



## 十年禁渔初期金沙江下游向家坝水库鱼类资源变化的水声学研究

胡飞飞, 朱挺兵, 龚进玲, 杜红春, 孟子豪, 郭祉宾, 杨德国\*

(中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223)

**摘要:** 为科学评价长江十年禁渔政策在金沙江下游水库的初步实施效果, 实验于 2020 年 11 月和 2022 年 5 月在金沙江下游向家坝水库开展了渔获物调查和水声学调查, 并分析了鱼类资源的变化情况。渔获物调查结果显示, 2020 年 11 月共采集到鱼类 2 科 9 种, 其中鲢、瓦氏黄颡鱼占优势地位; 2022 年 5 月共采集到鱼类 5 科 14 种, 其中蛇鮈、瓦氏黄颡鱼占优势地位。水声学调查结果显示, 不同年间、不同区域、不同水层间的鱼类目标强度分布存在显著性差异; 2022 年 5 月的鱼类密度 ( $0.60$  尾/ $1\ 000\ m^3$ ) 高于 2020 年 11 月 ( $0.46$  尾/ $1\ 000\ m^3$ ), 鱼类资源在时空分布上呈现不均匀性; 不同调查时期的鱼群密集区域存在一定的差异, 2020 年 11 月大部分区域之间差异不显著, 2022 年 5 月则差异显著; 2022 年 5 月的上层鱼类密度 ( $0.44\pm 0.83$  尾/ $1\ 000\ m^3$ ) 显著大于 2020 年 11 月 ( $0.06\pm 0.15$  尾/ $1\ 000\ m^3$ ); 不同水层的鱼类分布差异显著, 2 次调查均表现为下层大于中、上层; 估算得到向家坝水库鱼类资源尾数分别为  $3.22\times 10^6$  尾 (2020 年 11 月) 和  $3.53\times 10^6$  尾 (2022 年 5 月)。综上所述, 水声学调查方法适用于金沙江下游水库的鱼类资源监测工作, 十年禁渔实施后向家坝库区鱼类资源已得到一定程度的恢复。

**关键词:** 鱼类资源; 十年禁渔; 水声学; 金沙江下游; 向家坝水库

**中图分类号:** S 932.4

**文献标志码:** A

长江是我国第一大河流, 储存着我国内陆最丰富的鱼类资源。随着近几十年来长江流域经济的迅速发展, 人类活动强度日益加剧, 长江流域鱼类资源急剧衰退<sup>[1]</sup>。为保护长江流域生态环境, 早在 2002 年, 农业农村部印发了《关于在长江流域试行春季禁渔制度的通知》, 在整个长江中下游实施春季禁渔。然而, 局部和短时的禁渔措施并没能控制住长江水生生物资源持续衰退的趋势, 长江生物完整性指数已经到了最差的“无鱼”等级<sup>[2]</sup>。为恢复长江水系的水生生物资源, 提高水生生物

多样性, 农业农村部发布了《关于长江流域重点水域禁捕范围和时间的通告》, 宣布自 2020 年 1 月 1 日起, 长江干流和重要支流实行为期 10 年的常年禁捕<sup>[3]</sup>。云南省农业农村厅也印发了《关于在金沙江(长江干流)流域重点水域实施禁捕的通告》, 宣布自 2020 年 7 月 1 日起在金沙江云南段开展暂定期为 10 年的常年禁捕<sup>[4]</sup>。

引起长江流域鱼类资源衰竭的原因是多方面的, 包括水利工程建设、过度捕捞、围湖造田和水污染等<sup>[5]</sup>。金沙江下游梯级水电开发使得自然

收稿日期: 2022-09-17 修回日期: 2023-01-10

资助项目: 农业农村部财政专项“长江下游渔业资源与环境调查 (CJDC-2017-22)”; 农业农村部财政专项“长江禁捕后常态化监测专项 (CJJC-2022-04)”; 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-46); 中国水产科学研究院创新团队项目 (2020TD57)

第一作者: 胡飞飞 (照片), 从事渔业声学研究, E-mail: 609409503@qq.com

通信作者: 杨德国, 从事鱼类生态学与水产养殖研究, E-mail: yangdg@yfi.ac.cn



流淌的河流变成片段化的缓流、甚至静水的水库环境, 水温、流速等水文情势发生巨大改变, 极大地影响了鱼类群落结构和分布状况<sup>[1]</sup>。陈大庆等<sup>[6]</sup>认为金沙江一期工程的建设使得对江段依赖性较高的 17 种特有鱼类受到巨大影响。捕捞活动对鱼类资源变化的影响则更为直接, 如导致鱼类群落的物种组成、体长结构及生物量等发生变化<sup>[7]</sup>。但胜国等<sup>[8]</sup>认为, 长江上游干流江段的鱼类资源由于过度捕捞等原因呈现衰退趋势, 长江鲟 (*Acipenser dabryanus*) 等大型鱼类已从渔获物中消失, 铜鱼 (*Coreius heterodon*)、圆口铜鱼 (*C. guichenoti*)、鲤 (*Cyprinus carpio*) 等主要经济鱼类的渔获量和渔获规格均明显下降。

向家坝水库 (28.20°~28.68°N, 103.65°~104.39°E) 位于云南省昭通市与四川省宜宾市交界的金沙江下游河段上, 水库控制流域面积 45.88 万 km<sup>2</sup>, 正常蓄水位 380 m, 处于金沙江下游梯级水电站的最后一级<sup>[9]</sup>。目前关于向家坝水库的研究主要集中在电站联合调度<sup>[10]</sup>、梯级水库生态影响<sup>[11-12]</sup>等方面, 而库区鱼类资源的水声学调查以及禁渔后的鱼类资源现状都尚未见报道。本研究采用水声学探测和渔获物调查相结合的手段, 于 2020 年 11 月和 2022 年 5 月对向家坝水库渔业资源现状进行调查, 以期摸清长江十年禁渔政策实

施后向家坝水库鱼类的时空分布和密度变化, 为向家坝水库的渔业资源保护及后续禁渔效果评估提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查时间和区域

向家坝水库岸线狭长, 全长约 282.8 km, 本研究选择绥江县 (28.62°N, 103.95° E), 下行至距大坝约 10 km 处 (28.65° N, 104.30° E), 总计约 40 km 江段作为研究区域 (图 1), 分别于 2020 年 11 月 26 日、2022 年 5 月 28 日对该江段进行了 2 次水声学探测。

### 1.2 水声学调查

**仪器设备** 水声学探测设备为 Simrad EK80 型鱼探仪 [携带分裂波束式换能器, ES200-7C, 工作频率 200 kHz, 半功率角 (3 dB beam width) 为 7°]。调查时换能器发射功率为 60 W, 脉冲宽度 (pulse duration) 为 0.064 ms。

