•研究报告•

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

梁聪^{1#}, 刘衍^{1#}, 王小东¹, 黎树¹, 吴波², 向朋¹, 宋昭彬^{1*}

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. 成都耶拿环保科技有限公司, 成都 610051

摘要: 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区由嘉陵江支流渠江上游的大通江及支流小通江组成, 为全面了解该保护区的鱼类资源现状, 作者于2015年11月至2017年1月对30个采样点进行了5次资源调查。结果显示, 保护区共分布鱼类57种, 隶属4目13科45属, 其中调查采集47种, 访问调查获得10种。国家二级重点保护鱼类有1种, 即岩原鲤(*Procypris rabaudi*), 长江上游特有鱼类有12种, 列入《中国脊椎动物红色名录》的易危鱼类3种。保护区以小型鱼类为主, 优势种为宽鳍鱲(*Zacco platypus*)、嘉陵颌须鲃(*Gnathopogon herzensteini*)和切尾拟鲃(*Pseudobagrus truncatus*)。保护区鱼类多样性较高, Shannon-Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数、Simpson优势度指数和Pielou均匀度指数分别为2.900、5.198、0.931、0.753。Jaccard相似性系数表明, 大通江和小通江鱼类群落相似度较高, 同一河流不同河段间的相似度整体上与河段间距离成反比; 而不同河流相似海拔高度河段间鱼类群落相似度更高。保护区鱼类资源的衰退主要由过度捕捞、栖息地破坏以及水体污染等人类活动所致。

关键词: 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区; 鱼类资源; 优势种; 物种多样性; 群落相似性

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. doi: 10.17520/biods.2021010.

Liang C, Liu K, Wang XD, Li S, Wu B, Xiang P, Song ZB (2021) Status of fish resources in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve. Biodiversity Science, 29, 938–949. doi: 10.17520/biods.2021010.

Status of fish resources in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

Cong Liang^{1#}, Kan Liu^{1#}, Xiaodong Wang¹, Shu Li¹, Bo Wu², Peng Xiang¹, Zhaobin Song^{1*}

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

2 Chengdu Jena Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chengdu 610051

ABSTRACT

Aim: The Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve is located in upper reach of the Qujiang River, a tributary of the Jialing River, and is comprised of the Datong River and its tributary Xiaotong River. In order to understand the status of fish resources in the reserve, a comprehensive investigation was carried out across the rivers' watersheds.

Methods: The investigation was implemented in November 2015; March, May, and September 2016; and January 2017 at a total of 30 sampling sites. It took one to three days at each sampling site for each survey to collect fish samples by using gill nets, ground cages, and small backpack electric fishing machines (approved by the Fishery Administrative Department).

Results: A total of 57 fish species belonging to 4 orders, 13 families and 45 genera were recorded in the reserve. Forty-seven species were collected during the survey, and the other 10 species were confirmed through fishermen. Among them, *Procypris rabaudi* is the second-class state key protected wildlife in China. Twelve of the fish species are

收稿日期: 2021-01-08; 接受日期: 2021-05-19

基金项目: 四川省水产局科研项目

共同第一作者 Co-first authors

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zbsong@scu.edu.cn

endemic to the upper Yangtze River and three species are listed as vulnerable in *Red List of China's Vertebrates*. The fish in the reserve are dominated by small-bodied species, of which *Zacco platypus*, *Gnathopogon herzensteini* and *Pseudobagrus truncatus* are the most dominant species. It was shown that the diversity of the fish community in the reserve is rich, with Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index, Simpson dominance index and Pielou evenness index of 2.900, 5.198, 0.931 and 0.753, respectively. The Jaccard's similarity coefficients showed high similarity of species composition between the Datong and Xiaotong rivers.

Conclusions: The similarity of fish communities between different reaches of the same river (the Datong River or Xiaotong River) showed negative correlation to their distance, and the reaches of the Datong River and Xiaotong River with similar elevation range showed high similarity of fish community. The decline of fish resources in the reserve was mainly caused by anthropogenic activities such as overfishing, habitats destruction and water pollution.

Key words: Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve; fish resources; dominant species; species diversity; community similarity

四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区(107°08′–107°40′ E, 31°56′–32°28′ N)位于四川省东北部大巴山南麓通江县境内,始建于1998年,2012年被批准为国家级自然保护区。保护区由嘉陵江支流渠江上游的大通江及支流小通江组成。大通江发源于米仓山南麓西乡县大河镇罗家沟,于楼房坪进入通江县境内,至长坪乡纳铁溪河,而后流经永安、瓦室等乡镇,至诺江镇纳小通江,最后于平昌县江口镇注入巴河,全长247.7 km,天然落差1,219 m;小通江又称诺水河,发源于米仓山南麓南郑县西河乡光头山,于碑坝镇进入通江县境内,流经诺水河、涪阳、诺江等乡镇后汇入大通江,全长158.1 km,天然落差1,097 m。四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区河流全长217 km,其中大通江长135 km,小通江长82 km。保护区内河道较为宽阔、平缓,多弯曲,有宽窄变化,水流缓急交错,滩、潭、沱、泉眼、岩洞等生境类型复杂多样,水质清澈,属典型的山区型河流,为多种珍稀水生动物提供了非常重要的栖息、生长和繁殖环境,如:大鲵(*Andrias davidianus*)、水獭(*Lutra lutra*)、岩原鲤(*Procypris rabaudi*)、中华裂腹鱼(*Schizothorax sinensis*)、鳖(*Trionyx sinensis*)、乌龟(*Chinemys reevesii*)等珍稀水生动物,中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、白甲鱼(*Onychostoma sima*)、长江孟加拉鲃(*Bangana rendahli*)、南方鲇(*Silurus meridionalis*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)等名贵经济鱼类。四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区对长江上游珍稀水生动物及其生境多样性的保护具有非常重要的价值。

目前,除2009年《四川诺水河珍稀水生动物自然保护区综合考察报告》(四川大学生命科学学院等,未发表资料)记录保护区内分布鱼类82种外,一

直缺乏系统的调查。本文将对保护区进行全面系统的鱼类资源调查,以期为保护区的管理及渠江上游鱼类多样性的保护提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样点和采样时间设置

根据河流地貌、水文情势、河道连通性、生境异质性、交通可达性和采样点间距等,同时为保证保护区范围调查的广泛性和鱼类样本采集的充分性,我们将保护区内和保护区外的大、小通江划分为8个河段共设置30个采样点,分别为小通江的风景区(NS1–NS3)、诺水河镇(NS4–NS8)、青峪口(NS9–NS11)和涪阳(NS12–NS15) 4个河段15个采样点,大通江的两河口(NS16–NS19)、铁溪(NS20–NS23)、长坪(NS24–NS26)和瓦室(NS27–NS30) 4个河段15个采样点(表1,图1)。于2015年11月,2016年3月、5月、9月和2017年1月在上述采样点进行5次调查,每个采样点每次调查时间为1–3 d。用GPS定位仪(GARMIN eTrex 10,精度5–10 m)测量各采样点的经纬度和海拔,并记录河流生境状况和人类干扰强度等信息。

