

DOI: 10.12264/JFSC2021-0181

峡江水利枢纽鱼道过鱼效果的初步研究

王晓^{1,2}, 高雷¹, 王珂¹, 欧阳珊², 吴小平², 刘绍平¹, 陈大庆¹, 万迪文³, 段辛斌¹

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 湖北 武汉 430223;

2. 南昌大学生命科学学院, 江西 南昌 330031;

3. 江西省峡江水利枢纽工程管理局, 江西 南昌 330095

摘要: 为了解峡江水利枢纽鱼道过鱼效果, 采用张网法和截堵法, 于 2019 年 10 月、2020 年 1 月、2020 年 4 月、2020 年 8 月对峡江水利枢纽鱼道的过鱼效果开展季度调查。鱼道内共采集鱼类 4605 尾, 计 42 种, 隶属于 4 目、9 科、34 属, 以中小型鱼类为主, 体长范围为 2.3~48.5 cm, 优势种为宽鳍鱲(*Zacco platypus*)、银鲌(*Squalidus argentatus*)、蛇鲈(*Saurogobio dabryi*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*), 数量比分别占总数的 17.24%、14.26%、6.86%、5.78%、4.89%。鱼道内洄游性鱼类有草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、似鳊(*Pseudobrama simoni*)、鳗鲡(*Anguilla japonica*)。鱼类的过鱼数量呈季节性变化, 其中夏季过鱼数量最多, 占总数的 42.23%; 冬季过鱼数量最少, 占总数的 11.69%, 影响过鱼的主要因素为水温 and 水位。有 42 种鱼通过峡江水利枢纽鱼道的入口, 与其他鱼道相比, 峡江水利枢纽鱼道过鱼种类较多。研究结果可为鱼道优化与有效运行提供参考数据, 对保护赣江渔业资源有重要意义。

关键词: 峡江水利枢纽; 鱼道; 过鱼效果

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)01-0130-11

水利水电工程在防洪、发电、灌溉、航运等方面发挥着重要作用, 同时改变了河流的连通性和水文节律, 阻隔鱼类的洄游通道, 导致河流生境破碎、鱼类种群遗传多样性降低及鱼类资源衰退^[1]。修建鱼道是水利枢纽中的一项重要生态补偿工程, 可在一定程度上满足鱼类繁殖、索饵及越冬洄游需求。鱼道是解决河流中人工构筑物阻碍水生生物上下游交流的有效方法, 过鱼效果监测是评价鱼道功能的重要手段^[2]。

国外在鱼道过鱼效果评估方面起步较早^[3]。1960—2011 年 Noonan 等^[4]利用计数和 PIT 标记等方法对欧美国家鱼道过鱼效果进行研究, 发现下行通道过鱼效率为 68.5%, 上行通道过鱼效率为 41.7%, 鲑科鱼类与非鲑科鱼类的过鱼效率分

别为 61.7%和 21.1%。国内有关鱼道过鱼效果的研究相对较少, 主要采用观察法、张网法、堵截法及水声学探测法对鱼道过鱼效果进行评价, 发现顺利通过鱼道的鱼类种类数较多, 但鱼道过鱼数量偏少^[5-8]。

峡江水利枢纽位于赣江中游峡江县巴邱镇上游峡谷河段, 其下游 9 km 处为赣江峡江段四大家鱼国家级水产种质资源保护区, 该保护区江段也分布有国家二级保护动物——胭脂鱼^[9]。为满足洄游性鱼类繁殖、索饵及越冬洄游的需要, 减缓水利工程建设对鱼类的阻隔效应, 峡江枢纽修建了横隔板式鱼道^[10]。为评估其过鱼效果, 于 2019 年 10 月至 2020 年 8 月, 采用张网和截堵法按季度对鱼道内鱼类种类、规格和数量进行调查, 以

收稿日期: 2021-04-20; 修订日期: 2021-06-13.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900903, 2018YFD0900902); 江西省水利厅科技项目(20182DKT21); 中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD09).

作者简介: 王晓(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源与环境. E-mail: 1658429791@qq.com

共同第一作者: 高雷, 男, 助理研究员, 研究方向为渔业资源与环境. E-mail: gaolei@yfi.ac.cn

通信作者: 段辛斌, 研究员, 研究方向为渔业资源与环境保护. E-mail: duan@yfi.ac.cn

期为峡江水利枢纽鱼道改进与有效运行提供科学参考, 也为赣江渔业资源保护提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

赣江位于长江中下游南岸, 是江西省内第一大河流, 发源于石城县, 在永修县吴城镇注入鄱阳湖, 河流长度 823 km, 流域面积为 8.28 万 km², 约占江西省总面积的 50%。地处亚热带, 鱼类资源丰富, 种类繁多^[11]。自 20 世纪 90 年代起, 赣州以下江段先后修建了 6 座梯级枢纽, 自上而下为万安水利枢纽、井冈山航电枢纽(在建)、石虎塘航电枢纽、峡江水利枢纽、新干航电枢纽和龙头山水利枢纽(在建)^[12](图 1)。其中, 峡江水利枢纽在 2015 年开始运行^[13]。

