

基于DIDSON的水库鱼类资源探测与时空分析

沈蔚, 彭战飞, 龚小玲, 张进, 朱振宏

Detection of fish resources in reservoir and spatial and temporal analysis based on DIDSON

SHEN Wei, PENG Zhanfei, GONG Xiaoling, ZHANG Jin, ZHU Zhenhong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210903565>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于DIDSON双频识别声纳技术的青草沙水库鱼类资源量评估](#)

Evaluation of fish resources in Qingcaosha Reservoir based on dual-frequency identification sonar technology

上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 561 <https://doi.org/10.12024/jsou.20161201919>

[长江三峡船闸上下引航道鱼类空间分布特征](#)

Characteristics of spatial distributions of fish community in upper and lower approach channels of the Three Gorges ship lock, Yangtze River

上海海洋大学学报. 2022, 31(1): 242 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200703108>

[金泽水库鱼类的群落结构和资源量](#)

Fish community structure and resource in Jinze Reservoir

上海海洋大学学报. 2020, 29(6): 847 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200803153>

[基于拖网调查的海州湾南部鱼类群落结构分析](#)

The composition of fish community in south Haizhou Bay based on the trawling survey

上海海洋大学学报. 2017, 26(4): 588 <https://doi.org/10.12024/jsou.20161001874>

[海南东部外海海域鱼类群落结构季节变动及其影响因素](#)

Environmental Influences on Seasonal Variations of Fish Community Structure in Off-sea of Eastern Hainan, Northern South China Sea

上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 28 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.004>

文章编号: 1674-5566(2022)06-1457-10

DOI:10.12024/jsou.20210903565

基于 DIDSON 的水库鱼类资源探测与时空分析

沈蔚^{1,2}, 彭战飞^{1,2}, 龚小玲³, 张进^{1,2}, 朱振宏^{1,2}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学上海河口海洋测绘工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 为获取上海市陈行水库鱼类时空分布特征, 分别于 2019 年 4 月 17 日、8 月 15 日和 11 月 13 日, 采用双频识别声呐(dual-frequency identification sonar, DIDSON)对陈行水库进行鱼类资源探测, 利用 ECHOVIEW 水声数据处理软件构建鱼类目标分析模型, 开展鱼类目标的提取与计数, 分析并绘制鱼类资源密度的水平和垂直分布图, 揭示水库鱼类数量和时空分布特征。结果表明: 陈行水库中小型鱼类(体长 < 60 cm)居多, 占比达 80.90%; 春季至秋季库区鱼类体长逐渐增加, 密度不断增大, 数量和总质量也在增加; 水平空间尺度上, 库区鱼类个体主要集聚水库南部, 夏季分布相对集中, 秋季相对分散; 垂直空间尺度上, 库区鱼类主要分布在水深 2~6 m 区域, 占比达 84.85%, 春季鱼类分布平均水深为 3.89 m, 夏季为 4.34 m, 秋季为 5.12 m, 库区鱼类垂直分布随季节有向底层移动趋势。所研究的水声探测方法和鱼类目标分析模型为类似的鱼类资源调查分析工作提供了有益参考, 探测结果为水库采取合理的鱼类资源管理提供了依据。

关键词: 鱼类资源; 探测; 时空分布; 目标分析模型; DIDSON

中图分类号: S 923.4 **文献标志码:** A

随着水声学技术和装备的不断发展, 声呐用于鱼类研究日益普及, 除广泛应用于鱼类数量与资源量的定量评估外, 也逐渐应用于其时空分布、行为检测等方面的研究。水声探测技术相比传统资源调查手段, 具有快捷、高效、大范围、不损伤调查对象等优点^[1-3]。双频识别声呐(dual-frequency identification sonar, DIDSON)作为一款高清晰度的声学摄像机, 国外较早应用于鱼类资源研究。MOURSUND 等^[4]最早探究 DIDSON 在渔业上的应用, 弥补了现有渔业评估声呐和光学系统之间的差距。EVERITT 等^[5]系统地介绍了 DIDSON 在密苏里河渔业管理中的作用, MAXWELL 等^[6]利用 DIDSON 对洄游性大马哈鱼进行鱼类体长识别和研究。MCCANN 等^[7]利用 DIDSON 进行鱼类分类并建立渔业评估的水下观测数据集。近十年, 国内开始将 DIDSON 应用于不同水域的鱼类资源调查与行为观测。童剑锋

等^[8]初步研究 DIDSON 图像处理在渔业上的应用。徐兆礼等^[9]和陈小华等^[10]结合 DIDSON 与网捕数据研究鱼类多样性的时空变化。张进^[11]利用 DIDSON 对滴水湖中鱼类资源进行定量评估和空间分析。荆丹翔^[12]利用 DIDSON 进行了鱼群目标检测和运行轨迹研究。

陈行水库作为上海市重要饮用水源之一, 水库运营方一直采用定期投放、捕捞鱼类等非经典生物操纵技术进行库区水质的维持, 故对库区鱼类资源及其空间分布进行监测与评估, 是水库运营方必须掌握的重要信息。本文在相关研究的基础上, 利用 DIDSON 声呐对陈行水库鱼类资源开展探测, 基于 ECHOVIEW(v7.1)软件搭建鱼类目标分析模型, 利用 ARCGIS(v10.4)软件进行鱼类资源分布可视化, 初步分析了陈行水库鱼类资源时空变化特征, 为水库资源监测和管理提供有效的信息支持。

收稿日期: 2021-09-22 修回日期: 2021-12-17

基金项目: 2020 年上海海洋大学科技发展专项基金(A2-2006-20-200202); 上海城投原水有限公司项目(D-8006-19-0088)

