

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.03.007

谢明地, 任军全, 陈贞鑫, 等. 綦江河不同河段鱼类群落结构研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(3): 71-83.

綦江河不同河段鱼类群落结构研究

谢明地^{1,2}, 任军全¹, 陈贞鑫¹, 曹明松¹, 姚维志¹

1. 西南大学 水产学院/农业农村部长江上游水生生物多样性保护研究中心, 重庆 400715;
2. 重庆市永川区畜牧渔业中心, 重庆 永川 402160

摘要: 綦江河是长江一级支流, 源于贵州省桐梓县北大娄山系, 在重庆市江津区汇入长江。20 世纪 40 年代以来, 綦江河被 9 座闸坝分隔为 10 个河段。为了解渠化对綦江河鱼类的影响, 2023 年对綦江河 10 个河段进行了 5 次鱼类调查, 共获得渔获物 3 383 尾, 总质量为 317 414.09 g, 隶属于 3 目 7 科 40 属 52 种, 对获得的数据进行优势种、鱼类多样性、鱼类群落结构相似性、ABC 曲线分析, 研究显示: 綦江河全河段优势种为张氏鲮(*Hemiculter tchangi*)、斑点蛇鮈(*Saurogobio punctatus*)、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*); 长江口—五福(S1)河段的鱼类多样性在这 10 个河段中最高; 有 40% 的采样点间的群落结构相似程度为中等相似, 60% 的采样点间的群落结构相似程度为中等不相似; ABC 曲线分析表示, 仅有 1 个河段未受干扰, 其余河段均受到不同程度的外界环境因素干扰。与綦江河的历史资料对比结果表明, 梯级闸坝对杂食性鱼类和底层鱼类有明显的阻隔效应, 10 个河段的鱼类群落结构差异较为明显。

关键词: 綦江河; 闸坝; 鱼类资源; 鱼类群落结构

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2025)03-0071-13

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on Fish Community Structure in Different Sections of Qijiang River

XIE Mingdi^{1,2}, REN Junquan¹, CHEN Zhenxin¹,
CAO Mingsong¹, YAO Weizhi¹

1. College of Fisheries, Southwest University/Research Center for Biodiversity Conservation of Aquatic Organisms in the Upper Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chongqing 400715, China;
2. Yongchuan District Animal Husbandry and Fishery Center, Yongchuan Chongqing 402160, China

Abstract: The Qijiang River is a first-level tributary of the Yangtze River, originating from the Beidagui Mountain Range in Tongzi County, Guizhou Province, and merging into the Yangtze River in Jiangjin District, Chongqing City. Since the 1940s, the Qijiang River has been divided into 10 sections by nine dams.

收稿日期: 2024-09-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3204200); 重庆市农业农村委员会资助项目(2023001031; 4322200109)。

作者简介: 谢明地, 硕士, 研究方向为渔业资源与环境。

通信作者: 姚维志, 教授。

To understand the impact of channelization on fish in the Qijiang River, five fish surveys were conducted in the 10 sections of the Qijiang River in 2023. A total of 3 383 fishes were caught, with a total weight of 317, 414.09 grams, belonging to 52 species, 40 genera, 7 families and 3 orders. The obtained data were analyzed for dominant species, fish diversity, similarity of fish community structure, and ABC curves. The study shows that the dominant species in the entire Qijiang River were *Hemiculter tchangi*, *Saurogobio punctatus* and *Spinibarbus sinensis*. The fish diversity in the section of Yangtze River estuary to Wufu (S1) was the highest among the ten sections. The degree of community structure similarity between 40% sampling points was moderately similar, and between 60% sampling points was moderately dissimilar. ABC curve analysis indicates that only one river sections remained undisturbed, while the rest of sections were affected by external environmental factors to varying degrees. The results of comparison with the historical data of the Qijiang River show that the cascade dams have a significant blocking effect on omnivorous and bottom-dwelling fish. This study found that the fish community structures of the 10 river sections are quite different.

Key words: Qijiang River; sluice dams; fish stocks; fish community structure

綦江河(28°18′—29°19′N, 106°15′—107°15′E), 流域面积共 7 068 km²[1]。由南向北经松坎、赶水、东溪、三江、綦江, 于江津区顺江口注入长江。

綦江河作为长江上游的一级支流, 拥有丰富的鱼类资源。全面抗战时期为了保障重庆的兵工厂生产原料运输, 1938—1945 年对綦江河实施了渠化[2], 修建的梯级闸坝把綦江河分成若干河段, 对鱼类群落结构造成了长期阻隔。2020 年起长江流域开始为期十年的全面禁捕。綦江河作为国内第一条全渠化的河流, 关于鱼类资源的研究资料较少, 而且关于阻隔条件下綦江河的鱼类群落结构, 还没有较为系统的调查研究, 也没有针对不同河段进行传统捕捞的渔获物分析。对綦江河不同河段进行鱼类资源调查, 通过分析不同河段的鱼类群落结构, 不仅可以进一步完善綦江河的鱼类资料, 也有助于认识河流渠化对鱼类的影响, 还可为禁捕效果的评估提供依据。

