水产学报
JOURNAL OF FISHERIES OF CHINA
DOI: 10.11964/jfc.20241114774
Science Press

何仕文, 田辉伍, 邓华堂, 等. 禁捕初期长江重庆段四大家鱼保护区鱼类资源水声学评估 [J]. 水产学报, 2026, 50(1): 019309.

He S W, Tian H W, Deng H T, *et al*. Hydroacoustic evaluation of fish resources in the Yangtze River's four major Chinese carps reserve (Chongqing Section) in the early stage of fishing ban [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2026, 50(1): 019309 (in Chinese).

禁捕初期长江重庆段四大家鱼保护区鱼类资源水声学评估

何仕文[1,2]，田辉伍[1]，邓华堂[1]，倪达富[1]，谢　伟[1]，段辛斌[1]，
邵　俭[2]，周俊杰[3]，张　辉[1*]，王　珂[1*]

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所，国家农业科学重庆观测实验站，湖北 武汉　430223；
2. 贵州大学动物科学学院，渔业资源与环境保护实验室，
高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室，贵州 贵阳　550025；
3. 农业农村部渔政保障中心，上海　200040)

摘要：【目的】掌握长江十年禁渔初期长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区鱼类资源分布状况。**【方法】**研究于 2023 年 4—5 月 (鱼类繁殖期) 和 12 月 (鱼类越冬期) 使用 EK80 分裂波束回声探测仪对保护区约 125 km 江段开展了为期 8 d 的水声学探测和 52 d 的渔获物调查。**【结果】**水声学调查结果显示，繁殖期和越冬期鱼类平均密度分别为 (19.44±29.04) 和 (5.07±3.93) 尾/1 000 m^3，无显著性差异；平均目标强度分别为 (−60.66±6.63) 和 (−57.60±6.44) dB，存在极显著差异。水平方向上，繁殖期鱼类集聚区域为靠近城镇附近水域，越冬期则大致表现为远离城镇的水域；垂直方向上，两次调查以 6~9 m 水层内鱼类密度最大，鱼类目标强度大致呈现出随水深增加逐渐增大的分布规律。渔获物调查结果显示，繁殖期采集到鱼类 47 种，隶属 5 目 12 科，以鲿、似鳊、银鮈数量占比较高；越冬期采集到鱼类 48 种，隶属 6 目 13 科，以蛇鮈、厚颌鲂、短颌鲚数量占比较高。**【结论】**与禁捕前 (2017—2019 年) 相比，保护区鱼类聚集区域有明显变化、南岸—长寿江段密度显著高于禁捕前，但总体平均规格变小。为科学评估禁捕后鱼类资源的动态变化，建议持续并强化开展水声学的调查研究。

关键词: 禁渔初期；水产种质资源保护区；水声学；鱼类资源；长江重庆段

中图分类号: S 931　　**文献标志码:** A

随着全球气候变化和人类活动影响加剧，连年的厄尔尼诺现象严重影响各类水域水体的生态环境，水域水生生物生存受到威胁；而保护水域生态环境和水生生物多样性一个有效的形式就是

收稿日期：2024-11-25　　**修回日期：**2025-03-25
资助项目：国家重点研发计划 (2022YFC3202001)；中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2023TD09)；国家自然科学基金委员会-中华人民共和国水利部-中国长江三峡集团有限公司长江水科学研究联合基金 (U2240214)
第一作者：何仕文，从事渔业资源与环境研究，E-mail：jiawenhh@163.com；
田辉伍，从事渔业资源与环境研究，E-mail：tianhw@yfi.ac.cn
通信作者：张辉，从事淡水渔业可持续发展生态学研究，E-mail：zhanghui@yfi.ac.cn；
王珂，从事鱼类资源研究，E-mail：wangke@yfi.ac.cn

建立水生生物保护区[1]。根据保护对象的不同，水生生物保护区主要划分为水生生物自然保护区、水产种质资源保护区和渔业湿地三大类别[2]。其中，水产种质资源保护区是指“为保护和合理利用水产种质资源及其生存环境，在保护对象的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道等主要生长繁育区域依法划出一定面积的水域滩涂和必要的土地，予以特殊保护和管理的区域”[3]。目前，我国共分11 个批次建立 535 处国家级水产种质资源保护区，面积达 13 万 km^2，涵盖了海区以及内陆的主要水域[4-6]；长江流域共有水产种质资源保护区 278 个，其中 250 个水产种质资源保护区为国家级保护区，占总数的 89.93%[7]。

长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区 (以下简称保护区) 上起重庆市南岸区广阳镇，下至涪陵区南沱镇，主要保护对象为青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*)[8]，鱼类资源丰富，是鱼类重要的栖息、产卵场所[9-11]。保护区大部分位于三峡库区库尾段变动回水区内，受三峡水利枢纽调度运行和天然水沙条件的双重影响，该江段生境特殊，具有库区和天然河道双重特性。蓄水期水深较大，水流较平缓，水位较稳定；而在消落期及汛期，因坝前水位降低，水位及水流条件与天然河流状态基本相似，最大日变幅可达 3 m 以上[12-13]，水生态环境变化受排蓄水影响较大。水体生态环境改变以及人类活动影响日益加剧，对鱼类资源造成了不同程度的影响。为维系长江水生生物资源，我国农业农村部宣布，自 2018 年起，包括长江重庆段四大家鱼国家级水产种质资源保护区在内的长江流域 332 个水生生物保护区，将逐步施行全面禁捕[14]。截至 2019 年底，重庆市水生生物保护区率先完成渔民退捕，已全面禁止生产性捕捞。

针对保护区鱼类资源状况，已经有丰富的研究成果。早在 20 世纪九十年代，罗芬[15] 就对保护区内木洞断面鱼类资源进行了调查，共采集到鱼类 66 种。朱其广等[16] 利用微耳石结构分析了木洞江段翘嘴鲌 (*Culter alburnus*) 早期生长特征，结果表明翘嘴鲌幼鱼耳石半径与体长、日龄与体长均呈显著的线性关系。王美荣等[17] 对木洞江段圆筒吻鮈 (*Rhinogobio cylindricus*) 年龄与生长进行了分析，表明圆筒吻鮈个体出现小型化现象。杨少荣等[18] 对木洞江段鱼类群落结构的季节变化进行了探讨，表明水位和水温是影响该江段鱼类群落结构的主要环境因子。石妮[8] 于 2017—2019 年利用水声学技术对整个保护区江段进行了春冬两季的走航调查，结果显示鱼类在水平分布上存在着较大差异。Yang 等[19] 对三峡库区变动回水区内鱼群开展了不同水位的调查。上述研究大多为禁捕前开展，禁捕后未见对保护区江段鱼类资源的系统报道，禁捕后保护区鱼类资源现状如何，未从而知，保护区鱼类资源状况亟待探究。因此，本研究以水声学走航调查辅以鱼类样本网捕调查，对禁捕后保护区段鱼类资源进行探究，并结合禁捕前相关研究结果，分析禁捕前后保护区鱼类资源变化差异，可为禁捕后保护区鱼类资源演变规律研究以及区域渔业资源管理提供支撑。

1　材料与方法

1.1　调查区域及时间

本研究调查区域为重庆市南岸区广阳镇 (29.61°N,106.78°E) 至涪陵区南沱镇 (29.86°N, 107.54°E) 约 125 km 的保护区江段，于 2023 年 4—5 月 (鱼类繁殖期) 以及 12 月 (鱼类越冬期) 对该区域开展了 2 次水声学调查 (图 1)。繁殖期调查时三峡水库坝前水位约 155 m，处排水低水位时期，越冬期坝前水位约 172 m，处高水位时期。