作者简介: 沈蔚(1977—), 男, 博士, 教授, 研究方向为海洋测绘和水声探测。E-mail: wshen@shou.edu.cn

通信作者: 龚小玲, E-mail: xlgong@shou.edu.cn

1 材料与方

1.1 研究区域与设备

陈行水库位于上海市宝山区罗泾镇的东部长江江堤外侧(图 1, 图中 A 点为坐标参考点),

水库大致呈矩形,面积约 113 万 m^2 ,最大水深 11 m,库容量约 950 万 m^3 ,是上海市第一座长江水源水库,也是具有“消咸蓄淡、净污蓄清”功能的城市供水水库。

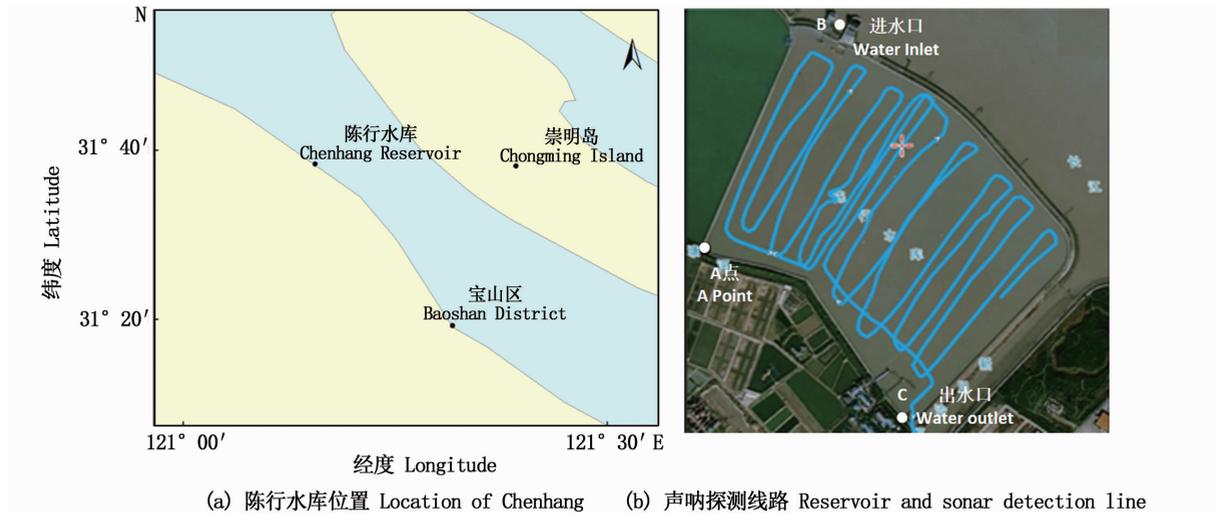


图 1 陈行水库位置及声呐探测线路

Fig.1 Location of Chenhang Reservoir and sonar detection line

美国 Sound-Metrics 公司制造的 DIDSON 成像声呐,又称水下声学摄像机,其声镜头通过声波聚焦形成非常狭窄的波束,以生成接近光学画质的声学图像。该设备具有足够高的图像分辨率和帧速,可用于低能见度的水中探测。DIDSON 主要参数如表 1 所示。

表 1 DIDSON 主要参数

Tab.1 Main parameters of DIDSON

项目 Item	低频	高频
	Low frequency	High frequency
工作频率 Working frequency/MHz	1.1	1.8
波束宽度 Beam width/(°)	水平 0.4	水平 0.3
波束数 Number of beams	48	96
帧速 Frame rate/(Frame/s)	2 ~ 10	2 ~ 10
水平视角 Horizontal viewing angle/(°)	29	29
垂视角 Vertical viewing angle/(°)	14	14

1.2 数据采集

按照设计的平行测线,利用 DIDSON 开展走航式探测,实际测线如图 1 所示。DIDSON 的换能器固定于探测船右前舷,入水深约 0.5 m,镜头向下与水面成 60° 夹角, GPS 提供实时坐标和导航。现场测量 DIDSON 会根据水深自动切换频

率,量程大于 10 m 则切换到低频模式。为保证调查的精度,引入 AGLEN^[13] 提出的水声学调查覆盖率的概念。

$$d = \frac{l}{\sqrt{S}} \quad (1)$$

式中: d 为水声学调查覆盖率; S 为水域面积, m^2 ; l 为调查航线总长度, m 。一般 $d > 6$ 则满足水声学调查覆盖率指数要求, 3 次调查覆盖率指数如表 2 所示。

表 2 水声学调查覆盖率

Tab.2 Hydroacoustic survey coverage

日期 Date	船速 Speed/kn	航线长度 Route length/km	覆盖率指数 Coverage
20190417	5.0	19.97	18.79
20190815	4.7	11.57	10.88
20191113	4.5	13.46	12.66

1.3 鱼类目标分析模型

利用澳大利亚 ECHOVIEW 水声数据处理软件,构建鱼类目标分析模型,开展鱼类目标的提取与计数,模型的流程如图 2 所示,依据模型处理效果对其关键技术参数设置如表 3 所示。模

型关键步骤包括:图像增强模块,将声图中由于杂质及底部的反射形成的噪点,运用 KOVESI^[14] 研究的小波去噪滤波算法进行过滤;目标识别模块,该部分工作参考文献[15]进行;目标检测模

块,通过阈值的设定实现对较小鱼类和较大鱼类的筛选,并将多波束声学数据转换为单个的鱼类目标数据,开展鱼类运动轨迹追踪,避免重复计数,同时跟踪每个目标的深度,回波强度等信息。