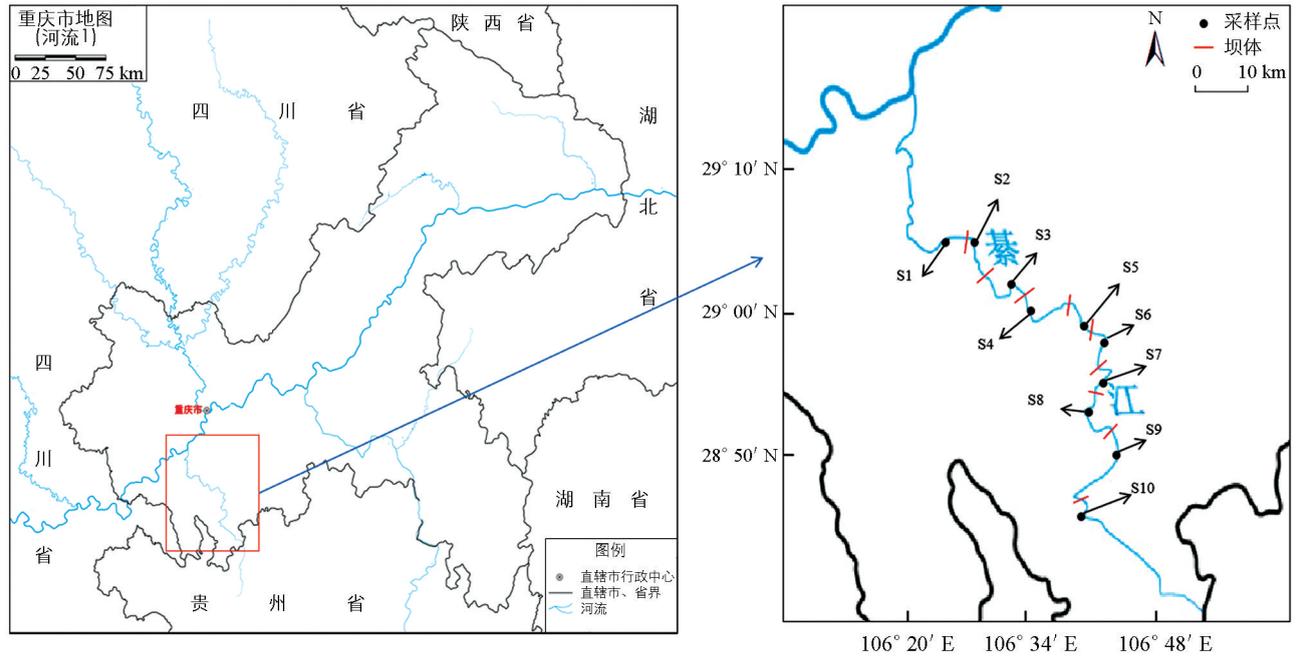
1 材料与方法

1.1 采样点分布

本次调查在綦江河的 9 个闸坝之间形成的 10 个河段中进行捕捞调查, 分别编号为长江口—五福(S1)、五福—车滩(S2)、车滩—桥溪口(S3)、桥溪口—大常(S4)、大常—大华(S5)、大华—石溪口(S6)、石溪口—珠滩(S7)、珠滩—盖石洞(S8)、盖石洞—羊蹄洞(S9)、羊蹄洞上(S10)。每个河段采样点的渔获物情况和经纬度见表 1, 每个采样点的地理坐标见图 1。

表 1 各个采样点的渔获物情况和经纬度

样点	渔获物数量/尾	渔获物质量/g	经度	纬度
S1	235	12 375.31	29°6′40″N	106°28′24″E
S2	224	14 684.89	29°6′29″N	106°29′59″E
S3	701	37 475.8	29°3′26″N	106°31′1″E
S4	413	47 603.69	29°0′31″N	106°35′6″E
S5	357	63 396.44	29°0′3″N	106°39′50″E
S6	270	26 987.51	28°59′43″N	106°41′15″E
S7	166	23 791.75	28°56′4″N	106°42′17″E
S8	705	60 215.54	28°53′43″N	106°40′9″E
S9	165	9 714.48	28°49′32″N	106°42′55″E
S10	147	21 067.11	28°45′59″N	106°40′8″E



基于重庆市规划和自然资源局的标准地图制作,底图边界无修改,审图号:渝S(2024)058号。

图1 綦江河采样点分布图

1.2 调查方法

鱼类采集所使用的渔具为多网目三重刺网和地笼网。三重刺网网目分别为 $2a=3$ cm, $2a=6.3$ cm, $2a=11.2$ cm, 网宽、网长分别为 3 m 和 50 m。地笼网网目为 $2a=2$ cm, 长度和网框分别为 5 m 和 $30\text{ cm}\times 25\text{ cm}$ 。三重刺网分浮网和沉网,用于浅水鱼类和深水鱼类,捕捞面积广,但摘取渔获物麻烦,鱼体容易受到损伤;地笼网用于捕捞小型鱼类,下网方便但渔获较少。

根据季节性变化,于 2023 年 3 月、5 月、8 月、11 月、12 月共进行 5 次调查。每次下网时间为当日下午 4 点至 6 点,次日早上 8 点至 10 点进行回收,放置时间 16~20 h。取得渔获后,依据《中国动物志》^[3] 和《四川鱼类志》^[4] 等鉴定鱼类物种,对渔获进行分类计数并测量全长、体长和体质量。

1.3 鱼类生态类型划分

按营养结构、栖息类型、洄游习性、流水亲和性划分鱼类生态类型。根据营养结构将鱼类分为肉食性、杂食性、植食性鱼类^[5];根据栖息类型将鱼类分为中上层、中下层、底层鱼类^[6];根据洄游习性将鱼类分为定居性鱼类和洄游性鱼类^[7];根据流水亲和性将鱼类分为喜流和喜静缓流鱼类^[8]。

1.4 数据分析及处理

1.4.1 优势种的确定

计算各种鱼类的相对生物量 W (质量占比)、相对丰度 N (数量占比) 和出现频率 F (出现次数占比),再由下式计算相对重要性指数 IRI ^[9],以此反映各种鱼类在群落中的优势程度。

$$IRI = (N + W) \times F \times 10\ 000 \quad (1)$$

式中: N 为某一数量的数量占总数量的百分比; W 为某一数量的质量占总质量的百分比; F 为某一数量在捕捞中出现的次数占总捕捞次数的百分比。 $IRI > 1\ 000$ 为优势种, $100 < IRI \leq 1\ 000$ 为重要种, $10 < IRI \leq 100$ 为常见种, $1 < IRI \leq 10$ 为一般种, $0 < IRI \leq 1$ 为少见种^[10]。

1.4.2 鱼类多样性

鱼类多样性采用 Shannon 指数 H' ^[11]、Simpson 指数 D ^[12]、Margalef 丰富度指数 C ^[13] 及 Pielou 均匀度指数 J' ^[14] 进行分析,其计算公式如下:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (2)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (3)$$

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

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

式中: S 为总的渔获物种类数; N 为总的渔获物个体数; p_i 为第 i 种个体总数占总个体数的百分比。

1.4.3 群落结构相似性分析

群落结构相似性分析方法应用相似性系数 JSI ^[15] 分析两个采样点渔获物种类的相似性, 其计算公式如下:

$$JSI = \frac{c}{a+b-c} \quad (6)$$

式中: a 是一个样点所采集的鱼类种类数, b 是另一个样点采集的鱼类种类数, c 是两个样点相同的鱼类种数。当 $0 \leq JSI < 0.25$ 时表示调查种类极不相似, $0.25 \leq JSI < 0.50$ 时表示中等不相似, $0.50 \leq JSI < 0.75$ 时表示中等相似, $0.75 \leq JSI < 1.00$ 时表示极相似^[16]。

