

邓诚诚, 何美峰, 崔利峰, 等. 基于水声学的福建洪口水库鱼类资源时空分布及资源量评估[J]. 渔业研究, xxxx, 48(x): 1–11.
Deng C C, He M F, Cui L F, et al. Spatial-temporal distribution of fish resources and biomass assessment in Hongkou Reservoir, Fujian Province based on hydroacoustic methods[J]. Journal of Fisheries Research, xxxx, 48(x): 1–11.

基于水声学的福建洪口水库鱼类资源时空分布及资源量评估



邓诚诚¹, 何美峰^{2*}, 崔利峰², 廖传松¹, 邹丽珍², 钟国龙²,
陈梦云², 王晓宁², 郭传波¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072;
2. 福建省淡水水产研究所, 福建 福州 350002)

摘要: 【背景】大水面增殖是中国淡水渔业绿色发展方向。【目的】本文旨在探明洪口水库鱼类群落结构、时空分布和资源量, 为库区发展生态增殖提供参考。【方法】2024年2月、5月、8月和11月利用传统渔获物调查分析鱼类群落组成, 并于2024年8月(夏季)和12月(冬季)利用渔探仪探测了库区鱼类时空分布和资源量。【结果】渔获物调查共发现鱼类21种, 隶属于3目5科18属, 优势种为齐氏罗非鱼(*Coptodon zillii*)、鳙(*Hypophthalmichthys nobilis*)和伽利略罗非鱼(*Sarotherodon galilaeus*)3种, 重要种为翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、鲢(*Hemiculter leucisculus*)和圆吻鲴(*Distoechodon tumirostris*)3种。水声学探测发现: 库区鱼类以全长1.2~7.0 cm[目标强度(TS)值: -70.3~-55.0 dB]小型群体(平均全长5.68 cm)为主, 其中夏季数量占比83.90%, 冬季占比47.59%; 夏季和冬季鱼类资源平均密度分别为8 171.09、2 003.70 ind/hm², 估算洪口水库夏季和冬季鱼类资源量分别为583.09、682.68 t; 水平分布上, 库区坝头水域为夏季和冬季鱼类密度较高区域, 库尾2个支流(后垄溪和金造溪)也是冬季鱼类主要聚集区; 垂直分布上, 夏季鱼类密度集中于2~7 m水层, 冬季则向7~12 m水层迁徙。【结论】洪口水库鱼类群落受到外来入侵种和增殖放流物种共同影响, 时空分布存在明显的差异, 研究结果为库区外来物种防控、增殖放流和科学捕捞提供依据。

关键词: 水声学; 鱼类资源; 群落结构; 资源量评估; 洪口水库

中图分类号: S932 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9848 (xxxx) 00-0001-11

大水面增殖是指湖泊和水库等大水面通过自然增殖和人工放流增殖手段, 利用大水面天然饵料资源, 增加鱼类等水生经济动物生物量的渔业生产方式^[1]。科学发展大水面生态渔业是贯彻落实国家生态保护与经济建设协同发展的重要举措^[2]。开展渔业资源评估, 是掌握大水面渔业资源种群数量变动

状况, 对其进行科学养护和开发利用的基础^[3]。水声学探测技术自20世纪中后期兴起后, 因具有高效迅速、调查范围广、不损害生物等优点, 在中国内陆的湖泊^[4]、水库^[5]和河流^[6]鱼类资源量、密度、时空分布评估方面大量应用。目前, 水声学探测法结合传统渔获物调查法被广泛应用于国内渔业

收稿日期: 2026-05-09

修回日期: 2026-05-21

基金项目: 福建省促进海洋与渔业产业高质量发展专项资金(FJHYF-L-2023-9)

第一作者: 邓诚诚, 男, 博士研究生, 研究方向为渔业生态学。E-mail: dengchengcheng@ihb.ac.cn

通信作者: 何美峰, 男, 工程师, 博士, 研究方向为淡水渔业资源。E-mail: hmf917@163.com

©《渔业研究》编辑部。本文为使用CC BY-NC-ND 4.0许可协议的开放获取作品。

© Editorial Office of Journal of Fisheries Research. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

资源量评估、时空分布等^[7-9]。

洪口水库位于福建省宁德市霍童溪干流上游峡谷河段，于 2007 年建成，总库容约 4.5 亿 m³，水域面积 8.67 km²，平均水深 100 m。近年来，洪口水库重点打造大水面绿色生态增殖，而有关洪口水库鱼类资源研究未见报道，这制约了该水库增殖放流的科学规划和渔业捕捞可持续利用策略的制定。为此，本研究在 2024 年运用水声学探测结合传统渔获物调查法，开展洪口水库鱼类群落组成、时空分布及资源量评估，旨在为洪口水库增殖放流、合理化捕捞、外来物种防控等措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 渔获物调查

2024 年 2 月、5 月、8 月和 11 月在库区设置 8 个

采样点，其中坝头 3 个（HK01、HK02、HK03）、库中 3 个（HK04、HK05、HK06）和库尾 2 个（后垄溪 HK07 和金造溪 HK08）开展传统渔获物调查（图 1）。调查方法参考《淡水生物资源调查技术规范》（DB43/T 432-2009）和《水库渔业资源调查规范》。每个采样点布设 4 个三层刺网（网目分别为 10 cm×2 cm×10 cm、20 cm×4 cm×20 cm、30 cm×6 cm×30 cm 和 40 cm×8 cm×40 cm；网高分别为 3、3、5 和 5 m；网长均为 50 m）和 2 个地笼网（网目 2 cm；网框 0.3 m×0.25 m；网长 7.5 m），网具有效作业时间均为 16 h。现场对渔获物中所有鱼类样品进行鉴定，并对每个种类进行计数、称重（精确到 0.1 g）以及体长、体质量等生物学测定。鱼类鉴定依据《中国动物志硬骨鱼纲鲤形目》^[10-11]和《福建鱼类志》^[12]。