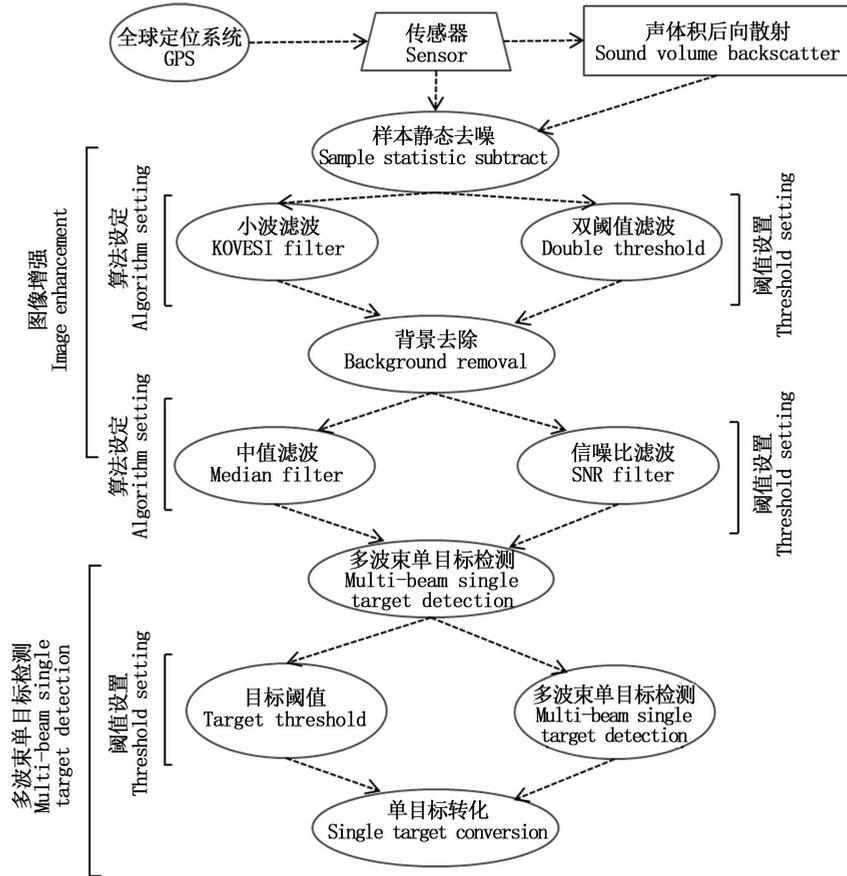


图 2 鱼类目标分析模型
Fig.2 Fish target analysis model

表 3 关键技术参数设置
Tab.3 Essential technical parameter settings

项目 Item	参数 Parameter	设置 Setting
噪音去除 Noise removed	最小波长	1
	反向标准偏差	3
	背景目标算法	中值
目标检测 Target detection	种子阈值	40 cm ²
	卫星阈值	1 cm ²
目标属性阈值 Target property threshold	阈值目标	横穿波束目标长度
	最小目标阈值	5 cm

1.4 鱼类数据分析

1.4.1 体长分析

提取同一运动轨迹上的每一帧声呐图像中鱼类体长,依据鱼类水平方向运动时,图像中体长最大最接近真实值,将提取的最大体长作为该

目标的体长。DIDSON 声呐识别精度随着窗口长度的变化,采集窗口长度为 10 m 左右,其分辨率约为 0.05 m,故将体长在 0.05 m 以下的目标视为噪声全部剔除。在水库实际捕捞数据中,未发现体长超过 1.30 m 的鱼类,故本次研究将鱼类

体长区间设定为 0.05 ~ 1.30 m, 为便于统计对比, 首个区间规定为 0.05 ~ 0.10 m, 其余以 0.10 m 为组距划分 13 个区间。

1.4.2 密度分析

利用面密度法计算航线区域鱼类密度, 并用此密度估计水库整体鱼类密度。密度计算公式:

$$\rho_i = N_i / S_i \quad (2)$$

$$S_i = L_i \times d \quad (3)$$

$$\bar{D} = h_i \times \cos \frac{\pi}{3} - h_i \times \sin \frac{\pi}{3} \times \tan \left(\frac{\alpha}{6} - \alpha \right) \quad (4)$$

式中: ρ_i 为 i 次航线区域鱼类的密度, ind./m²; N_i 为该航线鱼类数量, ind., 并由 DIDSON 图像数据提取而得; S_i 航线水域面积, m²; L_i 为 i 次航线路径长度, m; \bar{D} 为平均探测宽度, m; h_i 为每条航线换能器镜头到湖底的平均距离, m; α 为仪器的开角, 且其值为 14°。

为分析鱼类资源空间分布规律, 引入分区密度概念, 即每个有效探测点的鱼的密度和体质量密度。点密度、体质量密度计算公式如下。

$$K_1 = n / (\bar{L} \times d) \quad (5)$$

$$G = 0.0736 \times (X_1^{2.6064} + \dots + X_n^{2.6064}) \quad (6)$$

$$K_2 = G / (d \times \bar{L}) \quad (7)$$

式中: K_1 为该点密度值, ind./m²; n 该点鱼的数量, ind.; \bar{L} 为前后两点间距, m; G 表示该点鱼的体质量, g; X_n 为该点第 n 条鱼的体长, cm; K_2 为该点体质量密度, g/m²。

1.4.3 空间模型分析

为获得水库鱼类的整体分布情况, 利用 ARCGIS 软件的反距离权重插值法生成库区鱼类资源密度图。反距离权重插值 (inverse distance weighted, IDW) 是以插值点与样本点间距离为权重进行加权平均, 离插值点越近的样本点赋予的权重越大^[16]。其表示公式为

