;O	42	29 791.3	66.09	+	+		
胭脂鱼科(Catostomidae)								
胭脂鱼(<i>Myxocyprinus asiaticus</i>)★	L;R;D;O	71	33 975.6	207.85	+	+	+	+
鳅科Cobitidae)								
大鳞副泥鳅(<i>Paramisgurnus dabryanus</i>)	B;N;D;O	2	49.4	0.13				+
短体副鳅(<i>Homatula potaninigünther</i>)★	B;R;D;O	1	6.6	0.03				+
红尾副鳅(<i>Homatula variegata</i>)	B;R;D;O	4	32.9	0.13				+
花斑副沙鳅(<i>Parabotia fasciata</i>)	B;R;S-P;O	1	31.2	0.03				+
长薄鳅(<i>Leptobotia elongata</i>)★	B;R;S-P;O	15	1 575.5	3.93				+
中华沙鳅(<i>Botia superciliaris</i>)	B;R;S-P;O	76	1 101.5	14.62				+
平鳍鳅科(Homalopteridae)								
短身金沙鳅(<i>Jinshaia abbreviata</i>)★	B;R;S-P;O	1	26	0.03	+			
犁头鳅(<i>Lepturichthys fimbriata</i>)	B;R;S-P;O	59	396.5	14.66				+
四川华吸鳅(<i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>)★	B;R;S-P;O	39	219.5	6.03		+		+
西昌华吸鳅(<i>Sinogastromyzon sichangensis</i>)★	B;R;V;O	18	48.8	1.10				+
中华金沙鳅(<i>Jinshaia sinensis</i>)★	B;R;S-P;O	6	72.7	0.95				+
鲇形目(Siluriformes)								
鲇科(Ictaluridae)								
斑点叉尾鲇(<i>Ictalurus punctatus</i>)▲	B;N;V;O	5	2 645.7	2.45	+		+	
鲢科(Bagridae)								
大鳍鲢(<i>Mystus macropterus</i>)	B;R;D;C	35	3 016.8	15.88		+		+
光泽黄颡鱼(<i>Pelteobagrus nitidus</i>)	L;N;D;C	46	1 108.2	16.84		+	+	+
黄颡鱼(<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	B;N;D;C	7	388.5	0.78	+			+
瓦氏黄颡鱼(<i>Pelteobagrus vachelli</i>)	B;N;D;C	737	60 234	1 498.60	+	+	+	+
富氏拟鲢(<i>Pseudobagrus fui</i>)	B;R;D;O							
切尾拟鲢(<i>Pseudobagrus truncatus</i>)	B;N;D;C	19	171.2	1.79				+
粗唇鲢(<i>Leiocassis crassilabris</i>)	B;N;D;C	160	11 239.1	194.42	+	+	+	+
长吻鲢(<i>Leiocassis longirostris</i>)	B;R;D;C	16	7 319.6	15.63	+	+	+	+
胡子鲇科(Clariidae)								

续表								
鱼类物种	生态类型	丰度/尾	生物量/g	相对重要性指数	李庄镇	江安县	江阳区	合江县
胡子鲇(<i>Clarias fusus</i>)▲	B;N;V;C	1	140	0.05	+			
鲇科(Siluridae)								
南方鲇(<i>Silurus meridionalis</i>)	B;N;D;C	10	8 126.9	13.43	+	+	+	
钝头鮡科(Amblycipitidae)								
拟缘鮡(<i>Liobagrus marginatoides</i>)★	B;R;V;C	8	41.4	1.73		+	+	+
鮡科(Sisoridae)								
中华纹胸鮡(<i>Glyptothorax sinensis</i>)	B;R;D;O	55	416	15.43				+
鲈形目(Percoidei)								
鲈科(Serranidae)								
斑鲈(<i>Siniperca scherzeri</i>)	L;R;P;C	5	1 090	0.87	+	+		
大眼鲈(<i>Siniperca kneri</i>)	L;N;P;C	41	6 122.4	56.62	+	+	+	+
鲈(<i>Siniperca chuatsi</i>)	L;N;P;C	14	1 621.9	5.04	+	+		+
丽鱼科(Cichlidae)								
罗非鱼(<i>Oreochromis niloticus</i>)▲	B;N;D;O	4	177.1	0.29		+		
沙塘鳢科(Eleotridae)								
河川沙塘鳢(<i>Odontobutis obscurus</i>)▲	B;N;V;C	1	14.4	0.03		+		
小黄鲈鱼(<i>Micropercops swinhonis</i>)	B;N;V;C	1	1.1	0.03				+
鲈科(Percidae)								
梭鲈(<i>Sander lucioperca</i>)▲	L;N;V;C	8	12 942.4	13.29	+		+	
鳢科(Channidae)								
乌鳢(<i>Channa argus</i>)	B;N;P;C	1	1 030	0.16				+
虾虎鱼科(Gobiidae)								
子陵吻虾虎鱼(<i>Rhinogobius giurinus</i>)	B;N;V;C	45	277	11.16	+	+		+

★: 长江上游特有鱼类; ▲: 外来入侵物种; U: 中上层鱼类; L: 中下层鱼类; B: 底层鱼类; N: 喜静缓水鱼类; R: 喜流水鱼类; P: 产浮性卵; S-P: 产漂流性卵; V: 产黏性卵; D: 产沉性卵; S: 喜贝产卵; H: 植食性鱼类; C: 肉食性鱼类; O: 杂食性鱼类

★: endemic fish species to the upper Yangtze River; ▲: alien invasive species; U: upper water column fishes; L: mid-lower water column fishes; B: demersal fishes; N: fishes preferring stagnant and slow-flowing water; R: rheophilic fishes; P: pelagic egg spawners; S-P: semi-buoyant drifting egg spawners; V: adhesive egg spawners; D: demersal egg spawners; S: bivalve-dependent spawners; H: herbivorous fishes; C: carnivorous fishes; O: omnivorous fishes