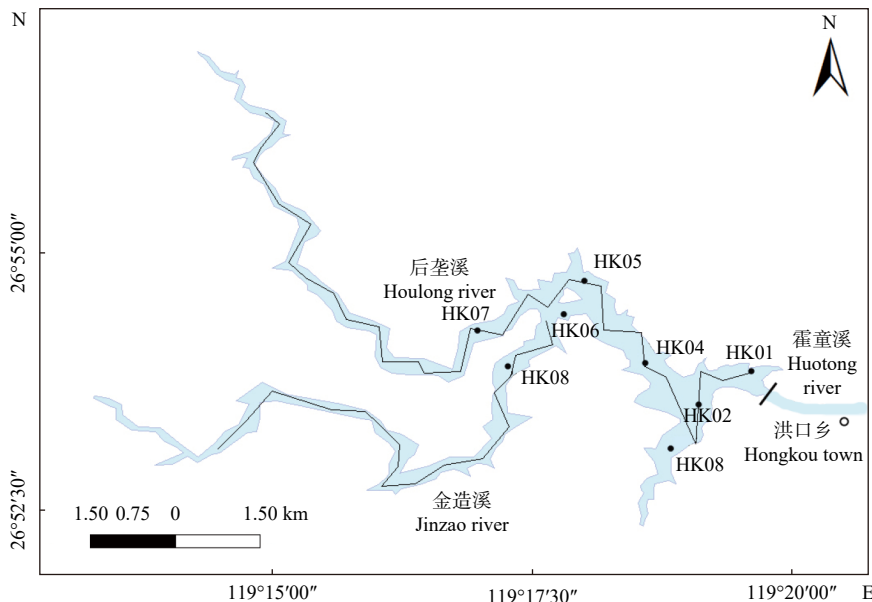


图 1 洪口水库渔获物调查站位与水声学调查路线

Fig. 1 Catch survey stations and hydroacoustic survey line in Hongkou Reservoir

1.2 水声学调查

调查区域为洪口水库全库区，探测时间为 2024 年 8 月（夏季）和 12 月（冬季）各 1 次。探测时采用“之”字形探测路线（图 1）。换能器安装在船的右舷，距船首 1/3 处，入水深度约 0.5 m，超声波发射方向为垂直向下，以提升探测精准性。探测的水声学设备为 Simrad EK80 型分裂波束回声探测仪，换能器频率为 120 kHz，-3 dB 波束夹角为 7°×7°。调查时功率设定为 100 w，脉冲宽度选择 128 μs，脉冲发射模式选择 interval，发射频率为 10 pings/S。地理坐标数据由 Garmin GPS map

60CSx 型 GPS 导航仪实时记录，并同回声探测仪数据同步保存。后续通过 Echoview 软件（版本为 Echoview15.0）处理和提取数据。

1.3 数据处理与分析

渔获物中优势度分析采用 Pinkas 相对重要性指数（Index of relative importance, IRI）^[13]来评价，公式如下：

$$IRI = (N + W) \times F \times 10^4 \quad (1)$$

式中： N 为某一种鱼类样本个体数占样本总个体数的百分比（相对丰度）； W 为某一种鱼类的生物量占样本总生物量的百分比（相对生物量）； F 为某

一种鱼类出现的站次数占总站次数的百分比。 $IRI \geq 1\,000$ 定义为优势种， $1\,000 > IRI \geq 100$ 定义为重要种， $100 > IRI \geq 10$ 定义为常见种， $10 > IRI \geq 1$ 定义为一般种， $1 > IRI$ 定义为少见种^[14]。

基于水声学的鱼类时空分布及资源量评估参考张航等^[7]数据分析方法。运用 Echoview 对文件进行水底自动识别，并手动校对后去除明显噪音，提升探测结果的准确性。鱼类密度估算采用基于单体回波检测的回声积分法中的 Sv/TS 量化法^[15]，背景阈值设置为-69 dB，基于目标强度（Target strength，TS）的分布情况，将单体目标检测阈值设置为-69 dB。采用喉鳔鱼类 TS-TL 经验公式^[16]（2），推算出对应的鱼类体长；再根据洪口水库渔获物调查中鳊的体长与体质量拟合公式（3），推算出对应鱼类体质量；按单位面积资源量公式（4），洪口水库总面积 8.67 km²，计算出洪口水库鱼类资源量。

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

(2)

$$W = 0.028 \times L^{2.8941}$$

(3)

$$B = \bar{W}r$$

(4)

式中，TS 为鱼类目标强度，dB；TL 为目标鱼全长，cm；W 为鱼类的体质量，g；B 为单位面积鱼类资源量，kg/hm²； $\bar{w}$ 为鱼类平均体质量；r 为鱼类密度，ind/hm²。

采用 ArcGIS 10.8 软件开展鱼类资源空间分布建模^[7]。为评估鱼类水平分布特征，将水声学探测得到的声学映像以 1 000 m 为单位划分单元，并分别计算各单元的鱼类密度，将鱼类密度、水深和全球定位系统（Global Positioning System，GPS）位点等信息导入 ArcGIS 软件，数据栅格化之后，使用克里金插值法绘制鱼类水平分布图^[7]。

2 结果

2.1 鱼类种类组成与群落结构

渔获物中鱼类个体数为 3 331 尾，生物量为 297.1 kg。经鉴定鱼类种类数为 21 种，隶属于 3 目 5 科 18 属，其中外来鱼类有齐氏罗非鱼（*Coptodon zillii*）、伽利略罗非鱼（*Sarotherodon galilaeus*）、尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）、草鱼（*Ctenopharyngodon idella*）、鲢（*Hypophthalmichthys molitrix*）、鳊（*H. nobilis*）6 种。从目水平上看，鲤形目种类数最多，有 16 种，占总种类数的 76.19%；其次为鲈形目有 4 种，占总种类数的 19.05%；鲇形目只有 1 种。从科水平上看，鲤科种类数最多，共有 15 种，占总种类数的 71.43%；其次为丽鱼科，共有 3 种，占比为 14.29%；最后为鳅科、鲿科和虾虎鱼科各 1 种（表 1）。

