

基于水声学方法的渠江合川段鱼类时空分布特征研究^{*}

沈彦君, 陶小江, 马艺文, 夏子杨, 周鑫鑫, 李英文

(重庆师范大学 生命科学学院 水生态健康与环境安全实验室, 重庆 401331)

摘要:评估渠江合川段鱼类资源时空分布特征,为该江段渔业资源管理和保护提供基础数据和科学依据。于 2019 年 4 月(春季)和 2019 年 10 月(秋季)使用 Simrad EY60 型回声探测器对渠江合川段进行水声学探测调查。调查结果显示:渠江合川段鱼类时空分布不均匀,在研究期间大部分水平或垂直区域的鱼类平均密度呈减小趋势。渠江合川段鱼类水平分布不均匀,春季右岸鱼类平均密度最大、左岸鱼类平均密度次之、中心鱼类平均密度最小,秋季左岸鱼类平均密度最大、右岸鱼类平均密度次之、中心鱼类平均密度最小;该江段鱼类垂直分布也不均匀,春季下层鱼类平均密度最大、中层鱼类平均密度次之、上层鱼类平均密度最小,秋季中层鱼类平均密度最大、下层鱼类平均密度次之、上层鱼类平均密度最小。在春季,渠江合川段鱼类体长范围为 3.94~62.37 cm,平均体长为 15.67 cm,占比最高体长为 3.94 cm;在秋季,该江段鱼类体长范围与平均体长与在春季时相同,占比最高体长为 5.56 和 6.99 cm。渠江合川段春、秋季鱼类平均体质量均为 20.01 g,在春季占比最高体质量分别为 0.32 g,在秋季占比最高体质量分别为 0.89 和 1.78 g。调查结果提示渠江合川段鱼类生物量分布不均匀,鱼类主要集中分布在鱼类潜在的产卵场或索饵场,在未来的区域渔业资源管理中应对此特别关注,流域内的生态环境监管和保护工作应进一步加强。

关键词:渠江;水声学;空间分布;渔业资源

中图分类号:Q178.2;S932.4

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2024)03-0026-11

随着社会的发展和科技的不断进步,水声学技术也在不断发展和完善,运用水声学方法研究鱼类资源时空变化过程成为可能,并受到相关研究人员的广泛关注与应用^[1-4]。例如赵宪勇等人^[5]、李永振等人^[6-7]、陈国宝等人^[8]对南海北部海域渔业资源进行评估后,得到了目标强度与鱼类体长的换算关系式,为水声学探测鱼类资源提供了一定的理论基础。同时,由于水声学调查方法具有快速方便、不伤害鱼类等优点^[9],因而在长江禁渔期间,使用水声学调查方法符合相关政策。此外,使用 Simrad EY60 型分束回声探测器探测到的结果准确性较高,而且相对于其他调查方法如刺网采样、电捕等更加环保^[10]。水声学调查方法也广泛应用于内陆湖泊及河流中。例如陶江平等人在^[11]在 2007 年春季对三峡水库鱼类资源分布进行研究,发现干流鱼类资源量总体上呈现逐步增加的趋势,且支流鱼类资源量明显高于前者;王珂等人^[12]于 2006 年至 2010 年对整个三峡库区进行了水声学调查,发现库区鱼类密度从下游至上游越来越大。石妮^[13]在 2017 年和 2019 年采用水声学方法对长江的南岸段和涪陵段进行鱼类时空分布特征研究,发现鱼类大多分布在分叉和弯曲型江段。总而言之,相较于传统的调查方法,水声学方法具有快速高效、安全可靠、覆盖面广、可重复性强、数据连续性好等诸多优点^[14],因此水声学探测法越来越受到鱼类资源量评估者的青睐。

渠江是嘉陵江左岸的最大支流,渠江干流在四川省达州市三汇镇以上为上游,该镇到重庆市合川区北渠河咀为下游。渠江河水补给主要来自降水,其次来自地下水;渠江洪水较多,洪枯变幅大。渠江合川段位于重庆市合川区境内,流域内地势北高南低,跨越多种地貌区,河道多岩石急滩。渠江下游在流经川中盆地区域后,河谷由上游的“V”型变为“U”型,河道变宽、水流速度变缓慢,且两岸农业开垦充分、人口密度较大。上述因素都有可能对渠江合川段流域内的鱼类分布和资源量造成较大的影响。有研究通过对 2017 年秋季的重庆合川渠江口的微生物基因进行测序分析,发现水体中属于耐污种的浮游生物种类较多,水体富营养化现象明显^[15]。鉴于近年来有关渠江境内的鱼类资源情况研究较少,鱼类资源时空分布情况的相关资料也存在空缺,本研究运用水

^{*} 收稿日期:2023-06-02 修回日期:2024-02-27 网络出版时间:2024-08-01T09:24

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(No. 32202939);重庆市自然科学基金面上项目(No. CSTB2022NSCQ-MSX0793)

第一作者简介:沈彦君,男,副教授,博士,研究方向为水生生物学,E-mail:shenyanjun@cqu.edu.cn;通信作者:李英文,男,教授,博士,E-mail:377683289@qq.com

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.n.20240731.1455.004

声学技术对渠江合川段的鱼类资源时空动态特征进行分析,以期了解该江段鱼类资源的时空动态变化过程及影响因素,同时为完善渠江流域境内的渔业资料提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究江段概况

渠江合川段河道起于重庆市合川区龙市镇青坝村,止于该区钓鱼城街道渠口村4社渠口坝沙咀,全长约为77 km,流域面积约1 240 km²;流域内海拔为300~500 m,地势起伏变化小。渠江合川段河流蜿蜒曲折,河谷开阔;河床系沙砾质,局部为石质;江面宽约200~300 m。

1.2 水声学探测方法

租用长15 m、宽3 m的中型铁质渔船作为监测船,于2019年4月(春季)和2019年10月(秋季)对研究江段进行“之”字形和走航式相结合的水声学探测调查,探测起点为渠河口,途径官渡镇、小沔镇、双槐镇、香龙镇后止于龙市镇青坝村(图1)。

使用 Simrad EY60 型分束回声探测仪进行探测,如图2所示。全套探测设备应在调查开始前完成组装,具体流程为:首先将换能器用配套的铁杆固定好,待换能器插入水面以下0.5 m处时,用绳将铁杆和监测船绑紧固定;接着将换能器接入至收发器,再用电线将12 V的锂电池与收发器连接;然后用网线将收发器和松下CF31型三防电脑连接,同时将GPS记录仪也接入电脑;最后打开电脑的水声学信号处理软件进行实时记录。调查船开始航行时,保持行驶速度在10 km·h⁻¹左右;结合仪器的探测范围,在探测过程中对宽度大于300 m的江面进行“之”字形探测,对宽度小于300 m江段采用走航式探测;探测区域不包括水深低于0.5 m的区域,以避免换能器触底而干扰接收信号。

