

基于水声学方法的嘉陵江中游蓬安段鱼类资源研究

向伶俐¹, 秦强², 曾燊¹, 张富斌², 吕振宇¹, 何欣曼¹, 毛聆¹, 马佳¹

(1. 西华师范大学生命科学学院, 国家淡水渔业工程技术研究中心(武汉)西南分中心, 四川南充 637009;

2. 西华师范大学环境科学与工程学院, 四川南充 637009)

摘要: 研究嘉陵江中游鱼类资源时空动态特征, 了解变化过程及影响因素, 提出嘉陵江鱼类资源保护的建议和措施, 同时为长江上游及其支流的鱼类资源保护提供基础数据。2018 年 7 月(夏)、10 月(秋)以及 2019 年 1 月(冬)、4 月(春), 运用 Biosonics DT-X 分裂波束科学回声探测器对嘉陵江中游蓬安段金溪航电工程干流江段进行了水声学探测, 并辅以常规渔获物调查。共采集到鱼类 6 科 38 种, 其中蛇鮈、鲫、银鲃、黄尾鲴等中小型鱼类在数量上占优; 鱼类密度分别为春季(0.8296 ± 0.43)、夏季(0.8705 ± 0.38)、秋季(0.5082 ± 0.25)、冬季(0.3939 ± 0.13) 尾/ m^3 ; 鱼体平均目标强度分别为春季(-63.15 ± 5.03)、夏季(-52.85 ± 14.45)、秋季(-46.42 ± 15.85)、冬季(-44.77 ± 15.28) dB; 鱼体平均重量分别为春季 0.03、夏季 1.08、秋季 11.19、冬季 20.40 g/尾; 鱼类资源量分别为春季 0.4096、夏季 0.2907、秋季 0.3919、冬季 0.5622 kg/ m^3 ; 坝下鱼类密度显著高于坝上($F=12.67, P<0.05$); 坝上($F=7.02, P<0.05$)和坝下($F=19.99, P<0.05$)3 个水层之间的鱼类密度差异显著, 中层鱼类密度显著高于上层和下层($P<0.05$), 且总体上夏季各水层的鱼类密度要高于其他季节。后续研究应加强对该江段鱼类资源的动态监测, 并重点探讨引起鱼类资源动态变化的关键影响因子。

关键词: 鱼类资源; 水声学; 嘉陵江

中图分类号: S932.4

文献标志码: A

文章编号: 1674-3075(2022)04-0095-08

随着人类社会经济迅速发展和城镇化进程加速推进, 水电梯级开发已经成为人类对河流生态系统改变最显著、影响最严重的活动之一(任丽平, 2012; 常涛和刘焕章, 2020)。嘉陵江是长江上游北岸第一大支流, 丰富的水能资源为航电梯级工程开发提供了得天独厚的条件, 进而促进了航运、防洪、灌溉、发电等诸多方面的发展, 但是航电梯级工程的建设却不可避免地改变了嘉陵江流域的自然生态环境, 对河流生态系统尤其是对鱼类群落产生了诸多不可逆的影响(谌柯等, 2007; 邓其祥等, 1989)。对嘉陵江流域鱼类资源开展生态学等相关研究已迫在眉睫。

对鱼类资源的动态进行探讨是开展鱼类生态学研究的基础。随着水声学技术的不断发展和完善, 运用水声学的方法研究鱼类资源及其动态过程成为可能并受到了国内外研究人员的广泛关注与应用。相较于传统的调查方法, 水声学方法具有快速高效、

安全环保、覆盖面广、准确度高、可重复性强、数据连续性好等诸多优点(张俊, 2011)。Boswell 等(2007)运用回声探测器研究了美国路易斯安那州浅水河口生境中鱼类的资源量和分布情况, 谭细畅等(2009)运用 EY60 回声探测器对青海湖的鱼类资源进行了探测评估。

国内运用水声学的方法开展鱼类生态学相关的研究起步较晚, 且目前多集中于探究长江中下游的大型湖泊和水库鱼类资源现状(谢意军等, 2016; 孙明波等, 2013; 陶江平等, 2008), 而对于长江上游尤其是嘉陵江鱼类资源及其动态的研究目前尚未见报道。本研究利用 Biosonics DT-X 分裂波束科学回声探测器对嘉陵江中游的鱼类资源时空动态特征进行了分析, 以期了解嘉陵江鱼类资源的时空动态变化过程及影响因素, 为嘉陵江鱼类资源的保护和恢复提出合理的建议和有效的措施, 同时为长江上游及其支流的鱼类资源保护提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

嘉陵江($29^{\circ}18' \sim 34^{\circ}30' N$, $102^{\circ}33' \sim 109^{\circ}00' E$)发源于陕西省秦岭南麓, 属于长江上游左岸的大型一级支流, 全长共计 1 120 km, 流域面积 16 万 km^2 , 流经陕西、甘肃、四川、重庆三省一市, 于重庆市朝

