

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2012.04.010

## 红枫湖鱼类资源及空间分布的水声学调查研究

牟洪民<sup>1</sup>, 姚俊杰<sup>1</sup>, 倪朝辉<sup>2,3</sup>, 方贵镇<sup>4</sup>, 安苗<sup>1</sup>, 马珊<sup>1</sup>

(1. 贵州大学动物科学学院水产科学系, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;  
3. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081; 4. 贵州省贵阳市两湖一库管理局, 贵州 贵阳 551400)

**摘要:** 于2010年9月~12月和2011年3月~6月对贵阳市红枫湖的鱼类资源进行了调查, 捕获鱼类28种, 分属于4目6科; 鱼类的体长为5.68~116.41 cm, 优势体长组为11.00~30.00 cm, 其中小型鱼体和中大型鱼体占多数。2011年6月运用BioSonics DT-X(200 kHz)鱼探仪对鱼类密度进行了水声学探测, 平均密度为 $(51.64 \pm 36.49) \times 10^{-3}$ 尾 $\cdot m^{-3}$ , 不同区域的鱼类密度分布有显著性差异, 最大值出现在将军湾 $[(97.25 \pm 12.35) \times 10^{-3}$ 尾 $\cdot m^{-3}]$ , 最低值位于红枫湖大坝 $[(14.90 \pm 2.56) \times 10^{-3}$ 尾 $\cdot m^{-3}]$ , 从大坝到将军湾鱼类资源量总体上呈现逐步增长的趋势。红枫湖鱼类分布水层主要在6~15 m, 不同水层的鱼类密度分布存在显著差异。

**关键词:** 空间分布; 鱼类; 刺网; 声学调查; 红枫湖

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2012)04-0062-08

## Hydroacoustic survey of fish resource and spatial distribution in Hongfeng Lake

MOU Hongmin<sup>1</sup>, YAO Junjie<sup>1</sup>, NI Chaohui<sup>2,3</sup>, FANG Guizhen<sup>4</sup>, AN Miao<sup>1</sup>, MA Shan<sup>1</sup>

(1. Department of Fisheries Science, College of Animal Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China;  
2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;  
3. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;  
4. Guiyang Administration of Two Lakes and One Reservoir of Guizhou Province, Guiyang 551400, China)

**Abstract:** We observed the fish resource in Hongfeng Lake in Guiyang city during September ~ December, 2010 and April ~ June, 2011. Twenty-eight species which belong to 4 orders and 6 families were caught. The fish body length ranges from 5.68 cm to 116.41 cm, and that in dominant body length group is 11.00 ~ 30.00 cm; small, large and medium-sized fish are in the majority. Moreover, we used BioSonics DT-X digital scientific echosounder with 200 kHz split beam transducer to investigate the fish density in June, 2011. The average fish density is  $(51.64 \pm 36.49) \times 10^{-3}$  ind $\cdot m^{-3}$  and significant difference in fish density is found in different areas, with the maximum at Zone Jiangjunwan  $[(97.25 \pm 12.35) \times 10^{-3}$  ind $\cdot m^{-3}]$  and the minimum at Zone Daba  $[(14.90 \pm 2.56) \times 10^{-3}$  ind $\cdot m^{-3}]$ . From Daba to Jiangjunwan, the density of fish resource shows an increasing trend. The fish mainly distribute in 6 ~ 15 m. The fish density is significantly different among different water layers.

**Key words:** spatial distribution; fish; gill net; acoustic survey; Hongfeng Lake

红枫湖位于贵州高原中部, 是贵州高原目前最大的喀斯特人工湖泊, 蓄水水面面积为52.2 km<sup>2</sup>,

收稿日期: 2012-02-11; 修回日期: 2012-04-23

资助项目: 贵阳市两湖一库资金项目“渔业资源调查及生态系统构建项目”; 贵州大学研究生创新基金“红枫湖鱼类资源现状及群落结构研究”(校研农2011022)

作者简介: 牟洪民(1986-), 男, 硕士研究生, 从事水生生态学与水生动物繁殖发育生物学研究。E-mail: mhm58234381@126.com

通讯作者: 姚俊杰, E-mail: junjieyao@163.com

蓄水量可达  $6 \times 10^9 \text{ m}^3$ , 最大水深为 45 m, 平均水深为 11 m, 流域面积为  $1\,551 \text{ km}^2$ , 承担着饮用水、发电、养殖、防洪及改善生态环境等多种功能, 是贵阳市、清镇市以及周边人民最重要的生活饮用水及工农业用水水源。由于多年来各种污染导致水体富营养化, 前几年水质状况已十分严峻。为了改善水质, 从 2007 年至今, “两湖一库”管理局每年向红枫湖投放千万尾鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鳙 (*Aristichthys nobilis*) 鱼苗进行水体治理与修复。