1.2 采样方法及样本处理

根据河流不同的生境特征,采用不同的捕捞方式。在水体较浅、水流湍急处,主要采用小型背负式电鱼机(16.8 V)进行电捕作业;在水体较深、水流缓慢处,采用单层刺网(网长20–50 m,网高1–2 m,网目1–6 cm)、地笼(宽0.3 m,高0.25 m,长8 m,网目4 mm),并辅以小型背负式电鱼机捕捞。同时,走访调查河段附近的渔民和集市,购买一些鱼类,以补充渔获物的种类和数量。电捕作业时逆流而上在单程距离不低于500 m的河段内采样40–60 min;刺

网和地笼均于前一天傍晚18:00左右放置,次日凌晨6:00左右收集,采样时间约12 h,每个采样点放置刺网3张,地笼3–6个。鱼类调查涵盖急流、浅滩、洄水湾、缓流区和深潭等不同生境类型。本次在保护区内的鱼类调查采集得到了保护区管理部门的批准。

对采集到的鱼类样本进行种类鉴定、拍照,测量全长(精确到1 mm)、体长(精确到1 mm)、体重(精

确到0.1 g)等常规生物学指标,记录渔具类型、捕捞时间和捕捞地点等基本信息。现场难以确定种类的样本,先拍照、测量,然后取部分样本带回实验室进行鉴定。每种鱼类保存标本不超过20尾,用无水乙醇或10%的福尔马林浸泡固定,其余存活样本在测量后放回捕捞水域。鱼类标本鉴定参考《四川鱼类志》(丁瑞华, 1994)、《中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)》(陈宜瑜, 1998)、《中国动物志·硬骨鱼纲·

表1 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类资源调查采样点信息

Table 1 Information of sampling sites for fish investigation in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

河流 River	河段 Reach	采样点 Sampling site	纬度 Latitude (N)	经度 Longitude (E)	海拔 Altitude (m)
小通江 Xiaotong River (XTJ)	风景区 Scenery spot (SS)	狮子口村 Shizikou Village (NS1)	32°28'	107°09'	599
		诺水河风景区 Nuoshuihe scenery spot (NS2)	32°23'	107°10'	537
		鲁坝河(支流) Luba River (Tributary) (NS3)	32°23'	107°11'	533
	诺水河镇 Nuoshuihe Town (NT)	临江河(支流) Linjiang River (Tributary) (NS4)	32°19'	107°11'	501
		诺水河镇 Nuoshuihe Town (NS5)	32°19'	107°10'	487
		风景区加油站 Scenery gas station (NS6)	32°18'	107°09'	490
		魏家河 Weijiahe (NS7)	32°16'	107°08'	462
	青峪口 Qingyukou (QYK)	板桥乡右岸支流(支流) Right tributary of Banqiao Township (Tributary) (NS8)	32°14'	107°07'	506
		青峪口 Qingyukou (NS9)	32°13'	107°10'	459
		建营坝 Jianyingba (NS10)	32°09'	107°10'	443
		金家坪村 Jinjiaping Village (NS11)	32°06'	107°10'	428
	涪阳 Fuyang (FY)	涪阳镇 Fuyang Town (NS12)	32°04'	107°10'	442
		草池乡 Caochi Township (NS13)	32°00'	107°08'	380
		岳家嘴 Yuejiazui (NS14)	31°59'	107°11'	380
		小通江保护区下游边界 Downstream boundary of the nature reserve in the Xiaotong River (NS15)	31°57'	107°13'	370
大通江 Datong River (DTJ)	两河口 Lianghekou (LHK)	大河镇 Dahe Town (NS16)	32°36'	107°27'	757
		空山乡峡谷 Kongshan Township Valley (NS17)	32°28'	107°25'	603
		两河口乡煤矿 Lianghekou Township Colliery (NS18)	32°26'	107°27'	595
		两河口乡 Lianghekou Township (NS19)	32°23'	107°26'	541
	铁溪 Tiexi (TX)	什字乡(支流) Shizi Township (Tributary) (NS20)	32°23'	107°38'	648
		什字乡煤矿(支流) Shizi Township Colliery (Tributary) (NS21)	32°22'	107°38'	624
		铁溪镇(支流) Tiexi Town (Tributary) (NS22)	32°20'	107°36'	587
		新店子村(支流) Xindianzi Village (Tributary) (NS23)	32°18'	107°30'	494
	长坪 Changping (CP)	长坪乡 Changping Township (NS24)	32°17'	107°28'	501
		泥溪乡 Nixi Township (NS25)	32°13'	107°24'	411
		永安镇 Yong'an Town (NS26)	32°11'	107°22'	428
	瓦室 Washi (WS)	烟溪乡 Yanxi Township (NS27)	32°07'	107°19'	376
		沙溪河左岸支流(支流) Left tributary of Shaxi River (Tributary) (NS28)	32°03'	107°21'	369
		大湾 Dawan (NS29)	32°01'	107°20'	427
		瓦室镇 Washi Town (NS30)	31°59'	107°18'	364

图1 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类资源调查采样点。采样点信息见表1。
Fig. 1 Sampling sites of fish investigation in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve. The details of sampling sites are listed in Table 1.

鲤形目(下卷)》(乐佩琦, 2000)、《中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目》(褚新洛等, 1999)等, 鱼种类名依据《中国内陆鱼类物种与分布》(张春光等, 2016), 鱼类保护级别依据《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), 濒危等级依据《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等, 2016)。

1.3 数据分析

(1) 优势度

采用相对重要指数(index of relative importance, *IRI*) (Pinkas et al, 1971)对调查范围内鱼类的优势种进行划分, 其公式为:

$$IRI = (N_i + W_i) \times F_i \times 10^4 \quad (1)$$

式中, N_i 为第*i*种鱼类的个体数占总渔获物个体数的

百分比; W_i 为第*i*种鱼类的重量占总渔获物重量的百分比; F_i 为第*i*种鱼类出现的样点数占调查总样点数的百分比。定义 $IRI \geq 1,000$ 的物种为优势种(Ds); $100 \leq IRI < 1,000$ 的物种为常见种(C); $10 \leq IRI < 100$ 的物种为一般种(G); $IRI < 10$ 的物种为偶见种(R) (代梦梦等, 2019)。

(2) 物种多样性

采用Shannon-Wiener多样性指数(H') (Shannon & Wiener, 1949)、Margalef物种丰富度指数(D) (Margalef, 1958)、Simpson优势度指数(F) (Simpson, 1949)和Pielou均匀度指数(J') (Pielou, 1975)分析群落多样性, 计算公式如下:

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

$$F = 1 - \sum (P_i)^2 \quad (4)$$

$$J' = H' / \ln S \quad (5)$$

式中, S 为渔获物的物种总数; N 为渔获物的个体总数; P_i 为第 i 种鱼类的个体数占总个体数的比值。

(3) 群落相似度

鱼类群落相似度采用Jaccard相似性系数(C_j) (马克平等, 1995; 茹辉军等, 2016)进行分析, 计算公式如下:

$$C_j = j / (a + b - j) \quad (6)$$

式中, a 是河段A记录到的鱼类种数, b 是河段B记录到的鱼类种数, j 是A、B河段共有的鱼类种数。当 C_j 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; 0.75–1.0为极相似。