收稿日期: 2021-08-02

基金项目: 国家自然科学基金(51779210, 31901219); 西华师范大学科研基金(19C007, 18Q35)。

作者简介: 向伶俐, 1996 年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: 1428913718@qq.com

通信作者: 曾燊, 1981 年生, 男, 博士, 教授, 研究方向为鱼类生态学。E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn

天门汇入长江(张缓缓,2016;曾燊,2012)。其中,河源至昭化为上游江段,昭化至合川为中游江段,合川至重庆河口为下游江段。本研究区域处于嘉陵江中游,具体位置为南充市蓬安县金溪航电工程干流江段,地处四川盆地东北部。该区域地形以丘陵为主,海拔273~819 m,年平均气温17.6℃左右,降水集中在夏秋季(张缓缓,2016;蓬安县志编纂委员会,1994)。

1.2 水声学调查

本研究于2018年7月(夏)、10月(秋)和2019年1月(冬)、4月(春)对嘉陵江中游蓬安段金溪航电工程干流江段进行了4次水声学调查。研究区域全长8.3 km(坝下4.5 km,坝上3.8 km),调查路线采用“之”字形走航方式(图1)。调查区域坝上江段平均水深17.59 m,最大水深为夏季的43.73 m;坝下江段平均水深9.99 m,最大水深为夏季的32.68 m。每次调查在获得当地渔政部门批准后通过租赁普通渔船进行。采用美国Biosonics DT-X分裂波束科学回声探测器对研究区域进行水声学调查,换能器的工作频率为200 kHz,波束张角6.8°,脉冲频率4 pps,脉冲宽度0.4 ms,目标强度的最小阈值为-130 dB,时变增益(TVG)40lgR。在调查前使用厂家配备的直径36 mm的碳化钨标准球对仪器进行实地校准。将回声探测器换能器标准配置的铁架固定于渔船船舷,采用探头垂直向下探测,入水约0.5 m,航速控制在2~3 m/s,同时通过Garmin Oregon 450 GPS实时采集地理坐标数据。在实际调查过程中,受到水域中岩石、浅滩、渔网、陇道以及船舶等的影响,实际路线与规划路线存在一定的差异,往往在背景噪声能承受的范围内适时调整船速,同时,每次走航调查时间均为水面都相对平静的傍晚时分,以减少噪声干扰。最后,通过便携式笔记本电脑预装的Biosonics Acquisition 6 软件对采集到的水声学数据和GPS数据进行记录。

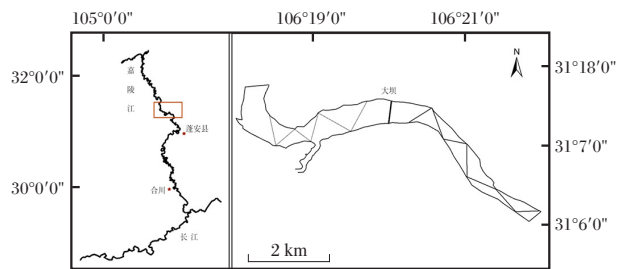


图1 嘉陵江蓬安段金溪航电工程水声学探测区域及路线
Fig.1 Study area and hydroacoustic survey route in the Peng'an section of Jialing River

1.3 渔获物调查

了解鱼类种类组成及其分布情况,水声学调查期间用刺网(网目4 cm)、地笼(网目0.6 cm)等在调查断面随机取样调查;对捕捞的渔获物进行种类鉴定与数量统计后用10%的甲醛保存带回实验室进一步测量鉴定。种类鉴定主要参照《四川鱼类志》(丁瑞华,1994)。

1.4 数据处理与分析

使用 Visual Analyzer 4.1 软件对收集的水声学数据进行转换分析。由于通过回声探测器收集的鱼类信号比较分散,为尽可能地降低噪声的影响,人为去除了换能器水平面下1 m和探测底部以上0.5 m的回声信号探测盲区和干扰较大的区域。所有调查断面的回波图经过仔细检查,必要时进行手动编辑重新生成底面。根据回波图的特征将目标信号之外的背景噪声如气泡、船发出的噪声干扰等手动去除。为了屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号,将目标强度回波映像中的最小阈值设置为-70 dB,单体回声识别参数设置如表1。参数设置好后采用轨迹跟踪分析法(Tracking analysis)进行自动判别计数(表2),再根据轨迹跟踪技术和探测水体体积计算鱼类密度。

表1 Visual Analyzer 4.1 数据分析参数设置
Tab.1 Parameter configuration of Visual Analyzer 4.1

参数	设置
回声阈值/dB	-70
水体吸收系数/dB·m ⁻¹	0.00808
相关系数	0.9
最小脉冲宽度系数	0.75
最大脉冲宽度系数	3
终止脉冲宽度/dB	-12
最大增益补偿/dB	6