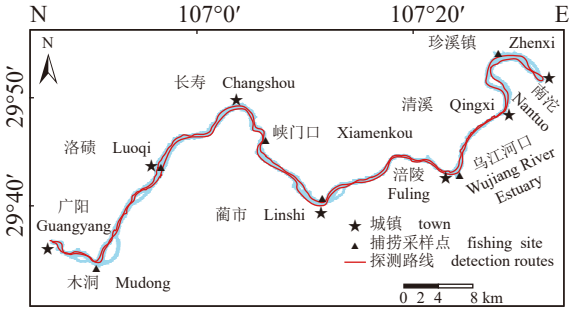

图 1　保护区水声学调查示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the hydroacoustic survey of the reserve

1.2　渔获物调查

为了解保护区段内鱼类种类组成，经重庆市农业农村委员会批准，于 2023 年 5—6 月及 10—11 月在保护区江段内开展渔获物调查。设木洞、洛碛、峡门口、蔺市、乌江河口、珍溪镇 6 个调查断面，利用三层复合刺网 (长 50 m，高 2 m，4

种网目：2、6、10 和 14 cm) 及地笼网 (长 18.00 m，宽 0.33 m，高 0.45 m，网目 0.80 cm) 同步进行采样，网具放置方向与水流方向垂直，单次放网时间为傍晚 18:00 至次日 6:00 (约 12 h)，每个采样断面持续调查 3~5 d。记录鱼类种类、尾数、体长 (精确到 0.10 cm)、体重 (精确到 0.10 g) 等数据。种类鉴定参照《中国动物志》[20]。数据统计和分析采用 Origin 2021 和 Excel 2019 软件进行。采样过程严格遵守中华人民共和国和重庆市实验动物管理规范进行。

1.3　水声学调查

水声学设备　调查使用的设备为 SIMRAD 公司生产的 EK80 分裂波束科研回声探测仪，数据采集使用设备自带采样软件 ER80。探测时换能器频率为 200 kHz，半功率角 (−3 dB beam width) 为 7°，脉冲宽度 (pulse duration) 为 0.064 ms。

声学数据采集　探测时鱼探仪固定在探测船只右舷，远离船只发动机，距离船首 1/3 船体长度，入水深度约 0.5 m，波束垂直向下发射。探测前参考相关文献[21-22]使用铜金属球对探测系统进行声学校正，以消除不同介质条件对换能器的影响，保证回波强度的准确性。由于调查江段存在航道管制，船只沿航道走航探测，同一江段有上下行 2 个航程 (越冬期由于船只原因，只开展了上行探测)，两条航线纵向平行，各单元鱼类密度取 2 次的平均值。探测时航速保持在 8~11 km/h，并根据风、浪等实际情况进行调整。根据 Aglen[23] 覆盖率公式计算水声学调查的覆盖率：

$$D = L/\sqrt{A}$$

式中，L 为每次走航的总长度 (km)，A 为探测水域的面积 (km^2)。两次探测走航覆盖率分别为 22.53 和 11.27，符合 Aglen[23] 关于水声学探测覆盖率大于 6 的建议。

数据分析　使用 Sonar-5pro 软件对所采集的水声学数据进行转换和分析。为排除船只发动机噪声和气泡以及水底杂质等干扰，水声学数据选取换能器下 1.0 m 至水底以上 0.2 m 的区域进行分析。首先运行软件自动画底功能，对自动画底有错误和明显差异的线条手动修订；使用交叉过滤 (CFD) 法去除目标信号以外的背景噪声，擦除明显的非鱼类信号，具体参数设置如表 1 所示；将体积散射强度和目标强度回波映像中的最小阈值设为−70 dB，以此屏蔽浮游生物等弱散射体的回波信号。采用单体目标追踪法 (SED) 和轨迹追踪分析来自动判别鱼体信号并计数，手动擦除轨迹杂乱的非鱼类目标信号，提高数据准确性，参数设置如表 1 所示。采用 Kieser 等[24] 回声计数方法进行鱼类密度的估算，计算公式参考淡水渔业资源调查规范[25]。

表 1　Sonar5-pro 分析软件参数设置

Tab. 1　Parameters configuration of Sonar5-Pro

参数 parameter	参数设置 parameter setting
前景滤波器　foreground filter	[1,3]
背景滤波器　background filter	[1]
目标平滑滤波　target smooth filter	[1,3]
信号长度　signal length	[3]
最大增益补偿/dB　max. gain compensation	6
最小目标长度/ping　min. track length	2
最大脉冲缺失/ping　max. ping gap	2
门阀过滤范围/m　gating range	0.3

参照 Foote[26] 提出的喉鳔鱼类经验公式对目标强度和鱼体体长进行转换：

$$TS = 20\lg TL - 71.9$$

式中，TS 为鱼类的目标强度 (dB)，TL 为目标鱼体的体长 (cm)。

对于鱼类在水平方向上的分布规律，根据沿岸城市分布位置，将保护区划分为广阳—洛碛 (约 26 km)、洛碛—长寿 (约 20 km)、长寿—蔺市 (约 22 km)、蔺市—涪陵 (约 25 km)、涪陵—清溪 (约 16 km)、清溪—南沱 (约 16 km) 6 个区域进行探讨。同时以 500 m 江段作为一个分析单元，单独计算每个单元内的鱼类密度，采用 ArcGIS 软件 (Environmental Systems Research Institute，美国) 进行空间分布的建模[21]，采用反距离权重法进行栅格插值运算[27-28]，绘制鱼类密度水平分布图。为探讨保护区段内鱼类在垂直方向上的分布规律，对所得数据以 3 m 为一个水层、水深大于 27 m 的部分为一个水层进行分层处理，分别计算各水层鱼类密度及目标强度。

