



沱江中游鱼类资源现状及多样性

邹远超¹, 唐成^{1,2}, 谢伟^{1,2}, 严杰¹, 李荣云¹, 叶志祥²,
吴金明², 黄先全^{2,3}, 段辛斌^{2,4*}, 危起伟^{2*}

(1. 内江师范学院生命科学学院, 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 四川 内江 641112;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;

3. 资中县农业农村局, 四川 内江 641200;

4. 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 重庆 400000)

摘要: 为探究“十年禁渔”前沱江中游江段鱼类资源和物种多样性, 于2017—2020年对该江段鱼类资源进行了8次调查, 并对鱼类种类组成、生态类型、群落相似度、种群优势度、生物多样性以及群落结构稳定性等特征进行分析。结果显示, 本次调查共采集鱼类87种, 隶属于5目14科52属。其中, 长江上游特有鱼类18种, 外来物种6种, 分别占总种类数的20.69%和6.90%。鱼类群落以底层、缓流型、产沉性卵、杂食性鱼类为主。相对重要性指数(IRI)显示, 蛇鮈、鲤等中小型鱼类为优势种。Shannon-Wiener指数、Simpson指数、Margalef指数、Pielou指数变化范围分别为2.700~3.742、0.873~0.968、5.374~11.323、0.737~0.887, 表明沱江中游鱼类群落分布均匀。等级聚类分析(Cluster)和非度量多维尺度分析(NMDS)显示, 在一定的相似性水平上, 沱江中游江段鱼类的群落类型基本可分为3组, 莲花山、麻柳坝工业园与铁路沟可以聚为一组, 万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山镇、二水厂与西林渡口聚为一组, 沱桥独立成组。数量/生物量比较曲线分析结果显示, 西林渡口和沱桥江段鱼类群落结构稳定性相对较高, 其余江段鱼类群落结构均受到中度干扰。研究表明, 与历史资料相比, 沱江中游鱼类群落发生了显著变化, 经济鱼类占比减少, 鱼类个体呈现小型化和低龄化。本研究补充了沱江中游鱼类资源现状的基础数据, 以期为该江段鱼类资源管理与“十年禁渔”生态评估提供科学依据。

关键词: 鱼类群落结构; 多样性; 生态类型; 沱江中游

中图分类号: S 931

文献标志码: A

沱江是长江左岸流域中全部在四川境内的一级支流, 源起川西北九顶山, 南流至成都金堂县, 接纳各支流后始称沱江, 经简阳、资阳、资中、内江等市县, 于泸州汇入长江, 地势西北高东南低, 全长712 km^[1-4]。沱江中游河道平缓弯曲,

滩沱相间, 水流缓急交替, 具有典型的平原型河道特征, 加之气候温润多雨, 饵料生物丰富, 鱼类种类多且产量高, 是四川省重要的鱼类产区之一^[5]。

鱼类作为水生生态系统中极其重要的一部分,

收稿日期: 2021-12-13 修回日期: 2023-01-21

资助项目: 农业农村部财政专项“长江渔业资源与环境调查(2017—2021)”; 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站开放课题(FRESES201901)

第一作者: 邹远超(照片), 从事渔业资源保护研究, E-mail: zou3891@163.com

通信作者: 段辛斌, 从事渔业资源研究, E-mail: duan@yfi.ac.cn;

危起伟, 从事水生生物多样性保护与利用研究, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn



对生态环境变化具有极强的感知能力和指示作用, 其群落结构组成和变化影响着水生生态系统的结构和功能, 可以通过上、下行效应反映水生生态系统中各成分之间的相互作用^[6-10]。鱼类群落结构及其多样性是国内外各大水生生态系统生态研究的热点。例如, 水生生态系统中鱼类群落结构对大型水坝建设的响应^[11-13], 鱼类群落多样性与环境因子的关系^[6, 9, 14-17], 以及过度捕捞、水质污染等人类活动对鱼类资源的影响^[18-20]。截至目前, 关于沱江鱼类资源状况的研究资料较为匮乏, 丁瑞华^[21]于1980—1984年对沱江渔业资源进行了系统调查, 共采集到鱼类106种。范正年等^[22]于1983—1984年对沱江渔业进行了调查, 报道鱼类97种。然而, 上述调查数据距今已近四十年, 不能完全反映沱江鱼类资源与生物多样性现状。另外, 沱江流经四川省内主要的工业城区和农业灌溉区, 流域内人口密度高, 污染严重。近年来各类水电站的修建, 阻断了经济鱼类的洄游通道, 打破了原有的水生生态系统的生境, 影响了鱼类生存和繁衍^[23-25]。多种因素的叠加, 对沱江中游的鱼类产生了深远的影响, 导致鱼类群落的结构与多样性产生巨大的变化。因此, 本研究基于2017—2020年渔获物调查数据, 对沱江中游鱼类群落特征现状和历史变化趋势进行分析与讨论, 以期为该江段鱼类资源管理与“十年禁渔”生态评估提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

于2017—2020年, 在沱江中游共设置10个调查站点, 分别为S1~S10(对应名称依次为莲花山、麻柳坝工业园、铁路沟、万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山镇、二水厂、西林渡口、沱桥), 具体位点见图1。每年对该区域进行2次鱼类资源调查, 分别为每年的7—9月(夏季丰水期)、10—12月(冬季枯水期), 共计8次。调查方法主要依据《渔业生态环境监测规范》(SC/T 9102.3—2007)以及《内陆水域资源调查手册》进行。为确保渔获物的单位捕捞努力量一致, 每次采样12 d, 每天作业12 h, 调查中使用的渔具包括定置刺网(网目4~10 cm, 网长100 m, 网高1.5 m)、单层拖网(网目9~10 cm, 直径10 m, 网高5.5 m)、三层牵网(网目12 cm, 网长85 m, 网高8 m)、三层盖网(网目9~10 cm, 网长25 m, 网宽12 m)、小钩、

地笼(网目2 cm, 笼长5 m, 网高0.4 m), 以此捕获多种生态类型鱼类。采集到的标本进行现场鉴定, 测量每尾鱼的全长(mm)、体长(mm)和体重(g)等基础生物学数据并及时放回捕捞水域, 意外死亡个体进行标本处理保存, 同时准确记录每尾鱼采集地点、采集日期、船次等信息。对未知种类进行生物学测量后, 用10%的福尔马林溶液固定, 并标明捕捞时间及地点, 带回实验室鉴定。种类鉴定参照《四川鱼类志》^[26]、《中国动物志》^[27-28]、Fishbase^[29]等。

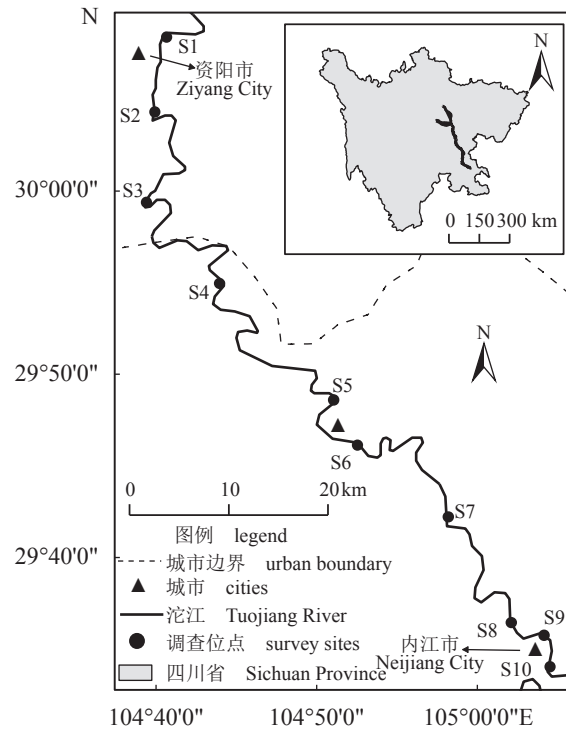


图1 沱江中游鱼类采样点分布图

S1. 莲花山站, S2. 麻柳坝工业园站, S3. 铁路沟站, S4. 万古庙站, S5. 五里店水电站站, S6. 资州大桥站, S7. 银山站, S8. 二水厂站, S9. 西林渡口站, S10. 沱桥站, 下同

