

文章编号: 1674-5566(2017)04-0561-09

DOI: 10.12024/jsou.20161201919

基于 DIDSON 双频识别声纳技术的青草沙水库鱼类资源量评估

张翔^{1,2}, 沈蔚^{1,2}, 童剑锋¹, 章守宇³, 龚小玲⁴, 陈明^{1,2}, 魏宪云⁴

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海市海洋局 河口海洋测绘工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 2015 年 9 月利用双频识别声纳 DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar) 对青草沙水库的主要鱼类资源进行了探测评估。利用渔业声学数据处理软件 Echoview 对 DIDSON 采集的数据进行处理分析, 对图像中的鱼体进行跟踪计数, 结合人工目视计数验证了软件计数的准确性。运用 DIDSON 统计鱼类数量, 并结合渔获物的鱼类体长、体质量等信息进一步评估水库中主要鱼类的资源量。评估结果表明, 运用平面密度法统计水库鱼类数量约为 $1.16 \times 10^7 \sim 1.24 \times 10^7$ 尾, 水库中小型鱼类 (体长 < 20 cm) 在数量上所占比例较多 (78.3%), 而中大型鱼类 (体长 > 40 cm) 所占比例较少 (8.5%)。由库区鱼类的平均体长体质量关系可得出水库渔业资源量约为 $115.5 \sim 124.5 \text{ g/m}^2$ 。利用 GIS 分析了各航线内鱼体质量的空间分布状态, 结果显示水库东南侧深水区资源量较多, 而水库西北侧资源量较少。本文创新性地利用 DIDSON 声纳数据进行青草沙水库渔业资源的评估, 获得了客观的结果, 并提出了一些建议及展望。

关键词: DIDSON; 探测; 计数; 资源评估; 空间分布

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

上海市青草沙水库位于长兴岛北侧, 分为若干水域, 主要由长兴岛的头部和北部外侧的中央沙、青草沙及北小泓、东北小泓等水域组成^[1]。目前是世界上最大的江心河口避咸蓄淡供水水库, 储备了大量的优质淡水, 为上海市主要的供水水源。胡忠军、王绍祥等^[2-3]研究了青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征, 结果表明水库中鲤形目鱼类最多。自水库建成后, 需对库中的渔业资源量进行评估, 以便为进一步捕捞和投放方案提供必要的参考。

近年来, 渔业资源声学评估方法作为渔业资源评估的一种主要手段, 具有高效、对渔业资源无损害、方便快捷等一系列优点。声学评估的基本原理是通过鱼类目标强度 (Target strength) 分析得到评估结果, 评估时多采用回波积分法。HWANG 等^[4]利用声学评估的方法对人工鱼礁区

的鱼类数量进行了评估。谢意军等^[5]于 2015 年 7 月使用 Simrad EY60 型回声探测仪对东洞庭湖的鱼类资源进行了探测评估, 获得了调查航段的鱼类平均目标强度及平均体长的情况。谭细畅等^[6-7]利用 EY60 型回声探测仪对青皮塘广东鲂产卵场进行了多次的探测与研究。然而, 使用回波积分法估算资源量仍存在许多问题, 例如, 回波中可能包含多种鱼类, 区分不同鱼类的回波比较困难, 此外特定鱼类的目标强度也受其体长、游泳姿势等诸多因素的影响。本研究使用一种高分辨率的图像声纳, 尝试通过提取声纳图像中的鱼类数量及鱼体信息来对青草沙水库现存的渔业资源量进行评估。与回波积分法相比, 该方法着重从鱼类数量上及鱼类体长的信息入手进行评估, 摆脱了回波积分法中对鱼类目标强度的依赖性, 使得评估的方法更为简单有效。

收稿日期: 2016-12-06 修回日期: 2017-04-05

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (41606210); 上海市浦江人才计划 (16PJ1403900); 中国博士后科学基金 (2015M581586)

作者简介: 张翔 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源评估。E-mail: 1327070646@qq.com

通信作者: 沈蔚, E-mail: wshen@shou.edu.cn

1 材料与方 法

1.1 调查区域及调查设备

调查水域为上海市青草沙水库 (31°25'N - 31°295'N、121°345'E - 121°425'E), 位于长兴岛, 总面积约为 67.2 km², 除去水库中心岛屿面积, 其水域面积约为 40 km²。由于水库绕岛环形水域的特殊地理位置, 本次探测采用“之”字型调查航线, 调查航线总长为 52.3 km。按照 AGLEN^[8] 覆盖率公式计算本次水声学调查的覆盖率:

$$D_c = L/\sqrt{A} \quad (1)$$

式中: L 为走航航程 (m); A 为水库水面面积 (m²); D_c 为水声学调查的覆盖率。计算可得本次对青草沙水库声学调查的覆盖率为 8.27, 达到了 AGLEN 提出的覆盖率应在 6 以上的标准^[8]。实际调查航线如图 1 所示。

