

DOI: 10.20103/j.stxb.202210263042

王泽松, 王小东, 吴波, 向朋, 文秦超, 黎树, 马代强, 刘峰林, 金燕君, 宋昭彬. 小型水坝梯级开发对永宁河流域鱼类多样性的影响. 生态学报, 2023, 43(23): 9643-9661.

Wang Z S, Wang X D, Wu B, Xiang P, Wen Q C, Li S, Ma D Q, Liu F L, Jin Y J, Song Z B. Fish diversity in the Yongning River, a tributary with small cascade dams in the upper Yangtze River. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(23): 9643-9661.

小型水坝梯级开发对永宁河流域鱼类多样性的影响

王泽松¹, 王小东¹, 吴波³, 向朋¹, 文秦超¹, 黎树¹, 马代强³, 刘峰林¹, 金燕君¹, 宋昭彬^{1,2,*}

1 四川大学生命科学学院, 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 成都 610065

2 四川大学生命科学学院, 长江上游鱼类资源与环境四川省野外科学观测研究站, 成都 610065

3 成都耶拿环保科技有限公司, 成都 611130

摘要: 永宁河是长江上游右岸的一级支流, 其干、支流上共建有 20 余座小型水坝。为探究梯级水电站对鱼类多样性的影响, 在永宁河流域设置共 42 个采样点, 覆盖干支流及各个水坝, 分别于 2018 年 7 月、10 月和 2019 年 1 月、4 月进行了四次鱼类资源调查。调查期间通过刺网、地笼、电捕等方法共采集到鱼类 69 种 7332 尾, 隶属于 4 目 13 科 54 属, 其中有长江上游特有鱼类 13 种, 列入《中国脊椎动物红色名录》濒危和易危鱼类 3 种, 国家二级重点保护鱼类岩原鲤 (*Procypris rabaudi*) 1 种。Pinkas 相对重要性指数 (IRI) 值较大主要为宽鳍鱮 (*Zacco platypus*)、鲫 (*Carassius auratus*) 乐山小鰾鮡 (*Microphysogobio kiatingensis*) 等小型鱼类, 29 种鱼类的 IRI 值小于 10; 平均全长 < 10 cm 的鱼类有 24 种 3620 尾, 平均体重 < 50 g 的鱼类有 47 种 6493 尾, 鱼类规格较小, 小型化严重。永宁河干流下游种类最多, 多样性最高, 干流中游鱼类数量最多。受自然环境以及水坝等的影响, 永宁河的鱼类分布具有明显的空间差异。水坝类型对鱼类多样性有显著影响; 而季节对鱼类多样性影响不显著。无水坝阻隔河段鱼类多样性显著高于低头坝和高头坝阻隔河段; 夏季的短距离洄游鱼类种数显著高于冬季和春季, 但由于数量较少对鱼类多样性的季节性变化影响不明显。各种结果表明水坝阻隔对永宁河鱼类多样性和时空分布存在明显影响, 为保护受小型水电站影响河流的鱼类多样性, 有必要修复重要鱼类栖息地, 适当拆除部分小型水坝, 并科学开展增殖放流。

关键词: 梯级电站; 永宁河; 鱼类多样性; 时空变化; 资源保护

Fish diversity in the Yongning River, a tributary with small cascade dams in the upper Yangtze River

WANG Zesong¹, WANG Xiaodong¹, WU Bo³, XIANG Peng¹, WEN Qinchao¹, LI Shu¹, MA Daiqiang³, LIU Fenglin¹, JIN Yanjun¹, SONG Zhaobin^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Bio-Resources and Eco-Environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

2 Observation and Research Station of Sichuan Province of Fish Resources and Environment in Upper Reaches of the Yangtze River, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China

3 Chengdu Jena Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chengdu 611130, China

Abstract: The Yongning River is a tributary on right bank of the upper Yangtze River, and there are more than 20 small dams constructed along mainstream and tributaries of the river. In order to understand the effect of cascade dams on fish diversity, a total of 42 sampling sites were set up in the Yongning River basin, covering the mainstream and tributaries and dams. Four times of fish investigations were implemented in July and October 2018, January and April 2019. During the

基金项目: 四川省水产局科研项目 (18H0500)

收稿日期: 2022-10-26; 网络出版日期: 2023-08-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhsong@scu.edu.cn

survey, 7332 fish of 69 species belonging to 4 orders, 13 families and 54 genera were collected by gill nets, ground cages and electronic fishing. Thirteen of which were endemic to the upper Yangtze River. Three fish species were listed as endangered and vulnerable species in the *Red List of China's Vertebrates*, and *Procypris rabaudi* was the second-class state protected wildlife in China. Fishes with higher index of relative importance (IRI) were small ones such as *Zacco platypus*, *Carassius auratus* and *Microphysogobio kiatingensis*, and there were 29 species with $IRI < 10$. There were 3620 fish of 24 species with an average length of $< 10\text{cm}$, and 6493 fish of 47 species with an average weight of $< 50\text{g}$. The fish individuals collected were relatively small in size and in a trend of miniaturization. Species richness and diversity were the highest in downstream of the mainstream, and the most number of individuals were in midstream of the mainstream. Due to the influence of natural environment and dams, the fish distribution in the Yongning River represented obviously spatial difference. The type of dam had a significant impact on fish diversity, while season had no significant impact on fish diversity. Fish diversity in reaches without dam was significantly higher than that in the reaches with low-head dams and high-head dams. The number of short-distance migratory fish species in summer was significantly higher than that in winter and spring, but the seasonal change of fish diversity was not obvious due to the small population. To protect fish diversity in the river affected by small hydropower stations, it is necessary to restore crucial habitats, dismantle some small dams, and implement scientific artificial enhancement and release.

Key Words: cascade dams; the Yongning River; fish diversity; spatio-temporal variation; resource protection

拦河筑坝是人类改变或改造河流生态系统的主要手段之一,在梯级电站大规模开发下,只有极少部分河流在全流域还保持连续自然流动的状态^[1]。水坝会直接阻断河流,影响鱼类的迁移,导致具有洄游习性的鱼类减少或消失^[2];此外,水坝还会改变河流的生境特征,梯级水坝的影响下,河道水动力条件发生显著变化,自然河流生态系统被一连串的河道型水库系统所替代,水位升高,水深变深、水流减慢,鱼类群落结构发生改变,主要由杂食性、中下层、适应缓流或静水环境的鱼类组成^[3]。近年来,水电开发的重心转移到长江上游各河流^[4],开展梯级水坝对鱼类多样性影响的研究越发重要。长江上游支流南广河在水电梯级开发后,其鱼类多样性受水坝分布影响,下游非水坝阻隔河段鱼类多样性较高,而上游水坝阻隔段鱼类多样性较低^[5];长江上游支流黑水河下游的一个低头坝拆除后,鱼类群落空间分布变化明显,各河段鱼类组成有同质化趋势^[6]。

根据水坝的绝对高度,可将水坝分为大型水坝(坝高 $\geq 15\text{m}$)和小型水坝(坝高 $< 15\text{m}$);根据坝体的相对高度,又可将水坝分为高头坝与低头坝,高头坝坝头较高能够完全截流,其泄流方式为水体中下层泄流,而低头坝因坝头较低不能完全截流,其泄流方式为坝头泄流,大型水坝通常为高头坝,小型水坝通常为低头坝^[7]。大型水坝影响河流生态系统的强度和范围较大,对鱼类等水生生物的影响也较大,因此,有关水坝的研究主要集中于大型水坝,而小型低头坝的相关研究仍然较少^[8]。虽然小型低头坝的生态学效应作用范围较小,强度较弱,但与大型水坝类似,都能使蓄水区水位抬高、减缓流速、沉积增加、底质结构变小,使坝下冲刷区水位降低、流速加快、沉积作用减小、底质结构增大,且由于其数量较大,潜在的累积生态学效应也不容忽视^[8-9]。Tiemann^[10]等发现,低头坝显著影响了紧邻水坝河段的鱼类多度、密度和均匀度;Dodd^[11]等发现,低头坝对鱼类物种丰富度有着显著影响,坝下冲刷区的物种丰富度显著高于其它河段。

永宁河为长江上游右岸一级支流,发源于四川省叙永县树坪乡,由南向北流经叙永县和兴文县后于纳溪区安富镇汇入长江,干流全长 152km ,流域面积 3274km^2 ,较大支流有古宋河、东门河、白节河等。该河流位于云贵高原和四川盆地的过渡地带,具有典型山区河流的特征,生境类型丰富,同时该区域受亚热带季风气候影响,四季分明,雨水充沛,为鱼类等水生生物提供了良好的栖息生境。但是,因发电、防洪、灌溉和饮用取水等需要,永宁河干流及支流上陆续建有 20 余座水坝,其坝高为 $1\text{—}18\text{m}$,明显改变了河流的连续性和水文条件,对鱼类资源可能造成了较大的影响。然而,永宁河的鱼类资源至今仍缺乏系统调查,仅零星见于《长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区科学考察报告》^[12],水坝建设对其影响也未受到关注。2018—2019 年,调查

了永宁河流域的鱼类资源现状,分析了鱼类多样性,以为长江上游主要支流鱼类资源保护提供基础资料,为探讨梯级水坝对鱼类多样性的影响提供支撑,并为长江流域实施 10 年禁捕的效果评估提供参考。