**调查船** 用于水声学调查的船舶为冲锋舟, 全长约 10 m、宽 2 m, 功率 40 kw, 探测时航速为 9~11 km/h, 并根据风、浪等实际情况进行调整。

**探测路线** 由于探测水域水面狭长, 岸线较为平直, 船只以平行于岸线的方式上行与下行,

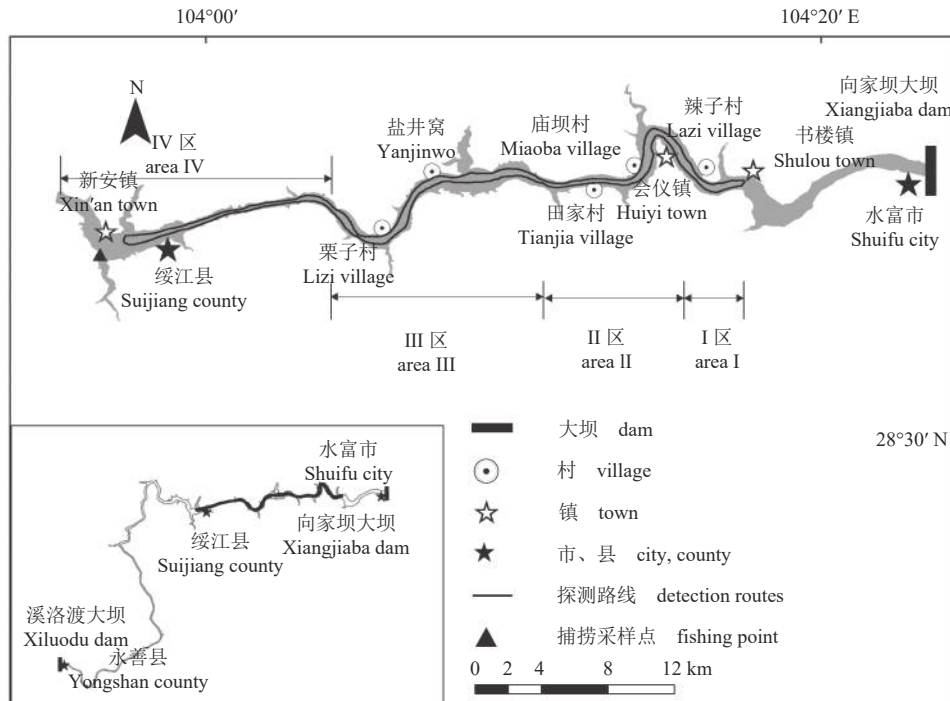


图 1 向家坝水库水声学探测航线示意图

Fig. 1 Routes of hydroacoustic survey in Xiangjiaba Reservoir

探测路线如图 1 所示。将换能器固定在船只右舷, 距离船首约 2 m, 远离发动机部位, 尽量降低发动机噪音对回声探测仪的影响, 入水深度约 1 m, 波束垂直向下发射。为消除不同介质条件对换能器的影响, 探测前根据 Ducan 和 Kuberca 描述的操作程序使用 13.7 mm 的钨铜金属球对回声探测系统进行校准<sup>[13-14]</sup>。

### 1.3 渔获物调查

为了解向家坝水库鱼类种类组成及其种群分布情况, 经云南省农业农村厅批准后, 利用水声学调查的同时, 在绥江县 (28.60°N, 103.94°E) 使用流刺网开展渔获物调查 (2020 年 11 月 19 日, 22 日; 2022 年 5 月 25—27 日), 网具规格长 50 m×高 1.5 m, 网目分别为 2、6、10、14 cm。向家坝水库水深较深, 故将流刺网放置于与水流垂直方向的河岸边; 网具放置时间约为 12 h。渔获物按照水库渔业资源调查规范<sup>[15]</sup>进行抽样统计, 记录鱼类种类、尾数、体长 (精确到 0.01 cm)、体重 (精确到 0.01 g) 等数据。种类鉴定参照《中国动物志》<sup>[16]</sup>。

实验过程中操作人员严格遵守中华人民共和国和湖北省动物福利伦理规范, 并按照中国水产科学研究院长江水产研究所实验动物福利伦理委员会制定的规章制度执行。

### 1.4 数据处理及分析

使用 Sonar5\_Pro 分析软件 (Lindem Data Acquisition, 挪威) 对 EK80 软件程序采集的水声学原始数据进行转换和分析, 转换模式为时间可变增益 (time-varied gain, TVG) TVG=40lgR。在 Sonar5\_Pro 软件中对转换后的数据设置自动识别水底, 并人工校对, 通过手动方式对部分河床进行重画以消除石头、树枝等造成的干扰。设置信号目标强度 (target strength, TS, 单位: dB) 背景噪声阈值为 < -64 dB, 采用交叉过滤方法对图像进行处理, 消除噪声干扰并准确提取信噪比较低的信号, 对于明显的噪声手动去除。最后对鱼体信号进行自动追踪及判别, 结果保存为 Excel 文件格式, 以便进行信号统计, 相关参数设置如表 1 所示。

参照 Foote<sup>[17]</sup> 提出的喉鳔鱼类 TS 值与鱼类体长的经验公式对鱼类长度进行估算:

$$TS = 20\log L - 71.9$$

式中, TS 为鱼类的目标强度 (dB),  $L$  为目标鱼体的体长 (cm)。

一般在鱼类分布密集的水域, 如海洋经济鱼

表 1 Sonar5\_Pro 数据分析参数设置

Tab. 1 Parameters configuration of Sonar5\_Pro

参数项 parameter	设定值 set value
前景滤波器 foreground filter	[1,3]
背景滤波器 background filter	[55,1]
目标平滑滤波 target smoothing filter	[1,3]
信号长度 signal length	[3,50]
声学截面的最大增益补偿/dB maximum gain compensation	6
最小目标长度/ping minimum track length	2
最大脉冲缺失/ping maximum ping gap	2
门闸过滤范围/m gating range	0.3

类密集区, 适合通过回声积分法 (echo integration) 评估鱼类密度。但在湖泊、水库等内陆水体中, 鱼类的密度一般很低, 主要以个体形式分散分布, 回声信号积分受环境噪声影响较大。Misund<sup>[18]</sup> 曾指出, 如果鱼类以个体形式分散分布, 且密度足够低, 则可以通过仪器直接计数, 以计数结果除以探测水体体积, 得到鱼类密度。将探测航线的每 500 ping 记为一个采样单元, 在探测过程中, 发现向家坝水库鱼类基本属于个体分散形式, 故采用单目标回声计数法 (single target strength analysis) 来计算各单元的鱼类密度, 计算公式参考淡水渔业资源调查规范<sup>[19]</sup>。

对于不同探测区域的鱼类水平分布特征, 采用 ArcGIS 10.2 软件 (Environmental Systems Research Institute, 美国) 进行空间分布的建模<sup>[20]</sup>, 将计算出的各单元鱼类密度及单元中心的 GPS 位点信息导入 ArcGIS, 采用反距离权重法进行栅格插值运算<sup>[21-22]</sup>, 绘制鱼类密度水平分布图。为了探讨离坝不同距离处的鱼类水平分布特征, 将调查区域按照离坝距离的远近划分为 I 区 (离坝 10~15 km)、II 区 (离坝 15~25 km)、III 区 (离坝 25~40 km)、IV 区 (离坝 40~60 km)。