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i^{-P} \times Z_i)}{\sum_{i=1}^n D_i^{-P}} \quad (8)$$

式中: Z 是估计值; Z_i 是第 i ($i = 1, \dots, n$) 个样本点实测值; D 是插值点与样本点间的距离; P 是距离的幂, 它显著影响内插的结果权重是与预测点到局部邻域内实测点的距离有关的, 随着预测点和实测点之间距离的增加, 权重呈指数降低。

1.4.4 统计误差分析

ECHOVIEW 模型自动计数结果与基于声图的人工目视计数结果进行对比, 分析统计误差, 验证统计精度。

1.5 渔获物采集方法

2019 年期间按照 DIDSON 成像声呐鱼类探测日期进行水库渔获物数据采集。在全库随机布设沉网和浮网。沉网网目孔径有 3 种规格: 长 100 m, 宽 4 m, 网眼对角线 5 cm; 长 50 m, 宽 2 m, 网眼对角线 10 cm; 长 100 m, 宽 4 m, 网眼对角线 10 cm。浮网规格: 长度 100 m, 宽度 4 m, 网眼对角线 5 cm。沉网和浮网在水库布设 24 h, 所有渔获物带回实验室进行分析。

2 结果

2.1 渔获物统计

声学调查期间, 采用定置网具方法收集鱼类网捕数据, 其中库区团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 为优势物种, 数量占比 41.46%, 鲢体质量占比最高为 57.00%, 库区渔获物统计如表 4。

2.2 鱼类体长分布

体长区间分布一定程度上反映了鱼类的生长特征和资源量变化特征, 由鱼类体长分布图 (图 3 所示) 可知, 3 个季节, 中小型鱼类 (体长 < 60 cm) 都占据主要成分, 占比达到了 80.90%, 但春季到秋季水库鱼类比重逐渐向大体长 (体长 ≥ 60 cm) 区间移动, 小型鱼类比重有所下降。

2.3 鱼类密度变化

春季至秋季期间, 水库鱼类密度不断增大 (表 5), 秋季密度最高 0.0745 ind./m²。

2.4 统计误差

目视计数是人工通过声学图像目视识别鱼类并计数。表 6 是人工目视计数与 ECHOVIEW 模型自动计数的误差, 3 次探测调查均小于 10%, 平均误差为 6.96%, 可见基于模型自动计数的可信度较高。

2.5 鱼类资源时空分布

在水平空间尺度上, 陈行水库鱼类资源点密度和体质量密度的空间分布差异明显 (图 4, 图 5)。水库鱼类资源调查结果 (图 4) 显示, 春、夏和秋季, 水库鱼类资源点密度最高值均分布在水库南部水域, 其中秋季鱼类点密度最高为 1.76 ind./m²。由图 4 和图 5 可以看出, 水库鱼类资源空间集聚存在季节性小尺度的偏移, 春季至秋季鱼类资源不断向库区南岸集聚。库区鱼类体质量分布, 基本呈现相同的分布。

从个体分布离散程度分析,夏季点密度标准差为 0.047,鱼类分布相对分散。差为 0.027,鱼类分布相对集中,秋季点密度标准

表 4 渔获物统计表
Tab.4 Catch statisticst

种类 Species	渔获物数量 Catch number		体质量 Body mass	
	数量 Number/ind.	百分比 Percentage/%	体质量 Body mass/g	百分比 Percentage/%
鲫鱼 <i>Carassius auratus</i>	30	9.15	22 561	10.07
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	136	41.46	51 244	22.90
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	73	22.25	127 570	57.00
似刺鲃 <i>Paracanthobrama guichenoti</i> Bleeker	10	3.05	2 280	1.02
长蛇鲃 <i>Saurogobio dumerili</i>	5	1.52	640	0.29
长春鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	12	3.66	4 936	2.21
花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	6	1.83	1 409	0.63
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	12	3.66	646	0.29
翘嘴红鲌 <i>Chanodichthys erythropterus</i>	5	1.52	4 254	1.90
贝氏鲶 <i>Hemiculter bleekeri</i>	3	0.91	46	0.02
蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i> Basilewsky	10	3.05	3 199	1.43
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>	16	4.88	1 643	0.73
鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	3	0.91	1 059	0.47
半滑舌鳎 <i>Cynoglossus semilaevis</i>	2	0.61	285	0.13
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	5	1.52	2 029	0.91

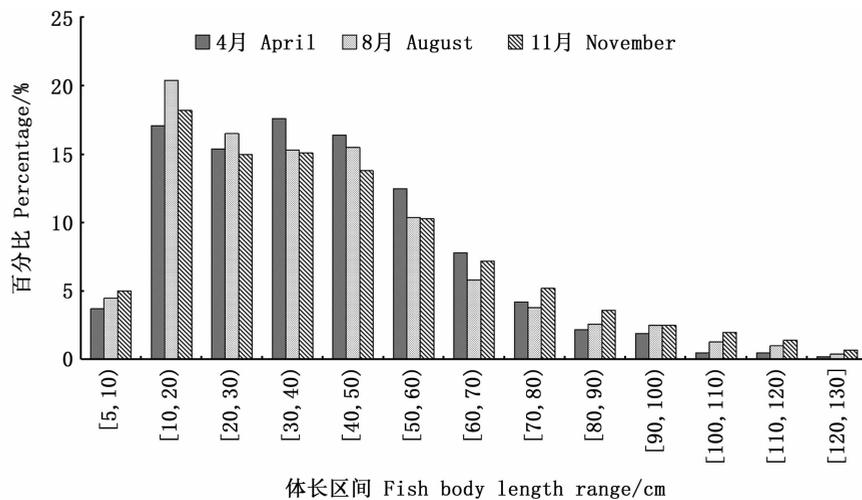


图 3 鱼类体长分布比例
Fig.3 Fish body length distribution ratio

表 5 航线数据统计表
Tab.5 Route data statistics table

探测日期 Detection date	航线长度 Measuring line length/m	平均水深 Average water depth/m	探测面积 Detection area/m ²	自动计数 Automatic count/ind.	测区密度 Measuring area density/(ind./m ²)
20190417	19 970	5.04	25 343.37	1 248	0.049 2
20190815	11 570	7.17	20 880.25	1 352	0.064 8
20191113	13 460	6.88	23 308.63	1 737	0.074 5

