

基于水声学的长江重庆段南岸至长寿江段鱼类时空分布特征^{*}

沈彦君, 李清华, 张玉凤, 石 妮, 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:研究长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区(后简称长江重庆段四大家鱼保护区)南岸至长寿江段鱼类时空分布特征,为该江段的渔业资源管理和保护工作提供基础数据和科学依据。于2018年4月(春季)和2019年1月(冬季)在研究江段使用 Simrad EY60 回声探测仪进行了水声学探测。研究结果显示:长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段的鱼类空间分布不均匀,在春季主要分布在主汉型江段和回水沱型的江段水体上层,在冬季主要分布在江中坝周围水体的底层和上层;此外有支流桃花溪汇入的观音滩江段中鱼类密度在春、冬季均较大,分别为 3.65×10^{-2} 和 8.10×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。研究江段鱼类目标强度范围为 $-60 \sim 39$ dB,相对应的鱼类体长范围为 $3.94 \sim 49.55$ cm,且鱼类的平均体长在冬季略大于在春季。结合有关鱼类物种多样性调查数据和栖息生境分析可知,长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段的鱼类时空分布特征主要与长江上游鱼类的种类特性、繁殖特性和栖息地生境密切相关。

关键词:水声学;保护区;鱼类资源;长江

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2023)05-0040-09

长期以来,人类活动产生的过度干扰对鱼类生物多样性造成了严重威胁,导致渔业资源量急剧下降,部分鱼类甚至已经面临资源枯竭危机^[1-4]。长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区(后简称长江重庆段四大家鱼保护区)南岸至长寿江段包含该保护区的实验区和核心区水域,此处栖息生境的多样化造就了该江段丰富的鱼类多样性^[5-7],然而沿岸人类活动干扰长期影响着该处水域渔业资源量的有效补充。近些年来,长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段的鱼类物种数量和资源量均呈逐年减少状态,整体鱼类资源已呈明显衰退趋势^[4,8]。因此,开展对该江段鱼类的保护生态学等领域的研究具有重大意义。

探讨鱼类资源时空分布特征及鱼类资源与栖息环境之间的关系是鱼类生态学研究中的一项重要内容^[9]。与传统的渔业资源调查方法相比,水声学技术因相关理论和设备的不断变革和完善而具有方便高效、渔业友好、覆盖面广、精确度高等众多优势^[10]。因此,水声学技术受到了相关研究人员的广泛关注,已被应用于诸多水系的鱼类资源时空变动研究中,例如:Fabi 等人^[11]利用水声学方法探测了亚得里亚海珊瑚礁生境中鱼类密度分布状况;Djemali 等人^[12]使用 Simrad EK60 回声探测仪发现突尼斯人工湖中鱼类资源存在较大的昼夜密度差异;唐启升等人^[13]通过水声学方法揭示了北太平洋狭鳕(*Theragra chalcogramma*)的资源分布状况及分布环境特点;谭细畅等人^[14-15]运用 EY60 回声探测仪评估了东湖和青海湖的鱼类资源生物量及时空分布。

基于水声学技术的鱼类资源研究在中国起步较晚,且研究者最早将它应用于海洋渔业资源研究^[13],后期才有研究者将它逐渐应用到淡水生态系统研究中^[14-15]。目前关于水声学技术在长江流域鱼类资源研究中的应用已有部分报道,但大多为对长江中下游大型湖泊和水库鱼类资源现状的研究报道^[16-19],对于长江上游区域的相关研究报道较少,特别是关于长江重庆段四大家鱼保护区鱼类资源时空分布的研究目前鲜有报道。为此,本研究使用 Simrad EY60 回声探测仪对长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段的鱼类资源时空动态特征进行了分析,以便了解研究江段鱼类资源的空间分布状况及影响因素,从而为研究江段乃至整个长江重庆段四大家鱼保护区鱼类资源的管理和保护工作提供基础数据和科学依据。

^{*} 收稿日期:2023-03-22 修回日期:2023-05-31 网络出版时间:2023-10-27 16:44

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@cqnu.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.20231027.1218.004

1 材料与方法

1.1 研究江段概况

长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段位于该保护区的上游,起于铜锣峡,止于黄草峡,全长约 72 km,包含了该保护区的实验区和核心区水域(图 1)。受地质条件及水流冲刷下切影响,研究江段形成了峡谷河段(如铜锣峡、明月峡、黄草峡等)和分汊河段(如广阳坝、中坝、剑滩、南坪坝等)相间的藕节状河道。

1.2 水声学探测方法

将 Simrad EY60 便携式回声探测仪的相关设备组装好,将换能器(频率为 200 kHz,主波束角为 7°,脉冲宽度为 128 μ s)、收发器、锂电池、GPS 和显示器安装在钢质实验船头部。实验船的长、宽和吃水深度分别为 12.0、2.4 和 0.7 m,走航探测过程中船速一般控制在 2~3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,且换能器探头保持在吃水深度 0.5 m 左右。探测过程中对鱼群出现时间、GPS 信息、江面宽度(采用 DISCOVERY DS800 测距仪测定)及区域环境状况等信息做好记录,便于后期数据整合分析。本研究于 2018 年 4 月(春季)和 2019 年 1 月(冬季)分别对研究江段进行了水声学调查,在调查过程中,实验船舶航线主要采用“Z”字形方式。