为了探讨鱼类在垂直方向的分布规律, 本研究对所得数据进行分层处理。由于河床处于变化状态, 故将水深按照从上至下既定比例划分为上层、中层和下层。其中, 0%~33% 水深为上层, 33%~66% 水深为中层, 66%~100% 水深为下层, 分别计算各水层鱼类密度。

数据统计和分析采用 SPSS 20.0 和 Excel 2016 软件进行。2 次调查的水声学数据和分析方法均一致。

## 2 结果

### 2.1 鱼类的个体特征分布

渔获物组成 2020年11月共采集到鱼类9种, 总重2469.69g, 隶属于2目2科7属(表2)。其中, 鲤科(Cyprinidae)种类最多, 为7种, 占总种数的77.78%; 其次是鲢科(Bagridae), 2种, 占

总种数的22.22%。鲢(*Hemiculter leucisculus*)、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)和马口鱼(*Opsariichthys bidens*)数量占比较高, 分别为58.33%、16.67%、10.00%, 鲢体长范围为12.00~16.80cm, 瓦氏黄颡鱼体长范围为12.40~24.00cm, 马口鱼体长范围为9.80~12.80cm。

表2 向家坝水库鱼类种类组成

Tab. 2 Composition of fish species in Xiangjiaba Reservoir

种类 species	2020年11月 November 2020			种类 species	2022年5月 May 2022		
	数量占比/% percentage	体长/cm body length			数量占比/% percentage	体长/cm body length	
		范围 range	均值 mean			范围 range	均值 mean
<b>鲤科 Cyprinidae</b>				<b>鲤科 Cyprinidae</b>			
鲢 <i>H. leucisculus</i>	58.33	12.00~16.80	14.34±1.61	蛇鲇 <i>Saurogobio dabryi</i>	43.59	8.70~15.80	10.76±1.44
马口鱼 <i>O. bidens</i>	10.00	9.80~12.80	11.53±1.55	鲢 <i>H. leucisculus</i>	7.89	7.50~16.20	11.85±2.35
贝氏鲢 <i>H. bleekeri</i>	3.33	15.50~18.00	16.75±1.77	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	4.11	7.40~10.30	8.41±0.71
鲫 <i>Carassius auratus</i>	3.33	10.20~12.00	11.10±1.27	翘嘴鲌 <i>C. alburnus</i>	2.80	12.70~29.50	19.11±5.49
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	1.67			麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	2.63	6.50~9.00	7.78±0.79
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	1.67	11.80	11.80	泉水鱼 <i>Semilabeo prochilus</i>	2.14	8.50~20.30	13.88±4.45
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	1.67	20.00	20.00	鲫 <i>C. auratus</i>	0.49	12.80~14.70	13.77±0.95
<b>鲢科 Bagridae</b>				鲤 <i>C. carpio</i>	0.33	14.50~21.20	17.85±4.74
瓦氏黄颡鱼 <i>P. vachelli</i>	16.67	12.40~24.00	17.75±4.83	中华鲮 <i>R. sinensis</i>	0.16	5.70	5.70
黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i>	3.33	13.00	13.00	<b>鳅科 Cobitidae</b>			
				大鳞副泥鳅 <i>P. dabryanus</i>	0.49	11.20~14.00	12.60±1.40
				<b>鲢科 Bagridae</b>			
				瓦氏黄颡鱼 <i>P. vachelli</i>	33.72	6.80~20.50	10.09±2.36
				光泽黄颡鱼 <i>P. nitidus</i>	1.32	8.00~12.40	10.55±1.52
				<b>鲇科 Siluridae</b>			
				鲇 <i>Silurus asotus</i>	0.16	22.80	22.80
				<b>慈鲷科 Cichlidae</b>			
				尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i>	0.16	5.30	5.30

2022年5月共采集到鱼类14种, 总重12571.1g, 隶属于3目5科13属(表2)。其中, 鲤科鱼类9种, 占总种数的比例为64.29%; 其次是鲢科2种, 占比14.29%; 鳅科、鲇科、慈鲷科各一种, 占比7.14%。渔获物中蛇鲇、瓦氏黄颡鱼、鲢、翘嘴鲌数量占比较高, 分别为43.59%、33.72%、7.89%、2.80%, 体长范围分别为8.70~15.80cm、6.80~20.50cm、7.50~16.20cm、12.70~29.50cm; 其次为泉水鱼、棒花鱼、麦穗鱼、光泽黄颡鱼、鲤、鲫, 在渔获物中总的数量比例达到了11.02%。

目标强度特征 统计分析显示, 2020年

11月、2022年5月向家坝水库鱼类目标强度均近似呈正态分布(图2)。2次水声学调查鱼类平均目标强度分别为(-52.10±7.71)dB、(-55.59±8.79)dB。对2次水声学调查鱼类目标强度进行单因素方差分析显示, 2次调查的鱼类目标强度存在极显著性差异( $F=1066.42, P<0.01$ )。2022年5月鱼类目标强度的优势群组-64~-59dB占比超过总体的50%, 按照喉鳔鱼类TS值与鱼类体长的经验公式换算得到此范围内信号个体体长范围为2.48~4.42cm。

对比不同调查区域的鱼类目标强度, 结果显



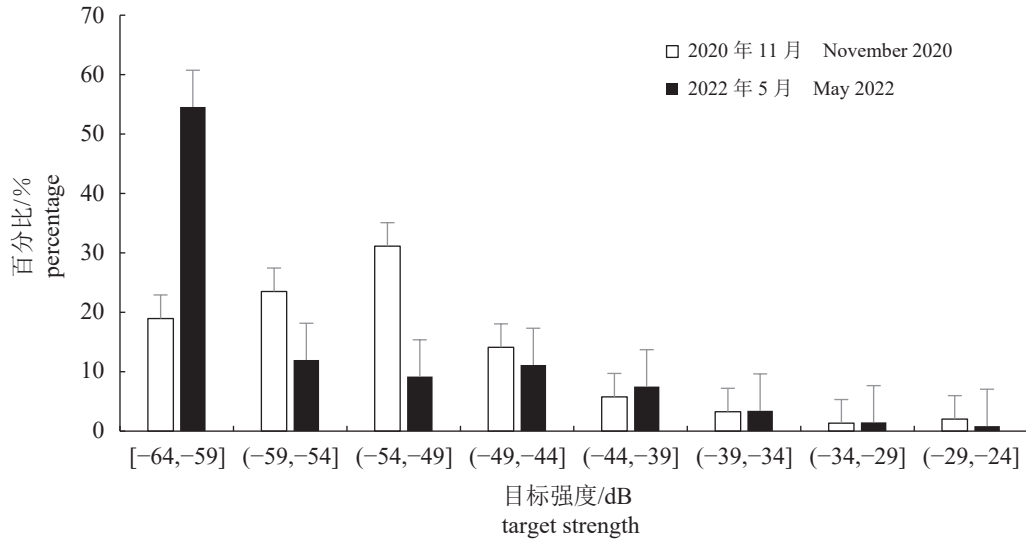


图2 向家坝水库鱼类目标强度分布

Fig. 2 Distribution of fish target strength in Xiangjiaba Reservoir

示, 2次调查平均目标强度最大值均出现在II区域, 最小值均出现在IV区域(表3)。利用非参数检验分析不同调查区域鱼类目标强度的差异性表明, 2次调查的4个区域内鱼类目标强度存在极