1 材料与方法

1.1 采样点设置及采样时间

在永宁河流域共设置了 42 个采样点,其中,干流 15 个(YN8—YN11, YN14, YN19—YN22, YN34—YN37, YN41, YN42);支流共 27 个,包括清水河 4 个(YN1—YN4),黄泥河 3 个(YN5—YN7),东门河 2 个(YN12—YN13),海雁溪 4 个(YN15—YN18),古宋河 11 个(YN23—YN33),白节河 3 个(YN38—YN40)(附录 1、图 1)。设置时综合考虑了采样点间的距离,河流的水文情势、生境类型、干扰情况,以及采样点的可到达性。调查采样时间为 2018 年 7 月、10 月和 2019 年 1 月、4 月(代表四个季节),每次每个采样点的采样时间为 1—2 天。根据干流及各支流河道形态、河流生境特征、水流量、河宽、水坝位置等因素,将永宁河划分为 9 个河段(附录 1)。

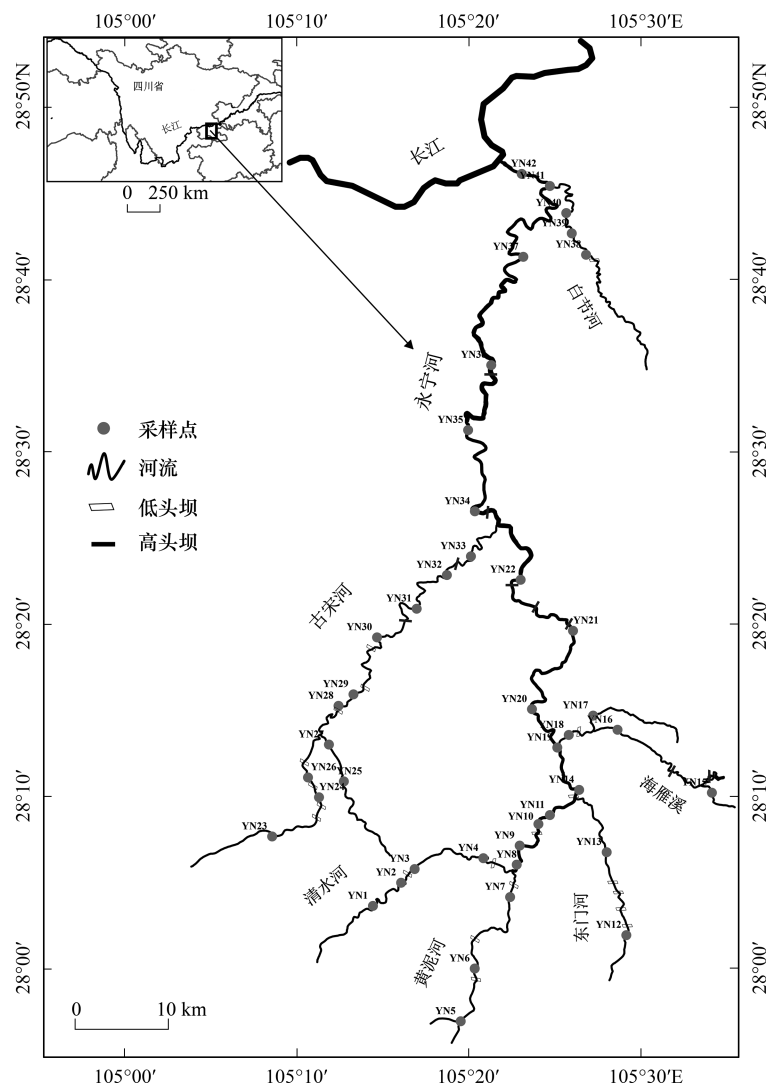


图 1 永宁河鱼类资源调查采样点

Fig.1 Sampling sites of fish investigation in the Yongning River

YN1—42: 永宁河采样点编号

根据调查中实地勘察及测量的坝高,结合收集的工程资料,将流域内的水坝划分为高头坝(坝高 $\geq 8\text{m}$)和低头坝(坝高 $\leq 3\text{m}$),从调查范围内筛选了3种区域:被高头坝阻隔的河段(YN31—YN32和YN34—YN35),被低头坝阻隔的河段(YN3—4和YN8—9)和无水坝阻隔的河段(YN36—YN37和YN41—YN42)(图1),以此来探究同一河流内不同类型水坝阻隔对鱼类多样性的影响。

1.2 采样方法及样本处置

由于调查区域生境类型复杂多样,故采用多种捕捞方式以确保捕捞的鱼类种类完全且具有代表性。在干流等河道较宽的地方,以放置刺网捕捞为主,并辅以地笼进行捕捞;在较小的支流以小型背包式电鱼机(16.8V,经渔业主管部门批准)捕捞为主,并辅以地笼和刺网进行捕捞。刺网长度为30m、40m、50m,高为1—2m,网目大小为2cm、3cm、5cm,每个采样点放置3张网,放置时间约12h;地笼规格为长10m,宽0.4m,高0.25m,网目为5mm,每个采样点放置4个,放置时间约12h;电鱼机捕捞时,逆河流方向在单程长约500m的河道内以“Z”字形捕捞45min。对采集到的鱼类样本进行种类鉴定,并测量全长(精确至1mm)、体长(精确至1mm)、体重(精确至0.01g)等常规生物学指标。现场难以确定种类的鱼类样本,在测量、拍照后用10%的福尔马林或95%的乙醇浸泡固定,带回实验室进一步鉴定。鱼类鉴定参考《四川鱼类志》^[13]《中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷)》^[14]《中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目》^[15],鱼类保护等级依据《国家重点保护野生动物名录》(国家林业和草原局、农业农村部公告,2021年第3号)^[16],濒危等级依据《中国脊椎动物红色名录》^[17]。

1.3 数据分析

1.3.1 鱼类生态类型划分

根据相关文献资料,按照生活习性将永宁河的鱼类划分为定居型鱼类和短距离洄游型鱼类^[6,13,18—19]。

1.3.2 鱼类优势程度

采用Pinkas相对重要性指数(IRI)^[20]确定永宁河鱼类的优势程度。计算公式如下:

$$\text{IRI}_i = (N_i + W_i) \times F_i \times 10^4$$

式中, N_i 和 W_i 分别代表种*i*占总渔获的数量百分比和重量百分比, F_i 表示种*i*的出现频率。IRI值越大,鱼类的优势程度越大。

1.3.3 鱼类物种多样性

采用Margalef物种丰富度指数(D)^[21]、Shannon-Wiener多样性指数(H')^[22]、Simpson优势度指数(F)^[23]和Pielou均匀度指数(J')^[24]分析永宁河流域的鱼类物种多样性。计算公式如下:

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

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

$$F = 1 - \sum (P_i)^2$$

$$J' = \frac{H'}{\ln S}$$

式中, S 为调查鱼类的总物种数, N 为调查鱼类的总个体数, P_i 为物种*i*的个体数占调查鱼类总个体数的百分比。

1.3.4 鱼类群落相似度

采用杰卡德相似性系数^[25]衡量永宁河不同河段间鱼类群落的相似程度,计算公式如下:

$$R = c / (a + b - c)$$

式中, R 为相似性系数, a 代表河段A的鱼类物种数, b 代表河段B的鱼类物种数, c 代表河段A和河段B共有的鱼类物种数。当 R 为0—0.25时,为极不相似;0.25—0.5为中等不相似;0.5—0.75为中等相似;0.75—1为极相似。

1.3.5 不同类型水坝及季节对鱼类影响分析

使用双因素方差分析^[26]以及单因素方差分析^[27]结合来判断不同类型水坝阻隔及季节对鱼类多样性的影响, $P<0.05$ 则说明差异显著。

2 结果

2.1 鱼类种类组成及生态类型

四次调查在永宁河共采集到鱼类 69 种 7332 尾,隶属于 4 目 13 科 54 属(附录 2)。其中,鲤形目种类最为丰富,有 4 科 41 属 51 种,占总种类数的 73.91%;其次为鲇形目,有 3 科 6 属 9 种,占 13.04%;鲈形目有 5 科 6 属 8 种,占 11.59%;合鳃鱼目只有 1 科 1 属 1 种,占 1.45%。各科中,鲤科鱼类最为丰富,有 42 种,占总种类数的 60.87%;其次为鳊科,有 6 种,占 8.70%;花鳅科、爬鳅科和条鳅科均有 3 种,各占 4.35%;鲇科、鮡科、沙塘鳢科和虾虎鱼科均有 2 种,各占 2.90%;斗鱼科、合鳃鱼科、鳢科、鲃科均只有 1 种,各占 1.45%(附录 2)。

采集的鱼类中,长江上游特有鱼类 13 种,分别为短体副鳅(*Paracobitis potanini*)、宽体沙鳅(*Sinibotia reevesae*)、宜宾鲃(*Xenocypris fangi*)、四川华鲃(*Sinibrama taeniatus*)、短鳍近红鲃(*Ancherythroculter wangi*)、黑尾近红鲃(*Ancherythroculter nigrocauda*)、半鲃(*Hemiculterella sawagei*)、张氏鲃(*Hemiculter tchangi*)、华鲃(*Sinilabeo rendahli*)、昆明裂腹鱼(*Schizothorax grahami*)、岩原鲤、四川华吸鳅(*Sinogastromyzon szechuanensis*)和西昌华吸鳅(*Sinogastromyzon sichangensis*),占总种类数的 18.84%。有国家二级保护鱼类岩原鲤;《中国脊椎动物红色名录》易危物种(VU)宜宾鲃和岩原鲤,濒危物种(EN)昆明裂腹鱼。此外,调查中采集到一定数量的外来种沙塘鳢(*Odontobutis obscurus*)(附录 2)。

永宁河鱼类主要以定居型为主,共有 48 种,如宽鳍鱮、鲫、鲤(*Cyprinus carpio*)、切尾拟鲮(*Pseudobagrus truncatus*)等;短距离洄游型鱼类有 21 种,且主要分布于干流的下游,如蛇鲃(*Saurogobio dabryi*)、吻鲃(*Rhinogobio typus*)、粗唇鲃(*Leiocassis crassilabris*)、大鳍鱮(*Hemibagrus macropterus*)等(附录 2)。