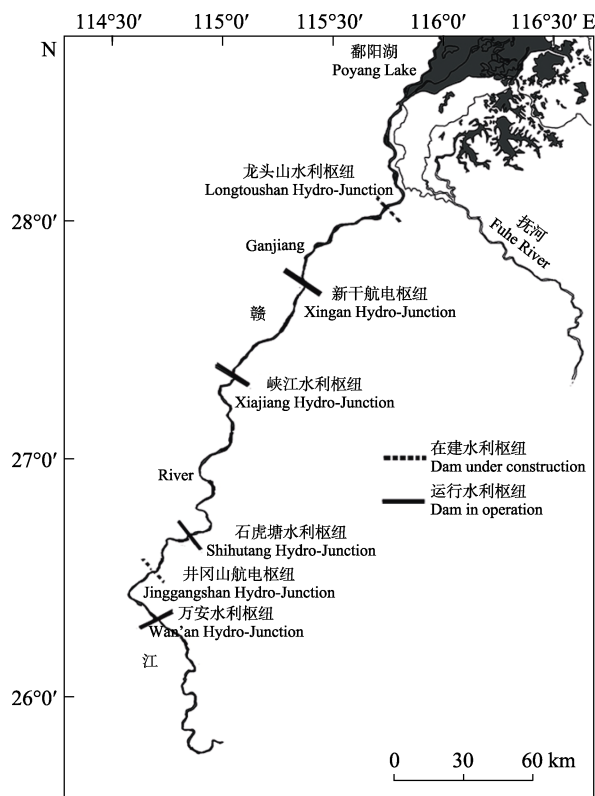


图 1 赣江水利枢纽分布图

Fig. 1 Distribution map of Ganjiang Water Control Project

1.2 峡江鱼道

峡江水利枢纽位于赣江中游峡江县巴邱镇上游 4 km 处, 距赣江口 260 km, 以防洪、发电、航运为主, 兼顾灌溉、供水等综合效益功能^[14]。为

减少对鱼类生存繁殖的影响, 峡江水利枢纽采用横隔板式鱼道供鱼类洄游, 横隔板式鱼道利用横隔板将鱼道上、下游的水位差分为许多梯级, 通过水流的对冲、扩散等来消能, 以改善流态、降低过鱼孔流速, 能够适应不同习性鱼类的上溯要求^[15]。鱼道主要过鱼季节为 4—7 月, 鱼道长约 1600 m, 宽度 3 m, 坡度为 1/60, 隔板竖缝宽度为 0.5 m。共设有 205 个池室, 其中休息池室为 21 个, 占比 10.2%, 池室长度为 3.6 m, 深度是 3.5 m, 运行水深为 3 m (图 2), 主要针对洄游和半洄游过鱼对象(表 1)。峡江水利枢纽鱼道主进口设计在厂房的尾水渠右侧, 进口与尾水相依, 利用尾水诱鱼进入进鱼口, 并配备有相应的集鱼系统和鱼道观察室^[16]。其集鱼槽沿发电厂房尾水前沿布置, 集鱼槽布置进鱼孔, 利用发电尾水和补水槽诱鱼。

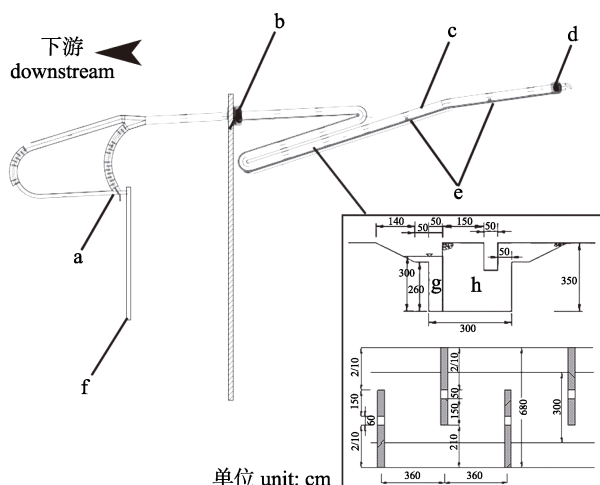


图 2 峡江水利枢纽鱼道平面结构图

a: 鱼道进鱼口; b: 坝体; c: 鱼道; d: 鱼道主出口; e: 鱼道副出口 1 和鱼道副出口 2; f: 集鱼系统; g: 水位; h: 隔板

Fig. 2 Plane structure diagram of fishway of Xiajiang Hydro-Junction

a: fishway entrance; b: dam body; c: fishway; d: fishway main exit; e: fish pass auxiliary exit 1 and fish pass auxiliary exit 2; f: fish collection system; g: water level; h: bulkhead.

1.3 监测方法

峡江水利枢纽鱼道运行水位为 3 m, 因不同季节及上游来水量的变化, 鱼道内水位会上下波动, 本研究选取水深 2 m 时, 使用溶氧仪(上海维赛仪器公司 YSI550A 型)和流速仪(重庆水文仪器厂 LS45A 型旋杯式)对鱼道内水温、溶氧和流速进行测定。采用堵截法和张网法捕获鱼道中通过

表 1 峡江水利枢纽鱼道主要过鱼种类及生态习性
Tab. 1 Main fish species and ecological habit in fishway of Xiajiang Hydro-Junction

种类 species	生态习性 ecological habit	体形 body type
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	RL, O, U, Dr	圆筒形 cylinder shape
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	RL H, L, Dr	圆筒形 cylinder shape
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	RL, H, U, Dr	侧扁形 compressiform
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	RL, O, U, Dr	侧扁形 compressiform
赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	RL, O, U, S	圆筒形 cylinder shape

注: RL 表示洄游性鱼类; H 表示草食性鱼类; O 表示杂食性鱼类; U 表示中上层鱼类; S 表示产沉性卵鱼类; Dr 表示产漂流性卵鱼类。
Note: RL is migration fish; H is herbivorous; O is omnivorous; U is upper layer fish; S is the fish laying fecundity eggs; Dr is the fish laying pelagic eggs.

的鱼类。堵截法是通过渔网堵住鱼道出口,把鱼道中的水排干,并对鱼道内的渔获物进行统计,每次采样时间 1 d; 张网法是在鱼道副出口 2 放置渔网(网口长×高为 2.5 m×2.5 m,网目为 2.5 cm×2 cm),后面连接集鱼箱,样本收集时间为 9:00、17:00,每次连续采样 3 d,具体调查时间为 2019 年 10 月 21—23 日、2019 年 12 月 31 日和 2020 年 1 月 1—2 日、2020 年 4 月 16—18 日、2020 年 8 月 6—8 日,并同步对峡江水利枢纽坝上、坝下鱼类资源开展调查。