表 2 研究江段不同时期调查方法与群落特征对比表							
Table 2 Comparison of survey methods and community characteristics in different periods of the study reach							
调查江段	调查时间与频次	采样方法	总物种数	长江上游特有物种数	入侵物种	主要优势种	文献来源
长江中上游干流宜宾-万州江段	2000 年—2006 年	三层刺网、滚钩、小钩、手抄网、扳曹、沉网、撒网、流刺网、虾笼	119	18	7	铜鱼、圆口铜鱼、瓦氏黄颡鱼和南方鲇	[18]
保护区干流宜宾-江津江段	2010 年 9 月—11 月、2011 年 5 月—7 月、9 月—11 月及 2012 年 5 月—7 月	流刺网、定置刺网、撒网、地笼、网及饵料	111	27	6	铜鱼、南方鲇、长鳍吻鮡和圆口铜鱼	[19]
保护区干流宜宾-巴南江段	2017 年 7 月—8 月, 10 月—12 月; 2018 年 7 月—8 月, 10 月—11 月; 2019 年 7 月, 9 月—11 月各一次	流刺网、定置刺网、地笼、百袋网以及濠网	134	27	12	瓦氏黄颡鱼、蛇鮡和吻鮡	[6]
保护区干流宜宾-合江江段	2024 年 4 月—5 月和 2024 年 9 月—10 月各 1 次, 每次 7~10 d	定置刺网(2、6、10、14 cm)、流刺网(5、10 cm)	84	23	9	长江鲟、铜鱼和瓦氏黄颡鱼	本文

2.2 鱼类群落多样性及空间分异特征

综合4个采样江段的调查数据计算,研究区域鱼类群落整体多样性特征如下:Shannon-Wiener多样性指数为3.38,Simpson多样性指数为0.95,Margalef种类丰富度指数为9.59,Pielou均匀度指数为0.76。不同采样区域鱼类群落多样性指数存在一定差异,其中Shannon-Wiener指数在2.74~3.24内变化,以合江县最高、江安县最低;Margalef种类丰富度指数范围为6.52~8.01,以李庄镇最高;Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数在不同江段间变化幅度相对较小,说明各江段鱼类群落均匀度整体较为接近,而主要差异体现在物种丰富度和优势种构成上(表3)。

表3 保护区各采样区域鱼类群落多样性指数的比较
Table 3 Comparison of fish community diversity indices among the sampling sites in the nature reserve

多样性指数	李庄	江安	江阳	合江
Shannon-Wiener指数	3.12	2.74	2.79	3.24
Simpson指数	0.93	0.89	0.90	0.94
Margalef指数	8.01	6.78	6.52	7.60
Pielou均匀度指数	0.78	0.71	0.71	0.79

从物种组成看,不同采样区域鱼类群落具有较明显的空间异质性。合江县记录鱼类59种,为4个区域中最多;江安县记录47种,为最少;4个采样区域共有物种29种。总体来看,保护区干流鱼类群落多样性及物种组成沿李庄-江安-江阳-合江的河流纵向序列表现出一定分异特征,其中下游江段物种组成的独特性相对更高。

为进一步比较不同年份和不同季节鱼类群落多样性指标的变化特征,对各采样江段物种数和Shannon-Wiener指数进行了箱线分布展示(图1)。结果表明,鱼类群落多样性在空间和时间尺度上均存在一定波动。就空间格局而言,不同年份春、秋两季的物种数和Shannon-Wiener指数总体均表现出由上游向下游变化的趋势,其中合江江段多数情况下保持较高水平。就季节差异而言,同一江段春、秋两季指标存在一定变化,说明鱼类群落除纵向空间分异外,还具有一定季节动态。

2.3 鱼类群落优势种组成及其时空变化特征

采用相对重要性指数(IRI)对各采样区域鱼类群落优势结构进行分析,结果显示不同采样区域优势种构成差异明显(图2)。合江县以铜鱼(*Coreius heterodon*)为绝对优势种(IRI=5140.7),瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachellii*)和圆筒吻鮡(*Rhinogobio*

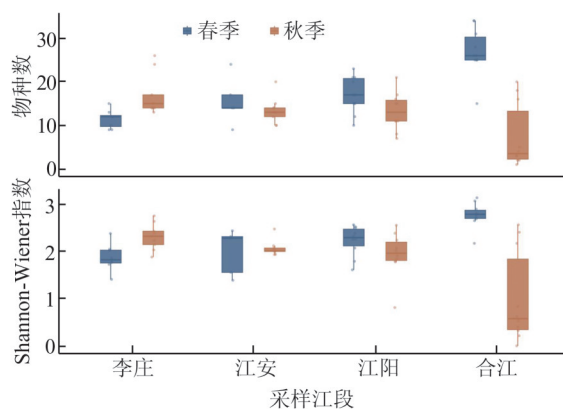


图1 2024年宜宾-合江江段春秋两季鱼类群落物种数和Shannon-Wiener指数箱线图

Figure 1 Boxplots of species richness and Shannon-Wiener diversity index of fish communities in spring and autumn in the Yibin - Hejiang section of the upper Yangtze River in 2024

cylindricus)亦表现出较高优势度。李庄镇同样以铜鱼为第一优势种(IRI=3909.3),长江鲟(*Acipenser dabryanus*)和吻鮡(*Rhinogobio typus*)的优势度较高。江安县的优势种结构相对分散,瓦氏黄颡鱼的IRI值最高(IRI=3367.2),长江鲟和唇鲮(*Hemibarbus labeo*)次之。江阳区呈现长江鲟高度优势格局,其IRI值高达7339.5,明显高于其他物种。