2.2 渔获物组成

调查期间共采集鱼类 7332 尾,重 169.11kg。其中,鲤形目鱼类个体数最多,有 6330 尾,鲤科是鱼类个体数最多的科,有 5165 尾(附录 2)。渔获数量较多的为宽鳍鱮(1178 尾)、西昌华吸鳅(469 尾)、乐山小鰾(434 尾)等;渔获重量较大的为鲤(25.54kg)、鲫(17.88kg)、中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)(12.21kg)等;出现频次较多的为切尾拟鲮(28 次)、宽鳍鱮(25 次)、乐山小鰾(23 次)等。(附录 2)夏季(2018 年 7 月)采集的鱼类数量最多(2856 尾),其次为春季(2019 年 4 月)(2118 尾),秋季(2018 年 10 月)(1378 尾)和冬季(2019 年 1 月)(980 尾)采集的鱼类数量相对较少。

在永宁河干流共采集鱼类 61 种 4519 尾,各支流共采集鱼类 33 种 2813 尾。干流中游采集的数量最多(2442 尾),下游采集的种类最多(54 种),上游采集的种类和数量均最少(20 种、607 尾)。各支流中,古宋河采集的种类和数量最多(30 种、709 尾),黄泥河采集种类最少(8 种),白节河采集数量最少(224 尾)(表 1)。

采集鱼类的全长范围为 2.4—60.0cm。其中,平均全长 >20 cm 的鱼类有 19 种 265 尾,仅占渔获总数量的 3.61%; $20\text{cm}\geq$ 平均全长 $\geq 10\text{cm}$ 的鱼类有 26 种 3447 尾,占 47.01%;平均全长 $<10\text{cm}$ 的鱼类有 24 种 3620 尾,占 49.37%。平均体重 $\geq 50\text{g}$ 的鱼类有 22 种 839 尾,占渔获总数量的 11.44%;平均体重 $<50\text{g}$ 的鱼类有 47 种 6493 尾,占 88.56%。可见,永宁河分布的鱼类大多数为小型种类,且采集个体的规格较小(图 2)。

鱼类优势程度最大的为宽鳍鱮($\text{IRI} = 1289.55$),显著高于其他鱼类,其重量和数量占比较大,分别为 5.60%和 16.07%,出现频次也较多,从上游到下游在流域内均有分布; $500>\text{IRI}>100$ 的有 12 种,其重量和数量占比之和分别为 52.32%和 46.19%,其中,乐山小鰾、切尾拟鲮、鲫、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)等小型鱼类数量较多,出现频次也较多,鲤、中华倒刺鲃等重量占比较大,但数量较少,且出现频次较少,主要分布在中下游河段; $\text{IRI}>10$ 的有红尾副鳅(*Paracobitis variegatus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、蛇鲃(*Saurogobio dabryi*)等 27 种,其重量和数量占比之和分别为 36.09%和 34.63%; $\text{IRI}<10$ 的有黄鲢(*Monopterus albus*)、翘嘴

鲃(*Culter alburnus*)、大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)等29种,这些鱼类在流域内仅偶尔出现,数量极少,其重量和数量占比之分别为3.99%和3.11%(附录2)。

表 1 永宁河不同河段渔获物组成

Table 1 Composition of fishery catches captured from different reaches of the Yongning River

河流 Rivers	河段 Reaches	种数 Species number	种数百分比/% Percentage of species number	数量 Individuals number	数量百分比/% Percentage of individuals number
干流 Mainstream	上游	20	28.99	607	8.28
	中游	38	55.07	2442	33.31
	下游	54	78.26	1470	20.05
	小计	61	88.41	4519	61.63
支流 Tributary	清水河	10	14.49	673	9.18
	黄泥河	8	11.59	276	3.76
	东门河	10	14.49	442	6.03
	海雁溪	16	23.19	489	6.67
	古宋河	30	43.48	709	9.67
	白节河	19	27.54	224	3.06
	小计	33	47.83	2813	38.37

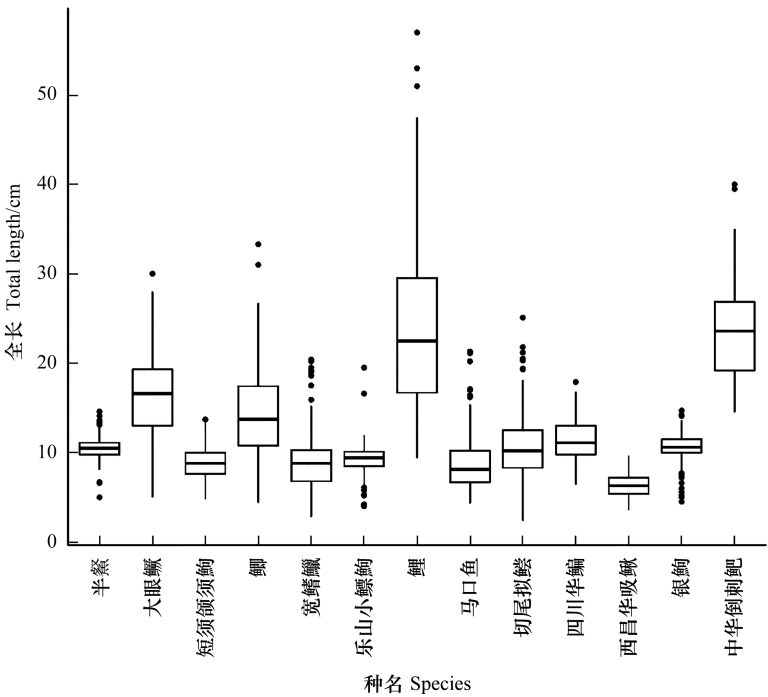


图 2 永宁河 IRI 值前 10 的鱼类全长分布图

Fig.2 Total length distribution of fishes in Yongning River with top 10 IRI values

IRI: 相对重要性指数 Index of relative importance

2.3 鱼类多样性指数

永宁河流域鱼类 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数分别为 3.34、7.64、0.94、0.79。干流从上游到下游鱼类多样性递增;支流古宋河多样性较高,清水河、黄泥河、东门河、海雁溪等上游支流多样性较低。不同季节间 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数差异不明显,Margalef 物种丰富度指数在秋季最高,冬季最低(图 3)。

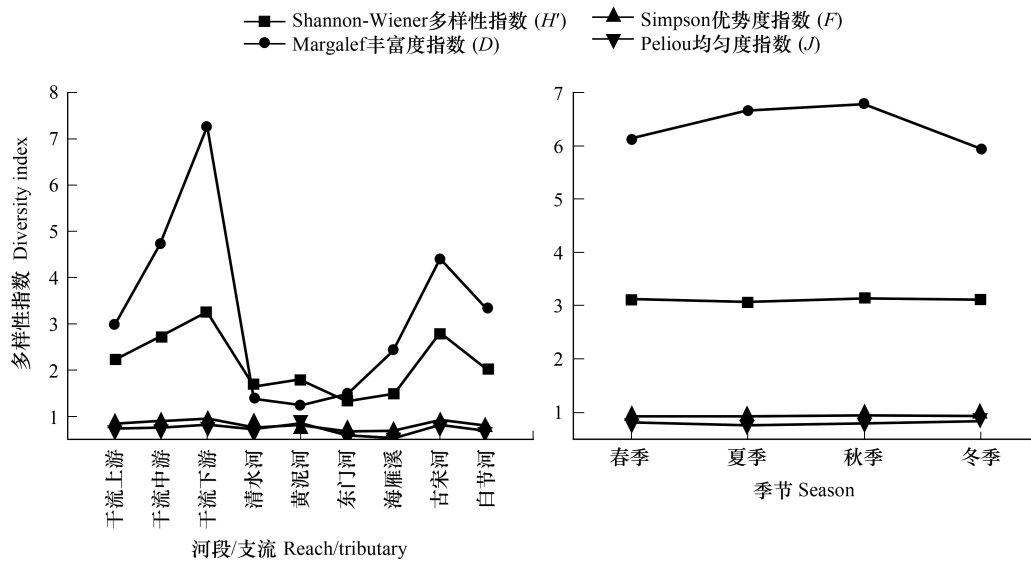


图3 永宁河不同河段和不同季节的鱼类多样性

Fig.3 Fish diversity of different reaches and seasons in the Yongning River

2.4 鱼类分布特点

由于自然环境和水利等影响,永宁河的鱼类分布具有显著的空间差异。宽鳍鱲、切尾拟鲮、乐山小鲃、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)、麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*) 等适应性强的小型种类在永宁河的干流及各支流均有分布。干流的中游和下游以及支流古宋河的下流河段,主要分布有喜缓水和静水的鱼类,如半鲮、鲮 (*Hemiculter leucisculus*) 和张氏鲮等鲮亚科鱼类,黄颡鱼、瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachellii*) 和光泽黄颡鱼 (*Pseudobagrus nitidus*) 等鲮科鱼类。此外,鲤、中华倒刺鲃、鲃 (*Silurus asotus*)、南方鲃 (*Silurus meridionalis*) 和大眼鲃 (*Siniperca kneri*) 等较大型经济鱼类也主要分布于这些河段。泉水鱼 (*Pseudogyrinocheilus prochilus*) 和云南盘鲃 (*Discogobio yunnanensis*) 等野鲮亚科鱼类,勃氏高原鲃 (*Triplophysa bleekeri*)、红尾副鲃和短体副鲃等条鲃科鱼类,以及爬鲃科的西昌华吸鲃等主要分布于干流和支流的上游河段,分布海拔较高,喜流水和冷水生境 (附录 2)。