1.3 数据处理及分析

利用 Sonar5-pro 软件对实地探测水声学数据文件由“. dt4”格式转化成“. uuu”格式,相关参数设置参考已有文献资料^[20-21]。对于转换格式后的水声学数据文件,首先设定合理的水深数据以确保江段水底全部显现;然后进行自动探测水底并根据需要进行人工校对;再用交叉过滤(cross filter detector)方法通过单回波检测、追踪和移除非期望目标进行噪音去除;最后用多重目标追踪(multiple target tracking)方法和轨迹跟踪分析(tracking analysis)自动判别并计数,同时手动识别自动检测未获取到的目标信号以提高数据准确性。鱼类目标强度与全长关系分析参考 Foote^[22]的经验公式进行换算,即: $S = 20 \times \log_{10} L - 71.9$,其中: S 为鱼类目标强度数值,单位 dB; L 为鱼类体长数值,单位 cm; 71.9 为水声学常数。

2 结果与分析

2.1 数据采集和水声学探测效果

长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段最大宽度约为 2.0 km,位于江中坝白家湾上游江段(北纬 29.586 361°、东经 106.848 800°至北纬 29.579 003°、东经 106.865 514°)。在 2 个研究时段内于研究江段共采集到水声学数据 12.88 GB,探测过程中采集画面正常、回波图像清晰。基于水声学数据使用交叉过滤方法在 Sonar 5-Pro 软件检测的回波图信号轨迹正常,表明水声学探测效果良好(图 2)。

2.2 研究江段鱼类的水平分布

对多频段声波回波(amplitude detection)图进行分析可知,2018 年 4 月研究江段整个水层鱼类的平均密度和最大密度分别为 1.53×10^{-3} 、 3.65×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。其中鱼类密度较大的江段分别为:芦席碛江段(鱼类密度为 2.52×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)、上黔滩江段(鱼类密度为 1.01×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)、磨盘石江段(鱼类密度为 1.06×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)以及长寿大桥所在支流桃花溪与长江汇合位置(观音滩)江段(鱼类密度为 3.65×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)(图 3a)。根据 1999 年重庆市农业局印发的《长江重庆段鱼类产卵场名录》记载,研究江段共分布有 3 处产卵场即卜壕子江段、明月沱江段和张家沱江段,而 2018 年 4 月正值鱼类产卵期,在此期间探测到上述 3 处鱼类产卵场的鱼类密度分别为 7.0×10^{-3} 、 1.19×10^{-2} 和 7.0×10^{-3} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。在 2019 年 1 月,研究江段整个水层鱼类的平均密度和最大密度分别为 2.55×10^{-2} 、 2.93×10^{-1} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。其中鱼类密度较大江段分别为:腰塍碛附近江段(鱼类密度为 2.48×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)、大箭滩附近江段(鱼类密度为 2.93×10^{-1} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)、南坪坝上游约 3.5 km 至下游 1.6 km 处的江段(鱼类密度范围为 $1.82 \times 10^{-2} \sim 2.36 \times 10^{-2}$ 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)、渝怀铁路长寿长江大桥所在江段(鱼类密度为 5.50×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)以及长寿大桥所在支流桃花溪与长江汇合处的观音滩江段(鱼类密度为 8.10×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$)(图 3b)。

2.3 研究江段鱼类的垂直分布

从图 4 可知,研究江段河床地形较为复杂。在春季,研究江段最大水深为 79.09 m(北纬 29.778 014°、东经 107.104 742°),平均水深、平均最大水深分别为 6.50、33.06 m。垂直方向上划分水层为上层(0~33%水深)、中层(>33%~66%水深)和底层(>66%~100%水深),根据回波图计算分析,研究江段上层、中层和下层鱼类的平均密度分别为 5.88×10^{-3} 、 1.64×10^{-3} 和 0.44×10^{-3} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。在冬季,研究江段最大水深为 84.33 m(北

纬 29.595 825°、东经 106.815 375°), 平均水深和平均最大水深分别为 14.05 和 48.50 m; 研究江段上层、中层和下层鱼类的平均密度分别为 6.70×10^{-2} 、 1.47×10^{-2} 和 4.59×10^{-2} 尾 $\cdot \text{m}^{-3}$ 。上述结果表明: 在春季, 研究江段鱼类在水层中的分布按上层、中层、底层的顺序依次减少; 在冬季, 该江段鱼类在水层中的分布则按上层、底层、中层的顺序依次减少。