Fig. 1 Sampling sites in the middle reaches of Tuojiang River

S1. Lianhuashan Station, S2. Maliuba industrial park Station, S3. Tielugou Station, S4. Wangumiao Station, S5. Wulidian hydroelectric Station, S6. Zizhou Bridge Station, S7. Yinshan Station, S8. Second Water Plant Station, S9. Xilin Ferry Station, S10. Tuo Bridge Station, the same below

1.2 数据分析

鱼类生态类型划分 参考历史资料^[26-28], 通过对调查区域鱼类的栖息水层、生境偏好、产卵类型和食性等特点进行整理分析后, 对其生态类型进行划分。根据鱼类栖息水层划分为中上层、

中下层和底层 3 种类型; 根据鱼类对流水生境的喜好程度分为喜流水性鱼类和喜静缓流性鱼类; 根据鱼卵类型分为浮性卵、漂流性卵、黏性卵、沉性卵和喜贝产卵 5 种类型; 根据鱼类成年阶段主要食物的组成为植食性、肉食性和杂食性。

群落优势种分析 在分析渔获物重量百分数及数量百分数的基础上, 采用相对重要性指数 (IRI) 判断物种的群落成员类型^[30], 优势种: $IRI \geq 1000$; 亚优势种: $1000 > IRI \geq 100$; 伴生种: $100 > IRI \geq 10$; 偶见种: $IRI < 10$ 。IRI 计算公式:

$$IRI = (P + W) F \times 10^4$$

$$F = C/Y$$

式中, P 代表个体数量百分比 (每种鱼类个体数量占所捕渔获总数量的比例); W 代表个体重量百分比 (每种鱼类重量占所捕渔获总重量的比例); F 是出现频率 (某一物种在采样中每船出现的频率); Y 表示渔获物调查的船数; C 表示物种在渔获物中出现的次数。

保护对象及保护等级划分 参照《中国濒危动物红皮书》^[31]、《中国生物多样性红色名录》^[32]、《国家重点保护水生野生动物》^[33] 等资料, 整理出调查区域鱼类保护对象, 并对其保护等级及濒危等级进行划分。

生物多样性分析 本次研究采用 Shannon-Wiener 指数^[34]、Simpson 指数^[35]、Margalef 指数^[36] 和 Pielou 指数^[37], 分析沱江中游鱼类生物多样性指数。各计算公式:

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson 指数: } D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$\text{Margalef 指数: } d = \frac{S-1}{\ln N}$$

$$\text{Pielou 指数: } J = \frac{H}{\ln S}$$

式中, $P_i = n_i/N$, n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类总个体; S 为物种数。

群落相似度分析 利用 Primer 6.0 软件进行分析, 将鱼类种类和相对丰度数据作为原始矩阵, 经平方根转换后, 构建不同采样站点的 Bray-Crutis 相似性系数矩阵, 采用等级聚类分析 (Cluster) 和非度量多维尺度分析 (NMDS) 来研究群落结构, 并划分成不同的群落组^[19]。采用单因素的相似性分析 (One-Way ANOSIM) 检验各组之间的差异性, 显著性水平为 $\alpha=0.05$ ^[38]。

群落结构稳定性分析 采用 Warwick^[39] 提出的数量-生物量比较曲线 (abundance biomass comparison curve, 简称 ABC 曲线) 方法, 对各调查站点鱼类群落结构的稳定性进行分析。 W 值为 ABC 曲线的统计量, 计算公式:

$$W = \sum_{i=1}^S (B_i - A_i) / [50(S-1)]$$

式中, S 为物种数, B_i 和 A_i 分别为曲线中种类序号对应的生物量和数量的累计百分比。

该方法是通过 W 值、比较生物量优势曲线和数量优势曲线在同一坐标系中的分布情况对群落结构的稳定性进行分析。当鱼类群落处于稳定状态时, W 值为正, 生物量优势曲线处在数量优势曲线上方; 当鱼类群落受到中度干扰时, W 值趋近于 0, 两条曲线相互接近或交叉; 当鱼类群落受到严重干扰时, W 值为负, 生物量优势曲线处在数量优势曲线下方^[6-9]。

2 结果

2.1 鱼类组成、生态类型、优势种及保护等级

鱼类种类组成 本次调查共采集鱼类 19 049 尾, 总重 725.91 kg, 鉴定出鱼类 87 种, 隶属于 5 目 14 科 52 属 (表 1, 表 2)。其中, 鲤形目 67 种, 占鱼类总种数 77.01%; 其次鲇形目 11 种, 占 12.64%; 鲈形目 7 种, 占 8.05%; 鲟形目和合鳃目最少, 各 1 种, 均占 1.15%。鲤形目鲤科鱼类居多, 共 52 种, 占 59.77%, 其次为鳅科鱼类, 共 13 种, 占 14.94%。长江上游特有鱼类有四川华鳊、高体近红鲂、汪氏近红鲂等 18 种, 占总种类数 20.69%; 外来物种有杂交鲟、团头鲂、散鳞镜鲤等 6 种, 占总种类数 6.90%。

鱼类生态类型 按栖息水层划分, 调查到的 87 种鱼类中, 底层鱼类种类最多, 共 43 种, 占总种数 49.43%; 其次为中下层鱼类, 共 27 种, 占 31.03%。按繁殖特性划分, 以产沉性卵的鱼类为主, 共 32 种, 占 36.78%。按栖息流速划分, 缓流性鱼类种类最多, 共 43 种, 占 49.43%; 静水性鱼类最少, 仅 3 种, 占 3.45%。按食性划分, 杂食性鱼类种类最多, 为杂食性 > 肉食性 > 植食性, 占比分别为 63.22%、33.33%、3.45% (表 1)。

优势种 根据相对重要性指数 $IRI \geq 1000$ 为优势种, 通过对 10 个采样点不同季节主要渔获

表 1 沱江中游鱼类种类、分布及生态类型

Tab. 1 Species, distribution and ecological types of fish in the middle reaches of Tuojiang River

种类 species	分布站点 distribution sites										生态类型 ecological type	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10		
鲟形目 Acipenseriformes												
鲟科 Acipenseridae												
杂交鲟 hybrid sturgeon*					+							B; R; V; O
鲤形目 Cypriniformes												
胭脂鱼科 Catostomidae												
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>				+	+		+	+				L; R; D; O
鲈科 Cobitidae												
红尾副鲈 <i>Paracobitis variegatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
短体副鲈 <i>Paracobitis potanini</i> ★	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
红唇薄鲈 <i>Leptobotia rubrilabris</i> ★				+	+	+						B; R; S-P; O
小眼薄鲈 <i>Leptobotia microphthalmia</i> ★				+	+	+	+	+	+	+		B; R; S-P; O
长薄鲈 <i>Leptobotia elongata</i> ★	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		B; R; S-P; O
紫薄鲈 <i>Leptobotia taeniops</i>				+	+			+				B; R; S-P; O
薄鲈 <i>Leptobotia pellegrini</i>				+		+						
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>		+	+						+	+		B; N; D; O
花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	+	+			+	+	+	+	+	+		B; R; S-P; O
双斑副沙鳅 <i>Parabotia bimaculata</i>				+		+						B; R; S-P; O
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		B; R; D; O
宽体沙鳅 <i>Botia reevesae</i> ★				+	+	+	+	+	+			B; R; S-P; O
中华沙鳅 <i>Botia superciliaris</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
鲤科 Cyprinidae												
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; D; O
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+		U; R; D; O
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; R; S-P; C
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; R; S-P; H
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	+			+	+	+	+	+	+	+		U; N; S-P; O
黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; S-P; O
圆吻鲮 <i>Distoechodon tumirostris</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; S-P; O
鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		U; R; S-P; C
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; S-P; H
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>			+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; S; O
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>				+	+	+	+	+				L; N; S; O
彩石鲮 <i>Rhodeus lighti</i>				+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; S; O
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>			+		+		+	+				L; N; S; O
短须鲮 <i>Acheilognathus barbatus</i>				+	+	+	+					L; N; S; O
峨眉鲮 <i>Acheilognathus omeiensis</i> ★	+				+	+	+	+	+	+	+	L; N; S; O
兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>					+	+	+	+	+	+	+	L; N; S; O
四川华鲮 <i>Simbrama taeniatus</i> ★	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; S-P; O
高体近红鲮 <i>Ancherythroculter kurematsui</i> ★	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; V; C
黑尾近红鲮 <i>Ancherythroculter nigrocauda</i> ★	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; V; C
汪氏近红鲮 <i>Ancherythroculter wangi</i> ★		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; V; C