1.4 数据分析

本研究数据使用 Excel 2019 进行分析处理,使用 Canoco5.0 软件对鱼道内主要优势种数量与环境因子(水温、气温、流速、坝上坝下水位、溶解氧)进行冗余分析(RDA)。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2019 年 10 月至 2020 年 8 月在峡江水利枢纽鱼道内共采集鱼类 4605 尾,计 42 种,隶属于 4 目、9 科、34 属(表 2)。数量占比前 5 位的有宽鳍鱮、银鲌、鳊、蛇鲈和翘嘴鲌,分别为 17.24%、14.29%、11.34%、6.86%和 5.78%;重量占比前 5 位的有草鱼、鲤、翘嘴鲌、赤眼鳟和鳊,分别为 39.85%、10.39%、9.98%、8.32%和 6.55%。采集鱼类体长为 2.3~48.5 cm,体重为 1.1~2053.7 g,体长以 30 cm 以下鱼类为主。江湖洄游性鱼类中草鱼有 161 尾,数量占总数的 3.5%,赤眼鳟 206 尾,占 4.47%,似鳊 60 尾,占 1.30%,河海洄游性鱼类有鳊(*Anguilla japonica*) 3 尾,占 0.07%。

2.2 鱼道内水体环境

不同季节鱼道内的环境因子不同(表 3)。夏季鱼道的鱼室流速[(0.91±0.02)] m/s 最大,春季 [(0.91±0.02)] m/s 和秋季[(0.88±0.06)] m/s 次之,冬季[(0.71±0.04)] m/s 最小。鱼道内水温范围为 12.81~33.17 ℃,溶氧范围为 6.06~9.75 mg/L。

2.3 过鱼效果与环境因子的关系

选择峡江水利枢纽鱼道内 10 种鱼类与环境因子进行冗余分析(表 4),前面 2 轴特征值是 0.6452 和 0.2823,共解释了鱼道内鱼类群落变异程度的 92.74%,物种与环境因子关联系数都达到 1,反映排序可较好地表现出鱼类物种与环境因子间的关系。

从 RDA 排序图(图 3)可以看出,排序轴 1 和水温之间存在最大正相关性,相关系数为 0.6766;与溶氧存在最大负相关性,相关系数是-0.8173;与坝上水位、坝下水位和流速的相关系数分别为 0.4620、0.2885 和 0.8004。排序轴 2 与坝下水位之间存在最大正相关性,相关系数为 0.7849;与坝上水位存在最大负相关性,相关系数是-0.8319,溶氧、水温、坝下水位和坝上水位是影响过鱼效果的主要因素,其中,溶氧、水温及坝下水位与过鱼效应有显著性相关($P<0.05$)。在与环境因子的关系上,黄颡鱼、翘嘴鲌、赤眼鳟、银鲌、鳊和草鱼与水温、坝上水位呈正相关,而宽鳍鱮、银鲌和鳊与坝下水位呈负相关。

2.4 季节差异

调查发现,不同季节鱼类进入鱼道的数量和种类数存在较大差异。鱼类数量夏季最多,有 1857 尾,占总捕获量的 40.33%;秋季、春季次之,

表 2 峡江水利枢纽鱼类组成及鱼道内鱼类生物学特征

Tab. 2 Fish composition of the Xiajiang Hydro-Junction and biological characteristics in fishway

序号 serial number	种类 species	鱼道 fishway							坝上 on the dam	坝下 under the dam
		春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	百分比/% percentage	体长/cm length	体重/g weight		
鲤形目 Cypriniformes										
胭脂鱼科 Catostomidae										
1	胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>									+
鲤科 Cyprinidae										
2	马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	18	9	0	6	0.72	4.0–12.2	3.1–30.2		+
3	宽鳍鱮 <i>Zacco platypus</i>	112	124	500	58	17.24	3.5–10.1	2.5–15.7		+
4	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	108	53		3.50	22.4–48.5	119.03–2053.7	+	+
5	青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>									+
6	赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	18	166	20	0	4.43	13.5–36.5	36.4–532.7	+	+
7	鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>									+
8	大眼华鳊 <i>Sinibrama macrops</i>	0	4	2	0	0.13	11.1–14.8	13.5–23.4		+
9	飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	94	3	0	0	2.11	14.9–21.1	24.4–69.7	+	+
10	寡鳞飘鱼 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>									+
11	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	78	48	96	300	11.34	2.3–14.4	1.3–30.3	+	+
12	贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	12	0	0	0	0.26	8.2–9.8	5.0–9.5	+	+
13	南方拟鲮 <i>Pseudohemiculter dispar</i>									+
14	红鳍原鲮 <i>Culterichthys erythropterus</i>								+	+
15	拟尖头鲮 <i>Culter oxycephaloides</i>	1	0	0	0	0.02	32.5	850		+
16	达氏鲮 <i>Culter dabryi</i>								+	+
17	蒙古鲮 <i>Culter mongolicus</i>	0	50	0	0	1.09	17.4–29.3	54.9–199.5	+	+
18	翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>	0	266	0	0	5.78	18.4–27.3	59.9–193.5	+	+
19	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	0	120	0	0	2.61	14.0–28.0	51.2–286.0	+	+
20	鲂 <i>Megalobrama terminalis</i>								+	+
21	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	0	32	4	0	0.78	13.4–26.8	49.7–276.9	+	+
22	黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>								+	+
23	银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	0	230	20	3	5.49	22.4–32.3	261.3–457.6	+	+
24	圆吻鲴 <i>Distoechodon tumirostris</i>	0	85	0	0	1.85	15.1–23.3	20.0–33.4	+	+
25	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>								+	+
26	鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>								+	+
27	似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	45	15	0	0	1.30	11.6–15.6	23.3–78.1	+	+
28	唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>								+	+
29	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>								+	+
30	黑鳍鳈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>									+
31	江西鳈 <i>Sarcocheilichthys kiangsiensis</i>								+	
32	华鳈 <i>Sarcocheilichthys sinensis</i>	78	35	0	0	2.45	9.8–16.2	15.1–76.4	+	+
33	蛇鲇 <i>Saurogobio dabryi</i>	242	45	24	5	6.86	3.6–19.6	1.7–104.3	+	+
34	银鲇 <i>Squalidus argentatus</i>	112	56	290	200	14.26	3.6–13.1	2.7–40.3	+	+
35	吻鲇 <i>Rhinogobio typus</i>	6	3	2	0	0.24	7.3–24.5	4.3–161.3	+	+
36	颌须鲇 <i>Gnathopogon taeniellus</i>	0	0	0	4	0.09	3.6–4.8	2.7–3.3	+	
37	似鲇 <i>Pseudogobio vaillanti</i>								+	+
38	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>									+