2　结果

2.1　渔获物组成

繁殖期共采集到鱼类 47 种 (表 2)，隶属5 目

表 2　保护区鱼类种类组成

Tab. 2　Composition of fish species in the reserve

时间 time	种类 species	平均体重/g average weight	重量比/% weight ratio	数量比/% quantity ratio	体长/cm body length	
					范围 range	均值 mean
繁殖期 reeding period	**鳀科 Engraulidae**					
	短颌鲚 *Coilia brachygnathus*	48.73	1.50	5.59	14.8~53.8	23.07
	鲤科 Cyprinidae					
	鳌 *Hemiculter leucisculus*	17.19	1.95	20.68	6.4~15.4	10.89
	鲫 *Carassius auratus*	153.97	1.36	1.61	6.0~26.5	13.67
	光唇蛇鮈 *Saurogobio gymnocheilus*	13.47	0.12	1.66	7.5~12.6	10.64
	鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*	1 085.96	11.65	1.95	15.3~77.3	31.05
	似鳊 *Pseudobrama simoni*	23.92	1.71	12.99	7.1~19.2	10.78
	飘鱼 *Pseudolaubuca sinensis*	31.25	0.98	5.71	8.0~26.6	15.26
	蒙古鲌 *Culter mongolicus*	143.14	1.20	1.52	9.1~53.3	16.51
	翘嘴鲌 *C. alburnus*	46.18	0.95	3.76	6.5~43.6	14.03
	厚颌鲂 *Megalobrama pellegrini*	474.58	5.84	2.24	10.2~48.2	26.06
	蛇鮈 *Saurogobio dabryi*	30.17	1.28	7.71	4.6~20.8	14.43
	银鮈 *Squalidus argentatus*	19.94	1.04	9.46	5.6~13.8	10.35
	鲿科 Bagridae					
	光泽黄颡鱼 *Pelteobagrus nitidus*	32.83	0.37	2.06	8.3~27.7	13.53
	瓦氏黄颡鱼 *P. vachelli*	189.85	6.92	6.62	11.4~47.9	22.68
	长吻鮠 *Leiocassis longirostris*	727.77	8.95	2.24	15.6~67.2	36.75
	鮨科 Serranidae					
	大眼鳜 *Siniperca kneri*	329.65	4.16	2.29	9.1~51.3	21.82
	其他 other		50.02	11.90	4.6~98.5	
越冬期 overwintering period	**鳀科 Engraulidae**					
	短颌鲚 *C. brachygnathus*	55.66	1.14	7.65	14.5~35.7	25.06
	鲤科 Cyprinidae					
	厚颌鲂 *M. pellegrini*	462.80	11.58	9.32	7.0~44.3	27.48
	蛇鮈 *S. dabryi*	25.64	1.23	17.89	8.1~20.2	13.43
	似鳊 *P. simoni*	23.87	0.33	5.16	8.8~16.5	11.39
	铜鱼 *Coreius heterodon*	232.71	2.81	4.49	9.7~42.0	21.53
	岩原鲤 *Procypris rabaudi*	970.48	17.57	6.74	18.8~74.0	34.75
	光泽黄颡鱼 *P. nitidus*	20.91	0.24	4.33	8.2~16.5	12.30
	圆筒吻鮈 *Rhinogobio cylindricus*	215.69	2.75	4.74	10.1~32.2	25.15
	其他 other		62.34	39.68	5.5~91.5	

12 科，以鲤科鱼类占比最多，占总种类数的 63.83% (表 2)。繁殖期采集鱼类样本总重 634.09 kg，平均体重 181.84 g，平均体长17.12 cm，体长范围 4.6~98.5 cm。数量占比前 3 的种类为鳌、似鳊和银鮈，分别占总数量的 20.68%、12.99%、9.46%，3 种鱼类体长范围分别为 6.4~15.4、7.1~19.2 和 5.6~13.8 cm。

越冬期共采集到鱼类 48 种，隶属 6 目 13 科，鲤科鱼类占比最多，占总种类数的 62.5%。越冬期鱼类样本总重 447.44 kg，平均体重 372.24 g，

平均体长 23.56 cm，体长为 5.5~91.5 cm。数量占比前 3 的种类为蛇鮈、厚颌鲂、短颌鲚，分别占总数量的 17.89%、9.32%、7.65%，3 种鱼类体长范围分别为 8.1~20.2、7.0~44.3 和 14.5~35.7 cm (表 2)。

2.2　目标强度特征

统计分析显示，两次调查保护区鱼类目标强度均呈非正态分布，繁殖期鱼类目标强度小于越冬期，存在极显著差异 (P<0.01)。繁殖期共探测到鱼类信号 41 280 个，平均目标强度(−60.66 ± 6.63) dB，范围−69.95~−28.08 dB；目标强度在−67~−64 dB 的数量最多，占 21.80%。根据鱼类体长与目标强度经验公式估算得到繁殖期鱼类体长范围为 1.25 ~ 155.24 cm。越冬期共探测到鱼类信号 21 358 个，平均目标强度 (−57.60 ± 6.44) dB，范围−69.93 ~ −28.11 dB；目标强度在−58 ~ −55 dB 的数量最多，占 17.73%；估算得到越冬期鱼类平均体长 5.19 cm，范围 1.25 ~ 154.70 cm。2 次调查中，鱼类目标强度在−70.00 ~ −46.00 dB 区间的占比高达 96.38% (图 2-a)。

2 次调查中鱼类目标强度大致呈现出随水深增加逐渐增大的分布规律 (图 2-b)。在垂直方向上，繁殖期水深大于 27 m 的水层鱼类平均目标强度最大 (−55.14±6.93) dB，水深 0 ~ 12 m 水层平均目标强度最小 (−63.69±5.03) dB，水深 12 ~ 27 m 水层平均目标强度为 (−60.37±6.24) dB；越冬期水深大于 27 m 的水层鱼类平均目标强度最大 (−53.48±5.31) dB，水深 0 ~ 12 m 水层平均目标强度最小 (−62.07±5.04) dB，水深 12 ~ 27 m 水层平均目标强度为 (−58.19±6.11) dB。对比不同调查区域的鱼类目标强度，繁殖期洛碛—长寿江段平均目标强度最小 (−62.49) dB，涪陵—清溪江段平均目标强度最大 (−58.86) dB；越冬期广阳—洛碛江段平均目标强度最小 (−59.40) dB，长寿—蔺市江段平均目标强度最大 (−54.37) dB (图 2-c)。

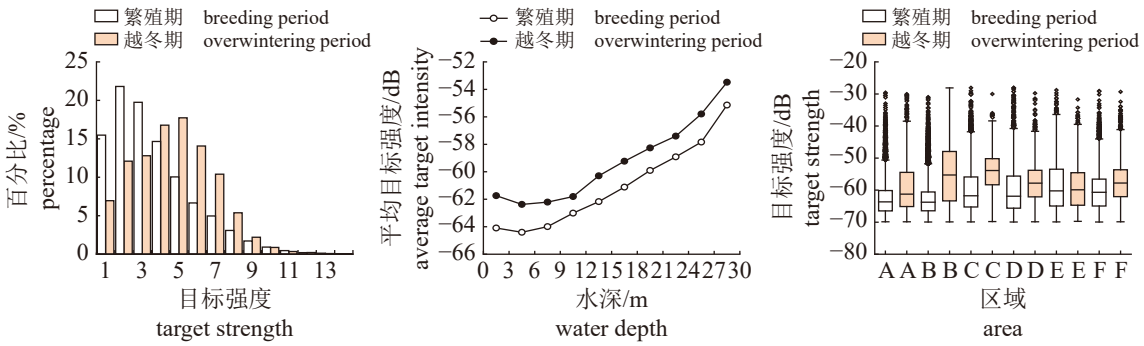

图 2　鱼类目标强度分布

(a) 1. 目标强度区间 (−70~−67 dB]；2. (−67~−64 dB]；3. (−64~−61 dB]；4. (−61~−58 dB]；5. (−58~−55 dB]；6. (−55~−52 dB]；7. (−52~−49 dB]；8. (−49~−46 dB]；9. (−46~−43 dB]；10. (−43~−40 dB]；11. (−40~−37 dB]；12. (−37~−34 dB]；13. (−34~−31 dB]；14. (−31~−28 dB]。(c) A. 广阳—洛碛；B. 洛碛—长寿；C. 长寿—蔺市；D. 蔺市—涪陵；E. 涪陵—清溪；F. 清溪—南沱。

Fig. 2　Distribution of fish target strength

(a) 1. target strength interval (−70-−67 dB]; 2. (−67-−64 dB]; 3. (−64-−61 dB]; 4. (−61-−58 dB]; 5. (−58-−55 dB]; 6. (−55-−52 dB]; 7. (−52-−49 dB]; 8. (−49-−46 dB]; 9. (−46-−43 dB]; 10. (−43-−40 dB]; 11. (−40-−37 dB]; 12. (−37-−34 dB]; 13. (−34-−31 dB]; 14. (−31-−28 dB]. (c) A. the section of the river from Guangyang to Luoqi; B. the section of the river from Luoqi to Changshou; C. the section of the river from Changshou to Linshi; D. the section of the river from Linshi to Fuling; E. the section of the river from Fuling to Qingxi; F. the section of the river from Qingxi to Nantuo.