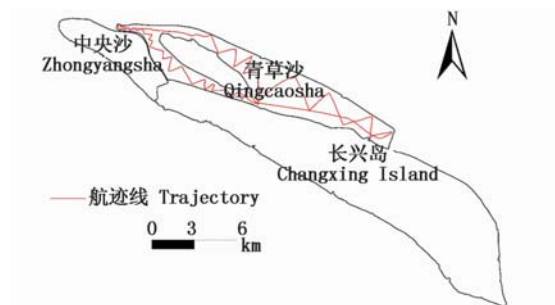


图 1 实际调查航线
Fig.1 Survey routes

声学调查所使用的仪器为双频识别声纳 DIDSON (Dual-Frequency Identification Sonar)。双频识别声纳有两个工作频率 (低频 1.1 MHz、高频 1.8 MHz), 工作时水平方向视角为 29°, 垂直方向视角为 14°。工作在 1.1 MHz 时, 仪器可提供 0.6°分辨率的图像, 此时其探测量程可达到 40 m。工作在 1.8 MHz 时, 仪器可提供 0.3°分辨率的图像, 此时其探测量程为 10 m。由于青草沙水库的平均水深在 5 ~ 8 m 左右, 本次调查多采用高频工作, 在部分较深的水域时 (水深 > 10 m), 切换至低频探测。调查采用走航式调查, 仪器安装方法如图 2 所示, 将 DIDSON 声纳探头固定于船舷左侧并置于水下 0.5 m 处, 声纳镜头与水平方向成 60°向下。将 GPS 置于连接声纳探头的杆子上方, 用于导航及记录航程。

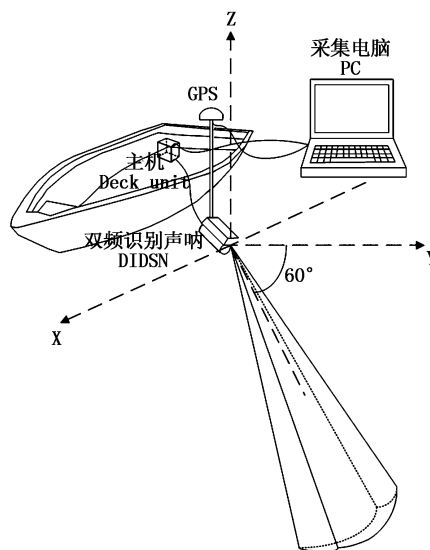


图 2 DIDSON 安装方法
Fig.2 Installation method of DIDSON

1.2 基于 DIDSON 图像 的鱼类计数方法

DIDSON 采集的数据以 ddf 为后缀的文件格式保存于电脑硬盘中, 利用其采集软件 (Didson V5.25) 可对采集的数据进行回放, 简单的人工后处理等。利用声学处理软件 Echoview 对 DIDSON 图像进行了处理, 获得图像中鱼类的位置、数量、体长等信息。利用 Echoview 软件对于 DIDSON 数据的处理分为 5 个步骤, 图 3 为 Echoview 处理数据的流程。

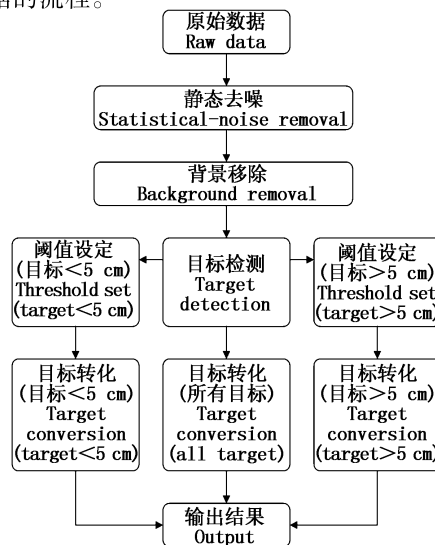


图 3 Echoview 处理 DIDSON 数据流程
Fig.3 The procedures of DIDSON data processed by Echoview