表 6 统计误差表

Tab.6 Statistical error table

探测日期 Detection date	自动计数 Automatic count/ind.	目视计数 Visual count/ind.	误差 Error/%
20190417	1 248	1 183	5.49
20190815	1 352	1 265	6.88
20191113	1 737	1 601	8.49

在垂直尺度上,以水库 A 点(见图 1)为坐标原点,以正东方向为 Y(距离)轴,以垂直水面向下为 Z 轴(水深)建立坐标系,将探测到鱼的位置展绘如图 6 所示。在垂直尺度上,库区鱼类分布有明显的分层现象,主要分布在水下 2~6 m,占比高达 84.85%。春季鱼类分布平均水深为 3.89 m,夏季为 4.34 m,秋季为 5.12 m,库区鱼类垂直分布有向底层移动趋势。

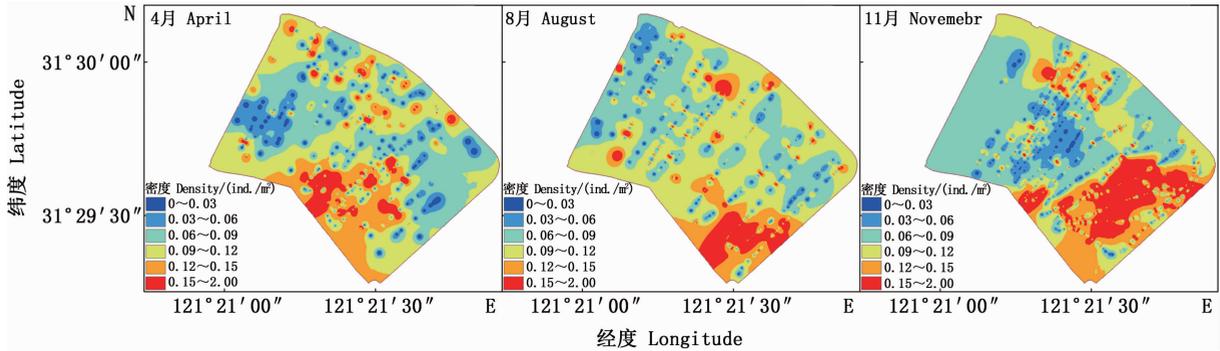


图 4 不同季节鱼类水平密度图

Fig. 4 Fish horizontal density map in different seasons

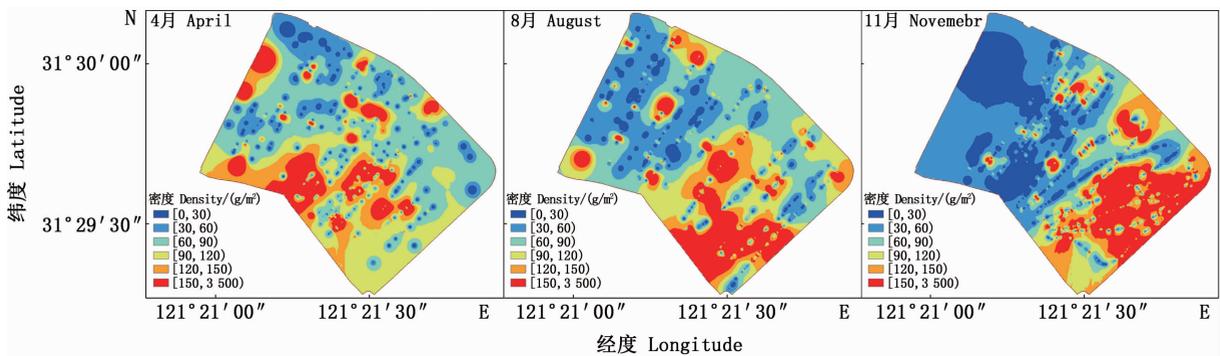


图 5 不同季节鱼类体质量密度图

Fig. 5 Fish body mass density map in different seasons

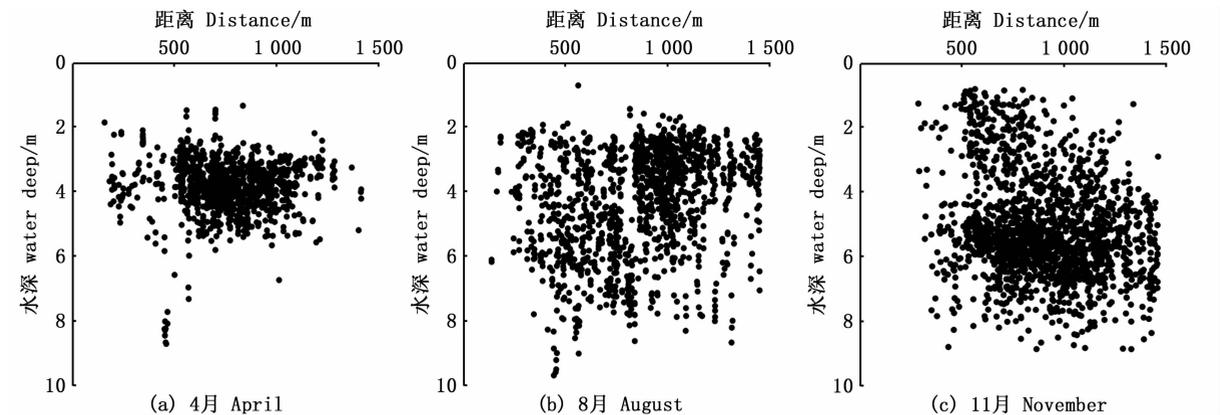


图 6 不同季节鱼类垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution of fish in different seasons