2 结果

2.1 鱼类种类组成

根据5次实地调查的统计结果, 结合访问调查和历史资料, 最终核定四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区内有鱼类57种, 隶属于4目13科45属(附录1)。其中, 鲤形目种数最多, 有4科33属37种, 占鱼类总种数的64.91%; 其次为鲇形目, 有4科7属13种, 占22.81%; 鲈形目有4科4属6种, 占10.53%; 合鳃鱼目种数最少, 仅有1科1属1种, 占1.75%。鲤科鱼类最多, 为30种, 占鱼类总种数的52.63%; 其次为鲮科, 有9种, 占15.79%; 条鳅科、花鳅科和鮠科均为3种, 各占5.26%; 鲇科2种, 占3.51%; 爬鳅科、钝头鮠科、鮡科、合鳃鱼科、沙塘鳢科、虾虎鱼科和鰕科均有1种, 各占1.75%。57种鱼类中, 除勃氏高原鳅(*Triplophysa bleekeri*)、尖头大吻鲈(*Rhynchocypris oxycephalus*)和中华裂腹鱼仅分布于大通江外, 其余54种鱼类在大、小通江均有分布。野外调查采集鱼类47种, 其中大通江采集到3目8科31属37种, 小通江采集到3目9科30属36种。其余10种鱼类在调查期间未采集到, 但经访问调查确定在保护区内有分布。此外, 调查期间采集到外来种革胡子鲶(*Clarias gariepinus*)。

保护区分布有长江上游特有鱼类12种, 即短体荷马条鳅(*Homatula potanini*)、双斑副沙鳅(*Parabotia bimaculata*)、四川华鳊(*Sinibrama taeniatus*)、半鰶(*Hemiculterella sauvagei*)、嘉陵颌须鳅(*Gnathopogon herzensteini*)、裸腹片唇鳅

(*Platysmacheilus nudiventris*)、宽口光唇鱼(*Acrossocheilus monticola*)、长江孟加拉鲮、中华裂腹鱼、岩原鲤、四川华吸鳅(*Sinogastromyzon szechuanensis*)和拟缘鳅(*Liobagrus marginatoides*); 国家二级重点保护鱼类1种, 为岩原鲤; 易危物种(VU) 3种, 分别为岩原鲤、中华裂腹鱼和细体拟鳅(*Pseudobagrus pratti*)。

2.2 渔获物组成

调查期间采集鱼类6,971尾, 总重量55.75 kg。其中, 鲤形目鱼类5,781尾, 总重量38.96 kg, 分别占渔获物总数量和总重量的82.93%和69.88%; 鲇形目鱼类1,119尾, 总重量16.23 kg, 分别占16.05%和29.11%; 鲈形目较少, 仅71尾, 重0.56 kg, 分别占1.02%和1.01%。IRI值显示, 保护区优势种为嘉陵颌须鳅、宽鳍鱮(*Zacco platypus*)和切尾拟鳅(*Pseudobagrus truncatus*), 其数量和重量之和占比分别为29.02%和28.63%; 常见种有12种, 分别为乐山小鰾鳅(*Microphysogobio kiatingensis*)、裸腹片唇鳅、宽口光唇鱼、马口鱼(*Opsariichthys bidens*)、粗唇鲃(*Leiocassis crassilabris*)、四川华吸鳅、点纹银鲃(*Squalidus wolterstorffi*)、尖头大吻鲈、福建纹胸鲃(*Glyptothorax fukiensis*)、短体荷马条鳅、四川华鳊和唇鲃(*Hemibarbus labeo*), 其数量和重量之和占比分别为61.68%和49.09%; 一般种有12种, 包括麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、黑鳍鲈(*Sarcocheilichthys nigripinnis*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、蛇鳅(*Saurogobio dabryi*)、拟缘鳅等, 其数量和重量之和占比分别为7.23%和14.17%; 其余20种为偶见种, 数量和重量之和占比分别为2.07%和8.11% (表2)。长江上游特有鱼类中, 优势种1种、常见种5种、一般种2种、偶见种4种。渔获物中大多数个体捕捞规格较小, 大部分种类的平均体长小于10 cm, 平均体重小于50 g, 如宽鳍鱮(平均体长6.89 cm, 平均体重7.39 g)、嘉陵颌须鳅(6.55 cm, 5.78 g)、切尾拟鳅(9.18 cm, 11.20 g)、乐山小鰾鳅(4.85 cm, 4.09 g)、裸腹片唇鳅(5.41 cm, 3.40 g)。大、中型经济鱼类的渔获数量占比很少, 如白甲鱼(1尾)、鲤(*Cyprinus carpio*) (2尾)、鲇(*Silurus asotus*) (7尾)、南方鲇(2尾)、长江孟加拉鲮(1尾)等。

大、小通江的渔获物总量相似, 大通江共采集鱼类37种3,468尾, 占渔获物总数量的49.75%; 小通

表2 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类相对重要性指数

Table 2 The index of relative importance (IRI) of fish species in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

物种 Species	数量百分比 Percentage of number (%)	重量百分比 Percentage of weight (%)	出现频率百分数 Frequency of occurrence	相对重要性指数 Index of relative importance (IRI)	优势度类型 Dominant type
嘉陵颌须鲷 <i>Gnarhopogon herzensteini</i>	10.84	7.84	0.80	1,494.59	Ds
宽鳍鱲 <i>Zacco platypus</i>	9.54	8.81	0.80	1,468.17	Ds
切尾拟鲿 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	8.64	11.98	0.67	1,374.45	Ds
乐山小鰕鳅 <i>Microphysogobio kiatingensis</i>	8.68	3.75	0.70	869.73	C
裸腹片唇鲷 <i>Platysmacheilus nudiventris</i>	9.37	3.99	0.63	845.74	C
宽口光唇鱼 <i>Acrossocheilus monticola</i>	4.92	6.55	0.73	840.94	C
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	4.73	4.56	0.70	650.45	C
粗唇鲃 <i>Leiocassis crassilabris</i>	3.96	8.93	0.37	472.75	C
四川华吸鳅 <i>Sinogastromyzon szechuanensis</i>	6.28	1.85	0.57	461.05	C
点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	5.45	2.89	0.40	333.54	C
尖头大吻鲷 <i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	8.91	4.11	0.23	303.77	C
福建纹胸鮡 <i>Glyptothorax fukiensis</i>	2.19	2.26	0.63	282.41	C
短体荷马条鳅 <i>Homatula potanini</i>	3.11	1.22	0.53	231.08	C
四川华鲃 <i>Sinibrama taeniatus</i>	3.33	5.28	0.23	200.85	C
唇鲃 <i>Hemibarbus labeo</i>	0.75	3.71	0.30	133.56	C
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	1.02	0.88	0.33	63.14	G
蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	0.93	0.79	0.20	34.52	G
黑鳍鲷 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	0.76	0.63	0.23	32.50	G
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	1.00	0.33	0.23	31.12	G
拟缘鲂 <i>Liobagrus marginatoides</i>	0.57	0.36	0.20	18.71	G
光唇蛇鲃 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	1.13	1.56	0.07	17.93	G
勃氏高原鳅 <i>Triplophysa bleekeri</i>	0.67	0.66	0.13	17.73	G
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.03	5.10	0.03	17.09	G
鲢 <i>Silurus asotus</i>	0.10	2.22	0.07	15.48	G
半鲮 <i>Hemiculterella sauvagei</i>	0.53	0.59	0.13	14.99	G
大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i>	0.14	0.60	0.17	12.36	G
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0.33	0.45	0.13	10.41	G
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.63	1.84	0.03	8.24	R
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	0.55	0.20	0.10	7.44	R
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachellii</i>	0.13	0.45	0.10	5.75	R
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	0.07	0.44	0.10	5.10	R
南方鲢 <i>Silurus meridionalis</i>	0.03	1.28	0.03	4.37	R
红尾荷马条鳅 <i>Homatula variegata</i>	0.17	0.13	0.13	4.08	R
白甲鱼 <i>Onychostoma sima</i>	0.01	1.15	0.03	3.87	R
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.06	0.32	0.10	3.74	R
凹尾拟鲿 <i>Pseudobagrus emarginatus</i>	0.11	0.13	0.10	2.48	R
大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	0.01	0.68	0.03	2.31	R
中华倒刺鲃 <i>Spinibarbus sinensis</i>	0.03	0.29	0.07	2.15	R
中华裂腹鱼 <i>Schizothorax sinensis</i>	0.03	0.42	0.03	1.50	R
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	0.06	0.32	0.03	1.26	R
长江孟加拉鲃 <i>Bangana rendahli</i>	0.01	0.20	0.03	0.72	R
细体拟鲿 <i>Pseudobagrus pratti</i>	0.04	0.12	0.03	0.56	R
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	0.03	0.07	0.03	0.32	R
短须鲃 <i>Acheilognathus barbatulus</i>	0.03	0.04	0.03	0.23	R
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	0.01	0.02	0.03	0.10	R
岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i>	0.01	0.01	0.03	0.08	R
双斑副沙鳅 <i>Parabotia bimaculata</i>	0.03	—	—	—	R