水声学是研究水生生物的有效、快捷方法, 在不接触研究对象的情况下对其种群数量、分布等进行调查和评估<sup>[1-3]</sup>。利用水声学技术在海洋渔业捕捞中可定位鱼群位置及评估鱼群规模和密度, 考察鱼类的分布、迁移等行为; 在内陆湖泊等水体可进行鱼类的种类、数目、大小等资源量研究, 对鱼类资源量进行监测与管理<sup>[4]</sup>。目前国外利用水声学评估河流鱼类资源量<sup>[5-6]</sup>, 中国的渔业水声学相关研究从 20 世纪 80 年代也逐步开展起来。1985 年唐启升等<sup>[4]</sup>采用 EK400 (38kHz) 回声仪探究了北太平洋狭鳕 (*Theragra chalcogramma*) 平均长度、体质量以及成鱼、幼鱼各自的栖息水层。陈宝国等<sup>[7]</sup>在 1997 年~1999 年利用 Simrad EK500 回声探测积分系统对南海 5 种主要经济鱼类的资源量进行了评估, 并分析了其资源量的区域分布及季节变化。谭细畅等<sup>[8]</sup>于 2000 年用 PS-20R 型便携式回声探测仪逐月对东湖鱼类的空间分布进行探测, 并对不同水层的密度进行了差异性统计。张慧杰等<sup>[9]</sup>利用 BioSonics DT-X (200 kHz) 调查了湖北宜昌中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 自然保护区核心江段鱼类资源和分布。谭细畅等<sup>[10]</sup>、陶江平等<sup>[11]</sup>和王珂等<sup>[12]</sup>先后利用 EY60、SIMRAD EY60、HTI Model 241 探测三峡库区部分区域鱼类的资源密度及时空变化。对于青海湖裸鲤 (*Gymnocypris przewalskii*), CHEN 等<sup>[13]</sup>、谭细畅等<sup>[14]</sup>、张信<sup>[15]</sup>和王崇瑞等<sup>[16]</sup>分别于 2002 年 10 月、2003 年 8 月、2004 年 8 月采用 FUSO-405 (120 kHz)、2006 年 8 月采用 Simrad EY60 (200 kHz)、2010 年 8 月采用 BioSonics DT-X 超声波回声仪对其年资源量和时空分布特征进行了评估分析。另外, 王靖等<sup>[17]</sup>还对清水河鲢、鳙进行了回波计数与回波积分法声学评估的比较。红枫湖上次鱼类资源调查是在 1982 年<sup>[18]</sup>, 之后 30 年来再未见报道。因此, 该研究将水声学调查评估与

常规捕捞鱼类进行统计、鉴定两者结合起来, 调查经过多年投放鲢、鳙后红枫湖目前的鱼类种类及时空分布, 旨为今后红枫湖鱼类资源的保护、持续开发决策及水体的治理提供科学依据与基础, 以推动渔业水声学方法在中国淡水鱼类资源调查研究领域中的应用。

## 1 材料与方法

### 1.1 鱼类种类调查

2010 年 9 月~12 月和 2011 年 3 月~6 月, 对红枫湖全湖鱼类种类现状进行调查。调查共分 8 个区进行采样[图 1。1 区: 高堡、大坪地、腰洞; 2 区: 张官、石岗坡、兴隆以北; 3 区: 兴隆以南、大扁坡、鱼洞大桥以北; 4 区: 花鱼洞大桥以南、1349 以北; 5 区: 罗卜土、凹力、取水点、后五、小岩坡; 6 区: 冷水洞以南、猪猫洞、将军坡、羊昌以南; 7 区: 下洞以南、大扁坡 (1482)、平寨、肯岩、松树林; 8 区: 月亮冲、猫猫洞、羊昌以西]。采用网目大小为 1~9 cm 多规格的刺网进行鱼类捕捞, 每个区采样 2~3 次。采集的样本保存于 10% 的甲醛溶液中, 回实验室进行鉴定<sup>[19-21]</sup>, 同时对渔获物的数量进行统计分析。为了更客观反映红枫湖的鱼类资源状况, 此文根据调查中鱼类出现率将湖中鱼类划分为稀有种、普通种和优势种, 出现率  $\leq 30\%$  为稀有种, 出现率  $\geq 60\%$  为优势种, 出现率在 30%~60% 为普通种<sup>[22]</sup>。出现率为出现某种鱼类标本的调查点数占调查点总数的百分比。另外, 为了弥补刺网调查采集种类不全的不足, 还在红枫湖附近的早市上收集鱼样进行鉴定分类。