综合来看,调查江段不同采样区域分别形成了以长江鲟、铜鱼或瓦氏黄颡鱼为主导的优势种结构类型,显示优势格局在空间上存在差异。

为进一步揭示主要优势种在不同江段及季节间的替代变化,对主要物种IRI值进行了热图展示(图3)。结果表明,不同江段优势种组成存在一定程度波动。总体上,铜鱼在李庄和合江江段具有较高相对重要性,瓦氏黄颡鱼在江安江段优势较为突出,而长江鲟在江阳江段部分季节中表现出较高IRI值。从时间变化看,同一江段在春、秋两季间主要优势种IRI值存在一定波动,但总体格局保持相对一致,说明保护区鱼类群落优势结构在空间分异基础上呈现一定的季节动态。

2.4 群落结构与稳定性分析

为从整体群落结构层面分析不同江段鱼类群落的空间差异,基于各采样区域鱼类物种相对丰度数据,采用Bray-Curtis距离进行NMDS排序分析(图4)。采用NMDS揭示群落结构的空间差异特征结果显示,不同采样区域在二维排序空间中呈现出一定程度的分离趋势,表明各江段鱼类群落整体结构在空间上存在差异。NMDS分析的Stress值为0.216,接近0.2的可接受上限^[20],排序结果可供参考但需结合聚类分析综合解读。

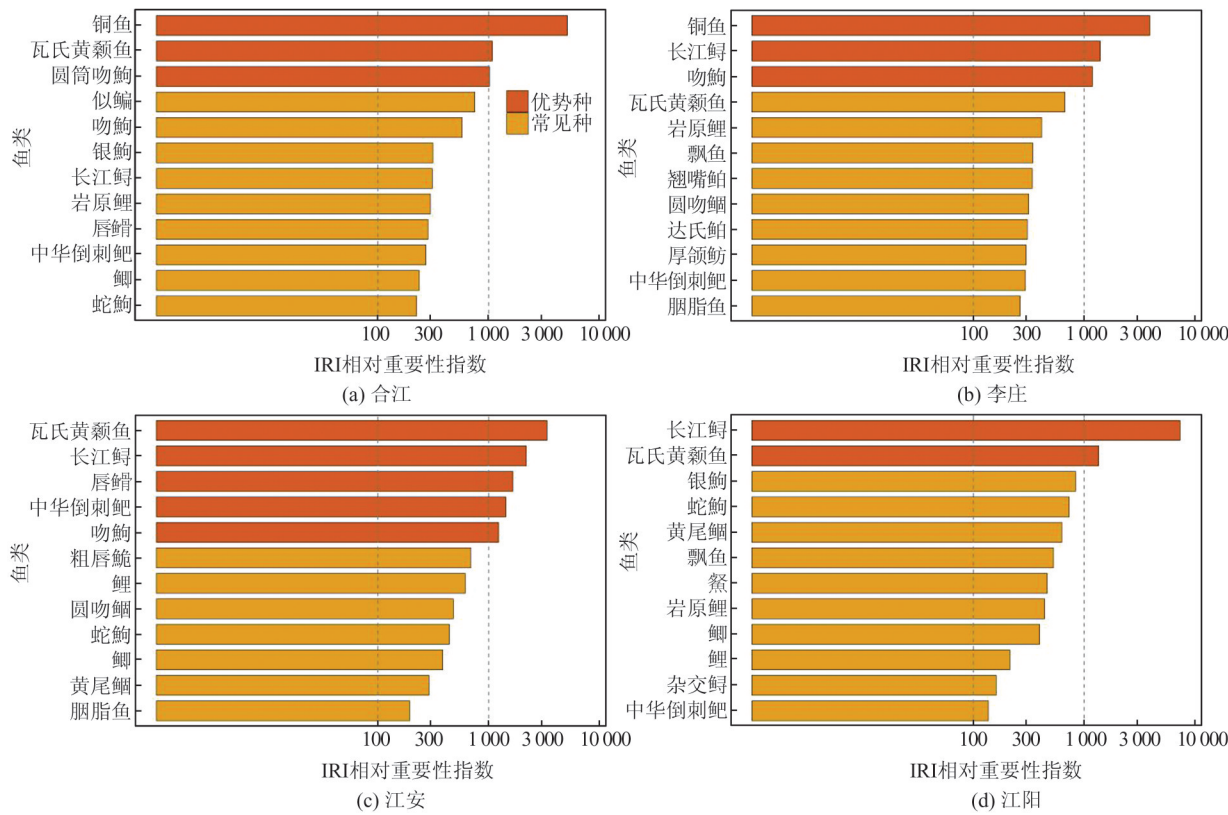


图2 保护区各采样区域鱼类优势种、常见种和一般种的相对重要性指数(IRI)分布

Figure 2 Distribution of the index of relative importance (IRI) for dominant, common, and general fish species at each sampling region in the nature reserve

