

# 葛洲坝上下游江段鱼类时空分布特征研究

林鹏程<sup>1,2,3</sup>, 高欣<sup>1,2\*</sup>, 刘春池<sup>1,2</sup>, 刘焕章<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院水生生物多样性与保护重点实验室, 湖北 武汉 430072; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 2009年6月和11月在葛洲坝上下游江段使用SIMRAD EY60回声探测仪对鱼类时空分布进行水声学调查。结果显示, 葛洲坝上下游江段鱼类密度范围分别为2.8~122.7、8.8~888.8 ind./1 000 m<sup>3</sup>。上下游江段鱼类呈区域性分布, 主要集中在西陵峡口、大江电站下游及三江等水域。大江电站下游流水区, 鱼类一直集中在中下层。而在其它的静水和缓流区, 6月份鱼类主要分布在中上层水域, 11月份鱼类较为集中在中下层。6月份鱼类体长与分布水深无相关性( $P > 0.05$ )或负相关( $P < 0.05$ ), 11月份体长与分布水深均呈正相关( $P < 0.05$ )。根据结果分析, 由于葛洲坝上下游水文情势的差别, 分布有不同生态类群的鱼类, 因此形成区域性的水平分布。在静水和缓流区, 垂直分布还存在季节间的变化。季节变化还对葛洲坝上下游江段鱼类体长与分布水深的关系有明显影响。

**关键词:** 水声学; 鱼类资源; 生态类群; 水文条件

中图分类号: O427 文献标识码: A 文章编号: 1004-8227(2011)09-1047-07

水利水电工程建设对河流生态系统造成了显著的影响, 由于阻隔效应和水文情势改变, 造成河流水生生物多样性降低、区系结构趋于简单<sup>[1]</sup>。Patrick<sup>[2]</sup>的研究表明拦河大坝是造成全球近1/5淡水鱼类灭绝或濒危的主要原因。Kentaro等<sup>[3]</sup>研究指出, 大坝的修筑造成水生生态系统生境破碎化, 在未来50年里北海道西南部河流中的白斑红点鲑将有1/3的群体消失。Barrella等<sup>[4]</sup>在Tiet和Paranapanema河的调查发现, 大坝的修建已经完全改变了上游河流的水文状态, 显著降低了当地鱼类的多样性程度。葛洲坝水利枢纽是长江干流上修建的第一座拦河大坝, 明显地改变了长江中游江段的水环境, 阻隔鱼类的洄游通道<sup>[5-7]</sup>, 对鱼类资源有明显的影<sup>[8,9]</sup>。然而, 除了研究葛洲坝对中华鲟、胭脂鱼等珍稀鱼类的影响外<sup>[10-12]</sup>, 针对鱼类时空分布格局的研究还非常少见。

水声学是利用声纳技术探测、评估和研究水下物理和生物特征的一门学科。利用水声学研究鱼类资源是优于传统鱼类采样方法的现代遥感技术, 除了能够快速的对整个水体进行探测(在水体中, 声速

将近1 500 m/s), 还可实现沿一个截面连续的声学覆盖, 具有较高的分辨率<sup>[13]</sup>。随着水声学技术的应用和发展, 近年来一些学者在葛洲坝下游开展了鱼类分布的水声学调查。张慧杰等<sup>[14]</sup>于2004~2006年对长江葛洲坝至古老背江段鱼类资源进行了水声学评估, 结果显示鱼类在葛洲坝下游至古老背江段分布呈现不均一性。

本研究拟采用水声学方法, 在葛洲坝上下游进行鱼类分布调查, 分析鱼类的时空分布特征以及分布格局形成的主要原因, 为鱼类资源保护和河流管理提供基础资料和科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查区域

葛洲坝水利枢纽(N 30°44'22", E 111°16'15")位于长江宜昌江段, 是长江上游与中游的过渡区域。水声学探测江段长约6 km, 从葛洲坝上游的西陵峡口(N 30°45'40"10", E 111°16'13"90")至葛洲坝下游的庙嘴(N 30°42'23"75", E 111°16'05"57")。探测水

收稿日期: 2010-12-17; 修回日期: 2011-02-17

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-01); 国家科技支撑计划重点项目(2008BAC39B03); 中国长江三峡集团公司(CT-08-07-06)