### 1.2 鱼探仪调查

2011 年 6 月, 运用 BioSonics DT-X 裂波式回声仪 (工作频率 200 kHz, 发射波束半功率波束角  $6.8^\circ$ ) 对红枫湖鱼类密度进行探测。调查开始前, 根据 DUNCAN 和 KUBECKA<sup>[5-6]</sup>描述的操作程序使用 21 mm 标准铅球对回声探测系统进行声学校正。探测时将换能器垂直固定于探测船只右前船舷, 换能器置于水深 0.6 m 处。考虑到天气、水深等情况, 主要在红枫湖大坝、取水口、将军湾区以“Z”字形路线进行探测, 探测往返共计 2 次, 部分湖区未进行探测, 探测航线见图 1 黑线标示。

### 1.3 数据分析

水声学数据利用软件 Visual acquisition 5.0 进行采集, 分析利用 Sonar5-Pro 5.9.8 软件, 采用目

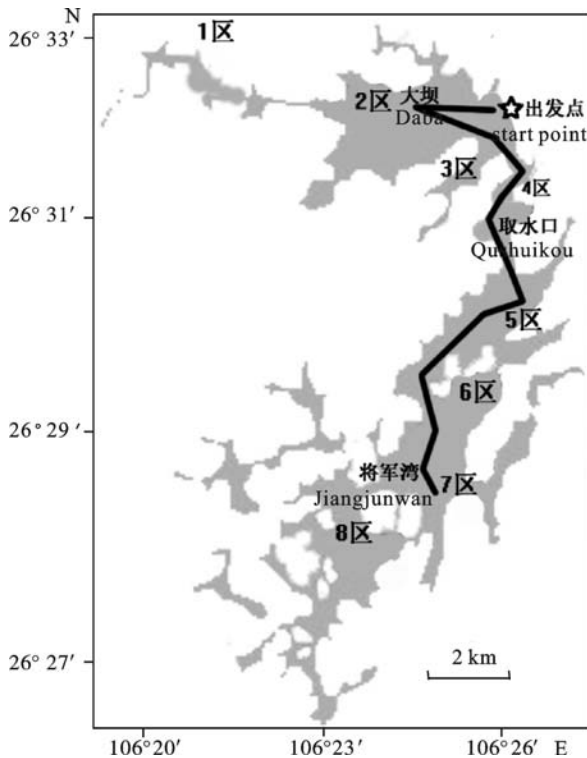


图1 红枫湖刺网采样点分布及声学探测航线图

Fig. 1 Locations of gill net sampling and route of hydroacoustic survey in Hongfeng Lake

标追踪技术中的自动式多目标追踪 (automatic multiple target tracking, MTT) 方法分析鱼类密度及追踪目标的强度等。具体方法是将原始 \*.DT4 数据转换为 \*.UUU 格式文件, 时变补偿增益选择 (TVG)40 logR, 然后对转换后的 \*.UUU 文件进行目标-噪音的分离处理并转化为 \*.UUUQ 格式文件, 将追踪目标长度 (track length) 介于 5 ~ 75 ping 的目标用于鱼类密度分析。目标追踪分析参数设置见表 1。

表 1 目标追踪分析参数

Tab. 1 Parameters of target tracking analysis

参数 parameter	设定值 setting value
最小目标阈值 min target size	-70 dB
最小回声长度 min echo length	0.8 rel. pw
最大回声长度 max echo length	1.3 rel. pw
最大补偿增益 max gain comp, MGC	3 dB
最大相位误差 max phase dev.	0.3°
最小追踪长度 min track length	2 ping
最大 ping 间隙 max ping gap	10 ping

鱼类密度计算使用回波积分方法<sup>[17]</sup>, 声学波束的扫描空间内部进行个体回波计数, 根据波束扩展采样角度计算扫描水域的体积, 获得该范围内的平均分布密度。参照谭细畅等<sup>[14]</sup>整理的 5 个探测目标强度 (TS) 与体长 (L) 经验换算公式, 最后采用 LILJA 等<sup>[23]</sup>提出的白鲢 (*Coregonus lavaretus*) TS 和 L 之间的经验公式  $TS = 35 \lg L - 95.8$ , 换算结果最接近红枫湖实际情况, 故该研究根据此公式将红枫湖探测目标的 TS 转换为 L, 统计分析得到各探测湖段鱼类目标大小分布规律。式中 TS 单位为 dB, 探测目标体长 L 单位为 cm。