Ds: 优势种; C: 常见种; G: 一般种; R: 偶见种。

Ds, Dominant species; C, Common species; G, General species; R, Rare species.

江共采集鱼类36种3,503尾, 占渔获物总数量的50.25%。从各河段渔获物组成来看, 大通江下游的瓦室河段和小通江下游的涪阳河段鱼类资源最为丰富, 分别为25种942尾和28种1,030尾, 各占渔获物总数量的13.51%和14.78%; 而大通江上游两河口河段和小通江上游风景区河段分别为16种602尾和12种197尾, 各占渔获物总数量的8.64%和2.83%。大、小通江鱼类资源均呈现出从上游到下游逐渐增加的趋势(表3)。

2.3 鱼类多样性

对5次调查的渔获物分析表明, 保护区鱼类物种丰富, 多样性较高, 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2.900、5.198、0.931、0.753,

大、小通江鱼类多样性相似且均较高(表4)。从各个河段来看, 大通江下游的瓦室河段和小通江下游的涪阳河段鱼类多样性最高, 而上游的两河口河段和风景区河段最低, 鱼类多样性从上游到下游均呈递增趋势(表4); 从不同时间来看, Shannon-Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数、Simpson优势度指数、Pielou均匀度指数的最高值均出现在5月, 分别为2.827、4.744、0.922、0.789, 11月和1月多样性指数整体较低(表5)。

2.4 鱼类空间分布特征

大、小通江的渔获物组成相似性较高, 本次调查期间在两条河流均采集到26种鱼类。其中, 嘉陵颌须鲈、宽鳍鱲、切尾拟鲮、乐山小鲃、宽口光唇鱼、马口鱼、裸腹片唇鲈、粗唇鲃、福建纹胸鮡、

表3 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区不同河段渔获物组成

Table 3 Composition of fishery catches captured from different river reaches of the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

河流 River	河段 Reach	种数 Number of species	种数占比 Percentage of species (%)	数量 Number	数量占比 Percentage of number (%)
大通江 Datong River	瓦室 Washi	25	53.19	942	13.51
	长坪 Changping	19	40.43	797	11.43
	两河口 Lianghekou	16	34.04	602	8.64
	铁溪 Tiexi	16	34.04	1,127	16.17
	总计 Total	37	78.72	3,468	49.75
小通江 Xiaotong River	涪阳 Fuyang	28	59.57	1,030	14.78
	青峪口 Qingyukou	21	44.68	532	7.63
	诺水河镇 Nuoshuihe Town	25	53.19	1,744	25.02
	风景区 Scenery spot	12	25.53	197	2.83
	总计 Total	36	76.60	3,503	50.25

表4 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区大、小通江鱼类多样性

Table 4 Fish diversity of the Datong and Xiaotong rivers in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

河流 River	河段 Reach	Margalef 物种丰富度指数 Margalef richness index	Simpson优势度指数 Simpson dominance index	Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Pielou均匀度指数 Pielou evenness index
大通江 Datong River	瓦室 Washi	3.505	0.856	2.273	0.706
	长坪 Changping	2.694	0.860	2.290	0.778
	两河口 Lianghekou	2.135	0.754	1.833	0.661
	铁溪 Tiexi	2.344	0.752	1.883	0.679
	总体 Total	4.417	0.911	2.684	0.743
小通江 Xiaotong River	涪阳 Fuyang	3.892	0.880	2.406	0.722
	青峪口 Qingyukou	3.186	0.866	2.283	0.749
	诺水河镇 Nuoshuihe Town	3.215	0.866	2.300	0.714
	风景区 Scenery spot	2.082	0.800	1.977	0.795
	总体 Total	4.288	0.907	2.583	0.721

表5 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类多样性季节变化

Table 5 Season variation of fish diversity in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

季节 Season	Margalef 物种丰富度指数 Margalef richness index	Simpson优势度指数 Simpson dominance index	Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	Pielou均匀度指数 Pielou evenness index
2015.11	3.280	0.852	2.374	0.757
2016.03	4.352	0.905	2.683	0.781
2016.05	4.744	0.922	2.827	0.789
2016.09	3.844	0.905	2.598	0.756
2017.01	3.753	0.897	2.513	0.763

表6 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区不同河段Jaccard相似性系数

Table 6 Jaccard similarity index of different river reaches in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

河段 Reach	瓦室 Washi	长坪 Changping	两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	涪阳 Fuyang	青峪口 Qingyukou	诺水河镇 Nuoshuihe Town
长坪 Changping	0.294						
两河口 Lianghekou	0.242	0.591					
铁溪 Tiexi	0.367	0.667	0.600				
涪阳 Fuyang	0.432	0.516	0.333	0.467			
青峪口 Qingyukou	0.353	0.600	0.423	0.480	0.531		
诺水河镇 Nuoshuihe Town	0.389	0.630	0.464	0.519	0.559	0.533	
风景区 Scenery spot	0.233	0.550	0.647	0.556	0.333	0.500	0.480