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

序号 serial number	种类 species	鱼道 fishway							坝上 on the dam	坝下 under the dam
		春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	百分比/% percentage	体长/cm length	体重/g weight		
39	宜昌鳅鮡 <i>Gobiobotia filifer</i>	5	0	0	0	0.11	8.1–10.5	5.0–17.5		+
40	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	0	0	0	4	0.09	4.2–5.0	4.4–4.8	+	
41	大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	21	10	0	0	0.67	9.3–18.5	8.3–31.2		+
42	兴凯鱮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	15	0	0	0	0.33	6.9–9.2	7.5–15.6		+
43	高体鲢 <i>Rhodeus ocellatus</i>									+
44	墨头鱼 <i>Garra orientalis</i>	0	0	1	0	0.02	3.8	5.4		+
45	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0	65	8	0	1.59	18.4–32.9	138.0–848.3	+	+
46	红鲤 <i>Cyprinus rubrofasciatus</i>	0	10	0	0	0.22	15.4–27.9	116.2–684.9	+	+
47	鲫 <i>Carassius auratus</i>	33	51	9	0	2.02	7.2–10.3	35.4–75.8	+	+
鳅科 Cobitidae										
48	花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	7	4	2	7	0.43	6.2–8.6	2.8–5.8	+	+
49	武昌副沙鳅 <i>Parabotia banarensis</i>	8	7	4	8	0.59	6.4–9.0	3.0–6.2	+	+
50	点面副沙鳅 <i>Parabotia maculosa</i>	9	4	2	0	0.33	6.9–8.4	2.5–5.5		+
51	泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0	3	6	0	0.20	5.3–5.8	2.3–2.8	+	+
52	江西副沙鳅 <i>Parabotia kangsiensis</i>									+
53	大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>								+	+
54	紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i>									
55	中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>								+	
平鳍鳅科 Homalopteridae										
56	平舟原缨口鳅 <i>Vanmanenia pingchowensis</i>									
鲇形目 Siluriformes										
鲇科 Siluridae										
57	鲇 <i>Silurus asotus</i>								+	+
胡子鲇科 Clariidae										
58	胡子鲇 <i>Clarias batrachus</i>								+	+
鲿科 Bagridae										
59	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	30	180	15	0	4.89	13.5–21.8	11.7–191.2	+	+
60	长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>									+
61	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>								+	+
62	粗唇鲿 <i>Leiocassis crassilabris</i>	9	35	11	0	1.19	13.7–34.8	32.9–753.1	+	+
63	圆尾拟鲿 <i>Pseudobagrus tenuis</i>									+
64	大鳍鲿 <i>Mystus macropterus</i>								+	+
鮡科 Sisoridae										
65	中华纹胸鮡 <i>Glyptothorax sinense</i>	1	0	0	0	0.02	12.3	43.5	+	+
鲈形目 Perciformes										
鲈科 Percichthyidae										
66	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	17	75	20	0	2.43	9.8–28.7	25–72.3	+	+
67	斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>								+	+
68	大眼鳊 <i>Siniperca kneri</i>	3	6	0	0	0.20	11.6–15.6	26–64.3	+	+
69	波纹鳊 <i>Siniperca undulata</i>									+

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

序号 serial number	种类 species	鱼道 fishway							坝上 on the dam	坝下 under the dam
		春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	百分比/% percentage	体长/cm length	体重/g weight		
70	长身鳊 <i>Siniperca roulei</i>	2	8	0	0	0.22	7.8–15.5	18.5–45.7	+	+
	鳊科 Channidae									
71	乌鳊 <i>Channa argus argus</i>								+	+
72	斑鳊 <i>Channa maculata</i>									+
	刺鲃科 Mastacembelidae									
73	中华刺鲃 <i>Mastacembelus sinensis</i>	5	0	0	0	0.11	7.2–8.5	5.2–6.8	+	+
	沙塘鳊科 Odontobutidae									
74	沙塘鳊 <i>Odontobutis sinensis</i>								+	+
	斗鱼科 Belontiidae									
75	叉尾斗鱼 <i>Macropodus opercularis</i>									+
	虾虎鱼科 Gobiidae									
76	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	14			66	1.93	4.9–6.2	1.1–3.1	+	+
	颌针鱼目 Beloniformes									
	鲢科 Belonidae									
77	间下鲢 <i>Hyporhamphus intermedius</i>									+
	合鳃鱼目 Symbranchiformes									
	合鳃鱼科 Synbranchidae									
78	黄鳝 <i>Monopterus albus</i>								+	+
	鳗鲡目 Anguilliformes									
	鳗鲡科 Anguillidae									
79	鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	0	0	0	3	0.07	5.8–6.9	5.2–6.8	+	+

注: +表示存在该物种.
Note: + means existence of the species.

表 3 峡江水利枢纽鱼道环境因子指标

Tab. 3 Environmental factor indexes of fishway of Xiajiang Hydro-Junction

$\bar{x} \pm SD$

季节 season	水深/m water depth	流速/(m/s) flow velocity	水温/℃ water temperature	溶解氧/(mg/L) dissolved oxygen
春 spring	2	0.98±0.02	18.13±0.05	8.71±0.08
夏 summer	2	1.13±0.05	32.77±0.40	6.32±0.26
秋 autumn	2	0.88±0.06	24.24±0.17	8.58±0.04
冬 winter	2	0.71±0.04	13.1±0.29	9.72±0.03

表 4 鱼类物种和环境因子间 RDA 分析的统计信息

Tab. 4 Statistics for the axes of RDA of fish species and environmental factors

指标 indicator	axis 1	axis 2	axis 3	axis4
特征值 eigenvalues	0.6452	0.2823	0.0422	0.0032
解释群落变异程度(累积)/% explained variation (cumulative)	64.52	92.74	96.96	97.28
相关系数 pseudo-canonical correlation	0.9954	0.9846	0.9543	0.7836