对不同水层的鱼类密度进行方差分析, 比较鱼类垂直分布是否有显著性差异; 对不同区域的鱼类密度进行方差分析, 比较鱼类水平分布是否具有差异性。计算各水层鱼类密度的变异系数 (方差/平均值,  $s^2/m$ ), 根据孙儒泳<sup>[24]</sup>种群分布型的划分标准分析鱼类种群部分的类型。 $s^2/m = 0$ , 种群属于均匀分布;  $s^2/m = 1$ , 种群属于随机分布;  $s^2/m > 1$ , 种群属于成群分布。

## 2 结果

### 2.1 鱼类种类组成

采集到的鱼类经鉴定共有 28 种, 分属于 4 目 6 科。其中鲤形目占绝对优势, 有 23 种, 占鱼类总种数的 82.1%; 其次为鲇形目, 有 3 种, 占 10.7%; 合鳃目、鲈形目各有 1 种, 各占 3.6%, 所占比例很低。在科水平上, 红枫湖以鲤科鱼类最多, 为 8 亚科 23 种, 占总种数的 78.6%; 其次为鳊科, 有 2 种, 占 7.1%; 而鳅科、鲇科、合鳃鱼科、丽鱼科均只有 1 种, 分别占 3.6%。

此次调查中赤眼鳟、短盖巨脂鲤、大鳍鱮、黄颡鱼、团头鲂、翘嘴红鲌、华鲮、须鲮、鳊鲂、罗非鱼和鲇等 11 种鱼类在 1982 年的鱼类调查中未曾发现, 为红枫湖新记录。因此, 结合文献<sup>[18]</sup>得到红枫湖分布的鱼类共计 4 目 7 科 32 种 (表 2)。

### 2.2 鱼类空间分布特征

2.2.1 垂直分布特征 红枫湖中的鱼在各个水层均有一定分布, 为了解红枫湖鱼类的空间分布, 参照王崇瑞等<sup>[16]</sup>的方法把红枫湖的湖区分为 5 个水层单元: 表层 (1 ~ 5 m)、中上层 (5 ~ 10 m)、中层 (11 ~ 15 m)、中下层 (16 ~ 20 m) 和底层 (> 20 m), 各个水层声学调查鱼类总体密度分布状况见图

表2 红枫湖鱼类名录  
Tab. 2 List of fishes in Hongfeng Lake

分类 classification	资料来源 source of information	出现率/% frequency of occurrence	经济鱼类 commercial fishes	大中型鱼类 large and medium-sized fish	采集区 collection area
鲤形目 Cypriniformes					
鲤科 Cyprinidae					
鲤亚科 Cyprininae					
鲤( <i>Cyprinus carpio</i> )	●○	35.3	✓	✓	2, 3, 4, 7
鲫( <i>C. auratus auratus</i> )	●○	41.2	✓	✓	3, 4, 5, 7, 8
杞麓鲤( <i>C. carpio chilia</i> )	○		✓	✓	
短盖巨脂鲤( <i>Colossoma brachypomum</i> )	●	5.9	✓	✓	2
鲃亚科 Danioninae					
南方马口鱼( <i>Opsariichthys uncirostris</i> )	●○	58.8			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
雅罗鱼亚科 Leuciscinae					
赤眼鳟( <i>Spualiobarbus curriculus</i> )	●	5.9	✓	✓	5
青鱼( <i>Mylopharyngodon piceus</i> )	●○	11.8	✓	✓	4, 5, 6
草鱼( <i>Ctenopharyngodon idellus</i> )	●○	35.3	✓	✓	4, 5, 6, 7, 8
鳊亚科 Abramidinae					
鳊条( <i>Hemiculter leuoisoulus</i> )	●○	82.4			1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
红鳍鲌( <i>Culter erythropterus</i> )	●○	5.9		✓	5
长春鳊( <i>Parabramis pekinensis</i> )	●○	5.9	✓	✓	5
银飘鱼( <i>Pseudolaubuca sinensis</i> )	●	23.5			3, 5, 6, 7
三角鲂( <i>Magalobrama tarminalis</i> )	●○	5.9	✓	✓	5
团头鲂( <i>M. amblycephala</i> )	●	5.9	✓	✓	5
翘嘴红鲌( <i>Erythroculter ilishaeformis</i> )	●	41.2	✓	✓	3, 5, 6, 7, 8
海南红鲌( <i>E. pseudobrevicauda</i> )	○			✓	
鲢亚科 Hypophthalmichthyinae					
鲢( <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> )	●○	100.0	✓	✓	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
鳙( <i>Aristichthys nobilis</i> )	●○	100.0	✓	✓	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
鲃亚科 Barbinae					
华鲃( <i>Sinilabeo rendahli</i> )	●	5.9	✓	✓	4
鲃亚科 Gobioninae					
花鲢( <i>Hemibarbus maculatus</i> )	●○	23.5	✓	✓	5, 6
麦穗鱼( <i>Pseudorasbora parva</i> )	●○	29.4			2, 4, 5, 6
棒花鱼( <i>Abbottina rivularis</i> )	●	47.1			1, 2, 3, 4, 5
密鲃亚科 Xenocyprinae					
银鲃( <i>Xenocypris argentea</i> )	○		✓	✓	
鲃亚科 Acheilognathinae					
须鲃( <i>Acheilognathus barbatus</i> )	●	23.5			4, 5, 6