· 续表 1 ·

种类 species	分布站点 distribution sites										生态类型 ecological type	
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10		
蒙古鲃 <i>Culter mongolicus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; V; C
翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; V; C
达氏鲃 <i>Culter dabryi*</i>					+	+						U; R; V; C
半鲮 <i>Hemiculterella sawagei★</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; N; D; O
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; N; D; O
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>			+		+	+	+	+	+	+	+	U; N; D; O
张氏鲮 <i>Hemiculter tchangi★</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	U; R; D; O
厚颌鲂 <i>Megalobrama pellegrini★</i>						+						L; R; D; O
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala*</i>			+		+	+		+	+	+		L; N; V; H
唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	+		+	+	+	+	+	+	+	+		B; N; D; C
花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
似鲮 <i>Belligobio nummifer</i>				+								B; N; D; C
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; V; O
华鲮 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>				+	+							L; N; S-P; O
黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>					+	+						L; N; S-P; O
川西鲮 <i>Sarcocheilichthys davidi★</i>				+	+	+						L; N; S-P; O
短须颌须鲂 <i>Gnathopogon imberbis</i>				+	+	+						L; R; D; O
银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; R; S-P; O
点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	+			+	+	+	+	+	+	+		L; R; S-P; O
吻鲃 <i>Rhinogobio typus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
圆筒吻鲃 <i>Rhinogobio cylindricus★</i>		+			+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; O
钝吻棒花鱼 <i>Abbottina obtusirostris★</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; O
乐山小鰕鲃 <i>Microphysogobio kiatingensis</i>		+	+	+	+	+	+					B; N; D; O
光唇蛇鲃 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>					+	+						B; R; S-P; O
长蛇鲃 <i>Saurogobio dumerili</i>				+	+	+				+		B; R; S-P; O
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>				+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
宽口光唇鱼 <i>Acrossocheilus monticolus★</i>			+	+		+	+	+	+	+	+	U; N; D; O
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; V; O
散鳞镜鲤 <i>Cyprinus carpio var. specularis*</i>						+	+					B; R; V; O
鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; R; V; O
平鳍鲃科 Homalopteridae												
四川华吸鲃 <i>Sinogastromyzon szechuanensis★</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; S-P; O
鲃形目 Siluriformes												
油鲃科 Pimelodidae												
红尾护头鲃 <i>Phractocephalus hemiliopterus*</i>				+								B; N; D; C
鲃科 Siluridae												
鲃 <i>Silurus asotus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
南方鲃 <i>Silurus meridionalis</i>			+	+	+	+	+	+	+	+		B; N; D; C
鲃科 Bagridae												
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	+		+	+	+	+	+	+	+	+		L; N; D; C

· 续表 1 ·

种类 species	分布站点 distribution sites										生态类型 ecological type
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	+		+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>		+		+	+	+	+		+		B; R; D; C
切尾拟鲮 <i>Pseudobagrus truncatus</i>				+	+	+	+	+	+		B; N; D; C
大鳍鱮 <i>Mystus macropterus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; R; D; C
鲮科 Sisoridae											
中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinensis</i>	+	+		+	+	+	+	+	+		B; R; D; O
合鳃目 Synbranchiformes											
合鳃科 Synbranchidae											
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
鲈形目 Perciformes											
鲈科 Serranidae											
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; P; C
斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>		+			+	+					L; R; P; C
大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	L; N; P; C
虾虎鱼科 Gobiidae											
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	B; N; D; C
丝足鲈科 Osphronemidae											
叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>				+	+	+	+	+	+	+	L; N; P; O
鱧科 Channidae											
乌鱧 <i>Channa argus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+		B; N; P; C
月鱧 <i>Channa asiatica*</i>					+	+					B; N; P; C

注: ★. 沱江中游特有鱼类, * . 外来鱼类, +. 本次调查中出现的鱼类, U. 中上层鱼类, L. 中下层鱼类, B. 底层鱼类, N. 喜静缓流鱼类, R. 喜流水鱼类, P. 产浮性卵的鱼类, S-P. 产漂流性卵的鱼类, V. 产黏性卵的鱼类, D. 产沉性卵的鱼类, S. 喜贝产卵的鱼类, H. 植食性鱼类, C. 肉食性鱼类, O. 杂食性鱼类

Notes: ★. endemic fish in the middle reaches of Tuojiang River, * . exotic fish, +. fish appearing in this survey, U. pelagic fish, L. lower middle fish, B. bottom fish, N. quiet and slow-flowing fish; R. flowing fish; P. fish that produce floating eggs, S-P. fish that produce drifting eggs, V. fish that produce sticky eggs, D. fish that produce sunken eggs, S. the fish that likes shellfish to lay eggs, H. herbivorous fish, C. carnivorous fish, O. omnivorous fish

物组成分析, 结果显示, 各采样点不同月份的优势种存在明显的差异。其中莲花山、麻柳坝工业园、铁路沟、万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山、二水厂、西林渡口及沱桥 7—9 月的优势种分别为 4、3、3、6、5、6、4、4、4 和 4 种, 10—12 月优势种除银山和沱桥均有 3 种外, 其他站点均有 2 种。各站点 7—9 月相同种类为蛇鮈和鲤; 10—12 月相同种类为黄颡鱼。整体上看, 沱江中游优势种主要以蛇鮈、鲤、黄颡鱼、翘嘴鲌、鲫、蒙古鲮、张氏鲮等中小型经济鱼类为主(表 3)。

保护对象及保护等级 调查结果显示, 采集的 87 种鱼类中, 有 10 种被列入了四川省重点保护鱼类, 分别为胭脂鱼、岩原鲤、长薄鳅、红唇薄鳅、小眼薄鳅、紫薄鳅、宽体沙鳅、短体副

鳅、四川华吸鳅和长须黄颡鱼, 占总种类数的 11.50%。其中 4 种为国家二级保护动物, 分别为胭脂鱼、岩原鲤、红唇薄鳅和长薄鳅, 占总种类数的 4.60%; 3 种鱼类被列入《中国濒危动物红皮书》^[31], 分别为胭脂鱼、岩原鲤和长薄鳅, 占总种类数的 3.44%; 4 种鱼类被列入《中国生物多样性红色名录》^[32], 分别为胭脂鱼、岩原鲤、长薄鳅和红唇薄鳅, 占总种类数的 4.60%(表 4)。

2.2 鱼类多样性

多样性指数分析结果显示, 沱江中游鱼类多样性水平较高, Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Margalef 指数、Pielou 指数变化范围分别为 2.700~3.742、0.873~0.968、5.374~11.323、0.737~0.887, 表明沱江中游鱼类群落分布均匀度较高

表 2 沱江中游鱼类区系组成

Tab. 2 Fauna composition of fish in the middle reaches of Tuojiang River

目 order	种 species	百分比/% percentage	科 family	种 species	百分比/% percentage
鲟形目 Acipenseriformes	1	1.15	鲟科 Acipenseridae	1	1.15
鲤形目 Cypriniformes	67	77.01	鳅科 Cobitidae	13	14.94
			鲤科 Cyprinidae	52	59.77
			胭脂鱼科 Catostomidae	1	1.15
			平鳍鳅科 Homalopteridae	1	1.15
鲇形目 Siluriformes	11	12.64	油鲇科 Pimelodidae	1	1.15
			鲇科 Siluridae	2	2.30
			鲢科 Bagridae	7	8.05
			鮡科 Sisoridae	1	1.15
合鳃鱼目 Synbranchiformes	1	1.15	合鳃科 Synbranchidae	1	1.15
鲈形目 Perciformes	7	8.05	鲈科 Serranidae	3	3.45
			虾虎鱼科 Gobiidae	1	1.15
			丝足鲈科 Osphronemidae	1	1.15
			鳢科 Channidae	2	2.30
总计 total	87	100.00	总计 total	87	100.00

表 3 沱江中游鱼类优势种的时空分布

Tab. 3 Spatial and temporal distribution of dominant fish species in the middle reaches of Tuojiang River

