

## 三峡库区大宁河鱼类的时空分布特征

王珂<sup>1</sup> 段辛斌<sup>1</sup> 刘绍平<sup>1</sup> 李志华<sup>1</sup> 陈大庆<sup>1, 2</sup>

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业部长江中上游渔业资源环境重点野外科学观测试验站, 荆州 434000;  
2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

**摘要:** 为了解大宁河鱼类资源量及其分布特点, 于2006年12月和2007年4月利用HTIModel 241鱼探仪对三峡库区大宁河进行了声学调查。结果表明: 冬季鱼类密度显著高于春季, 这与鱼类自身的繁殖越冬行为有关。统计分析显示, 鱼类水平分布的差异与水深没有明显相关性, 可能主要由群聚行为引起。另外, 冬季大宁河鱼类主要分布在中下层, 上层和中下层的鱼类密度分布存在极显著性差异( $p < 0.01$ ); 春季鱼类主要分布在中上层, 中层和下层的鱼类密度分布差异显著( $p < 0.05$ )。大宁河鱼类在冬季和春季均属于成群分布, 并且春季各层鱼类密度的变异系数高于冬季, 这与水温和鱼类的防御机制有关。

**关键词:** 大宁河; 水声学; 时空分布; 三峡水库

**中图分类号:** Q178.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3207(2009)03-0516-06

由于长江中上游大量水电站的建立, 渔业资源保护成为社会公众最为关注的热点之一, 渔业科学家也逐渐把注意力从研究单一鱼种转向研究鱼群及整个鱼类生态系统<sup>[1, 2]</sup>。水声学作为渔业资源调查和评估的一种手段, 与传统的渔具渔法等方法相比, 以经济、方便、高效及对鱼群无伤害等优势被广泛地应用于海洋、湖泊、河流和水库鱼类资源的研究中<sup>[3-8]</sup>, 并获得了大量成果。

长江三峡库区是长江上游珍稀、特有鱼类以及经济鱼类的集中分布区之一, 同时又是“四大家鱼”等经济鱼类的重要产卵场<sup>[9]</sup>, 水生生物多样性丰富。大宁河作为长江上游最重要的支流之一, 其鱼类资源丰富, 共有鱼类73种, 其中特有鱼类13种<sup>[10]</sup>, 是长江上游渔业资源的一个代表。关于大宁河的研究, 到目前为止, 多集中在三峡水库蓄水后水体富营养化调查及评价方面<sup>[11]</sup>, 而对于鱼类资源量及其分布状况尚缺少准确的评估和分析。本次研究选择大宁河作为考察对象, 根据2006年12月和2007年4月的鱼探仪探测数据, 对冬季和春季大宁河鱼类的资源量和时空分布特征进行描述, 旨在为评估大宁河的鱼类资源量提供科学依据; 同时, 应用

渔业资源声学评估方法成功地在三峡库区进行调查和评估尚属首次, 为鱼探仪在库区的大范围应用积累经验, 也为鱼类资源保护和合理利用提供科学依据。

### 1 材料与方法

**1.1 调查区域和时间** 大宁河位于巫山以东, 是国家5A级自然保护区, 其巫山大昌段长约30km, 河面狭窄, 平均宽度约60m, 该河段水文状况复杂, 鱼类资源丰富。本调查分别在2006年12月22至23日及2007年4月23至24日对此河段进行探测(图1)。

**1.2 仪器设备** 调查船: 永安32号(80马力, 船长29m, 船宽4m, 最大航速9km/h)。

回声探测仪: HTIModel 241型裂波数字回声探测仪(split-beam digital echo sounder system), 其参数设置(表1)。使用前, 对回声探测系统进行声学校正。

数据采集及分析采用HTIModel 241配套软件Echoscape。

收稿日期: 2007-09-20; 修訂日期: 2008-11-26

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD03B09); 科技部社会公益项目(2005D B3J025); 国家自然科学基金重大项目(30490234); 国务院三峡办三峡工程环境保护项目(SX-015)资助