1.4.4 ABC 曲线分析

丰度生物量比较曲线(ABC 曲线)^[17] 可以用来反映生物群落受外界干扰的影响效应。ABC 曲线的统计结果用 M 值表示, 计算公式如下:

$$M = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50(S-1)} \quad (7)$$

式中: A_i 是该河段监测到的鱼类按丰度从高到低排序后的第 1 个至 $i-1$ 个种类之前的丰度累积百分比, B_i 是该河段监测到的鱼类按生物量从高到低排序后的第 1 个至 $i-1$ 个种类的生物量累积百分比, S 为该河段监测到的鱼类总物种数。 M 为正值且数值越大表示鱼类群落状态越稳定; M 为负值且数值越小表示鱼类群落受到干扰越严重。丰度曲线与生物量曲线相交或重叠也表示鱼类群落受到一定干扰^[18]。

2 结果与分析

2.1 鱼类组成与分布

共采集到鱼类 3 383 尾, 总质量 317 414.09 g, 隶属于 3 目 7 科 40 属 52 种(表 2)。其中鲤形目 41 种, 鲇形目 7 种, 鲈形目 4 种, 种类占比分别为 78.85%、13.46%、7.69%。

表 2 碛江河鱼类的组成与分布

目	科	属	种类	拉丁文名	生态类型	调查样点									
						S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
鲤形目	鲈科	副沙鲈属	双斑副沙鲈	<i>Parabotia bimaculata</i> Chen	O, D, LE, SE	+	+	+							
		泥鳅属	泥鳅	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	O, D, LE, SE			+		+				+	
		副泥鳅属	大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	O, D, LE, SE					+					
鲤科	鳊属	宽鳍鳊	<i>Zacco platypus</i>	O, L, LO, SE		+									+
	马口鱼属	马口鱼	<i>Opsariichthys bidens</i>	C, L, LO, SE	+	+	+	+	+			+	+	+	
	草鱼属	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	H, L, LE, MI	+	+	+	+	+	+			+		
	鲮属	黄尾鲮	<i>Xenocypris davidi</i>	O, L, LO, MI					+						
		细鳞鲮	<i>Xenocypris microlepis</i>	O, L, LO, MI					+						

续表 2

目	科	属	种类	拉丁文名	生态类型	调查样点															
						S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10						
		圆吻鲷属	圆吻鲷	<i>Distoichodon tumirostris</i>	O, L, LO, SE	+															
		似鳊属	似鳊	<i>Pseudobrama simoni</i>	O, P, LE, SE	+				+		+									
		鲢属	鲢	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	O, L, LE, MI				+	+	+	+			+					+	
		鳊属	鳊	<i>Aristichys nobilis</i>	O, L, LE, MI				+		+				+						
		鳊属	高体鳊	<i>Rhodeus ocellatus</i>	O, L, LE, SE	+	+	+	+						+						
			中华鳊	<i>Rhodeus sinensis</i>	O, L, LE, SE				+												
		华鳊属	四川华鳊	<i>Sinibrama taeniatus</i>	O, L, LO, MI	+		+	+	+	+	+			+				+	+	
		半鲮属	半鲮	<i>Hemiculterella sawagei</i>	O, P, LE, SE					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		拟鲮属	南方拟鲮	<i>Pseudohemiculter dispar</i>	O, P, LE, SE					+										+	
		鲮属	鲮	<i>Hemiculter leucisculus</i>	O, P, LE, SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
			张氏鲮	<i>Hemiculter tchangi</i>	O, P, LO, MI	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		红鲃属	达氏鲃	<i>Culter dabryi</i>	C, L, LE, SE	+	+	+	+	+					+						
			翘嘴鲃	<i>Culter alburnus</i>	C, L, LE, SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
			蒙古鲃	<i>Culter mongolicus</i> Basilewsky	C, L, LE, SE	+	+	+	+	+	+										
		鳊属	鳊	<i>Parabramis pekinensis</i>	O, P, LE, SE						+										
		鲂属	厚颌鲂	<i>Megalobrama pellegrini</i>	O, L, LO, SE	+		+													
		骨鱼属	唇骨	<i>Hemibarbus labeo</i>	O, L, LO, SE	+					+	+	+	+							
			花骨	<i>Hemibarbus maculatus</i>	O, L, LO, SE						+										
		麦穗鱼属	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	O, P, LE, SE		+					+									
		鲈属	华鲈	<i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	O, L, LE, SE	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		银鲃属	银鲃	<i>Squalidus argentatus</i>	O, D, LE, SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		蛇鲃属	斑点蛇鲃	<i>Saurogobio punctatus</i>	O, L, LE, SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		倒刺鲃属	中华倒刺鲃	<i>Spinibarbus sinensis</i>	O, D, LE, MI	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
		光唇鱼属	宽口光唇鱼	<i>Acrossocheilus monticola</i>	O, L, LO, SE	+	+	+		+					+	+	+	+	+	+	
		白甲鱼属	白甲鱼	<i>Onychostoma sima</i>	O, D, LO, MI						+				+	+	+	+	+	+	
		华鲮属	华鲮	<i>Similabeo rendahli</i>	O, D, LO, SE	+	+	+	+	+					+	+	+	+	+	+	
		鲮属	鲮	<i>Cirrhinus molitorella</i>	O, L, LE, MI						+										
		裂腹鱼属	齐口裂腹鱼	<i>Schizothorax prenanti</i>	O, D, LO, MI						+										
		鲤属	鲤	<i>Cyprinus carpio</i>	O, L, LE, SE	+	+	+	+	+	+					+				+	
			散鳞镜鲤	<i>Cyprinus carpio</i> var. <i>specularis</i>	O, L, LE, SE	+															
		鲫属	鲫	<i>Carassius auratus</i>	O, L, LE, SE	+	+	+	+	+	+										
			鲤×鲫	<i>Cyprinus carpio</i> × <i>Carassius auratus</i>	O, L, LE, SE						+										
		华吸鳅属	四川华吸鳅	<i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>	C, D, LO, SE	+		+							+						
鲇形目	鲇科	鲇属	鲇	<i>Silurus asotus</i>	C, D, LE, SE					+											
			大口鲇	<i>Silurus meridionalis</i> Chen	C, D, LE, SE																+
鲮科	黄颡鱼属	瓦氏黄颡鱼	瓦氏黄颡鱼	<i>Pelteobagrus vachelli</i>	C, D, LE, SE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
			光泽黄颡鱼	<i>Pelteobagrus nitidus</i>	C, D, LE, SE	+		+	+			+				+					
		鳊属	大鳍鳊	<i>Hemibagrus macropterus</i>	C, D, LO, SE	+	+	+			+	+				+					+
			长吻鳊	<i>Leiocassis longirostris</i>	C, D, LO, SE			+				+					+				+
			粗唇鳊	<i>Leiocassis crassilabris</i>	C, D, LO, SE	+										+	+	+			