站点 sites	时间 time	优势种 dominant species					
S1	7—9月	蛇鮈	鲤	四川华鲮	圆吻鲟		
	10—12月	黄颡鱼	鲤				
S2	7—9月	蛇鮈	鲤	蒙古鲃			
	10—12月	黄颡鱼	光泽黄颡鱼				
S3	7—9月	蛇鮈	鲤	翘嘴鲃			
	10—12月	大鳍鲮	黄颡鱼				
S4	7—9月	蛇鮈	鲤	翘嘴鲃	草鱼	大鳍鲮	蒙古鲃
	10—12月	黄颡鱼	大鳍鲮				
S5	7—9月	蛇鮈	鲤	翘嘴鲃	张氏鲮	蒙古鲃	
	10—12月	黄颡鱼	大鳍鲮				
S6	7—9月	蛇鮈	鲤	四川华吸鳅	张氏鲮	蒙古鲃	翘嘴鲃
	10—12月	黄颡鱼	大鳍鲮				
S7	7—9月	蛇鮈	鲤	蒙古鲃	草鱼		
	10—12月	黄颡鱼	鲫	大鳍鲮			
S8	7—9月	蛇鮈	鲤	鲫	短体副鲈		
	10—12月	黄颡鱼	鲫				
S9	7—9月	蛇鮈	鲤	蒙古鲃	草鱼		
	10—12月	黄颡鱼	大鳍鲮				
S10	7—9月	蛇鮈	鲤	蒙古鲃	花鲮		
	10—12月	银鮈	黄颡鱼	光泽黄颡鱼			

(图 2)。从鱼类多样性的年际变化来看, Shannon-Wiener 多样性指数与 Simpson 优势度指数在莲花

山、麻柳坝工业园、铁路沟、五里店水电站和西林渡口 5 个站点呈现逐年下降趋势, 其他站点呈

表 4 沱江中游鱼类保护对象及保护等级

Tab. 4 Protection objects and conservation class of fishes in the middle reaches of Tuojiang River

物种 species	濒危等级 endangered category		保护等级 protection class	四川省重点 保护鱼类(是/否) key protected fish in Sichuan Province(Y/N)
	《中国濒危动物红皮书》 ^[31] China red data Book of Endangered Animals	《中国生物多样性红色名录》 ^[32] China's Red List of Biodiversity		
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	易危	极危	II	Y
岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i>	易危	易危	II	Y
长薄鳅 <i>Leptobotia elongata</i>	易危	濒危	II	Y
红唇薄鳅 <i>Leptobotia rubrilabris</i>		易危	II	Y
小眼薄鳅 <i>Leptobotia microphthalma</i>				Y
紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i>				Y
宽体沙鳅 <i>Botia reevesae</i>				Y
短体副鳅 <i>Paracobitis potanini</i>				Y
四川华吸鳅 <i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>				Y
长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>				Y

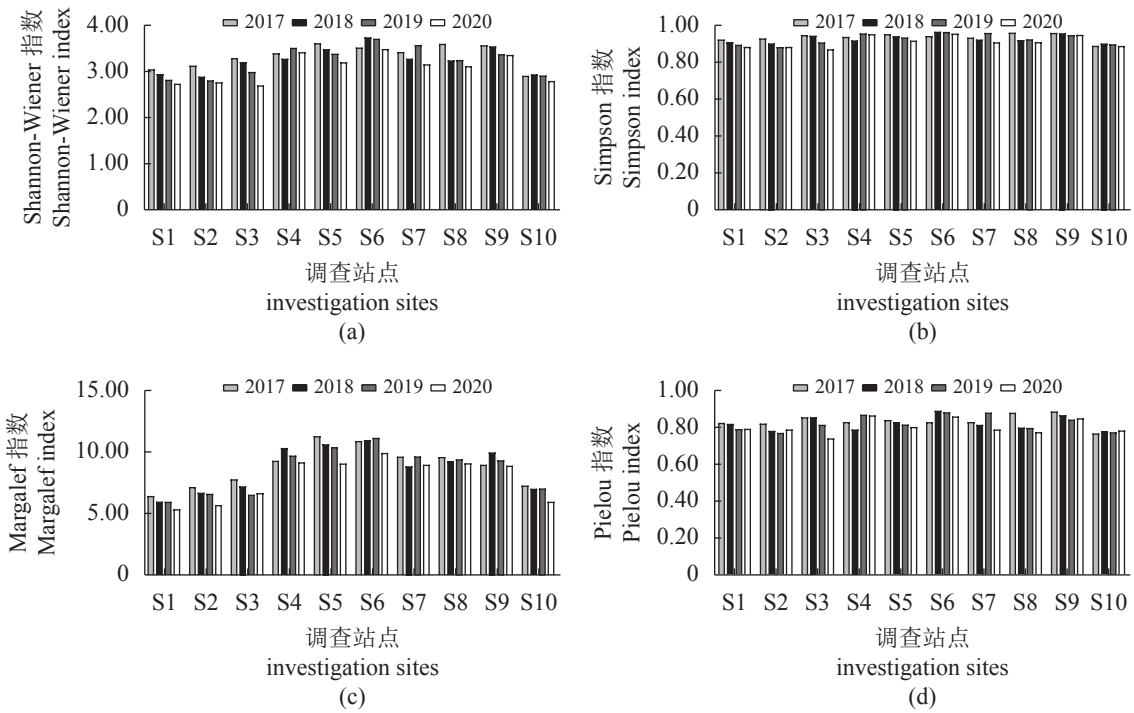


图 2 沱江中游各站点鱼类多样性特征值年际变化

Fig. 2 Interannual variation of eigenvalue of fish diversity in the middle reaches of Tuojiang River

现不同的波动趋势; Margelef 丰富度指数在莲花山、麻柳坝工业园和五里店水电站 3 个站点呈现逐年下降趋势, 其他站点呈现不同的波动趋势; Pielou 均匀度指数五里店水电站和二水厂 2 个站点呈现逐年下降趋势, 其他站点呈现不同的波动趋势。从鱼类多样性的空间变化来看, Shannon-Wiener 多样性指数与 Margelef 丰富度指数在资州大桥站点最高, 在莲花山站点最低; Simpson 优势

度指数在资州大桥站点最高, 在沱桥站点最低; Pielou 均匀度指数的均值都大于 0.700, 表明沱江中游鱼类群落分布均匀(图 3)。

2.3 鱼类群落特征

鱼类种群分布情况, 莲花山站 48 种, 长江上游特有鱼类 10 种; 麻柳坝工业园站 48 种, 长江上游特有鱼类 10 种; 铁路沟站 51 种, 长江上

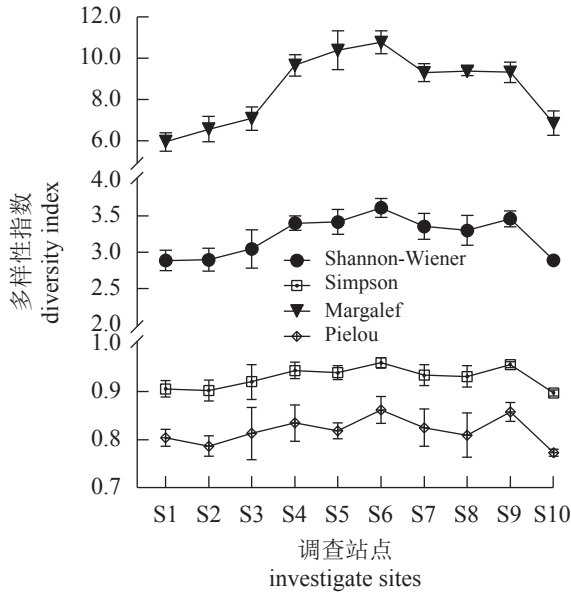
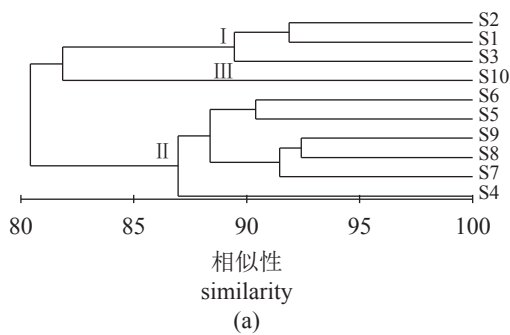


图3 沱江中游各江段鱼类多样性特征值空间变化
Fig. 3 Temporal-spatial changes of fish diversity index in the middle reaches of Tuojiang River