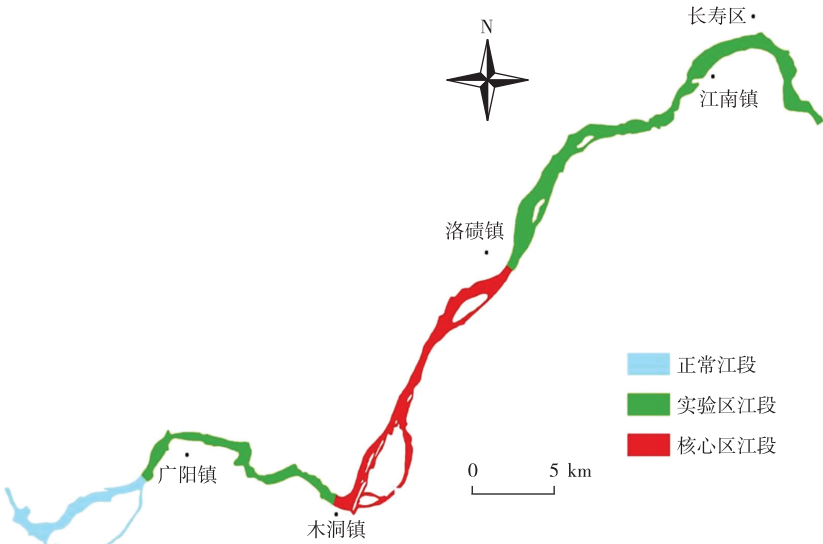
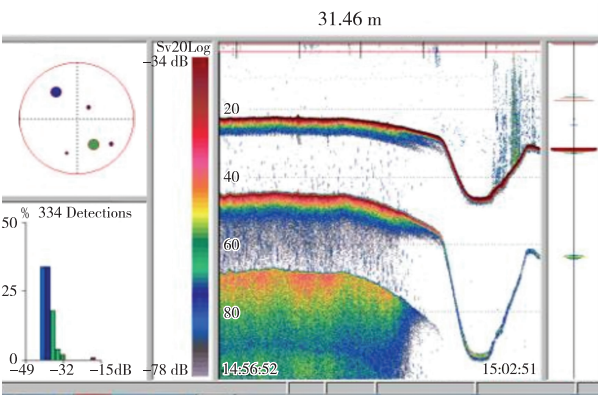
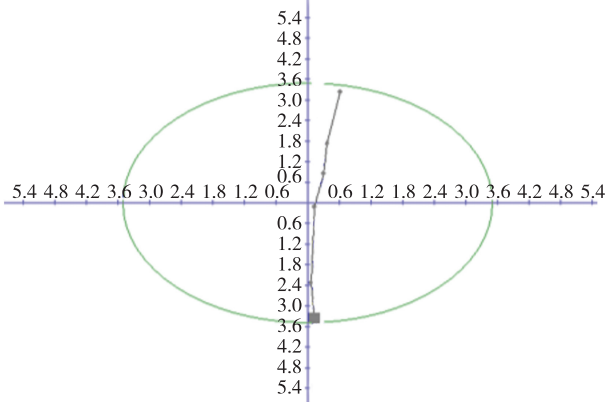


图 1 研究江段水声学探测区域

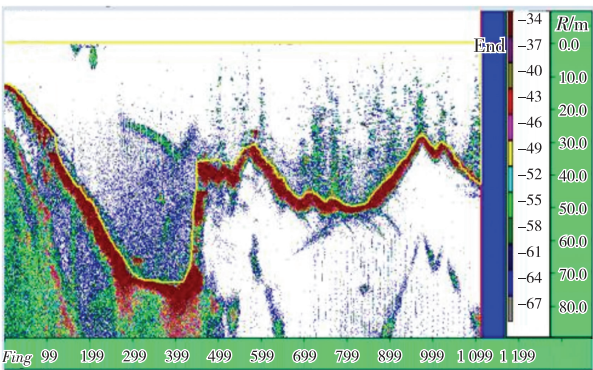
Fig. 1 Area of hydroacoustic surveys in the study river segment