续表 2

目	科	属	种类	拉丁文名	生态类型	调查样点										
						S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
鲈形目	鲈科	鳊属	鳊	<i>Aristichys nobilis</i>	C, L, LE, SE				+		+		+			
			大眼鳊	<i>Siniperca kneri Garman</i>	C, L, LE, SE				+	+	+		+	+	+	
	鰕虎鱼科	鰕虎鱼属	子陵吻鰕虎鱼	<i>Rhinogobius giurinus</i>	C, D, LE, SE	+		+	+				+	+	+	
	鳢科	鳢属	乌鳢	<i>Channa argus</i>	C, D, LE, SE				+							

注: C 表示肉食性; O 表示杂食性; H 表示植食性; P 表示中上层; L 表示中下层; D 表示底层; LO 表示喜流; LE 表示喜静缓流; MI 表示洄游性; SE 表示定居性。“+”表示该种鱼类在相应采样点有分布。

各个河段均有分布的鱼类有张氏鲮、斑点蛇鮈、银鮈、翘嘴鲌、瓦氏黄颡鱼。分布较广的为鲮、四川华鳊、中华倒刺鲃、华鲮、华鳊、宽口光唇鱼、鲤、马口鱼、鳊等。长江上游特有种为张氏鲮、半鲮、四川华鳊、厚颌鲂、四川华吸鳅。外来物种或人工选育种为散鳞镜鲤、鲤×鲫。

按营养结构划分, 杂食性鱼类 35 种, 肉食性鱼类 16 种, 植食性鱼类 1 种。按栖息水层类型划分, 中下层鱼类 27 种, 中上层鱼类 7 种, 底层鱼类 18 种。按流水亲和性划分, 喜静缓流鱼类 34 种, 喜流鱼类 18 种。按洄游习性划分, 定居性鱼类 41 种, 洄游性鱼类 11 种。

2.2 鱼类区系特征

根据刘成汉^[19]划分的四川鱼类区系、参考史为良^[20]对中国淡水鱼类的区系划分, 将綦江河鱼类划分为 6 个区系复合体, 分别为中国平原复合体、南方平原复合体、南方山地复合体、中亚山地复合体、北方平原复合体、古代第三纪复合体。

2.3 鱼类优势种

根据相对重要性指数(IRI)分析不同河段的鱼类优势种如表 3 所示。

表 3 不同河段鱼类优势种组成

样点	种类	N/%	W/%	F/%	IRI
S1	张氏鲮	18.30	16.28	100.00	3 457.93
	中华倒刺鲃	8.94	22.54	80.00	2 518.00
	华鲮	8.09	6.23	80.00	1 145.16
S2	张氏鲮	45.98	37.08	100.00	8 305.95
	斑点蛇鮈	16.52	9.09	100.00	2 560.30
	鲮	8.93	3.06	100.00	1 199.28
S3	斑点蛇鮈	28.67	21.90	100.00	5 057.06
	张氏鲮	16.55	17.06	100.00	3 360.82
	鲮	10.84	5.65	80.00	1 319.64
S4	张氏鲮	40.68	20.66	100.00	6 133.52
	鳊	1.69	29.64	80.00	2 507.08
	鲤	4.60	19.03	80.00	1 890.39
	斑点蛇鮈	12.83	5.28	80.00	1 449.38
S5	中华倒刺鲃	8.68	35.58	100.00	4 425.97
	鲤	4.48	29.11	80.00	2 687.04
	斑点蛇鮈	18.49	5.06	100.00	2 355.17

续表 3

样点	种类	$N/\%$	$W/\%$	$F/\%$	IRI
S6	张氏鲮	24.81	18.07	80.00	3 431.04
	斑点蛇鮈	20.74	10.21	60.00	1 856.89
	银鮈	14.07	2.48	100.00	1 655.22
	鲮	11.85	3.15	100.00	1 500.25
	鲤	1.85	28.12	40.00	1 198.70
S7	中华倒刺鲃	13.86	52.05	80.00	5 272.81
	华鲮	15.06	10.26	80.00	2 025.92
	张氏鲮	11.45	4.22	80.00	1 253.39
S8	张氏鲮	29.50	18.47	100.00	4 797.64
	斑点蛇鮈	16.31	6.95	100.00	2 326.41
	中华倒刺鲃	2.55	20.64	100.00	2 319.77
	翘嘴鲃	14.04	5.41	80.00	1 556.60
	鲮	11.63	3.47	80.00	1 207.85
S9	四川华鲮	27.88	18.67	80.00	3 723.98
	斑点蛇鮈	13.33	7.31	80.00	1 651.53
	半鲮	18.18	7.21	60.00	1 523.33
S10	斑点蛇鮈	43.54	9.46	100.00	5 299.32
	瓦氏黄颡鱼	10.88	2.00	80.00	1 030.74

由表 3 得知, 10 个河段出现的优势种为张氏鲮、斑点蛇鮈、中华倒刺鲃、华鲮、鲮、鲤、鳊、银鮈、翘嘴鲃、四川华鲮、半鲮、瓦氏黄颡鱼共计 12 种, 其中斑点蛇鮈出现 8 次, 张氏鲮出现 7 次, 中华倒刺鲃和鲮均出现 4 次, 鲤出现 3 次, 华鲮出现 2 次, 鳊、银鮈、翘嘴鲃、四川华鲮、半鲮、瓦氏黄颡鱼均只出现 1 次。綦江河全河段优势种为张氏鲮、斑点蛇鮈、中华倒刺鲃。

2.4 不同河段鱼类多样性指数

对綦江河全年各个河段的鱼类多样性指数(Shannon-Wiener 指数 H' 、Simpson 指数 D 、Margalef 丰富度指数 C 、Pielou 均匀度指数 J')的分析结果见表 4。

表 4 綦江河各个河段多样性结果

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
种类数	31	20	30	25	33	23	21	26	20	20
H'	2.896	1.974	2.464	2.137	2.614	2.336	2.648	2.269	2.360	2.134
D	0.923	0.746	0.863	0.794	0.896	0.855	0.912	0.844	0.857	0.779
C	5.495	3.511	4.426	3.984	5.444	3.930	3.912	3.812	3.721	3.807
J'	0.843	0.659	0.725	0.664	0.748	0.745	0.870	0.697	0.788	0.712

种类数的范围为 20~33, 其中: 大常一大华(S5)的种类最多, 五福一车滩(S2)、盖石洞一羊蹄洞(S9)、羊蹄洞上(S10)的种类最少。

Shannon-Wiener 指数 H' 的范围为 1.974~2.896, 其中: 长江口一五福(S1)的数值最高, 五福一车滩(S2)的数值最低, 其余河段比较均匀。