表2 轨迹跟踪参数设置
Tab.2 Parameters for fish tracing

类别	参数	值
追踪检测	长短轴和范围的α值	0.7
	长短轴和范围的β值	0.5
目标阈值	剔除距离/m	0.2
	长轴/%	30
权重	短轴/%	30
	范围/%	40
	最少单体目标数	2
接受追踪	最少脉冲数	3
	单体目标间最大间隔	3

鱼体的全长根据 Foote(1983)提出的鲤科鱼类目标强度(Target strength, TS)与全长(Total length, TL)的经验公式(TS-TL)推算得出:

$$TS=20lgTL-67.5$$
①

式中:TS表示鱼体的目标强度(dB);TL表示目标鱼体全长(cm);67.5为常数,通过实体鱼水声学探测实验获得。

鱼体全长(TL)和重量(Weight, W)之间的换算,采用鲢 W-TL 经验公式(Ye et al, 2007):

$$W=0.0052\times TL^{3.162}$$
②

式中:W为鱼体重量(g),TL为鱼体全长(cm)。

在本次调查的金溪航电工程干流江段,以3 000个 Pings 为1个采样单元,共获得134个采样单元。根据各个采样单元的密度求出整个走航区域的密度平均值,结合调查区域水体体积估算鱼类密度和资源量。计算公式(唐启升和王为祥,1995;凌建忠等,2008):

$$B=\rho\times W$$
③

式中:B为可捕资源量,ρ为鱼类密度,W为鱼体重量资源量。

根据轨迹跟踪计数法估算每个探测单元的鱼体密度,并通过各个探测单元中心的GPS位点信息,基于反距离插值法运用 ARCGIS 绘制嘉陵江蓬安段金溪电站坝上与坝下鱼类密度水平分布图(Petitgas, 1993;Li et al, 2000)。与此同时,为了探讨研究区域鱼类在垂直方向上的分布规律,在提取数据时根据

水深将调查水体平均划分为上层(0~33%)、中层(33%~66%)和底层(66%~100%)(任玉芹等,2012),再分别计算各个水层的鱼类密度,然后通过 one-way ANOVA 分析检验鱼类在垂直方向上的分布差异,如果方差分析结果差异显著,则进一步运用 LSD 检验法进行多重比较(余建英和何旭宏,2003)。

本研究所有数据统计、分析及作图在 Microsoft Excel 2019 软件和 Rstudio Version 1.3.1 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 渔获物组成

走航调查期间,共统计渔获物 23 738 尾(表 3)。共鉴别鱼类 38 种,隶属于 3 目 6 科。其中鲤科 29 种,占总数的 69.90%;鲮科 4 种,占总数的 13.25%;虾虎鱼科和鲃科各 1 种,分别占总数的 8.69%和 7.80%;鲴科 2 种,沙鳅科 1 种,共占总数的 0.34%。

蛇鮈、鲫为优势种,在渔获物中的数量比例分别为 13.83%、11.13%。银飘鱼、黄尾鲮、似鲃、子陵吻虾虎鱼、鲮、黄颡鱼为亚优势种,在渔获物中的数量比例分别为 8.92%、9.97%、5.64%、8.69%、7.67%、7.80%、7.72%;唇鲮、中华鲮、大鳍鲮、岩原鲤等为偶见种,在渔获物中的数量比例低于 0.10%。渔获物体长范围 2.6~79 cm,平均 13.3 cm;体重范围 1.3~8000 g,平均 109.4 g。鲮、鲤、鲴等经济鱼类占渔获物重量的 50%以上,但在渔获物数量组成比例上不足 1%。

表3 水声学调查期间渔获物主要种类统计
Tab.3 Species composition of the fish detected during the hydroacoustic survey

渔获物		体长范围/mm	平均体长/mm	重量/g	数量/尾	数量比例/%
鲤科	蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	68~177	110.48±23.89	64445.29	3283	0.1383
	鲫 <i>Cyprinus auratus auratus</i>	55~70	62.00±21.35	46546.17	2643	0.1113
	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	63~204	120.58±25.31	41254.49	1823	0.0768
	银飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	75~187	134.26±30.32	47359.65	2119	0.0892
	似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	58~156	106.29±22.01	41906.73	1340	0.0565
	黄尾鲮 <i>Xenocypris davidi</i>	71~203	122.80±47.39	142462.53	2367	0.0997
	唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	104~142	125.27±36.65	11500.00	23	0.0009
	大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	50~103	82.63±16.17	250.28	18	0.0008
	中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	26~46	31.00±10.05	24.23	4	0.0002
	岩原鲤 <i>Procypris rabaudi</i>	165~212	182.31±34.67	6340.15	16	0.0007
	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	135~186	155.00±27.22	67266.53	158	0.0066
	鲮 <i>Aristichthys nobilis</i>	320~790	450.00±140.50	366025.00	121	0.0051
	黄颡鱼 <i>Pseudobagrus fulvidraco</i>	63~93	86.67±5.50	19303.92	1834	0.0773
鲃科	鲃 <i>Siniperca chuatsi</i>	95~134	102.25±15.25	76725.00	1852	0.0780
虾虎鱼科	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius similis</i>	44~71	54.8±6.51	5199.59	2064	0.0869
鲴科	鲴 <i>Silurus asotus Linnaeus</i>	330~750	452.00±90.42	50943.10	70	0.0030