作者简介: 王珂(1982—), 女, 汉族, 河南南阳人, 硕士, 主要从事鱼类资源方面研究。E-mail: wangkelily@126.com

通讯作者: 陈大庆, Tel: 0716-8130008; E-mail: chdq@yfi.ac.cn

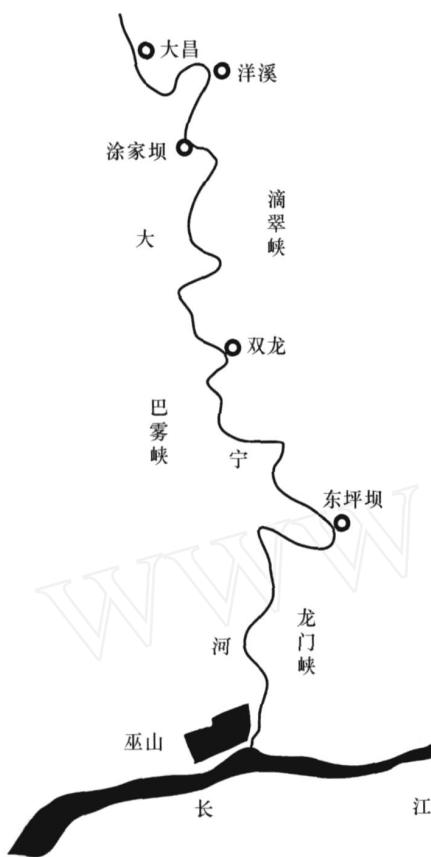


图 1 调查区域示意图

Fig. 1 Sketch map of investigation region

表 1 HTI Model-241 回声探测仪主机和换能器设定的主要技术参数

Tab. 1 The main parameters of the host and transducer of HTIModel-241 echo sounder

| 参数 Parameter            | 数值 Value | 参数 Parameter            | 数值 Value |
|-------------------------|----------|-------------------------|----------|
| 声速 Sound velocity       | 1450m/s  | 发射强度 Transmit power     | 20dBW    |
| 脉冲宽度 Pulse width        | 0.20ms   | 时变效益 Time variance gain | 40logR   |
| 发射频率 Transmit frequency | 200kHz   | 换能器 Transducer          | 306736   |
| Ping频率 Ping rate        | 20pps    | 波束宽度 Beam width         | 15°      |
| 阈值 Threshold            | -70dB    |                         |          |

针对 2006 年冬季和 2007 年春季两次调查结果, 分别对上层、中层和下层的鱼类密度进行方差分析, 比较不同采样单元鱼类的水平分布在冬春季是否有显著性差异。将上层、中层和下层的鱼类密度对水深作相关分析, 分析鱼类分布是否与水深有相关性。分别对上层与中、下层的鱼类密度进行 *t* 检验分析, 比较鱼类在各层分布的差异, 并进行冬春季之间的比较。

计算上层、中层和下层鱼类密度的变异系数 (方差/平均值, 即  $s^2/m$ ), 根据孙儒泳种群分布型的

**1.3 探测方法和采样单元划分** 数字换能器用铁架固定, 安装于调查船中部, 换能器探头垂直向下置于水下约 0.6m, 以便同时记录水深数据。由于河面狭窄, 调查船按巫山—新大昌之间的航道直线行驶, 测量时船速为 8—9km/h, 冬季和春季测量均有 1 次往返重复, 各单元鱼类密度取两次的平均值。

以 440m 为单位将巫山—新大昌之间 30km 的距离分段, 共得到 68 个采样单元。用笔记本电脑记录 12XL 型 GPS 获得的 GPS 位点数据, 并将每个采样单元中心的 GPS 位点数据作为该采样单元的定位数据。

**1.4 数据分析** 由于大宁河河床多变, 故不能以一个标准划分整个河段的上、中、下层。在本调查中, 依据每个单元的平均水深划分上、中、下层, 1.5m—1/3 水深处为上层, 1/3 水深—2/3 水深为中层, 2/3 水深—河底为下层。

为了避免声纳发射时产生的噪声影响, 只统计 1.5m 以下的回声信号, 因此回声探测仪截面面积  $S = (h^2 - 1.5^2) \tan(\theta/2)$ , 探测体积  $V = LS$ , 鱼群密度  $\rho = n/V$ 。其中,  $h$  为水深;  $\theta$  为回声探测仪波束的角度 15°;  $V$  为探测体积;  $S$  为探测截面面积;  $L$  为探测距离;  $n$  为探测到鱼的个体数;  $\rho$  为鱼的密度。

划分标准分析冬季大宁河鱼类种群分布的类型<sup>[12]</sup>。 $s^2/m = 0$ , 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。数据分析采用 SPSS13.0 软件。