永宁河流域的珍稀保护鱼类数量稀少且分布范围十分狭窄,岩原鲤仅在马岭镇 (YN22) 采集到;宜宾鲃仅在永宁河河口 (YN42) 采集到;昆明裂腹鱼仅分布于支流东门河。长江上游特有鱼类中,四川华鲃、半鲮、短鳍近红鲃、张氏鲮等主要分布于干流的中游、下游河段,短体副鲃,西昌华吸鲃主要分布于干流及支流的上游河段。“四大家鱼”里的草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 在流域内仅零星分布。沙塘鳢为外来入侵种,仅分布于干流下游河段 (附录 2)。

永宁河各河段间鱼类群落相似性指数为 0.07—0.56,平均值为 0.29,为中等不相似水平 (表 2)。生境类型相似的河段之间鱼类群落相似度稍高,如永宁河干流上游、支流清水河、黄泥河、东门河及海雁溪,都为冷水急流型生境,鱼类群落主要由泥鳅、短体副鲃、短须颌须鲃 (*Gnathopogon imberbis*)、宽鳍鱲、乐山小鲃、马口鱼、切尾拟鲮、泉水鱼、红尾副鲃、西昌华吸鲃和福建纹胸鲃 (*Glyptothorax fokiensis*) 等组成,群落相似度相对更高。

2.5 水坝类型以及季节对鱼类多样性影响

双因素方差分析表明,水坝类型对鱼类物种数、短距离洄游鱼类种数、Margalef 丰富度指数有显著影响;季节只对短距离洄游鱼类种数有显著影响;水坝类型以及季节对各指标的交互影响显著 (表 3)。通过单因素方差分析水坝类型以及季节对鱼类的具体影响发现,无水坝阻隔河段鱼类物种数、短距离洄游鱼类种数、Margalef 丰富度指数显著高于低头坝和高头坝阻隔河段 (表 4);各季节鱼类多样性变化不显著,但是夏季的短距离洄游鱼类种数显著高于冬季和春季 (表 5)。

表 2 永宁河各河段鱼类群落相似性

Table 2 Similarity of fish community between different reaches/tributaries in the Yongning River

	干流上游 Upper reaches of mainstream	干流中游 Middle reaches of mainstream	干流下游 Lower reaches of mainstream	清水河 Qingshui River	黄泥河 Huangni River	东门河 Dongmen River	海雁溪 Haiyan Stream	古宋河 Gusong River	白节河 Baijie River
干流上游		0.35	0.30	0.50	0.27	0.25	0.44	0.47	0.30
干流中游			0.56	0.12	0.07	0.12	0.26	0.51	0.33
干流下游				0.12	0.09	0.10	0.21	0.38	0.30
清水河					0.38	0.25	0.44	0.29	0.16
黄泥河						0.29	0.41	0.19	0.17
东门河							0.37	0.25	0.21
海雁溪								0.44	0.25
古宋河									0.32
白节河									

表 3 不同类型水坝阻隔以及季节对鱼类多样性的影响

Table 3 Effect of different type of dam and season on fish diversity

	分类变量 Categorical variables	平方和 Square sum	<i>F</i>	<i>P</i>
种数 Species	水坝类型	422.79	4.79	*
	季节	287.17	2.17	ns
	水坝类型×季节	3536.33	80.12	**
短距离洄游型鱼类种数 Short-distance migratory species	水坝类型	112.88	13.84	**
	季节	53.08	4.34	**
	水坝类型×季节	168.75	41.38	**
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	水坝类型	1.459	1.539	ns
	季节	3.312	2.328	ns
	水坝类型×季节	89.85	189.44	**
Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	水坝类型	12.319	4.91	*
	季节	9.471	2.516	ns
	水坝类型×季节	158.41	126.27	**

ns: 差异不显著 No significant difference; *: 差异显著 Significant difference; **: 差异极显著 Very significant difference

表 4 水坝阻隔类型对鱼类多样性的具体影响分析

Table 4 Specific impact of dam type on fish diversity

	水坝阻隔类型(平均值±标准差) Dam type (mean±SD)			<i>F</i>	<i>P</i>
	低头坝 Low-head dam	高头坝 High-head dam	无水坝 No dam		
种数 Species	5.44±2.87	7.75±6.89	12.56±9.32	4.443	*
短距离洄游型鱼类种数 Short-distance migratory species	0.06±0.25	1.75±1.77	3.81±3.43	11.319	**
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.21±0.55	1.29±0.69	1.61±0.88	1.413	ns
Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	1.27±0.57	1.69±1.01	2.49±1.67	4.459	*

表 5 季节对鱼类多样性的具体影响分析

Table 5 Specific impact of season on fish diversity

	季节(平均值±标准差) Seasons (Mean±SD)				<i>F</i>	<i>P</i>
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter		
种数 Species	8.67±5.97	12.00±9.65	8.58±7.61	5.08±4.50	1.85	ns
短距离洄游型鱼类种数 Short-distance migratory species	0.83±1.19	3.33±3.87	2.42±2.81	0.92±1.24	3.74	*
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	1.53±0.65	1.66±0.49	1.30±0.92	0.97±0.66	2.272	ns
Margalef 丰富度指数 Margalef richness index	1.90±1.04	2.42±1.39	1.78±1.49	1.17±0.82	2.137	ns

3 讨论

3.1 鱼类资源现状

永宁河生境类型较为复杂,鱼类物种多样性较高,四次调查共采集鱼类 69 种,绝大部分为鲤形目、鲤科的种类,这与整个长江上游其他类似支流的鱼类多样性类似,如南广河(64 种)^[5],大宁河(68 种)^[28]和小江(56 种)^[29]等。采集鱼类中 IRI 值小于 10 的共有 29 种,说明流域内的偶见种较多,一般在干扰较为频繁的河流里才会出现这种情况^[5],结合实际调查以及访问相关渔政部门发现流域内仍然存在偷捕滥捕,生活垃圾、用水乱排等现象,频繁的人为干扰导致偶见种较多。本次调查采集的以小型鱼类为主,IRI 值较大多为宽鳍鱲、鲫、乐山小鲃、切尾拟鲮、马口鱼等性成熟早、成体较小的鱼类;近 50% 的鱼类个体全长小于 10cm,近 90% 的个体体重小于 50g。根据永宁河的实际状况,推测主要是过度捕捞导致大个体的经济鱼类资源衰退,使小型鱼类得以大量繁殖^[30];此外,建坝蓄水导致一些具有洄游习性的大个体鱼类如草鱼、鲢、鳙等无法在流域内自然繁殖,从而减少了其资源量^[28-29]。永宁河主要以定居型鱼类为主,而短距离洄游型鱼类的种类和数量较少,这与其他梯级开发河流情况类似^[3,31],主要原因是梯级水坝严重阻碍了鱼类的迁移,导致短距离洄游型鱼类的种类和数量急剧减少甚至消失^[19]。

本次为永宁河流域鱼类资源的首次系统调查,由于缺乏历史资料,无法具体分析永宁河鱼类资源的变化情况。不过,对流域内渔民的访问调查表明,近年来鱼类数量明显变少,规格变小,单船作业日捕获量远低于上世纪的捕获量。虽然目前永宁河的鱼类物种较为丰富,但流域偶见种较多,且渔获主要以小型鱼类为主,仍需加大关注,加强保护。

3.2 鱼类时空分布格局

永宁河的鱼类分布具有显著的季节性特征,夏季和秋季的鱼类种数和 Margalef 物种丰富度指数高于冬季和春季;春季和夏季的渔获物数量高于秋季和冬季。不同于湖泊、水库等静水水体,河流系统受季节性干旱和洪涝的影响,流量、流速、水温等水文条件具有显著的季节特征,因此,鱼类群落的种类组成和种群数量也存在明显的季节变化^[32]。除了受环境因素的影响外,鱼类生活史的不同阶段也会影响鱼类种群的组成和数量^[33]。例如,鱼类在春末夏初之际进行的繁殖活动,会导致夏秋季鱼类种类和数量的增加,多样性上升;而冬季水温下降,鱼类越冬死亡等现象会导致种群数量下降,多样性降低^[34]。此外,采样方法也可能对结果产生影响,刺网及地笼属于被动性采样方法,永宁河水坝较多,各河段都存在大小不一的河流型水库,冬季水温较低,鱼类进入水库深水区越冬,由于其活动范围小,能力弱,导致一些种类未被捕捞到,从而影响冬季的渔获情况^[35]。

永宁河各河段的鱼类多样性与生境条件及水坝等密切相关。干流的鱼类多样性(61 种,4519 尾)远高于各支流总和(41 种,2813 尾),各支流中古宋河的流量和流域面积较大,鱼类多样性较高,其他支流多为源头或上游支流,流量及流域面积小,鱼类资源有限,多样性较低;沿着干流上游至下游的纵向梯度,鱼类种类数及多样性指数呈递增趋势。一般来说,干流河道更宽阔,流量更大,底质类型更加丰富且生境类型更加多样^[36],为鱼类提供了更有利的生存环境。同时,河流从上游至下游河宽、流量、栖息地多样性和复杂性等逐渐增加,鱼类丰富度也会随之增加^[37]。永宁河干流的鱼类多样性明显高于各支流,几乎包涵了流域的所有鱼类种类,且干流下游的多样性最高,因此干流的保护价值更高。此外,护国电站以下至永宁河河口的干流下游河段与长江干流直接相连,部分鱼类会上溯到此河段进行索饵或者繁殖,如宽体沙鳅、翘嘴鲇、吻鲈等仅夏季和秋季在永宁河干流下游河段有分布,这也是干流下游鱼类较为丰富的主要原因。

鱼类种类组成沿着河流纵向梯度一般有“递增”和“替代”两种模式,“递增”模式是指相对于上游河段,下游河段增加一部分种类但鱼类组成仍具有相似性;而“替代”模式是指由于环境突变,上、下游鱼类组成截然不同^[25]。永宁河从源头到河口海拔落差较小,坡度较缓,河床平均比降约为 0.92%,环境梯度变化也较为平缓,然而,相似性系数表明各河段之间鱼类群落仅达中等不相似水平,鱼类分布沿着纵向梯度更倾向于“替