Simpson 指数 D 的范围为 0.746~0.923, 其中: 长江口一五福(S1)的数值最高, 五福一车滩(S2)的数值最低, 羊蹄洞上(S10)的数值较低, 大常一大华(S5)、石溪口一珠滩(S7)河段的数值较高。

Margalef 丰富度指数 C 的范围为 3.511~5.495, 其中: 长江口—五福(S1)的数值最高, 五福—车滩(S2)的数值最低, 大常—大华(S5)的数值较高, 其余河段比较均匀。

Pielou 均匀度指数 J' 的范围为 0.659~0.870, 其中: 石溪口—珠滩(S7)的数值最高, 五福—车滩(S2)的数值最低, 长江口—五福(S1)的数值较高。

2.5 群落结构相似性分析

应用种类相似性系数 JSI 分析两个采样点渔获物种类相似性, 计算了 10 个河段之间的鱼类群落结构相似性数值(表 5)。

表 5 鱼类群落结构相似性数值

样点	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1		0.59	0.69	0.47	0.49	0.50	0.58	0.54	0.34	0.38
S2	0.59		0.28	0.45	0.47	0.48	0.41	0.48	0.33	0.38
S3	0.69	0.28		0.53	0.50	0.47	0.46	0.56	0.43	0.43
S4	0.47	0.45	0.53		0.41	0.50	0.35	0.46	0.32	0.36
S5	0.49	0.47	0.50	0.41		0.47	0.50	0.51	0.51	0.47
S6	0.50	0.48	0.47	0.50	0.47		0.42	0.63	0.39	0.43
S7	0.58	0.41	0.46	0.35	0.50	0.42		0.57	0.58	0.46
S8	0.54	0.48	0.56	0.46	0.51	0.63	0.57		0.53	0.59
S9	0.34	0.33	0.43	0.32	0.51	0.39	0.58	0.53		0.54
S10	0.38	0.38	0.43	0.36	0.47	0.43	0.46	0.59	0.54	

由表 5 知 10 个河段之间的相似性指数范围为 0.28~0.69, 其中 0.50 及以上的占 40%, 其余数值均在 0.25~0.50, 表明有 40% 的采样点间的群落结构相似程度为中等相似, 60% 的采样点间的群落结构相似程度为中等不相似。所有河段中长江口—五福(S1)与车滩—桥溪口(S3)相似度最高, 五福—车滩(S2)与车滩—桥溪口(S3)相似度最低。

2.6 ABC 曲线分析

应用丰度生物量比较曲线(ABC 曲线)来反映綦江河全年不同河段的鱼类群落受外界的干扰程度。綦江河不同河段的 ABC 曲线趋势如图 2 所示。

由图 2 得知, 石溪口—珠滩(S7)的生物量曲线始终不低于丰度曲线且 $M > 0$, 表明这个河段的鱼类群落处于稳定状态未受干扰, 这些河段位于乡镇和公园附近, 较为安静, 人流量较少。其余河段的生物量曲线和丰度曲线均出现重合、交叉等情况, 表明这些河段的鱼类群落受到不同程度干扰, 部分靠近城镇, 人流量较大, 对鱼类影响程度较深。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 基于传统捕捞的綦江河不同河段鱼类群落结构、渔获物、相似性及生态类型分析

1) 鱼类群落结构分析。从鱼类种类数看, 长江口—五福(S1)、车滩—桥溪口(S3)、大常—大华(S5)达到 30 种及以上, 种类数最低的五福—车滩(S2)、盖石洞—羊蹄洞(S9)、羊蹄洞上(S10)仅 20 种(表 4)。由于传统捕捞的偶然性, 按河段划分鱼类的种类数没有明显的下降趋势, 将綦江河的 10 个河段分为下半段和上半段, 可以发现从下半段到上半段的每个河段平均鱼类种类数从 26.4 下降到 22.6, 表明綦江河不同河段的鱼类种类数的变化大致符合河流生态系统中河流上游至下游物种丰富度逐渐增加的规律^[21]。赤水河为长江上游唯一一条保持自然流态的河流, 郭宁宁等^[22]基于 eDNA 技术研究发现了随着赤水河上游至下游海拔的逐渐降低, 赤水河的鱼类种类数逐渐增多, 且上游鱼类种类数约占总数的 49.35%。本研究中綦江河上游河段羊蹄洞上(S10)监测到 20 种鱼类, 占总调查种类数的 38.46%, 且綦江河的河道长度与海拔落差远远低于赤水河, 可以推断造成差异的原因很可能是闸坝产生的阻隔效应。常涛等^[23]通过文献调研、