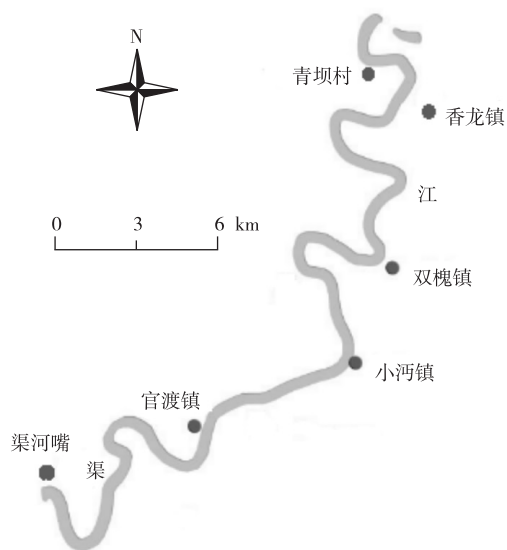


图1 研究江段水声学研究区域

Fig. 1 Research area of hydroacoustic in the study river segment

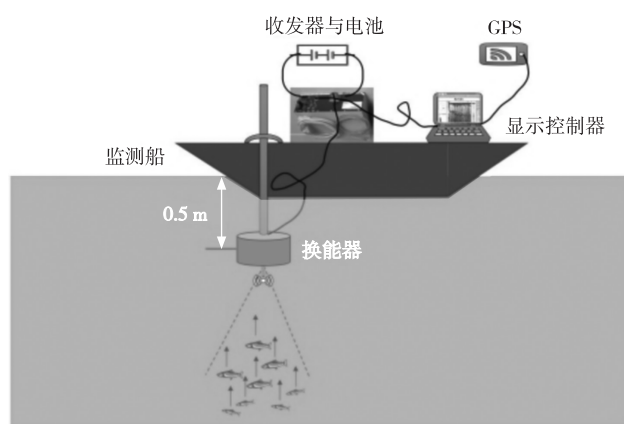


图2 Simrad EY60 型分束回声探测仪设备组装示意图

Fig. 2 Assembly diagram of Simrad EY60 beam splitting echo detector equipment

利用 Sonar-5pro 软件将收集到的声学信号进行后期数据处理。在进行数据格式转换之前设置好控制参数(表1),然后用上述软件将采集到的水声学数据进行格式转换,并将原始记录数据转换为水声学的回波信号图。然后,用该软件中的自动底部分析功能(CFT)大致描绘出回波图中的河床底部,再将因为河底杂物干扰而导致两侧有明显差异的线条部分进行手动描绘修订。待河床底部线条修正后,用软件中的交叉过滤功能将噪音信号除去,最后用鱼群轨迹追踪分析(tracking analysis)和多重目标追踪(multiple target tracking)来自动判定鱼类密度。鱼类密度的计算公式如下:

$$P_v = (NS_v) / \sum_{k=1}^K (N_k \bar{S}_k),$$

其中: P_v 为某水域的鱼类密度数值(单位尾 $\cdot m^{-3}$), S_v 为某水域所有鱼类的总体积数值(单位 m^3), N 为在某水域内轨迹跟踪探测到的鱼类总尾数, K 为某水域内鱼类种类数, N_k 为某水域内第 k 种鱼类的尾数, $\bar{S}_k$ 为某水域内第 k 种鱼类的平均目标强度数值(单位 dB)。

之后采用 Foote^[16-17]的经验公式进行体长换算,即:

$$S = 20 \log_{10} l_b - 71.9,$$

其中: S 为鱼类的目标强度数值(单位 dB), l_b 为鱼类体长数值(单位 cm); 71.9 为水声学常数。

再根据鱼类的体长和体质量之间关系经验公式^[18]换算鱼类的体质量,即:

$$m_b = 0.0052 \times l_b^3,$$

其中: m_b 为鱼类体质量数值(单位 g)

评估各水域内鱼类的资源量(即生物量),采用对东海头足类资源量的公式^[19]进行换算,有:

$$B = P_v \times \bar{m}_b,$$

其中: B 为某水域内鱼类生物量数值(单位 $g \cdot m^{-3}$), $\bar{m}_b$ 为每尾鱼类的平均质量数值(单位 $g \cdot \text{尾}^{-1}$)。

表 1 Sonar5-Pro 相关参数设置

Tab. 1 Sonar5-Pro related parameter setting

参数名称	参数设置	参数名称	参数设置
最小目标强度	70 dB	点击修改范围	1~100 ping
最小回波长度	0.8 rel. pw	点击子片段	1
最大回波长度	1.2 rel. pw	点击子层数	1
最大相位偏差	0.20°	SED 回波阈值	70
最大增益补偿	3.00 dB	Amp 回波阈值	60
多元峰值抑制	中等	时变增益	$20 \log_{10} R$ (R 为目标信号水深)

2 结果与分析

2.1 数据采集和数据处理结果

在研究江段进行水声学探测时采集到的现场实时原始鱼体信号数据如图 3a 所示,从采集图中可以初步了解所探测江段的深度和鱼类数目。后期使用 Sonar5-Pro 软件将这些数据进行格式转换后,得到的一系列连续且清晰的鱼体轨迹追踪图和多频段声波回波检测图(图 3b、c)。通过这些后期的数据转换处理图中可以对所探测江段的鱼类密度、鱼类所处水深、鱼类目标强度等参数进行统计。

2.2 研究江段鱼类水平分布状况

探测结果显示,2019 年春、秋季研究江段平均宽度分别约为 210 和 240 m,由此可见季节间水位差异较小。因此,本研究首先依据研究江段宽度将江面均分左岸、中心、右岸,然后结合地理位置从上述 3 个位置对研究江段的鱼类水平分布进行研究。2019 年春、秋季研究江段左岸鱼类平均密度分别为 2.388×10^{-2} 和 1.557×10^{-2} 尾 $\cdot m^{-3}$,中心鱼类平均密度分别为 1.878×10^{-2} 和 1.305×10^{-2} 尾 $\cdot m^{-3}$,右岸鱼类平均密度为 2.714×10^{-2} 和 1.475×10^{-2} 尾 $\cdot m^{-3}$ (图 4)。因此,2019 年春季研究江段右岸鱼类平均密度最大、左岸鱼类平均密度次之、中心鱼类平均密度最小,秋季研究江段左岸鱼类平均密度最大、右岸鱼类平均密度次之、中心鱼类平均密度最小。2019 年春、秋季研究江段鱼类主要分布区域如图 5 所示:春季研究江段鱼类在水平方向上主要集中分布在渠河嘴-波丝屋基江段、花斑竹江段、双槐江段和庙梁子江段,在其余江段分布则比较均匀,无较大差异;秋季研究江段鱼类在水平方向上仅集中分布在渠河嘴-波丝屋基江段。