噪声去除是 Echoview 处理 DIDSON 数据流程中的重要环节之一。为了保证评估结果的准确性,本文采用 KOVESI^[9] 图像去噪法。KOVESI 图像去噪法采用非正交小波去噪,保留了视觉感知中最重要的图像相位信息。去噪完成之后,接下来的步骤就是将原始数据中的泥土岩石、固定但缓慢移动的植被、声学伪影等背景移除。经过噪声去除及背景移除之后的图像中只剩下鱼体信息,这时软件会对图像中的目标进行检测,然后再进行目标转化。目标转化的结果是将 DIDSON 图像拼接成 Echogram 图像,Echogram 图像是对 DIDSON 图像中的目标可视化的表达,在该图像中可对目标进行优化、编辑及分析等工作。故在最后形成的 Echogram 图像中,可对 DIDSON 图像中的鱼体进行跟踪,跟踪结果以彩色线条显示出来,每个被跟踪的鱼体信息都可被输出,并存储在 .csv 格式文件中。

本研究旨在统计鱼类的数量及鱼类的空间分布,故根据需要只选择输出鱼体的深度、经纬度及平均长度的信息。由于库区的鱼类有大有小,仪器能否分辨库区较小的鱼类目标取决于 DIDSON 的分辨率。双频识别声纳的分辨率为:左右分辨率(即垂直于波束方向上的分辨率)×径向分辨率(即波束方向上的分辨率)。左右分辨率为目标物离声纳镜头的距离的一半除以波束数(高频 96 条、低频 48 条),径向分辨率为窗口的长度除以采样点数 512。以上说明目标离镜头越近,则左右分辨率越高;而径向分辨率是固定的,只随着窗口的长度改变而改变(窗口的长度为 5 m、10 m、20 m、40 m,其对应的径向分辨率为 10 mm、20 mm、40 mm、80 mm)。对于水库中体长较小的鱼类,由于分辨率问题,DIDSON 可能难以分辨清楚。所以,在选择输出时对于体长小于 5 cm 的目标鱼类忽略不计,只对体长大于 5 cm 的鱼类进行了统计。图 4 是 Echoview 处理时各个步骤的效果。

为了验证 Echoview 软件计数的准确性,本文选取了 3 个原始 DIDSON 文件进行了人工计数。人工计数即通过软件进行数据回放,逐帧记录影像中鱼类的数量,并对鱼体大小、深度等信息进行测量并记录。图 5 为人工计数时的图像,原始影像中,可以对鱼体的大小及位置深度等信息有些直观的了解。在人工统计时,与软件计数统

一,只对体长大于 5 cm 的鱼类进行了记录。

1.3 渔获物采样

2015 年 9—11 月,对青草沙水库进行了网具采样。调查网具为三层刺网、地笼网。3 层刺网有 2 种规格,一种为小眼最大直径 7~8 cm,外层 14 cm,长 100 m,深 6~7 m(1 条网);另一种小眼最大直径 10 cm,外层 15 cm,长 100 m,深 3~5 m(2 条网)。因西部水浅、水流急,刺网易被冲缠在一起,所以刺网主要布设在水库东部和中部区域。地笼网长 100 m,选代表性区域全库布设。布设水库 2 天后取出,将捕获的鲜活样本带回实验室,对样本进行生物学测量,测量内容主要包括个体的体长、体质量、头长等参数。

若要对库区渔业资源量评估,需要掌握库区各鱼类的体长体质量关系,根据计算鱼类体长来拟合鱼类的体质量。但是由于本次采样渔获物样本有限,且渔获物中鱼类种类较多,若对采样鱼类中每种鱼类进行幂函数(式 2)拟合,拟合结果可信度较低。故决定对库区的鱼类的平均体长体重进行幂函数拟合。

$$W = aL^b \quad (2)$$

式中: W 和 L 分别表示所获取鱼类样本的体质量(kg)和长度(cm); a 为条件因子, b 为幂指数。通过幂指数 b 的值用以判断该鱼类是否处于匀速生长,当 $b = 3$ 时,鱼类等速生长; $b \neq 3$ 时则表示异速生长。在 $b \neq 3$ 的情况下,当 $b < 3$, 鱼类处于生长缓慢的状态;反之,当 $b > 3$ 时,鱼类则处于快速生长的状态。

1.4 库区鱼类总量估算方法

本次对水库的渔业资源定量评估,拟采用平面密度法。一般情况下,鱼类在水中各水层都有分布,应该对测区单位立方米鱼群的密度(即体积密度法)进行测定,进而算出整个区域的资源量。但是由于仪器有一段盲区,在离 DIDSON 镜头 1 m 处的这个区间内噪音较大,此处的鱼无法统计,故使用体积密度法评估资源量有较大的误差。另一方面,本次探测过程中,发现鱼类主要分布在库区中下层水域,使用平面密度法评估能较真实地反映库区鱼类的资源量情况。