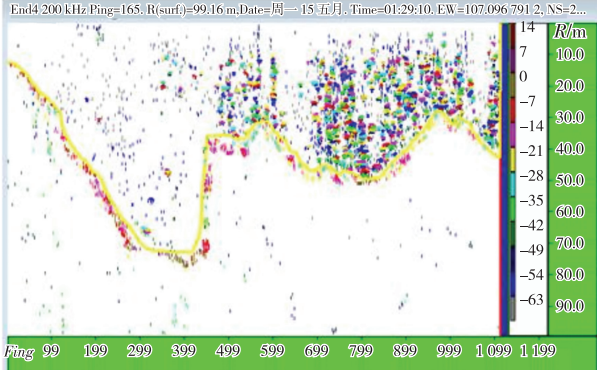
a Simrad EY60 采集界面



b 鱼类信号轨迹图



c 多频段声波回波图



d 单一回波检测回波图

图 2 数据采集及探测效果

Fig. 2 Data collection and post-effects

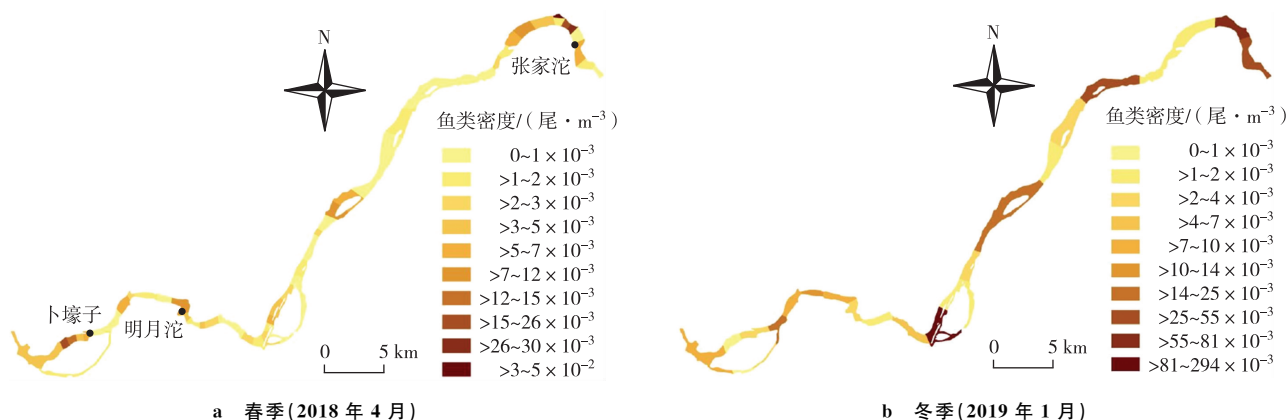


图3 研究江段鱼类密度分布

Fig. 3 Fish density distribution in the study river segment

2.4 研究江段鱼类的目标强度

图 5a 显示:春季研究江段鱼类目标强度值的范围为 $-60 \sim -39$ dB,平均目标强度值为 -49.5 dB,其中占比最高的目标强度值为 -59 和 -58 dB;根据经验公式^[22]推算对应的鱼类体长范围为 $3.94 \sim 44.16$ cm,平均体长为 13.18 cm,其中占比最高的体长为 4.42 cm 和 4.95 cm。而图 5b 则显示:冬季研究江段鱼类目标强度值的范围为 $-60 \sim -38$ dB,平均目标强度值为 -49 dB,其中占比最高目标强度值为 -60 、 -55 、 -53 和 -51 dB,推算出对应的鱼类体长范围为 $3.94 \sim 49.55$ cm,平均体长为 13.96 cm,其中占比最高的体长为 3.94 、 7.00 、 8.81 和 11.09 cm。上述结果显示:研究江段鱼类的目标强度值在冬季时略大于在春季时。对研究江段春、冬季鱼类信号参照上述方法进行上、中、底层的目标强度值分析,所得结果如图 6 所示;而根据目标强度值分布情况推算的鱼类体长数据如表 1 所示。

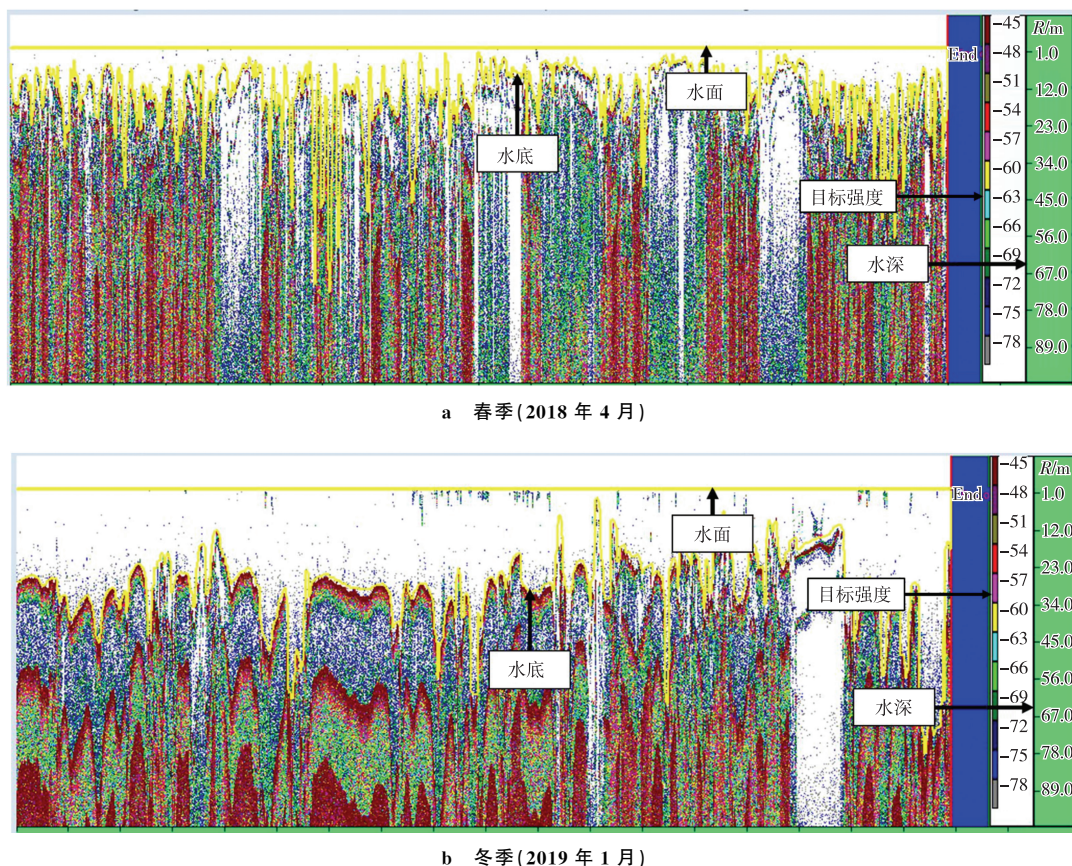


图4 研究江段多频段声波回波图

Fig. 4 Amplitude detection image of the study river segment

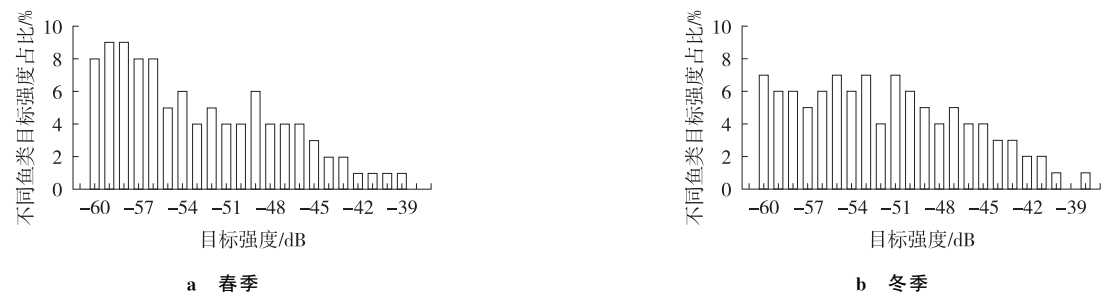


图 5 研究江段春、冬季的鱼类目标强度分布

Fig. 5 Target intensity distributionin of fish in the study river segment from spring to winter