分别占总捕获量的 23.65%、21.61%; 冬季最低, 占总捕获量的 14.42%。鱼类种数夏季和春季最

多, 分别有 31、27 种, 秋季和冬季分别有 20、12 种(图 4)。

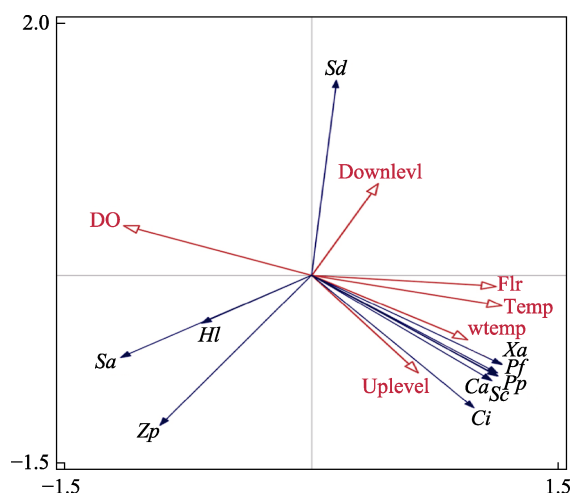


图 3 峡江水利枢纽鱼道内鱼类与环境因子的 RDA 分析排序

wtemp: 水温; Temp: 气温; Flr: 流速; Uplevel: 坝上水位; Downlevel: 坝下水位; DO: 溶解氧; Zp: 宽鳍鳊; Sa: 银鲴; Sd: 蛇鮈; Sc: 赤眼鳟; Ca: 翘嘴鲌; Hl: 鳊; Pf: 黄颡鱼; Xa: 银鲴; Ci: 草鱼; Pp: 鳊。

Fig. 3 RDA ordination of fish and environmental factors in the fishway of Xiajiang Hydro-Junction

wtemp: water temperature; Temp: air temperature; Flr: flow velocity; Uplevel: water level up the dam; Downlevel: water level down the dam; DO: dissolved oxygen. Zp: *Zacco platypus*; Sa: *Squalidus argentatus*; Sd: *Saurogobio dabryi*; Sc: *Squaliobarbus curriculus*; Ca: *Culter alburnus*; Hl: *Hemiculter leuciscus*; Pf: *Pelteobagrus fulvidraco*; Xa: *Xenocypris argentea*; Ci: *Ctenopharyngodon idella*; Pp: *Parabramis pekinensis*.

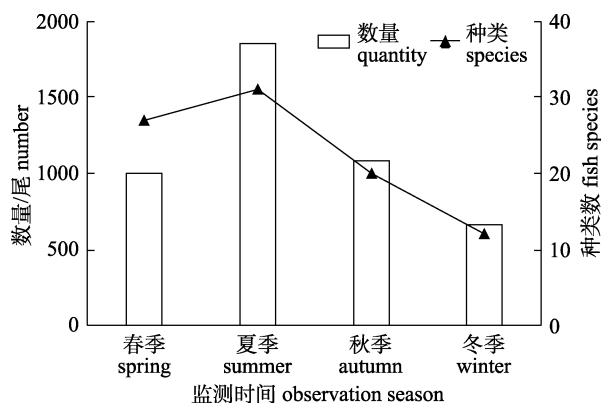


图 4 峡江水利枢纽鱼道渔获种类和数量的季节差异

Fig. 4 Seasonal differences in species and quantity of catches in Xiajiang Hydro-Junction fishway

2.5 鱼类平均体长分布

捕获鱼类体长范围为 2.3~48.5 cm, 其中, 春季以体长范围 10~25 cm 为主, 占 72.9%, 夏季以 15~30 cm 为主, 占 64.1%, 秋季以 5~20 cm 为主, 占 55.2%, 冬季以 0~15 cm 为主, 占 75.2% (图 5)。

3 讨论

3.1 影响过鱼效果的因素

鱼道内水文因子的变化和过鱼设施结构特点是诱发鱼类生理洄游的主要因素^[1]。本研究表明, 鱼类在夏季通过过鱼设施数量较多, 其次是春季, 这与本鱼道设计的过鱼季节 4—7 月一致, 为了防止泄洪涨水, 鱼道在汛期(一般上下游水位差小于 5 m)关闭, 这会在一定程度上影响部分鱼类洄游。RDA 分析显示, 黄颡鱼、翘嘴鲌、赤眼鳟、鳊、银鲴主要受水温和上游水位的影响, 汛期峡江水利枢纽在坝上水位较高, 这将会加大枢纽调度强度, 导致水体径流量增加, 从而影响鱼类洄游行为。此外, 在水温未达到最适宜鱼类游泳条件时, 鱼类的临界游泳速度也随着温度增加而增大^[17]。因此, 峡江鱼道中水温和水位是重要的环境因子。本研究调查到最大个体鱼类体长仅 48.5 cm, 体重 2053.7 g (草鱼), 提示需考虑鱼道的进出口位置型态、入口吸引流、水流速度和坡度等是否合理^[8], 有关峡江水利枢纽鱼道具体结构特点对过鱼效果的影响还需进一步监测和研究。

3.2 过鱼的季节性差异

一般情况下, 过鱼通道中鱼类的数量及种类组成均有一定的季节性差异^[18-19]。本研究表明, 峡江水利枢纽鱼道内鱼类呈现明显的季节性差异, 春夏季鱼类数量较多, 冬季鱼类数量最少, 这一结果与张艳艳等^[18]对低水头闸坝工程鱼道研究结论一致。其可能原因是与鱼类的生态习性和自然水文状况有关, 汛期鱼道内上游水位和水温较高, 恰逢鱼类繁殖产卵季节, 导致通过鱼道的鱼类种类和数量明显增加。秋冬季鱼类数量较少, 是由于鱼类的索饵场、越冬场分布较广泛, 鱼类在索饵、越冬期间不需要较大范围的洄游, 此外, 非汛期上游水位偏低, 并且鱼道内水温较低, 导致通过鱼道的鱼类种类和数量减少^[20]。本研究结果表明, 鱼道内春季主要有蛇鮈、银鲴、鳊、鳊等杂食性鱼类, 夏季翘嘴鲌、鳊、黄颡鱼等肉食性鱼类比例相对升高, 其原因是同一江段肉食性鱼类的繁殖季节略晚于非肉食性鱼类, 这也是鱼类一种生存适应的策略^[21]。