2.3 研究江段鱼类垂直分布状况

使用 Sonar5-Pro 软件进行数据处理,得到 2019 年春、秋季研究江段多频段声波回波图,以渠河嘴江段为例进行展示如图 6 所示。由 AMP 分析得出 2019 年春、秋季研究江段平均水深分别为 8.76 和 7.92 m,平均最大水深分别为 23.18 和 20.47 m,最大水深分别为 29.01 和 27.66 m,由于下游嘉陵江草街电站的蓄水,因此研究

江段春、秋季水位变化不大。将研究江段水层按照最大水深等分为3层,其中最大水深的0~33%为上层,>33%~66%为中层,>66%~100%为下层。经统计,2019年春、秋季研究江段水层上层鱼类平均密度分别为 0.37×10^{-3} 和 0.48×10^{-3} 尾 $\cdot m^{-3}$,中层鱼类平均密度为 4.213×10^{-1} 和 4.069×10^{-1} 尾 $\cdot m^{-3}$,下层鱼类平均密度为 5.536×10^{-1} 和 3.784×10^{-1} 尾 $\cdot m^{-3}$ 。因此,2019年春季研究江段下层鱼类平均密度最大、中层鱼类平均密度次之、上层鱼类平均密度最小,秋季研究江段中层鱼类平均密度最大、下层鱼类平均密度次之、上层鱼类平均密度最小。由上述结果可知,不同深度水层对鱼类的垂直分布有较大影响。

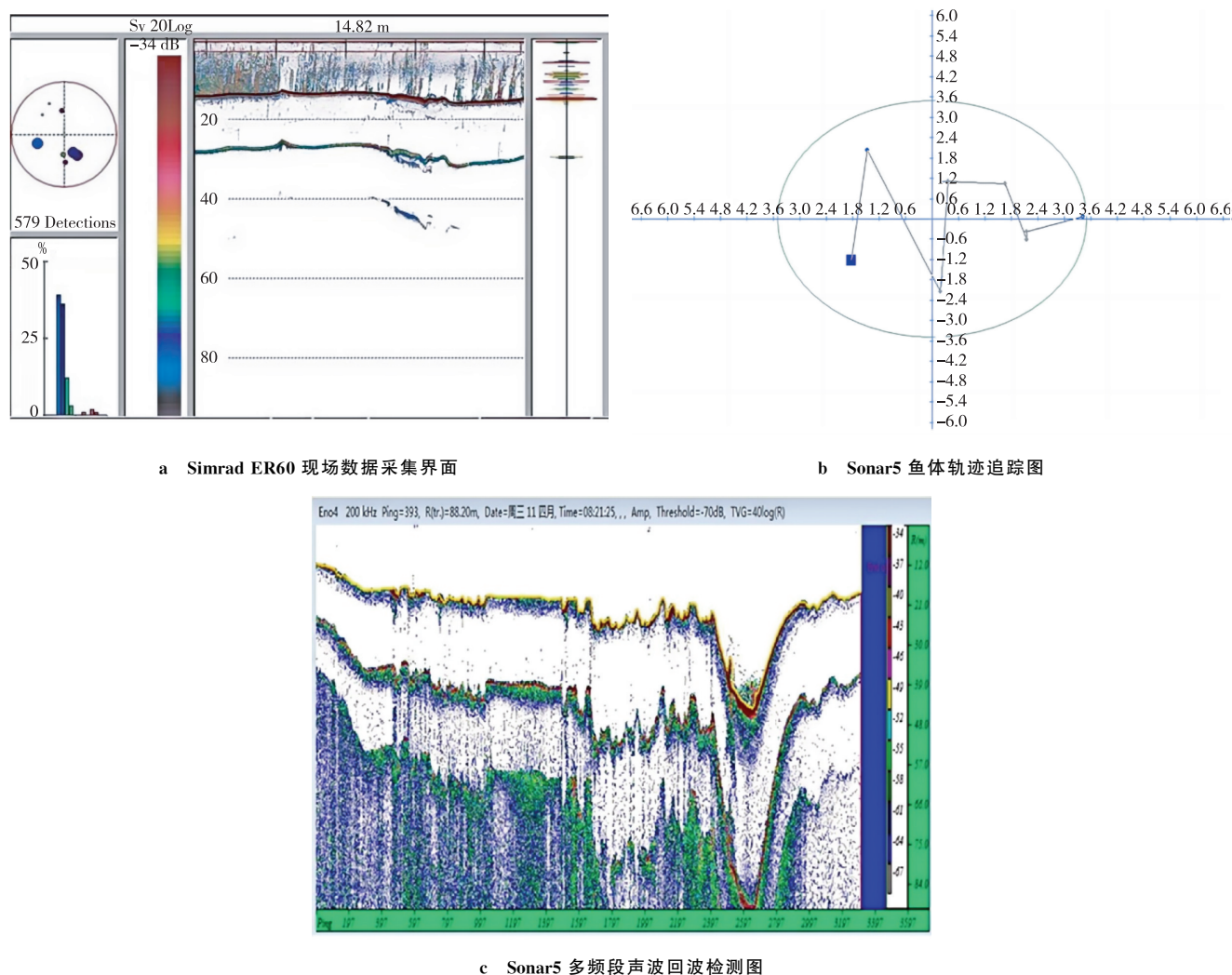


图3 采集数据和后期数据处理界面(以渠河嘴江段为例)

Fig. 3 Interface of data collection and later data processing (taking the Quhezui Section as an example)

2.4 研究江段鱼类时空分布

从水平分布上看,与2019年春季研究江段的左岸、右岸及中心的鱼类平均密度相比,当年秋季研究江段上述区域的鱼类平均密度均有不同程度的减小,但两者差异经独立样本 t -检验分析发现在 $p < 0.05$ 水平上并无统计学意义($p = 0.46$);从垂直分布上看,与2019年春季研究江段的上层、中层及下层的鱼类平均密度相比,当年秋季研究江段除上层鱼类平均密度有略微增大外,其余区域鱼类平均密度均有不同程度的减小;总体来看,在研究期间,研究江段大部分水平或垂直区域的鱼类平均密度呈减小趋势(表2)。