3 讨论

3.1 鱼类体长测量

本文通过 ECHOVIEW 构建鱼类目标分析模型提取鱼类体长,结合历次网捕数据对比分析,数据显示,中小型鱼类(体长 < 60 cm)均占据主要成分。网捕数据中团头鲂、鲫鱼、似刺鲃、鳊鱼、刀鲚、花鲈等中小型鱼类占据 62.20%,而大型鱼种鲢占据 22.25%,与声学探测结果呈现相同趋势。鱼类目标体长作为资源量评估的重要参数, DIDSON 图像中的鱼类目标体长与实际体长存在误差,本文并未对软件提取目标体长的准确度进行验证,后续将进一步研究体长误差的范围,以提高评估精度。

3.2 鱼类资源数量的季节变化

春季至秋季,由水库鱼类尾数密度变化,推断鱼类资源数量变化为季节性增加。鱼类资源点密度和体质量密度均以秋季最高,而春季最低。鱼类资源数量的季节性增加主要与鱼类繁殖期和水库封闭性特质密切相关。春季和夏季是陈行水库主要鱼类的繁殖盛期,随着春季气温的上升,团头鲂、鲫鱼、鲢、鳊鱼等季节性产卵鱼类开始产卵繁殖^[17-20],至夏季,产卵量和幼鱼均达到高峰期。此外,陈行水库是封闭性的,鱼类资源逃逸概率小,导致鱼类资源量不断增加,秋季达到最高值。

环境因子对鱼类资源数量的季节变化也有一定的影响^[21],尤其是库区表层温度和盐度。陈行水库有咸潮期^[22],即每年 10 月—翌年 4 月,秋季库区水域营养盐丰富,利于鱼类的生长,而春季,随着表层温度的升高,同时咸潮为鱼类提供养料,便于繁殖。环境因子主要通过改变鱼类的生长条件,进而影响鱼类资源的数量。

3.3 鱼类时空分布的影响因子

生物的随机分布在自然界是不寻常的,多数物种在陆地和海洋生态系统显示出聚集分布^[23]。鱼类群落在地理空间上的分布主要由环境因子在地理空间上的异质性造成,是生境(人类干扰、地理气候、水文因子等)异质性的综合反映。主要环境因子包括水深、浮游生物、水体运动、温度、总电导率、固体溶解度、盐度等^[24-26],并呈现出鱼类空间分布季节性变化规律。

在水平分布上,水库中南部深水区和进出水

口附近,鱼类点密度和体质量密度最大,点密度达 1.76 ind./m²,体质量密度达 3 397 g/m²,鱼类分布相对集聚,这与水深和饵料生物特征有着密切联系。杜浩等^[27]对长江中游江口的鱼类研究也表明鱼类在深水区分布密度较大。其原因是深水域鱼类活动空间比较大,便于躲避捕食者,据水库环境调查记录,库区鸟类会进行捕鱼觅食。进出水口(图 1)进行物质交换,营养物质充足,鱼类呈明显集聚现象,特别是在秋季,随着鱼类数量的增加,加剧鱼类对食物的竞争,进出水口营养物质的诱惑性增大,进出水口鱼类集聚更加明显。

在垂直空间上,库区鱼类分布在水下 2~6 m,占比高达 84.85%,而底层分布较少,陶江平等^[28]研究也表明鱼类资源量和水深之间存在显著的负相关的关系。同时鱼类垂直分布随季节有向底层移动趋势。团头鲂为库区优势物种,占比 41.16%,春、夏季主要栖息于底质为淤泥、生长有沉水植物的敞水区的中、下层中,而秋、冬季喜在底层处^[29]。同时王珂等^[30]和任玉芹等^[31]研究结果表明,冬季鱼类密度从表层到底层有逐渐增加的趋势。春季至秋季随着库区水温的变化,库区鱼类具有底层越冬的规律,但是,由于 3 次调查的瞬时性结果,需大量周期性的重复探测,增加统计样本数量,减小偶然误差。

人类活动因素主要包括捕鱼和投放鱼苗,2019 年 4 月至 11 月期间,陈行水库实行全面禁渔,没有进行投放鱼苗活动,其他人类活动对鱼类空间分布影响较小,在调查期间水库可视为自然环境,暂不考虑。

3.4 声学评估精度分析

当前 DIDSON 广泛应用于渔业资源定量评估、体长研究和种类鉴别等方面,较少用于鱼类时空分布特征的研究。陈行水库鱼类品种少、水库风浪小以及空间封闭无捕捞行为,故不考虑鱼类的种类差异和外部环境干扰,探测结果具有较高准确性。相对于其他调查方法,如刺网采样、电捕等,本文方法则更加环保^[32]和准确。

水声探测作为渔业资源评估与鱼类行为研究的一种有效方法,其评估结果受诸多因素的影响。DIDSON 声学评估受声学近场效应及探测盲区的影响,探测范围为换能器 0.5 m 处至水底部分,导致评估值偏小,尤其在浅水区域。此外,声