平面密度法分为两步进行,首先根据探测得到的统计结果来估算水库内鱼类总的数量;其次,根据捕捞队捕获的鱼类样本来获得水库内鱼类的平均体长与体质量的关系式,从而求得水库

中总的鱼类资源量。对于水库中鱼类总的数量 $N = \rho \cdot S$ (3)
(条),可通过式(3)计算得出:

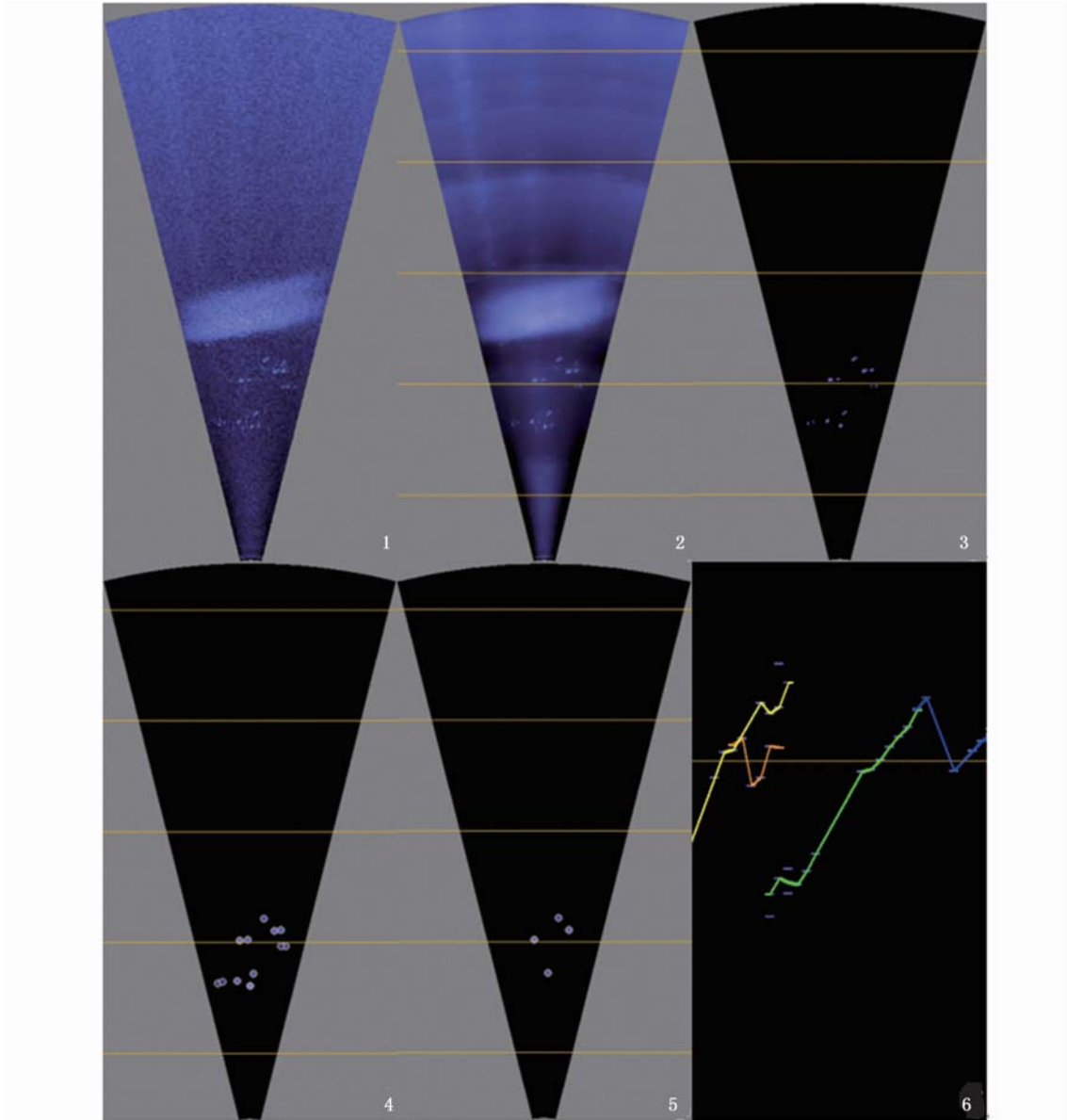


图4 Echoview 处理 DIDSON 数据效果示例

Fig.4 DIDSON data processed by Echoview

(1) DIDSON 原始采集的数据; (2) 经过 kovesi 去噪后的图像; (3) 背景去除; (4) 目标识别; (5) 大于 5 cm 的目标显示; (6) 转换的 Echogram 图像, 图中彩色线条表示软件根据目标识别的结果追踪的体长大于 5 cm 的鱼类。