3.3 过鱼种类及个体大小

峡江水利枢纽鱼道的修建是为了解决一些鱼类洄游产卵、索饵、越冬的问题, 主要过鱼对象为洄游及半洄游鱼类, 有青鱼、草鱼、鲢、鳙以及赤眼鳟等^[22], 青鱼、草鱼的游泳能力显著高于鲢和鳙(表 5)。鱼道管理人员通过在观察室放置摄像机、电子计数器等设备曾记录到鱼道内的青鱼、鲢、鳙。但本研究在坝上、坝下均调查到草鱼、

鲢、鳙、赤眼鳟等洄游性鱼类, 而在鱼道内却未见四大家鱼中的鲢和鳙, 其可能原因是本研究调查时间较短, 同时渔民针对四大家鱼等经济鱼类重点捕捞, 导致其鱼类数量减少。本研究通过鱼道内的鱼类体长范围以 30 cm 以下为主, 过鱼种类主要为宽鳍鳮、银鮡、蛇鮡、黄颡鱼、翘嘴鲌等中小型鱼类。对峡江水利枢纽鱼道过鱼个体较小的确切原因, 还需要进一步监测研究。

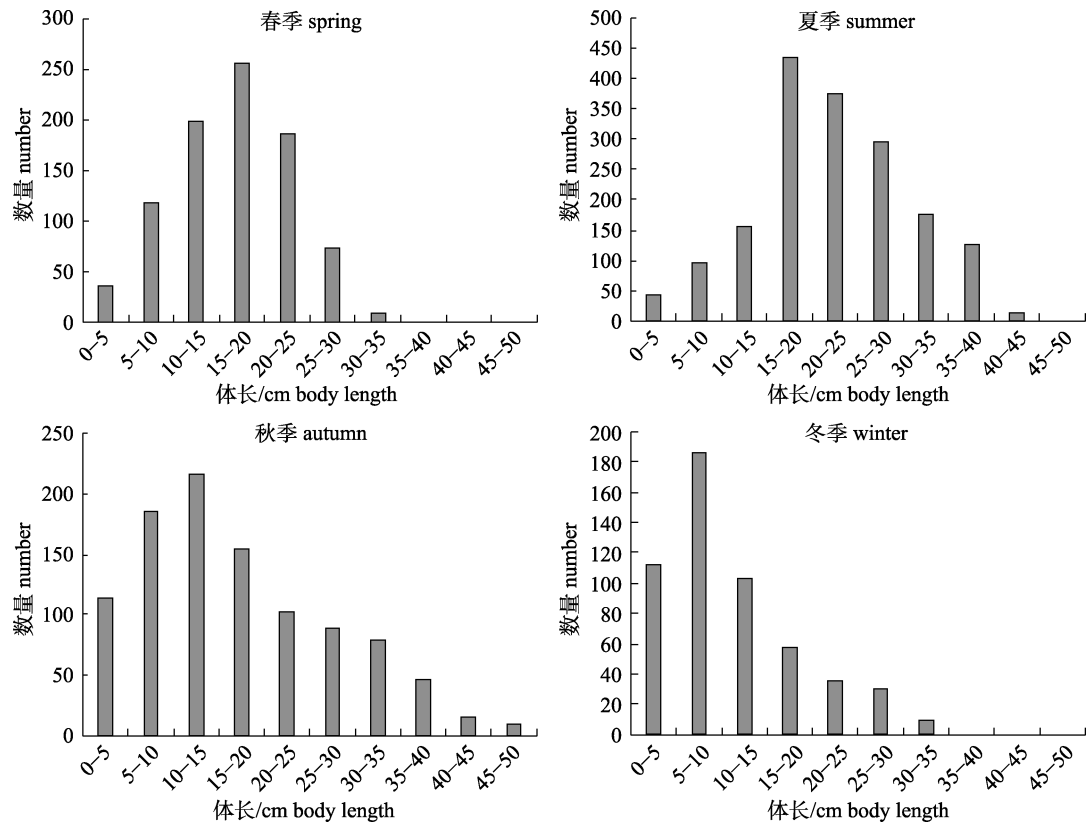


图 5 春、夏、秋、冬鱼道内鱼类标准体长分布图
Fig. 5 Distribution map of fish standard body length in fishway in spring, summer, autumn and winter

表 5 峡江水利枢纽鱼道主要过鱼种类的临界游泳速度^[23-24]

Tab. 5 Critical swimming speed of main fish species in fishway of Xiajiang Hydro-Junction				$\bar{x} \pm SD$
种类 species	体长/cm body length	绝对临界游泳速度/(cm/s) absolute critical swimming speed	相对临界游泳速度/(BL/s) relative critical swimming speed	
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	16.90±0.55	83.92±3.03	4.97±0.14	
	8.30±0.90	42.83±0.95	5.16±0.63	
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	19.99±1.58	91.62±3.54	4.60±0.26	
	15.03±0.76	59.31±3.13	3.95±0.23	
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	17.19±1.00	87.89±4.51	5.12±0.37	
	8.08±0.38	79.66±23.11	9.86±2.91	
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	17.68±1.41	92.61±6.70	5.25±0.34	
	9.93±0.96	85.13±6.79	8.57±0.95	

3.4 与国内其他鱼道运行效果比较

与国内其他鱼道相比(表 6), 峡江水利枢纽鱼道有 42 种鱼类进入过鱼通道, 高于列举的几个鱼道, 这可能与赣江峡江段生境多样化、鱼类资源丰富有关^[25], 调查期间峡江水利枢纽鱼道的主要过鱼目标的数量较低, 其原因可能是峡江水利枢纽鱼道入口的流速和流态不适宜目标鱼种^[18], 对不同种类鱼的吸引力存在差异, 由此造成鱼道过鱼数量的减少。其改进措施有以下几点: (1) 对鱼道而言, 通常以游泳能力最弱的种作为鱼道设计的限定因子, 为了保证鱼类都能顺利通过鱼道需对主要过鱼种类的克流能力进行测试, 取其最