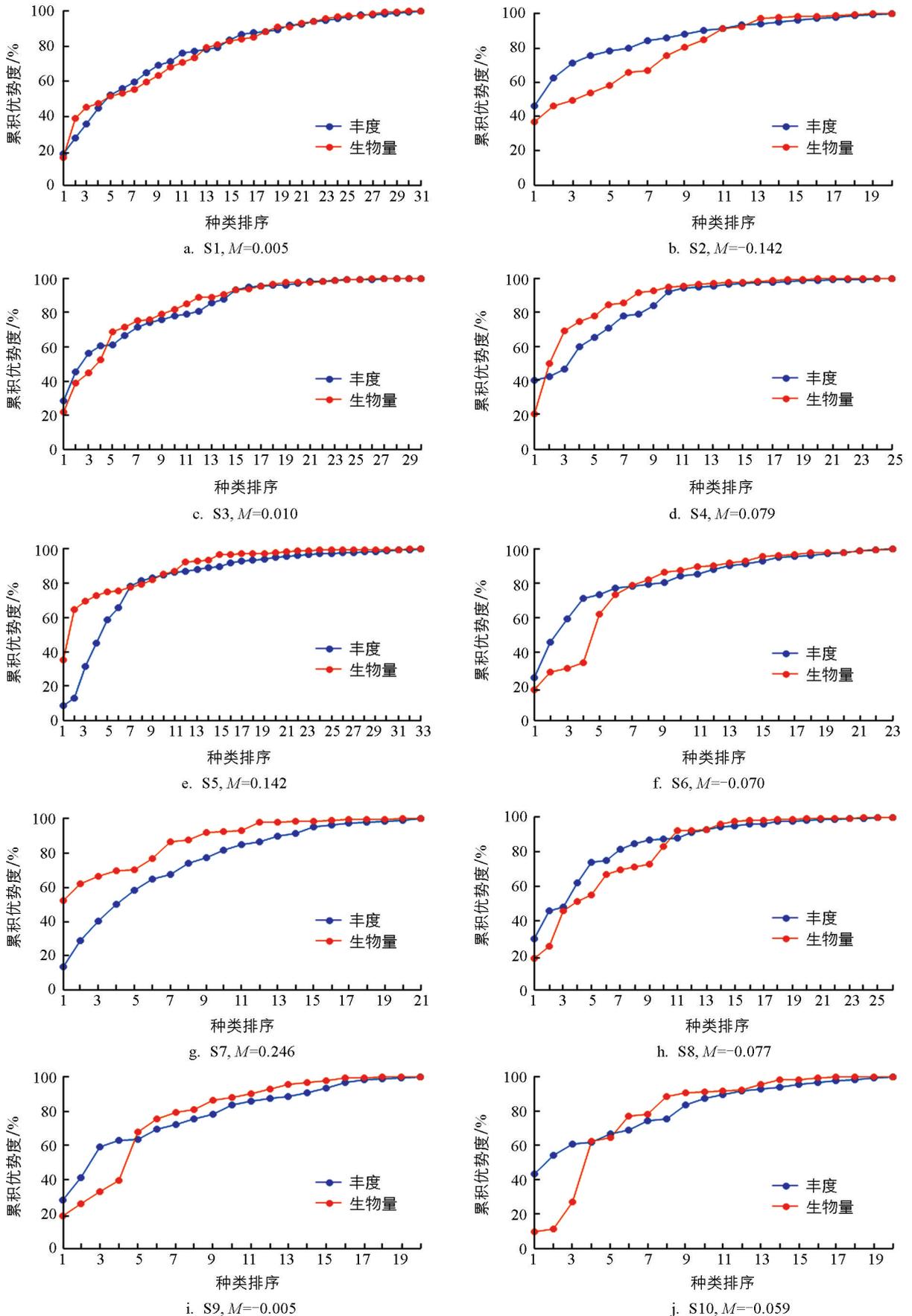


图 2 綦江河不同河段的 ABC 曲线

资料收集等方式对美国密西西比河干流的梯级闸坝建设状况及其对鱼类的影响进行梳理,发现对洄游性鱼类有明显的阻隔效应,且未修建过鱼设施;马卓萃等^[24]基于传统捕捞调查了东江下游地区河流的鱼类,发现大多位点的鱼类群落健康状态不佳,闸坝的建设对栖息地的破坏较大影响了鱼类群落。

2) 渔获物分析。从渔获物数量看,车滩—桥溪口(S3)、珠滩—盖石洞(S8)远多于其他河段,石溪口—珠滩(S7)、盖石洞—羊蹄洞(S9)、羊蹄洞上(S10)数量偏少(表 1)。从渔获物质量看,大常—大华(S5)、珠滩—盖石洞(S8)远大于其他河段,长江口—五福(S1)、五福—车滩(S2)、盖石洞—羊蹄洞(S9)质量偏小(表 1)。综合分析,长江口—五福(S1)靠近长江口,虽然种类多,但普遍为小鱼,鱼类资源匮乏;五福—车滩(S2)、石溪口—珠滩(S7)、盖石洞—羊蹄洞(S9)、羊蹄洞上(S10)不管是鱼类种类、渔获物数量和质量均处于低等水平;车滩—桥溪口(S3)、大常—大华(S5)、珠滩—盖石洞(S8)的鱼类资源属于中上水平,其中车滩—桥溪口(S3)的小型鱼类偏多,大常—大华(S5)的大型鱼类偏多,珠滩—盖石洞(S8)的种类略少,可见綦江河不同河段的鱼类群落结构差异显著。

3) 鱼类群落相似性分析。仅有 40%不同河段之间存在中等相似的群落结构(表 5)。相邻的河段之间的相似度,除了五福—车滩(S2)和车滩—桥溪口(S3)相似度最低以外,有 3 组相邻河段为中等不相似,5 组相邻河段为中等相似。

4) 生态类型分析。按鱼类的营养结构划分,杂食性鱼类偏多,约占总数的三分之二。各采样点的杂食性鱼类物种数占比均最多,其中长江口—五福(S1)、大常—大华(S5)占比优势尤其明显(表 2)。按栖息类型划分,以底层鱼类偏多,各采样点中有 8 个以底层鱼类为主,2 个以中下层鱼类占比略多。按流水亲和性划分,各采样点喜静缓流鱼类均多于喜流鱼类。按洄游习性划分,各采样点定居性鱼类均多于洄游性鱼类。综合分析,各个采样点之间的变化没有明显的趋势。将 10 个河段分为上半段和下半段,可以发现从下半段到上半段的每个河段平均数值变化较为明显的是杂食性鱼类由 17 种下降到 13.4 种,中下层鱼类由 15.8 种下降到 10.8 种,喜静缓流鱼类由 19 种下降到 14.4 种,定居性鱼类由 22.4 种下降到 17 种。通常下游底层的无脊椎动物或着生藻类会比上游丰富^[25],杂食性鱼类正是以这些生物为食,闸坝的阻隔更是会加剧对该种食性鱼类觅食的影响。中下层鱼类、喜静缓流鱼类、定居性鱼类的减少可能是由于闸坝改变了河流的水文特征^[26],导致无法自由迁移,进一步影响了生长,导致数量和种类减少。

3.1.2 綦江河鱼类种类组成的变化

关于綦江河的鱼类种类组成,熊天寿等通过查阅相关历史资料,结合采集的部分标本统计出綦江河分布的鱼类为 82 种^[27]。何滔等^[28]完全基于历史资料的统计,认为綦江河分布的鱼类为 91 种,该研究成果的可靠性相对较弱。李筱芹等^[29]统计了 2002 年 1 月至 2023 年 4 月西南大学渔业资源环境研究中心基于传统渔业资源调查方法调查的綦江鱼类 7 目 17 科 64 属 92 种,同时基于 eDNA 技术在綦江河 9 个区段中共检测到鱼类 7 目 16 科 49 属 59 种,两种调查方法的综合分析结果表明綦江中共有鱼类 96 种。

将李筱芹等统计的传统捕捞和 eDNA 技术的调查结果与此次传统捕捞结果比较,对比结果未监测到的鱼类名录如表 6 所示。

表 6 与綦江河历史鱼类资料对比未监测到的鱼类

目	科	属	种类	拉丁文名	生态类型	产卵类型
鲟形目	鲟科	鲟属	长江鲟*	<i>Acipenser dabryanus</i>	O, L, LE, MI	沉性卵、黏性卵
胡瓜鱼目	银鱼科	新银鱼属	陈氏新银鱼	<i>Neosalanx tangkahkeii</i>	C, P, LE, SE	沉性卵
鲤形目	鲤科	胭脂鱼属	胭脂鱼	<i>Myxocyprinus asiaticus</i>	O, D, LO, MI	黏性卵
		飘鱼属	飘鱼	<i>Pseudolaubuca sinensis</i>	O, P, LE, SE	漂流性卵
			寡鳞飘鱼	<i>Pseudolaubuca engraulis</i>	O, P, LE, SE	漂流性卵
		鲢属	鲢	<i>Ochetobius elongatus</i>	O, L, LE, MI	漂流性卵
		棒花鱼属	棒花鱼	<i>Abbottina rioularis</i>	O, D, LE, SE	黏性卵
		鲮属	兴凯鲮	<i>Acheilognathus chankaensis</i>	H, L, LE, SE	黏性卵
		瓣结鱼属	瓣结鱼	<i>Foli fer brevifilis</i>	O, D, LE, SE	黏性卵
	光唇鱼属	云南光唇鱼	<i>Acrossocheilus yunnanensis</i>	O, L, LO, SE	黏性卵	