显著差异( $P < 0.01$ )。其中, 除2020年11月I与IV区域之间的鱼类目标强度存在显著性差异( $P = 0.03 < 0.05$ ), 2022年5月I与II区域之间没有显著性差异( $P = 0.17$ )外, 其余区域之间均存在极

表3 向家坝水库鱼类目标强度时空分布

Tab. 3 Spatial and temporal distribution of fish target strength in Xiangjiaba Reservoir

组别 groups	2020年11月 November 2020			2022年5月 May 2022			
	均值/dB mean	范围/dB range	<i>P</i>	均值/dB mean	范围/dB range	<i>P</i>	
区域 area	I	-53.05±6.54	-62.98~-24.02	<0.01	-53.54±8.46	-61.99~-24.20	>0.05
	II	-46.08±8.63	-63.05~-24.11		-53.19±9.44	-62.32~-24.03	
	I	-53.05±6.54	-62.98~-24.02	<0.01	-53.54±8.46	-61.99~-24.20	<0.01
	III	-51.62±8.53	-63.11~-24.08		-55.47±9.18	-63.56~-24.03	
	I	-53.05±6.54	-62.98~-24.02	<0.05	-53.54±8.46	-61.99~-24.20	<0.01
	IV	-53.42±6.64	-64.00~-24.20		-57.99±7.05	-64.00~-24.06	
	II	-46.08±8.63	-63.05~-24.11	<0.01	-53.19±9.44	-62.32~-24.03	<0.01
	III	-51.62±8.53	-63.11~-24.08		-55.47±9.18	-63.56~-24.03	
	II	-46.08±8.63	-63.05~-24.11	<0.01	-53.19±9.44	-62.32~-24.03	<0.01
	IV	-53.42±6.64	-64.00~-24.20		-57.99±7.05	-64.00~-24.06	
	III	-51.62±8.53	-63.11~-24.08	<0.01	-55.47±9.18	-63.56~-24.03	<0.01
	IV	-53.42±6.64	-64.00~-24.20		-57.99±7.05	-64.00~-24.06	
水层 water layer	上层 upper layer	-57.84±5.72	-64.00~-37.26	<0.01	-60.28±4.20	-64.00~-31.71	<0.01
	中层 middle layer	-52.21±8.64	-61.21~-24.06		-58.41±5.73	-62.29~-24.71	
	上层 upper layer	-57.84±5.72	-64.00~-37.26	<0.01	-60.28±4.20	-64.00~-31.71	<0.01
	下层 lower layer	-51.60±6.99	-55.62~-24.00		-45.98±8.49	-58.47~-24.03	
	中层 middle layer	-52.21±8.64	-61.21~-24.06	<0.01	-58.41±5.73	-62.29~-24.71	<0.01
	下层 lower layer	-51.60±6.99	-55.62~-24.00		-45.98±8.49	-58.47~-24.03	

显著性差异 ( $P < 0.01$ )。

对比不同水层的鱼类目标强度 (表 3), 2 次调查平均目标强度最大值均出现在下层, 最小值出现在上层。非参数检验分析表明, 不同水层之间鱼类的目标强度差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

## 2.2 鱼类分布特征

**水平分布及年间变化** 2 次水声学调查向家坝水库鱼类水平分布均呈现不均匀性 (图 3)。2020 年 11 月各采样单元鱼类平均密度为 0.46 尾/1 000  $m^3$ , 2022 年 5 月各采样单元鱼类平均密度为 0.60 尾/1 000  $m^3$ 。向家坝水库鱼群密集区域存

在年间变化。2020 年 11 月, 鱼群密集处主要在辣子村、盐井窝、栗子村、新安镇附近, 其中新安镇附近密度最高为 10.19 尾/1 000  $m^3$ ; 2022 年 5 月, 新安镇、盐井窝、栗子村、会议镇、庙坝村、田家村附近的鱼群较为密集, 密度最高的区域为盐井窝附近, 达到了 7.43 尾/1 000  $m^3$ 。单因素方差分析表明, 整个水层的鱼类密度水平分布在年际间差异不显著 ( $F = 2.03$ ,  $P = 0.15$ )。不同水层鱼类水平分布的统计结果表明, 上层鱼类水平分布在年际间有极显著性差异 ( $F = 33.11$ ,  $P < 0.01$ ), 中层、下层鱼类水平分布没有显著性差异 ( $F = 2.06$ ,  $P = 0.15$ ;  $F = 0.29$ ,  $P = 0.59$ )。

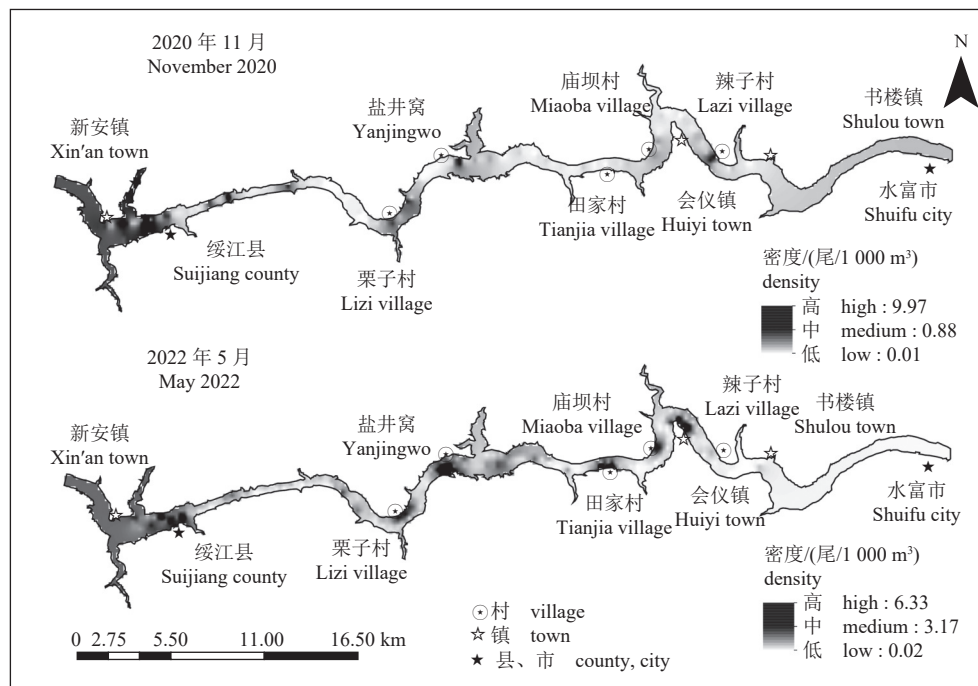


图 3 向家坝水库鱼类密度水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of fish density in Xiangjiaba Reservoir