2.5 研究江段鱼类目标强度及资源量

使用Sonar5-Pro软件对2019年春、秋季研究江段鱼类回波图进行分析得到不同鱼类目标强度及所占比例分布情况(图7)。由图7和表3可知,2019年春、秋季研究江段鱼类的目标强度数值范围和平均目标强度数值完全一致。2019年春季研究江段鱼类目标强度数值分布连续,其中占比最高的鱼类目标强度为-60 dB,占比达

8%,其余鱼类目标强度的占比在 7%以下;而同年秋季研究江段鱼类目标强度数值分布不连续,其中未出现-51 和-37 dB 的鱼类目标强度,此外占比最高的鱼类目标强度有 2 个,分别是-57 和-55 dB,它们的占比均为 12%,其余鱼类目标强度占比均不高于 8%(图 7)。

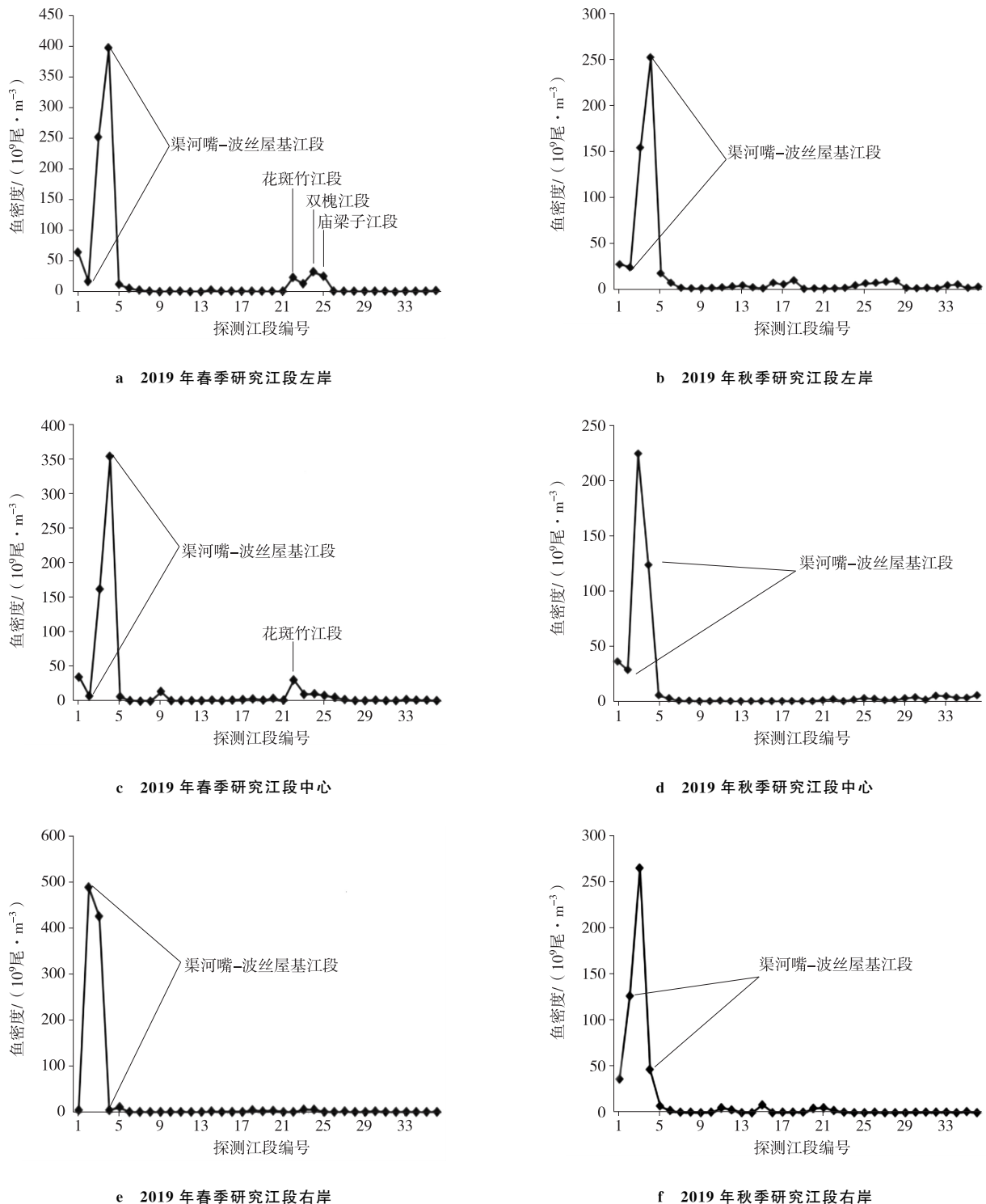


图 4 2019 年春、秋季研究江段鱼类分布

Fig. 4 Fish distribution in the study river segment in Spring and Autumn, 2019

此外从表 3 中可知:2019 年春、秋季研究江段鱼类的体长数值范围、平均体长数值、体质量数值范围和平均体质量数值均完全一致;与春季时的鱼类相比,秋季鱼类体长体质量均有增长现象,这从研究期间占比最高体长和占比最高体质量数值的变化可以看出;此外在研究期间,研究江段鱼类的资源量呈下降趋势。