代”模式,鱼类分布区域化明显。如红尾副鳅、西昌华吸鳅、泉水鱼等只分布于流域上游河段;昆明裂腹鱼只分布于支流东门河;斑鳅(*Siniperca scherzeri*)、贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)、蒙古鲃(*Culter mongolicus*)等只分布于流域下游河段。推测主要是梯级水坝的建设阻隔了鱼类向上游或下游的迁移,同时,一些较大的水坝会导致河流生境发生突变,导致坝上坝下鱼类种类差异较大^[38-39]。

3.3 水坝阻隔及季节对鱼类多样性影响

分析表明,水坝类型对鱼类多样性有显著影响,无水坝阻隔河段鱼类多样性显著高于低头坝和高头坝阻隔河段。由于没有水坝的阻隔,无水坝阻隔河段河流生境更加完整,鱼类多样相对更高^[40],此外,永宁河无水坝河段与长江干流直接相连,部分鱼类会上溯到此产卵或者索饵,从而增加了该河段的鱼类多样性^[41]。高头坝能完全截流,导致阻隔河段洄游习性的鱼类减少或消失,从而降低了其多样性^[9];低头坝不能完全截流,由于坝头较低,在洪水季节,坝体被完全淹没,鱼类可以进行正常的上、下游迁移^[42],但永宁河的低头坝基本在流域上游河段,河宽及流量较小,所以其阻隔河段的鱼类多样性也较低。

季节对鱼类多样性影响不显著,对短距离洄游型鱼类种数有显著影响,夏季短距离洄游鱼类种数显著高于冬季和春季。高头坝由于坝高较高,阻断了鱼类的季节性迁移,导致其阻隔河段鱼类多样性季节性变化不显著^[43];低头坝阻隔河段鱼类虽然可以在洪水季节正常上下游迁移,但调查中发现永宁河低头坝阻隔河段内绝大多数为定居型鱼类,基本上不进行季节性迁移或迁移距离很短,因此其阻隔河段内鱼类多样性季节性变化不显著^[8];而无水坝阻隔河段与长江干流直接相连,永宁河的短距离洄游型鱼类主要分布于此,在春夏之交鱼类繁殖季节^[34],一些产漂流型卵的种类从长江干流上溯至此进行繁殖,如唇鲮(*Hemibarbus labeo*)、吻鲃、蛇鲃、大鳍鱬等,从而导致夏季的短洄游型鱼类较多,但由于短距离洄游型鱼类种类和数量较少,对鱼类多样性的季节性变化影响不显著^[39]。

3.4 鱼类资源威胁因素及保护建议

永宁河为长江上游一级支流,对长江上游鱼类多样性保护具有重要意义,其下游河段(渠坝至河口段)被划入了长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区实验区^[12]。分析流域鱼类资源现状、分布等发现鱼类群落面临的主要威胁包括:(1)河流干、支流上建有众多小型水坝,破坏了河流连通性,阻碍了鱼类的迁移^[44],一些具有迁移习性的鱼类难于上溯到河流的中、上游及支流河段。同时,水坝导致河流生境破碎化,栖息地流速、流量、水温等水文条件明显改变,适应流水、浅滩的种类难于在这些河段生存或繁殖,导致鱼类多样性和资源量下降^[45]。(2)调查中咨询渔政等相关部门以及沿河居民发现河流内电鱼等偷捕、滥捕现象仍然存在。与其他长江上游支流类似,过度捕捞等频繁的人为干扰导致流域内优势种较少,鱼类个体较小。(3)外来种入侵也存在一定风险。本次调查在干流下游采集到一定数量的沙塘鳢,其为小型肉食性鱼类,适应性强,可能会占据部分原生鱼类的生态位,而对其产生不良影响^[46]。

尽管永宁河下游约 20km 的河段为长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区实验区,但考虑到河流是一个连续的系统,其对永宁河流域的鱼类多样性保护较为有限^[47]。综合考虑永宁河的水文特征、鱼类区系组成、资源现状及面临的威胁,提出以下保护建议:(1)保护、修复重要的鱼类栖息地。调查中发现了一些产粘性卵和漂流性卵鱼类的产卵场,如背福岩电站坝下河段、江门电站坝下河段、护国电站坝下河段等,应加以重点保护和修复。在鱼类繁殖季节加大生态下泄流量,保证坝下河段的流水条件,以满足鱼类的产卵繁殖和早期卵苗的发育。(2)拆除部分低头坝。永宁河流域上游的低头坝数量众多,虽然坝高低,但由于其数量较多,潜在的累积生态学效应可能也会对上流喜冷水急流的鱼类(如红尾副鳅、西昌华吸鳅、泉水鱼等)产生影响^[14]。对于那些阻隔了鱼类迁移通道,对鱼类产卵繁殖和索饵等产生了影响的低头坝,应依据相关生态环境保护政策进行拆除以恢复河道连通性。(3)科学、合理开展增殖放流。在保护中应优先考虑保护或修复鱼类自然种群及其栖息地生境,但永宁河鱼类受梯级电站影响较大,一些珍稀保护鱼类(如宜宾鲃、岩原鲤、昆明裂腹鱼、华鲮等)和具有洄游习性的经济鱼类(如鲢、鳙、草鱼等)资源量较少,为防止其种群数量在流域内持续减少甚至消失灭绝,可以考虑开展人工放流以增加其种群数。同时,如果流域内部分水坝拆除后,一定

长度河段的连通性和流水生境将得以恢复,将为喜急流性鱼类重新提供适宜的栖息生境,可以开展其成熟亲本的放流,以重建其野外繁殖群体。

4 总结及展望

本研究系统调查了永宁河流域的鱼类资源现状,分析了其多样性及时空分布情况,初步探讨了水坝对鱼类多样性的影响。结果表明永宁河鱼类种类较为丰富,但偶见种较多,鱼类以小型种类和定居型为主,短距离洄游型鱼类种类和数量较少;梯级水坝的开发对永宁河的鱼类多样性及其时空分布产生了不利影响。在今后的水电开发中,应首先对流域的鱼类进行系统调查,特别需要加强对具洄游习性鱼类的生物学研究和保护。本文仅初步分析了永宁河流域的鱼类多样性现状,由于未系统收集环境因子数据,没有进行鱼类群落与环境因子的相关性分析,在今后可以补充收集,并进一步分析。

致谢:四川大学生命科学学院研究生邓嘉俊、代梦梦、梁聪帮助野外调查工作,四川省泸州市相关渔政管理部门对调查工作给予支持,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Petesse M L, Petrere M. Tendency towards homogenization in fish assemblages in the cascade reservoir system of the Tietê river basin, Brazil. *Ecological Engineering*, 2012, 48: 109-116.
- [2] Gillette D P, Tiemann J S, Edds D R, Wildhaber M L. Spatiotemporal patterns of fish assemblage structure in a river impounded by low-head dams. *Copeia*, 2005, 2005(3): 539-549.
- [3] 何美峰,袁定清,崔利峰,邹丽珍,蒋奕雄. 梯级电站胁迫下旧县河下游鱼类群落多样性分析. *福建水产*, 2014, 36(3): 198-204.
- [4] 姚磊,陈盼盼,胡利利,李亦秋. 长江上游流域水电开发现状与存在的问题. *绵阳师范学院学报*, 2016, 35(2): 91-97.
- [5] 代梦梦,杨坤,黎树,王小东,宋昭彬. 长江上游支流南广河的鱼类多样性及资源现状. *生物多样性*, 2019, 27(10): 1081-1089.
- [6] 何术锋,唐磊,王骏,朱晨曦,李婷,莫康乐,陈求稳. 水坝拆除对黑水河鱼类群落结构和空间分布的影响. *生态学报*, 2021, 41(9): 3525-3534.
- [7] Poff N L, Hart D D. How Dams Vary and Why It Matters for the Emerging Science of Dam Removal: an ecological classification of dams is needed to characterize how the tremendous variation in the size, operational mode, age, and number of dams in a river basin influences the potential for restoring regulated rivers via dam removal. *BioScience*, 2002, 52(8): 659-668.
- [8] 李强,张东,宛凤英,李羽如,储玲,严云志. 溪流鱼类群落对低水头坝的大小及功能的响应——以皖南山区河源溪流为例. *水生生物学报*, 2018, 42(5): 965-974.
- [9] 卜倩婷,李献,朱仁,储玲,严云志. 低头坝驱动山区溪流局域栖息地和鱼类群落的同质化. *生物多样性*, 2017, 25(8): 830-839.
- [10] Tiemann J S, Gillette D P, Wildhaber M L, Edds D R. Effects of lowhead dams on riffle-dwelling fishes and macroinvertebrates in a Midwestern River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2004, 133(3): 705-717.
- [11] Dodd H R, Hayes D B, Baylis J R, Carl L M, Goldstein J D, McLaughlin R L, Noakes D L G, Porto L M, Jones M L. Low-head Sea lamprey barrier effects on stream habitat and fish communities in the great lakes basin. *Journal of Great Lakes Research*, 2003, 29: 386-402.
- [12] 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. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] 丁瑞华. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- [14] 乐佩琦. 中国动物志-下卷-硬骨鱼纲, 鲤形目. 北京: 科学出版社, 2000.
- [15] 褚新洛. 中国动物志: 硬骨鱼纲, 鲇形目. 北京: 科学出版社, 1999.
- [16] 国家林业和草原局, 农业农村部. 《国家重点保护野生动物名录》(2021年2月1日修订). *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605-640.
- [17] 蒋志刚,江建平,王跃招,张鸷,张雁云,李立立,谢锋,蔡波,曹亮,郑光美,董路,张正旺,丁平,罗振华,丁长青,马志军,汤宋华,曹文宣,李春旺,胡慧建,马勇,吴毅,王应祥,周开亚,刘少英,陈跃英,李家堂,冯祚建,王燕,王斌,李成,宋雪琳,蔡蕾,臧春鑫,曾岩,孟智斌,方红霞,平晓鸽. 中国脊椎动物红色名录. *生物多样性*, 2016, 24(5): 501-551.
- [18] 李婷,唐磊,王丽,安磊,王骏,莫康乐,陈求稳. 水电开发对鱼类种群分布及生态类型变化的影响——以溪洛渡至向家坝河段为例. *生态学报*, 2020, 40(04): 1473-1485.
- [19] 杨富亿. 黑龙江干流水电梯级开发对鱼类资源的影响与补救措施. *国土与自然资源研究*, 2000(1): 55-57.
- [20] Pinkas L, Oliphant M, Iverson I. Fish bulletin 152. food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. California: Department of