2.5 研究江段鱼类的季节分布特征

统计多频段声波回波图中的鱼体信号可以发现:春季研究江段的聚群鱼类主要分为分布在水体上层、远离江岸、靠近深凹水域的上层鱼类,以及分布在江底河床较复杂的位置、靠近江岸、远离深凹的底层鱼类,并统计到上层鱼类聚群位置 14 处、底层鱼类聚群位置 6 处。在冬季,研究江段鱼体信号则大多为分散分布状。对比 2 个季节鱼类密度较大的位置与该位置处最大水深、平均水深关系(图 7),可以发现:春季研究江段鱼类密度较大位置的最大水深波动幅度较大,而平均水深相对稳定(范围为 4. 12~15. 20 m);冬季研究江段鱼类密度较大位置的最大水深和平均水深波动幅度均较小,两者范围分别为 45. 1~65. 12 m 和 10. 13~20. 49 m。

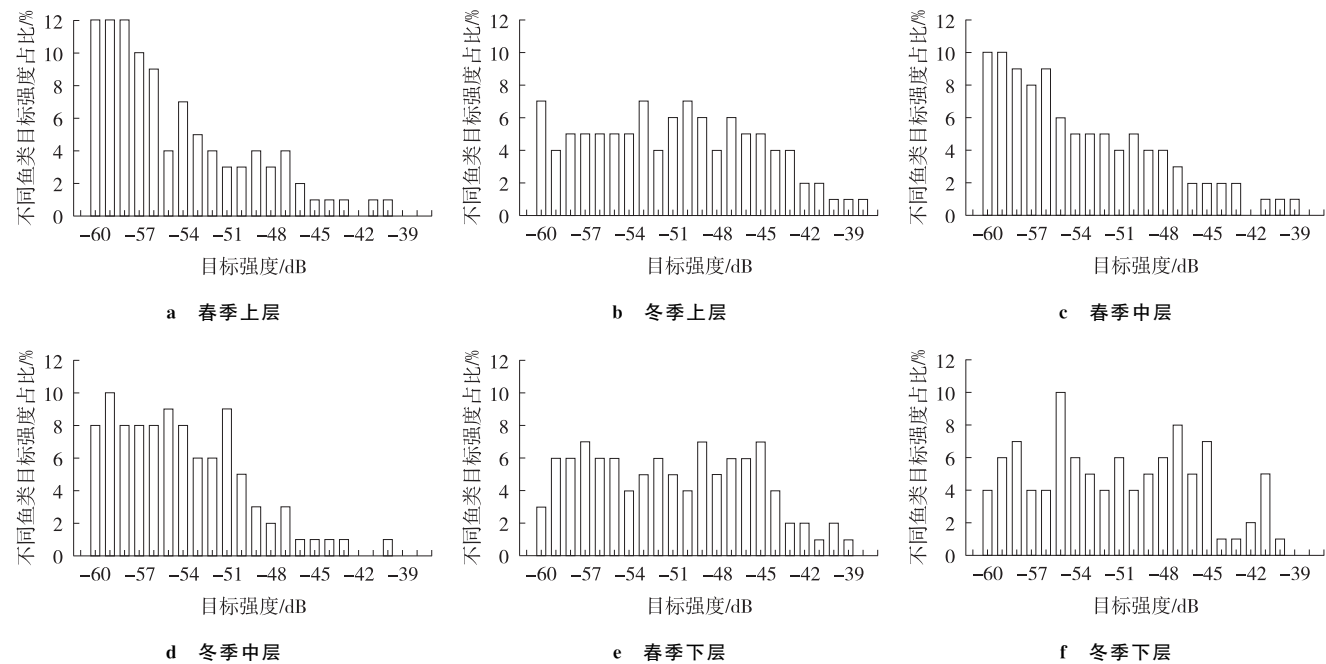


图 6 研究江段春、冬季的鱼类目标强度分布

Fig. 6 Target intensity distribution of fish in the study river segment from spring to winter

表 1 研究江段不同水层的鱼类体长

Tab. 1 Fish length in different water layers in the study river segment

季节	水层	体长范围/cm	平均体长/ cm	占比最大的体长/ cm	季节	水层	体长范围/cm	平均体长/ cm	占比最大的体长/ cm
春季	上层	3. 94~39. 36	12. 45	3. 94、4. 42、4. 95	冬季	上层	3. 94~49. 55	13. 96	3. 94、8. 81、12. 45
	中层	3. 94~44. 16	13. 18	3. 94、4. 42		中层	3. 94~49. 55	13. 96	4. 42
	下层	3. 94~44. 16	13. 18	5. 56、13. 96、22. 13		下层	3. 94~39. 36	12. 45	7. 00