表 1 洪口水库鱼类组成
Tab. 1 Composition of fish species in Hongkou Reservoir

种类 Speceies	N/%	W/%	F/%	IRI	体长范围/cm	平均体长/cm
					Range of length	Average length
鲤形目 Cypriniformes						
鲤科 Cyprinidae						
草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>						
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i> [#]	0.27	2.69	18.75	56	33.5~43.7	39.02±4.10
马口鱼属 <i>Opsariichthys</i>						
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	0.03	0.03	3.13	0	16.8	16.80
鲃属 <i>Culter</i>						
达氏鲃 <i>Culter dabryi</i>	0.48	0.52	15.63	16	17.3~22.3	20.77±1.29
翘嘴鲃 <i>C. alburnus</i>	4.29	4.85	56.25	514	19.0~41.5	22.04±2.95
鲮属 <i>Hemiculter</i>						
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	3.66	2.77	65.63	422	9.9~24.5	17.20±2.72
华鲮属 <i>Sinibrama</i>						
大眼华鲮 <i>Sinibrama macrops</i>	0.18	0.20	12.50	5	18.0~20.1	18.82±0.96
光唇鱼属 <i>Acrossocheilus</i>						
半刺光唇鱼 <i>Acrossocheilus hemispinus</i>	0.03	0.04	3.13	0	18	18.00

续表 1

种类 Speceies	N/%	W/%	F/%	IRI	体长范围/cm	平均体长/cm
					Range of length	Average length
圆吻鲷属 <i>Distoechodon</i>						
圆吻鲷 <i>Distoechodon tumirostris</i>	0.93	2.64	53.13	190	18.2~37.8	24.15±4.69
鲷属 <i>Xenocypris</i>						
黄尾鲷 <i>Xenocypris davidi</i>	0.03	0.05	3.13	0	19.8	19.8
麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>						
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0.21	0.02	6.25	1	5.0~8.6	6.73±2.69
鲫属 <i>Carassius</i>						
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.09	0.44	6.25	3	12.6~26.5	20.10±7.00
鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>						
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> [#]	0.03	1.05	3.13	3	57.2	57.2
鳙 <i>H. nobilis</i> [#]	8.92	58.09	84.38	5 654	9.3~40.1	31.13±3.77
鳊鲂属 <i>Rhodeus</i>						
高体鳊鲂 <i>Rhodeus ocellatus</i>	1.02	0.02	6.25	7	2.5~4.8	3.81±0.89
中华鳊鲂 <i>R. sinensis</i>	0.06	0.00	6.25	0	2.2~3.9	3.15±0.74
鳅科 Cobitidae						
花鳅属 <i>Cobitis</i>						
中华花鳅 <i>Cobitis sinensis</i>	0.21	0.01	3.13	1	8.0~9.3	8.68±0.75
鲇形目 Siluriformes						
鲿科 Bagridae						
拟鲿属 <i>Pseudobagrus</i>						
切尾拟鲿 <i>Pseudobagrus truncatus</i>	0.03	0.01	3.13	0	13.7	13.7
鲈形目 Perciformes						
虾虎鱼科 Gobiidae						
吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i>						
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	0.09	0.00	9.38	1	3.1~6.1	4.52±1.23
丽鱼科 Cichlidae						
切非鲫属 <i>Coptodon</i>						
齐氏罗非鱼 <i>Coptodon zillii</i> [#]	76.34	12.12	100	8 846	2.5~23.5	5.83±4.18
帚齿非鲫属 <i>Sarotherodon</i>						
伽利略罗非鱼 <i>Sarotherodon galilaeus</i> [#]	2.79	13.36	78.13	1 262	6.3~37.2	21.35±7.20
口孵非鲫属 <i>Oreochromis</i>						
尼罗罗非鱼 <i>Oreochromis niloticus</i> [#]	0.3	1.10	15.63	22	16.2~26.1	20.53±2.79

注：[#] 表示外来鱼类。Note: [#] means alien fish.

渔获物中按数量计，齐氏罗非鱼数量最多，占渔获物鱼类总数量的 76.34%；其次为鳙，占总数量的 8.92%；其他鱼类合计占总数量的 14.74%。按生物量计，以鳙生物量最大，占渔获物鱼类总生物

量的 58.09%；其次为罗非鱼（包括齐氏罗非鱼、伽利略罗非鱼和尼罗罗非鱼），占总生物量的 26.58%；其他鱼类合计占总生物量的 15.33%。按 IRI 分析，洪口水库鱼类优势种依次为齐氏罗非鱼、鳙和伽

利略罗非鱼 3 种；重要种依次为翘嘴鲌（*Culter alburnus*）、鲮（*Hemiculter leucisculus*）和圆吻鲴（*Distoechodon tumirostris*）3 种。优势种齐氏罗非鱼体长范围为 2.5~23.5 cm，平均体长为 5.83 cm；鳊体长范围为 9.3~40.1 cm，平均体长为 31.13 cm；伽利略罗非鱼体长范围为 6.3~37.2 cm，平均体长为 21.35 cm。按生态类型特点分析，除 6 种外来鱼类外，土著鱼类中适应急流的鱼类有半刺光唇鱼（*Acrossocheilus hemispinus*）、马口鱼（*Opsariichthys bidens*）、切尾拟鲿（*Pseudobagrus truncatus*）3 种，

其他 12 种鱼类喜栖息在静水或缓流水体。

2.2 鱼类个体规格

水声学探测结果显示，洪口水库鱼类个体目标强度集中在-70.3~-55.0 dB，推算对应全长范围为 1.2~7.0 cm，平均全长为 5.68 cm，夏季和冬季个体数量占比分别为 83.90% 和 47.59%。目标强度在-42~-30 dB（全长范围 31.3~124.5 cm）的鱼体数量占比最低，夏季和冬季分别为 1.19% 和 5.57%。这表明基于水声学探测，洪口水库鱼类以小型个体数量最多。