- Fish and Game, 1970.
- [21] Johnson H. Information theory in biology after 18 years. *General Systems Yearbook*, 1970.
- [22] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [23] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163(4148): 688.
- [24] 张涛, 庄平, 刘健, 章龙珍, 冯广朋, 侯俊利, 赵峰, 刘鉴毅. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性. *生态学杂志*, 2009 28(10): 2056-2062.
- [25] 梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬. 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类资源现状. *生物多样性*, 2021, 29(7): 938-949.
- [26] 付东伟, 栾曙光, 张瑞瑾, 陈勇. 人工鱼礁开口比和迎流面形状对流场效应影响的双因素方差分析. *大连海洋大学学报*, 2012, 27(3): 274-278.
- [27] 刘加妹, 彭景榭. 生物实验数据的单因素方差分析. *动物学杂志*, 2001, 36(6): 34-37.
- [28] 杨峰, 姚维志, 邓华堂, 陈大庆, 刘绍平, 段辛斌. 三峡库区蓄水后大宁河鱼类资源现状研究. *淡水渔业*, 2013, 43(4): 51-57.
- [29] 李斌, 江星, 王志坚, 金丽, 段辛斌, 张耀光. 三峡库区蓄水后小江鱼类资源现状. *淡水渔业*, 2011, 41(6): 37-42.
- [30] 朱书礼, 陈蔚涛, 李新辉, 李捷, 李跃飞. 柳江鱼类群落结构及多样性研究. *水生生物学报*, 2022, 46(3): 375-390.
- [31] 张刚. 池河流域水电站梯级开发对鱼类资源的影响研究. *陕西水利*, 2016(4): 48-49.
- [32] Allan J D, Castillo M M, Capps K A. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Cham: Springer International Publishing, 2021.
- [33] 王文剑, 储玲, 司春, 朱仁, 陈文豪, 陈方明, 严云志. 秋浦河源国家湿地公园溪流鱼类群落的时空格局. *动物学研究*, 2013, 34(4): 417-428.
- [34] 王银平, 匡箴, 蔺丹清, 李佩杰, 杨彦平, 刘凯. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性. *生态学报*, 2020, 40(7): 2417-2426.
- [35] 冯杰, 吴志强, 黄亮亮, 高明慧, 何佳洋, 王一菲, 李明德. 西江来宾江段鱼类群落结构季节变化特征. *四川动物*, 2022, 41(6): 681-694.
- [36] Li J H, Huang L L, Sato T, Zou L M, Jiang K, Yahara T, Kano Y. Distribution pattern, threats and conservation of fish biodiversity in the East Tiaoxi, China. *Environmental Biology of Fishes*, 2013, 96(4): 519-533.
- [37] Liu X J, Ao X F, Ning Z T, Hu X Y, Wu X P, Ouyang S. Diversity of fish species in Suichuan River and Shushui River and conservation value, China. *Environmental Biology of Fishes*, 2017, 100(5): 493-507.
- [38] Zigler S J, Dewey M R, Knights B C, Runstrom A L, Steingraeber M T. Hydrologic and hydraulic factors affecting passage of paddlefish through dams in the upper Mississippi River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2004, 133(1): 160-172.
- [39] Anderson R L, Anderson C A, Larson J H, Knights B, Vallazza J, Jenkins S E, Lamer J T. Influence of a high-head dam as a dispersal barrier to fish community structure of the Upper Mississippi River. *River Research and Applications*, 2020, 36(1): 47-56.
- [40] Ferguson J W, Healey M, Dugan P, Barlow C. Potential effects of dams on migratory fish in the Mekong River: lessons from salmon in the Fraser and Columbia Rivers. *Environmental Management*, 2011, 47(1): 141-159.
- [41] Winter H V, Van Densen W L T. Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. *Fisheries Management and Ecology*, 2001, 8(6): 513-532.
- [42] Yan Y Z, Wang H, Zhu R, Chu L, Chen Y F. Influences of low-head dams on the fish assemblages in the headwater streams of the Qingyi watershed, China. *Environmental Biology of Fishes*, 2013, 96(4): 495-506.
- [43] Marchetti M P, Moyle P B. Effects of flow regime on fish assemblages in a regulated California stream. *Ecological Applications*, 2001, 11(2): 530-539.
- [44] Hu M L, Wang C Y, Liu Y Z, Zhang X Y, Jian S Q. Fish species composition, distribution and community structure in the lower reaches of Ganjiang River, Jiangxi, China. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 1-13.
- [45] Agostinho A A, Pelicice F M, Gomes L C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian journal of biology*, 2008, 68: 1119-1132.
- [46] 陈生熬, 范镇明, 向伟, 宋勇, 刘旭强. 塔里木河 2 种入侵鱼类的解剖学分析. *新疆农垦科技*, 2014, 37(11): 26-28.
- [47] Li Y R, Tao J, Chu L, Yan Y Z. Effects of anthropogenic disturbances on α and β diversity of fish assemblages and their longitudinal patterns in subtropical streams, China. *Ecology of Freshwater Fish*, 2018, 27(1): 433-441.

附录

附录 1 永宁河鱼类资源调查采样点及水坝信息

Appendix 1 Information of sampling sites and dams for fish investigation in the Yongning River

河流 Rivers	河段 Reaches	采样点(编号)及水坝 Sampling sites (Code) and dams	经度 Longitude	纬度 Latitude	水坝相对位置及坝高 Location and height of dams
干流 Mainstream	上游	两河镇(YN8)	105°22'47.2884"E	28°06'02.0822"N	
		双狮村(YN9)	105°22'57.4530"E	28°07'08.3620"N	
		万家村水坝	105°24'08.9150"E	28°07'59.9782"N	位于土地坳乡(YN10)上游,坝高 2.5m
		土地坳乡(YN10)	105°24'02.7587"E	28°08'23.6867"N	
		磨刀溪乡(YN11)	105°24'42.7742"E	28°08'54.7914"N	
		叙永县水坝	105°26'11.5535"E	28°09'46.8064"N	位于叙永县(YN14)上游,坝高 2m
	中游	叙永县城(YN14)	105°26'25.0543"E	28°10'22.6938"N	
		龙凤镇(YN19)	105°25'08.6253"E	28°12'50.0104"N	
		兴隆乡(YN20)	105°23'40.5527"E	28°15'03.6880"N	
		天池镇(YN21)	105°26'03.5680"E	28°19'37.2126"N	
		天池水坝	105°26'02.3889"E	28°19'39.6926"N	位于天池镇(YN21)下游,坝高 12m
		金桥水坝	105°23'52.5508"E	28°21'00.4204"N	位于天池水坝下游,坝高 8m
		背福岩水坝	105°23'02.4732"E	28°22'35.7153"N	位于马岭镇(YN22)上游,坝高 8m
		马岭镇(YN22)	105°23'00.9407"E	28°22'34.7056"N	
		江门水坝	105°21'20.3123"E	28°26'38.4146"N	位于江门镇(YN34)上游,坝高 17.5m
		江门镇(YN34)	105°20'21.6021"E	28°26'32.9834"N	
		上马镇(YN35)	105°19'57.7525"E	28°31'16.2771"N	
	下游	护国水坝	105°21'17.9168"E	28°34'56.5109"N	位于护国镇(YN36)上游,坝高 10m
		护国镇(YN36)	105°21'18.6098"E	28°35'02.4935"N	
		渠坝镇(YN37)	105°23'10.4613"E	28°41'19.5720"N	
		白节河河口(YN41)	105°24'43.0312"E	28°45'26.5863"N	
		永宁河河口(YN42)	105°23'04.8158"E	28°46'08.8477"N	
支流 Tributary	清水河	四堰村(YN1)	105°14'26.0570"E	28°03'38.3213"N	
		三家村(YN2)	105°16'04.4223"E	28°04'59.3089"N	
		两合崇水坝	105°16'28.2160"E	28°05'22.4053"N	位于两合崇电站(YN3)上游,坝高 2m
		两合崇电站(YN3)	105°16'51.4259"E	28°05'46.9438"N	
		江村(YN4)	105°20'51.1057"E	28°06'24.7936"N	
		江村水坝	105°20'50.6146"E	28°06'25.7740"N	位于江村(YN4)下游,坝高 2m
	黄泥河	盘龙村(YN5)	105°19'31.8122"E	27°56'56.5694"N	
		岩坪水坝	105°20'27.0691"E	27°59'22.4489"N	位于黄泥镇(YN6)上游,坝高 3m
		黄泥镇(YN6)	105°20'21.0504"E	28°00'00.3022"N	
		还乡水坝	105°20'15.6111"E	28°01'38.2064"N	位于天生桥村(YN7)上游,坝高 2m
		天生桥村(YN7)	105°22'24.2060"E	28°04'09.4165"N	
		两河水坝	105°22'43.2234"E	28°05'26.0064"N	位于天生桥村(YN7)下游,坝高 3m
	东门河	新田村(YN12)	105°29'09.3546"E	28°01'56.6613"N	
		陈家湾水坝	105°29'18.2559"E	28°02'03.0938"N	位于新田村(YN12)下游,坝高 2m
		大峡桥水坝	105°28'52.4964"E	28°03'22.2673"N	位于陈家湾水坝下游,坝高 3m
		大树水坝	105°28'48.2099"E	28°04'20.2646"N	位于大峡桥水坝下游,坝高 3m
		落卜水坝	105°28'32.7986"E	28°04'52.2859"N	位于落卜镇(YN13)上游,坝高 3m
		落卜镇(YN13)	105°28'00.6139"E	28°06'45.5362"N	
	海雁溪	合乐乡(YN15)	105°34'07.8077"E	28°10'12.9438"N	