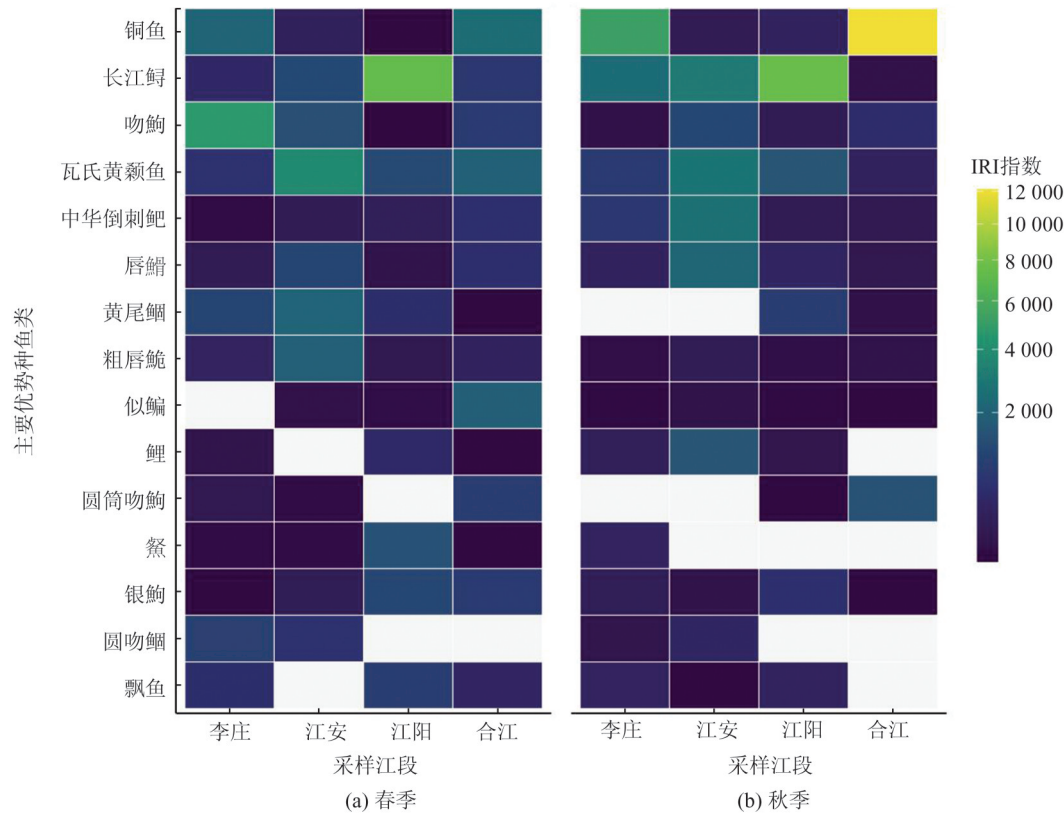


图3 2024年宜宾-合江江段春秋两季主要鱼类物种相对重要性指数(IRI)热图

Figure 3 Heatmap of the index of relative importance (IRI) of major fish species in spring and autumn in the Yibin-Hejiang section of the upper Yangtze River in 2024

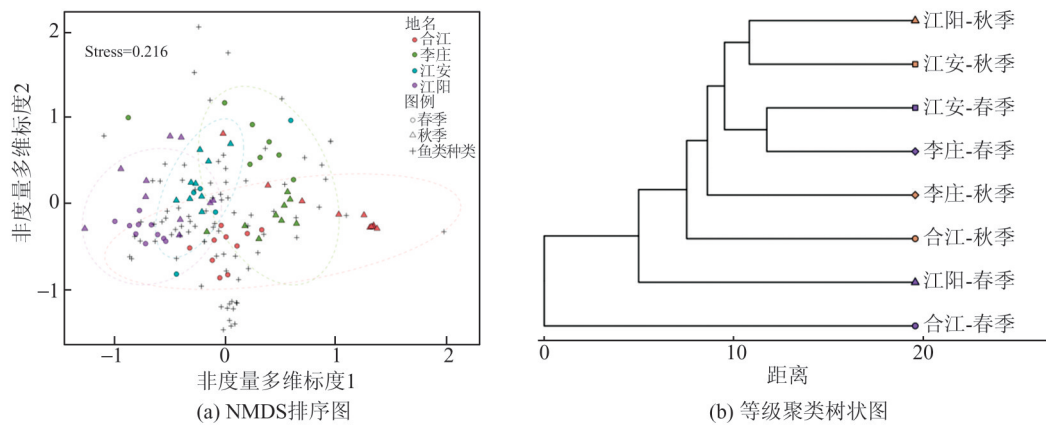


图4 保护区各采样区域鱼类群落结构NMDS与等级聚类图

Figure 4 NMDS and hierarchical cluster plot of fish community structure in different sampling areas of the nature reserve

为进一步验证群落结构相似性关系,基于相同距离矩阵开展等级聚类分析(图4)。聚类结果与NMDS排序结果总体一致,不同采样区域在群落结构相似性上呈现出分组特征,其中李庄江段与江安江段聚为一类,而合江江段与其他江段的相似性相对较低。

采用丰度-生物量比较(Abundance-biomass

comparision)曲线法对各采样区域鱼类群落稳定性进行评价(图5)。结果显示,4个采样区域的W值均趋近于零,表明各采样区域的鱼类群落目前均处于中度干扰状态。