表 2 基于水声学洪口水库鱼类全长组成

Tab. 2 Total length distribution of fish in Hongkou Reservoir based on hydroacoustics

季节 Seasons	目标强度/dB Target strength	全长范围/cm Range of total length	平均全长/cm Average total length	数量占比/% Proportion by number
夏季（8 月） Summer (August)	-70.3~-55.0	1.2~7.0	4.13	83.90
	-55.0~-50.0	7.0~12.4	10.11	8.27
	-50.0~-42.0	12.4~31.3	26.8	6.64
	-42.0~-30.0	31.3~124.5	63.0	1.19
冬季（12 月） Winter (December)	-70.3~-55.0	1.2~7.0	5.66	47.59
	-55.0~-46.0	7.0~19.7	14.03	24.69
	-46.0~-42.0	19.7~31.3	27.35	22.14
	-42.0~-30.0	31.3~124.5	65.94	5.57

渔获物调查发现（表 1），洪口水库齐氏罗非鱼数量最多（占比 76.34%），体长范围为 2.5~23.5 cm，平均体长为 5.83 cm。这表明，洪口水库渔获物中以小规格齐氏罗非鱼数量最多。

2.3 鱼类资源密度水平分布

水声学探测发现，夏季和冬季洪口水库的鱼类资源密度分别为 8 171.09、2 003.70 ind/hm²（表 3）。全长范围在 1.2~7.0 cm 的小型个体鱼类在夏季（6 855.83 ind/hm²）和冬季（953.66 ind/hm²）数量密度均最高，分别占总资源密度的 83.90% 和 47.59%；全长范围在 31.3~124.5 cm 的大型个体鱼类在夏季（97.3 ind/hm²）和冬季（111.7 ind/hm²）数量密度均最低，占比分别为 1.19% 和 5.57%。

夏季鱼类群落在整个库区的分布不均匀，在坝头水域鱼类存在聚集现象，具有较高的鱼类密度，此区域鱼类密度超过 30 000 ind/hm²，在库区其他水域鱼类密度的分布整体较为均匀（图 2a）。冬季鱼类群落在整个库区的分布不均匀，在坝头及库尾 2 支流水域鱼类存在聚集现象，具有较高的鱼类密度，鱼类密度超过 2 000 ind/hm²，在水库的其他水域鱼类密度的分布较为均匀（图 2b）。

2.4 鱼类资源密度垂直分布

夏季洪口水库鱼类密度垂直分布探测发现（图 3a），2~7 m 水层鱼类密度最高，占比为 59.85%；其次为 7~12 m 水层，占比 19.56%；其他水层鱼类占比均在 10% 以下。冬季鱼类密度垂直分布表现为（图 3b），2~7 m 水层占比为 38.10%，7~12 m 占比为 25.01%；12~17 m 和 17~22 m 占比分别为 12.51% 和 11.86%；其他水层分布较少。两次比较发现，洪口水库鱼类密度存在明显的分层现象，主要分布在上层（2~22 m），且冬季表现出向中层迁移行为。

2.5 鱼类资源量评估

根据水声学探测数据，估算洪口水库夏季和冬季资源量分别为 583.09、682.68 t。其中，鱼体全长范围在 1.2~7.0 cm 的小型个体鱼类资源量夏季和冬季均最低，分别占总资源量的 1.73% 和 0.51%；体长范围在 31.3~124.5 cm 的大型个体鱼类资源量夏季和冬季均最高，分别占总资源量的 65.32% 和 73.08%。

3 讨论

3.1 鱼类群落结构变化

据 20 世纪 80 年代记载^[17]，霍童溪共有淡水鱼

类 33 种, 其中外来鱼类有尼罗罗非鱼、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromismossambica*)、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼、鲢、鳙 6 种; 据何伏顺 2005—2006 年实地调查结合走访访问询霍童溪共统计淡水鱼类 54 种, 国家级保护鱼类有花鳗鲡 (*Anguilla marmorata*)、长薄鳅 (*Leptobotia elongata*) 2 种, 省级保护鱼类香鱼 (*Plecoglossus altivelis*) 1 种, 外来鱼类琵琶鱼 (*Hypostomus multiradiatus*) 1 种^[18]。与前两次调查相比, 本研究新调查到的鱼类有齐氏罗非鱼、伽利略罗非鱼、达氏鲃 (*Culter dabryi*) 3 种; 未调查到的鱼类有香鱼、日本鳗鲡 (*Anguilla japonica*)、花鳗鲡、宽鳍鱮 (*Zacco platypus*)、台湾铲颌鱼 (*Varicorhinus barbatulus*)、犁头鳅 (*Lepturichthys fimbriata*)、拟腹吸鳅 (*Pseudogastromyzonfasciatus*)、斑纹缨口鳅 (*Crossostomastigmata*)、长薄鳅、大斑花鳅 (*Cobitis macrostigma*) 等 40 多种。虽然本次调查时间短、区域仅限于洪口水库 (霍童溪干流上游), 但鱼类群落结构已发生较大改变。主要表现在: 1) 洄游性鱼类已绝迹, 如鳗鲡、香鱼多年未在库区发现; 2) 适应急流、底栖的鳅科、平鳍鳅科鱼类急剧减少。本次调查仅在支流采样点发现几尾中华花鳅, 其他鳅类均未发现;