续表

河流 Rivers	河段 Reaches	采样点 (编号) 及水坝 Sampling sites (Code) and dams	经度 Longitude	纬度 Latitude	水坝相对位置及坝高 Location and height of dams
古宋河		来龙湖水坝	105°33'55.7969"E	28°10'56.7113"N	位于合乐乡 (YN15) 下游, 临近支高岩水库, 坝高 10m
		支高岩水坝	105°31'45.1069"E	28°11'38.5424"N	位于三岔水源保护区 (YN16) 上游, 坝高 8m
		三岔河水源保护区 (YN16)	105°28'38.7080"E	28°13'51.9013"N	
		四坪村 (YN17)	105°27'13.6770"E	28°14'41.6447"N	
		双桥村水坝	105°25'52.5040"E	28°13'39.0049"N	位于双桥村 (YN18) 上游, 坝高 1m
		双桥村 (YN18)	105°25'48.8666"E	28°13'33.9253"N	
		大坝乡 (YN23)	105°08'34.8362"E	28°07'40.0674"N	
		大坝乡水坝	105°11'10.1082"E	28°08'39.3887"N	位于大坝乡 (YN23) 下游, 坝高 2m
		新生村水坝	105°11'22.2633"E	28°09'42.2984"N	位于新生村 (YN24) 上游, 坝高 2m
		新生村 (YN24)	105°11'17.7492"E	28°09'57.1210"N	
		芭蕉沟水坝	105°11'08.9770"E	28°10'22.2699"N	位于新生村 (YN24) 下游, 坝高 2m
		院山村 (YN25)	105°12'44.6023"E	28°10'52.0703"N	
		同心村 (YN26)	105°10'39.4228"E	28°11'06.0788"N	
		桐子村水坝	105°10'28.8801"E	28°11'51.6532"N	位于同心村 (YN26) 下游, 坝高 2m
		西河村 (YN27)	105°11'52.5593"E	28°13'00.4169"N	
		象鼻村水坝	105°12'30.4860"E	28°15'03.2360"N	位于象鼻子村 (YN28) 上游, 坝高 2m
		象鼻村 (YN28)	105°12'26.1573"E	28°15'15.2911"N	
		崔家坡村 (YN29)	105°13'18.1972"E	28°15'55.4986"N	
		顺庆村水坝	105°13'56.7377"E	28°16'11.7738"N	位于崔家坡村 (YN29) 下游, 坝高 3m
		兴文县水坝	105°14'17.5973"E	28°18'30.7318"N	位于兴文县 (YN30) 上游, 坝高 2m
		兴文县 (YN30)	105°14'40.5022"E	28°19'14.1407"N	
		太平水坝	105°16'43.4025"E	28°20'52.8881"N	位于太平镇 (YN31) 上游, 坝高 8m
		太平镇 (YN31)	105°16'58.2582"E	28°20'53.7553"N	
		堰坝村 (YN32)	105°18'43.9276"E	28°22'51.0698"N	
		孙家河水坝	105°20'13.5630"E	28°23'50.7107"N	位于堰坝村 (YN32) 下游, 坝高 8m
		孙家河电站坝下 (YN33)	105°20'07.4596"E	28°23'56.4971"N	
白节河		白节镇水坝	105°26'49.6544"E	28°41'25.9678"N	位于白节镇 (YN38) 上游, 坝高 3m
		白节镇 (YN38)	105°26'49.2095"E	28°41'26.9405"N	
		南山村 (YN39)	105°25'59.0568"E	28°42'41.2031"N	
		金凤村 (YN40)	105°25'39.9323"E	28°43'51.9289"N	

附录 2 永宁河鱼类种类、优势度类型、生态类型、分布及保护现状

Appendix 2 Fish species, dominant type, ecotype, distribution and conservation status in the Yongning River

目/科/种 Order/Family/Species	数量 Individuals	数量百分比/% Percentage of individuals	重量 Weight/g	重量百分比/% Percentage of weight	出现频率/% Frequency of occurrence	IRI	分布采样点(河段) Distributed sampling sites (River reaches)	生态类型 Ecotype	备注 Remark
01 鲤形目 Cypriniformes									
1 条鳅科 Nemacheilidae									
红尾副鳅 <i>Paracobitis variegatus</i>	392	5.35	2685.24	1.59	14.29	99.06	YN5、6、12、13、17、23 (HN、DM、HY、GS)	定居型	
短体副鳅 <i>Paracobitis potanini</i>	75	1.02	411.38	0.24	23.81	30.15	YN3、4、6、7、8、9、10、11、18、37 (QS、HN、UM、HY、LM)	定居型	长江上游特有
勃氏高原鳅 <i>Triplophysa bleekeri</i>	3	0.04	11.29	0.01	2.38	0.11	YN23 (GS)	定居型	
2 花鳅科 Cobitidae									
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	47	0.64	557.71	0.33	47.62	46.23	YN1、3、4、5、7、8、9、12、14、15、18、19、23、24、30、32、33、37、39、40 (QS、HN、UM、DM、HY、GS、LM、BJ)	定居型	
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	32	0.44	481.18	0.28	7.14	5.15	YN1、19、30 (QS、UM、GS)	定居型	
宽体沙鳅 <i>Sinibotia reevesae</i>	102	1.39	1424.29	0.84	4.76	10.64	YN36、37 (LM)	短距离洄游型	长江上游特有
3 鲤科 Cyprinidae									
宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	1178	16.07	9466.74	5.60	59.52	1289.55	YN1、2、3、4、6、7、8、9、10、11、13、14、15、18、19、20、21、22、24、26、28、34、36、37、38 (QS、HN、UM、MM、DM、HY、GS、LM、BJ)	定居型	
马口鱼 <i>Opsarichthys bidens</i>	375	5.11	3062.86	1.81	47.62	329.8	YN3、4、8、9、10、11、13、14、18、20、21、22、25、27、28、30、33、34、36、37 (QS、UM、MM、DM、HY、GS、LM)	定居型	
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	18	0.25	3294.31	1.95	11.90	26.11	YN34、36、37、41、42 (MM、LM)	短距离洄游型	
宜宾鲃 <i>Xenocypris fangi</i>	1	0.01	338.89	0.20	2.38	0.51	YN42 (LM)	短距离洄游型	长江上游特有/VU
圆吻鲴 <i>Distoechodon tumirostris</i>	1	0.01	173.90	0.10	2.38	0.28	YN36 (LM)	定居型	
鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	1	0.01	258.00	0.15	2.38	0.40	YN21 (MM)	短距离洄游型	

续表

目/科/种 Order/Family/Species	数量 Individuals	数量百分比/% Percentage of individuals	重量 Weight/g	重量百分比/% Percentage of weight	出现频率/% Frequency of occurrence	IRI	分布采样点(河段) Distributed sampling sites (River reaches)	生态类型 Ecotype	备注 Remark
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1	0.01	602.10	0.36	2.38	0.88	YN42(LM)	短距离洄游型	
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	174	2.37	332.31	0.20	30.95	79.54	YN11、18、19、21、29、32、34、37、38、39、40、41、42 (UM、HY、MM、GS、MM、LM、BJ)	定居型	
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	23	0.31	110.07	0.07	11.90	4.51	YN18、21、22、24、34 (HY、MM)	定居型	
兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	1	0.01	10.53	0.01	2.38	0.05	YN41(LM)	定居型	
银鲮 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	2	0.03	129.06	0.08	2.38	0.25	YN42(LM)	短距离洄游型	
寡鳞鲮 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	3	0.04	118.76	0.07	2.38	0.26	YN42(LM)	短距离洄游型	
四川华鲮 <i>Sinibrama taeniatus</i>	276	3.76	3795.77	2.24	21.43	128.76	YN22、33、34、35、36、37、38、39、40 (MM、LM、BJ)	定居型	长江上游特有
短鳍近红鮰 <i>Ancherythroculter wangi</i>	4	0.05	163.22	0.10	4.76	0.72	YN36、38 (LM、BJ)	短距离洄游型	长江上游特有
黑尾近红鮰 <i>Ancherythroculter nigrocauda</i>	1	0.01	66.5	0.04	2.38	0.13	YN37(LM)	短距离洄游型	长江上游特有
半鲮 <i>Hemiculterella sawagei</i>	393	5.36	2893.93	1.71	14.29	101.02	YN22、33、34、35、36、37 (MM、GS、LM)	定居型	长江上游特有
鲮 <i>Hemiculter leuciscus</i>	121	1.65	1547.19	0.91	9.52	24.43	YN22、34、38、42 (MM、BJ、LM)	定居型	
张氏鲮 <i>Hemiculter tchang</i>	151	2.06	4319.24	2.55	16.67	76.89	YN32、33、34、36、37、41、42 (GS、MM、LM)	定居型	长江上游特有
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	23	0.31	369.47	0.22	2.38	1.27	YN42(LM)	定居型	
翘嘴鲈 <i>Culter alburnus</i>	15	0.20	1162.55	0.69	7.14	6.37	YN36、41、42 (LM)	定居型	
蒙古鲈 <i>Culter mongolicus</i>	7	0.10	2207.08	1.31	2.38	3.33	YN42(LM)	定居型	
达氏鲈 <i>Culter dabryi</i>	1	0.01	18.40	0.01	2.38	0.06	YN36(LM)	定居型	
唇鲈 <i>Hemibarbus labeo</i>	182	2.48	5335.46	3.15	14.29	80.53	YN8、14、34、36、37、42 (UM、MM、LM)	短距离洄游型	