续表 6

目	科	属	种类	拉丁文名	生态类型	产卵类型
		细鲫属	中华细鲫	<i>Aphyocypris chinensis</i>	O, L, LE, SE	黏性卵
		青鱼属	青鱼	<i>Mylopharyngodon piceus</i>	C, D, LE, MI	漂流性卵、浮性卵
		赤眼鲮属	赤眼鲮	<i>Squaliobarbus curriculus</i>	O, L, LE, MI	沉性卵
		鲢属	鲢	<i>Elopichthys bambusa</i>	C, L, LO, MI	漂流性卵
		鲌属	尖头鲌	<i>Culter oxycephalus</i>	C, L, LE, SE	漂流性卵、黏性卵
		原鲌属	红鳍原鲌	<i>Cultrichthys erythropterus</i>	C, L, LE, SE	黏性卵
		近红鲌属	黑尾近红鲌	<i>Ancherythroculter nigrocauda</i>	C, P, LE, SE	黏性卵
		鲴属	银鲴	<i>Xenocypris argentea</i>	O, L, LE, MI	漂流性卵
		鲮属	彩石鲮	<i>Rhodeus lighti</i>	O, L, LE, SE	黏性卵
		蛇鮈属	长蛇鮈*	<i>Saurogobio dumerili</i>	O, L, LE, SE	漂流性卵
			蛇鮈	<i>Saurogobio dabryi</i>	O, L, LE, SE	漂流性卵
		鳊属	黑鳍鳊	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	O, L, LE, SE	漂流性卵
		吻鮈属	长鳍吻鮈	<i>Rhinogobio ventralis</i>	O, D, LO, SE	漂流性卵
			吻鮈	<i>Rhinogobio typus</i>	O, D, LO, SE	漂流性卵
			圆筒吻鮈	<i>Rhinogobio cylindricus</i>	O, D, LO, MI	漂流性卵
		小鰾鮈属	乐山小鰾鮈*	<i>Microphysogobio kiatingensis</i>	O, D, LO, SE	沉性卵
		原鲤属	岩原鲤*	<i>Procypris rabaudi</i>	O, D, LE, MI	沉性卵
		白甲鱼属	多鳞白甲鱼	<i>Scaphesthes macrolepis</i>	O, D, LO, MI	沉性卵
			四川白甲鱼	<i>Onychostoma angustistomata</i>	O, D, LO, MI	沉性卵
	条鳅科	副鳅属	红尾副鳅	<i>Paracobitis variegatus</i>	C, D, LO, SE	黏性卵
			短体副鳅	<i>Paracobitis potanini</i>	O, D, LO, SE	黏性卵
	花鳅科	副沙鳅属	花斑副沙鳅	<i>Parabotia fasciata</i>	O, D, LE, SE	漂流性卵
		沙鳅属	中华沙鳅	<i>Botia superciliaris</i>	C, D, LO, SE	漂流性卵
			宽体沙鳅	<i>Botia reevesae</i>	C, D, LO, SE	漂流性卵
		薄鳅属	长薄鳅	<i>Leptobotia elongata</i>	O, D, LO, SE	漂流性卵
		花鳅属	中华花鳅	<i>Cobitis sinensis</i>	O, D, LE, SE	沉性卵
	爬鳅科	华吸鳅属	西昌华吸鳅	<i>Sinogastromyzon sichangensis</i>	C, D, LO, SE	沉性卵、黏性卵
		金沙鳅属	中华金沙鳅	<i>Jinshaia sinensis</i>	C, D, LO, SE	漂流性卵
		犁头鳅属	犁头鳅	<i>Lepturichthys fimbriata</i>	O, D, LO, SE	漂流性卵
鲇形目	鲿科	黄颡鱼属	黄颡鱼	<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	C, D, LE, SE	黏性卵
			长须黄颡鱼	<i>Pelteobagrus eupogon</i>	C, D, LE, SE	黏性卵
	钝头鮠科	鱼央属	白缘鱼央	<i>Liobagrus marginatus</i>	C, D, LO, SE	黏性卵
	鮡科	纹胸鮡属	中华纹胸鮡	<i>Glyptothorax sinense</i>	O, D, LO, SE	黏性卵
颌针鱼目	大颌鲂科	青鲂属	青鲂	<i>Oryzias latipes</i>	C, P, LE, SE	黏性卵
鲿形目	胎鲿科	食蚊鱼属	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	C, P, LE, SE	卵胎生
合鳃鱼目	合鳃鱼科	黄鳝属	黄鳝	<i>Monopterus albus</i>	O, D, LE, SE	浮性卵
鲈形目	鲈科	鳊属	斑鳊	<i>Siniperca scherzeri</i>	C, L, LE, SE	漂流性卵、浮性卵
	沙塘鳢科	小黄鲈鱼属	小黄鲈鱼	<i>Micropercops swinhonis</i>	C, D, LE, SE	黏性卵

注: C 表示肉食性; O 表示杂食性; H 表示植食性; P 表示中上层; L 表示中下层; D 表示底层; LO 表示喜流; LE 表示喜静缓流; MI 表示洄游性; SE 表示定居性。* 表示传统捕捞未监测到但 eDNA 检测到的种类。

未监测到的鱼类隶属于 8 目 14 科 40 属 48 种,其中长江鲟、长蛇鮈、乐山小鳔鮈、岩原鲤为基于历史资料的传统捕捞中 eDNA 技术新检测到的鱼类,此次传统捕捞有 4 种新监测到的鱼类为鲤×鲫、南方拟鲮、齐口裂腹鱼、鲮。