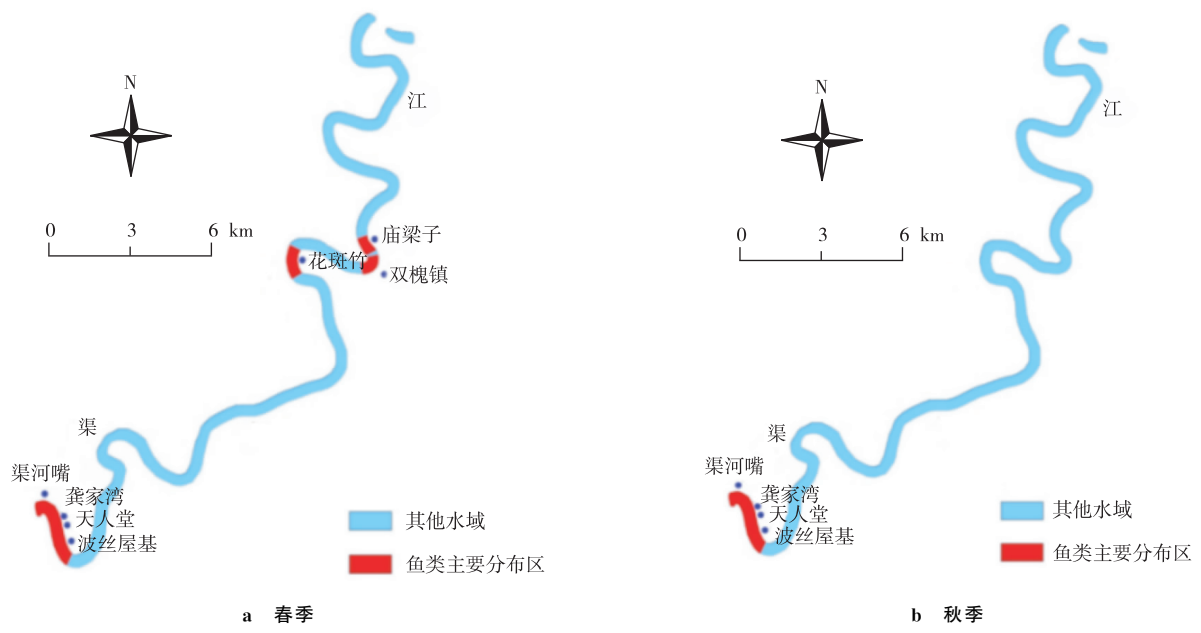


图 5 2019 年春、秋季研究江段鱼类主要分布区域

Fig. 5 Main distribution area of fish in the study river segment in Spring and Autumn, 2019

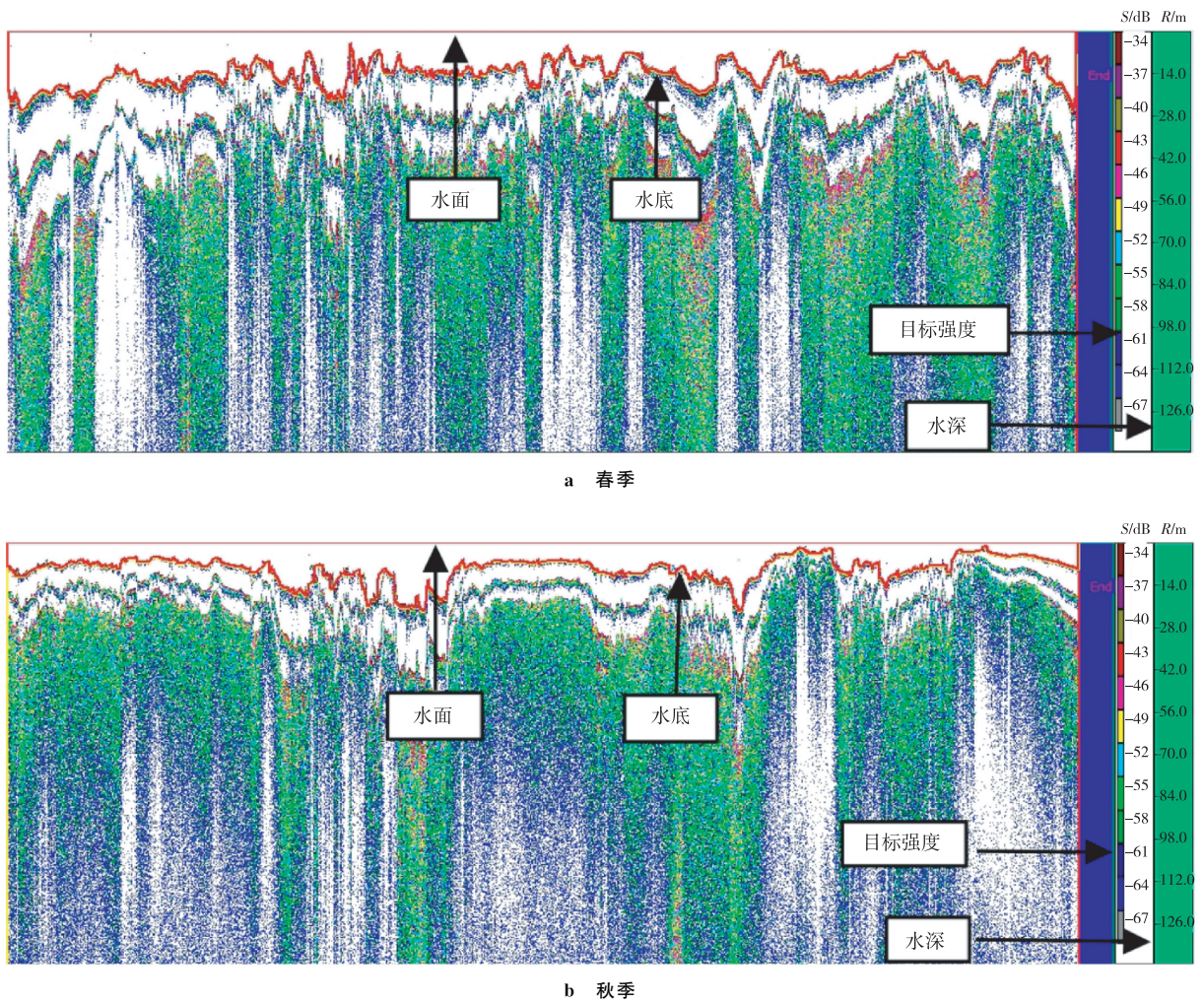


图 6 2019 年春、秋季研究江段 (以渠河嘴江段为例) 多频段声波回波图

Fig. 6 Multi-frequency acoustic echo map in the study river segment (taking the Quhezui Section as an example) in Spring and Autumn, 2019

表 2 2019 年春、秋季研究江段鱼类密度统计

Tab. 2 Statistics of fish density in the study river segment in Spring and Autumn, 2019

尾·m⁻³

参数	春季	秋季	参数	春季	秋季
左岸平均鱼类密度	2.388×10^{-2}	1.557×10^{-2}	右岸平均鱼类密度	2.714×10^{-2}	1.475×10^{-2}
左岸最大鱼类密度	3.965×10^{-1}	2.518×10^{-1}	右岸最大鱼类密度	4.879×10^{-1}	2.653×10^{-1}
左岸最小鱼类密度	0.200×10^{-3}	0.200×10^{-3}	右岸最小鱼类密度	0.100×10^{-3}	0.200×10^{-3}
中心平均鱼类密度	1.878×10^{-2}	1.305×10^{-2}	上层平均鱼类密度	0.370×10^{-3}	0.480×10^{-3}
中心最大鱼类密度	3.543×10^{-1}	2.243×10^{-1}	中层平均鱼类密度	4.213×10^{-1}	4.069×10^{-1}
中心最小鱼类密度	0.100×10^{-3}	0.100×10^{-3}	下层平均鱼类密度	5.536×10^{-1}	3.784×10^{-1}