2.3　鱼类分布特征

保护区段内鱼类分布具有时空异质性，繁殖期鱼类平均密度 (19.44 ± 29.04) 尾/1 000 m^3，大于越冬期 (5.07 ± 3.93) 尾/1 000 m^3，无显著性差异 (P>0.05)。繁殖期以广阳—洛碛段鱼类密度最高 (82.23 尾/1 000 m^3)，主要聚集在广阳、洛碛、长寿和南沱附近，鱼类密度最高区域为洛碛镇附近，达到了 751.61 尾/1 000 m^3，涪陵—蔺市段鱼类密度最低 (1.13 尾/1 000 m^3) (图 3-a)；越冬期则以洛碛—长寿段密度最高 (12.16 尾/1 000 m^3)，密度最高处为长寿区的百胜村附近，为 271.54 尾/1 000 m^3，长寿—蔺市段最低 (0.78 尾/1 000 m^3) (图 3-b)。整体上，从繁殖期到越冬期，鱼类的聚集区域有向远离沿岸城镇的方向迁移的趋势。

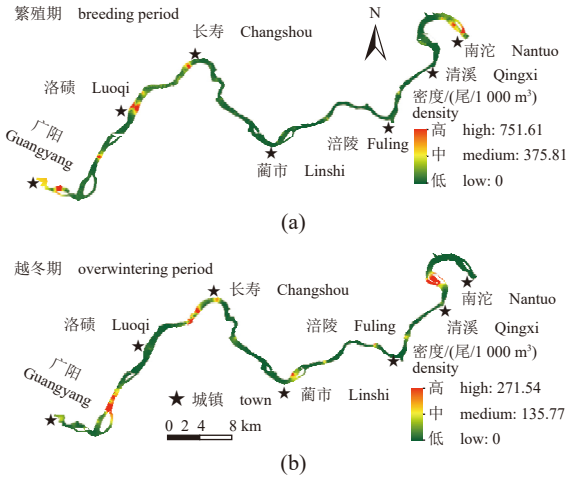

图 3　鱼类水平分布特征

Fig. 3　Horizontal distribution characteristics of fish

垂直方向上，2 次调查鱼类信号分布大致呈现出随水深增加逐渐降低的趋势。繁殖期探测水深范围 0 ~ 87.03 m，平均水深 31.28 m，鱼类信号分布水深范围 1.02 ~ 79.79 m (图 4-a)；越冬期探测水深范围 0 ~ 104.49 m，平均水深 34.68 m，鱼类信号分布水深范围 1.19 ~ 74.94 m (图 4-b)。2 次调查均以 6~9 m 水层鱼类密度最大，繁殖期为 (11.72 尾/1 000 m³)，越冬期为 (10.87 尾/1 000 m³)；水深超过 27 m 水层鱼类密度最小，繁殖期为 (0.90 尾/1 000 m³)，越冬期为 (1.27 尾/1 000 m³) (图 4-c)。相较于繁殖期，越冬期水深大于 12 m 的水层内鱼类密度有所增加，鱼类平均分布水深增大。除水深 3~6 m 水层内鱼类平均目标强度较 0~3 m 水层有所减少外，其余水层鱼类目标强度随水深增加逐渐增大。

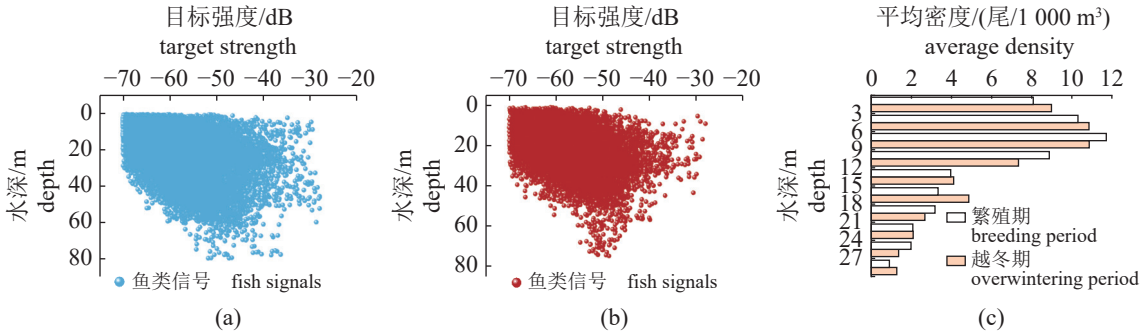

图 4　鱼类垂直分布特征

(a) 繁殖期鱼类信号分布；(b) 越冬期鱼类信号分布；(c) 鱼类密度垂直分布。

Fig. 4　Vertical distribution characteristics of fish

(a) the distribution of fish signals during the breeding period; (b) the distribution of signal signals in fish during the overwintering period; (c) vertical distribution of fish density.

3　讨论

3.1　鱼类时空分布差异分析

繁殖期鱼类平均密度大于越冬期，平均目标强度小于越冬期。鱼类的产卵、繁殖以及越冬等生理变化引起鱼类季节性迁移，导致保护区段鱼类分布不均。保护区江段地理位置独特、鱼类资源丰富，是鱼类重要的产卵场所[29]。繁殖季节，支流鱼类进入干流产卵，鱼类数量增加，鱼类产卵繁殖后水体中仔、稚、幼鱼数量大大增加，此时探测到鱼类密度较大。越冬时节，鱼类因越冬习性会往支流、通江湖泊等水域迁移[30]，导致此时探测到的鱼类密度较小。这与王珂[31]对三峡库区主要支流水声学探测结果相对应，各支流冬季鱼类密度大于春季。同时，渔获物调查结果显示，越冬期渔获物数量远小于繁殖期。据此分析，鱼类的生理性变化迁移是造成两次水声学探测鱼类密度存在差异的原因。

繁殖期鱼类平均目标强度小于越冬期，表明繁殖期鱼类平均个体尺寸小于越冬期。这种时间尺度上的差异，主要是由河流洄游性鱼类的季节性迁移所驱动的。青鱼、草鱼、鲢、鳙等鱼类均有洄游习性，繁殖季节逆水洄游到干流上游产卵，产卵结束后陆续回到下游支流、湖泊等饵料丰富的区域索饵、育肥。渔获物调查结果显示，繁殖期以鲿、似鳊、银鲴等小个体鱼类数量占比较高，3 种鱼类数量占到总体的 43.13%，对应平均体长分别为 10.89、10.78 和 10.35 cm；越冬期以蛇鮈、

厚颌鲂、短颌鲚 3 种鱼类数量占比较高，占总体的 34.86%，3 种鱼类对应平均体长分别为 13.43、27.48 和 25.06 cm，繁殖期鱼类平均体长 (17.12 cm) 小于越冬期 (23.56 cm)，与水声学调查结果相吻合。罗杨等[32] 在对长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区重庆段的研究中，冬季鱼类平均目标强度 (−46.4) dB 大于春季 (−54.7) dB，与本研究结果相似，但区别于史银魁等[33] 在长江中游宜昌—城陵矶江段中，枯水期(越冬期) 鱼类平均目标强度小于丰水期 (繁殖期) 的研究结果，不同研究区域之间存在差异，主要是因为洄游性鱼类季节性迁移造成。此外，走航方式、探测时间以及探测时的水文情况等因素都可能会对鱼类目标强度的分析造成影响[30]。