2.2 鱼类资源量季节变化

嘉陵江蓬安段金溪航电工程干流江段鱼类的平均密度，春季为 (0.8296 ± 0.43) 尾/ m^3 ，夏季为 (0.8705 ± 0.38) 尾/ m^3 ，秋季为 (0.5082 ± 0.25) 尾/ m^3 ，冬季为 (0.3939 ± 0.13) 尾/ m^3 。鱼体的平均目标强度，春季为 (-63.15 ± 5.03) dB，夏季为 (-52.85 ± 14.45) dB，秋季为 (-46.42 ± 15.85) dB，冬季为 (-44.77 ± 15.28) dB。见图 2。鱼体的平均重量，春季为 0.03 g/尾，夏季为 1.08 g/尾，秋季为 11.19 g/尾，冬季为 20.40 g/尾。结合鱼类密度和鱼类个体的平均重量估算金溪电站干流江段春夏秋冬四季鱼类资源量分别为 0.4096、0.2907、0.3919、0.5622 kg/ m^3 (图 3)。

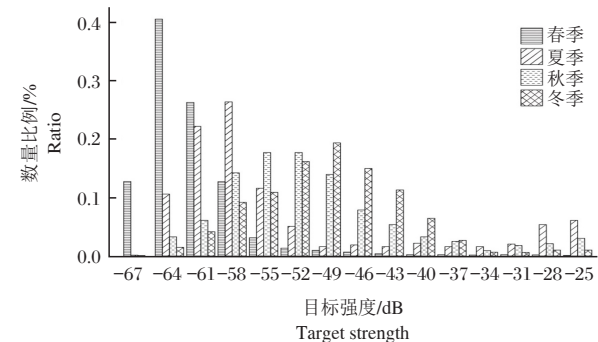


图 2 嘉陵江蓬安金溪干流鱼体目标强度
Fig.2 Distribution of target strength in the Peng'an section of Jialing River

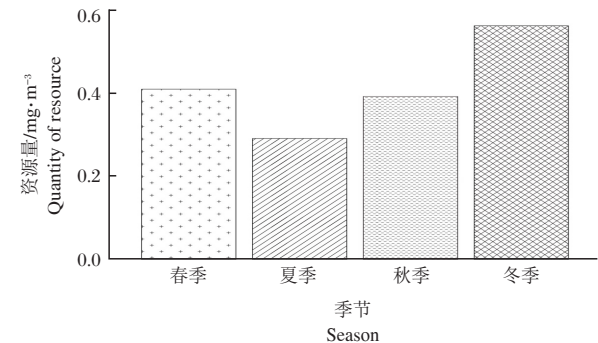


图 3 嘉陵江蓬安金溪干流鱼类资源量
Fig.3 Seasonal variation of fish resource in the Peng'an section of Jialing River

2.3 鱼类水平分布特征与季节变化

嘉陵江蓬安段金溪航电工程干流江段鱼类密度 $(-69.48\sim-25.92)$ dB 水平分布见图 4、图 5。水平方向上蓬安段金溪航电工程坝上与坝下不同水域鱼类密度分布不均匀，坝下鱼类密度显著高于坝上 $(F=12.67, P<0.05)$ 。在该江段春季、夏季、秋季、冬季探测到的鱼体密度范围分别为 0.16~3.53、0.11~3.36、0.07~1.09、0.05~0.90 尾/ m^3 ，且在不同季节的探测结果也表明坝下鱼类密度要高于坝上。加权平均法计

算结果，鱼类总体密度春季 (1.7410 ± 0.92) 尾/ m^3 、夏季 (1.6593 ± 0.69) 尾/ m^3 、秋季 (1.0165 ± 0.37) 尾/ m^3 、冬季 (0.7878 ± 0.26) 尾/ m^3 ，春夏季与秋冬季之间存在一定差异。

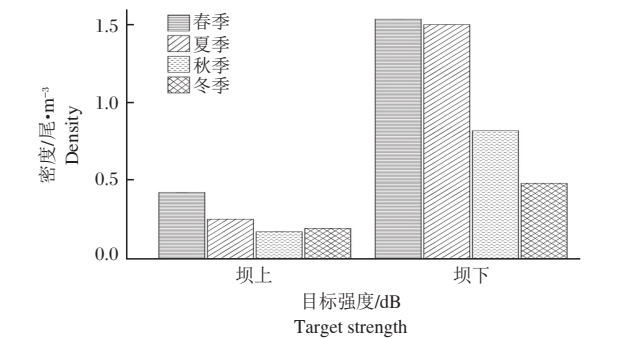


图 4 金溪电站坝上坝下鱼类水平分布及季节变化特征
Fig.4 Horizontal distribution and seasonal variation of fish resources in the upper and lower reservoir of Jinxi hydropower station