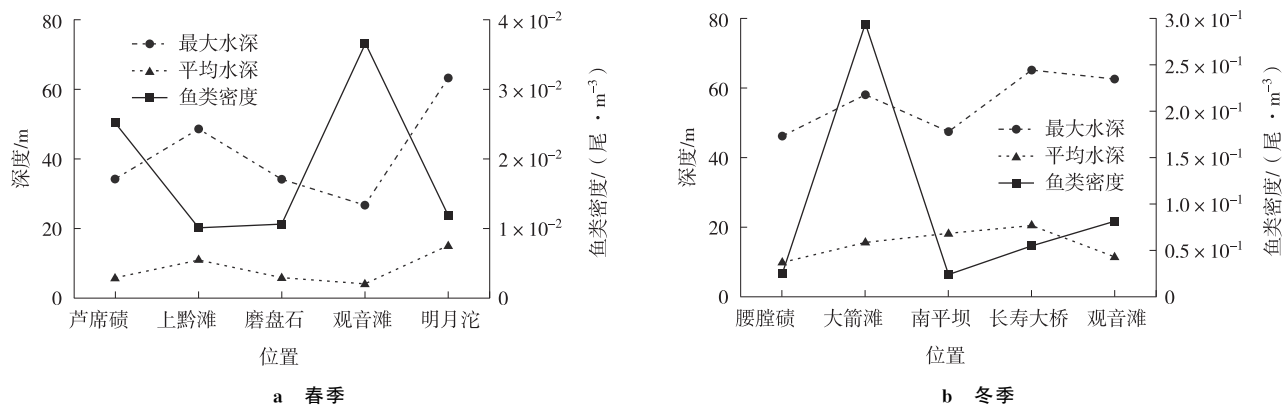


图7 研究江段春季/冬季水深与鱼类密度之间的关系

Fig. 7 Relationship between spring/winter water depth and fish density in the study river segment

3 讨论

3.1 研究江段鱼类空间分布与环境特征之间的关系

鱼类的空间分布常常受到水深、河床底质、饵料资源、流速等多种环境因子的共同影响^[23-24]。在本研究中,水声学探测结果表明长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段的鱼类空间分布并不均匀。在春季,研究江段鱼类主要分布在芦席碛、上黔滩、卜壕子等临近广阳坝主汉的江段区域,磨盘石、张家沱等弯曲型江段以及明月沱所在的矾头型江段。广阳坝江段属于典型的分汉型江段,河床宽阔,两岸最大间距达3 600 m,水流从坝头开始分成两股;由于长期的水流冲刷,汉道头部或两侧有石梁裸露,而石梁会在一定程度上限制汉道形态的变化,最终使汉道两侧的分流和分沙比相对稳定。广阳坝江段左侧为干流,丰水期河宽范围可达1 100~1 500 m;该江段右侧为支流,河宽范围在300~400 m之间,呈微弯形;而且此处的干流流速比支流流速大。磨盘石、张家沱所在江段河道弯曲造成凹岸和凸岸相互掺杂,导致该江段水流流向、流态、流速复杂多变,并造成回流、缓流、急流等流态^[25]。明月沱所在江段属于典型的回水沱,在短距离内水面宽度骤然变宽后又变窄,引起相应的水流状态变化,最终导致此江段流态复杂。已有研究表明,长江上游大多数鱼类繁殖条件较为苛刻,通常喜欢聚集在激流泡漩水体或激流浅滩繁殖^[26]。上述春季鱼类主要分布区均有类似的生境条件,因此区域内出现的鱼类集群现象可能与鱼类繁殖习性有关。而其他江段如夹江背至茅崖子、麻柳嘴镇至江南镇等因为江段整体呈顺直型,水体流态简单,激流较少,不太适宜鱼类繁殖,因而江段水域中的鱼类密度偏小。

研究表明,冬季水体底层温度比上层高而且稳定,大多数鱼类会潜入深水区域越冬^[8]。在本研究中,研究江段的鱼类在冬季主要分布在观音滩、广阳坝尾、桃花岛坝头等江段附近。通过对比上述鱼类密度较大的江段与这些江段最大水深、平均水深间的关系,发现上述冬季鱼类密度较大的江段的水深也较大。而研究江段中一些江中坝的支流可能由于水深较小,温度较低,因此其中鱼类密度也偏小。通常江中坝的坝边、坝头和坝尾水流速度相对缓慢,利于鱼类越冬^[27]。此外,明月沱及它的下游江段可能由于河面较窄、流速较快,不适宜鱼类越冬,因而相应的鱼类密度也偏小。在本研究中,2次探测均发现观音滩所在江段鱼类密度较大,进一步分析后可知:该江段位于长寿城区附近,有一级支流桃花溪汇入,而根据后期水质检测结果可知该水域水体的化学需氧量和总磷质量浓度分别为34.61和0.538 mg·L⁻¹,属于地表Ⅲ类水质;桃花溪横跨整个长寿区,受城区生活用水和污水处理厂尾水影响,故此江段有机物含量较高,鱼类生存所需的饵料也较丰富。因此,上述江段最终成为了部分鱼类的良好栖息地。

3.2 研究江段鱼类分布与季节的关系

不同鱼类的繁殖习性相差较大,主要是对产卵场或者越冬场的温度和流速的选择有着较大差异^[28]。有研究表明,对于大部分长江上游的鱼类而言,在水温适宜的情况下涨水时水流速加大的过程会刺激亲鱼聚集产卵^[27]。最初鱼类产卵场的信息主要依靠渔民的经验来判断大致位置,而随着对长江上游鱼类资源深入了解后,利用它们不同的卵苗特性,现已发展为用网具在下游断面拦截采样的方法来进行分析判断;对于产漂流性卵的鱼类主要用水平拖网进行采样,对于产沉粘性卵的鱼类则用特定的底层装置进行采样^[27]。本研究中,对春季研