作者简介: 林鹏程(1985~), 男, 湖北省麻城人, 硕士研究生, 主要从事鱼类生态学研究, E-mail: linpc@ihb.ac.cn

\* 通讯作者: E-mail: gaoxin@ihb.ac.cn

域地形复杂,处于上中游过渡区域,兼有长江上游峡谷型河道和下游洪泛平原河道的特征,由北向南略呈“S”形,葛洲坝将其分隔成两段,上游是流速缓慢的库区,为峡谷型河道,长约 2 km,最大水深可达 90 m(6月),平均流速为 0.45 m/s(内部资料)。下游保持着流水环境,江段长约 4 km,最大水深达 36 m(6月),平均流速超过 1 m/s<sup>[15]</sup>。而西坝又将下游的三江与干流河道隔开,形成三江航道(图 1)。

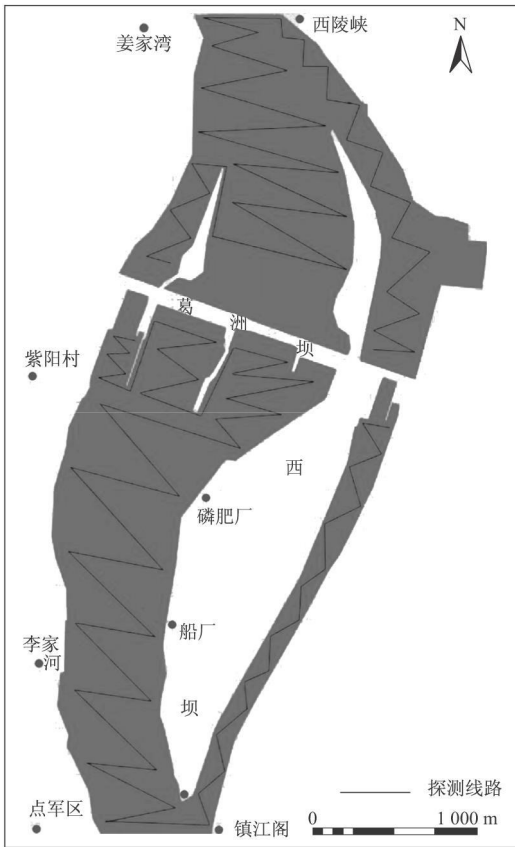


图 1 2009 年葛洲坝上下游声纳探测线路

Fig.1 Routes of Hydroacoustic Survey Upstream and Downstream of the Gezhouba Dam in 2009

## 1.2 水声学数据采样

2009 年 6 月 2、5 日和 11 月 17、26 日,使用 SIMRAD EY60 型分束(Split-beam)回声探测仪,分别在葛洲坝上、下游进行了 4 次水声学调查。数据采集使用 EY60 配套软件 ER60。换能器功率设置为 120 W。探测方式为垂直探测,换能器入水深度为 0.5 m,探测路线呈“之”字形(图 1)。6 月由于二江泄洪闸和电站下游水流过急,探测船不能平稳前进,因此无法收集该水域的数据。

## 1.3 水声学数据分析

利用 Sonar 5-Pro 软件对声学数据进行转换和

分析。使用 CFT 方法(Cross filter tracking)对回声影像(Echogram)进行滤波与图像处理,有效消除噪音干扰并准确地提取信噪比较高的信号;采用单回声检波器(Single Echo Detector)的单回波检测与跟踪分析方法(Single Echo Detection and Tracking methods, STM)进行鱼类信号的判别与提取<sup>[16]</sup>,相关参数设置见表 1。

表 1 单回声检测与跟踪分析的声纳参数设置

Tab.1 Value Setting of Sonar Parameters for STM

声纳参数	
Sv 回波阈值	- 100 (dB)
SED 回波阈值	- 70 (dB)
时变增益	40logR(R 为目标信号水深)
最小回波长度	0.5
最大回波长度	2.0
最大相差	1.2
(截面)最大增益	3 (dB)

计算方法<sup>[17]</sup>,公式如下:

$$\rho = \frac{S_v}{N \sum_{k=1}^N n_k \alpha_{bk}} \quad (1)$$

$$\text{其中 } \alpha_k = 10^{TS/10} \quad (2)$$

式中: $\rho$ 为鱼类密度(ind./m<sup>3</sup>); $s_v$ 为体积散射系数(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>); $N$ 为探测到的总鱼类尾数; $\alpha_k$ 为鱼类个体的截面散射系数(m<sup>2</sup>); $TS$ 为探测到的鱼类偏轴目标补偿强度; $k$ 为经信号补偿目标强度( $TS$ )转换得到的鱼类体长组; $n_k$ 为每个体长组包含的尾数。