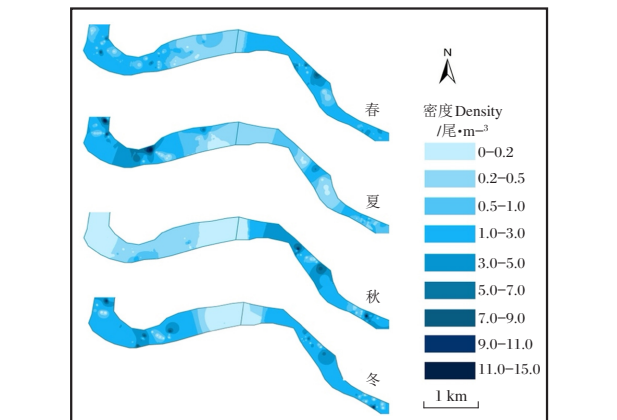


图 5 金溪电站坝上坝下鱼类密度水平分布
Fig. 5 Horizontal distribution of fish density in the upper and lower reservoir of Jinxi hydropower station

2.4 鱼类垂直分布特征与季节变化

嘉陵江蓬安段金溪电站干流江段鱼类密度 $(-69.48\sim-25.92)$ dB 垂直分布特征见图 6。坝上 3 个水层之间的鱼类密度存在显著性差异 $(F=7.02, P<0.05)$ ，坝下 3 个水层之间的鱼类密度也存在显著性差异 $(F=19.99, P<0.05)$ ，多重比较(LSD)进一步发现中层的鱼类密度显著高于上层和下层 $(P<0.05)$ 。总体上夏季各水层的鱼类密度均要高于其他季节，尤其在中层水域夏季鱼类密度显著高于其他季节 $(P<0.05)$ 。

3 讨论

3.1 水声学探测目标体长推算与渔获物分析

2018~2019 年 4 次水声学调查结果显示鱼类目标强度主要集中在 $-69\sim-37$ dB $(0.84\sim33.50)$ cm，春季、

夏季、秋季、冬季在该信号区间鱼类数量所占比例分别为99.3%、84.9%、92.2%、96.7%。在渔获物调查中,蛇鮈、鲫、银鲃、黄尾鲴、似鳊、子陵吻虾虎鱼、鳊、黄颡鱼等优势种的全长范围为4.4~20.4 cm,它们在渔获物中总的数量占比为81.37%。由此可见,水声学探测和渔获物调查的结果较为一致,水声学探测到的鱼体信号大部分都是捕获到的种类。此次水声学探测到的总目标强度范围为-69.48~-25.92 dB(0.80~120 cm),而捕获到的渔获物的体长范围为2.6~79 cm。我们认为此结果是合理的,原因可能是由于捕捞网具的网目较大,使得较小的鱼苗被捕获到的可能性较小。对于水声学调查探测到的最大渔获物(体长79 cm的鲇)范围之上的目标信号,我们推测可能是鲇、鲤。此前有文献记录该江段捕获过体长84 cm的鲤(张缓缓,2016)。此外,也不排除河底的石头、水中杂物等的干扰。

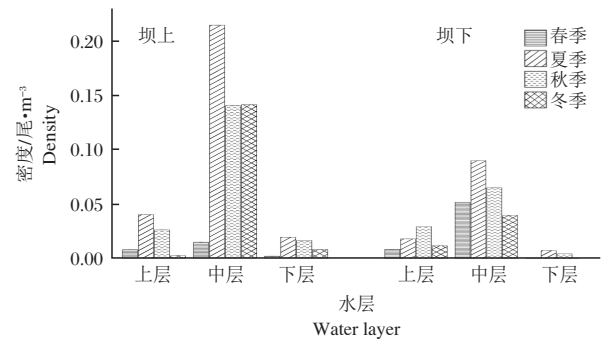


图6 不同水层的鱼类密度

Fig.6 Fish density in different water layers

本次水声学调查期间,渔获物共计23738尾,38种,主要以中小型鱼类为优势种。与历史资料记录的1980年中游129种、2015年的57种(四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组,1980;张缓缓,2016)相比,种类明显减少。此外,鲤、鲇、鳊等大型经济鱼类的数量较少,并且个体也有小型化的趋势。孙立元等(2014)对向家坝至宜宾江段的水声学调查结果表明,无论是声学数据还是渔获物数据,调查到的鱼类平均体长范围都远大于本研究江段。长吻鮠、胭脂鱼、中华倒刺鲃等物种在本次调查中均未采集到。嘉陵江蓬安段鱼类资源的物种组成与各物种资源现状的年际差异,在很大程度上受到航电枢纽站的修建及人类捕捞因素的影响。