续表 2 (to be continued)

分类 classification	资料来源 source of information	出现率/% frequency of occurrence	经济鱼类 commercial fishes	大中型鱼类 large and medium-sized fish	采集区 collection area
鳊鲂 ( <i>Rhodeus ocellatus</i> )	●	29.4			4, 5, 6, 7, 8
鳊科 Cobitidae					
泥鳅 ( <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> )	●○	▽	✓		
鲇形目 Siluriformes					
鲿科 Bagridae					
黄颡鱼 ( <i>Pelteobagrus fulvidraco</i> )	●	5.9	✓		5
大鳍鱮 ( <i>Mystus macropterus</i> )	●	▽	✓	✓	
鲇科 Siluridae					
鲇 ( <i>Silurus asotus</i> )	●	5.9	✓	✓	5
合鳃鱼目 Synbranchiformes					
合鳃鱼科 Synbranchidae					
黄鳝 ( <i>Monopterus albus</i> )	●○	▽	✓	✓	
鲈形目 Perciformes					
丽鱼科 Cichlidae					
罗非鱼 ( <i>Tilapia sp.</i> )	●	17.6	✓	✓	5
虾虎鱼科 Gobiidae					
栉虾虎 ( <i>Ctenagobius giurinus</i> )	○				

注: ●. 在红枫湖采集到的标本; ○. 文献[18]记录; ▽. 红枫湖早市购买

Note: ●. specimens collected in Hongfeng Lake; ○. Reference [18]; ▽. purchased in Hongfeng morning market

2. 分布于中上层的个体数量总数比例均超过了50%，其中大坝占66%，取水口占75%，将军湾占55%；其次分布于中层、中下层的个体数量总数比例占20%；表层及20 m以下的底层水体鱼的个体比例很少，均未超过8%。对不同水层鱼类密度进行单因素方差分析，不同水层鱼的密度差异显著 ( $F = 3.60$ ,  $P < 0.05$ )。

2.2.2 水平分布特征 红枫湖鱼类的水平密度分布的波动性较大，有些水域分布较为密集，如在将军湾湖段，鱼类密度最大 [ $(97.25 \pm 12.35) \times 10^{-3}$  尾·m<sup>-3</sup>]；取水口的密度次之 [ $(42.78 \pm 6.41) \times 10^{-3}$  尾·m<sup>-3</sup>]；大坝的密度最低 [ $(14.90 \pm 2.56) \times 10^{-3}$  尾·m<sup>-3</sup>]。对不同湖区鱼类的密度进行  $F$  方差分析， $F = 136.56$ ,  $P < 0.01$ ，表明红枫湖不同湖区鱼类的密度存在显著差异。

### 2.3 鱼类分布类型

从红枫湖全湖范围看，各水层鱼类密度的变异系数为1.21~15.13；上层鱼类密度的变异系数均值为4.68；中上层鱼类密度的变异系数均值最大

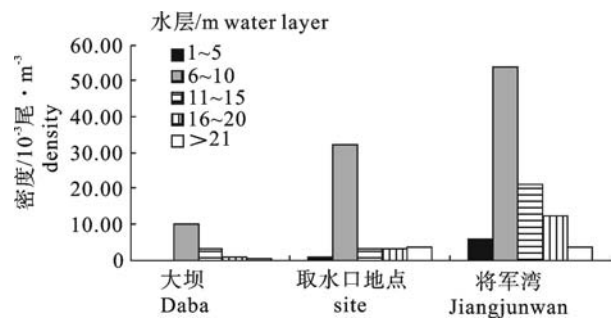


图2 鱼类在红枫湖不同水层密度分布特征

Fig. 2 Density distribution of fish at different water layers in Hongfeng Lake

(15.15)；此后，随着水深的增加，鱼类密度的变异系数逐渐减小。按照孙儒泳<sup>[24]</sup>种群分布型的划分标准，红枫湖各个水层的水平分布趋向于成群分布类型。