依据每个单元水域的平均水深将分析单元划分为上、中、下 3 层。1.5 m~ 1/3 处水深为上层,1/3 处~ 2/3 处水深为中层,2/3 处~ 江底为下层<sup>[18]</sup>。

鱼类体长由 Kubecka<sup>[19]</sup>的  $TS$  值与体长关系式换算得出:

$$TL = 29.19 \times \log_{10}(TS) - 93.62 \quad (3)$$

式中: $TL$ 为目标鱼类的体长(cm); $TS$ 为鱼类的目标强度。

数据统计分析和图形绘制,采用 SPSS 13.0 和 SigmaPlot 11.0 软件。

## 2 结果

### 2.1 鱼类水平分布

在葛洲坝上游,6 月各探测水域鱼类数量的平均密度范围为 2.8~ 122.7 ind./1 000 m<sup>3</sup>。其中,西陵峡口(I)鱼类密度较大,平均密度为 122.7

ind./1 000 m<sup>3</sup>。电站前池(III)鱼类密度最低,为2.8 ind./1 000 m<sup>3</sup>(表2和图2a)。11月,鱼类平均密度为4.4~48.1 ind./1 000 m<sup>3</sup>。其中,西陵峡口(I)平均密度较大,为48.1 ind./1 000 m<sup>3</sup>;其次是三江口水域(IV)和1号船闸上游水域(II),鱼类平均密度分别为29.7和24.2 ind./1 000 m<sup>3</sup>(表2和图2b)。

在葛洲坝下游,6月鱼类密度为8.8~888.8 ind./1 000 m<sup>3</sup>。大江电站下游(VII)急流水域鱼类密度最高,平均密度为888.8 ind./1 000 m<sup>3</sup>。其次

为三江(XII)鱼类,平均密度为89.2 ind./1 000 m<sup>3</sup>。磷肥厂(IX)至庙嘴江段(XI)鱼类平均密度范围为8.8~75.9 ind./1 000 m<sup>3</sup>(表2和图2a)。11月,鱼类平均密度为25.7~711.3 ind./1 000 m<sup>3</sup>。1号船闸下游(VI)区域鱼类密度平均为41.5 ind./1 000 m<sup>3</sup>,与上半年相比有所增长。大江电站下游(VII)鱼类密度仍然最高,平均密度为711.3 ind./1 000 m<sup>3</sup>;其次出现在三江(XII),鱼类密度为84.5 ind./1 000 m<sup>3</sup>(表2和图2b)。

表2 2009年6月和11月葛洲坝上下游鱼类密度分布(ind./1 000 m<sup>3</sup>)

Tab. 2 Distribution of the Fish Density in the Upper and Lower Reaches of the Gezhouba Dam in June and November, 2009(ind./1 000 m<sup>3</sup>)

区域	6月		11月		
	平均密度	密度标准误	平均密度	密度标准误	
葛洲坝上	I 西陵峡口	122.7	44.0	48.1	13.7
	II 一号船闸上游	7.2	2.5	24.2	11.6
	III 电站前池	2.8	2.5	4.4	2.0
	IV 三江口	15.5	8.0	29.7	17.6
	V 二三号船闸上游	17.7	8.8	5.6	4.4
葛洲坝下	VI 一号船闸下游	17.1	6.4	41.5	16.4
	VII 大江电站下游	888.8	404.9	711.3	256.6
	VIII 泄洪闸下游	/	/	67.5	29.9
	IX 磷肥厂江段	8.8	6.8	25.7	16.0
	X 船厂江段	49.8	23.9	52.8	42.2
	XI 庙嘴江段	75.9	53.3	80.4	30.5
	XII 三江	89.2	37.1	84.5	43.7