不同调查区域中, 2020 年 11 月 IV 区域的鱼类平均密度最大 0.77 尾/1 000  $m^3$ 、II 区域的平均密度最小 0.22 尾/1 000  $m^3$ ; 2022 年 5 月 III 区域的鱼类平均密度最大 0.68 尾/1 000  $m^3$ 、I 区域的鱼类平均密度最小 0.16 尾/1 000  $m^3$  (图 4)。单因素方差结果显示, 2020 年 11 月, 区域 III 与区域 IV 存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其余区域之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 2022 年 5 月, 区域 I 与区域 II、区域 III 与区域 IV 之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 区域 II 与区域 IV 存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其余区域之间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

**垂直分布及年间变化** 2020 年 11 月和

2022 年 5 月向家坝水库鱼类密度 ( $-64 \text{ dB} \leq \text{TS} \leq -24 \text{ dB}$ ) 的不同水层分布特征分别表现为上层 < 中层 < 下层、中层 < 上层 < 下层。在鱼类的垂直分布中, 各水层鱼类密度的单因素方差分析检验结果显示, 2020 年 11 月 3 个水层鱼类密度存在极显著性差异 ( $F = 16.77$ ,  $df = 2480$ ,  $P < 0.01$ ), 各水层  $t$  检验分析结果显示, 上层、中层、下层两两之间存在极显著性差异 ( $P < 0.01$ ); 2022 年 5 月 3 个水层鱼类密度存在极显著性差异 ( $F = 14.03$ ,  $df = 2762$ ,  $P < 0.001$ ), 各水层  $t$  检验分析结果显示, 上层、中层间差异显著 ( $P = 0.04 < 0.05$ ), 上层、下层, 中层、下层间差异极显著 ( $P < 0.01$ ) (表 4)。

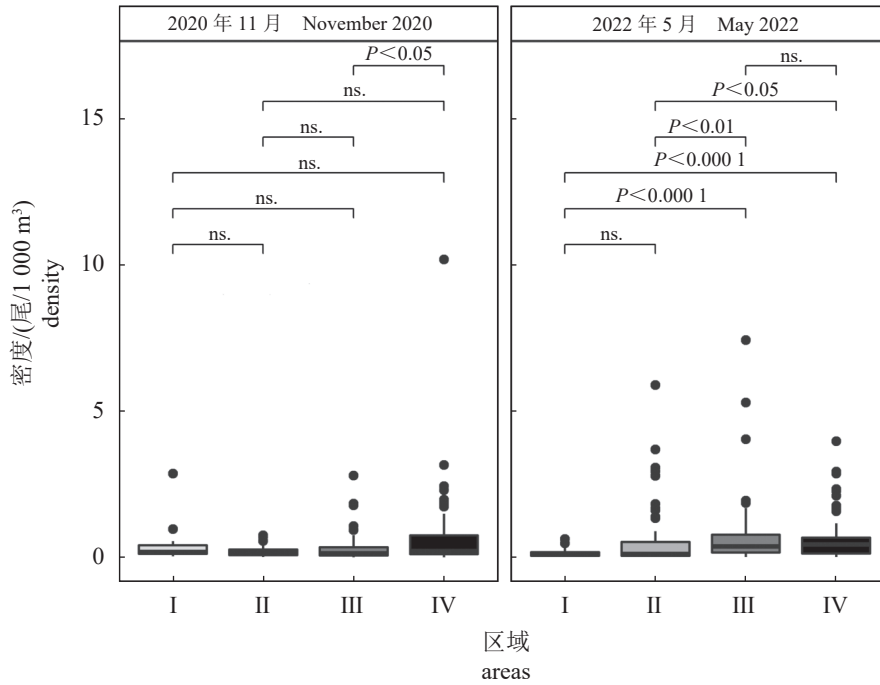


图 4 向家坝水库鱼类水平分布差异检验

Fig. 4 Horizontal distribution difference of fish in Xiangjiaba Reservoir

表 4 向家坝水库鱼类密度垂直分布 t 检验分析

Tab. 4 t-test among the fish density of vertical distribution in Xiangjiaba Reservoir

时间 time	水层 water layer	平均密度/(尾/1 000 m <sup>3</sup> ) average density	范围/(尾/1 000 m <sup>3</sup> ) range	P
2020年11月 November 2020	上层 upper layer	0.06±0.15	0.00~1.19	<0.01
	中层 middle layer	0.43±0.80	0.00~8.68	
	上层 upper layer	0.06±0.15	0.00~1.19	<0.01
	下层 lower layer	0.90±2.14	0.00~20.71	
	中层 middle layer	0.43±0.80	0.00~8.68	<0.01
	下层 lower layer	0.90±2.14	0.00~20.71	
2022年5月 May 2022	上层 upper layer	0.44±0.83	0.00~7.34	<0.05
	中层 middle layer	0.32±0.63	0.00~3.92	
	上层 upper layer	0.44±0.83	0.00~7.34	<0.01
	下层 lower layer	1.04±2.64	0.00~22.30	
	中层 middle layer	0.32±0.63	0.00~3.92	<0.01
	下层 lower layer	1.04±2.64	0.00~22.30	

### 2.3 鱼类资源尾数估算

将探测河段的鱼类密度近似看作整个向家坝水库的鱼类密度, 2次水声学调查的鱼类密度分别为 0.46、0.60 尾/1 000 m<sup>3</sup>; 2次水声学调查的平均水深分别为 80.30 m、67.77 m; 向家坝水库的水面面积为 86.63 km<sup>2</sup>, 由此估算出 2次调查时向家坝水库的水体体积, 结合鱼类密度估算出 2020年 11月向家坝水库鱼类资源尾数约为 3.22×10<sup>6</sup> 尾,

2022年 5月约为 3.53×10<sup>6</sup> 尾。

## 3 讨论

### 3.1 水声学调查的可靠性

刺网作为被动性渔具, 在渔获物调查中存在一定的选择性, 很难将调查获得的鱼类数据与 TS 值进行精准匹配, 故只能参考 TS 值与体长经验公式来估算向家坝水库主要鱼类的体长范围。水声

学调查研究中, 调查对象的 TS 值与体长的换算公式一直是研究的重点与难点<sup>[23-25]</sup>。渔获物调查结果及历年参考资料表明, 向家坝水库鱼类种类以鲤形目 (Cypriniformes)、鲇形目 (Siluriformes) 等有鳔鱼类为主<sup>[26-27]</sup>。因此, 本实验参考 Foote<sup>[17]</sup> 于 1987 年建立的有鳔鱼类的经验公式估算向家坝水库主要鱼类的平均体长及体长范围, 对绝对资源量的评估结果产生一定的影响。但对于讨论不同调查时期鱼类密度、目标强度分析影响不大, 能够较为准确地反映向家坝水库鱼类资源现状及空间分布, 水声学探测方法适用于该水库鱼类资源评估研究。向家坝水库鱼类种类并不单一, 因此很难具体估算出某一类鱼类的资源量。若精确到鱼种的资源量评估, 需要在研究水域现场进行目标鱼类的单体目标强度测定, 建立该水域目标鱼种体长与 TS 值换算模型, 并在今后的研究中完善。

### 3.2 鱼类时空分布差异性分析

受疫情等客观因素的影响, 本研究分别于 2020 年 11 月 (秋冬季)、2022 年 5 月 (春夏季) 对向家坝水库进行水声学调查。春夏季和秋冬季的环境条件存在差异, 主要会对传统渔获物调查结果造成一定的影响, 比如渔获种类和数量、渔获物规格方面存在明显差异<sup>[28]</sup>。而水声学调查重点是评估鱼类的资源总量, 受到的影响相对较小。