对本次未监测到的鱼类进行分析,发现这些鱼类以杂食性、底层生活、喜静缓流鱼类和定居性鱼类偏多,产卵类型以产漂流性卵和产黏性卵为主。导致差异的原因,一是底层鱼类以底栖无脊椎动物或吸附在砾石上的着生藻类为食,多为杂食性鱼类,此类食性鱼类更容易受到梯级水库蓄水运行的影响^[30];二是闸坝的建设导致河流流速减慢,影响了定居性鱼类的迁移和觅食,同时由于河流的阻隔性也阻断了洄游性鱼类的洄游通道,影响了产卵繁殖,尤其是产漂流性卵和产黏性卵的鱼类,很多需要流水刺激,这对它们的繁殖过程起促进作用^[31];三是基于资料的统计可能不够准确^[32],传统捕捞具有随机性,受到诸多因素干扰;四是 20 多年来捕捞等人为活动的影响^[33],鱼类数量骤减。具体原因尚待继续研究。

3.2 结论

基于 2023 年的调查,綦江河现有鱼类 3 目 7 科 40 属 52 种,其中鲤形目 41 种,鲇形目 7 种,鲈形目 4 种,种类占比分别为 78.85%、13.46%、7.69%。全河段鱼类优势种为张氏鲮、斑点蛇鮈、中华倒刺鲃。綦江河梯级闸坝形成的 10 个河段的鱼类群落结构差异较为明显,梯级闸坝对杂食性鱼类和底层鱼类有明显的阻隔效应。此次资源调查完善和补充了綦江河不同河段鱼类资料,也对梯级闸坝对綦江河鱼类的影响做了深入研究。根据綦江河不同河段的渔获和受干扰程度的情况,对未来的河流管理、梯级闸坝改造及禁捕效果的评估提供了科学依据,推动了綦江河鱼类的保护与恢复。

参考文献:

- [1] 白子培,黄超. 綦江河水文特征及其对渠化工程的影响分析 [J]. 重庆交通学院学报, 1987, 6(1): 91-97.
- [2] 王仓仓. 南京国民政府时期导淮委员会研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [3] 中国动物志编委会. 中国动物志(硬骨鱼纲鲤形目) [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [4] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- [5] 张龙涛,李彬瑜,于亚男. 再生水补给水源湖泊生态系统鱼类多样性研究——以圆明园为例 [J]. 北京水务, 2021(4): 21-27.
- [6] 沈彦君,李清华,张玉凤,等. 基于水声学的长江重庆段南岸至长寿江段鱼类时空分布特征 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2023, 40(5): 40-48.
- [7] 王越,任泷,凡迎春,等. 澄湖鱼类群落结构特征及多样性分析 [J/OL]. 大连海洋大学学报, 1-14[2024-08-13]. <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2024-064>.
- [8] 白敬沛,黄耿,蒋长军,等. 丹江口水库鱼类群落特征及其历史变化 [J]. 生物多样性, 2020, 28(10): 1202-1212.
- [9] PINKAS L, OLIPHANT M, IVERSON I. Fish Bulletin 152. Food Habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito in California Waters [M]. California: Scripps Institution of Oceanography Library, 1970.
- [10] 徐东坡,刘凯,张敏莹,等. 长江常熟江段近岸小型鱼类群落结构及多样性探析 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 448-453.
- [11] SHANNON C E. A Mathematical Theory of Communication [J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [12] SIMPSON E H. Measurement of Diversity [J]. Nature, 1949, 163(4148): 688.
- [13] MARGALEF R. Perspectives in Ecological Theory [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1968.
- [14] PIELOU E C. Species-Diversity and Pattern-Diversity in the Study of Ecological Succession [J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10(2): 370-383.
- [15] JACCARD P. The Distribution of the Flora in the Alpine Zone. 1 [J]. New Phytologist, 2009, 11: 37-50.

- [16] 蒋巧丽. 舟山灰鳖洋海域鱼类群落结构及其生物多样性年际变化研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
- [17] WARWICK R M. A New Method for Detecting Pollution Effects on Marine Macrobenthic Communities [J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [18] 左硕, 朱峰跃, 陈大庆, 等. 怒江西藏段鱼类群落结构及多样性研究 [J]. *水生态学杂志*, 2024, 45(4): 73-81.
- [19] 刘成汉. 四川鱼类区系的研究 [J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 1964(2): 95-138.
- [20] 史为良. 鱼类动物区系复合体学说及其评价 [J]. *水产科学*, 1985, 4(2): 42-45.
- [21] 陈兵, 孟雪晨, 张东, 等. 河流鱼类分类群和功能群的纵向梯度格局——以新安江流域为例 [J]. *生态学报*, 2019, 39(15): 5730-5745.
- [22] 郭宁宁, 沈梅, 肖能文, 等. 基于环境 DNA 技术的赤水河秋季鱼类多样性分布特征 [J]. *生态学报*, 2023, 43(4): 1676-1690.
- [23] 常涛, 刘焕章. 密西西比河干流大坝建设对鱼类的影响及保护措施 [J]. *水生生物学报*, 2020, 44(6): 1330-1341.
- [24] 马卓萃, 胡良和, 蒋任飞, 等. 东江下游河流鱼类群落健康研究 [J]. *人民珠江*, 2023, 44(9): 88-95, 103.
- [25] 薛浩, 郑丙辉, 孟凡生, 等. 甘河着生藻类群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *生态环境学报*, 2020, 29(2): 328-336.
- [26] 陈明明. 观音阁水库水温结构模拟及不同放水方式对多闸坝河流水质影响预测分析 [D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2022.
- [27] 熊天寿, 王慈生, 刘方贵, 等. 重庆江河鱼类 [J]. *重庆师范学院学报(自然科学版)*, 1993, 10(2): 27-32.
- [28] 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.
- [29] 李筱芹, 吴开阳, 倪达富, 等. 基于环境 DNA 技术的梯级水坝对长江上游重要支流鱼类多样性的影响研究——以綦江为例 [J]. *生态学报*, 2024, 44(19): 8865-8883.
- [30] PEREIRA L S, AGOSTINHO A A, DELARIVA R L. Effects of River Damming in Neotropical Piscivorous and Omnivorous Fish: Feeding, Body Condition and Abundances [J]. *Neotropical Ichthyology*, 2016, 14(1): e150044.
- [31] NIELAND J L, SHEEHAN T F, SAUNDERS R. Assessing Demographic Effects of Dams on Diadromous Fish: A Case Study for Atlantic Salmon in the Penobscot River, Maine [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(8): 2423-2437.
- [32] 杨秋菊. 抚河浮游生物群落与鱼类早期资源的初步研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2023.
- [33] JUVIGNY-KHENAFU N P D, PIGGOTT J J, ATKINSON D, et al. Impacts of Multiple Anthropogenic Stressors on Stream Macroinvertebrate Community Composition and Functional Diversity [J]. *Ecology and Evolution*, 2020, 11(1): 133-152.

责任编辑 张枸