四川华吸鳅和短体荷马条鳅为采集的主要种类,在大部分河段均有分布;尖头大吻鲈、点纹银鮡和四川华鲃渔获量较大,均大于200尾,但分布范围较窄,尖头大吻鲈仅分布于大通江中上游的长坪、铁溪和两河口河段,点纹银鮡主要分布于大、小通江下游的瓦室和涪阳河段,四川华鲃喜静水或缓流水生境,主要分布于大通江下游的瓦室河段;麦穗鱼、唇鲮、黑鳍鲈、蛇鮈、泥鳅和大鳍鲈(*Mystus macropterus*)虽分布范围相对较广,但渔获量较小,均不足80尾;其他鱼类的渔获量很少且分布区较为狭窄,大部分种类只在1个河段采集到,如勃氏高原鳅仅分布在两河口河段。保护区内濒危保护鱼类的分布范围较狭窄,其中细体拟鲿仅在诺水河镇采集到;岩原鲤仅在小通江的青峪口河段采集到;中华裂腹鱼仅分布于大通江上游两河口河段的空山峡谷。

大、小通江各河段之间鱼类群落相似性系数为0.233–0.667,平均值为0.475,处于中等不相似水平(表6)。同一河流各河段之间的鱼类群落相似度整体上与河段间距离成反比。大通江下游的瓦室河段与中、上游的长坪、铁溪和两河口3个河段的相似度较低,据此可将大通江的鱼类分为两个部分,其中

瓦室河段主要鱼类为点纹银鮡、四川华鲃、乐山小鲃和光唇蛇鮈(*Saurogobio gymnocheilus*),其他3个河段采集到的鱼类主要有尖头大吻鲈、宽鳍鲮、宽口光唇鱼、四川华吸鳅、裸腹片唇鮡和切尾拟鲿等。小通江上游的风景区河段与中下游的诺水河镇、青峪口和涪阳3个河段的相似度较低,可将小通江的鱼类分为两个部分,其中分布于风景区河段的鱼类主要为裸腹片唇鮡、嘉陵颌须鮡、马口鱼和短体荷马条鳅等,分布于其他3个河段的鱼类主要为嘉陵颌须鮡、切尾拟鲿、裸腹片唇鮡、乐山小鲃、马口鱼、粗唇鲮、四川华吸鳅、点纹银鮡、短体荷马条鳅和宽鳍鲮等。大、小通江位于同一海拔范围的河段间鱼类群落相似度更高。小通江的风景区河段和大通江的两河口和铁溪河段群落相似度最高,但优势种鱼类差异较大。大通江长坪河段与小通江青峪口和诺水河镇河段的鱼类群落相似度最高,裸腹片唇鮡、四川华吸鳅、宽鳍鲮、乐山小鲃、福建纹胸鮡和切尾拟鲿在这3个河段中的渔获物数量均较多。小通江涪阳河段与大通江瓦室河段群落相似度较高,点纹银鮡和乐山小鲃均为两个河段的优势种。

3 讨论

3.1 鱼类资源现状

四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区水生环境多样、水质良好, 适宜水生动物生存繁衍, 据访问调查历史上大、小通江的鱼类资源非常丰富。本研究系统调查了大、小通江鱼类资源, 结合2009年和2013年在保护区内的调查采集记录(四川大学生命科学学院, 未发表资料), 以及相关的访问调查, 确定保护区内分布有鱼类57种(调查采集47种, 访问调查10种), 资源比较丰富, 但与《四川诺水河珍稀水生动物自然保护区综合考察报告》记录的种类相比明显减少。长薄鳅(*Leptobotia elongata*)、中华花鳅(*Cobitis sinensis*)、鳅(*Elopichthys bambusa*)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、鲮(*Luciobrama macrocephalus*)、拉氏大吻鲃(*Rhynchocypris lagowskii*)、方氏鲃(*Xenocypris fangi*)、细鳞鲃(*X. microlepis*)、似鲃(*Pseudobrama simoni*)、彩石鲃(*Rhodeus lighti*)、瓢鱼(*Pseudolaubuca sinensis*)、红鳍原鲃(*Cultrichthys erythropterus*)、尖头鲃(*Chanodichthys oxycephalus*)、张氏鲃(*Hemiculter tchangii*)、厚颌鲃(*Megalobrama pellegrini*)、花鲃(*Hemibarbus maculatus*)、华鲃(*Sarcocheilichthys sinensis sinensis*)、银鲃(*Squalidus argentatus*)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、圆筒吻鲃(*Rhinogobio cylindricus*)、钝吻棒花鱼(*Abbottina obtusirostris*)、异鳔鳅(*Xenophysogobio boulengeri*)、四川白甲鱼(*Onychostoma angustistomata*)、瓣结鱼(*Foliter brevifilis brevifilis*)、重口裂腹鱼(*Schizothorax davidi*)、短身金沙鳅(*Jinshaia abbreviata*)、中华金沙鳅(*J. sinensis*)、长吻鲃(*Leiocassis longirostris*)、短尾拟鲃(*Pseudobagrus brevicaudatus*)、黑尾鲃(*Liobagrus nigricauda*)、白缘鲃(*L. marginatus*)、中华纹胸鲃(*Glyptothorax sinensis*)、青石爬鲃(*Euchiloglanis davidi*)、黄石爬鲃(*E. kishinouyei*)、青鲃(*Oryzias latipes*)、小黄鲃(*Micropercops swinhonis*)、叉尾斗鱼(*Macropodus opercularis*)等37种鱼类在本次调查期间没有采集到或确认现有分布, 尖头大吻鲃、短须鲃(*Acheilognathus barbatulus*)、贝鲃(*Hemiculter bleekeri*)、点纹银鲃、裸腹片唇鲃、乐山小鲃、光唇蛇鲃、光泽黄鲃(*Pelteobagrus nitidus*)、圆尾拟鲃(*Pseudobagrus tenuis*)、拟缘鲃、

福建纹胸鲃等11种为新增的有采集记录或确认现有分布的种类, 拉氏大吻鲃、银鲃、中华纹胸鲃重新核实鉴定为尖头大吻鲃、点纹银鲃、福建纹胸鲃, 彩石鲃为中华鲃(*Rhodeus sinensis*)的同物异名, 修订为中华鲃(陈校辉等, 2005)。2009年编制《四川诺水河珍稀水生动物自然保护区综合考察报告》期间对保护区内的鱼类资源调查时间较短, 采集的鱼类样本有限, 鱼类种类是依据通江县水产渔政局提供的名录, 因而记录的部分种类在保护区内可能并无分布或目前已非常稀少或已经绝迹, 这有待后续对保护区鱼类资源的长期调查监测予以确认。