从时间上看, 向家坝水库春夏季的鱼类平均目标强度显著小于秋冬季。造成该差异的原因是 4—6 月是金沙江鱼类繁殖季节, 很多鱼类在流速较高的支流完成产卵活动, 水体中的仔稚鱼数量大量增加, 因生长索饵的需求聚集在水体的中上层<sup>[29]</sup>。此外, 春夏季鱼类结束越冬, 繁殖活动频繁, 更容易被探测到; 秋冬季, 表层水体温度逐渐降低, 受越冬行为的驱使, 鱼类向深水区的石堆、洞穴等处聚集, 不利于水声学的探测<sup>[30]</sup>。渔获物调查结果也在一定程度上佐证了水声学探测的结果。相比于 2020 年 11 月, 2022 年 5 月的渔获物中以体型更小的蛇鲻为优势种类, 使得平均目标强度变得更低。同时, 2022 年的上层鱼类密度 ( $0.44 \pm 0.83$  尾/1000 m<sup>3</sup>) 显著大于 2020 年的上层鱼类密度 ( $0.06 \pm 0.15$  尾/1000 m<sup>3</sup>)。武智等<sup>[31]</sup> 在对北江石角水库进行水声学调查时发现, 鱼类春夏季 ( $-54.86 \pm 4.52$ ) dB 的目标强度显著小于秋冬季 ( $-48.77 \pm 8.03$ ) dB, 与本研究结果类似。但李祥艳<sup>[32]</sup> 的研究表明, 禁渔初期长江上游干流江段枯水期 (2020 年 12 月) 鱼类目标强度均值小于丰水期 (2021 年

5 月), 但无显著性差异。导致不同研究的结果存在差异原因复杂, 与研究水域地理环境的特点、调查时间、探测设备及参数的设置、区域鱼类种类组成和习性、数据分析方法等都存在联系。

在水平分布上, 2 次水声学调查的鱼类密度分布差异不显著, 部分区域呈现离坝越近水深越深, 而鱼类密度越低的分布格局, 这与 Power<sup>[33]</sup>、连玉喜等<sup>[34]</sup> 的研究结果类似。连玉喜等<sup>[34]</sup> 认为捕食压力是影响香溪河鱼类分布的一个重要原因, 水深的增大、水面的加宽使得小型鱼类面临着更高的被捕食风险。Fernandas 等<sup>[35]</sup> 认为河流交汇处存在温度梯度和漩涡, 聚集了丰富的营养物质和有机物, 是独特的栖息地。2 次水声学调查发现鱼类主要聚集支流的入江口、城镇附近。支流来水的汇入、城镇排放的生活污水带来大量营养物质, 使得水体营养水平升高, 饵料生物大量生长, 形成良好的索饵场所<sup>[36]</sup>。

垂直方向上, 向家坝水库鱼类密度在 2 次调查中均呈现底层>中层>表层的分布格局。连玉喜等<sup>[34]</sup> 在香溪河的研究中发现, 香溪河鱼类密度从表层到底层呈逐渐降低的趋势, 这与本研究结果并不一致。而任玉芹等<sup>[37]</sup> 在同属于三峡库区的彭溪河水声学调查中发现, 秋、冬季下层鱼类密度表现为下层>中层>上层, 春季下层鱼类密度大于中、上层, 与本研究结果完全一致。已有研究表明, 影响鱼类垂直分布的主要因素有鱼类生活习性、水温、溶解氧、饵料生物等<sup>[38-39]</sup>。鱼类存在昼夜垂直迁移现象, 白天多数鱼类喜欢在水底集群, 夜晚则向表层的温暖水域迁移<sup>[40]</sup>。因此, 为了更准确地评估向家坝水库鱼类资源与时空分布状况, 需要在不同季节进行重复探测以提高准确性。

### 3.3 十年禁渔效果评价

长江十年禁渔措施的实施不仅能大大地降低鱼类繁殖群体遭受的捕捞压力, 保护仔稚鱼的自然生长, 增加资源尾数与重量, 还在提高生物多样性、保护种间生态平衡等方面起到积极作用<sup>[41-43]</sup>。渔获物调查结果显示, 实施全面禁捕 2 年以来, 向家坝水库鱼类种类数、渔获数量及重量都有了显著地提升。通过 2 次水声学调查对比发现, 禁渔 2 年后向家坝库区的鱼类密度、资源估算尾数都明显大于禁渔前。这些结果表明, 向家坝水库鱼类种群资源的衰退趋势得到了一定程度的缓解, 全面禁捕的效果已初步显现。



但是2次渔获物调查发现的鱼类种类数依旧较少, 圆口铜鱼等保护物种未被监测到, 这可能与选取的调查地点、调查手段单一, 使用的调查网具种类较少有关。在后续的调查监测中, 应适当增设监测地点, 增加网具类型, 以期更好地掌握向家坝水库鱼类资源变动趋势, 为禁渔效果评估提供更加详实的数据支撑。