不同采样区域ABC曲线形态存在一定差异。李庄镇与江阳区总体表现为生物量曲线位于丰度曲线之上,但在前段仍可见曲线接近或局部交叉;合江

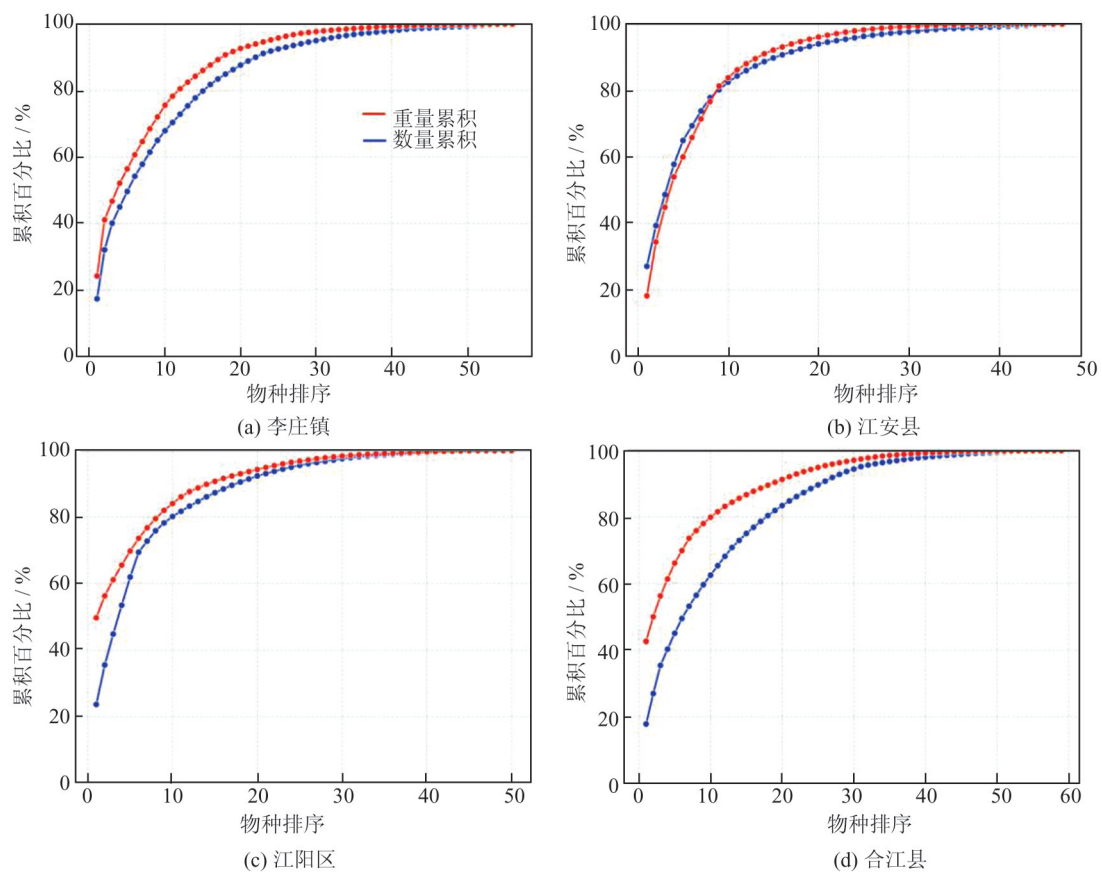


图5 保护区各采样区域鱼类群落丰度-生物量累积曲线

Figure 5 Abundance-biomass comparison (ABC) curves for fish communities in different sampling areas of the nature reserve

县前段累积生物量上升较快,前10位物种的累积生物量占比达到80%;江安县两条曲线在前段出现交叉,丰度与生物量在优势物种间的分配相对均衡。总体来看,各江段ABC曲线均未表现出生物量曲线长期稳定高于丰度曲线的特征。

3 讨论

3.1 鱼类物种组成的变化

长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区长期被认为是长江上游鱼类多样性保持的关键区域。长江水系中有124种长江上游特有鱼类,局限分布上游或者必须依靠上游的生态环境完成其生活史^[1]。本研究在宜宾-合江江段共调查到鱼类84种,物种数明显低于2010年—2012年(111种)^[19]和2017年—2019年(134种)^[6]的调查结果,总物种数的差异主要受调查方法异质性影响:历史调查开展于保护区全面禁渔前,通过渔民使用了多类型采样网具,且调查时间尺度更长,对全生境鱼类的覆盖度更广。而本次调查严格遵循现行科研捕捞要求,仅采用许可范围内的刺网类渔具,受网具选择性限制,与历史调查结果不具备完全的直接同比性,尤其对小型底栖鱼类(如鳅类、虾虎鱼类)和个体较小的幼鱼捕获效率较低,底栖小型鱼类的物种数和丰度可能被低估。

然而,若从物种类型结构而非单纯物种数量的角度分析,本研究结果仍呈现出积极响应。禁渔前长江渔业资源与环境调查结果表明,长江上游干流珍稀特有鱼类物种数持续减少^[21]。相比之下,本研究记录到23种长江上游特有鱼类,明显高于禁渔前2020年宜宾至江津江段记录的13种^[22],与赤水河、长江中游等区域禁渔初期珍稀特有鱼类逐步恢复的研究结果较为一致^[23-24]。这一现象表明,禁渔实施初期,特有鱼类在空间分布层面已出现恢复迹象。需要强调的是,本研究中新记录或重现的部分特有鱼类(如宜宾鲃、汪氏近红鲃等)多以单个或极少数个体出现,说明其种群规模仍然较小,尚未形成稳定补充。类似现象亦在长江中游和鄱阳湖流域禁渔初期研究中被观察到^[25-26],提示禁渔对物种分布恢复的响应往往先于种群数量的显著增长。此外,本研究记录到9种外来鱼类,如杂交鲟、斑点叉尾鲟等,多为水产养殖的引种。虽然目前数量稀少,但由于其生长速度快、适应能力强,仍会对本地生态系统构成潜在的生态风险^[27-28]。