(1) represents the primary data acquired by DIDSON; (2) represents the image denoised by kovesi; (3) represents background removal; (4) represents target identification by software; (5) display targets that longer than 5 cm; (6) Echogram, colorful lines in it represents fishes longer than 5 cm which identified by software according to the result of the target identification

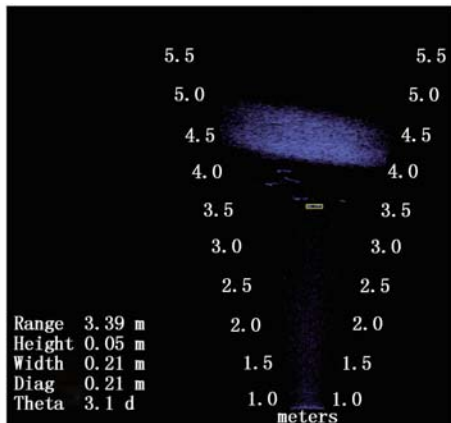


图5 人工计数效果图

Fig.5 Results of manual counting

式中: N 为全水库鱼类总的数量, ρ 为水库鱼类的平均密度, S 为水库的水域面积。平均密度由下式给出:

$$\rho = \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (4)$$

$$\rho_i = \frac{N_i}{S_i} \quad (5)$$

式中: ρ_i 为第 i 次航程鱼类的密度, N_i 为该航次鱼类数量, S_i 为该航次扫描覆盖的水底面积(图6),可由下式给出:

$$S_i = [h_i \cdot \cos \frac{\pi}{3} - h_i \cdot \sin \frac{\pi}{3} \cdot \tan(\frac{\pi}{6} - \alpha)] \cdot L_i \quad (6)$$

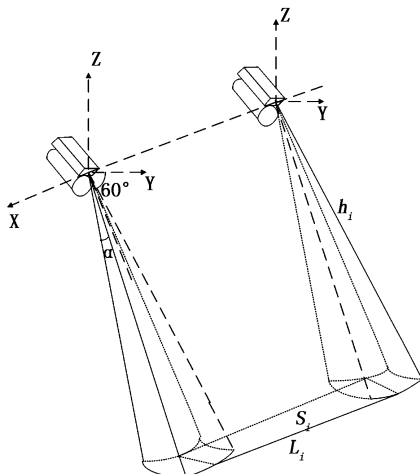


图6 扫测示意图

Fig.6 Diagram of detection range when the boat is moving

式中: h_i 为该航次的平均水深,可由原始 DIDSON 文件统计得出。 α 为 DIDSON 在垂直方向上的开角,其值为 14° 。

2 结果

2.1 计数结果与误差

本次探测共有 32 个航线,对每条航线做详细统计,结果如表 1 所示:

表 1 各航次统计数据

Tab.1 The statistical data

序号 No.	文件总帧数 Total Frames	平均水深/m Average Depth	航线长度/m Trajectory Length	鱼数量/尾 Total Targets
1	17 313	5.5	3877	1 764
2	775	4.3	186	230
3	12 390	3	2557	976
4	7 558	4.2	1868	587
5	12 156	2.5	2335	1 097
6	4 844	3.9	953	299
7	11 714	3.5	2182	784
8	12 515	2	2319	471
9	9 212	2.2	1275	398
10	19 604	5.1	3413	1 065
11	12 349	6.5	3186	1 084
12	9 805	6.6	2553	2 007
13	16 695	5.4	4353	1 997
14	5 005	6.5	1687	721
15	13 286	5.5	4383	1 865
16	624	12.7	228	123
17	2 381	11	855	329
18	506	8.1	176	112
19	1 719	8.1	614	331
20	1 864	12.6	631	519
21	725	6.9	271	109
22	3 015	6.1	1107	456
23	2 581	12.4	925	302
24	3 565	7.3	1264	438
25	1 317	12.1	405	86
26	1 560	8.6	614	170
27	2 496	8.6	919	419
28	2 099	8.3	744	321
29	4 516	11.4	1669	908
30	5 675	8.3	2243	1408
31	4 057	8.4	1688	885
32	2 095	3.7	811	249

以上对全部 32 条 DIDSON 数据进行处理后,对目标体长大于 5 cm 的鱼类数量进行汇总整合,得到软件计数结果为 22 510 条。根据库区鱼类总量的估算方法,可得库区鱼类的平均密度为 0.31 ind/m^2 ,水库中体长大于 5 cm 的鱼类数量