3) 主要经济鱼类结构发生了改变, 20 年前调查中霍童溪干流主要经济鱼类有香鱼、黄颡鱼 (*Pseudobagrus fulvidraco*)、尖头塘鳢 (*Eleotris oxycephala*)、鲴鱼、鲤、鲫等, 而本次调查主要渔获物为罗非鱼和鳙。这些变化可能与洪口水库建坝蓄水和库区人工增殖放流活动等人类活动有关。洪口水库建成前, 霍童溪干流, 特别是上游峡谷河段, 多激流险滩、底质多卵石、生境复杂多样, 为唇鲮 (*Hemibarbus labeo*)、温州光唇鱼 (*Acrossocheilus wenchowensis*)、拟腹吸鳅、黄颡鱼等营底栖、流水生活鱼类及香鱼、鳗鲡等洄游性鱼类提供了天然条件^[18]。洪口水库 2007 年蓄水后, 建坝蓄水显著改变了霍童溪上游栖息地环境条件, 水位抬升、水面面积增大、水流减缓、浮游生物结构发生改变^[19], 翘嘴鲃、达氏鲃、鳙、圆吻鲴、鲫等喜静水或缓流、广适性鱼类增多; 另外, 库区出现齐氏罗非鱼、伽利略罗非鱼、尼罗罗非鱼、草鱼、鲢、鳙等外来种, 且齐氏罗非鱼、鳙已成为库区优势种。国内许多研究也发现, 水利设施建设和人工放流可导致鱼类群落结构发生改变, 例如库区喜流水性鱼类减少, 广适性鱼类及喜静缓水性鱼类种类及丰度大幅增加以及外来种增多^[20-21]。

表 3 洪口水库鱼类密度和资源量评估
Tab. 3 Density and biomass assessment of fish in Hongkou Reservoir

季节 Seasons	全长范围 Range of total length/cm	平均全长/cm Average total length	体质量范围/g Range of total body mass	平均体质量/g Average body mass	数量密度 ind/hm ² Quantities density	资源量密度 kg/hm ² Stock density	资源量/t Biomass
夏季 Summer	1.2~7.0	4.13	0.01~2.44	1.70	6855.83	11.64	10.09
	7.0~12.4	10.11	2.44~14.91	22.65	675.37	15.30	13.26
	12.4~31.3	26.8	14.91~278.56	380.47	542.59	206.33	178.88
	31.3~124.5	63	278.56~45374.46	4514.71	97.3	439.28	380.86
冬季 Winter	1.2~7.0	5.66	0.01~2.44	4.23	953.66	4.03	3.49
	7.0~19.7	14.03	2.44~14.91	58.46	494.72	28.92	25.07
	19.7~31.3	27.35	14.91~278.56	403.51	443.62	179.01	155.20
	31.3~124.5	65.94	278.56~45374.46	5151.78	111.7	575.45	498.92

3.2 鱼类群体规格特征

水声学调查发现, 洪口水库鱼类个体全长集中在 1.2~7.0 cm (平均全长 5.68 cm), 小型个体占绝对优势 (夏季和冬季数量占比分别为 83.09% 和 47.59%); 渔获物调查发现, 体长小于 7.0cm 的鱼类数量为 2314 尾, 占总渔获物尾数的 69.47%, 与水声学调查结果相近。这也验证了水声学在评估鱼类个体大小方面的可信性^[7]。水声学调查表明, 夏季小型个体数量占比达 83.90%, 冬季小型个体数

量比例下降为 47.59%, 个体大小结构具有明显的季节差异。这主要是因为夏季罗非鱼、鳙等鱼类繁殖盛期后, 幼鱼等补充群体大量进入水体, 库区鱼类以小型个体占绝对优势^[22]; 而进入冬季后, 受到幼鱼存活率下降、生长等影响, 小型个体数量比例降低。刘文鼎等^[23]研究也发现, 赣江南昌段 8 月正处于大多数鱼类繁殖末期, 比如黄尾鲴、鲫等幼鱼数量占比较高。库区大型个体 (全长 31.3~124.5 cm) 夏季数量密度占比 1.19% 和冬季数量密

度占比 5.57%，但其资源量占比分别为 65.32 % 和 73.08 %。这表明洪口水库鱼类群体结构具有小型

鱼类数量占绝对优势，大型鱼类资源量占优势的特征。

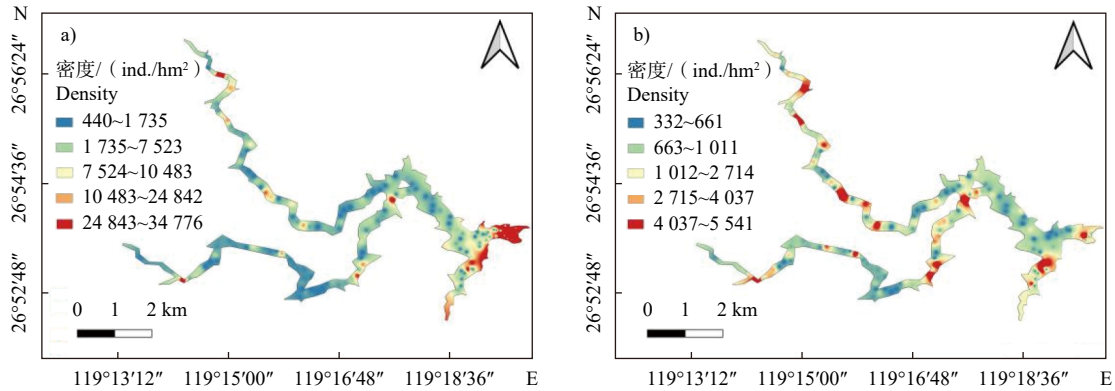


图 2 洪口水库夏季 (a) 和冬 (b) 鱼类资源密度水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of fish resource density during summer (a) and winter (b) in Hongkou Reservoir