3.2 鱼类优势种转变、纵向分异及群落生态特征

优势种组成的变化被认为是反映鱼类群落对外界干扰响应最为敏感的指标之一^[29]。禁渔前,宜宾-

合江江段鱼类群落为瓦氏黄颡鱼、蛇鮈、吻鮈等小型、生命周期较短且环境适应性强的物种为主,这一特征被普遍视为长期捕捞压力下群落“小型化”和优势种单一化的表现^[29-30]。本研究结果显示,在禁渔实施初期,长江鲟和铜鱼等中大型鱼类已在多个江段中占据较高的相对重要性,说明保护区鱼类群落优势结构已出现一定程度的调整,群落开始表现出由小型耐扰性种类占优向中大型鱼类与特有鱼类共同占优的复合格局转变趋势。类似现象在长江上游其他江段、嘉陵江以及沅水流域禁渔初期研究中亦有报道,表明在捕捞压力减弱后,中大型、长生命周期鱼类相对优势回升,往往是群落恢复的重要表征之一^[31-33]。进一步来看,本研究显示保护区宜宾-合江江段鱼类群落沿河流纵向存在较明显的空间分异。不同江段不仅在物种数和多样性指数上存在差异,在优势种组成及其相对重要性上也表现出明显不同。根据IRI分析结果,李庄和合江江段均以铜鱼为主要优势种,江安县以瓦氏黄颡鱼优势较为突出,江阳区则呈现长江鲟高度优势格局。这一结果与NMDS排序和等级聚类分析所揭示的群落分异特征相一致,说明保护区不同江段鱼类群落并非均质分布,而是随着沿程环境变化形成了较稳定的空间分异格局。造成这种纵向分异格局的原因,可能与河段间生境异质性差异密切相关。已有研究表明,长江上游保护区干流不同江段在河道地貌、水动力条件、底质组成及栖息地结构等方面存在明显差异^[1-2]。上游和中游部分江段受河道形态及局部生境条件影响,群落组成相对接近;而下游江段由于支流汇入、水流条件变化及生境类型更加复杂,往往表现出更高的群落异质性和更复杂的物种组合^[34-35]。因此,优势种在不同江段间的空间替代,实质上反映了鱼类对不同栖息环境和资源利用条件的响应,也提示禁渔背景下群落恢复并不是同步发生的,而是沿河流纵向呈现出一定的分区化特征。此外,从群落生态特征看,本研究鱼类群落仍以底层、杂食性和喜流水鱼类为主,这与该保护区河道蜿蜒、滩沱相间、水流缓急交替、底质复杂的生境特征密切相关^[36]。复杂底质和较高溶解氧条件为底层鱼类提供了适宜栖息空间,多样化流态则有利于喜流水鱼类维持较高比例,而杂食性鱼类占优则说明该江段鱼类对多样化食物资源具有较强适应性^[37]。在此基础上,铜鱼、长江鲟和瓦氏黄颡鱼等物种在不同江段中占据主导地位,说明禁渔后鱼类群落已不再完全由少数耐扰性、小型化种类所控制,而逐渐向包含中大

型经济种及特有鱼类的结构过渡。不过,需要指出的是,江阳区长江鲟优势度显著偏高的现象,还可能与长江上游持续开展的增殖放流有关^[38-41]。因此,本研究所观察到的优势种结构,既反映了禁渔带来的自然恢复过程,也叠加了人为干预的影响。

3.3 鱼类群落季节动态、多样性特征与群落稳定性

除空间分异外,保护区鱼类群落还表现出一定的季节动态。结合春、秋两季的多样性指标及主要优势种 IRI 变化可以看出,同一江段在春秋两季间物种数、多样性水平和优势种组成均存在一定波动。这表明,鱼类群落除受纵向生境梯度控制外,也受到季节性水文变化和鱼类生活史节律的共同影响。一般而言,春季是鱼类繁殖、补充群体出现及洄游活动较为活跃的时期,群落组成更容易受到繁殖活动和水文波动影响;而秋季更多反映鱼类经历生长季后的资源累积状态,因此春、秋两季群落结构存在差异,具有明确生态学基础。不过,从本研究结果看,季节变化对群落格局的影响总体弱于空间分异。各江段在不同季节间虽然存在一定波动,但李庄、江安、江阳和合江之间的群落差异总体较为稳定,NMDS 排序与聚类分析所反映的空间分组关系并未因季节变化而发生根本改变。这说明保护区鱼类群落格局主要受沿河流纵向生境异质性控制,而季节变化更多是在既有空间格局基础上的动态调整。

在多样性层面,本研究显示保护区鱼类群落 Shannon-Wiener 指数与禁渔前相比并未出现进一步下降^[6,19],表明多样性持续衰退趋势已在一定程度上得到遏制。同时,不同江段之间仍存在一定差异,其中合江等生境条件相对复杂的江段往往保持较高物种数和较高多样性指数,说明生境复杂度较高的区域更有利于维持较复杂的群落结构^[42]。类似研究也表明,禁渔初期群落多样性的恢复通常并不表现为物种数的快速增加,而更多体现为群落结构趋于稳定、优势种组成逐步调整^[21,23]。因此,本研究中主要优势种在不同季节和年份虽有波动,但总体特征尚未发生根本性重构,说明当前鱼类群落恢复具有总体稳定、局部调整的阶段性特征。

需要指出的是,上述“多样性趋势趋于稳定”指的是 Shannon-Wiener 等多样性指数的年际变化幅度趋于收敛,而 ABC 曲线反映的是群落内部丰度与生物量分配关系的结构特征,二者属于群落不同层面的描述指标,并不相互矛盾。

ABC 曲线分析进一步表明,各采样区域鱼类群落均处于中度干扰状态。已有研究指出,在人为干

扰解除后的初期阶段,一个由原有受扰状态向新平衡状态过渡的结构重组过程,其丰度-生物量分布格局通常尚未恢复稳定^[43]。本研究结果与这一理论预期较为一致:随着中大型鱼类数量增加,原有由小型鱼类主导的相对稳定结构被打破,群落尚未形成新的平衡。此外,大规模增殖放流在短期内强化了部分物种的数量优势,也可能在一定程度上放大 ABC 曲线所反映的“干扰”特征。类似现象在三峡库区支流及其他人工干预较强水域中亦有报道^[44-45]。因此,本研究中观察到的中度干扰状态,更可能代表禁渔实施后群落由受扰状态向稳定状态演替过程中的过渡阶段。