鱼类生理变化引起鱼类在空间分布上发生变化。水平方向上，繁殖期以沿岸城镇附近水域鱼类密度较高，越冬期则有远离城镇附分布的趋势。繁殖季节鱼类因生长繁殖等行为对饵料需求增加；越靠近城镇附近，人类活动越频繁，城镇生活用水的排放、以及人类活动等会为区域水体带来新的营养盐，使水体中有机物含量增加，为鱼类提供了丰富的饵料[34]。相较于繁殖期，越冬期受越冬习性影响，鱼类活动减弱，对索饵需求减弱，相对处于一个“安静”的状态，生理性变化引起鱼类时空分布上发生变化。

不同时期鱼类分布水深存在差异，水体环境变化引起鱼类的垂直分布变化。两次调查中，6~9 m 水层内鱼类密度最大，繁殖期为 11.72 尾/1 000 m^3，越冬期为 10.87 尾/1 000 m^3。在水深 0~9 m，两次调查鱼类密度均呈现出随水深增加逐渐增大的趋势。当水深超过 9 m 时，除越冬期 15~18 m 水层鱼类密度有所增加外，其余水层在两次调查中，鱼类密度均呈现出随水深增加逐渐降低的趋势。相较于繁殖期，越冬期水深 0~6 m 鱼类密度增加，水深 6~12 m 鱼类密度下降，水深 12~18 m 鱼类密度上升，总体上越冬期水深大于 12 m 的鱼类密度较繁殖期略有增加，鱼类分布平均水深加深。鱼类的垂直分布除与自身生活习性有关外，还与水体环境因素息息相关，如水温、溶解氧、浮游生物量以及水体透明度等[35-38]，都会影响鱼类分布。两次调查中，鱼类主要分布在中上层，与连玉喜等[36] 在对香溪河鱼类资源的研究中，从表层到底层鱼类密度逐渐降低的趋势相似。繁殖时期，中上层水体水温升高，中上层的浮游生物饵料资源也更丰富[39]，以浮游生物为食的鱼类会向中上层水层聚集；到了越冬时节，水体表层水温下降，鱼类会受越冬行为的驱使向深水处聚集越冬，所以本研究中越冬期水深大于 27 m 鱼类密度略有增加，鱼类分布平均水深变深。但又有别于任玉芹等[40] 在三峡库区澎溪河中冬季鱼类主要栖息在水体中下层的研究结果，这可能与三峡水库调度运行有关，越冬时节三峡库区处于丰水期，水位高于繁殖时期，水位的抬升，引起水文因子发生变化，如浮游生物量的变化，随着水深增加，浮游生物量迅速降低[41]，影响以浮游生物为食的鱼类分布，造成鱼类在不同时期的垂直分布变化。

3.2　禁捕前后鱼类分布差异

掌握鱼类资源变动规律对管理、保护鱼类资源至关重要，探究保护区禁捕前后鱼类资源变动差异，为鱼类资源演变规律分析提供支撑。在长江十年禁渔政策施行之前，徐观兵等[42]、Yang 等[19] 和石妮[8] 曾利用水声学技术对保护区鱼类资源进行探究，石妮[8] 的研究结果与本研究较为吻合，因此，将本研究结果与之对比分析，探究禁捕前后保护区鱼类资源变化。在广阳—长寿江段，本研究 2 次调查鱼类平均密度 (26.51 尾/1 000 m^3) 大于禁捕前 (13.52 尾/1 000 m^3)，平均目标强度 (−60.62 dB) 则小于禁捕前 (−49.25 dB)；在长寿—南沱江段，本研究 2 次调查中，无论是鱼类密度还是目标强度均小于禁捕前。禁捕前，在 2 个江段中均表现出春季鱼类密度小于冬季的分布特征，本研究则与之相反，冬季鱼类密度大于春季；本研究结果显示，在广阳—长寿江段鱼类密度大于禁捕前，在长寿—涪陵江段则小于禁捕前 (表 3)。相较于禁捕之前，保护区的鱼类平均个体变小，分布区域发生变化。鱼类分布会受周围水域环境变化影响，一方面可能是由于江段水域环境发生了变化，影响鱼类分布；另一方面，禁捕之前，保护区段内鱼类所面临的捕捞压力相对较小，而禁捕之后，整个水域无捕捞压力，鱼类可能迁移到其他水域从而引起这种变化。禁捕之前，鱼类因捕捞压力过大和环境变化等因素而有小型化的趋势[43]，平均目标强度降低；禁捕后，鱼类大量繁殖，水体中小个体鱼类数量大大增加，造成此时探测到的平均目标强度较低。

长江流域不同区域禁捕前后鱼类分布存在差

表 3　禁捕前后鱼类分布差异

Tab. 3　Differences in fish distribution before and after the ban

项目 item		平均密度/(尾/1 000 m³) average density		平均目标强度/dB average target intensity	
		广阳—长寿 Guangyang-Changshou	长寿—南沱 Changshou-Nantuo	广阳—长寿 Guangyang-Changshou	长寿—南沱 Changshou-Nantuo
2017—2019	春季 spring	1.53	15.35	−49.50	−50.00
	冬季 winter	25.52	26.40	−49.00	−49.50
本研究 this study	春季 spring	44.87	6.73	−62.38	−59.94
	冬季 winter	8.15	3.53	−58.86	−57.43

异。贾春艳等[44]在对东洞庭湖的研究中，禁渔捕后的鱼类密度显著大于之前 (2015 年)，平均目标强度小于禁捕前；史银魁等[33]的研究显示，在长江中游宜昌—城陵矶江段，2022—2023 年的鱼类密度大于 2014—2015 年，但又小于 2020—2021 年的调查结果，不同时期、不同区域鱼类资源变动存在差异。根据 Zhang 等[45]的模拟研究结果，长江流域全面禁捕之后，鱼类生物量会迅速上升。鉴于此，为更准确掌握长江流域鱼类资源恢复状况，需提高水声学调查范围以及在不同季节进行重复探测。

3.3　鱼类资源声学研究方法展望

准确、高效地掌握鱼类资源量是现代渔业管理的关键，而便捷、高效的鱼类资源量评估方法则是其基础。目前，对鱼类资源的研究主要有传统网捕调查、eDNA 技术以及水声学技术几种。传统网捕调查得到的数据较为准确、详细，但此种方法耗时耗力、成本较高；eDNA技术对于研究区域外来物种有重要应用；水声学技术可高效、快捷地对区域鱼类资源量进行评估，并且在鱼类大小分布、死亡率评估、鱼类行为研究、鱼类栖息地地质特征研究、濒危物种追踪保护[46-54]等方面有着重要应用，这种高效性、非破坏性、高精度和广泛的适用性等技术特点使其成为现代渔业管理不可或缺的工具。中国的渔业资源声学评估技术自 20 世纪 80年代初由挪威引入以来得到了良好的发展，目前广泛应用于海洋牧场、江河和淡水湖泊水库等的渔业资源调查[55]。在长江十年禁渔之后更是成为长江流域鱼类资源评估的重要手段[32-33,44]。尽管水声学技术在鱼类资源评估中展现出诸多优势，但也存在一些局限性，如受环境噪声影响较大，难以区分不同鱼类种类等。此外，对于鱼类目标强度与体长之间尚未有标准的换算公式，一般都参考经验公式进行转换分析，以 Foote[26]提出的喉鳔鱼类经验公式运用较为广泛，根据实际运用效果，水声学探测转换得到的鱼类体长一般都小于网捕调查结果，本研究亦是如此，换算得到繁殖期鱼类平均体长为 3.65 cm、越冬期为 5.19 cm，这主要是因为调查区域内鱼类种类并非单一而造成，对于绝对资源量的评估会产生影响，但对于探讨不同时期、不同区域的鱼类分布特征及密度大小变化等不会产生影响。因而目前对鱼类资源的调查评估一般以水声学调查与网捕调查相结合，以确保评估结果的全面性和准确性。