为 1.24×10^7 条。

本文选取了 3 个 DIDSON 文件,采用人工计数的方法与软件计数的结果相对比。3 个 DIDSON 文件为 2015-09-09_105832_HF、2015-09-

09_155500_LF 及 2015-09-09_160142_HF。这 3 个文件总帧数较少,人工统计相对方便,并且统计结果可信度较高。人工计数的结果与软件计数的结果作比较,具体情况见表 2。

表 2 人工计数与软件计数结果对比

Tab. 2 Comparison of software and manual counting results

DIDSON 文件 DIDSON Files	帧数 FPS	人工计数结果 Manual counting results	软件计数结果 Software counting results	偏差 Deviation
2015-09-09_105832_HF	775	217	230	5.9%
2015-09-09_155500_LF	624	109	123	12.8%
2015-09-09_160142_HF	506	103	112	8.7%

由表 2 可知,软件计数结果与人工计数结果相比,软件计数结果偏大,平均误差为 +9.1%。分析其原因,一方面软件在对图像中鱼体进行跟踪计数时,如果水中出现与目标反射强度相近的物体,软件会误认为是鱼体进行跟踪,造成结果偏多。另一方面,在有些情况下还会对同一条鱼重复计数。

结合软件计数结果及统计的误差情况,初步估算本次探测到实际鱼类总量约为 20 460 ~ 22 510 条,库区鱼类平均密度约为 $0.29 \text{ ind/m}^2 \sim 0.31 \text{ ind/m}^2$,且水库中体长大于 5 cm 的鱼类数量约为 $1.16 \times 10^7 \sim 1.24 \times 10^7$ 条。

2.2 渔获物统计结果

经调查取样,所得渔获物共计 182 尾,总重为 398.7 kg,其中优势鱼类种类为白鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、花鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊鱼 (*Parabramis pekinensis*)、翘嘴红鲌 (*Erythroculter ilishaeformis*)、鲫鱼 (*Carassius auratus*)、花鲈 (*Lateolabrax maculatus*)。其他种类的鱼所占比例较小,比如鲮 (*Mullet*)、团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)、刀鱼 (*Coilia ectenes*) 等。

根据公式 1,对本次捕获的 182 条鱼类样本进行平均体长体质量拟合得出 $a=0.000\ 03$, $b=2.738\ 1$,拟合相关系数 $R^2=0.942\ 8$ 。

2.3 库区鱼类资源量估算及空间分布

结合渔获物统计信息及 DIDSON 数据,可对库区主要的鱼类进行资源量估算。根据鱼探仪所探测的结果,将库区鱼类的体长分为 10 个区间,则可得青草沙水库的鱼类体长分布情况,如图 7 所示。由图可知,水库中小型鱼类(体长 < 20 cm)在数量上所占比例较大(78.3%),中大型

鱼类(体长 > 40 cm)所占比例较少(8.5%)。

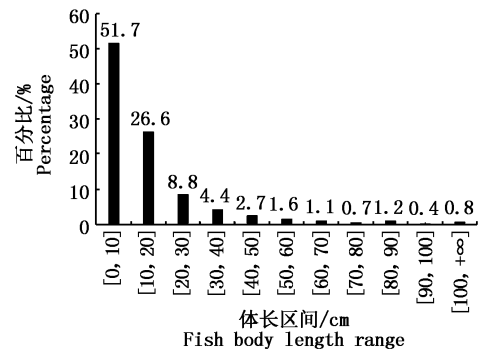


图 7 青草沙水库鱼类体长分布图

Fig. 7 Length distribution of fish in Qingcaosha Reservoir

结合渔获物统计的信息及 DIDSON 探测所得的结果,可对库区的渔业资源总量进行评估。资源总量可由式(7)求得:

$$W = \sum_i^{10} N_i a \bar{L}_i^b \quad (7)$$

式中: W 表示库区的鱼类资源总重量, N_i 表示库区各个体长区间的鱼类数量, \bar{L}_i 可由库区鱼类总数量及各个体长区间所占百分比求得,表示体长范围在各体长区间的鱼类的平均体长。根据以上公式及拟合结果求得库区渔业资源总量约为 $115.5 \sim 124.5 \text{ g/m}^2$,可以看出,对于水库而言,鱼类资源量目前属于较低水平。

结合 GIS,可给出探测鱼类的体质量分布情况。将测量航线按 1 km 等距划分,分别统计 1 km 航线内鱼类体长情况并根据体长信息拟合出体质量信息,可得航线内鱼类体质量分布情况,效果如图 8 所示。由图可看出,水库东南侧的鱼类资源量较多,而西北侧资源量偏少。