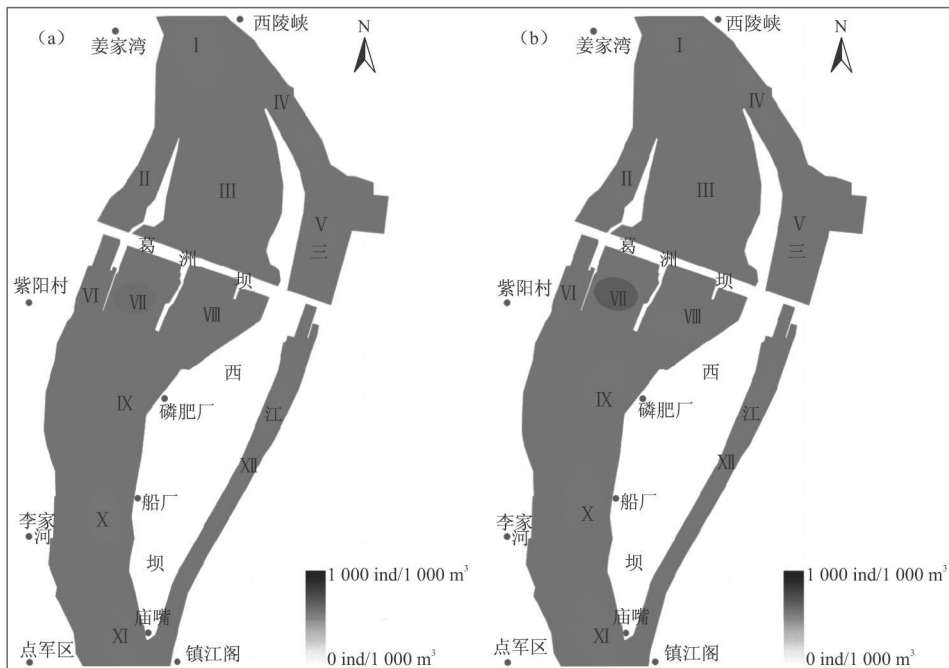


图2 2009年6月和11月葛洲坝上下游鱼类水平分布(a:6月;b:11月)

Fig. 2 Distribution of the Fishes in the Upper and Lower Reaches of the Gezhouba Dam in June and November, 2009

(a: June; b: November, I~XII Refer to the Areas Where Fishes Mainly Inhabit)

### 2.2 鱼类垂直分布

#### 2.2.1 鱼类密度与分布水深

鱼类垂直分布结果显示, 2009 年 6 月和 11 月葛洲坝上下游鱼类在各个水层呈不均匀分布。经 *t* 检验分析, 2009 年 6 月除大江电站下游外( VII), 其它区域( I ~ VI, VIII~ XII) 中, 上层鱼类密度没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 但与下层的鱼类密度有显著性差异( $P < 0.05$ )。根据密度大小排序, 中层鱼类密

度( $53.7 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ ) > 下层鱼类密度( $34.3 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ ) > 上层鱼类密度( $12.1 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ )。11 月除大江电站下游外, 各区域上、中、下层鱼类密度均有显著性差异( $P < 0.05$ ), 均表现为下层鱼类密度( $139.3 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ ) > 中层鱼类密度( $39.6 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ ) > 上层鱼类密度( $2.1 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$ ) (见图 3)。

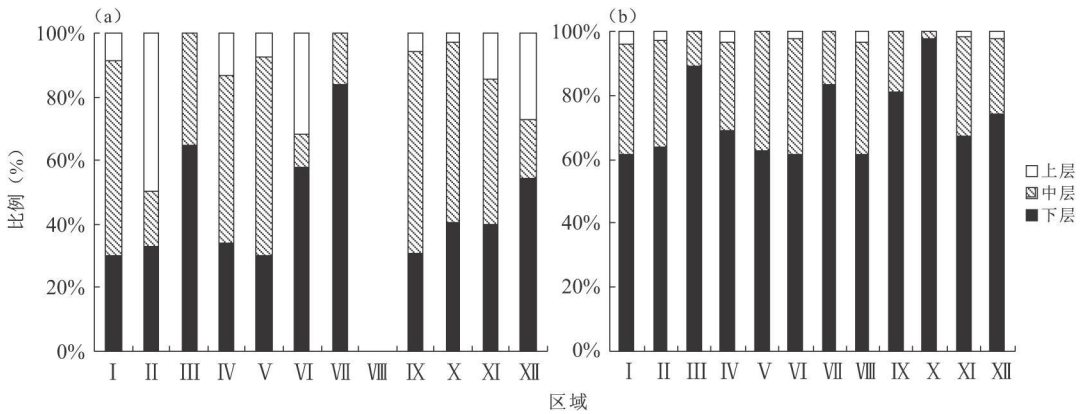


图 3 2009 年 6 月和 11 月葛洲坝上下游探测的鱼类密度分布(a: 6 月; b: 11 月)