弱的种作为流速设计参数。(2) 通过底质粗糙化提高鱼类的游泳能力, 可在鱼道内铺设鹅卵石, 增加湍流的强度、产生涡流的大小, 改善不同物种的游泳能力。(3) 通过智能化、集成化方式对鱼道进行运行管理, 一是鱼道自动或半自动化运行, 如鱼道不同进口、出口闸门按照实时水位自适应启闭或远程操控; 二是鱼道信息化管理, 如鱼道监测数据的实时记录、传输、保存、分析和共享, 并采用搭建信息平台的方式, 跟踪各鱼道运行和流域鱼类资源变化, 对多个鱼道特别是同流域鱼道进行一站式集中管理。

表 6 峡江水利枢纽鱼道运行效果与其他鱼道比较
Tab. 6 Comparison of operation effect of fishway in Xiajiang Hydro-Junction with other fishways

鱼道名称 fishway name	鱼道类型 fishpass type	监测时间 observation time	过鱼种类 fish species	过鱼数量/(尾/h) number of fish	参考文献 reference
洋塘	垂直竖槽式 vertical slot type	1981 年 4-7 月	36	385	[26]
裕溪闸	隔板竖缝式 diaphragm vertical seam type	1973 年 3-5 月	15	75	[5]
西牛	垂直竖槽式 vertical slot type	2012 年 3-8 月	38	41	[2]
水厂坝	丹尼尔式 daniel style	2015 年 8 月-2016 年 7 月	39	35	[18]
峡江	横隔板式 diaphragm plate	2019 年 10 月-2020 年 8 月	42	43	本文

4 结论

鱼道是减缓水利工程建设对鱼类的阻隔效应的重要工程措施。为了解其运行效果, 采用张网法和截堵法, 于 2019 年 10 月至 2020 年 8 月对峡江水利枢纽鱼道进行监测和评估。结果显示, 鱼道内有 42 种鱼类通过, 体长以 30 cm 以下的鱼类为主, 江湖洄游性鱼类有草鱼、赤眼鳟、似鳊, 河海洄游性鱼类有鳊鲌。鱼类的过鱼数量呈季节性变化, 其中夏季过鱼数量最多, 占总数的 42.23%; 冬季过鱼数量最少, 占总数的 11.69%, 影响过鱼的主要因素为水温和水位。与其他鱼道相比, 峡江鱼道过鱼种类较多。研究结果可为鱼道优化与有效运行及渔业资源保护提供数据支撑, 对该水域的增殖放流具有重要指导意义。

参考文献:

[1]

Kim J H, Yoon J D, Baek S H, et al. An efficiency analysis of a nature-like fishway for freshwater fish ascending a large Korean river[J]. Water, 2015, 8(1): 3.

[2]

Li J, Li X H, Pan F, et al. Preliminary study on the operating effect of Xiniu fishway in Lianjiang River[J]. Journal of Hydroecology, 2013, 34(4): 53-57. [李捷, 李新辉, 潘峰, 等. 连江西牛鱼道运行效果的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 53-57.]

[3]

Wen J Y, Chen A, Cao N, et al. A review of effectiveness assessment and monitoring technologies for fish passage facilities[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2019, 39(5): 49-55. [温静雅, 陈昂, 曹娜, 等. 国内外过鱼设施运行效果评估与监测技术研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(5): 49-55.]

[4]

Noonan M J, Grant J W A, Jackson C D. A quantitative assessment of fish passage efficiency[J]. Fish and Fisheries, 2012, 13(4): 450-464.

[5]

Investigation Team of Chaohu Aquatic Resources in Chaohu District, Anhui Province. Discussion on the effect of fish passing in Yuxi gate and its fishery benefit[J]. Freshwater Fisheries, 1975, 5(7): 19-23. [安徽省巢湖地区巢湖水产资源调查小组. 裕溪闸鱼道过鱼效果及其渔业效益的探讨[J]. 淡水渔业, 1975, 5(7): 19-23.]

[6]

He Z J, Mo W J, Yang Y, et al. Effectiveness of the Denil fishway, Liuxi River at the water plant dam[J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(1): 35-40. [何贞俊, 莫伟均, 杨聿, 等. 流溪河水厂坝丹尼尔式鱼道运行效果初探[J]. 水生态