游特有鱼类 10 种；万古庙站 71 种，长江上游特有鱼类 15 种；五里店水电站站 79 种，长江上游特有鱼类 16 种；资州大桥站 79 种，长江上游特有鱼类 17 种；银山站 68 种，长江上游特有鱼类 15 种；二水厂站 67 种，长江上游特有鱼类 15 种；西林渡口站 64 种，长江上游特有鱼类 14 种；沱桥站 46 种，长江上游特有鱼类 11 种。各调查站点长江上游特有鱼类占比分别为 20.83%、20.83%、19.61%、21.13%、20.25%、21.52%、22.06%、22.39%、21.88% 和 23.91% (表 1)。

Cluster 聚类分析结果表明，在 86.96% 相似性水平上，沱江中游 10 个采样点的鱼类群落分为 3 组，组 I 包括 3 个采样站点，分别为莲花山、麻柳坝工业园和铁路沟；组 II 包括 6 个采样点，



分别为万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山镇、二水厂、西林渡口；沱桥单独成为一组。One-Way ANOSIM 检验结果显示，沱江中游鱼类群落的组间差异极显著 (全局 $R=0.992$, $P=0.001$)。NMDS 的胁迫系数为 0.02，表明该聚类结果很好。NMDS 排序结果表明，在相似性水平为 85% 时，鱼类群落可以分为三组，这与 Cluster 聚类结果一致 (图 4)。

2.4 鱼类群落稳定性

为判断沱江中游江段鱼类群落稳定性，对各采样站点的渔获物数据进行数量/生物量比较曲线分析 (图 5)。结果显示，莲花山、麻柳坝工业园、铁路沟，万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山镇与二水厂的生物量优势度曲线在数量优势度曲线下方，且呈现出不同程度的交叉，表明其群落结构受到了中度干扰；西林渡口和沱桥站点的生物量优势度曲线位于数量优势度曲线之上，且生物量优势度曲线的起点高于数量优势度曲线的起点，表明两个站点的鱼类群落结构相对稳定。根据各站点不同年份数量/生物量曲线计算的 W 值的变化范围为 $-0.115 \sim 0.116$ (表 5)。其中，莲花山站点 2018—2019 年的 W 值均小于 0；西林渡口和沱桥站点 2017—2020 年的 W 值均大于 0，麻柳坝工业园、万古庙和银山站点仅 2018 年的 W 值小于 0，铁路沟、五里店水电站站、资州大桥站和二水厂站仅 2019 年的 W 值小于 0。

3 讨论

3.1 沱江中游鱼类种类组成及变化趋势

本研究共采集鱼类 87 种，鱼类种类相对丰富，但与丁瑞华^[21]、范正年等^[22] 的调查数据相比，

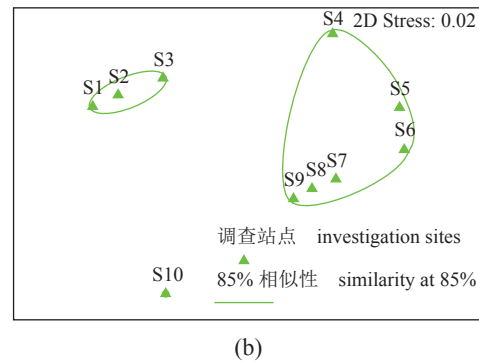


图4 沱江中游鱼类群落结构聚类 (a) 和非度量多维尺度分析 (b)

Fig. 4 Cluster analysis (a) and NMDS analysis (b) of fishes in the middle reaches of Tuojiang River

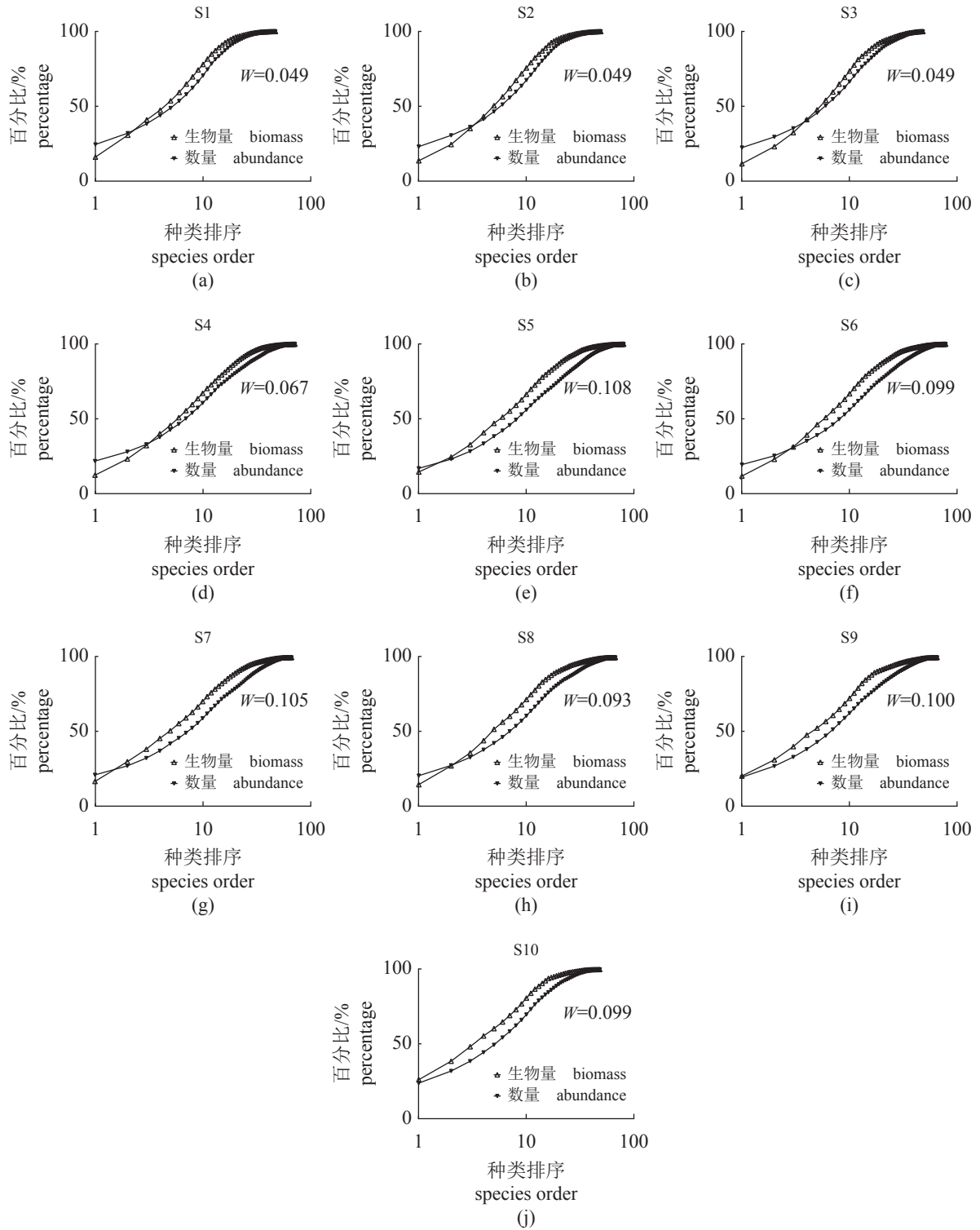


图 5 沱江中游各江段鱼类群落的数量-生物量曲线

Fig. 5 Abundance/biomass curve of fish communities at each reach in the middle reaches of Tuojiang River

鱼类种数明显下降(表 6)。据历史资料记载^[21], 沱江主要经济鱼类有 20 余种, 包括鲸(*Luciobrama macrocephalus*)、鳊(*Elopichthys bambusa*)和 鲢(*Ochetobius elongatus*)等大型经济鱼类。然而, 通

过近年来的调查发现, 沱江主要经济鱼类为鲤、翘嘴鲌、圆吻鲴、草鱼、蛇鲻、鲫、蒙古鲌、张氏鲮、大鳍鲮、黄颡鱼等 10 余种中小型鱼类, 沱江中游江段主要经济鱼类呈下降趋势, 鱼类组成

表 5 沱江中游各站点鱼类群落 W 值年际变化

Tab. 5 Interannual variation of fish community W value in the middle reaches of Tuojiang River