3.4 鱼类保护对策与建议

综合本研究结果及已有研究认识,禁渔为鱼类资源恢复提供了必要前提,但其长期成效仍依赖于多重因素的协同作用。基于当前鱼类群落仍处于结构重组阶段的特征,未来保护与管理应更加注重过程性和系统性。

首先,本研究证实了“十年禁渔”政策在遏制鱼类小型化、恢复关键物种方面的初步成效,因此持续严格的禁渔管理和长期监测仍是保障群落恢复的基础条件。多项研究表明,禁渔成效往往在实施 5~10 年后才会在群落结构层面得到充分体现,因此有必要通过长期连续监测评估不同物种和功能类群的恢复轨迹。

其次,本研究结果表明,增殖放流可能对珍稀鱼类资源补充具有一定促进作用,但现有证据仍不足以直接证明其保护效果已经充分显现。考虑到本研究中部分江段优势种集中度较高,未来放流工作应在关注目标物种补充的同时,更加重视基于群落结构和功能类群的科学配置,以兼顾珍稀物种保护与生态系统稳定性恢复。

最后,生境保护和外来物种防控仍是保障禁渔成效的重要外部条件。水动力条件、河床结构和岸线干扰程度可显著影响鱼类群落空间格局,应在保护区管理中同步推进生境质量提升和生态风险防控。

参考文献

- [1] 李倩. 长江上游保护区干流鱼类栖息地地貌及水文特征研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- Li Q. A study on fish habitat geomorphology and hydrological regime features of national nature reserve of rare and endemic fish in the Yangtze river upstream area [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013.

- [2] 危起伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Wei Q W. Scientific investigation report on national nature reserve for the rare and endemic fishes in the upper reaches of the Yangtze River [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [3] 孙志禹, 王殿常. 水电开发条件下自然保护区管理的实践创新: 以长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区为例[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(11): 1-7.
Sun Z Y, Wang D C. Practical innovation of nature reserve management under hydropower development: case of the national rare and endemic fishes nature reserve in upper reaches of Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2020, 37(11): 1-7.
- [4] 孙志禹, 张敏, 陈永柏. 水电开发背景下长江上游保护区珍稀特有鱼类保护实践[J]. 淡水渔业, 2014, 44(6): 3-8.
Sun Z Y, Zhang M, Chen Y B. Protection of the rare and endemic fish in the conservation area located in the upstream of the Yangtze River [J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(6): 3-8.
- [5] 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. 10-year fishing ban is an important measure for the great protection of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(1): 1.
- [6] 唐成, 邓华堂, 田辉伍, 等. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流段鱼类群落结构特征分析[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 79-98.
Tang C, Deng H T, Tian H W, et al. Analysis on the characteristics of fish community structure in the main stream section of the National Nature Reserve for Rare and Endemic Fish in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 79-98.
- [7] 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, China [M]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Publishers, 1994.
- [8] 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.
- [9] 乐佩琦. 中国动物志-下卷-硬骨鱼纲, 鲤形目: 硬骨鱼纲 鲤形目[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Le P Q. Fauna sinica [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [10] 褚新洛. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲇形目 下卷[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Chu X L. Fauna Sinica, Osteichthyes, Siluriformes, III [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [11] 张春光, 赵亚辉. 中国内陆鱼类物种与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
Zhang C G, Zhao Y H. Species diversity and distribution of inland fishes in China [M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [12] Shannon C E, Wiener W. The Mathematical Theory of Communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963: 1-65.
- [13] Pielou E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10(2): 370-383.
- [14] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. Nature, 1949, 163(4148): 688.
- [15] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. United Kingdom: International journal of General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [16] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters [J]. Fishery Bulletin, 1971, 152(1): 1-105.
- [17] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Marine Biology, 1986, 92(4): 557-562.
- [18] 段辛斌. 长江上游鱼类资源现状及早期资源调查研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
Duan X B. Studies on fish resources and the fishes of early life history stage in the Upper Yangtze river [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008.
- [19] 高天珩, 田辉伍, 叶超, 等. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流段鱼类组成及其多样性[J]. 淡水渔业, 2013, 43(2): 36-42.
Gao T H, Tian H W, Ye C, et al. Diversity and composition of fish in the mainstream of national nature reserve of rare and endemic fish in the Upper Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(2): 36-42.
- [20] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. Australian Journal of Ecology, 1993, 18(1): 117-143.
- [21] 董芳, 方冬冬, 张辉, 等. 长江十年禁渔后保护与发展 [J]. 水产学报, 2023, 47(2): 245-259.
Dong F, Fang D D, Zhang H, et al. Protection and development after the ten-year fishing ban in the Yangtze River[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 245-259.
- [22] 唐成, 邓华堂, 田辉伍, 等. 长江上游宜宾至江津江段珍稀特有鱼类群落结构及多样性年际变化[J]. 中国水