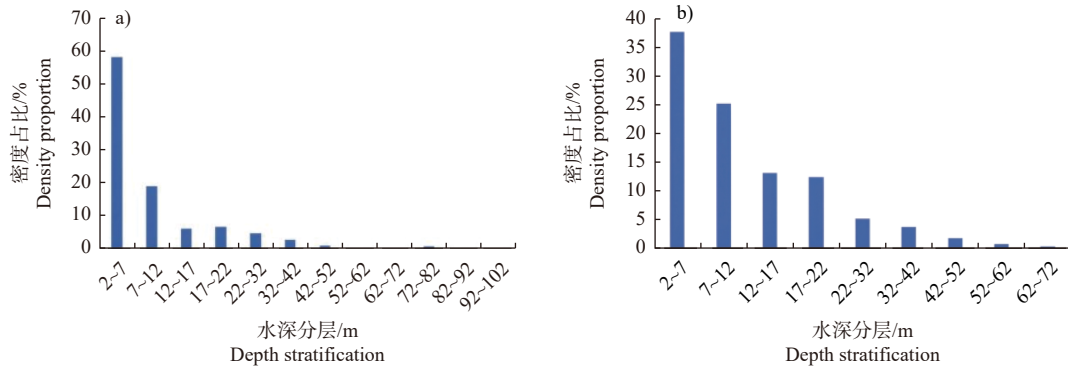


图 3 洪口水库夏季 (a) 和冬季 (b) 鱼类资源密度垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of fish density in different water depth of Hongkou Reservoir during summer (a) and winter (b)

基于水声学方法评估的洪口库区鱼类资源量可能存在偏差。一方面鱼类体长对应的 TS 模型 [公式 (2)] 没有根据库区鱼种测定, 而是采用喉鲮鱼类 TS-L 经验公式。目前由于缺乏特定种类 TS 值与鱼体大小关系的系统研究, 无法准确根据鱼类 TS 值计算出相应的鱼类大小, 因此借鉴国外学者的经验公式^[24]。另一方面鱼类体长与体质量拟合模型 [公式 (3)] 未根据具体鱼类进行拟合, 仅限于库区优势种鳊, 但对于不同季节鱼类资源量的相对变化影响不大, 能够较为准确地反映库区资源量现状变化和空间结构分布^[24]。这也说明声学评估方法可适用于该水域资源量时空分布调查, 对于将来能够精确到不同鱼种的资源声学调查评估, 还需要逐步完善以上的基础研究。

3.3 鱼类资源密度时空分布特征

水声学探测发现, 夏季鱼类平均密度为 8 171.09 ind/hm², 约是冬季 (2 003.70 ind/hm²) 的

4 倍, 夏季鱼类资源密度显著高于冬季。有研究也发现, 夏季是鱼类生长和繁殖的高峰期, 随着水温升高, 水体中浮游生物大量增加, 为鱼类提供了丰富的饵料资源, 同时也加快了鱼类生长速度, 并且有利于卵的孵化和幼鱼的生长^[7,22]。鱼类资源空间分布受到水温、饵料、光照、水质、底质、水深等多种生物或非生物环境因子影响^[7,14]。水平分布上 (图 2), 坝头在夏季和冬季都有鱼类聚集现象, 库尾支流冬季出现聚集。洪口水库坝头附近水体较深, 又临近库区码头管理区, 有丰富的营养物质输入, 浮游生物等饵料生物更丰富, 可为洪口水库鱼类夏季的索饵和冬季的越冬提供便利。李斌等^[25]在小浪底水库也发现坝头附近是鱼类高密度分布区域。武智等^[24]在北江石角水库也发现冬春季鱼类主要分布在库首 (坝头) 区域。通常情况下河流交汇处、水库库尾水体流速相对较快, 有机物含量较高、饵料来源相对丰富, 也易成为鱼类捕食聚集

地^[23,26]。垂直分布方面,洪口库区鱼类呈现明显分层特征。从图 3 可以看出,夏季 59.85% 鱼类集中分布在 2~7 m 水层,到了冬季占比降至 38.10%,而大于 7 m 水层鱼类比例明显增多,表现出向中层水域迁移的趋势。另外,库区鱼类主要集中在 2~22 m 水层,大于 50 m 水层的鱼类极少。有研究发现,夏季平均水温高于冬季,水量更丰富,营养盐更充足,水体中上层饵料更丰富,库区鱼类索饵更集聚于中上层,冬季随着表层水温下降,鱼类摄食减弱,更趋向于向下层迁移^[7,27]。洪口水库为峡谷型深水水库,50 m 以下水体可能光照不足、溶解氧不足、饵料生物匮乏,这些限制了鱼类在底层的活动。

3.4 鱼类资源利用与管理建议

1) 加强土著鱼类栖息地修复,恢复土著鱼类多样性。洪口水库库尾支流适宜区域,可人工修复生境,如增加卵石、培植挺水植物,为光唇鱼、马口鱼、中华花鳅、切尾拟鲮等底栖鱼类提供栖息和繁殖场所,也可划定为保护区域,减少人类活动影响。

2) 调整放流物种结构。目前,库区人工放流鱼类以鳊为主,相对生物量比例高达 58.09%。鲢、鳊都是滤食浮游生物鱼类,可结合水体浮游生物监测数据,调整鲢、鳊放流比例,避免浮游生物群落失衡。针对库区小型鱼类多的特点,可适当放流如翘嘴鲌等肉食性鱼类,优化群落结构。

3) 加强外来入侵鱼类,特别是罗非鱼的防控工作。库区渔业生产时,重点捕捞罗非鱼等入侵物种,减少其繁殖群体数量。库区周边及上游加强宣传,杜绝养殖逃逸、非法放生等行为,源头遏制外来物种输入。

4) 科学捕捞。采用“留大放小”捕捞原则,控制好网具网目规格;结合水声学探测结果,如冬季坝头水域鱼类密度较高、夏季鱼类集中在 2~7 m 水层,可实现精准捕捞,提高捕捞效率,降低捕捞成本。