年份 year	采样点 sampling sites									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
2017	0.036	0.032	0.042	0.077	0.099	0.096	0.032	0.042	0.096	0.092
2018	-0.022	-0.021	0.023	-0.016	0.108	0.092	-0.011	0.023	0.092	0.089
2019	-0.015	0.039	-0.017	0.095	-0.115	-0.012	0.039	-0.017	0.105	0.103
2020	0.048	0.046	0.068	0.047	0.092	0.136	0.046	0.068	0.103	0.116

表 6 研究区域鱼类种类组成历史与现状比较

Tab. 6 Comparison of fish species composition history and current situation in the study area

调查年份 year of survey	目数 number of order	科数 number of families	物种数 number of species
1980—1989年 ^[21]	7	18	122
1983—1984年 ^[22]	7	16	97
2017—2020年	5	14	87

已发生了较大的变化。本研究采集的大部分经济鱼类中, 其体重范围远低于历史数据, 如捕获的鲇最小体重和最大体重分别不足历史时期的 1/40、1/3 (表 7), 表明沱江中游鱼类个体幼化严重, 呈现出小型化趋势。与历史数据相比, 近年来沱江中游有近 40 种鱼类不曾出现, 如鲸、鳃、鳢、白甲鱼 (*Onychostoma sima*)、泉水鱼 (*Pseudogyrinocheilus procheilus*)、铜鱼 (*Coreius heterodon*) 和圆口铜鱼 (*Coreius guichenoti*) 等在本次调查中均未出现 (表 1)。本次调查涉及江段较长, 且调查时间较久, 故推断这些未采集到的鱼类在该江段的种群数量大幅下降甚至绝迹。究其原因, 主要是沱江流经四川省内主要的工业城区和农业灌溉区受污染严重, 流域内人口密度高。近年来各类水电站

表 7 研究区域部分经济鱼类体重的历史与现状比较

Tab. 7 Comparison of weight history and current status of some economic fishes in the study area

种名 species	体重/g body weight	
	本研究 this study	历史研究 ^[21] history study
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	16~2 230	400~1 000
鲇 <i>Silurus asotus</i>	5~1 570	200~5 000
大鳍鱠 <i>Mystus macropterus</i>	7~280	100~700
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	5~557	200~600
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	8~261	100~300
吻鲌 <i>Rhinogobio typus</i>	14~92	10~200
蛇鲌 <i>Saurogobio dabryi</i>	3~38	10~100

的修建, 阻断了经济鱼类的洄游通道, 打破了原有的生境, 影响了鱼类的生存和繁衍^[23-25]。

本次调查采集到了散鳞镜鲤、杂交鲟和团头鲂等 6 种外来鱼类, 其中散鳞镜鲤、杂交鲟和团头鲂等在中游多个江段被调查到, 这类物种往往对环境具有很强的适应性, 能够对土著鱼类造成巨大的竞争压力, 存在较大的生态风险。本次调查还采集到极危物种胭脂鱼 2 尾和濒危物种长薄鳅 8 尾, 易危物种岩原鲤 17 尾, 通过与历史数据比较, 表明这些种类在沱江仍处于濒危状态。

沱江中游河道平缓、弯曲, 滩沱相间, 水流缓急交替, 多样的生境类型为沱江中游各种鱼类提供了适宜的栖息环境^[5]。沱江中游河流底质以砂砾石、沙泥质为主^[2], 饵料资源丰富, 为底栖鱼类提供了适宜的生境。在适应环境变化的同时, 沱江中游鱼类也形成了自身独特且多样的生态类型。除缓流型鱼类外, 还有较多喜流水的底层鱼类, 这与沱江中游滩沱较多、水流较急的地形特征相一致^[21]。沱江中游鱼类食性以杂食性为主, 食物来源丰富, 主要以摄食浮游动植物和底栖动物为主, 还摄食一些植物碎屑, 对自然生境的变化具有较强的适应能力, 在不同物种间具有较强的竞争能力^[21]。

3.2 鱼类群落结构特征

物种多样性是衡量群落结构和功能的重要指标^[40-46]。Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数、Margalef 指数和 Pielou 指数在鱼类多样性研究中广泛使用^[47-51], 涉及了生物量、物种数、丰度等参数, 对群落物种多样性状况的反映能力较强, 有较高的应用价值。多样性指数值越大, 说明鱼类群落物种组成越多, 物种更丰富, 组成更复杂, 群落稳定性越高。总体上看, 沱江中游鱼类多样性指数相对较高, 高于岷江下游干流^[50]和长江上游支流南广河^[51]。

根据 Magurran^[52] 提出的多样性指数一般范围 (1.5~3.5), 沱江中游 10 个采样点间, 鱼类 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.700~3.742, 鱼类多样性处于一般至较丰富水平。与长江上游其他江段相比^[50-51], 沱江鱼类多样性水平相对较高。数量/生物量比较曲线分析结果显示, 沱江中游 10 个站点的鱼类群落结构及其多样性也受到不同程度的干扰。如莲花山、麻柳坝工业园、铁路沟, 万古庙、五里店水电站、资州大桥、银山镇与二水厂的鱼类群落受到了中度干扰, 优势种中以小型鱼类为主, 大型鱼类数量和生物量的占比较小; 10 个站点中, 仅有西林渡口和沱桥两个站点的鱼类群落结构相对稳定, 表明这两个站点的鱼类群落中的优势种以大个体的种类为主。整体上看, 沱江中游莲花山至沱桥江段鱼类群落沿程受干扰程度逐渐降低, 这可能与沿程支流的汇入有关。

3.3 沱江中游鱼类资源保护建议

沱江是我国重要的水源地和水生生物宝库, 为濒危珍稀物种和重要水生经济物种提供了良好的生存条件和繁衍空间^[21]。沱江作为长江上游重要支流, 具有地理与水文的独特性, 其渔业资源关系着四川省渔业发展, 影响着长江鱼类资源的多样性。作为渔业发展的命脉, 渔业水域生态环境是水生生物赖以生存和繁衍的最基本条件。整体上看, 沱江中游与近年来长江其他江段鱼类群落组成特点相一致^[8, 48-50], 均以小型鱼类数量占优, 大型鱼类数量占比不高、规格偏小, 鱼类资源量呈现衰退趋势^[50]。水坝建设、水质污染和过度捕捞是造成沱江渔业资源衰退的主要原因。此外, 部分江段渔民为了生计, 采用电鱼、毒鱼和小网目渔具捕鱼等非法手段, 在禁渔期偷捕现象严重, 严重危害了亲鱼、幼鱼、仔鱼, 使群体难以得到补充^[52-54]。

针对以上问题, 依据本次的调查结果提出以下建议: ①加强沱江水污染治理工作, 维护沱江生态平衡。建议有关部门加强沱江水域的环境监测, 强化治理沱江水质污染, 持续推进沱江流域水环境改善, 并且疏通干流通道, 开展生境修复工程, 保证鱼类资源的有效增殖; ②加强珍稀、濒危、特有鱼类重要栖息地的保护与修复。水产种质资源保护区是鱼类资源保护的一种有效形式, 在渔业保护中发挥重要作用^[55]。目前沱江中游已有“濛溪河特有鱼类国家级水产种质资源保护区”,

建议进一步根据沱江独特的生境特征, 以珍稀、濒危、特有鱼类为保护对象, 在关键生境区域划定保护区生态红线, 遏制鱼类生境的丧失和退化; ③对于珍稀、濒危、特有鱼类, 例如胭脂鱼、岩原鲤和长薄鳅等建立鱼类繁育保种中心, 同时开展沱江流域珍稀、濒危、特有鱼类的科研、监测、救护和繁育工作; ④渔业监管部门应严格落实“十年禁渔”政策, 加大执法力度, 严厉打击偷捕、电捕行为, 杜绝非法捕捞; ⑤针对沱江重要经济鱼类, 例如四大家鱼, 南方鲇、长吻鮠和黄颡鱼等开展增殖放流, 并对增殖放流的生态效益进行科学评估。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 时瑶, 马迎群, 赵艳民, 等. 沱江干流岸边土壤营养盐和重金属分布特征[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(S2): 65-73.
Shi Y, Ma Y Q, Zhao Y M, et al. Distribution characteristic of nutrients and heavy metals in shore soil of Tuojiang River[J]. Environmental Science & Technology, 2020, 43(S2): 65-73 (in Chinese).
- [2] 王翠芳, 王世元. 四川省主要水系流域的地震监测[J]. 地震地磁观测与研究, 2020, 41(3): 139-146.
Wang C F, Wang S Y. The seismic monitoring of main watersheds in Sichuan Province[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2020, 41(3): 139-146 (in Chinese).
- [3] 陈丹, 蒋贵国, 张妍, 等. 基于生态服务价值的沱江流域土地景观生态风险时空分异研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 223-230.
Chen D, Jiang G G, Zhang Y, et al. Landscape eco-risk assessment and its spatio-temporal variation of Tuojiang River basin based on value of ecological services[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(3): 223-230 (in Chinese).
- [4] 陈文年, 卿东红, 张轩波. 沱江流域马尾松、湿地松人工林小气候比较[J]. 福建林业科技, 2011, 38(1): 19-22.
Chen W N, Qing D H, Zhang X B. Comparison of microclimate characteristics between artificial coniferous forests in the Tuojiang River Valley[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2011, 38(1): 19-22 (in Chinese).
- [5] 高天福. 沱江鱼类资源变动与水质污染关系的探讨[J]. 四川环境, 1987, 6(2): 50-57.
Gao T F. Discussion on the relationship between the