### 2.4 鱼类大小特征

参照陶江平等<sup>[11]</sup>基于dB值对鱼体型的划分，红枫湖探测到的鱼类中小型鱼体与中大型鱼体两者

所占比重最大, 特大型鱼体极少。TS < -50 dB (小型鱼体) 在红枫湖各个湖区均占 50% 左右, 其中大坝占 57.24%, 取水口占 47.73%, 将军湾占 67.29% (图 3)。TS > -50 dB (中大型鱼体) 大坝、取水口、将军湾分别占 42.07%、51.66% 和 32.71%。TS > -31 dB (特大型鱼体) 的数量不到 1%。

从鱼体体长来看, 红枫湖鱼类最小体长为 5.68 cm, 最大体长为 116.41 cm, 均出现在大坝附近。11~20 cm 的鱼类最多 (54% 以上); 21~30 cm 次之 (24%), 体长大于 40 cm 的比例不足 1% (图 4)。

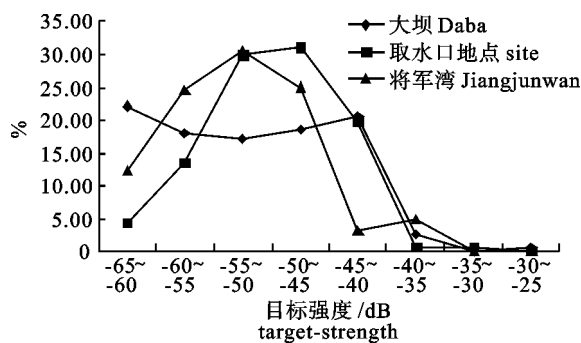


图 3 鱼体目标强度分布

Fig. 3 Distribution of target-strength of fish in Hongfeng Lake

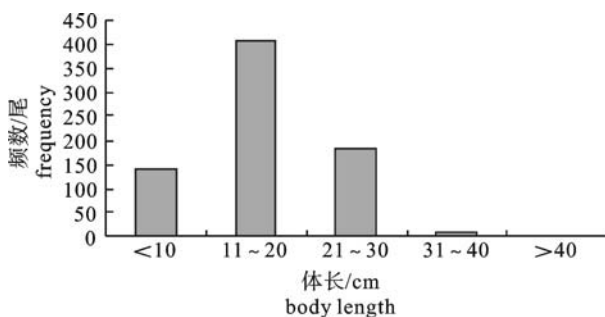


图 4 红枫湖鱼类体长分布

Fig. 4 Distribution of body length of fish in Hongfeng Lake

### 3 讨论

此次在红枫湖调查共采集到 28 种鱼类, 多于 1982 年的调查结果<sup>[18]</sup>, 但是种类总数较少, 低于太湖的 47 种<sup>[25]</sup>。此次调查中新发现的罗非鱼、短盖巨脂鱼鲤、三角鲂等鱼类是 1990 年以后红枫湖开展网箱养殖、流水养殖引入的人工养殖种类; 特别说明的是罗非鱼为暖水鱼, 所以此次调查中主要分布在清镇火电厂热水口以下即采样第 5 区; 其他

新发现的鱼, 一部分为多年以来渔民自己投入湖中的, 另一部分可能为本来存在于湖中而未被捕捞记录。新发现的鱼类除了翘嘴红鲌、鲇为凶猛性鱼类外, 其他几乎均为杂食性鱼类, 但是以上 2 种凶猛鱼类的数量比例较低, 因此, 对红枫湖本土鱼类造成太大威胁的可能性较小。

由于连续数年向红枫湖投放鲢、鳙幼苗, 目前湖中的鲢和鳙占绝对优势, 为优势种; 其次鳊条也为优势种。普通种的鱼类包括鲤、鲫、南方马口鱼、草鱼、翘嘴红鲌和棒花鱼; 其他鱼类如三角鲂、团头鲂和赤眼鳟等均为稀有种。在经济价值方面, 除麦穗鱼、鳊条、鳊条和棒花鱼等几种少数野杂鱼外, 其他种类如四大家鱼、鲤、泥鳅、赤眼鳟、团头鲂和罗非鱼等均为经济鱼类, 经济鱼类较多。

从红枫湖渔获物种类的生活习性来看, 南方马口鱼、红鳍鲌、鳊条和鳊条等分布在上层, 翘嘴红鲌、长春鳊、鲢和鳙主要分布在中上层, 分布在中下层的主要有青鱼、草鱼、三角鲂和团头鲂等; 分布在下层的有罗非鱼; 底层的有大鳍鳊、泥鳅和鲇等。因此, 从红枫湖鱼类的垂直分布来看, 鱼探仪探测到的分布于中上层的个体数量总数比例均超过了 50%, 这与鱼类自身在各个水层的分布情况大体一致, 另外此次调查是在春季开展的, 由于表层水温一般高于底层, 这可能也是鱼类主要集中在中上层的缘故。