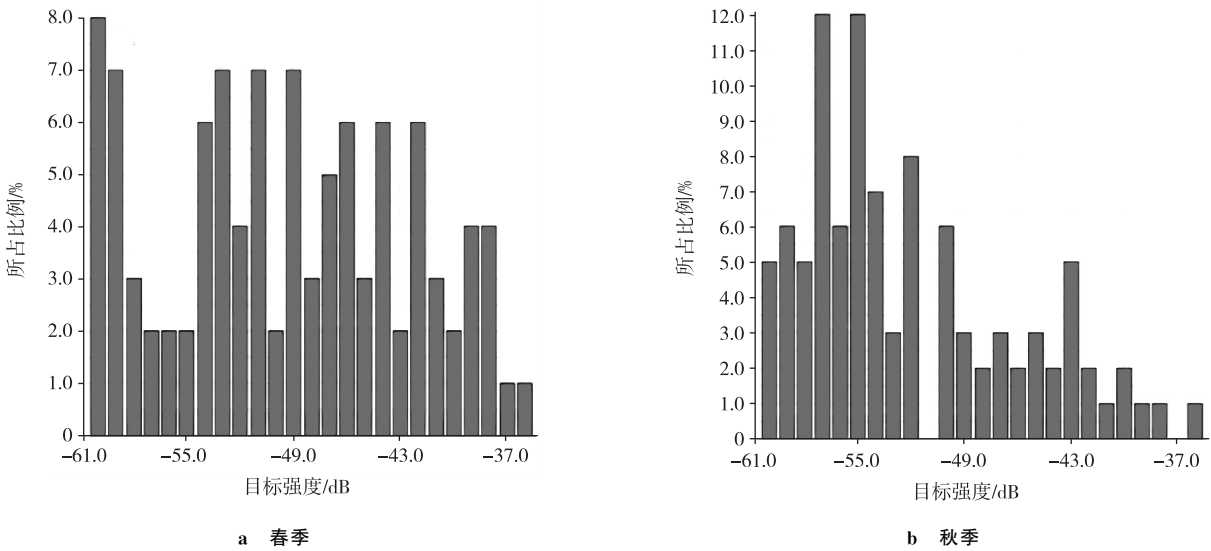


图 7 2019 年春、秋季研究江段鱼类目标强度分布情况

Fig. 7 Fish target intensity distribution in the study river segment in Spring and Autumn, 2019

表 3 2019 年研究江段鱼类目标强度、体长、体质量及资源量

Tab. 3 Target strength, body length, body mass, and resources of fish in the study river segment in 2019

参数	春季	秋季	参数	春季	秋季
目标强度范围/dB	-60~-36	-60~-36	占比最高体质量/g	0.32	0.89、1.78
平均目标强度/dB	-48	-48	上层资源量/(g·m ⁻³)	7.40×10^{-3}	9.61×10^{-3}
体长范围/cm	3.94~62.37	3.94~62.37	中层资源量/(g·m ⁻³)	8.43	8.14
平均体长/cm	15.67	15.67	下层资源量/(g·m ⁻³)	11.08	7.57
体质量范围/g	0.32~1 281.76	0.32~1 281.76	左岸资源量/(g·m ⁻³)	0.48	0.31
平均体质量/g	20.01	20.01	中心资源量/(g·m ⁻³)	0.38	0.26
占比最高目标强度/dB	-60	-57、-55	右岸资源量/(g·m ⁻³)	0.54	0.30
占比最高体长/cm	3.94	5.56、6.99			

3 讨论

3.1 研究江段鱼类资源时空分布及资源状况

本研究结果显示:研究江段鱼类的水平分布并不均匀,右岸、左岸和中心的鱼类平均密度在春、秋季均有差异,且鱼类在春季集中分布在渠河嘴-波丝屋基江段、花斑竹江段、双槐江段、庙梁子江段等 4 个江段,在秋季仅集中在渠河嘴-波丝屋基江段。此外,研究江段鱼类密度垂直分布现象明显,在春、秋季水体下、中层鱼类平均密度

均大于上层鱼类平均密度。鱼类群落在环境中很少呈均匀或随机分布,影响鱼类空间分布的因素主要有食物、温度、溶氧、饵料、水深、流速等^[20-24]。已有研究表明,渠江沿岸是以森林和农田生态系统为主,故而芳香化程度和腐殖化程度较高的溶解性有机质可能通过地表径流输入到干流水体中^[25],此外在本研究野外调查中也发现研究江段多处出现水华现象,这些潜在的环境因素有可能影响到流域内的鱼类时空分布状况。

根据对研究江段鱼类体质量、体长的计算结果可知,该江段的鱼类大多是小型鱼类或幼鱼。结合河道生境来看,小型鱼类和幼鱼主要分布在河道较宽、流速较小、水深较深的江段,因为符合上述条件的江段通常具有较高的饵料生物量和较好的逃避空间,适宜于小型鱼类和幼鱼的生长栖息。因此本研究结果也再次印证了已有的研究结果^[26]。

本研究结果还显示,从春季到秋季,研究江段的鱼类生物量呈下降趋势。春季研究江段鱼类资源较为丰富,可能是由于渠江生境适宜于鱼类繁殖,故而鱼类繁殖集群引起了局部江段的鱼类资源量较高;秋季一般为鱼类索饵期,鱼类资源量减少,可能表明研究江段饵料生物量较低,对鱼类提供的饵料生物量有限,鱼类可能集中进入渠河嘴汇口及以下江段索饵^[27]。