水声学调查时间的选择以及声学数据的分析方法不同等因素会对区域鱼类资源的分布产生影响。对于大多数鱼类来说，白昼多栖息在水底的石堆、草丛中，不利于水声学探测，夜晚则倾向于向表层的温暖水域迁移，存在昼夜分布差异[56-58]，此外，鱼类资源在不同季节间的分布也存在差异[59−60]。对于获得更科学、准确的数据，调查时间的选择极为重要。另外，声学数据后处理方法对区域鱼类资源的分布也会有影响。以本研究为例，本团队在对三峡库区干流的研究中[61]，以 0.8~1.2 km 江段鱼类密度作为一个分析单元，得到繁殖期鱼类密度最高区域为广阳镇玉泉村附近 (494.74 尾/1 000 m³)，越冬期鱼类密度最高区域为长寿区百胜村附近 (258.91 尾/1 000 m³)；本研究中，以 500 m 江段作为一个分析单元，结果显示，繁殖期鱼类密度最高区域为洛碛镇附近，达到了 751.61 尾/1 000 m³，越冬期鱼类密度最高区域为长寿的百胜村附近，达到了 271.54 尾/1 000 m³。在鱼类密度大小上，本研究 2 个时期鱼类最高密度均大于以 0.8~1.2 km 为一个分析单元所得到的结果。在水平分布上，越冬期还是以长寿区的百胜村附近密度最高，而繁殖期鱼类密度最高区域发生了变化。所选取的分析单元大小对鱼类在空

间上的分布有一定影响，同样的研究江段，若所选取的分析单元较小，而恰巧鱼类集群在此处，则所得到的鱼类密度较大，所选取分析单元的大小会对局部鱼类密度大小产生影响，但不影响整体鱼类密度的分析。因此，在使用声学调查方法进行鱼类资源相关研究时，需要开展昼夜调查，此外还需保持声学数据分析方法的一致性。总之，水声学技术作为现代渔业管理的重要工具之一，在未来的调查研究中需要综合考虑各项因素，通过增加调查频次，优化走航方式和调查时间的选择等方式提高调查数据质量。

（作者声明本文无利益冲突）

参考文献 (References)：

[1] 朱传亚. 长江流域水生生物保护区现状研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
Zhu C Y. Study on the current status of aquatic biological reserves in the Yangtze River basin[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022 (in Chinese).

[2] 彭燕, 詹书品, 王旸, 等. 江西省水生生物保护区发展概况及对策浅析 [J]. 江西水产科技, 2015(4): 1-4.
Peng Y, Zhan S P, Wang Y, *et al*. Analysis of the development status and countermeasures of aquatic biological reserves in Jiangxi Province[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2015(4): 1-4 (in Chinese).

[3] 李思发. 中国淡水鱼类种质资源和保护 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
Li S F. Germplasm resources and conservation of freshwater fishes in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996 (in Chinese).

[4] 杨文波, 李继龙, 冯庚菲, 等. 国家级水产种质资源保护区划定状况研究 [J]. 中国渔业经济, 2011, 29(5): 165-171.
Yang W B, Li J L, Feng G F, *et al*. Research on setting up status of national aquatic germ plasm protection areas[J]. Chinese Fisheries Economics, 2011, 29(5): 165-171 (in Chinese).

[5] 农业部渔业局. 国家级水产种质资源保护区资料汇编 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture. Compilation of data on national aquatic germplasm resources protection areas[M]. Beijing: China Environmental Publishing House, 2014 (in Chinese).

[6] 钟文武, 王文玉, 孙跃, 等. 模糊综合评价法在抚仙湖种质资源保护区水质评价中的应用 [J]. 水产科学, 2015, 34(3): 182-187.
Zhong W W, Wang W Y, Sun Y, *et al*. Application of fuzzy comprehensive assessment in water quality evaluation in aquatic germplasm resources conservation zone of lake Fuxian[J]. Fisheries Science, 2015, 34(3): 182-187 (in Chinese).

[7] 盛强, 茹辉军, 李云峰, 等. 中国国家级水产种质资源保护区分布格局现状与分析 [J]. 水产学报, 2019, 43(1): 62-80.
Sheng Q, Ru H J, Li Y F, *et al*. The distribution pattern of national aquatic germplasm reserves in China[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(1): 62-80 (in Chinese).

[8] 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 (in Chinese).

[9] 赵雯, 高雷, 段辛斌, 等. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状研究 [J]. 水生态学杂志, 2021, 42(2): 49-55.
Zhao W, Gao L, Duan X B, *et al*. Status of early stage fish resources in Fengdu section of the three gorges reservoir area[J]. Journal of Hydroecology, 2021, 42(2): 49-55 (in Chinese).

[10] 王红丽, 黎明政, 高欣, 等. 三峡库区丰都江段鱼类早期资源现状 [J]. 水生生物学报, 2015, 39(5): 954-964.
Wang H L, Li M Z, Gao X, *et al*. The status of the early stage fish resources in the Fengdu section of the Three Gorges Reservoir[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(5): 954-964 (in Chinese).

[11] Tang C H, Yan Q M, Li W D, *et al*. Impact of dam construction on the spawning grounds of the four major Chinese carps in the Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Hydrology, 2022, 609: 127694.

[12] 王顺天, 雷俊山, 贾海燕, 等. 三峡水库 2003—2017 年水质变化特征及成因分析 [J]. 人民长江, 2020, 51(10): 47-53,127.
Wang S T, Lei J S, Jia H Y, *et al*. Water quality characteristics and causes analysis of Three Gorges Reservoir from 2003 to 2017[J]. Yangtze River, 2020, 51(10): 47-53,127 (in Chinese).

[13] 黄玥, 黄志霖, 肖文发, 等. 三峡水库水位调度对出库水质影响分析与水质预测 [J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4): 78-85.
Huang Y, Huang Z L, Xiao W F, *et al*. Analysis and prediction of effects of Three Gorges Reservoir water level scheduling on the outflow water quality[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2020, 31(4): 78-85 (in Chinese).

[14] 农业部. 农业部关于公布率先全面禁捕长江流域水生生

物保护区名录的通告 [EB/OL]. (2017-11-23) [2024-11-25]. https://cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201904/t20190428_6220287.htm.

Ministry of Agriculture. Notification of the ministry of agriculture on the list of pilot comprehensive fishing bans in aquatic biological reserves in the Yangtze River Basin[EB/OL]. (2017-11-23) [2024-11-25]. https://cjyzbgs.moa.gov.cn/tzgg/201904/t20190428_6220287.htm (in Chinese).