- 产科学, 2024, 31(11): 1273-1290.
- Tang C, Deng H T, Tian H W, et al. Interannual variation of the community structure and diversity of rare and endemic fish in the upper reaches of the Yangtze River section from Yibin to Jiangjin[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2024, 31(11): 1273-1290.
- [23] Liu F, Wang Z X, Xia Z J, et al. Changes in fish resources 5 years after implementation of the 10-year fishing ban in the Chishui River, the first river with a complete fishing ban in the Yangtze River Basin[J]. Ecological Processes, 2023, 12(1): 51.
- [24] Du J, Tian H W, Xiang Z Y, et al. Impact of the fishing ban on fish diversity and population structure in the middle reaches of the Yangtze River, China[J]. Frontiers in Environmental Science, 2025, 12: 1530716.
- [25] Xia Z J, Wang Q, Brosse S, et al. Trait-based analyses reveal the recovery of riverine fish communities after a fishing ban [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2025, 35(1): 431-445.
- [26] Kong C P, Luo Y L, Xu Q, et al. Post-fishing ban period: the fish diversity and community structure in the Poyang Lake Basin, Jiangxi Province, China[J]. Animals, 2025, 15(3): 433.
- [27] Gallardo B, Clavero M, Sánchez M I, et al. Global ecological impacts of invasive species in aquatic ecosystems [J]. Global Change Biology, 2016, 22 (1) : 151-163.
- [28] 李高俊, 赵光军, 谷圆, 等. 海口五源河国家湿地公园鱼类群落结构及多样性研究[J]. 生物资源, 2023, 45 (6): 511-522.
- Li G J, Zhao G J, Gu Y, et al. Study on fish community structure and diversity of Wuyuan River National Wetland Park in Haikou[J]. Biotic Resources, 2023, 45(6): 511-522.
- [29] Avolio M L, Forrester E J, Chang C C, et al. Demystifying dominant species [J]. New Phytologist, 2019, 223(3): 1106-1126.
- [30] 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.
- [31] 禄盛超, 叶海明, 林艳红, 等. 禁捕初期长江上游宜宾段鱼类群落结构特征及年际变化[J]. 淡水渔业, 2024, 54(6): 35-47.
- Lu S C, Ye H M, Lin Y H, et al. Structural characteristics and interannual changes of fish communities in Yibin section of the upper reaches of the Yangtze River during the early stage of the fishing ban [J]. Freshwater Fisheries, 2024, 54(6): 35-47.
- [32] 张荣斯, 刘良国, 罗丛强, 等. 禁渔初期长江中游沅水流域鱼类群落结构及其历史变化[J]. 水生生物学报, 2025(5): 1-14.
- Zhang T S, Liu L G, Luo C Q, et al. Fish community structure and its historical changes in the Yuanshui river of middle reaches of the Yangtze River during early period of the fishing ban[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2025(5): 1-14.
- [33] 曹明松, 张煜, 陈莎莎, 等. 嘉陵江、渠江下游鱼类群落结构特征和多样性分析[J]. 淡水渔业, 2025, 55 (6): 23-40.
- Cao M S, Zhang Y, Chen S S, et al. The existing community structure and diversity of fish in the lower reaches of the Jialing River and Qujiang River [J]. Freshwater Fisheries, 2025, 55(6): 23-40.
- [34] Zhong L, Zhou Y N, Zhao Z C. Distribution characteristics of hydraulic habitat indicators for fish in typical compound channels in the upper reaches of the Yangtze River [J]. Global Ecology and Conservation, 2024, 54: e03113.
- [35] Zhang H. Physical habitat assessment of a remaining high-biodiversity reach of the Upper Yangtze River, China [J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2016, 14(1): 129-143.
- [36] 李瑞娇. 长江上游保护区生境特征及基于eDNA技术的鱼类多样性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2024.
- Li R J. Habitat characteristics of the Upper Yangtze river reserve and fish diversity based on eDNA metabarcoding [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2024.
- [37] 沈忱. 长江上游鱼类保护区生态环境需水研究[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- Shen C. Study on ecological and environmental flow for the fish reserve in the upper reaches of the Yangtze river [D]. Beijing: Tsinghua University, 2015.
- [38] 刘文成, 李君轶, 吴金明, 等. 禁捕初期长江上游长江鲟增殖放流效果[J]. 水生生物学报, 2025, 49(2): 26-33.
- Liu W C, Li J Y, Wu J M, et al. Breeding and releasing of Yangtze sturgeon in the upper reaches of the Yangtze River during the early stage of fishing ban[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2025, 49(2): 26-33.
- [39] 许兰馨, 周亮, 危起伟. 长江鲟类资源现状及保护[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 60-70.
- Xu L X, Zhou L, Wei Q W. Stock status and conserva-

- tion dilemma of species of Acipenseriformes in the Yangtze River and relevant suggestions[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 60-70.
- [40] Li J Y, Du H, Wu J M, et al. Foundation and prospects of wild population reconstruction of *Acipenser dabryanus*[J]. Fishes, 2021, 6(4): 55.
- [41] 庄平, 赵峰, 罗刚, 等. 水生生物资源增殖放流的发展历程与问题思考[J]. 水生生物学报, 2025, 49(1): 43-54.
- Zhuang P, Zhao F, Luo G, et al. Progress and problem on the stock enhancement of aquatic biological resources[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2025, 49(1): 43-54.
- [42] Ruiz-Jaén M C, Aide T M. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 218(1/2/3): 159-173.
- [43] 夏治俊, 刘飞, 余梵冬, 等. 赤水河流域鱼类物种、功能和分类多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(5): 89-98.
- Xia Z J, Liu F, Yu F D, et al. Species, functional and taxonomic diversity of fish in the Chishui River Basin [J]. Journal of Hydroecology, 2022, 43(5): 89-98.
- [44] 王佳成, 廖传松, 连玉喜, 等. 三峡水库香溪河鱼类群落结构特征及历史变化[J]. 湖泊科学, 2023, 35(6): 2082-2091.
- Wang J C, Liao C S, Lian Y X, et al. Characteristics and historical changes of fish community structure in Xiangxi River, Three Gorges Reservoir, China [J]. Journal of Lake Sciences, 2023, 35(6): 2082-2091.
- [45] Xu S N, Guo J Z, Liu Y, et al. Evaluation of fish communities in Daya Bay using biomass size spectrum and ABC curve [J]. Frontiers in Environmental Science, 2021, 9: 663169.