究江段的水声学探测结果显示:鱼类密度在水体上层最大、在水体下层最小,这可能与上层水温适宜饵料生物生长繁殖从而有利于鱼类觅食和产卵有关。对冬季研究江段的水声学探测结果则显示:鱼类密度在水体的上层和底层最大;鱼类密度较大的江段有腰膛碛、大箭滩、南坪坝、观音滩、渝怀铁路长寿长江大桥等附近江段,这些水域大多为适宜鱼类越冬的深水区或者流速缓慢的江中坝流域。将研究江段鱼类水平分布状况结合长江重庆段四大家鱼保护区内的实验区、核心区位置进行分析可知:在春季,该保护区的核心区水域鱼类密度普遍较小,而在实验区中芦席碛、观音滩附近江段的鱼类密度较大——这可能与实验区中芦席碛附近江段是适宜鱼类繁殖的矶头型河段以及观音滩附近江段有桃花溪支流汇入有关。在冬季,除了该保护区核心区的大箭滩与南坪坝附近江段的鱼类密度较大之外,还有实验区内的灯盘至杨家沟、长寿长江大桥至永丰场附近江段的鱼类密度也很大,推测可能是与相应江段的河床条件适宜鱼类越冬有关。

3.3 渔获物验证分析

通过走访渔民和查阅文献资料,发现渔获物捕捞的产出位置和产卵场分布等鱼类资源分布与水声学探测的鱼群密度时空分布结果基本符合^[30],这间接印证了回声探测在该江段鱼类资源调查应用的可行性。根据已有鱼类调查研究结果表明,研究江段的渔获物中主要经济鱼类为营水体底层生活的圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)、南方鲇(*Silurus meridionalis*)、长鳍吻鮡(*Rhinogobio ventralis*)等^[8,29-31],而不同季节的水位和江底底质叠加造就了不同的水深和水温,从而使鱼类在不同的时间在适宜的水深进行觅食和繁殖,水声学结果也显示研究江段大部分水域的深度相对较小,这或许是大底栖鱼类分布于此的原因。此外,本研究选用了 Foote^[22]的经验公式,换算所得体长与采集到的渔获物体长数据基本相符,但由于季节原因,各体长范围的占比可能存在一定差异。

综上所述,在对长江重庆段四大家鱼保护区南岸至长寿江段鱼类的水声学调查基础上,本研究揭示了该江段鱼类的时空分布特征;再结合该江段的鱼类物种多样性调查数据和栖息生境分析,可以确认该江段的鱼类时空分布特征主要与长江上游鱼类的种类特性、繁殖特性和栖息地生境密切相关。

参考文献:

- [1] 张志英,袁野.溪落渡水利工程对长江上游珍稀特有鱼类的影响探讨[J].淡水渔业,2001,31(2):62-63.
ZHANG Z Y, YUAN Y. Effect of Xiluodu key water control project on rare fishes in the upper course of Changjiang River[J]. Freshwater Fisheries, 2001, 31(2): 62-63.
- [2] 段辛斌,陈大庆,刘绍平,等.长江三峡库区鱼类资源现状的研究[J].水生生物学报,2002,26(6):605-605.
DUAN X B, CHENG D Q, LIU S P, et al. Studies on status of fishery resources in three gorges reservoir reaches of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 605-605.
- [3] 吴强,段辛斌,徐树英,等.长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状[J].淡水渔业,2007,37(2):70-75.
WU Q, DUAN X B, XU S Y, et al. Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(2): 70-75.
- [4] 陈虹均.长江三峡库区渔业资源现状调查及鲢的遗传多样性分析[D].重庆:西南大学,2017.
CHEN H J. The fisheries resources survey of the Three Gorges Reservoir in Yangtze River and genetic diversity analysis of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) [D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [5] 丁瑞华.四川鱼类志[M].成都:四川科学技术出版社,1994.
DING R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994.
- [6] 施白南.四川江河渔业资源和区划[M].重庆:西南师范大学出版社,1990.
SHI B N. Sichuan river fisheries resources and zoning[M]. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 1990.
- [7] 刘军,曹文宣,常剑波.长江上游主要河流鱼类多样性与流域特征关系[J].吉首大学学报(自然科学版),2004(1):42-47.
LIU J, CAO W X, CHANG J B. The relationship between species diversity of fish and basin characteristics of main rivers in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Jishou University (Natural Science Edition), 2004(1): 42-47.
- [8] 王珂,李翀,段辛斌,等.三峡库区春季鱼类组成及分布特征[J].淡水渔业,2013,43(3):44-48.
WANG K, LI C, DUAN X B, et al. Composition and distribution of fish in spring in the Three Gorges Reservoir[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(3): 44-48.
- [9] 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):8.
XIANG L L, QING Q, ZENG J, et al. Fish resource assessment in the Peng'an Section of the Middle Jialing River based on