3.2 鱼类资源量季节变化

对鱼类资源量变化的准确评估在渔业生产管理、珍稀濒危物种保护以及鱼类物种多样性维护等方面具有关键作用(李君轶,2014;Lorenzen et al,

2016)。本研究结果显示,嘉陵江蓬安段金溪航电工程干流江段鱼类平均密度春夏季节较高、秋冬季节则相对较低;而鱼类资源量则呈现出春夏季节较低而秋冬季节较高的变化特征。本研究结果与连玉喜等(2015)关于香溪河鱼类资源量的研究结果具有一致性。同时,对大量的鱼类资源调查结果进行总结发现,鱼类密度峰值一般会出现禁渔期末或渔业捕捞活动初期,鱼类密度低值则出现在渔业捕捞活动末期或禁渔期初期(刘艳佳等,2019;刘爱霞,2017)。2016年农业农村部对长江流域禁渔期制度作出了较大调整,将长江流域禁渔时间统一为每年的3月1日0时至6月30日24时,即禁渔期为每年春季和夏季早期(衣艳荣和余向东,2018)。在禁渔期内,大量亲鱼进行繁殖活动,且受渔业捕捞活动等人为干扰较小,新生的仔稚鱼极大地补充了鱼类群体数量,因此在春夏季鱼类密度较高。而在禁渔期之后,渔业捕捞活动频繁,并且在秋冬季鱼类逐步进入深水区的岩缝等水声学探测盲区进行越冬,因此鱼类密度在秋冬季逐渐下降。研究江段秋冬季的鱼类资源量要明显高于春夏季,则可能是因为鱼类在春季繁殖产生了大量的仔稚鱼,其数量虽多但个体相对较小,鱼类资源量在春夏季较低;在经过春夏季的生长和育肥后,鱼类个体增大,鱼类资源量在秋冬季较高。张缓缓(2016)的研究也表明,嘉陵江蓬安段春夏季温度高,浮游生物等大量繁殖,有利于鱼类摄取更多营养物质,为该江段鱼类秋冬季的育肥提供了良好的基础条件。

3.3 鱼类空间分布与季节变化

在水平方向上,坝下鱼类密度要高于坝上鱼类密度,并且夏季鱼类总体密度最高,春季稍低,整体上春夏季的鱼类总体密度要高于秋冬季节。因此,在水平方向上坝上鱼类密度小于坝下,鱼类资源水平分布呈现出不均匀状态。王珂(2013)对三峡库区鱼类资源在水平方向上进行研究也表明,三峡库区鱼类资源在水平方向上分布不均匀,表现为鱼类密度从下游到上游不断增大。而且我们的研究发现坝上鱼类TS均值要小于坝下鱼类,这可能与坝上坝下环境差异造成的鱼类物种组成差异有关。有研究发现坝下较浅的区域饵料资源更加丰富,并且大型捕食者也比较少,鱼类密度往往高于深水区(Blaber et al,1980)。该结果也从侧面验证了嘉陵江蓬安段金溪航电工程干流江段鱼类资源在水平方向上分布不均匀的结论。

在垂直方向上,无论是坝上还是坝下,上层和中层、中层和底层水域之间鱼类密度差异显著,中层的

鱼类密度显著大于上层和下层,且总体上各水层的鱼类密度夏季最高。石妮(2019)对长江重庆段鱼类时空分布的研究结果表明,春冬季上层鱼类密度显著大于中层和下层,且冬季鱼类密度高于春季。鱼类资源的空间分布受多种生物因子(如饵料生物、捕食作用等)和非生物因子(如流速、温度、水深等)的共同影响(邱永松,1988;Paramo et al,2003),不同江段鱼类资源的时空分布各异。本研究中浮游生物的垂直分布差异可能是造成鱼类垂直分布差异的主要原因。渔获物调查发现,研究江段滤食性和杂食性鱼类在渔获物中的比例达到了 69.86%,而浮游生物是滤食性鱼类(鲢、鳙等)和杂食性鱼类(鲫、黄颡鱼等)饵料资源的重要组成部分。有研究表明,鱼类的分布和食物的可利用性密切相关,从饵料生物角度出发对于探讨鱼类的动态分布特征是十分重要的(Jorgensen,1996;蔡晓明,2000;刘建康,1999)。此外,有研究发现水温是影响鱼类的生理变化和生活史过程的重要因子(Beitinger,1979)。在本研究江段,春夏秋冬 4 次水声学调查的平均表层水温分别为 16.5、26.79、23.38、11.5℃,夏季水温变化最大,可能是导致夏季各水层鱼类密度较高的原因之一。坝上江段平均水深接近 18 m,还可能存在温跃层现象,影响该江段鱼类的垂直分布。夏季不同垂直水层间存在典型的温跃层现象是造成天目湖鱼类空间分布不均匀的主要原因(张运林等,2004;孙明波等,2015)。水温变化使水体分层,水底长期处于缺氧状态,促进上层浮游动植物的生长,进而影响鱼类的空间分布(Komatsu et al,2007)。调查期间渔船的活动以及不同水层间光线强弱等也会影响鱼类的垂直分布(Mowbray,2002)。