由于红枫湖鱼类组成中鲢、鳙的数量比例很高, 因此, 在讨论红枫湖鱼类时空分布上的变化时候主要倾向于鱼类密度分布, 而不涉及种类区域的变化。从全湖看, 鱼类平均密度约为  $51.6 \times 10^{-3}$  尾 $\cdot$ m $^{-3}$ , 大于 2002 年 5 月东湖鱼类密度 (表层  $3.1 \times 10^{-3}$  尾 $\cdot$ m $^{-3}$ ; 中底层  $13.6 \times 10^{-3}$  尾 $\cdot$ m $^{-3}$ )<sup>[8]</sup>, 远远低于三峡库区<sup>[11]</sup> 成库期间的鱼类密度。从水平分布来看则和上述水体相似, 红枫湖不同湖区鱼类的密度也存在显著差异。一般引起湖泊鱼类空间密度分布差异的主要有水深、离岸距离、浮游生物和人类活动等因素。从饵料来看, 笔者于 5 月在对红枫湖浮游生物进行的采样研究中发现将军湾湖浮游生物生物量上并无明显优势, 说明各区饵料的差异并不是造成鱼类密度差异的主要因素。而从 3 个区的所处环境来看, 大坝附近水域是国家亚高原水上运动的训练基地, 常年开展赛艇、皮划艇训练, 除此之外渔政执法船、旅游观光船也经常行驶在这个

区域,人类活动较多;取水口由于水面较窄,离岸较近,人类活动也较多;而将军湾水面较大,环境安静,人类活动几乎没有。因此人类活动、离岸距离等是造成将军湾、取水口、大坝3个区鱼类密度差异的主要因素。

此次调查的不足在于:1)由于调查只在一个季节进行,对于不同季节鱼类的空间分布特征目前还不明确,有待进一步研究;2)调查在白天进行,由于部分鱼类具有昼夜垂直移动的习性,此次调查存在资源评估的昼夜误差;3)鱼探仪探测主要集中在船只航线上探测采样,主要航行水域在1~7区,少数湖区由于部分因素未能进行采样,这都可能会对结果产生一定的偏差;4)由于缺乏以前红枫湖鱼类调查的相关基础,此次声学调查只对密度做了初步调查,因此,今后可在此次调查的基础上在密度较大的区域制定相对更密的调查采样航线,进而获得不同种类的水平 and 垂直分布特征。