感谢云南省绥江县农业农村局在调查过程中提供了大量帮助。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(S1): 144-156.  
Liu F, Lin P C, Li M Z, *et al.* Situations and conservation strategies of fish resources in the Yangtze River Basin[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(S1): 144-156 (in Chinese).
- [2] 马金, 黄金玲, 陈锦辉, 等. 基于GAM的长江口鱼类资源时空分布及影响因素[J]. *水产学报*, 2020, 44(6): 936-946.  
Ma J, Huang J L, Chen J H. *et al.* Analysis of spatiotemporal fish density distribution and its influential factors based on generalized additive model (GAM) in the Yangtze River estuary[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(6): 936-946 (in Chinese).
- [3] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部关于长江流域重点水域禁捕范围和时间的通告 [EB/OL]. (2019-12-27)[2020-01-01]. [http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201912/t20191227\\_6334009.htm](http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201912/t20191227_6334009.htm).  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the Scope and Duration of Fishing Ban in Key Waters of the Yangtze River Basin [EB/OL]. (2019-12-27)[2020-01-01]. [http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201912/t20191227\\_6334009.htm](http://www.cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201912/t20191227_6334009.htm).
- [4] 云南省农业农村厅. 云南省农业农村厅在金沙江(长江干流)流域重点水域实施禁捕的通告 [EB/OL]. (2020-06-28)[2020-07-01]. [https://nync.yn.gov.cn/html/2020/zuixinwenjian\\_0628/384958.html](https://nync.yn.gov.cn/html/2020/zuixinwenjian_0628/384958.html).  
Yunnan Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs. Circular of Yunnan Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs on the Implementation of Fishing Ban in key waters of Jinsha River (main stream of Yangtze River) Basin [EB/OL]. (2020-06-28)[2020-07-01]. [https://nync.yn.gov.cn/html/2020/zuixinwenjian\\_0628/384958.html](https://nync.yn.gov.cn/html/2020/zuixinwenjian_0628/384958.html).
- [5] 陈大庆. 长江渔业资源现状与增殖保护对策[J]. *中国水产*, 2003(3): 17-19.  
Chen D Q. Fishery resources status of the Yangtze River and conservation strategies[J]. *China Fisheries*, 2003(3): 17-19 (in Chinese).
- [6] 陈大庆, 常剑波, 顾洪宾. 金沙江一期工程对保护区生态环境的影响与对策[J]. *长江科学院院报*, 2005, 22(2): 21-24.  
Chen D Q, Chang J B, Gu H B. Impacts of Jinsha River first stage project on ecology and environment of nature reserve and its countermeasures[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2005, 22(2): 21-24 (in Chinese).
- [7] Bianchi G, Gislason H, Graham K, *et al.* Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities[J]. *Journal of Marine Science*, 2000, 57(3): 558-571.
- [8] 但胜国, 张国华, 苗志国, 等. 长江上游三层流刺网渔业现状的调查[J]. *水生生物学报*, 1999, 23(6): 655-661.  
Dan S G, Zhang G H, Miao Z G, *et al.* A survey on the commercial trammel net fishery in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(6): 655-661 (in Chinese).
- [9] 任实, 刘亮, 张地继, 等. 溪洛渡-向家坝-三峡梯级水库水温分布特性[J]. *人民长江*, 2018, 49(3): 32-40.  
Ren S, Liu L, Zhang D J, *et al.* Research on water temperature distribution in Xiluodu-Xiangjiaba-Three Gorges cascade reservoirs[J]. *Yangtze River*, 2018, 49(3): 32-40 (in Chinese).
- [10] 李银银, 周建中, 张世钦, 等. 雅砻江-金沙江-长江梯级水电站群联合调度图研究[J]. *水力发电学报*, 2016, 35(4): 32-40.  
Li Y Y, Zhou J Z, Zhang S Q, *et al.* Combined dispatching charts of cascade hydropower stations on Yalong River, Jinsha River and Yangtze River[J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2016, 35(4): 32-40 (in Chinese).
- [11] 刘尚武, 张小峰, 吕平毓, 等. 金沙江下游梯级水库对氮、磷营养盐的滞留效应[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(3): 656-666.  
Liu S W, Zhang X F, Lv P Y, *et al.* Effects of cascade reservoirs in the low reaches of Jinsha River on nitrogen and phosphorus retention[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(3): 656-666 (in Chinese).
- [12] 龙良红, 徐慧, 纪道斌, 等. 向家坝水库水温时空特征及其成因分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(5): 738-746.

- Long L H, Xu H, Ji D B, *et al.* Temporal and spatial characteristics of water temperature in Xiangjiaba Reservoir[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(5): 738-746 (in Chinese).
- [13] Duncan A, Kubecka J. Hydroacoustic methods of fish surveys[M]. Bristol: National Rivers Authority, 1993: 136-196.
- [14] Duncan A, Kubecka J. Hydroacoustic methods of fish surveys[M]. Bristol: National Rivers Authority, 1994: 32-52.
- [15] 中华人民共和国水利部. SL\_167-2014 水库渔业资源调查规范 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL\_167-2014 Standards for the investigation of reservoir fishery resources [S]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 1997.
- [16] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志-中卷-硬骨鱼纲, 鲤形目 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 102-448. Editorial Committee of Zoology of China, Chinese Academy of Sciences. The Fauna of China-Middle Volume-Teleost, Cypriniformes [M]. Beijing: Science Press, 1998: 102-448.
- [17] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys[J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1987, 82(3): 981-987.
- [18] Misund O A. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1997, 7(1): 1-34.
- [19] 中华人民共和国农业农村部. SC/T 9429-2019 淡水渔业资源调查规范 河流 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2019. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. SC/T 9429-2019 Technical specification for freshwater fishery resources survey in river[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2019.
- [20] 陶江平, 艾为明, 龚昱田, 等. 采用渔业声学方法和GIS模型对楠溪江鱼类资源量及空间分布的评估[J]. *生态学报*, 2010, 30(11): 2992-3000. Tao J P, Ai W M, Gong Y T, *et al.* Assessment of fish abundance and distribution using fisheries acoustics and GIS modeling in the Nanxi River of Wenzhou City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(11): 2992-3000 (in Chinese).
- [21] Petitgas P. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1993, 50(3): 285-298.
- [22] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较[J]. *地球科学进展*, 2000, 15(3): 260-265. Li X, Cheng G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods[J]. *Advances in Earth Sciences*, 2000, 15(3): 260-265 (in Chinese).
- [23] Warner D M, Rudstam L G, Klumb R A. In situ target strength of alewives in freshwater[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2002, 131(2): 212-223.
- [24] Rudstam L G, Parker S L, Einhouse D W, *et al.* Application of in situ target-strength estimations in lakes: examples from rainbow-smelt surveys in Lakes Erie and Champlain[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2003, 60(3): 500-507.
- [25] 蔺丹清, 张辉, 李君轶, 等. 4种常见淡水养殖鱼类目标强度测定与差异分析[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 1-10. Lin D Q, Zhang H, Li J Y, *et al.* Target strength of four freshwater cultured fish species and a variance analysis[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 1-10 (in Chinese).
- [26] 王俊, 苏巍, 杨少荣, 等. 金沙江一期工程蓄水前后绥江段鱼类群落多样性特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(3): 394-401. Wang J, Su W, Yang S R, *et al.* Variation characteristics of fish biodiversity in Suijiang section before and after impoundment of first phase of Jinsha River hydropower project[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(3): 394-401 (in Chinese).
- [27] 李婷, 唐磊, 王丽, 等. 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[J]. *生态学报*, 2020, 40(4): 1473-1485. Li T, Tang L, Wang L, *et al.* Distribution characteristics and ecological types changes in fish communities under hydropower development from Xiluodu to Xiangjiaba reach[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(4): 1473-1485 (in Chinese).
- [28] 向伶俐, 秦强, 曾燊, 等. 基于水声学方法的嘉陵江中游蓬安段鱼类资源研究[J]. *水生态学杂志*, 2022, 43(4): 95-102. Xiang L L, Qin Q, Zhang Y, *et al.* Fish resource assessment in the Peng'an section of the Middle Jialin River based on hydroacoustic surveys[J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, 43(4): 95-102 (in Chinese).
- [29] 王珂, 段辛斌, 刘绍平, 等. 三峡库区大宁河鱼类的时空分布特征[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(3): 516-521. Wang K, Duan X B, Liu S P, *et al.* Survey on temporal and spatial distribution of fish in the Daning River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(3): 516-521 (in Chinese).
- [30] 宋聃, 都雪, 金星, 等. 基于水声学探测的镜泊湖鱼类时空分布特征及资源量评估[J]. *湖泊科学*, 2022, 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 34(6): 2095-2104.
- Song D, Du X, Jin X, *et al.* The characteristics of spatio-temporal distributions of fish resources in Lake Jingpo based on hydroacoustic assessment[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2022, 34(6): 2095-2104 (in Chinese).
- [31] 武智, 李捷, 朱书礼, 等. 基于水声学的北江石角水库鱼类资源季节变动及行为特征研究 [J]. *中国水产科学*, 2018, 25(3): 674-681.
- Wu Z, Li J, Zhu S L, *et al.* Seasonal variation of fish density and behavior in Shijiao Reservoir, Beijiang River by using hydroacoustic methods [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 674-681.
- [32] 李祥艳. 禁渔初期长江上游保护区干流江安-重庆江段鱼类时空分布特征 [D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- Li X Y. Spatial and temporal distribution characteristics of fish in the main stream of the upper Yangtze River reserve Jiangan-Chongqing section in the early period of closed fishing [D]. Chongqing: Southwest University, 2022.
- [33] Power M E. Predator avoidance by grazing stream fishes in temperate and tropical streams: importance of stream depth and prey size. Predation: direct and indirect impacts in aquatic communities [M]. Hanover: University Press of New England. 1987, 333-351.
- [34] 连玉喜, 黄耿, Godlewska M, 等. 基于水声学探测的香溪河鱼类资源时空分布特征评估[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(5): 920-929.
- Lian Y X, Huang G, Godlewska M, *et al.* Hydroacoustic assessment of spatio-temporal distribution and abundance of fish resources in the Xiangxi River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(5): 920-929 (in Chinese).
- [35] Fernandes C C, Podos J, Lundberg J G. Amazonian ecology: tributaries enhance the diversity of electric fishes[J]. *Science*, 2004, 305(5692): 1960-1962.
- [36] 郭劲松, 陈杰, 李哲, 等. 156 m蓄水后三峡水库小江回水区春季浮游植物调查及多样性评价[J]. *环境科学*, 2008, 29(10): 2710-2715.
- Guo J S, Chen J, Li Z, *et al.* Investigation of phytoplankton and assessment of Algal diversity on Backwater Area of Xiaojiang River in Three Gorges Reservoir after its initiate impounding to the water level of 156 m in spring[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(10): 2710-2715 (in Chinese).
- [37] 任玉芹, 陈大庆, 刘绍平, 等. 三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学研究[J]. *生态学报*, 2012, 32(6): 1734-1744.
- Ren Y Q, Chen D Q, Liu S P, *et al.* Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(6): 1734-1744 (in Chinese).
- [38] Brosse S, Lek S, Dauba F. Predicting fish distribution in a mesotrophic lake by hydroacoustic survey and artificial neural networks[J]. *Limnology and Oceanography*, 1999, 44(5): 1293-1303.
- [39] Brandt S B, Gerken M, Hartman K J, *et al.* Effects of hypoxia on food consumption and growth of juvenile striped bass (*Morone saxatilis*)[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 381(12): S143-S149.
- [40] 连玉喜, 叶少文, 黄耿, 等. 三峡库区香溪河鱼类资源水声学探测效果的昼夜差异研究[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(5): 1041-1045.
- Lian Y X, Ye S W, Huang G, *et al.* Diurnal variation of fish resource estimated by hydroacoustical method of Xiangxi River in the Three Gorges Reservoir[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(5): 1041-1045 (in Chinese).
- [41] 徐东坡, 张敏莹, 刘凯, 等. 长江安庆江段春禁前后渔业生物多样性变化[J]. *安徽农业大学学报*, 2006, 33(1): 76-80.
- Xu D P, Zhang M Y, Liu K, *et al.* Biodiversity variation of fishery community in Anqing section of the Yangtze River before and after the spring closed season[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2006, 33(1): 76-80 (in Chinese).
- [42] 段辛斌, 刘绍平, 熊飞, 等. 长江上游干流春季禁渔前后三年渔获物结构和生物多样性分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(6): 878-885.
- Duan X B, Liu S P, Xiong F, *et al.* Analysis of fishing structure and biodiversity in the upper mainstream of the Yangtze River before and after three years' spring fishing off[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(6): 878-885 (in Chinese).
- [43] 贾春艳, 王珂, 李慧峰, 等. 禁渔初期东洞庭湖鱼类资源的空间分布与密度变化[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(3): 48-56.
- Jia C Y, Wang K, Li H F, *et al.* Spatial distribution and density changes of fish resources in East Dongting Lake during early fishing ban period[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(3): 48-56 (in Chinese).