呐从水面向下探测中,鱼个体存在上下叠加,算法对鱼的识别和统计会出现误差,进而降低评估精度。分裂波束鱼探仪 EY60 (120 kHz) 声学探测多因目标鱼类经验公式的不同^[33]使得估算的鱼类资源量会有一定误差。围网和定置网具等传统渔业资源探测中,调查时间的选择、调查断面的规划和网具规格都会影响渔业资源调查的结果^[34]。目前,鱼类资源调查多采用传统网捕和声学探测相结合的手段,达到较高精度的鱼类资源评估。

邢彬彬^[35]研究表明淡水鱼类对于声音刺激反应敏感,而探测船舶的噪音和行驶形成的波浪声会对鱼类产生驱赶效应,进而影响水库鱼类资源评估精度,当前亟需开展船舶驱赶系数的计算方法研究。此外调查方法对鱼类密度也有影响^[36],3次鱼类资源调查航线在位置和长度上的不同也会影响鱼类声学评估的精度。

参考文献:

- [1] SIMMONDS J, MACLENNAN D N. Fisheries acoustics: theory and practice [M]. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science, 2005: 59-379.
- [2] ELLIOTT J M, FLETCHER J M. 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.
- [3] 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(5): 920-929.
- LIAN Y X, HUANG G, GODLEWSKA M, et al. Hydroacoustic assessment of spatio-temporal distribution and abundance of fish resources in Xiangxi River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015(5): 920-929.
- [4] MOURSUND R A, CARLSON T J, PETERS R D. A fisheries application of a dual-frequency identification sonar acoustic camera[J]. ICES Journal of Marine Science, 2003, 60(3): 678-683.
- [5] EVERITT D, ADAMS J, MESTL G. Using DIDSON technology to observe the ecology and behavior of Missouri River fishes [C]//Proceedings of the 67th Midwest Fish and Wildlife Conference. Omaha, Nebraska; Midwest Fish and Wildlife Conference, 2006.
- [6] MAXWELL S L, GOVE N E. The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON) 2002 [R]. Anchorage, AK: Alaska Department of Fish and Game Division of Commercial Fisheries, 2004.
- [7] MCCANN E, LI L L, PANGLE K, et al. An underwater observation dataset for fish classification and fishery assessment[J]. Scientific Data, 2018, 5: 180190.
- [8] 童剑锋, 韩军, 沈蔚. 声学摄像仪图像处理的初步研究及在渔业上的应用[J]. 湖南农业科学, 2010(17): 149-152, 156.
- TONG J F, HAN J, SHEN W. Preliminary research on the image processing of acoustic camera and its application in fishery[J]. Hunan Agricultural Science, 2010(17): 149-152, 156.
- [9] 徐兆礼, 沈鑫绿. 兴化湾海域鱼类多样性的时空变化 [J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 416-426.
- XU Z L, SHEN A L. Spatial and temporal distribution on fish diversity in the Xinghua Bay [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 416-426.
- [10] 陈小华, 李小平, 程曦. 黄浦江和苏州河上游鱼类多样性组成的时空特征[J]. 生物多样性, 2008, 16(2): 191-196.
- CHEN X H, LI X P, CHENG X. Spatial-temporal distribution of fish assemblages in the upstreams of Huangpu River and Suzhou Creek [J]. Biodiversity Science, 2008, 16(2): 191-196.
- [11] 张进. 基于双频识别声纳 DIDSON 的鱼群定量评估技术 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- ZHANG J. Researches on DIDSON-based fish quantitative assessment technology [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [12] 荆丹翔. 基于识别声呐的鱼群目标检测跟踪方法 [D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- JING D X. A method of fish target detection and tracking based on an identification sonar [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [13] AGLÉN A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied [C]//Symposium on Fisheries Acoustics. Bergen, Norway: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982: 293-298.
- [14] KOVESI P. Phase preserving tone mapping of non-photographic high dynamic range images [C]//2012 International Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications (DICTA). Fremantle, WA, Australia: IEEE, 2013.
- [15] 沈蔚, 朱振宏, 张进, 等. 基于双频识别声呐的鱼类目标识别与计数[J]. 渔业现代化, 2020, 47(6): 81-87.
- SHEN W, ZHU Z H, ZHANG J, et al. Fish target recognition and counting based on dual-frequency identification sonar [J]. Fishery Modernization, 2020, 47(6): 81-87.
- [16] 庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 605-615.
- ZHUANG L W, WANG S L. Spatial interpolation methods of daily weather data in northeast China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 605-615.