[15] 罗芬. 木洞鱼类调查 [J]. 宁德师专学报 (自然科学版), 1999, 11(1): 31-32,39.

Luo F. An investigation on the fishes types at Mudong Town[J]. Journal of Ningde Teachers College (Natural Science Edition), 1999, 11(1): 31-32,39 (in Chinese).

[16] 朱其广, 王健, 杨少荣, 等. 三峡库区木洞江段翘嘴鲌早期生长特征研究 [J]. 水生生物学报, 2015, 39(5): 983-988.

Zhu Q G, Wang J, Yang S R, *et al*. Studies on the otolith microstructure, the daily age and the growth of *Culter alburnus* juveniles at early developmental stages in the Mudong section of the Three Gorges Reservoir[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(5): 983-988 (in Chinese).

[17] 王美荣, 杨少荣, 刘飞, 等. 长江上游圆筒吻鮈年龄与生长的研究 [J]. 水生生物学报, 2012, 36(2): 262-269.

Wang M R, Yang S R, Liu F, *et al*. Age and growth of *Rhinogobio cylindricus* günther in the Upper Reaches of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(2): 262-269 (in Chinese).

[18] 杨少荣, 高欣, 马宝珊, 等. 三峡库区木洞江段鱼类群落结构的季节变化 [J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(4): 555-560.

Yang S R, Gao X, Ma B S, *et al*. Seasonal dynamics of fish community in Mudong section of the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River, China[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2010, 16(4): 555-560 (in Chinese).

[19] Yang S F, Xu G B, Wang L, *et al*. Field-derived relationships between fish habitat distribution and flow-sediment conditions in fluctuating backwater zone of the Three Gorges Reservoir[J]. Ecological Informatics, 2021, 62: 101273.

[20] 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. Fauna Sinica-Middle Volume-Teleost, Cypriniformes[M]. Beijing: Science Press, 1998: 102-448 (in Chinese).

[21] 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).

[22] Simrad. Simrad ER60 scientific echo sounder, reference manual, release 2.2. 0[M]. Bremerhaven: Simrad, 2008: 19-31.

[23] Aglen A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied[R]. Rome: FAO, 1983: 293-298.

[24] Kieser R, Mulligan T J. Analysis of echo counting data: a model[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1984, 41(3): 451-458.

[25] 中华人民共和国农业农村部. 淡水渔业资源调查规范 河流: SC/T 9429—2019[S]. 北京: 中国农业出版社, 2019.

Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Technical specification for freshwater fishery resources survey in river: SC/T 9429-2019[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).

[26] 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.

[27] Petitgas P. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application[J]. ICES Journal of Marine Science, 1993, 50(3): 285-298.

[28] 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 Science, 2000, 15(3): 260-265 (in Chinese).

[29] 盖帅帅, 李君轶, 沈丽, 等. 长江中游宜昌江段铜鱼的种群特征和资源量 [J]. 水产学报, 2024, 48(4): 049315.

Gai S S, Li J Y, Shen L, *et al*. Population characteristics and resource status of Coreius heterodon in the Yichang section in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Journal of fisheries of china, 2024, 48(4): 049315 (in Chinese).

[30] 胡飞飞, 朱挺兵, 龚进玲, 等. 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 [J]. 水产学报, 2023, 47(2): 029317.

Hu F F, Zhu T B, Gong J L, *et al*. Acoustic study of fish resources in Xiangjiaba Reservoir in the lower reaches of Jinsha River during the early period of ten-year fishing ban[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 029317 (in Chinese).

[31] 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. Spatiotemporal distribution characteristics of fish in the Three Gorges Reservoir area and its relationship with

related factors[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower, 2013 (in Chinese).

[32] 罗杨, 杨鑫, 程如丽, 等. 基于水声学技术的长江上游重庆段鱼类资源研究 [J]. 水生态学杂志, 2025, 46(2): 144-151.
Luo Y, Yang X, Cheng R L, *et al*. Fish resources in the Chongqing section of the Upper Yangtze River based on hydroacoustics[J]. Journal of Hydroecology, 2025, 46(2): 144-151 (in Chinese).

[33] 史银魁, 俞立雄, 周雪, 等. 禁渔初期长江宜昌-城陵矶江段鱼类资源时空分布特征 [J]. 水生生物学报, 2024, 48(4): 546-557.
Shi Y K, Yu L X, Zhou X, *et al*. Spatial-temporal distribution characteristics of fish resources in Yichang-Chenglingji River section of the Yangtze River in the early period of fishing ban[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2024, 48(4): 546-557 (in Chinese).

[34] 沈彦君, 李清华, 张玉凤, 等. 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 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2023, 40(5): 40-48.
Shen Y J, Li Q H, Zhang Y F, *et al*. Spatial and temporal distribution characteristics of fish from Nan'an to Changshou section in the Chongqing section of the Yangtze River based on hydroacoustics[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition), 2023, 40(5): 40-48 (in Chinese).

[35] 王瑶, 王从锋, 秦孝辉. 董箐库区水环境变化对鱼类分布影响 [J]. 三峡大学学报 (自然科学版), 2018, 40(1): 29-33.
Wang Y, Wang C F, Qin X H. The influence of the water environment changes on fish distribution in Dongqing reservoir[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2018, 40(1): 29-33 (in Chinese).

[36] 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).

[37] 王普泽, 宋聃, 张尹哲, 等. 博斯腾湖鱼类密度季节变化及其环境影响因素 [J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(5): 215-220.
Wang P Z, Song D, Zhang Y Z, *et al*. Seasonal variation of fish density and its environmental impact factors in Lake Bosten, China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(5): 215-220 (in Chinese).

[38] 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 Suppl 1: S143-S149.

[39] 高登成, 吕兴菊, 杨四坤, 等. 洱海浮游动物季节变化及现状研究 [J]. 环境科学导刊, 2021, 40(2): 1-6.
Gao D C, Lv X J, Yang S K, *et al*. Study on the seasonal variation and current status of zooplankton in Erhai Lake[J]. Environmental Science Survey, 2021, 40(2): 1-6 (in Chinese).

[40] 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).

[41] Zeng Y H, Song L R, Yu Z G, *et al*. Distribution of phytoplankton in the Three-Gorge Reservoir during rainy and dry seasons[J]. Science of the Total Environment, 2006, 367(2-3): 999-1009.

[42] 徐观兵, 王丽, 杨胜发, 等. 三峡水库变动回水区蓄水期鱼群空间分布及生境特征 [J]. 长江科学院院报, 2021, 38(12): 46-52.
Xu G B, Wang L, Yang S F, *et al*. Spatial distribution and habitat characteristics of fish swarm in fluctuating backwater zone of Three Gorges Reservoir in impoundment period[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2021, 38(12): 46-52 (in Chinese).

[43] 魏念, 张燕, 吴凡, 等. 三峡库区鱼类群落结构现状及变化 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1858-1869.
Wei N, Zhang Y, Wu F, *et al*. Current status and changes in fish assemblages in the Three Gorges Reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(8): 1858-1869 (in Chinese).

[44] 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).

[45] Zhang H, Kang M, Shen L, *et al*. Rapid change in Yangtze fisheries and its implications for global freshwater ecosystem management[J]. Fish and Fisheries, 2020, 21(3): 601-620.

[46] Pollom R A, Rose G A. Size-based hydroacoustic measures of within-season fish abundance in a boreal freshwater ecosystem[J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0124799.