## Acoustic study of fish resources in Xiangjiaba Reservoir in the lower reaches of Jinsha River during the early period of ten-year fishing ban

HU Feifei, ZHU Tingbing, GONG Jinling, DU Hongchun,  
MENG Zihao, GUO Zhibin, YANG Deguo\*

(Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** The Yangtze River is the longest river in China, with the richest fish resources in inland China. With the rapid economic development of the Yangtze River basin in recent decades, the intensity of human activities has been increasing, and the fish resources in the Yangtze River basin have declined sharply. To protect the ecological environment in the Yangtze River Basin, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs has decided to ban fishing in key waters for 10 years. In order to scientifically evaluate the preliminary implementation effect of the ten year fishing ban policy in the reservoir at the lower reaches of the Jinsha River, the catch and hydroacoustic survey were carried out in Xiangjiaba Reservoir at the lower reaches of the Jinsha River in November 2020 and May 2022, and the changes of fish resources were analyzed. The results of catch survey showed that 9 species of fish belonging to 2 families were collected in November 2020, among which *Hemiculter leucisculus* and *Pelteobagrus vachelli* were dominant; In May 2022, 14 species of fish were found in 5 families, with *Saurogobio dabryi* and *Pelteobagrus vachelli* predominating. The results of hydroacoustic survey showed that there were significant differences in the distribution of fish target strength among different years, different regions and different water layers. The fish density in May 2022 (0.60 ind./1 000 m<sup>3</sup>) was higher than that in November 2020 (0.46 ind./1 000 m<sup>3</sup>). The spatial and temporal distribution of fish resources was not uniform. There were some differences in the densely populated areas of fish in different survey periods. In November 2020, there was no significant difference among most areas, while in May 2022, there was a significant difference. The density of upper layer fish in May 2022 (0.44±0.83 ind./1 000 m<sup>3</sup>) was significantly higher than that in November 2020 (0.06±0.15 ind./1 000 m<sup>3</sup>). The distribution of fish in different water layers was significantly different, and the lower layer density was higher than the middle and upper layers. The estimated fish resources in Xiangjiaba Reservoir were 3.22×10<sup>6</sup> ind. (2020) and 3.53×10<sup>6</sup> ind. (2022), respectively. The method of hydroacoustic survey is suitable for the monitoring of fish resources after the total fishing ban. In general, the method of hydroacoustic survey is suitable for the monitoring of fish resources in the reservoirs at the lower reaches of Jinsha River, and fish resources in Xiangjiaba Reservoir area have been recovered to some extent after the implementation of the ten-year fishing ban.

**Key words:** fish resources; ten-year fishing ban; hydroacoustics; lower reaches of Jinsha River; Xiangjiaba Reservoir

**Corresponding author:** YANG Deguo. E-mail: yangdg@yfi.ac.cn

**Funding projects:** Special Project of Agriculture Finance “Investigation on Fishery Resources and Environment of Yangtze River”(CJDC-2017-22); Special Project of Agriculture Finance “Special Regular Monitoring after Fishing Ban of Yangtze River”(CJJC-2022-04); China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-46); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD57)