#### 参考文献:

- [1] JOHANNESSON K A, ITSON R B. Fisheries acoustics; a practical manual for aquatic biomass estimation[R]. FAO Fisheries Technical Paper, 1983, 240: 65-75.
- [2] MACLENNAN D N, SIMMONDS E J. Fisheries acoustics[M]. London: Chapman & Hall, 1992: 336-337.
- [3] 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]. Fish Res, 2001, 53(1): 39-46.
- [4] 唐启升, 王为祥, 陈毓楨, 等. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究[J]. 水产学报, 1995, 19(1): 8-20.  
TANG Qisheng, WANG Weixiang, CHEN Yuzhen, et al. Stock assessment of walleye pollock in the north Pacific ocean by acoustic survey[J]. J Fish China, 1995, 19(1): 8-20. (in Chinese)
- [5] DUNCAN A, KUBECKA J. Hydroacoustic methods of fish surveys[J]. National Rivers Authority, 1993, 196(2): 136.
- [6] DUNCAN A, KUBECKA J. Hydroacoustic methods of fish surveys[J]. National Rivers Authority, 1994, 329(8): 52.
- [7] 陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海5类重要经济鱼类资源声学评估[J]. 海洋学报, 2006, 28(2): 128-134.  
CHEN Guobao, LI Yongzhen, ZHAO Xianyong, et al. Acoustic assessment of five groups commercial fish in South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 28(2): 128-134. (in Chinese)
- [8] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学调查[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 585-590.  
TAN Xichang, XIA Liqi, KENICHI T, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked carps in the East lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 585-590. (in Chinese)
- [9] 张慧杰, 杨德国, 危起伟, 等. 葛洲坝至古老背江段鱼类的水声学调查[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 86-91.  
ZHANG Huijie, YANG Deguo, WEI Qiwei, et al. Hydroacoustic survey on fishes in the reach from Gezhouba Dam to Gulaobei of the Yangtze River[J]. Resour Environ Yangtze Basin, 2007, 16(1): 86-91. (in Chinese)
- [10] 谭细畅, 常剑波, 陶江平, 等. 三峡库首鱼鱼类分布格局的水声学探测评估[J]. 生态科学, 2008, 27(5): 329-334.  
TAN Xichang, CHANG Jianbo, TAO Jiangping, et al. Survey on fish distribution in the forequarter of the Three Gorge Reservoir using EY60 split-beam echosounder[J]. Ecol Sci, 2008, 27(5): 329-334. (in Chinese)
- [11] 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调查[J]. 水生生态学杂志, 2008, 1(1): 25-33.  
TAO Jiangping, CHEN Yongbo, QIU Ye, et al. Hydroacoustic surveys on spatial distribution of fishes in the Three Gorges Reservoir during the first impoundment[J]. J Hydroecol, 2008, 1(1): 25-33. (in Chinese)
- [12] 王珂, 段辛斌, 刘绍平. 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 Ke, DUAN Xinbin, LIU Shaoping, et al. Survey on temporal and spatial distribution of fish in the Daning river[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(3): 516-521. (in Chinese)
- [13] CHEN D, ZHANG X, TAN X, et al. Hydroacoustic study of spatial and temporal distribution of *Gymnocypris przewalskii* (Kessler, 1876) in Qinghai Lake, China[J]. Environ Biol Fish, 2009, 84(2): 231-239.
- [14] 谭细畅, 史健全, 张宏, 等. EY60回声仪在青海湖鱼类资源评估中的应用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(6): 865-872.  
TAN Xichang, SHI Jianquan, ZHANG Hong, et al. Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder[J]. J Lake Sci, 2009, 21(6): 865-872. (in Chinese)
- [15] 张信. 青海湖裸鲤资源量的水声学评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005.  
ZHANG Xin. Hydroacoustic surveys on biomass of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* in Qinghai Lake[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [16] 王崇瑞, 张辉, 杜浩. 采用BioSonics DT-X超声波回声仪评估青海湖裸鲤资源量及其空间分布[J]. 淡水渔业, 2011, 41(3): 15-21.  
WANG Chongrui, ZHANG Hui, DU Hao, et al. Hydroacoustic assessment of abundance and spatial distribution of *Gymnocypris przewalskii* in Qinghai Lake with BioSonics DT-X echosounder[J]. Freshw Fish, 2011, 41(3): 15-21. (in Chinese)
- [17] 王靖, 张超, 王丹, 等. 清河水库鲢鳙鱼类资源声学评估——回波计数与回波积分法的比较[J]. 南方水产, 2010, 6(5): 50-55.

- WANG Jing, ZHANG Chao, WANG Dan, et al. Acoustic assessment of silver carp and bighead carp in Qinghe Reservoir: comparing echo-counting and echo-integrating methods[J]. South China Fish Sci, 2010, 6(5): 50-55. (in Chinese)
- [18] 施颂发. 红枫湖的鱼类组成及群体结构的初步研究[J]. 贵州农业科学, 1982(4): 62-63.
- SHI Songfa. Preliminary study on fish composition and structure of groups in the Hongfeng Lake[J]. Guizhou Agric Sci, 1982(4): 62-63. (in Chinese)
- [19] 伍律. 贵州鱼类志[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989: 177-256.
- WU Lü. Fish fauna of Guizhou[M]. Guiyang: Guizhou People's Press, 1989: 177-256. (in Chinese)
- [20] 黄宏金, 乐佩琦. 中国淡水鱼类原色图集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981: 25-29.
- HUANG Hongjin, LE Peiqi. The freshwater fishes of China in coloured illustrations[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 25-29. (in Chinese)
- [21] 伍献文. 中国鲤科鱼类志(下卷)[M]. 上海: 上海人民出版社, 1977: 449-502.
- WU Xianwen. The Cyprinoid fishes of China (II)[M]. Shanghai: Shanghai People's Press, 1977: 449-502. (in Chinese)
- [22] 代应贵, 陈毅峰. 清水江鱼类资源现状及保护对策[J]. 水利渔业, 2007, 27(4): 75-78.
- DAI Yinggui, CHEN Yifeng. Status and protection countermeasures of fish resources in Qingshui River[J]. Reserv Fish, 2007, 27(4): 75-78. (in Chinese)
- [23] LILJA J, MARJOMAKI T J, RIIKONEN R, et al. Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*)[J]. Aquat Living Resour, 2002, 13(5): 355-360.
- [24] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 283-295.
- SUN Ruyong. Animal ecology[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987: 283-295. (in Chinese)
- [25] 毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 太湖渔业资源现状(2009~2010年)及与水体富营养化关系浅析[J]. 湖泊学, 2011, 23(6): 967-973.
- MAO Zhigang, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al. Status and changes of fishery resources (2009~2010) in Lake Taihu and their responses to water eutrophication[J]. J Lake Sci, 2011, 23(6): 967-973. (in Chinese)