3.2 研究江段鱼类资源管理保护建议

对鱼类资源量变化的准确评估在渔业生产管理、珍稀濒危鱼类保护、鱼类物种多样性维护等方面均具有关键作用^[28],因而本研究对研究江段鱼类资源的管理保护具有参考价值。鱼类资源的时空分布受如饵料生物、捕食作用等多种生物因子和如流速、温度、水深等非生物因子的共同影响,不同江段鱼类资源的时空分布也不相同^[29]。在本研究中,春季鱼类平均密度较大的江段可能为鱼类产卵场,而秋季鱼类平均密度较大的江段可能为鱼类索饵场。例如渠河嘴-波丝屋基江段与嘉陵江干流段相连,2个江段的鱼类之间交流畅通;该江段的鱼类资源量从时空分布上看都远远大于其他江段。因此,这类可能是鱼类重要生境和栖息场所的江段在渔业资源管理工作中应得到重点关注。此外,研究江段中部分江段鱼类平均密度很小,例如位于小沔镇、糖坊院子和官渡镇的江段,鱼类密度仅有 0.2×10^{-3} 尾 $\cdot m^{-3}$,位于大盐口、石朝门和杨家院子的江段鱼类密度则只有 0.1×10^{-3} 尾 $\cdot m^{-3}$ 。上述这些江段的鱼类生长速度可能受到当地环境因素或饵料生物的影响^[30-31],具体原因有待进一步研究。

3.3 水声学探测可靠性评估

水声学探测法的优点在于获取数据迅速、适用于多种水体环境、对生物资源和水体环境影响小、能提供远距离连续的数据等^[32],本研究正是基于该方法的上述优点从而实现了对渠江合川段鱼类资源时空分布特征较为充分的评估。然而,仍有一些因素会影响水声学探测数据的准确性,例如行驶船只噪音、监测船航速、江面风速、鱼类的集群行为等因素均可能影响探测效果^[33]。另外,水声学探测法在昼夜之间进行鱼类密度探测的情况也会有一定的区别,例如连玉喜等人^[34]在昼夜分别探测三峡库区香溪河鱼类密度时发现,夜晚探测到的鱼类密度是白天的1~4倍左右。同时,水声学探测的一个局限性是无法对鱼体进行种类鉴定,这阻碍了鱼类生物量评价与鱼类资源量评估的精确性。因此在做更加精确的鱼类调查时,有必要将水声学探测和其他调查方法结合起来,以便更加全面地评估研究区域内渔业资源生物量的变动^[35-37]。

综上所述,渠江合川段的鱼类分布不均匀,其中春季鱼类主要集中分布江段为鱼类潜在产卵场,秋季鱼类集中分布江段为鱼类潜在索饵场,这些江段在未来的区域渔业资源管理中应特别关注。此外,流域内的环境因素可能影响了鱼类时空分布状况,因此流域内的生态环境监管和保护工作也应进一步加强。

参考文献:

- [1] TAYLOR J C, RAND P S. Spatial overlap and distribution of anchovies (*Anchoa* spp.) and copepods in a shallow stratified estuary[J]. Aquatic Living Resources, 2003, 16(3): 191-196.
- [2] KUBECKA J, WITTINGEROVA M. Horizontal beaming as a crucial component of acoustic fish stock assessment in freshwater reservoirs[J]. Fisheries Research, 1998, 35(1/2): 99-106.
- [3] MASON D M, JOHNSON T B, HARVEY C J, et al. Hydroacoustic estimates of abundance and spatial distribution of pelagic prey fishes in western lake superior[J]. Journal of Great Lakes Research, 2005, 31(4): 426-438.
- [4] 唐启升, 王为祥, 陈毓桢, 等. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究[J]. 水产学报, 1995, 19(1): 8-20.
TANG Q S, WANG W X, CHEN Y Z, et al. Stock assessment of walleye pollock in the north Pacific Ocean by acoustic survey [J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(1): 8-20.
- [5] 赵宪勇, 陈毓桢. 狭鳕(*Theragra chalcogramma* Pallas)目标强度的现场测定[J]. 中国水产科学, 1996, 3(4): 19-27.

- ZHAO X Y, CHEN Y Z. *In situ* target strength measurements on walleye Pollock (*Theragra chalcogramma* Pallas) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(4): 19-27.
- [6] 李永振, 陈国宝, 孙典荣, 等. 南海区多鱼种声学评估工作程序[J]. 湛江海洋大学学报, 2003, 23(1): 35-40.
- LI Y Z, CHEN G B, SUN D R, et al. Work programme of acoustic assessment of multispecies fish stock in the South China Sea [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2003, 23(1): 35-40.
- [7] 李永振, 陈国宝, 赵宪勇, 等. 南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2005, 35(2): 206-212.
- LI Y Z, CHEN G B, ZHAO X Y, et al. Acoustic assessment of non-commercial small-size fish resources in the northern waters of South China Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2005, 35(2): 206-212.
- [8] 陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估[J]. 中国水产科学, 2005, 12(4): 445-451.
- CHEN G B, LI Y Z, ZHAO X Y, et al. Acoustic assessment of commercial fish resources in the northern waters of South China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(4): 445-451.
- [9] BURWEN D, John E. Simmonds and David N. MacLennan, fisheries acoustics: theory and practice [J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 2007, 17(4): 633-634.
- [10] LAWSON G L, BARANGE M, FRÉON P. Species identification of pelagic fish schools on the South African continental shelf using acoustic descriptors and ancillary information [J]. Ices Journal of Marine Science, 2001, 58(1): 275-287.
- [11] 陶江平, 陈永柏, 乔晔, 等. 三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学研究[J]. 水生生态学杂志, 2008, 29(5): 25-33.
- TAO J P, CHEN Y B, QIAO Y, et al. Hydroacoustic surveys on spatial distribution of fishes in the Three Gorges Reservoir during the first impoundment [J]. Journal of Water Ecology, 2008, 29(5): 25-33.
- [12] 王珂. 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, 2013.
- WANG K. Fish spatial and temporal distribution in the Three Gorges Reservoir Area and its relationship with related factors [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013.
- [13] 石妮. 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, 2019.
- SHI N. Temporal and spatial distribution characteristics of fish in the national aquatic germplasm resources conservation area of the four major fishes in the Chongqing Section of the Yangtze River [D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2019.
- [14] 张俊. 基于声学数据后处理系统的黄海鲱鱼资源声学评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- ZHANG J. Estimation of the anchovy resources in the Yellow Sea based on acoustic data post-processing system [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [15] 但言, 沈子伟, 余凤琴, 等. 嘉陵江合川段秋季微生物多样性研究[J]. 淡水渔业, 2019, 49(1): 3-8.
- DAN Y, SHEN Z W, YU F Q, et al. The research on microbial diversity of Hechuan reach for Jialing River in autumn [J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(1): 3-8.
- [16] FOOTE K G. Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strengths [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1980, 67(6): 2084-2089.
- [17] FOOTE K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys [J]. Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 82(3): 981-987.
- [18] YE S W, LI Z, FENG G P, et al. Length-weight relationships for thirty fish species in lake Niushan, a shallow macrophytic Yangtze Lake in China [J]. Asian Fisheries Science, 2007, 20(2): 217-226.
- [19] 凌建忠, 严利平, 李建生. 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, 2008, 30(1): 56-61.
- LING J Z, YAN L P, LI J S. Application of resources density/area method to estimate Cephalopod stock of the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2008, 30(1): 56-61.
- [20] 石妮, 李英文, 刘智皓, 等. 噪声对鱼类的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2017, 34(4): 28-32.
- SHI N, LI Y W, LIU Z H, et al. Influence of noise on fish [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2017, 34(4): 28-32.
- [21] 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 & Ecology, 2009, 381(12): 143-149.
- [22] BROSSE S, LEK S, DAUBA F, et al. Predicting fish distribution in a mesotrophic lake by hydroacoustic survey and artificial neural networks [J]. Limnology and Oceanography, 1999, 44(5): 1293-1303.
- [23] 李捷, 李新辉, 贾晓平, 等. 连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(18): 5795-5805.
- LI J, LI X H, JIA X P, et al. Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River,