Fig. 3 Frequency Distribution of the Detected Fish's Body Length in the Upper and Lower Reaches of the Gezhouba Dam in June and November, 2009( a: June; b: November)

#### 2.2.2 鱼类体长与分布水深

根据公式(3)估算鱼类体长, 6 月葛洲坝上、下游鱼类体长呈偏态分布, 以小于 20 cm 的个体为主, 分别占总数的 80.7% 和 84.7%。而 11 月上下游鱼类均较 6 月大, 其中上游鱼类以 20~ 40 cm 的个体为主, 占总数的 58.8%; 小于 20 cm 的个体占总数的 33.9%。下游鱼类小于 20 cm 的占 64.7%, 20~ 40 cm 的占 12.3% (图 4)。经检验分析, 6 和

11 月在葛洲坝上、下游探测的鱼类体长分布均呈显著性差异, 11 月探测到的鱼类体长较 6 月显著增大 (Mann-Whitney U,  $P < 0.05$ )。

鱼类体长与分布水深的相关性检验分析显示, 葛洲坝上游和坝下大江干流 6 月鱼类体长与分布水深无相关性( $P > 0.05$ ), 但在 11 月这两个区域的鱼类体长与分布水深均呈正相关( $P < 0.05$ ) (图 5 a-d)。而坝下三江水域 6 月与 11 月鱼类体长与水深均表现出相关性( $P < 0.05$ ), 6 月鱼类体长与水深呈负相关, 11 月鱼类体长与水深呈正相关 (图 5 e-f)。

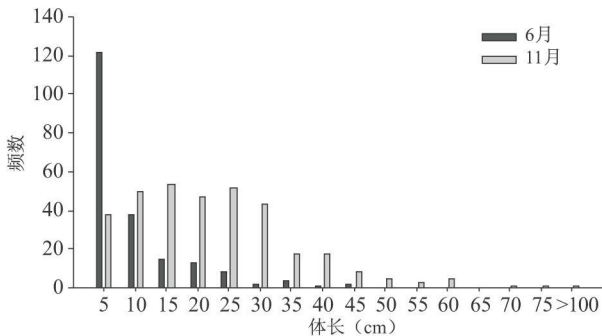


图 4 2009 年 6 和 11 月份葛洲坝上下游探测的鱼类体长分布

Fig. 4 Frequency Distribution of the Detected Fish's Body Length in the Upper and Lower Reaches of the Gezhouba Dam in June and November, 2009

## 3 讨论

调查结果显示, 在水平分布上, 在葛洲坝上下游江段鱼类的分布具有区域性, 而且在季节间具有相同的分布格局。在葛洲坝上游, 鱼类主要集中在西陵峡口, 水深约 90 m, 平均密度最大, 分别为  $122.7 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$  (6 月) 和  $48.1 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$  (11 月)。在葛洲坝下游鱼类集中分布于大江电站下游, 平均密度最大, 分别为  $888.8 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$  (6 月) 和  $711.3 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$  (11 月) 以及三江, 平均密度为  $89.2$  (6 月) 和  $84.5 \text{ ind.} / 1000 \text{ m}^3$  (11 月)。在垂