4 结论

洪口水库鱼类具有以外来入侵种(齐氏罗非鱼)和人工放流种(鳊)为主体的群落结构特点。库区以小型鱼类为主,夏季补充群体多,密度相对冬季较高。水平分布上,坝头水域夏季和冬季鱼类密度分布较集中,库尾支流在冬季分布也较为集中。垂直分布上,夏季鱼类密度集中在 2~7 m 上层水域,冬季向 7~12 m 水层迁移。库区鱼类资源量

夏季为 583.09 t,冬季为 682.68 t,大型个体数量占比低但资源量分别贡献了 65.32% 和 73.08%,为库区主要经济价值鱼类。本研究通过传统渔获物调查结合水声学方法,掌握了洪口水库鱼类资源现状,为库区外来物种管控、增殖放流优化和科学捕捞提供了参考,也对亚热带峡谷型水库生态渔业发展具有借鉴意义。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国农业农村部. 大水面增养殖容量计算方法: SC/T 1149—2020[S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Calculation methods for carrying capacity of stock enhancement and aquaculture in large water bodies: SC/T 1149—2020[S]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2020.
- [2] 李学梅, 孟子豪, 朱挺兵, 等. 我国大水面生态渔业发展现状、问题与建议[J]. 淡水渔业, 2025, 55(6): 3—11.
Li X M, Meng Z H, Zhu T B, *et al.* The current status, issues, and suggestions for the development of ecological fisheries in large water bodies in China[J]. *Freshwater Fisheries*, 2025, 55(6): 3—11.
- [3] 陈新军, 刘金立, 林东明, 等. 渔业资源学研究发展现状及趋势[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1168—1179.
Chen X J, Liu J L, Lin D M, *et al.* Review of development and trend in fisheries resource science[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2022, 31(5): 1168—1179.
- [4] 贾春艳, 段辛斌, 杨浩, 等. 基于水声学的东洞庭湖鱼类资源时空分布与资源量评估[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(12): 2633—2641.
Jia C Y, Duan X B, Yang H, *et al.* Spatial-temporal distribution of fish resources and biomass assessment in east Dongting Lake using hydroacoustic method[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(12): 2633—2641.
- [5] 张赞, 蔺丹清, 汤勇, 等. 基于声学测量方法的大伙房水库鱼类资源季节变动特征[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 12—19.
Zhang Z, Lin D Q, Tang Y, *et al.* Seasonal variability of fishery resources in Dahuofang Reservoir based on

- acoustic survey method[J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 12 – 19.
- [6] 王珂, 段辛斌, 刘绍平, 等. 三峡库区大宁河鱼类的时空分布特征 [J]. *水生生物学报*, 2009, 33 (3): 516 – 521.
- Wang K, Duan X B, Liu S P, *et al.* Survey on temporal and spatial distribution of fish in the Daning River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(3): 516 – 521.
- [7] 张航, 梁智策, 匡晨亿, 等. 基于水声学和渔获物调查的洱海鱼类资源时空分布特征 [J]. *水生生物学报*, 2024, 48 (12): 2029 – 2041.
- Zhang H, Liang Z C, Kuang C Y, *et al.* Spatial-temporal distribution characteristics of fish resources in Erhai Lake based on hydroacoustics and catch survey methods[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, 48(12): 2029 – 2041.
- [8] 李栋, 蔺丹清, 王召根, 等. 基于水声学频差技术的镇江长江豚类省级自然保护区鱼类资源时空特征 [J]. *水生生物学报*, 2023, 47 (1): 121 – 132.
- Li D, Lin D Q, Wang Z G, *et al.* Spatial and temporal characteristics of fish resources in Zhenjiang Yangtze River dolphin provincial nature reserve were evaluated based on hydroacoustic frequency difference technique [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(1): 121 – 132.
- [9] 兰若林, 易霏霏, 巫曦雅, 等. 基于水声学方法的上犹江水库鱼类时空分布特征 [J]. *南方水产科学*, 2026, 22 (1): 93 – 102.
- Lan R L, Yi P P, Wu X Y, *et al.* Spatio-temporal fish distribution differences between closed-fishing and ecological-stocking in Shangyoujiang Reservoir based on hydroacoustic assessment[J]. *South China Fisheries Science*, 2026, 22(1): 93 – 102.
- [10] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鲤形目: 中卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- Chen Y Y. *Fauna sinica: osteichthyes, cypriniformes: Vol. II* [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [11] 中国科学院中国动物志编辑委员会. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鲤形目: 下卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- Yue P Q. *Fauna sinica: osteichthyes, cypriniformes: Vol. III* [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [12] 朱元鼎. 福建鱼类志 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984.
- Zhu Y D. *Fishes of Fujian province* [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1984.
- [13] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Fish bulletin 152. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[R]. Scripps Institution of Oceanography, 1970.
- [14] 黄耿, 曹俊启, 衡武警, 等. 基于水声学探测的丹江口水库鱼类资源时空分布特征 [J]. *湖泊科学*, 2025, 37 (3): 963 – 975.
- Huang G, Cao J Q, Heng W J, *et al.* The characteristics of spatio-temporal distributions of fish resources in the Danjiangkou Reservoir based on hydroacoustic assessment[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2025, 37(3): 963 – 975.
- [15] 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.
- [16] Foote K G, Knudsen H P, Vestnes G, *et al.* Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide[R]. Denmark: International Council for the Exploration of the Sea, 1987: 1-69.
- [17] 福建省渔业区划办公室. 福建省渔业资源 [M]. 福州: 福建科学技术出版, 1998.
- Fujian Fishery Resources Compilation Committee. *Fishery resources of Fujian province* [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1998.
- [18] 何伏顺. 闽东霍童溪淡水鱼类资源调查初报 [J]. *宁德师专学报 (自然科学版)*, 2007, 19 (2): 127 – 130.
- He F S. An initial investigation report on the freshwater fish resource in the Huotong River in East Fujian[J]. *Journal of Ningde Teachers College (Natural Science)*, 2007, 19(2): 127 – 130.
- [19] 刘涵希. 不同规模水电站的生态环境影响研究——以霍童溪流域为例 [J]. *中国资源综合利用*, 2025, 43 (1): 117 – 119.
- Liu H X. Research on the ecological environmental impact of hydroelectric stations of different sizes——taking the Huotongxi River Basin as an example[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2025, 43(1): 117 – 119.
- [20] 何美峰, 肖九兰, 梁忠连, 等. 泰宁金湖鱼类群落结构及鲢、鳙生长特征 [J]. *渔业研究*, 2023, 45 (5): 462 – 472.
- He M F, Xiao J L, Liang Z L, *et al.* Fish community