- Guangdong, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5795-5805.
- [24] 武玮, 徐宗学, 殷旭旺, 等. 渭河流域鱼类群落结构特征及其受环境因子的影响分析[J]. *环境科学学报*, 2014, 34(5): 1298-1308.
- WU W, XU Z X, YIN X W, et al. Fish community structure and the effect of environmental factors in the Wei River Basin[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(5): 1298-1308.
- [25] 闫金龙, 江韬, 高洁, 等. 两江交汇处水体溶解性有机质的吸收和荧光光谱特征: 以渠江-嘉陵江、涪江-嘉陵江为例[J]. *环境科学*, 2015, 36(3): 869-878.
- YAN J L, JIANG T, GAO J, et al. Characteristics absorption and fluorescence spectra of dissolved organic matter from confluence of rivers: case study of Qujiang-Jialing River and Fujiang-Jialing River[J]. *Environmental Science*, 2015, 36(3): 869-878.
- [26] 杜浩, 班璇, 张辉, 等. 天然河道中鱼类对水深、流速选择特性的初步观测: 以长江江口至涪市段为例[J]. *长江科学院院报*, 2010, 27(10): 70-74.
- DU H, BAN X, ZHANG H, et al. Preliminary observations on preference of fish in natural channel to water velocity and depth: case study in the reach of Yangtze River from Jiangkou Town to Yuanshi Town[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2010, 27(10): 70-74.
- [27] RANDALL R G, MINNS C K, KELSOJ R M. Fish production in freshwaters: are rivers more productive than lakes?[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52(3): 631-643.
- [28] 李君轶. 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, 2014.
- LI J Y. Research on fish composition and spatial distribution in a protected mainstream of upper Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [29] 邱永松. 南海北部大陆架鱼类群落的区域性变化[J]. *水产学报*, 1988, 12(4): 303-313.
- QIU Y S. The regional changes of fish community on the northern continental shelf of the South China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(4): 303-313.
- [30] 刘俊利, 熊邦喜, 吕光俊. 金沙水库鲢、鳙生长特征及起捕规格的研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(S1): 35-39.
- LIU J L, XIONG B X, LÜ G J. Captured standard and growth characteristics of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and bighead carp (*Aristichthys mobilis*) in Jinshahe Reservoir[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(S1): 35-39.
- [31] 李德尚. 关于水库鱼产力的研究[J]. *海洋湖沼通报*, 1980(3): 86-90.
- LI D S. A brief review of the investigations on of reservoir fish-productivity[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1980(3): 86-90.
- [32] ELLIOTT J M, FLETCHER. A comparison of three methods for assessing the abundance of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Windermere (northwest England)[J]. *Fisheries Research*, 2001, 53(1): 39-46.
- [33] GERLOTTO F, PIERRE FRÉON. Some elements on vertical avoidance of fish schools to a vessel during acoustic surveys[J]. *Fisheries Research*, 1992, 14(4): 251-259.
- [34] 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.
- [35] 连玉喜, 黄耿, Malgorzata Godlewska, 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.
- [36] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学研究[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 585-590.
- TAN X C, XIA L Q, TATSUKAWA K, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked carps in the East Lake[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 585-590.
- [37] 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.

Animal Sciences

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Fish in Hechuan Section of the Qujiang River Based on Hydroacoustic Method

SHEN Yanjun, TAO Xiaojiao, MA Yiwen, XIA Ziyang, ZHOU Xinxin, LI Yingwen

(Laboratory of Water Ecological Health and Environmental Safety, School of Life Sciences,
Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: To assess the spatial and temporal distribution characteristics of fish resources and the amount of existing resources in Hechuan Section of the Qujiang River, and to provide certain data support and scientific basis for the management and protection of fishery resources in this Section of the Qujiang River. Simrad EY60 echosounder was used to investigate the hydroacoustic detection in Hechuan Section of the Qujiang River in April 2019 (Spring) and October 2019 (Autumn). The results of the study showed that the spatial and temporal distribution of fish was uneven, with mean densities of fish tended to decrease in most horizontal or vertical areas during the study period. The horizontal distribution of fish in the Hechuan section of the Qujiang River was uneven, the average density of fish in spring was: right bank of the river > left bank of the river > center of the river, and the average density of fish in Autumn was: left bank of the river > right bank of the river > center of the river. The vertical distribution of fish was uneven, with fish densities in spring: lower layer > middle layer > upper layer, and in Autumn: middle layer > lower layer > upper layer. Fish body lengths ranged from 3.94 to 62.37 cm in Spring, with an average length of 15.67 cm, and the fish that accounted for the largest proportion of body lengths were 3.94 cm. In Autumn, the body lengths of fish in the section were the same as in spring, and the fish that accounted for the largest proportion of body lengths were 5.56 cm and 6.99 cm. The average body mass of fish in the spring and autumn of Hechuan section of the Qujiang River was 20.01 g, with the highest proportion of body mass in the spring being 0.32 g, and the highest proportion in the autumn being 0.89 and 1.78 g. The results of the survey suggest that the distribution of fish biomass in the Hechuan section of the Qujiang River is uneven, and that fish are mainly concentrated in potential spawning or baiting grounds for fish, which should be paid special attention to in the future management of regional fisheries resources, and that ecological regulation and protection in the basin should be further strengthened.

Keywords: the Qujiang River; hydroacoustic; spatial distribution; fishery resources

(责任编辑 方 兴)