续表

目/科/种 Order/Family/Species	数量 Individuals	数量百分比/% Percentage of individuals	重量 Weight/g	重量百分比/% Percentage of weight	出现频率/% Frequency of occurrence	IRI	分布采样点(河段) Distributed sampling sites (River reaches)	生态类型 Ecotype	备注 Remark
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	96	1.31	399.54	0.24	38.10	58.88	YN8、10、11、13、14、19、21、23、26、27、29、30、34、37、40、42 (UM、MM、DM、GS、LM、BJ)	定居型	
华鲮 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	4	0.05	133.74	0.08	2.38	0.32	YN37(LM)	短距离洄游型	
黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	44	0.60	372.14	0.22	14.29	11.72	YN22、36、37、38、39、42 (MM、LM、BJ)	定居型	
短须颌须鲮 <i>Gnathopogon inberbis</i>	213	2.91	1767.6	1.05	33.33	131.68	YN7、8、9、11、13、18、19、21、25、26、27、36、37、38 (HN、UM、DM、HY、MM、GS、LM、BJ)	定居型	
银鲮 <i>Squalidus argentatus</i>	403	5.50	4013.95	2.37	16.67	131.17	YN22、32、33、34、36、37、42 (MM、GS、LM)	定居型	
点纹银鲮 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	128	1.75	828.88	0.49	16.67	37.27	YN21、34、36、37、38、39、40 (MM、LM、BJ)	定居型	
吻鲮 <i>Rhinogobio typus</i>	6	0.08	470.74	0.28	4.76	1.72	YN36、42(LM)	短距离洄游型	
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	36	0.49	209.47	0.12	19.05	11.71	YN10、23、26、27、32、34、35、37 (UM、GS、MM、LM)	定居型	
乐山小鲃 <i>Microphysogobio laotingensis</i>	434	5.92	3205.98	1.90	54.76	427.97	YN4、8、9、10、11、14、18、19、20、21、22、27、28、29、30、32、34、35、36、37、38、40、42 (QS、UM、HY、MM、GS、LM、BJ)	定居型	
蛇鲮 <i>Saurogobio dabryi</i>	198	2.70	5312.29	3.14	14.29	83.45	YN22、32、34、36、37、42 (MM、GS、LM)	短距离洄游型	
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	55	0.75	12211.74	7.22	14.29	113.87	YN34、35、36、37、41、42 (MM、LM)	短距离洄游型	
云南光唇鱼 <i>Acrossocheilus yunnanensis</i>	10	0.14	67.87	0.04	4.76	0.84	YN13、17(DM、HY)	定居型	
华鲮 <i>Sinilabeo rendahli</i>	7	0.10	870.67	0.51	4.76	2.91	YN34、36(MM、LM)	短距离洄游型	长江上游特有
泉水鱼 <i>Pseudogyrinocheilus longisulcus</i>	30	0.41	601.71	0.36	19.05	14.57	YN4、8、9、10、12、13、23、27 (QS、UM、DM、GS)	定居型	
云南盘鲃 <i>Discogobio yunnanensis</i>	14	0.19	51.47	0.03	2.38	0.53	YN23(GS)	定居型	
昆明裂腹鱼 <i>Schizothorax grahami</i>	154	2.10	1157.99	0.68	4.76	13.26	YN12、13(DM)	短距离洄游型	长江上游特有/EN

续表

目/科/种 Order/Family/Species	数量 Individuals	数量百分比/% Percentage of individuals	重量 Weight/g	重量百分比/% Percentage of weight	出现频率/% Frequency of occurrence	IRI	分布采样点(河段) Distributed sampling sites (River reaches)	生态类型 Ecotype	备注 Remark
岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i>	2	0.03	1357.00	0.80	2.38	1.98	YN22(MM)	短距离洄游型	长江上游特有/VU
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	62	0.85	25537.56	15.10	21.43	341.71	YN18、21、22、31、33、34、36、37、42(HY、MM、GS、LM)	定居型	
鲫 <i>Carassius auratus</i>	317	4.32	17876.99	10.57	33.33	496.49	YN13、18、21、22、31、32、33、34、35、36、37、38、41、42(DM、HY、MM、GS、LM、BJ)	定居型	
4 爬鳅科 Balitoridae									
西昌华吸鳅 <i>Sinogastromyzon sichangensis</i>	469	6.40	1533.06	0.91	26.19	191.27	YN1、2、3、4、6、8、10、11、16、18、23(QS、HN、UM、HY、GS)	定居型	长江上游特有
四川华吸鳅 <i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>	37	0.50	104.77	0.06	4.76	2.7	YN36、37(LM)	定居型	长江上游特有
似原吸鳅 <i>Paragastromyzon multifasciatus</i>	8	0.11	8.98	0.01	2.38	0.27	YN5(HN)	定居型	
02 鲇形目 Siluriformes									
1 鲇科 Siluridae									
鲇 <i>Silurus asotus</i>	51	0.70	4109.10	2.43	21.43	66.97	YN11、14、21、31、34、35、36、37、39(UM、MM、GS、LM、BJ)	定居型	
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	9	0.12	9712.14	5.74	9.52	55.86	YN22、36、37、42(MM、LM)	定居型	
2 鲿科 Bagridae									
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	82	1.12	4728.85	2.80	21.43	83.89	YN21、22、31、33、34、35、36、37、41(MM、GS、LM)	定居型	
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachellii</i>	45	0.61	2309.28	1.37	14.29	28.28	YN22、34、35、36、37、42(MM、LM)	定居型	
光泽黄颡鱼 <i>Pseudobagrus nitidus</i>	42	0.57	736.83	0.44	11.90	12.01	YN21、22、34、35、36(MM、LM)	短距离洄游型	
粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>	41	0.56	1647.77	0.97	21.43	32.86	YN22、31、32、34、35、36、37、39、42(MM、GS、LM、BJ)	短距离洄游型	
切尾拟鲿 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	257	3.51	3642.54	2.15	66.67	377.27	YN3、4、7、8、9、10、11、14、16、18、19、22、24、25、26、27、28、29、30、31、34、35、36、37、38、39、40、42(QS、HN、UM、HY、MM、GS、LM、BJ)	定居型	
大鳍鲮 <i>Hemibagrus macropterus</i>	82	1.12	3101.81	1.83	16.67	49.21	YN10、22、34、35、36、37、42(UM、MM、LM)	短距离洄游型	

续表

目/科/种 Order/Family/Species	数量 Individuals	数量百分比/% Percentage of individuals	重量 Weight/g	重量百分比/% Percentage of weight	出现频率/% Frequency of occurrence	IRI	分布采样点(河段) Distributed sampling sites (River reaches)	生态类型 Ecotype	备注 Remark
3 鲢科 Sisoridae									
福建纹胸鮡 <i>Glyptothorax fokiensis</i>	63	0.86	518.12	0.31	26.19	30.53	YN3、4、8、9、10、11、14、18、29、 34、37(QS、UM、HY、GS、LM)	定居型	
03 合鳃鱼目 Synbranchiformes									
1 合鳃鱼科 Synbranchidae									
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	13	0.18	760.30	0.45	11.90	7.46	YN14、18、30、34、37 (UM、HY、 GS、MM、LM)	定居型	
04 鲈形目 Perciformes									
1 鲈鲷科 Percichthyidae									
大眼鲈 <i>Siniperca kneri</i>	133	1.81	8936.92	5.28	19.05	135.21	YN22、33、34、35、36、37、41、42 (MM、GS、LM)	定居型	
斑鲈 <i>Siniperca scherzeri</i>	3	0.04	76.51	0.05	7.14	0.62	YN36、37、42(LM)	短距离洄游型	
2 沙塘鳢科 Odontobutidae									
沙塘鳢 <i>Odontobutis obscurus</i>	86	1.17	2186.57	1.29	4.76	11.74	YN37、39(LM、BJ)	定居型	外来入侵种
小黄鲈鱼 <i>Micropercops suinhonis</i>	1	0.01	1.08	0.00	2.38	0.03	YN38(BJ)	定居型	
3 虾虎鱼科 Gobiidae									
孑陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	80	1.09	288.93	0.17	30.95	39.06	YN19、20、21、22、31、32、33、34、 35、36、37、38、42(UM、MM、GS、 LM、BJ)	定居型	
波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	1	0.01	1.48	0.00	2.38	0.03	YN34(MM)	定居型	
4 斗鱼科 Osphronemidae									
圆尾斗鱼 <i>Macropodus ocellatus</i>	.3	0.04	9.44	0.01	2.38	0.11	YN38(BJ)	定居型	
5 鳢科 Channidae									
乌鳢 <i>Channa argus</i>	10	0.14	2903.11	1.72	9.52	17.65	YN14、22、34、37(UM、MM、LM)	定居型	

IRI: 相对重要性指数 Index of relative importance; UM: 干流上游 Upper reaches of mainstream; MM: 干流中游 Middle reaches of mainstream; LM: 干流下游 Lower reaches of mainstream; QS: 清水河 Qingshui River; HN: 黄泥河 Huangni River; DM: 东门河 Dongmen River; HY: 海雁溪 Haiyan Stream; GS: 古宋河 Gusong River; BJ: 白节河 Baijie River; VU: 易危物种 Vulnerable species; EN: 濒危物种 Endangered species