直分布上,6月鱼类主要居于中上层,在11月则

迁至中下层栖息。

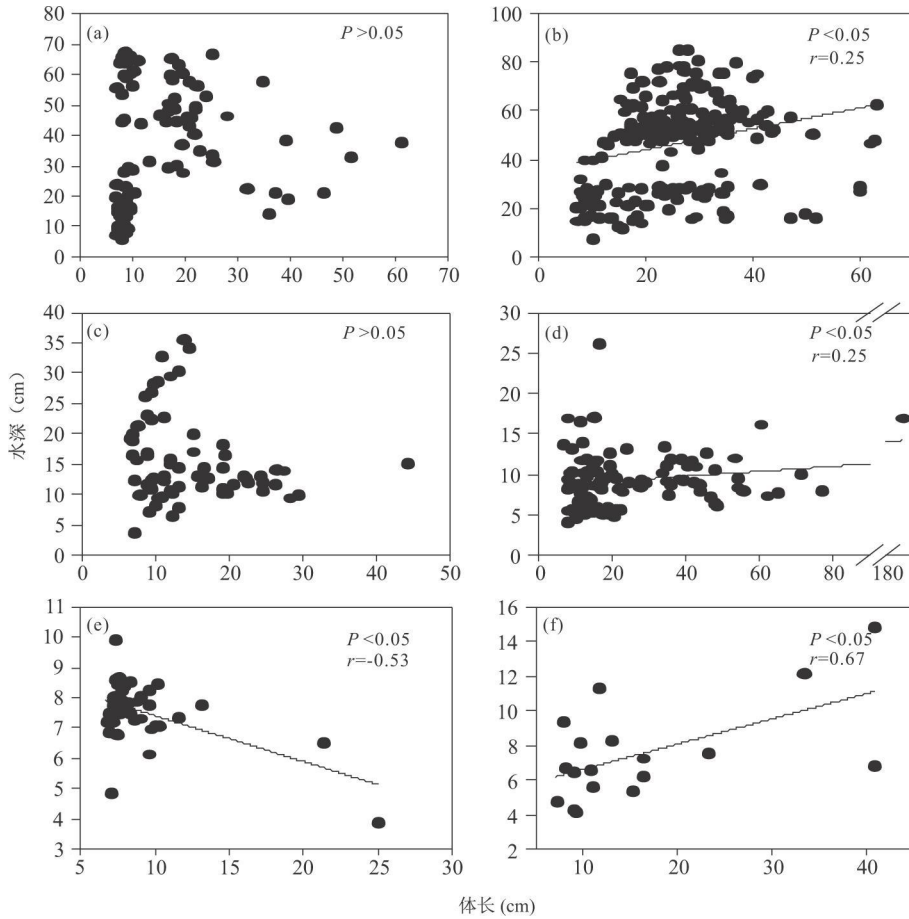


图5 2009年6月和11月葛洲坝上下游探测的鱼类体长与水深的关系(a:坝上6月;b:坝上11月;  
c:坝下大江6月;d:坝下大江11月;e:坝下三江6月;f:坝下三江11月)

Fig. 5 Relationship Between Body Length and Water Depth in the Upper and Lower Reaches of the Gezhouba Dam in June and November, 2009 (a: Upper Reach in June; b: Upper Reach in November; c: Main Channel of Lower Reach in June; d: Main Channel of Lower Reach in November; e: Sanjiang Section in June; f: Sanjiang Section in November)

据已有的研究结果显示,鱼类分布格局与栖息地的水文条件密切相关。Marchetti等<sup>[20]</sup>在研究鱼类集群和栖息地时发现土著鱼类多分布在流速较高的河段。Van Nguyen等<sup>[21]</sup>在研究岩礁鱼类的空间分布时发现,除了避难所和营养外,水深和离岸距离是影响鱼类水平分布的主要原因。张慧杰等<sup>[14]</sup>也认为,葛洲坝下游江段的鱼类分布呈不均一性,而且与水深、流速和饵料等生态因子有关。结合本研究结果分析,葛洲坝上下游江段的鱼类水平分布特征与葛洲坝上下游不同的水文条件有关。葛洲坝修建后,上下游形成水文条件差异明显的3个区域。上游水位上升,形成水流缓慢的水库。大坝电站运行发电和泄洪闸泄洪下游干流仍为流水环境。三江建有两个船闸,为了便于通航,基本是静水环境。因为不同类型的生态类群会选择水文条件不同的栖息

地,所以形成了鱼类分布的区域性。葛洲坝库区流速缓慢,鳊、鲤、鲃属等喜静水或缓流的鱼类是优势类群(内部资料)。通常,这些鱼类会聚集静水区域索饵,或者藏匿于深潭躲避敌害或者捕捞。因此,在上游西陵峡口的深潭处鱼类密度较大。在葛洲坝下游,大江和二江仍为流水环境,铜鱼、圆口铜鱼等喜流水鱼类是优势种类<sup>[22]</sup>,通常会在集中在电站、泄洪闸的出水口等水流湍急的区域活动。而三江是静水江段,更适合鲃、鲤、鳊等喜静水或广布型的种类栖息,分布密度也相对均匀。

鱼类的垂直分布明显受到季节变化的影响,但在不同的区域具有不同的变化。大江电站下游以外,6月鱼类主要居于中上层,在11月则集中于下层栖息。表明在静水和缓流区鱼类的垂直分布特征与季节变化有关。而大江电站下游的急流区鱼类