- fluctuation of fish resources and water pollution in the Tuojiang River[J]. *Sichuan Environment*, 1987, 6(2): 50-57 (in Chinese).
- [6] 邸琰茗, 张蕾, 叶芝菡, 等. 北运河上游南沙河段与下游城市副中心段鱼类群落分布特征及影响因子研究[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(1): 156-163.
Di Y M, Zhang L, Ye Z H, *et al.* Distribution of fish communities and its influencing factors in the Nansha and Beijing sub-center reaches of the Beiyun River[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2021, 41(1): 156-163 (in Chinese).
- [7] 党莹超, 戴小杰, 吴峰. 淀山湖鱼类群落结构季节性变化分析[J]. *水产科学*, 2021, 40(3): 361-368.
Dang Y C, Dai X J, Wu F. Seasonal variations in fish community structure in the Dianshan Lake[J]. *Fisheries Science*, 2021, 40(3): 361-368 (in Chinese).
- [8] 张倩, 曾燊. 嘉陵江中游蓬安段鱼类群落组成与结构特征分析[J]. *天津农业科学*, 2021, 27(5): 36-40.
Zhang Q, Zeng Y. Study on composition and structural characteristics of fish community for the middle reaches of Jialing River Peng'an[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2021, 27(5): 36-40 (in Chinese).
- [9] 王晓宁, 彭世贤, 张亚, 等. 滦河流域鱼类群落结构空间异质性与影响因子分析[J]. *环境科学研究*, 2018, 31(2): 273-282.
Wang X N, Peng S X, Zhang Y, *et al.* Analysis of fish community spatial heterogeneity and its driving factors in the Luanhe River Basin[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(2): 273-282 (in Chinese).
- [10] 李捷, 李新辉, 贾晓平, 等. 西江鱼类群落多样性及其演变[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(2): 298-311.
Li J, Li X H, Jia X P, *et al.* Evolution and diversity of fish community in Xijiang River[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(2): 298-311 (in Chinese).
- [11] Baxter R M. Environmental effects of dams and impoundments[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1977, 8: 255-283.
- [12] Jo H, Jeppesen E, Ventura M, *et al.* Responses of fish assemblage structure to large-scale weir construction in riverine ecosystems[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 657: 1334-1342.
- [13] 杨志, 陶江平, 唐会元, 等. 三峡水库运行后库区鱼类资源变化及保护研究[J]. *人民长江*, 2012, 43(10): 62-67.
Yang Z, Tao J P, Tang H Y, *et al.* Research on fish resources variation and protection in reservoir area of TGP after its operation[J]. *Yangtze River*, 2012, 43(10): 62-67 (in Chinese).
- [14] 王云涛, 张远, 高欣, 等. 太子河流域不同水生生态区鱼类群落分布与环境因子的关联性[J]. *环境科学研究*, 2016, 29(2): 192-201.
Wang Y T, Zhang Y, Gao X, *et al.* Analysis of fish community distribution and its relationship with environmental factors in different freshwater eco-regions of Taizi River Basin[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(2): 192-201 (in Chinese).
- [15] 李艳利, 李艳粉, 徐宗学. 影响浑太河流域鱼类群落结构的尺度环境因子分析[J]. *环境科学*, 2014, 35(9): 3504-3512.
Li Y L, Li Y F, Xu Z X. Effect of environmental factors on fish community structure in the Huntai River Basin at Multiple Scales[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(9): 3504-3512 (in Chinese).
- [16] Kadye W T, Magadza C H D, Moyo N A G, *et al.* Stream fish assemblages in relation to environmental factors on a montane plateau (Nyika Plateau, Malawi)[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2008, 83(4): 417-428.
- [17] Yao S S, Kouamélan E P, Koné T, *et al.* Fish communities along environmental gradients within the Comoé River basin, Côte d'Ivoire[J]. *African Journal of Aquatic Science*, 2005, 30(2): 185-194.
- [18] 樊伟, 程炎宏, 沈新强. 全球环境变化与人类活动对渔业资源的影响[J]. *中国水产科学*, 2001, 8(4): 91-94.
Fan W, Cheng Y H, Shen X Q. Effects of global environment change and human activity on fishery resources[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, 8(4): 91-94 (in Chinese).
- [19] 蒋火华, 吴贞丽, 梁德华. 世界典型湖泊水质探研[J]. *世界环境*, 2000(4): 35-37.
Jang H H, Wu Z L, Liang D H. The study of the water quality of typical lakes in the world[J]. *World Environment*, 2000(4): 35-37 (in Chinese).
- [20] 罗颖. 浅谈青海湖周边环境对青海湖渔业资源的影响[J]. *青海环境*, 2011, 21(4): 170-174.
Luo Y. Talking about the impact of Qinghai Lake's surrounding environment on the fishery of Qinghai Lake Resource impact[J]. *Journal of Qinghai Environment*, 2011, 21(4): 170-174 (in Chinese).
- [21] 丁瑞华. 沱江鱼类资源及渔业问题[J]. *资源开发与保护*, 1989, 5(3): 13-19.
Ding R H. Tuojiang fish resources and fishery problems[J]. *Resource Development and Protection*, 1989, 5(3): 13-19 (in Chinese).
- [22] 范正年, 杨昌述, 詹玉涛, 等. 沱江的渔业自然资源[J]. *动物学杂志*, 1991, 26(2): 7-10.
Fan Z N, Yang C S, Zhan Y T, *et al.* The natural fishery resources of Tuojiang River[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1991, 26(2): 7-10 (in Chinese).