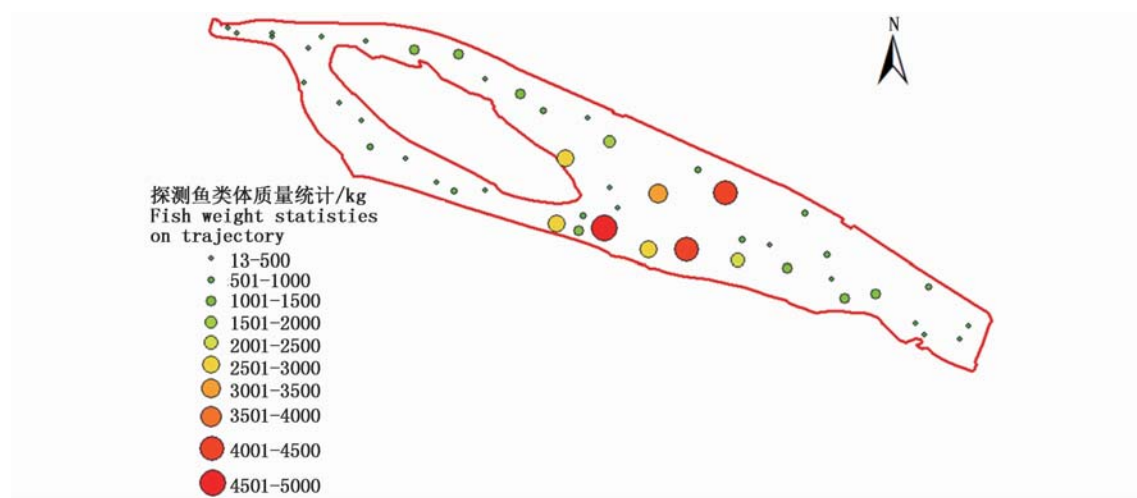


图 8 航线上鱼类体质量分布信息

Fig. 8 Fish weight statistics on trajectory

3 讨论

DIDSON 作为高清晰的图像声纳,目前广泛地应用在渔业方面。国内外对 DIDSON 的应用主要在对鱼类行为的研究上。ALISTAIR^[10] 利用 DIDSON 观测并推断河口处浅水(小于 1 m)及深水处(4 m)鱼类的行为。DEBBY 等^[11] 评估了利用 DIDSON 观测鲑鱼长度的准确性与精密性。周家飞等^[12] 利用 DIDSON 对葛洲坝下游近坝区水域进行了水声学调查,观察鱼类资源的时空分布特点。但其在渔业资源评估方面应用和研究较少。本文利用 DIDSON 的成像特性,基于走航式的方法来对水库的渔业资源现存量进行评估,是一次非常有意义的尝试。DIDSON 可以高清图像的方式显示水库中鱼类的大小形态及位置,相比传统的鱼探仪来说,摆脱了以往只能靠目标强度(Target Strength)来评估渔业资源的局限性,具有更高的可信度。

同时,本文研究方法还存在着如下问题,在以后的研究中需完善改进:(1) DIDSON 进行走航时,由于 DIDSON 成像的特性,在水底的鱼类可能无法显示,这是由于水底的反射强度掩盖了鱼类的反射,导致水底的一些鱼类无法进行计数,这样会造成评估结果偏小。后续调查中可将多种鱼探仪的多种频率相结合探测,对比分析评估结果,提高评估的准确性。(2) 由于船只的噪音对鱼群形成的驱赶,驱赶系数无法准确获得,会造

成鱼探视野范围内的鱼类偏少,从而造成评估结果偏小。在以后的评估中,可事先测量调查船只的驱赶系数,在评估资源量时将其考虑在内。(3) 在使用 Echoview 软件进行鱼体计数时,存在跟踪结果不准确及重复计数等问题。重复计数导致软件的计数结果偏大,进而导致评估的资源量偏大。所以在后续的研究中需进一步提高计数方法。国内外在对 DIDSON 探测的鱼类自动计数方面已有所研究。童剑锋等^[13-14] 采用 DIDSON 对逆河洄游幼香鱼的自动计数进行了研究,取得了较好的效果。可借鉴以上学者的计数方法对软件计数进行改进。(4) 本文中没有在软件对鱼类体长计算的准确度方面进行验证,需验证鱼类在 DIDSON 影像中的体长与实际体长的误差。确定体长误差的范围后才能对评估的结果加以判断。后续的研究中,需实验验证其误差范围,才能更准确地进行资源评估。

参考文献:

- [1] 刘歆璞,王丽卿,张宁,等. 青草沙水库后生浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1238-1248.
LIU X P, WANG L Q, ZHANG N, et al. Community structure of metazoan zooplankton and its relationships with environmental factors in Qingcaosha reservoir of Shanghai, east China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(5): 1238-1248.
- [2] 胡忠军,吴昊,陈立侨,等. 长江口青草沙水库正式供水前的鱼类群落结构特征[J]. 水产学报, 2012, 36(8):

- 1234-1241.
- HU Z J, WU H, CHEN L Q, et al. Structure of fish assemblages before drinking-water supplies in Qingcaosha reservoir of Yangtze River estuary[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(8): 1234-1241.
- [3] 王绍祥, 高春霞, 田思泉, 等. 青草沙水库中上层鱼类群落组成及多样性分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(4): 594-601.
- WANG S X, GAO C X, TIAN S Q, et al. Community composition and diversity of pelagic fishes in Qingcaosha Reservoir[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(4): 594-601.
- [4] HWANG D J, PARK J S, LEE Y W. Estimation of fish school abundance by using an echo sounder in an artificial reef area [J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2004, 37(3): 249-254.
- [5] 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.
- [6] 谭细畅, 李新辉, 林建志, 等. 基于水声学探测的两个广东鲂产卵群体繁殖生态的差异性[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 1756-1762.
- TAN X C, LI X H, LIN J Z, et al. Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1756-1762.
- [7] 谭细畅, 李新辉, 陶江平, 等. 青皮塘产卵场广东鲂繁殖群体的水声学探测[J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 785-790.
- TAN X C, LI X H, TAO J P, et al. Hydroacoustic measurement of spawning stocks of *Megalobrama hoffmanni* in Qingpitang reach of Xijiang River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(5): 785-790.
- [8] AGLÉN A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied [C]// Symposium on Fisheries Acoustics. Bergen, Norway, 1982: 293-298.
- [9] KOVESI P. Phase preserving Denoising of image [C]// Conference Proceedings DICTA99 Digital Image Computing: Techniques & Applications. Perth, WA: Australian Pattern Recognition Society, 1999: 212-217.
- [10] BECKER A, SUTHERS I M. Predator driven diel variation in abundance and behaviour of fish in deep and shallow habitats of an estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 144: 82-88.
- [11] BURWEN D L, FLEISCHMAN S J, MILLER J D. Accuracy and precision of salmon length estimates taken from DIDSON sonar images [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2010, 139(5): 1306-1314.
- [12] 周家飞, 王从峰, 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.
- [13] 童剑锋, 韩军, 浅田昭, 等. 基于声学摄像仪的溯河洄游幼香鱼计数[J]. 渔业现代化, 2009, 36(2): 29-33.
- TONG J F, HAN J, ASADA A, et al. Counting method of upstream juvenile Ayu (*Plecoglossus altivelis*) by acoustic camera[J]. Fishery Modernization, 2009, 36(2): 29-33.
- [14] 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 Sciences, 2010(17): 149-152, 156.

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

ZHANG Xiang^{1,2}, SHEN Wei^{1,2}, TONG Jianfeng¹, ZHANG Shouyu³, GONG Xiaoling⁴, CHEN Ming^{1,2}, WEI Xianyun⁴

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Estuarine and Oceanographic Mapping Engineering Research Center of Shanghai Municipal Ocean Bureau, Shanghai 201306, China; 3. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The main fish resources of Qingcaosha Reservoir were detected and evaluated by dual-frequency identification sonar (DIDSON) in September, 2015. The data collected by DIDSON are analyzed and processed by Fishery Acoustic Data Processing Software Echoview. The fish in the image is counted and the accuracy of software counting is verified by the artificial visual counting. The amount of major fish stocks in the reservoir was further evaluated based on the number of fish collected by DIDSON and the information on the fish length and weight of fish collected by the catch. The results show that the number of reservoir fish is about $1.16 \times 10^7 \sim 1.24 \times 10^7$, and the proportion of small fish (length < 20 cm) is 78.3%, while the medium and large fish (length > 40 cm) accounted for a small proportion (8.5%). From the relationship between the average body weight and body weight in the reservoir area, it can be concluded that the reservoir fishery resource is about $115.5 \sim 124.5 \text{ g/m}^2$. The spatial distribution of fish body weight in reservoirs was given by GIS method. The spatial distribution of fish weight in the route was analyzed by GIS. The results showed that there were more resources in the deep-water region on the southeast side of the reservoir, while the resources on the northwest side of the reservoir were generally less. The innovative applicability of DIDSON in assessing fishery resources of Qingcaosha Reservoir is discussed, and some suggestions and prospects are put forward.

Key words: DIDSON; detecting; fish count; fish resource assessment; spatial distribution