则一直在下层栖息,与季节变化无关。在静水和缓流区,6月份中上层的藻类、甲壳类等浮游动植物丰富,鲇属、鳊、鲢等草食性和杂食性的种类会聚集到中上层摄食和繁殖,鳊、鮡属等肉食性也主要在中上层捕食。而在流水区,铜鱼、圆口铜鱼等喜流水性种类主要以底栖动物为食,所以不论是6月还是11月都集中在下层。

季节变化对鱼类体长与分布水深的关系也具有明显的影响。6月葛洲坝上游和坝下干流鱼类体长与水深无相关性,三江呈现负相关,而到11月份鱼类体长与分布水深均呈正相关。而GL<sub>ran</sub><sup>[23]</sup>认为,鱼类垂直分布呈现一种个体大小与水深相关的模式(Size-depth Pattern),大个体会居于较深水层,小个体居于较浅水层。这种垂直分布模式与资源利用、逃避敌害、水温变化等因素有关。而通过本研究的结果分析,6月份作为鱼类的繁殖季节和饵料生物的盛期,鱼类的垂直分布可能受到产卵习性、饵料生物分布的影响,不遵循Size-depth模式。而11月入冬以后,鱼类摄食活动减少,进入深水区越冬,鱼体规格越大对环境的适应能力就越强,能选择更适宜的水层栖息<sup>[24]</sup>,大个体进入深水层,而小个体在中上层,形成Size-depth的分布模式。

综合研究结果分析,由于葛洲坝上下游水文情势的差别,分布有不同生态类群的鱼类,因此形成区域性的水平分布。在静水和缓流区,垂直分布还存在季节间的变化。季节变化还对葛洲坝上下游江段鱼类体长与分布水深的关系有明显影响。以前的研究表明,鱼类分布会受到多种生物因素(物种间的相互影响、人类活动、饵料生物的丰度等)和环境因素(流速、溶氧、透明度、pH等)的影响<sup>[25~28]</sup>。但本次研究没有对上下游水域的生物因素做同步调查,故研究中也存在一定的不足,有待今后做进一步的研究。

致谢 感谢宜昌渔政处提供声学探测所用的科考船,感谢秦强船长和胡习杰轮机长在野外探测工作中的协助!

## 参考文献:

[1] MERONA B, VIGOUROUX R, TEJERINA-GARRO F L, et al. Alteration of fish diversity downstream from Petit-Saut Dam in French Guiana. Implication of ecological strategies of fish species[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 551: 33~ 47.

[2] PATRICK M. Silenced Rivers: The ecology and politics of

large dams. enlarged and updated edition[M]. London: Zed Books Ltd. 2001.

- [3] KENTARO M, SHOICHIRO Y. Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling char populations[J]. *Conservation Biology*, 2002, 16(5): 1318~ 1323.
- [4] BARRELLA W, PETRERE M J. Fish community alterations due to pollution and damming in Tiet and Paranapanema rivers (Brazil) [J]. *River Research and Applications*, 2003, 19(1): 59~ 76.
- [5] 胡德高, 柯福恩, 张国良. 葛洲坝下中华鲟产卵情况初步调查及探讨[J]. *淡水渔业*, 1983, 3: 15~ 18.
- [6] 邓中焱, 余志堂, 许蕴珩, 等. 中华鲟年龄鉴别和繁殖群体结构的研究[J]. *水生生物学报*, 1985, 9(2): 99~ 110.
- [7] 余志堂, 许蕴珩, 周春生, 等. 关于葛洲坝水利枢纽对长江鱼类资源的影响和保护鲟鱼资源的意见[J]. *水库渔业*, 1981, 2: 18~ 24.
- [8] 黄亮. 水工程建设对长江流域鱼类生物多样性的影响及其对策[J]. *湖泊科学*, 2006, 18(5): 553~ 556.
- [9] 易雨君. 大坝对长江流域洄游鱼类的影响[J]. *水利水电技术*, 2009, 40(1): 29~ 33.
- [10] QIAO Y, TANG X, BROSSE S, et al. Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River, a hydroacoustic assessment of fish location and abundance on the last spawning ground[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, 22( Suppl. 1): 140~ 144.
- [11] 危起伟, 陈细华, 杨德国, 等. 葛洲坝截流 24 年来中华鲟产卵群体结构的变化[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(4): 452~ 457.
- [12] 吴国犀, 刘乐和. 葛洲坝水利枢纽坝下宜昌江段胭脂鱼的年龄与生长[J]. *淡水渔业*, 1990, 2: 3~ 8.
- [13] PARKER-STETTER S L, RUDSTAM L G, SULLIVAN P J, et al. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes[M]. Great Lakes Fish Comm Spec Pub, 2009.
- [14] 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.
- [15] 张辉. 中华鲟自然繁殖的非生物环境[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 91~ 120.
- [16] BALK H. Development of hydroacoustic methods for fish detection in shallow water[D]. Dissertation for Degree of Dr Sci Norway: University of Oslo, 2001: 191~ 208.
- [17] BALK H, LINDEM T. Sonar4, Sonar5 post-processing systems operator manual version 5. 9. 8[C]. Oslo: University of Oslo, Norway, 2008.
- [18] 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.
- [19] KU BECKA J, DUNCAN A. Acoustic size vs. real size relationships for common species of riverine fish[J]. *Fisheries Research*, 1998, 35(2): 115~ 125.
- [20] MARCHETTI M P, MOYLE P B. Effects of flow regime on fish assemblages in a regulated California stream[J]. *Ecological Applications*, 2001, 11(2): 530~ 539.