河流的连通性对鱼类多样性十分重要, 连通性的丧失可能会造成支流中本地种的灭绝(He et al, 2017)。大通江下游已建成九浴溪电站(距离大、小通江汇口约9.2 km), 小通江下游已建成石牛咀电站(距离大、小通江汇口约11.5 km) (图1), 电站大坝阻隔了通江干流鱼类向上迁移进入大、小通江中、上游河段, 对保护区内鱼类资源的补充, 以及大、小通江鱼类的交流造成影响。但由于保护区内现有分布的鱼类以定居型种类为主, 且河流生境多样, 滩、潭交替, 大多数鱼类能在很短的河段内完成产卵繁殖、索饵和越冬等活动, 大坝阻隔对保护区内现有鱼类的繁殖、索饵等影响可能较小。本次调查表明, 保护区的15种优势种和常见种均为小型鱼类, 如尖头大吻鲃、点纹银鲃和四川华鲃等, 出现频率较高, 在渔获物中占比较大。中华裂腹鱼、白甲鱼、长江孟加拉鲃、鲤、鲃、南方鲃、瓦氏黄鲃(*Pelteobagrus vachellii*)、大鲃等大、中型经济鱼类的捕捞规格偏小, 出现频率较低, 且在渔获物中占比较小, 保护区内鱼类资源出现明显衰退, 这主要是由于过度捕捞、栖息地破坏以及水体污染等人类活动所致。值得注意的是, 小通江的54种鱼类在大通江均有分布, 大、小通江的渔获物组成相似性较高, 本次调查中有26种鱼类在两条河均有采集, 因此, 有必要恢复保护区大、小通江下游河道的连通性, 以促进通江干流鱼类向保护区迁移进而补充保护区的鱼类资源, 也有利于保护区大、小通江间鱼类的交流。此外, 本次调查采集到的外来入侵种革胡子鲃, 虽然在保护区内的资源量很少, 但也应引起重视。

3.2 鱼类多样性及分布特点

河流生态环境影响着鱼类多样性, 其中水温、降水量等是影响鱼类分布的重要环境因子(帅方敏等, 2017)。本次调查结果显示保护区内鱼类多样性呈现季节性的波动, 各个多样性指数在5月达到最高值, 而11月和1月较低。夏季是丰水期, 水温高, 降水丰富, 流量大, 饵料充足, 是鱼类繁殖的季节, 而冬季是枯水期, 平均水温较低, 降水量少, 饵料匮乏, 可见保护区内鱼类多样性与不同季节的水温和降水量有关。

鱼类物种丰富度与水生生境息息相关(Yan et al, 2011), 沿着河流从上游到下游的纵向梯度, 栖息地的复杂性和多样性增加, 鱼类多样性和群落丰富度呈现上升的趋势(Vannote et al, 1980; Araújo et al, 2008; Li et al, 2012; Wang et al, 2019)。本次调查发现, 保护区内大、小通江鱼类物种数、渔获物数量及鱼类多样性从上游到下游均呈现逐渐增加的趋势。大通江上游的两河口、小通江上游的风景区河段海拔较高、水温低、水体较浅、流量较小、比降较大, 栖息生境相对简单、营养物质相对贫乏, 同时上游旅游业开发和采石、挖砂、开矿等人类活动破坏河道和影响水质, 因此鱼类资源及多样性偏低; 而下游河段河道变宽、海拔较低、水温上升、流量增大、流速变缓、饵料丰富, 因此鱼类资源丰富, 多样性较高。河流生境特征的纵向梯度变化也反映了鱼类物种组成的“递增”和“替代”两种模式, 其中“递增”模式即嵌套, 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”模式是由于环境突变, 上、下游鱼类组成截然不同(Gorman & Karr, 1978; Boys & Thoms, 2006)。大、小通江不存在“断崖式”生境类型, 整体上呈现“递增”的模式, 从上游到下游鱼类组成从喜冷水且分布于较高海拔的种类, 如中华裂腹鱼、勃氏高原鳅、尖头大吻鲃, 逐渐过渡到适应缓流或静水的平原型鱼类, 如四川华鲃鰕 (*Hemiculter leucisculus*)、贝氏鰕、半鰕、点纹银鲃、蛇鲃等, 而一些强耐受性、广适性种类则在上、下游大部分河段均有分布, 如麦穗鱼、嘉陵颌须鲃、乐山小鲃、宽鳍鱲、切尾拟鲃、宽口光唇鱼、马口鱼和裸腹片唇鲃等。

海拔属于大尺度(流域)上的环境因子, 从根本

上决定着河流水生生物的群落组成(Yan et al, 2011; 张勇等, 2012; 王云涛等, 2016)。相较于同一条河流两个临近的河段, 大、小通江位于同一海拔范围的河段之间具有更高的群落相似度, 这可能是因为在相同海拔高程范围内, 两个河段具有更相似的环境条件, 如河床比降、流量、水温、流速等; 而河段间不同的微生境类型, 导致优势种鱼类产生差异, 并且由于下游电站大坝的修建导致两条河流间的鱼类迁移交流受阻, 不同河段遭受栖息地破坏、过度捕捞、水体污染等的程度不同, 又加剧了这种差异。可见, 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类空间分布特征是由自然生境条件和人为干扰共同作用所致。

3.3 鱼类资源保护对策

四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区位于嘉陵江支流渠江上游, 栖息着岩原鲤、中华裂腹鱼、长江孟加拉鲃、白甲鱼等多种珍稀水生动物, 且保护区的鱼类在嘉陵江流域均有分布(施白南和邓其祥, 1980), 对嘉陵江流域甚至长江上游的鱼类多样性保护具有非常重要的意义。然而, 由于过度捕捞、电站大坝阻隔、栖息地破坏、水体污染等人类活动影响, 保护区鱼类小型化趋势明显, 资源量严重衰退。为修复保护区水生生境, 提高鱼类多样性, 恢复鱼类资源, 提出如下保护建议: (1)严格禁渔管理。加大保护宣传力度, 提高当地居民的鱼类资源保护意识, 加强执法力度, 严厉打击电鱼、毒鱼等非法捕捞活动。(2)恢复河道的连通性。大、小通江下游电站大坝阻碍了鱼类的迁移, 建议拆除大通江下游的九浴溪和小通江下游的石牛咀水电站大坝或采取其他可行的河道连通措施。(3)加强鱼类重要栖息生境保护。禁止在鱼类产卵、索饵等重要生境河段采挖砂石和开展涉水工程建设。(4)开展水污染防治。小通江上游诺水河风景名胜区的旅游, 以及大通江上游河道及邻近区域的采砂、开矿等活动, 易对保护区水体造成污染, 须严格落实水污染和水土流失防控等措施。(5)适度增殖放流。保护区内历史上资源量较丰富的一些保护种类和重要经济种类, 如岩原鲤、白甲鱼、长江孟加拉鲃等的资源量已极其稀少, 有必要通过增殖放流恢复其野外资源量, 放流鱼苗须保证其种质来源于渠江上游。(6)禁止引入外来物种。建立外来物种的数据库, 开