- hydroacoustic surveys[J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, 43(4): 95-102.
- [10] 张俊. 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, 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.
- [11] FABI G, SALA A, et al. An assessment of biomass and diel activity of fish at an artificial reef (Adriatic sea) using a stationary hydroacoustic technique[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59(2): 411-420.
- [12] DJEMALI I, TOUJANI R, GUILLARD J. Hydroacoustic fish biomass assessment in man-made lakes in Tunisia: horizontal beaming importance and diel effect[J]. *Aquatic Ecology*, 2009, 43(4): 1121-1131.
- [13] 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(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(1): 8-20.
- [14] 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 survey on temporal and spatial distributions of stocked carps in the East Lake[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 585-590.
- [15] 谭细畅, 史建全, 张宏, 等. 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*, 2009, 21(6): 865-872.
TAN X C, SHI J Q, ZHANG H, et al. Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(6): 865-872.
- [16] 谢意军, 王珂, 郭杰, 等. 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*, 2016, 46(3): 40-46.
XIE Y J, WANG K, GUO J, et al. Fish spatial distribution and biomass assessment in east Dongting Lake using hydroacoustic method[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(3): 40-46.
- [17] 谭细畅, 常剑波, 陶江平, 等. 三峡库首鱼类分布格局的水声学探测评估[J]. *生态科学*, 2008, 27(5): 329-334.
TAN X C, CHANG J B, TAO J P, et al. Survey on fish distribution in the forequarter of the Three Gorge Reservoir using EY60 split-beam echosounder[J]. *Ecological Science*, 2008, 27(5): 329-334.
- [18] 孙明波, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 基于水声学方法的太湖鱼类空间分布和资源量评估[J]. *湖泊科学*, 2013, 25(1): 99-107.
SUN M B, GU X H, ZENG Q F, et al. Assessment of fish spatial distribution and biomass in Lake Taihu using hydroacoustic method[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2013, 25(1): 99-107.
- [19] 周家飞, 王从锋, 刘德富, 等. 葛洲坝下游近坝区水域鱼类资源声学调查与评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(11): 1551-1557.
ZHOU J F, WANG C F, LIU D F, et al. Hydro-acoustic investigation and assessment on fishes in the near downstream of Gezhouba Dam[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(11): 1551-1557.
- [20] 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.
- [21] 石妮, 李英文. 基于水声学探测的云南省渔洞水库鱼类空间分布和资源量评估[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 35(4): 37-41.
SHI N, LI Y W. Fish spatial distribution and biomass assessment in Yudong Reservoir of Yunnan Province based on hydro acoustic research[J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2018, 35(4): 37-41.
- [22] FOOTE K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys[J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1998, 82(3): 981-987.
- [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] 帅方敏, 李新辉, 刘乾甫, 等. 珠江水系鱼类群落多样性空间分布格局[J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 3182-3192.
SHUAI F M, LI X H, LIU Q F, et al. Spatial patterns of fish diversity and distribution in the Pearl River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(9): 3182-3192.
- [25] 柏海霞, 彭期冬, 李翀, 等. 长江四大家鱼产卵场地形及其自然繁殖水动力条件研究综述[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2014, 12(3): 249-257.
BAI H X, PENG Q D, LI C, et al. A summary of topographical characteristics of the four major Chinese carps' spawning grounds and hydrodynamic conditions for natural propagation in the Yangtze River[J]. *Journal of China Institute of Water*

- Resources and Hydropower Research, 2014, 12(3): 249-257.
- [26] 孙立元, 危起伟, 张辉, 等. 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, 2014, 44(1): 53-58.
SUN L Y, WEI Q W, ZHANG H, et al. Surveys on spatial distribution of fishes based on hydroacoustics from Xiangjiaba Dam to Yibin reach of the Upper Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(1): 53-58.
- [27] 柏海霞. 长江宜都四大家鱼产卵场地形特征及生态水力因子分析[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2015.
BAI H X. Analysis on topographical characteristics and ecological hydrodynamic factors of the four major Chinese carps' Yidu spawning ground in Yangtze River[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2015.
- [28] 姜伟. 长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区干流江段鱼类早期资源研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
JIANG W. Studies on fish early resources in the main stream of state-level natural protection area for rare and endemic fishes in the upper Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [29] 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. Analysis on the spatiotemporal distribution characteristics of fish species and their relationship with related factors in the Three Gorges Reservoir Area[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013.
- [30] 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.
- [31] 段辛斌, 陈大庆, 李志华, 等. 三峡水库蓄水后长江中游产漂流性卵鱼类产卵场现状[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 523-532.
DUAN X B, CHEN D Q, LI Z H, et al. Current status of spawning grounds of fishes with pelagic eggs in the middle reaches of the Yangtze River after impoundment of the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(4): 523-532.

Animal Sciences

Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Fish from Nan'an to Changshou Section in the Chongqing Section of the Yangtze River Based on Hydroacoustics

SHEN Yanjun, LI Qinghua, ZHANG Yufeng, SHI Ni, LI Yingwen

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

Abstract: To study the spatial and temporal distribution characteristics of fish from Nan'an to Changshou River Section of the National Aquatic Germplasm Resources Conservation Area of the four major Chinese carps in the Chongqing Section of the Yangtze River (hereinafter referred to as the Chongqing Section of the Yangtze River Four Major Fish Reserve), and to provide basic data and scientific basis for the management and protection of fishery resources in this river section. Hydroacoustic detections were conducted in April 2018 (spring) and January 2019 (winter) in the study river section using a Simrad EY60 echo sounder. The results of the study showed that the spatial distribution of fish in the study river section was uneven, with fish mainly distributed in the upper layer of the water of the main branch-type section and the backwater tuyere-type section of the river in spring, and in the bottom and upper layer of the water around the dam in the middle of the river in winter; moreover, the density of fish in the section of the river in Guanyintan, where a tributary, Taohua creek, was also larger in spring and winter, with the densities of 3.65×10^{-2} and 8.10×10^{-2} ind $\cdot$ m $^{-3}$, respectively, and the target intensity of fish in the study section ranged from -60 to 39 dB, the corresponding fish length ranged from 3.94 to 49.55 cm, and the average length of fish was slightly larger in winter than in spring. Combined with the fish species diversity survey data and habitat analysis, the spatial and temporal distribution characteristics of fish in the study river section are closely related to the species characteristics, reproductive characteristics and habitat of fish in the upper reaches of the Yangtze River.

Keywords: hydroacoustics; the reserve; stock of fish; the Yangtze River

(责任编辑 方 兴)