- 学杂志, 2019, 40(1): 35-40.]
- [7] Tan X C, Tao J P, Huang D M, et al. A preliminary assessment of fish migration through the Changzhou fishway[J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, 34(4): 58-62. [谭细畅, 陶江平, 黄道明, 等. 长洲水利枢纽鱼道功能的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 58-62.]
- [8] Wang K, Liu S P, Duan X B, et al. Fishway effect of Cuijiaying navigation-power junction project[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(3): 184-189. [王珂, 刘绍平, 段辛斌, 等. 崔家营航电枢纽工程鱼道过鱼效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 184-189.]
- [9] Zhang J M, Wu Z Q, Hu M L, et al. Status of fish resources in Xiajiang reach of middle Ganjiang River[J]. *Jiangxi Science*, 2009, 27(6): 916-919. [张建铭, 吴志强, 胡茂林, 等. 赣江中游峡江段鱼类资源现状[J]. 江西科学, 2009, 27(6): 916-919.]
- [10] Zhang J, Shen Y. Evaluation of the effects of water ecological compensation measures for the Xiajiang Water Control Project in Jiangxi Province[J]. *Jiangxi Chemical Industry*, 2018(2): 90-93. [张健, 沈越. 江西省峡江水利枢纽水生态补偿措施效果评价研究[J]. 江西化工, 2018(2): 90-93.]
- [11] Jiangxi Hydrological Bureau. *Jiangxi Water System*[M]. Wuhan: Changjiang Press, 2007. [江西省水文局. 江西水系[M]. 武汉: 长江出版社, 2007.]
- [12] Guo Q. Research on species diversity and early-stage resources of fish status of Xiajiang hydro-junction in the middle and lower reaches of Ganjiang River[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018. [郭琴. 峡江水利枢纽建设后赣江中下游鱼类多样性及其早期资源现状研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.]
- [13] Liu M Y. A sample project of ecological construction: An investigation report and theoretic analysis of Xiajiang Hydraulic Project[J]. *Journal of Nanchang Institute of Technology*, 2016, 35(5): 1-4. [刘谟炎. 生态文明建设的示范样板——江西省峡江水利枢纽工程考察与理论分析[J]. 南昌工程学院学报, 2016, 35(5): 1-4.]
- [14] Environmental impact report of Xiajiang Water Control Project in Jiangxi Province[R]. Shanghai: Shanghai Investigation, Design & Research Institute, 2009. [江西省峡江水利枢纽工程环境影响报告书[R]. 上海: 上海勘测设计研究院, 2009.]
- [15] Yang P S. Study on the hydraulic characteristics of vertical-slot fishway[D]. Nanning: Guangxi University, 2017. [杨培思. 竖缝式鱼道水力特性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.]
- [16] Huang L Z, Wan X M, Chen T, et al. Discussion on the preliminary passage efficiency of Xiajiang fishpass[J]. *Fishery Modernization*, 2019, 46(3): 83-88. [黄立章, 万小明, 陈涛, 等. 峡江鱼道过鱼效果初步评价[J]. 渔业现代化, 2019, 46(3): 83-88.]
- [17] Yang Y, Cao Z D, Fu S J. Effects of water temperature on the critical swimming speed and metabolic scope of juvenile *Parabramis pekinensis*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(5): 1260-1264. [杨阳, 曹振东, 付世建. 温度对鳊幼鱼临界游泳速度和代谢范围的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1260-1264.]
- [18] Zhang Y Y, He Z J, He Y, et al. Analysis on the efficiency of fishway for the low-head gate dam[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2017, 48(6): 748-756. [张艳艳, 何贞俊, 何用, 等. 低水头闸坝工程鱼道过鱼效果评价[J]. 水利学报, 2017, 48(6): 748-756.]
- [19] Tan X C, Huang H, Tao J P, et al. Fish population structure in the fishway of Changzhou hydro-junction[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(5): 1548-1552. [谭细畅, 黄鹤, 陶江平, 等. 长洲水利枢纽鱼道过鱼种群结构[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1548-1552.]
- [20] Vono V P M, Bizzotto H P, Godinho A L, et al. Fish passage at the Igarapava fish ladder, River Grande, Brazil[C]//*Annals of the International Congress on the Biology of Fish Tropical*. American Fisheries Society, 2004.
- [21] Chen G Z, Wang M, Wang H S, et al. Preliminary study on fish passing effect of the vertical-slot fishway in Zhentouba I hydropower station[J]. *Water Power*, 2018, 44(7): 4-8, 58. [陈国柱, 王猛, 王海胜, 等. 枕头坝一级水电站竖缝式鱼道过鱼效果初探[J]. 水力发电, 2018, 44(7): 4-8, 58.]
- [22] Zhai Z L, Zhang X Y. Design, construction and operation of fishway of Xiajiang Water Control Project[J]. *Water Conservancy and Hydropower construction*, 2018(1): 17-20. [翟梓良, 张曦彦. 峡江水利枢纽鱼道设计施工与运行[J]. 水利水电施工, 2018(1): 17-20.]
- [23] Liu H J. Research of swimming performance of Four Major Chinese Carps[D]. Yichang: China Three Gorges University, 2017. [刘慧杰. 四大家鱼游泳特性研究[D]. 宜昌: 三峡大学, 2017.]
- [24] Wang X, Liao D Y, Yu L X, et al. Effect of temperature gradient on the critical swimming speed of four major Chinese carps[J/OL]. *Progress in Fishery Sciences*, (2021-01-19). <http://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20201104001>. [王晓, 廖冬芽, 俞立雄, 等. 温度梯度对四大家鱼临界游泳速度的影响[J/OL]. 渔业科学进展, (2021-01-19). <http://doi.org/10.19663/j.issn2095-9869.20201104001>.]
- [25] Su N, Li L, Xu Z Q, et al. Status of fish resources in Xiajiang to Nanchang section of Ganjiang River[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2012, 31(6): 756-764. [苏念,

- 李莉, 徐哲奇, 等. 赣江峡江至南昌段鱼类资源现状[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(6): 756-764.]
- [26] Xu W Z, Li S W. Observation on the effect of fish passing in

Yangtang fishway[J]. Hunan Fishery Technology, 1982, 7(1): 21-27. [徐维忠, 李生武. 洋塘鱼道过鱼效果的观察[J]. 湖南水产科技, 1982, 7(1): 21-27.]

Effects of fish passing through the fishway of the Xiajiang Water Control Project

WANG Xiao^{1,2}, GAO Lei¹, WANG Ke¹, OUYANG Shan², WU Xiaoping², LIU Shaoping¹, CHEN Daqing¹, WAN Diwen³, DUAN Xinbin¹

1. Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of the Upper-Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;
2. School of Life Sciences, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
3. Jiangxi Provincial Xiajiang Hydro-Junction Project Administration, Nanchang 330095, China

Abstract: The fishway of the Xiajiang Hydro-Junction was built to meet the needs of breeding and over-wintering migratory fish. To alleviate the effects of its operation, netting and interception methods were used to conduct surveys to determine the effects of the fish passage at the Xiajiang Hydro-Junction during October 2019, January 2020, April 2020, and August 2020. A total of 4605 fishes was collected, including 42 species belonging to 4 orders, 9 families, and 34 genera, mainly small- and medium-sized fishes. The body length ranged from 2.3 cm to 48.5 cm. The dominant species were *Zacco platypus*, *Squalidus argentatus*, *Saurogobio dabryi*, *Culter alburnus*, and *Pelteobagrus fulvidraco*, accounting for 17.24%, 14.26%, 6.86%, 5.78%, and 4.89%, respectively. The migratory fishes in the fishway included *Ctenopharyngodon idella*, *Squaliobarbus curriculus*, *Pseudobrama simoni*, and *Anguilla japonica*. The number of passing fish varied seasonally and was the highest during summer, accounting for 42.23% of the total, whereas the number was the lowest during winter, accounting for 11.69% of the total. Factors affecting fish passing were mainly water temperature and water level. There were 42 species of fish passing through the entrance of the fishway of the Xiajiang Hydro-Junction. There were more species of fishes passing through the fishway of the Xiajiang Hydro-Junction than those through other fishways. These results will provide reference data for the optimization and effective operation of fishways, which could have implications in the protection of fishery resources in the Ganjiang River.

Key words: Xiajiang Hydro-Junction; fishways; effect

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