- [23] 刘霞, 徐青, 史淼森, 等. 沱江流域沉积物中氮赋存状态及其垂向分布特征[J]. 岩矿测试, 2018, 37(3): 320-326.
Liu X, Xu Q, Shi M S, *et al.* Nitrogen species and vertical distribution characteristics in the sediment of the Tuo River[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2018, 37(3): 320-326 (in Chinese).
- [24] 郑林. 沱江水系沉积物中重金属的地球化学特征 [D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
Zheng L. Geochemical characteristics of heavy metals pollution in sediments from Tuojiang Drainage[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010 (in Chinese).
- [25] 贾滨洋, 张伟, 张峰瑜. 严重污染事故后河流的生态恢复——以沱江为例[J]. 环境科学导刊, 2008, 27(5): 35-40.
Jia B Y, Zhang W, Zhang F Y. Ecological restoration of river after serious pollution accident by Tuo River as case study[J]. *Environmental Science Survey*, 2008, 27(5): 35-40 (in Chinese).
- [26] 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 Science and Technology Press, 1994 (in Chinese).
- [27] 陈宜瑜. 中国动物志. 硬骨鱼纲. 鲤形目 (中)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
Chen Y Y. Fauna Sinica. Osteichthyes. Cypriniformes (Vol. II)[M]. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese).
- [28] 乐佩琦. 中国动物志. 硬骨鱼纲. 鲤形目 (下)[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Le P Q. Fauna Sinica. Osteichthyes. Cypriniformes (Vol. III) [M]. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [29] Froese R, Pauly D. FishBase[J]. *Fishbase*, 2014, 26(3): 27.
- [30] 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.
- [31] 汪松. 中国濒危动物红皮书 (兽类 鸟类 鱼类 两栖类和爬行类)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
Wang S. China Red Data Book of Endangered Animals (Mammals, Birds, Fish, Amphibians and Reptiles)[M]. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese).
- [32] 张鸷, 曹文宣. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物 第五卷 淡水鱼类 (上下册)[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
Zhang E, Cao W X. China's Red List of Biodiversity: Vertebrates Volume V, Freshwater Fishes (I, II) [M]. Beijing: Science Press, 2021 (in Chinese).
- [33] 农业农村部渔业渔政管理局. 国家重点保护水生野生动物 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. National protected aquatic wildlife[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022 (in Chinese).
- [34] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[J]. *Philosophical Review*, 1949, 60(3): 144.
- [35] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163(4148): 688-688.
- [36] Quastler H. Information theory in biology[M]. Urbana, Illinois: University of Illinois Press, 1953.
- [37] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [38] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd, 2001.
- [39] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [40] 刘清, 苗志国, 谢从新, 等. 长江宜宾江段渔业资源调查[J]. 水产科学, 2005, 24(7): 47-49.
Liu Q, Miao Z G, Xie C X, *et al.* Survey of fishery resource in Yibin District in the Yangtze River[J]. *Fisheries Science*, 2005, 24(7): 47-49 (in Chinese).
- [41] 陈大庆, 段辛斌, 刘绍平, 等. 长江渔业资源变动和管理对策[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 685-690.
Chen D Q, Duan X B, Liu S P, *et al.* On the dynamics of fishery resources of the Yangtze River and its management[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 685-690 (in Chinese).
- [42] 刘绍平, 邱顺林, 陈大庆, 等. 长江水系四大家鱼种质资源的保护和合理利用[J]. 长江流域资源与环境, 1997, 6(2): 127-131.
Liu S P, Qiu S L, Chen D Q, *et al.* Protection and rational utilization of the germplasm resources of the four major Chinese carps in the Yangtze River system[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1997, 6(2): 127-131 (in Chinese).
- [43] 陈大庆. 长江渔业资源现状与增殖保护对策[J]. 中国水产, 2003(3): 17-19.
Chen D Q. Current situation of fishery resource and countermeasure of Enhancement and Protection in Yangtze River[J]. *China Fisheries*, 2003(3): 17-19 (in Chinese).
- [44] 杨志, 龚云, 董纯, 等. 黑水河下游鱼类资源现状及其保护措施[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 847-855.
Yang Z, Gong Y, Dong C, *et al.* Fish resource status of

- the lower reaches of the Heishui River and the measures for their conservation[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 847-855 (in Chinese).
- [45] Sutherland A B, Meyer J L, Gardiner E P. Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams[J]. *Freshwater Biology*, 2002, 47(9): 1791-1805.
- [46] Bechtel T J, Copeland B J. Fish species diversity indices as indicators of pollution in Galveston Bay, Texas[J]. *Contributions in Marine Science*, 1970, 15: 13-132.
- [47] Hillman R E, Davis N W, Wennemer J. Abundance, diversity, and stability in shore-zone fish communities in an area of Long Island Sound affected by the thermal discharge of a nuclear power station[J]. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1977, 5(3): 355-381.
- [48] 刘明典, 李鹏飞, 黄翠, 等. 长江安庆段春季鱼类群落结构特征及多样性研究[J]. *水生态学杂志*, 2017, 38(6): 64-71.
- Liu M D, Li P F, Huang C, *et al.* Spring community structure and species diversity of fish in the Anqing section of Yangtze River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2017, 38(6): 64-71 (in Chinese).
- [49] 郑亦婷, 韩鹏, 倪晋仁, 等. 长江武汉江段鱼类群落结构及其多样性研究[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2019, 27(1): 24-35.
- Zheng Y T, Han P, Ni J R, *et al.* Studies on structure of fish community and species diversity in Wuhan Section of the Yangtze River[J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2019, 27(1): 24-35 (in Chinese).
- [50] 吕浩, 田辉伍, 段辛斌, 等. 岷江下游干流段鱼类资源现状及其多样性分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(1): 88-96.
- Lü H, Tian H W, Duan X B, *et al.* Analysis of fish resources status and diversity in the lower reaches of the Minjiang River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(1): 88-96 (in Chinese).
- [51] 代梦梦, 杨坤, 黎树, 等. 长江上游支流南广河的鱼类多样性及资源现状[J]. *生物多样性*, 2019, 27(10): 1081-1089.
- Dai M M, Yang K, Li S, *et al.* Fish diversity and resource status in the Nanguang River, a tributary of upper Yangtze River[J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(10): 1081-1089 (in Chinese).
- [52] Magurran A E. *Ecological diversity and its measurement*[M]. Princeton: Princeton University Press, 1988: 7-45.
- [53] 胡博, 曹保安, 韩太国, 等. 洛宁县鱼类资源调查[J]. *河南水产*, 2019(6): 28-31.
- Hu B, Cao B A, Han T G, *et al.* Current status of fishery resources in Luoning County[J]. *Henan Fisheries*, 2019(6): 28-31 (in Chinese).
- [54] 黎良, 袁维林, 刘飞. 赤水河赤水市江段鱼类资源现状[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(11): 1884-1890.
- Li L, Yuan W L, Liu F. Status of fishery resources in Chishui section of the Chishui River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(11): 1884-1890 (in Chinese).
- [55] 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 (in Chinese).

Analysis of fish resources status and diversity in the middle reaches of Tuojiang River

ZOU Yuanchao¹, TANG Cheng^{1,2}, XIE Wei^{1,2}, YAN Jie¹, LI Rongyun¹, YE Zhixiang²,
WU Jinming², HUANG Xianquan^{2,3}, DUAN Xinbin^{2,4*}, WEI Qiwei^{2*}

(1. Key Laboratory of Sichuan Province for Fishes Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River,

College of Life Sciences, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

3. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Zizhong County, Neijiang 641200, China;

4. Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of the Upper-middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chongqing 400000, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of fish community structure in the Middle Reaches of Tuojiang River before the "ten-year fishing ban", based on the catch monitoring data from ten sampling sites of this section from 2017 to 2020, the characteristics of fish species composition, ecological types, community similarity, biodiversity and community structure stability were analyzed. The results showed that 87 fish species were collected, belonging to 5 orders, 14 families and 52 genera. Among which 18 species were endemic to the upper reaches of the Yangtze River and 6 species were exotic, accounting for 20.69% and 6.90% of the total species respectively. The fish community was dominated by demersal fish, sunken eggs and omnivorous fish. According to index of relative importance (IRI), the dominant fish species were small fishes, such as *Saurogobio dabryi* and *Cyprinus carpio*. Shannon-Wiener index, Simpson index, Margalef index and Pielou index ranged from 2.700 to 3.742, 0.873 to 0.968, 5.374 to 11.323, 0.737 to 0.887, respectively. As a result, the community distribution uniformity was high in the Middle Reaches of Tuojiang River. The results of cluster analysis and non-metric multidimensional scale ranking (NMDS) analysis showed that the fish community types of ten sections in the Middle Reaches could be basically divided into three groups at a certain level of similarity, as Lianhuashan, Maliuba industrial park and Tielugou sections formed one group, Wangumiao, Wulidian hydroelectric station, Zizhou Bridge, Yinshan, Second Water Plant and Xilin Ferry section formed one group; Tuo Bridge section formed one group independently. The abundance/biomass comparison curve showed that the fish community structure in Xilin Ferry and Tuo Bridge section was relatively stable, but moderately disturbed in the other sections. The results showed that compared with the historical data, the fish community structure in the Middle Reaches of Tuojiang River has changed significantly, the proportion of economic fish has decreased, and the fish individuals have become smaller and younger. This study could supplement the basic data of fish community information in the Middle Reaches of Tuojiang River, and also provide theoretically scientific support for fish resource management and ecological evaluation of "ten-year fishing ban" in this section of the river.

Key words: fish community structure; diversity; ecological type; the middle reaches of Tuojiang River

Corresponding authors: DUAN Xinbin. E-mail: duan@yfi.ac.cn;

WEI Qiwei. E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

Funding projects: Specific Financial Fund of Ministry of Agriculture, "Investigation of Fishery Resources and Environment in the Yangtze River (2017–2021)"; Open Project Program of Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of the Upper-Middle Reaches of Yangtze River Ministry of Agriculture (FRESES201901)