## 2 结 果

### 2.1 大宁河鱼类的水平分布及其季节变化

2006 年冬季和 2007 年春季大宁河各统计单元的平均水深以及鱼类密度分布 (图 2(a)、(b))。

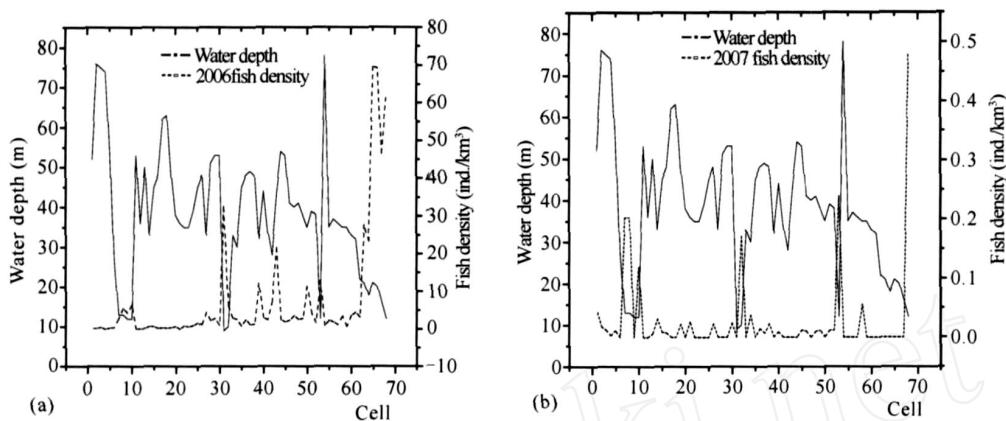


图 2 巫山 新大昌段各单元水深和鱼类密度分布图

Fig. 2 Distribution diagram of water depth and fish density in the Daning River between Wushan and Dachang

(a) 2006年冬季; (b) 2007年春季 (a) winter of 2006; (b) spring of 2007

由统计结果知,大宁河巫山 新大昌段河床变化较大,最大水深为 78m,最小水深 9m,平均水深为 38.3m ( $F = 262.3$ )。

由图 2 可知,2006年冬季和 2007年春季调查区域内鱼类分布不均匀,变化比较频繁。表现为,2006年冬季各统计单元鱼类密度的变化范围为 0.00—69.57 ind. /km<sup>3</sup>,平均值为 7.36 ind. /km<sup>3</sup> ( $F = 229.2$ );2007年春季各统计单元鱼类密度的变化范围为 0.00—0.48 ind. /km<sup>3</sup>,平均值为 0.028 ind. /km<sup>3</sup> ( $F = 0.0055$ )。显而易见,2007年春季大宁河鱼类密度远远小于 2006年冬季的统计结果。

两次调查结果表明,冬季和春季各统计单元上层鱼类的水平分布有极显著性差异 ( $F = 12.88, p < 0.01$ ),中层和下层鱼类的水平分布也有极显著性

差异 ( $F = 13.72, p < 0.01; F = 10.60, p < 0.01$ )。

2006年冬季各统计单元的鱼类密度与水深的相关系数为 -0.48;每单元上层、中层和下层鱼类密度与水深的相关系数分别为 -0.355、-0.405 和 -0.441 ( $|r| < 0.7$ );2007年春季各统计单元的鱼类密度与水深的相关系数为 -0.48;每单元上层、中层和下层的鱼类密度与水深的相关系数分别为 -0.235、-0.383 和 -0.156 ( $|r| < 0.3$ )。两次调查鱼类的水平分布与水深均没有达到显著相关的水平,这说明了大宁河冬季和春季鱼类的水平分布与水深没有明显的相关关系。