3.4 鱼类资源保护建议

本研究运用水声学方法对陵江中游蓬安段金溪航电工程干流江段鱼类资源时空动态特征进行了初步分析,研究发现该研究区域鱼类资源在水平和垂直空间上以及在季节上均呈现出一定的动态变化。基于该江段鱼类资源的时空动态变化特征,我们建议:(1)随着 2021 年 1 月 1 日起长江流域十年禁捕工作的全面实施,渔业资源必将得到有效的恢复,但不同鱼类的生活史特征(性成熟周期、生长速率等)有差异,不同鱼类资源的恢复时间长短也就不尽相同,需要科学地制定监测计划,跟踪鱼类群落组成的变化;(2)根据鱼类物种的生态习性制定相应的保护措施,重点关注珍稀特有鱼类物种资源的动态变化,在必要时辅以人工增殖放流以促进资源恢复;(3)在后续的

研究中应该加强对该江段鱼类资源的动态监测,并探讨引起鱼类资源动态变化的关键影响因子。

参考文献

- 蔡晓明,2000. 生态系统生态学[M]. 北京:科学出版社.
- 常涛,刘焕章,2020. 密西西比河干流大坝建设对鱼类的影响及保护措施[J]. 水生生物学报,44(6): 1330–1341.
- 谌柯,罗明云,张崇昆,等,2007. 嘉陵江干流(南充段)梯级航电开发对生态环境的影响和对策研究[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), (2): 195–199.
- 邓其祥,杜培荣,阳坤琦,1989. 嘉陵江水工建筑对鱼类资源影响的预测及建议 [J]. 四川师范学院学报(自然科学版),10(4): 337–343.
- 丁瑞华,1994. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社.
- 李君轶,2014. 长江上游鱼类保护区干流渔获物组成及鱼类空间分布的研究[D]. 武汉:华中农业大学.
- 连玉喜,黄耿,Malgorzata,等,2015. 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, (5): 920–929.
- 凌建忠,严利平,李建生,2008. 应用资源密度面积法估算东海区头足类资源量[J]. 海洋渔业,30(1): 56–61.
- 刘爱霞,2017. 休渔期前后大亚湾渔业资源变动初步研究[J]. 海洋与渔业,2(25): 60–61.
- 刘建康,1999. 高级水生生物学[J]. 北京:科学出版社.
- 刘艳佳,高雷,郑永华,等,2019. 湘江汨罗江段鱼类资源季节变化及洄游特征研究[J]. 淡水渔业,49(2): 51–58.
- 蓬安县志编纂委员会,1994. 蓬安县志[M]. 成都:四川辞书出版社.
- 邱永松,1988. 南海北部大陆架鱼类群落的区域性变化[J]. 水产学报,12(4): 303–313.
- 任丽平,2012. 嘉陵江(四川段)梯级开发的多尺度健康评价研究[D]. 重庆沙坪坝:重庆大学.
- 任玉芹,陈大庆,刘绍平,等,2012. 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,32(6): 1734–1744.
- 四川省嘉陵江水系鱼类资源调查组,1980. 嘉陵江水系鱼类资源调查报告[M].
- 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等,2013. 基于水声学方法的天目湖鱼类空间分布和资源量评估[J]. 湖泊科学,25(1): 99–107.
- 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等,2015. 基于水声学方法的天目湖鱼类季节和昼夜空间分布探讨[J]. 生态学报,35(17): 1–10.
- 孙立元,危起伟,张辉,等,2014. 基于水声学的长江上游向家坝至宜宾江段鱼类空间分布特征[J]. 淡水渔业,44(1): 53–58.
- 石妮,2019. 长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区鱼类时空分布特征的研究[D]. 重庆:重庆师范大学.
- 谭细畅,史建全,张宏,等,2009. EY60 回声探测仪在青海湖鱼类资源量评估中的应用[J]. 湖泊科学,21(6): 865–872.