- structure and the growth performance of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* in Jinhu Reservoir, Taining County, Fujian Province[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2023, 45(5): 462 – 472.
- [21] 陈锋, 雷欢, 郑海涛, 等. 珠江干流梯级开发对鱼类的影响与减缓对策 [J]. *湖泊科学*, 2018, 30 (4): 1097 – 1108.
- Chen F, Lei H, Zheng H T, *et al.* Impacts of cascade reservoirs on fishes in the mainstream of Pearl River and mitigation measures[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, 30(4): 1097 – 1108.
- [22] 王普泽, 宋聃, 张尹哲, 等. 基于水声学评估的博斯腾湖鱼类时空分布研究 [J]. *中国水产科学*, 2023, 30 (5): 525 – 532.
- Wang P Z, Song D, Zhang Y Z, *et al.* Hydroacoustic assessment of spatio-temporal distribution and resource status of fish in Lake Bosten[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(5): 525 – 532.
- [23] 刘文鼎, 章海鑫, 吴子君, 等. 基于水声学评估的赣江南昌段鱼类空间分布 [J]. *声学技术*, 2026, 45 (1): 55 – 64.
- Liu W D, Zhang H X, Wu Z J, *et al.* Spatial distribution and resource status of fish in the Nanchang section of the Ganjiang River based on hydroacoustic assessment[J]. *Technical Acoustics*, 2026, 45(1): 55 – 64.
- [24] 武智, 李捷, 朱书礼, 等. 基于水声学的北江石角水库鱼类资源季节变动及行为特征研究 [J]. *中国水产科学*, 2018, 25 (3): 674 – 681.
- Wu Z, Li J, Zhu S L, *et al.* Seasonal variation of fish density and behavior in Shijiao Reservoir, Beijiang River by using hydroacoustic methods[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 674 – 681.
- [25] 李斌, 李佩杰, 汤勇, 等. 黄河小浪底水库主河道水域渔业资源声学评估 [J]. *水产学报*, 2015, 39 (8): 1134 – 1143.
- Li B, Li P J, Tang Y, *et al.* Acoustic survey of the fisheries resources in the main channel of Xiaolangdi Reservoir in the Yellow River[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(8): 1134 – 1143.
- [26] 毛志刚, 谷孝鸿, 龚志军, 等. 洪泽湖鱼类群落结构及其资源变化 [J]. *湖泊科学*, 2019, 31 (4): 1109 – 1119.
- Mao Z G, Gu X H, Gong Z J, *et al.* The structure of fish community and changes of fishery resources in Lake Hongze[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, 31(4): 1109 – 1119.
- [27] 周磊, 李育森, 施军, 等. 基于水声学探测的洪潮江水库鱼类资源空间分布及其与环境因子的相关性 [J]. *渔业科学进展*, 2021, 42 (1): 1 – 10.
- Zhou L, Li Y S, Shi J, *et al.* Spatial distribution of fish resources and its correlation with environmental factors in the Hongchaojiang Reservoir based on hydroacoustic detection[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(1): 1 – 10.

Spatial-temporal distribution of fish resources and biomass assessment in Hongkou Reservoir, Fujian Province based on hydroacoustic methods

Deng C C¹, HE Meifeng^{2*}, CUI Lifeng², LIAO Chuansong¹, ZOU Lizhen², ZHONG Guolong², CHEN Mengyun², WANG Xiaoning², GUO Chuanbo¹

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;

2. Freshwater Fisheries Research Institute of Fujian Province, Fuzhou 350002, China)

Abstract: [Background] Stock enhancement of freshwater fisheries in large water bodies is a vital green development strategy in China. [Objective] This study aims to clarify fish community structure, spatial-temporal distribution and stock abundance in Hongkou Reservoir, and provide scientific references for ecological fish enhancement. [Methods] We conducted two surveys on the reservoir based on a combination of traditional catch surveys in February, May, August and November 2024 and hydroacoustic detection in August and December 2024. [Results] A total of 21 species, 3 orders, 5 families and 18 genera were identified during the catch surveys. *Coptodon zillii*, *Hypophthalmichthys nobilis* and *Sarotherodon galilaeus* were dominant species, and *Culter alburnus*, *Hemiculter leucisculus*, *Distoechodon tumirostris* were important species. The results of hydroacoustic detection showed that fish populations were mainly small sized individuals with total body length of 1.2–7.0 cm (TS: –70.3 to –55 dB) and average length of 5.68 cm, accounting for 83.90% in summer and 47.59% in winter. The average fish density reached 8 171.09 ind/hm² in summer and 2 003.70 ind/hm² in winter, with estimated fish stocks of 583.09 t and 682.68 t respectively. Horizontally, high fish density occurred in the dam area in both seasons, and two tributaries at the reservoir tail area near Houlong River and Jinzao River are also the main gathering areas for fish in winter. Vertically, fish concentrated in 2–7 m water layer in summer, and migrated downward to 7–12 m layer in winter. [Conclusion] Fish community in Hongkou Reservoir was jointly affected by invasive alien species and stocked enhancement fish, showing distinct spatial-temporal heterogeneity. The results provide fundamental support for alien species prevention, scientific stocking and sustainable fishing management in the reservoir.

Key words: hydroacoustics; fishery resources; community structure; biomass assessment; Hongkou Reservoir