[47] Boswell K M, Wells R J D, Cowan Jr J H, *et al*. Biomass, density, and size distributions of fishes associated with a large-scale

artificial reef complex in the gulf of Mexico[J]. Bulletin of Marine Science, 2010, 86(4): 879-889.

[48] Egerton J P, Johnson A F, Turner J, *et al*. Hydroacoustics as a tool to examine the effects of Marine Protected Areas and habitat type on marine fish communities[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 47.

[49] Furuichi S, Kamimura Y, Suzuki M, *et al*. Density-dependent attributes of schooling in small pelagic fishes[J]. The Science of Nature, 2022, 109(5): 49.

[50] Jůza T, Muška M, Blabolil P, *et al*. Spatial fish distribution in autumn in a shallow mesotrophic lake, assessed by hydroacoustic surveys, trawling, and beach seining[J]. Journal of Fish Biology, 2024, 104(5): 1525-1536.

[51] Zhu J, Wen L X. Hydroacoustic study of fin whales around the Southern Wake Island: type, vocal behavior, and temporal evolution from 2010 to 2022[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2024, 155(5): 3037-3050.

[52] Li J Y, Zhang H, Lin D Q, *et al*. Spatiotemporal distribution and assemblages of fishes below the lowermost dam in protected reach in the Yangtze River main stream: implications for river management[J]. Biomed Research International, 2016, 2016: 4290793.

[53] Ricci S W, Eggleston D B, Bohnenstiehl D R. Use of passive acoustic monitoring to characterize fish spawning behavior and habitat use within a complex mosaic of estuarine habitats[J]. Bulletin of Marine Science, 2017, 93(2): 439-453.

[54] Li D L, Du Z Z, Wang Q, *et al*. Recent advances in acoustic technology for aquaculture: a review[J]. Reviews in Aquaculture, 2024, 16(1): 357-381.

[55] 汤勇. 中国渔业资源声学评估研究与进展 [J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 185-195.
Tang Y. Research advance in fisheries resources assessment by using the acoustic technology in China: a review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2023, 38(2): 185-195 (in Chinese).

[56] Knudsen F R, Sægrov H. Benefits from horizontal beaming during acoustic survey: application to three Norwegian lakes[J]. Fisheries Research, 2002, 56(2): 205-211.

[57] Kubecka J, Duncan A. Diurnal changes of fish behaviour in a lowland river monitored by a dual-beam echosounder[J]. Fisheries Research, 1998, 35(1-2): 55-63.

[58] Ye S, Lian Y, Godlewska M, *et al*. Day-night differences in hydroacoustic estimates of fish abundance and distribution in Lake Laojianghe, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2013, 29(6): 1423-1429.

[59] 孟子豪, 杨德国, 胡飞飞, 等. 禁渔初期鄱阳湖流域柘林水库鱼类资源时空分布格局及影响因子 [J]. 湖泊科学, 2023, 35(6): 2071-2081.
Meng Z H, Yang D G, Hu F F, *et al*. Fish resources spatio-temporal distribution patterns and controlling factors in Zhelin Reservoir, Lake Poyang Basin during early fishing ban period[J]. Journal of Lake Sciences, 2023, 35(6): 2071-2081 (in Chinese).

[60] 李慧峰, 王珂, 余绪俊, 等. 禁渔初期鄱阳湖鱼类时空分布特征 [J]. 水生生物学报, 2023, 47(1): 147-155.
Li H F, Wang K, Yu X J, *et al*. Hydroacoustic surveys on spatial-temporal distribution of fishes during early fishing ban period in Poyang Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(1): 147-155 (in Chinese).

[61] 何仕文, 倪达富, 谢伟, 等. 十年禁渔初期三峡库区干流鱼类分布特征及变化 [J]. 水生生物学报, 2025, 49(2): 13-25.
He S W, Ni D F, Xie W, *et al*. Characteristics and changes of fish distribution in the mainstem of the Three Gorges Reservoir during the early stage of the ten-year fishing ban[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2025, 49(2): 13-25 (in Chinese).

Hydroacoustic evaluation of fish resources in the Yangtze River's four major Chinese carps reserve (Chongqing Section) in the early stage of fishing ban

HE Shiwen [1,2], TIAN Huiwu [1], DENG Huatang [1], NI Dafu [1], XIE Wei [1], DUAN Xinbin [1], SHAO Jian [2], ZHOU Junjie [3], ZHANG Hui [1*], WANG Ke [1*]

(1. *National Agricultural Science Observing and Experimental Station of Chongqing*, *Yangtze River Fisheries Research Institute*, *Chinese Academy of Fishery Science*, *Wuhan* 430223, *China*;
2. *Key Laboratory of Animal Genetics*, *Breeding and Reproduction in the Plateau Mountainous Region*, *Laboratory of Fishery Resources and Environmental Protection*, *College of Animal Science*, *Guizhou University*, *Guiyang* 550025, *China*;
3. *Fishery Administration and Security Center of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Shanghai* 200040, *China*)

Abstract: Against the backdrop of global climate change and intensive human activities, fish resources in the Yangtze River Basin have continued to decline. To protect aquatic biodiversity and restore the ecosystem, a comprehensive fishing ban has been gradually implemented since 2018 in 332 aquatic reserves across the Yangtze River Basin, including the National Germplasm Reserve for the "four major Chinese carps" in the Chongqing section. By the end of 2019, Chongqing had taken the lead in completing the withdrawal of fishermen from its aquatic reserves, fully prohibiting productive fishing activities. This study aimed to understand the changes in fish resources within the reserve following the fishing ban. From April to May (fish spawning season) and December (fish overwintering season) of 2023, the research team conducted an 8-day hydroacoustic survey using an EK80 split-beam echosounder across an approximately 125 km river section of the reserve, along with a 52-day catch survey. The hydroacoustic survey revealed that the average fish density during the spawning and overwintering periods was (19.44±29.04) and (5.07±3.93) ind./1 000 m^3, respectively, with no significant difference. However, the average target strength differed significantly, measuring (−60.66±6.63) dB and (−57.60±6.44) dB, respectively. During the spawning season, fish tended to aggregate near urban areas, whereas in the overwintering period, they were more dispersed in waters farther from urban zones. In both surveys, the highest fish density was observed at depths of 6-9 m, and the target strength generally increased with water depth. The catch survey identified 47 fish species (5 orders, 12 families) during the spawning season, with *Hemiculter leucisculus*, *Pseudobrama simoni*, and *Squalidus argentatus* being the most abundant. In the overwintering period, 48 species (6 orders, 13 families) were recorded, dominated by *Saurogobio dabryi*, *Megalobrama pellegrini*, and *Coilia brachygnathus*. Compared to pre-ban data (2017—2019), fish aggregation patterns in the reserve have shifted significantly. The density in the southern Changshou river section was notably higher than before the ban, but the average fish size has decreased. This study elucidates the post-ban distribution characteristics and changes in fish populations within the reserve, providing valuable insights for research on the evolution of fishery resources and regional fisheries management following the fishing ban.

Key words: early fishing ban; aquatic genetic resources reserve; hydroacoustics; fishery resources; Chongqing section of the Yangtze River

Corresponding authors: ZHANG Hui. E-mail: zhanghui@yfi.ac.cn;
WANG Ke. E-mail: wangke@yfi.ac.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China (2022YFC3202001); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD09); National Natural Science Foundation of China - Ministry of Water Resources of the People's Republic of China - China Three Gorges Corporation limited Yangtze River Water Science Research Joint Fund Project (U2240214)