- [17] 方耀林,余来宁,郑卫东,等. 淤泥湖团头鲂的形态及生殖力研究[J]. 淡水渔业, 1990(4): 26-28.
FANG Y L, YU L N, ZHENG W D, et al. Study on the morphology and fecundity of bludgeon bream in Silt Lake[J]. Freshwater Fisheries, 1990(4): 26-28.
- [18] 王金娜,周其椿,安苗,等. 草海鲫鱼繁殖生物学特性的研究[J]. 水产科学, 2013, 32(12): 701-705.
WANG J N, ZHOU Q C, AN M, et al. Reproductive biology of crucian carp *Carassius auratus* in Caohai Lake [J]. Fisheries Science, 2013, 32(12): 701-705.
- [19] 余志堂,谢洪高,易伯鲁. 黑龙江流域鳊鱼的种内变异及其生活习性[J]. 水生生物学集刊, 1959(2): 224-228.
YU Z T, XIE H G, YI B L. Intraspecific variation and living habits of bream in Heilongjiang River Basin[J]. Journal of Hydrobiology, 1959(2): 224-228.
- [20] 李志刚. 鲢鱼的生活习性及其养殖技术[J]. 农民致富之友, 2019(14): 180.
LI Z G. The living habits and breeding techniques of silver carp[J]. Friends of Farmers to Get Rich, 2019(14): 180.
- [21] 连喜平,谭焯辉,黄良民,等. 大亚湾大中型浮游动物的时空变化及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 640-645.
LIAN X P, TAN Y H, HUANG L M, et al. Space-time variations and impact factors of macro-meso zooplankton in Daya Bay [J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(5): 640-645.
- [22] 王静雅. 陈行水库应对咸潮入侵的运行分析与思考[J]. 净水技术, 2019, 38(6): 76-80.
WANG J Y. Analysis and consideration of Chenhang Reservoir operation in response to salt water [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(6): 76-80.
- [23] MILLIGAN R J, MORRIS K J, BETT B J, et al. High resolution study of the spatial distributions of abyssal fishes by autonomous underwater vehicle [J]. Scientific Reports, 2016, 6: 26095.
- [24] 朱佳志,郭文韬,黄安阳,等. 长江三峡船闸上下引航道鱼类空间分布特征[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(1): 242-251.
ZHU J Z, GUO W T, HUANG A Y, et al. Characteristics of spatial distributions of fish community in upper and lower approach channels of the Three Gorges ship lock, Yangtze River [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2022, 31(1): 242-251.
- [25] 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.
- [26] 易欣鑫,蔡之惊,秦智杰,等. 上海青草沙水库鱼类群落结构的年际变化[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(4): 664-674.
YI X X, CAI Z Q, QING Z J, et al. Analysis of inter annual variations for the fish community structure in Shanghai Qingcaosha Reservoir [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(4): 664-674.
- [27] 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:以长江口至涇市段为例[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 70-74.
DU H, BAN X, ZHANG H, et al. Preliminary observation on preference of fish in natural channel to water velocity and depth: case study in reach of Yangtze River from Jiangkou Town to Yuanshi Town [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(10): 70-74.
- [28] 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]. 水生态学杂志, 2008, 1(1): 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 Hydroecology, 2008, 1(1): 25-33.
- [29] 魏金锁. 团头鲂池塘健康高产养殖技术[J]. 河南水产, 2016(5): 6-8.
WEI J S. High-yield and healthy ponds culture techniques of *Megalobrama amblycephala* [J]. Henan Fisheries, 2016(5): 6-8.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 王晓宁,彭世贤,张亚,等. 滦河流域鱼类群落结构空间异质性与影响因子分析[J]. 环境科学研究, 2018, 31(2): 273-282.
WANG X N, PENG S X, ZHANG Y, et al. Analysis of fish community spatial heterogeneity and its driving factors in the Luanhe River basin [J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(2): 273-282.
- [33] 梁祥,薛绍伟,武智,等. 云龙水库鱼类资源声学评估[J]. 西南农业学报, 2021, 34(9): 2057-2062.
LIANG X, XUE S W, WU Z, et al. Acoustic assessment of fish resources in Yunlong Reservoir [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(9): 2057-2062.
- [34] 屈长义. 内陆水域渔业资源调查:鱼类调查方法、标准之浅谈[J]. 河南水产, 2012(3): 6-8.
QU C Y. Investigation of fishery resources in inland waters: a

- brief discussion on fish investigation methods and standards [J]. *Henan Fisheries*, 2012(3): 6-8.
- [35] 邢彬彬. 鱼类听觉能力研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- XING B B. The study of auditory capacities in fish [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [36] 马金, 黄金玲, 陈锦辉, 等. 基于 GAM 的长江口鱼类资源时空分布及影响因素[J]. *水产学报*, 2020, 44(6): 936-946.
- MA J, HUANG J L, CHEN J H, et al. Analysis of spatiotemporal fish density distribution and its influential factors based on generalized additive model (GAM) in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(6): 936-946.

Detection of fish resources in reservoir and spatial and temporal analysis based on DIDSON

SHEN Wei^{1,2}, PENG Zhanfei^{1,2}, GONG Xiaoling³, ZHANG Jin^{1,2}, ZHU Zhenhong^{1,2}

(1. *College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Shanghai Estuary Marine Surveying and Mapping Engineering Technology Research Center, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 3. *College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*)

Abstract: In order to obtain the characteristics of the temporal and spatial distribution of fish in Chenhang Reservoir, Shanghai, dual-frequency identification sonar (DIDSON) was used in fish resource on April 17th, August 15th, and November 13th, 2019. Fish target analysis model for carry out the extraction and counting of fish targets was established by ECHOVIEW underwater acoustic data processing software. To draw the horizontal and vertical distribution maps of fish resources density and further analyze the spatial and temporal distribution of fish quantity in reservoirs. The result showed: The proportion of small and medium-sized fish (length < 60 cm) in Chenhang Reservoir was 80.9%; The body length, density, number and total weight of fish in the reservoir increased from spring to autumn; on the horizontal spatial scale, fish mainly gathered in the southern part of the reservoir, with relatively concentrated distribution in summer and relatively scattered in autumn; on the vertical spatial scale, fish in the reservoir area were mainly distributed in water depth between 2–6 m, proportion is 84.85%. The average depth of fish distribution was 3.89 m in spring, 4.34 m in summer, and 5.12 m in autumn, the vertical distribution of fish in the reservoir area tended to move to the bottom with the seasons. The underwater acoustic detection method and fish target analysis model studied provide useful reference for similar fish resource investigation and analysis, and the detection results provide useful assistance for fish stock management.

Key words: fish resource; detection; spatial and temporal distribution; target analysis model; DIDSON