展外来鱼类风险评估监测。

致谢: 四川大学生命科学学院雷毅、文秦超等参与了野外调查工作, 通江县水产渔政局对调查工作给予了大力支持, 在此表示感谢。

参考文献

- Araújo FG, Pinto BCT, Teixeira TP (2008) Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: Evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. *Hydrobiologia*, 618, 89–107.
- Boys CA, Thoms MC (2006) A large-scale, hierarchical approach for assessing habitat associations of fish assemblages in large dryland rivers. *Hydrobiologia*, 572, 11–31.
- Chen XH, Ni Y, Wu HL (2005) Fishes of genus *Rhodeus* Agassiz in Jiangsu Province, China. *Marine Fisheries*, 27, 89–97. (in Chinese with English abstract) [陈校辉, 倪勇, 伍汉霖 (2005) 江苏省鳊属(*Rhodeus*)鱼类的研究. 海洋渔业, 27, 89–97.]
- Chen YY (1998) Fauna Sinica (Osteichthyes): Cypriniformes (II). Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈宜瑜 (1998) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷). 科学出版社, 北京.]
- Chu XL, Zheng BS, Dai DY (1999) Fauna Sinica (Osteichthyes): Siluriforms. Science Press, Beijing. (in Chinese) [褚新洛, 郑葆珊, 戴定远 (1999) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲇形目. 科学出版社, 北京.]
- Dai MM, Yang K, Li S, Wang XD, Song ZB (2019) Fish diversity and resource status in the Nanguang River, a tributary of upper Yangtze River. *Biodiversity Science*, 27, 1081–1089. (in Chinese with English abstract) [代梦梦, 杨坤, 黎树, 王小东, 宋昭彬 (2019) 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, 27, 1081–1089.]
- Ding RH (1994) The Fishes of Sichuan. Sichuan Publishing House of Science and Technology, Chengdu. (in Chinese) [丁瑞华 (1994) 四川鱼类志. 四川科学技术出版社, 成都.]
- Gorman OT, Karr JR (1978) Habitat structure and stream fish communities. *Ecology*, 59, 507–515.
- He DK, Kang ZJ, Tao J, Liu CL, Yang J, Chen YF (2017) Hydrologic connectivity driven natural stream fish assemblages in mountain streams in the Yangtze River basin: Implications for stream fish conservation in monsoonal East Asia. *Hydrobiologia*, 785, 185–206.
- Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Li LL, Xie F, Cai B, Cao L, Zheng GM, Dong L, Zhang ZW, Ding P, Luo ZH, Ding CQ, Ma ZJ, Tang SH, Cao WX, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Chen YY, Li JT, Feng ZJ, Wang Y, Wang B, Li C, Song XL, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Fang HX, Ping XG (2016) Red List of China's Vertebrates. *Biodiversity Science*, 24, 500–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹏, 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 (2016) 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24, 500–551.]
- Li JH, Huang LL, Zou LM, Kano Y, Sato T, Yahara T (2012) Spatial and temporal variation of fish assemblages and their associations to habitat variables in a mountain stream of north Tiaoxi River, China. *Environmental Biology of Fishes*, 93, 403–417.
- Ma KP, Liu CR, Liu YM (1995) Measurement of biotic community diversity. II. β diversity. *Chinese Biodiversity*, 3, 38–43. (in Chinese) [马克平, 刘灿然, 刘玉明 (1995) 生物群落多样性的测度方法. II. β 多样性的测度方法. 生物多样性, 3, 38–43.]
- Margalef R (1958) Information theory in biology. *General Systems Yearbook*, 3, 36–71.
- Pielou EC (1975) *Ecological Diversity*. John Wiley and Sons, New York.
- Pinkas L, Oliphant MS, Iverson ILK (1971) Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters. *Fish Bulletin*, 152, 1–105.
- Ru HJ, Zhang Y, Li YF, Wang HM, Shen ZW, Wu XX, Li R, Sheng Q, Ni ZH (2016) Community composition and status of fish resources in Anning River. *Journal of Hydroecology*, 37, 68–74. (in Chinese with English abstract) [茹辉军, 张燕, 李云峰, 王红梅, 沈子伟, 吴湘香, 李荣, 盛强, 倪朝辉 (2016) 雅砻江支流安宁河鱼类群落组成及资源现状. 水生态学杂志, 37, 68–74.]
- Shannon CE, Wiener W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Shi BN, Deng QX (1980) The biological study on the southern catfish in the Jialing River. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2, 34–44. (in Chinese) [施白南, 邓其祥 (1980) 嘉陵江鱼类名录及其调查史略. 西南师范学院学报(自然科学版), 2, 34–44.]
- Shuai FM, Li XH, Liu QF, Li YF, Yang JP, Li J, Chen FC (2017) Spatial patterns of fish diversity and distribution in the Pearl River. *Acta Ecologica Sinica*, 37, 3182–3192. (in Chinese with English abstract) [帅方敏, 李新辉, 刘乾甫, 李跃飞, 杨计平, 李捷, 陈方灿 (2017) 珠江水系鱼类群落多样性空间分布格局. 生态学报, 37, 3182–3192.]
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130–137.

- Wang XD, Li S, Price M, Lei Y, Wu B, Liu K, Song ZB (2019) Longitudinal and seasonal patterns of fish assemblage structure in the Zhougong River, Sichuan Province, Southwest China. *Ecological Indicators*, 107, 105656.
- Wang YT, Zhang Y, Gao X, Ma SQ, Yin XW, Ding S (2016) Analysis of fish community distribution and its relationship with environmental factors in different freshwater eco-regions of Taizi River basin. *Research of Environmental Sciences*, 29, 192–201. (in Chinese with English abstract) [王云涛, 张远, 高欣, 马淑琴, 殷旭旺, 丁森 (2016) 太子河流域不同水生态区鱼类群落分布与环境因子的关联性. *环境科学研究*, 29, 192–201.]
- Yan YZ, Xiang XY, Chu L, Zhan YJ, Fu ZC (2011) Influences of local habitat and stream spatial position on fish assemblages in a dammed watershed, the Qingyi Stream, China. *Ecology of Freshwater Fish*, 20, 199–208.
- Yue PQ (2000) *Fauna Sinica (Osteichthyes): Cypriniformes* (III). Science Press, Beijing. (in Chinese) [乐佩琦 (2000) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷). 科学出版社, 北京.]
- Zhang CG, Xing YC, Zhao YH, Zhou W, Tang WQ (2016) Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张春光, 邢迎春, 赵亚辉, 周伟, 唐文乔 (2016) 中国内陆鱼类物种与分布. 科学出版社, 北京.]
- Zhang Y, Liu SR, Yu HY, Liu DX, Wang BX (2012) Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River basin. *Acta Ecologica Sinica*, 32, 4309–4317. (in Chinese with English abstract) [张勇, 刘朔孺, 于海燕, 刘东晓, 王备新 (2012) 钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响. *生态学报*, 32, 4309–4317.]
- (责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类种类及分布和保护现状

Appendix 1 Distribution and conservation status of fish species in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2021010-1.pdf>

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

附录1 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类种类及分布和保护现状

Appendix 1 Distribution and conservation status of fish species in the Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal National Nature Reserve