- [21] VAN NGUYEN L, KIM P H. Distribution and factors influencing on structure of reef fish communities in Nha Trang Bay Marine Protected Area, South-Central Vietnam[J]. Environmental Biology of Fishes, 2008, 82(3): 309~ 324.
- [22] 虞功亮, 刘 军, 许蕴珩, 等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 591~ 599.
- [23] GLRAN E, JAMES J K. Habitat use by crayfish in stream pools: Influence of predators, depth and body size[J]. Freshwater Biology, 2000, 43(1): 75~ 83.
- [24] 班 璇, 杜 浩, 张 辉, 等. 天然河道中鱼类对水深、流速选择特性的初步观测——以长江江口至涪市段为例[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10): 70~ 74.
- [25] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993.
- [26] HARVEY B C, STEWART A J. Fish size and habitat depth relationships in headwater streams[J]. Oecologia, 1991, 87(3): 336~ 342.
- [27] PARAMO J, QUINONES R. A , RAMIREZ A. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information[J]. Aquatic Living Resources, 2003, 16(3): 239~ 245.
- [28] 班 璇, 李大美, 李 丹. 葛洲坝下游中华鲟产卵栖息地适宜度标准研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(2): 172~ 177.

## HYDROACOUSTIC SURVEYS ON TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF FISHES IN THE UPPER AND LOWER REACHES OF THE GEZHOUBA DAM

LIN Peng-cheng<sup>1,2,3</sup>, GAO Xin<sup>1,2</sup>, LIU Chun-chi<sup>1,2</sup>, LIU Huan-zhang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Wuhan 430072, China; 3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Four hydroacoustic surveys were conducted in June and November 2009 by using the SIMRAD EY60 echo sounder with a 200 kHz split-beam transducer in the upstream and downstream of the Gezhouba Dam in the Yangtze River in order to understand the temporal and spatial distribution of fishes. The result indicated that the average individual density (total fish number in a given water area) ranged from 2.8 to 122.7 ind./1 000 m<sup>3</sup> and 8.8 to 888.8 ind./1 000 m<sup>3</sup> in the upper and lower reaches of the Gezhouba Dam, respectively. Fishes unevenly distributed in the investigated area and mainly concentrated in three sections, which were the mouth of Xiling Gorge, tailwater of Dajiang power plant and Sanjiang section. Fishes always concentrated in the middle and bottom layers of the lotic reach below Dajiang power plant. In the sections of the slow-flow and lentic sections, fishes preferred to middle and surface layers in June but bottom layer in November. Fish body length was not correlated ( $P > 0.05$ ) or negatively correlated ( $P < 0.05$ ) with water depth in June. However, there were positive correlations ( $P < 0.05$ ) between them in November. It is suggested that the fishes which were suitable for the different ecological groups were regionally distributed in horizontal direction due to the different hydrological regimes of the upper and lower reaches of Gezhouba Dam. In the sections of the slow-flow and lentic sections, there was variation of the vertical distribution between seasons. The seasonal variation also influenced significantly the relationship between fish body length and distributing water depth in the upper and lower reaches of Gezhouba Dam.

**Key words:** hydroacoustic; fish resource; ecological group; water regime