- 唐启升,王为祥,1995. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究[J]. 水产学报, 19(1): 8-20.
- 陶江平,陈永柏,乔晔,等,2008. 三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学[J]. 水生态学杂志, 29(5): 25-33.
- 王珂,2013. 三峡库区鱼类时空分布特征及与相关因子关系分析[D]. 北京:中国水利水电科学研究院.
- 谢意军,王珂,郭杰,等,2016. 基于水声学方法的东洞庭湖鱼类空间分布和资源量评估[J]. 淡水渔业, 46(3): 40-46.
- 衣艳荣,余向东,2018-06-06(001). 为了“母亲河”水长绿鱼长欢[N]. 农民日报.
- 余建英,何旭宏,2003. 数据统计分析与SPSS运用[M]. 北京:人民邮电出版社:141-147.
- 张俊,2011. 基于声学数据后处理系统的黄海鳀鱼资源声学评估[D]. 上海:上海海洋大学.
- 张缓缓,2016. 嘉陵江中游蓬安段鱼类群落结构及重要经济鱼类种群生物学研究[D]. 南充:西华师范大学.
- 张运林,陈伟民,杨顶田,等,2004. 天目湖热力学状况的监测与分析[J]. 水科学进展, 15(1): 61-67.
- Beitinger T L, Fitzpatrick L C, 1979. Physiological and ecological correlates of preferred temperature in fish [J]. Am Zool, 19: 319-329.
- Boswell K M, Wilson M P, Wilson C A, 2007. Hydroacoustics as a tool for assessing fish biomass and size distribution associated with discrete shallow water estuarine habitats in Louisiana [J]. Estuaries & Coasts, 30(4): 607-617.
- Blaber S J, Blaber T G, 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish[J]. Journal of Fish Biology, 17(2): 143-162.
- Foote K D, 1983. Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 73(6): 1932-1940.
- Komatsu E, Fukushima T, Harasawa H, 2007. A modeling approach to forecast the effect of long-term climate change on lake water quality[J]. Ecological Modelling, 209(2/3/4): 351-366.
- Li X, Cheng G D, Lu L, 2000. Comparison of spatial interpolation methods [J]. Advan Earthen, 15(3): 260-265.
- Mowbray F K, 2002. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villous*) of Newfoundland[J]. ICES Journal of Marine Science, 59: 942-949.
- Paramo J, Quinones R A, Ramirez A, 2003. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information[J]. Aquatic Living Resources, 16(3): 239-245.
- Petitgas P, 1993. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application [J]. Ices J Mar Sci, 50 (3): 285-298.
- Ye S W, Li Z J, Feng G P, et al, 2007. Length-weight relationships for thirty fish species in Lake Niushan [J]. Asian Fisheries Science, 20: 217-226.

(责任编辑 张俊友)

Fish Resource Assessment in the Peng'an Section of the Middle Jialing River Based on Hydroacoustic Surveys

XIANG Ling-li¹, QIN Qiang², ZENG Yu¹, ZHANG Fu-bin², LV Zhen-yu¹,
HE Xin-man¹, MAO Ling¹, MA Jia¹

- (1. College of Life Science, Southwest Branch of the National Freshwater Fishery Engineering Technology Research Center (Wuhan), China West Normal University, Nanchong 637009, P.R. China;
2. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, P.R. China)

Abstract: Hydropower development on the Jialing River has changed the natural ecological environment, resulting in irreversible effects on the fish community. In this study, we explored the temporal and spatial dynamics of fish resources in the Peng'an section of the upper and lower Jinxi reservoir of Jialing River. The effect of environmental factors were analyzed and measures to protect and restore the fish resources of Jialing River were suggested. Our aim was to provide basic data for conserving fish resources in the upper Yangtze River and its tributaries. The study was based on a hydroacoustic survey using a Biosonics DT-X split-beam echo sounder in the Peng'an section of Jialing River in July (summer) and October (autumn) of 2018, and January (winter) and April (spring) of 2019, supplemented with a fish catch investigation. The survey section stretched 8.3 km, from 4.5 km below the Jinxi dam to 3.8 km above the dam along a zigzag route. During the survey, a total of 23 738 individuals were recorded, including 38 species representing 6 families and 3 orders. Small and medium sized fish species, including *Saurogobio dabryi* Bleeker, *Cyprinus auratus*, *Pseudolaubuca sinensis* Bleeker, *Xenocypris davidi* Bleeker, were dominant. The density of fish in the Peng'an section of Jialing River was relatively high in spring and summer (0.8296 ± 0.43 ind/m³, 0.8705 ± 0.38 ind/m³), and relatively low in autumn and winter (0.5082 ± 0.25 ind/m³, 0.3939 ± 0.13 ind/m³). The average target strengths of fish by season, from spring to winter, were (-63.15 ± 5.03), (-52.85 ± 14.45), (-46.42 ± 15.85) and (-44.77 ± 15.28) dB, the corresponding average weights were 0.03, 1.08, 11.19 and 20.40 g/ind, and the corresponding fish resource, based on fish density and average weight, were 0.4096, 0.2907, 0.3919 and 0.5622 kg/m³. The horizontal distribution of fish density varied by season and the fish density below the dam was significantly higher than above the dam ($F=12.67$, $P<0.05$). Vertically, there were significant differences in fish density among the three water layers above the dam ($F=7.02$, $P<0.05$) and below the dam ($F=19.99$, $P<0.05$). Multiple comparison (LSD) indicated that fish density in the middle layer was significantly higher than that in the upper and lower layers ($P<0.05$), and fish density in all water layers was generally higher in summer than in other seasons. In subsequent studies, we suggest strengthening dynamic monitoring of fish resources in this section, and carefully considering the key factors affecting fish resources.

Key words: fish resources; hydroacoustic; Jialing River