种类 Species	本次调查种类 Species of this investigation	大通江 Datong River				小通江 Xiaotong River				历史记录种类 Historical record species	保护现状 Conservation status
		两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	长坪 Changping	瓦室 Washi	风景区 Scenery spot	诺水河镇 Nuoshuihe Town	青峪口 Qingyukou	涪阳 Fuyang		
I 鲤形目 Cypriniformes											
(一) 条鳅科 Nemacheilidae											
1. 红尾荷马条鳅 <i>Homatula variegata</i>	+	+					+			O	
2. 短体荷马条鳅 <i>Homatula potanini</i> *	+	+	+	+		+	+	+		O	
3. 勃氏高原鳅 <i>Triplophysa bleekeri</i>	+	+								O	
(二) 花鳅科 Cobitidae											
4. 中华沙鳅 <i>Botia superciliaris</i>	—									O	
5. 双斑副沙鳅 <i>Parabotia bimaculata</i> *	+				+					O	
6. 长薄鳅 <i>Leptobotia elongata</i> *										O	CSP, VU
7. 中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>										O	
8. 泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+		+	+			+		+	O	
(三) 鲤科 Cyprinidae											
9. 宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	O	
10. 马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	O	
11. 鲟 <i>Luciobrama macrocephalus</i>										O	CSP, CR
12. 草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	—									O	
13. 尖头大吻鲈 <i>Rhynchocypris oxycephalus</i>	+	+	+	+						O	

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

种类 Species	本次调查种类 Species of this investigation	大通江 Datong River				小通江 Xiaotong River				历史记录种类 Historical record species	保护现状 Conservation status
		两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	长坪 Changping	瓦室 Washi	风景区 Scenery spot	诺水河镇 Nuoshuihe Town	青峪口 Qingyukou	涪阳 Fuyang		
14. 赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>										O	
15. 鲢 <i>Elopichthys bambusa</i>										O	PP
16. 方氏鲮 <i>Xenocypris fangi</i> *										O	VU
17. 细鳞鲮 <i>Xenocypris microlepis</i>										O	
18. 似鲮 <i>Pseudobrama simoni</i>										O	
19. 鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	—									O	
20. 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	—									O	
21. 中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	+				+					O	
22. 彩石鲮 <i>Rhodeus lighti</i>										O	
23. 高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	+								+	O	
24. 短须鲮 <i>Acheilognathus barbatulus</i>	+				+						
25. 四川华鲮 <i>Sinibrama taeniatus</i> *	+		+		+				+	O	
26. 飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>										O	
27. 半鰶 <i>Hemiculterella sauvagei</i> *	+				+			+	+	O	
28. 鰶 <i>Hemiculter leucisculus</i>	+				+					O	
29. 张氏鰶 <i>Hemiculter tchangi</i> *										O	
30. 贝氏鰶 <i>Hemculter bleekeri</i>	+				+						
31. 红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>										O	
32. 尖头鲃 <i>Chanodichthys oxycephalus</i>										O	
33. 厚颌鲂 <i>Megalobrama pellegrini</i> *										O	VU
34. 唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	+	+		+	+	+	+		+	O	

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

[illegible]

梁聰, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

[illegible]

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

种类 Species	本次调查种类 Species of this investigation	大通江 Datong River				小通江 Xiaotong River				历史记录种类 Historical record species	保护现状 Conservation status
		两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	长坪 Changping	瓦室 Washi	风景区 Scenery spot	诺水河镇 Nuoshuihe Town	青峪口 Qingyukou	涪阳 Fuyang		
65. 南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	+								+	O	
(六) 鲮科 Bagridae											
66. 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	+								+	O	
67. 瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachellii</i>	+				+		+		+	O	
68. 光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	+			+			+		+		
69. 粗唇鲃 <i>Leiocassis crassilabris</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	O	
70. 长吻鲃 <i>Leiocassis longirostris</i>										O	
71. 切尾拟鲮 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	O	
72. 圆尾拟鲮 <i>Pseudobagrus tenuis</i>	–										
73. 细体拟鲮 <i>Pseudobagrus pratti</i>	+						+			O	VU
74. 凹尾拟鲮 <i>Pseudobagrus emarginatus</i>	+			+				+		O	
75. 短尾拟鲮 <i>Pseudobagrus brevicaudatus</i>										O	
76. 大鳍鲃 <i>Mystus macropterus</i>	+			+			+	+	+	O	
(七) 钝头鲃科 Amblycipitidae											
77. 拟缘缺 <i>Liobagrus marginatoides*</i>	+					+	+	+			
78. 黑尾缺 <i>Liobagrus nigricauda</i>										O	
79. 白缘缺 <i>Liobagrus marginatus</i>										O	VU
(八) 鲃科 Sisoridae											
80. 福建纹胸鲃 <i>Glyptothorax fukiensis</i>	+	+	+	+		+	+	+	+		

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

种类 Species	本次调查种类 Species of this investigation	大通江 Datong River				小通江 Xiaotong River				历史记录种类 Historical record species	保护现状 Conservation status
		两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	长坪 Changping	瓦室 Washi	风景区 Scenery spot	诺水河镇 Nuoshuihe Town	青峪口 Qingyukou	涪阳 Fuyang		
81. 中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinensis</i>										O	
82. 青石爬鮡 <i>Euchiloglanis davidi</i> *										O	CSP, EN
83. 黄石爬鮡 <i>Euchiloglanis kishinouyei</i> *										O	EN
(九) 胡子鲇科 Clariidae											
84. 革胡子鲇 <i>Clarias gariepinus</i> **									+		
III 颌针鱼目 Beloniformes											
(十) 大颌青鲈科											
Adrianichthyidae											
85. 青鲈 <i>Oryzias latipes</i>										O	
IV 合鳃鱼目 Synbranchiformes											
(十一) 合鳃鱼科 Synbranchidae											
86. 黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	—									O	
V 鲈形目 Perciformes											
(十二) 鲈科 Percichthyidae											
87. 鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	—									O	
88. 大眼鳊 <i>Siniperca knerii</i>	+				+					O	
89. 斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	—									O	
(十三) 沙塘鳢科 Odontobutidae											
90. 小黄黝鱼 <i>Micropercops swinhonis</i>	—									O	
(十四) 虾虎鱼科 Gobiidae											
91. 子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	+				+			+	+	O	

梁聪, 刘衍, 王小东, 黎树, 吴波, 向朋, 宋昭彬 (2021) 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, 29, 938–949. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021010>

种类 Species	本次调查种类 Species of this investigation	大通江 Datong River				小通江 Xiaotong River				历史记录种类 Historical record species	保护现状 Conservation status
		两河口 Lianghekou	铁溪 Tiexi	长坪 Changping	瓦室 Washi	风景区 Scenery spot	诺水河镇 Nuoshuihe Town	青峪口 Qingyukou	涪阳 Fuyang		
(十五) 斗鱼科 Osphronemidae											
92. 叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>										O	
(十六) 鲢科 Channidae											
93. 乌鲢 <i>Channa argus</i>	—									O	

* 长江上游特有鱼类; ** 外来种类; CR: 极危; EN: 濒危; VU: 易危; CSP: 国家二级重点保护鱼类; PP: 四川省重点保护鱼类; + 现场调查采集到的种类; – 走访存在, 但本次未采集到的种类; O: 《四川诺水河珍稀水生动物自然保护区综合考察报告》记录种类。

* Species endemic to the upper Yangtze River; ** Exotic species; CR, Critically endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; CSP, The second-class state key protected wildlife in China; PP, Protected fish species in Sichuan Province; + The species collected in this investigation; – The species exist, but weren’t collected in this investigation; O, Species recorded in the Scientific survey report for Sichuan Nuoshuihe Precious Aquatic Animal Nature Reserve.