## 2.2 大宁河鱼类的垂直分布及其季节变化

2006年冬季和 2007年春季大宁河各统计单元上层、中层和下层鱼类密度分布图和统计方框图(图 3,图 4)。

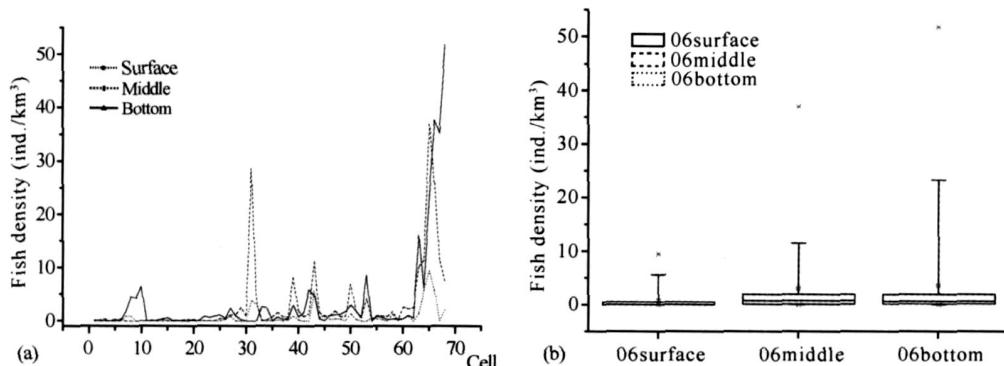


图 3 2006年冬季大宁河各单元上层、中层和下层鱼类密度分布图 (a) 和统计方框图 (b)

Fig. 3 Fish density distribution (a) and its statistic diagram (b) of Daning River in the surface, middle and bottom levels, winter of 2006

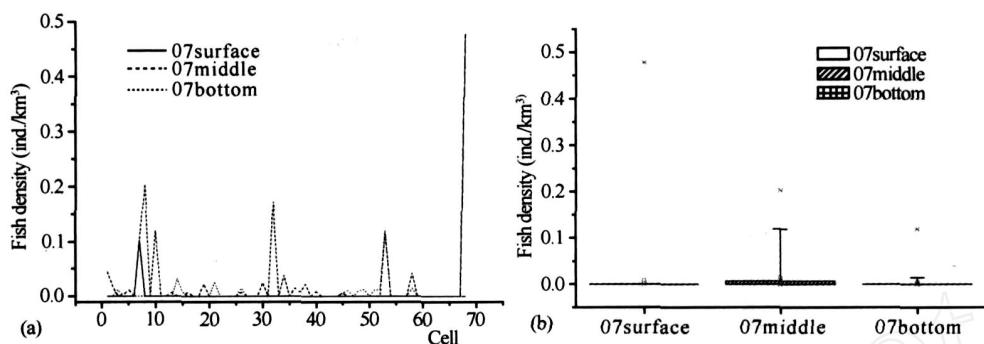


图 4 2007年春季大宁河各单元上层、中层和下层鱼类密度分布图 (a)和统计方框图 (b)

Fig. 4 Fish density distribution (a) and its statistic diagram (b) of Daning River in the surface, middle and bottom levels, spring of 2007

由图 3(a)和图 4(a)可以明显看出, 2006年冬季和 2007年春季各层鱼类密度在各单元的分布并不均匀, 有比较明显的峰谷。由表 2的 *t*检验分析可知, 2006年冬季大宁河上层和中层、下层的鱼类密度分别有极显著性差异 ( $p = 0.00748$ ,  $p = 0.01224$ ), 中层和下层的鱼类密度无显著性差异 ( $p = 0.67226$ ); 中下层的鱼类密度平均值、最大值都

比上层的大, 表现为下层鱼类密度  $>$  中层鱼类密度  $>$  上层鱼类密度。2007年春季中层鱼类密度  $>$  上层鱼类密度  $>$  下层鱼类密度; *t*检验分析结果表明, 表层和中层、下层的鱼类密度均无显著性差异 ( $p = 0.47104$ ,  $p = 0.56481$ ), 中层和下层的鱼类密度差异显著 ( $p = 0.04214$ )。

表 2 2006年冬季和 2007年春季上层、中层和下层鱼类密度 *t*检验分析Tab. 2 *T*-test of fish density in the surface, middle and bottom layers in winter of 2006 and spring of 2007

| 年份<br>Period            | 水层 Layer   | 平均密度<br>Average density<br>(ind./km³) | 最大值<br>Maximum<br>(ind./km³) | 最小值<br>Minimum<br>(ind./km³) | <i>t</i> 检验<br><i>T</i> -test value | 平均密度比<br>Average density ratio |
|-------------------------|------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 2006<br>冬季<br>Winter of | 上层 Surface | 0.7460                                | 9.4873                       | 0.0000                       | 0.00748                             | 4.04                           |
|                         | 中层 Middle  | 3.0165                                | 36.8949                      | 0.0000                       |                                     |                                |
|                         | 下层 Bottom  | 3.5970                                | 51.6529                      | 0.0000                       |                                     |                                |
| 2007<br>春季<br>Spring of | 上层 Surface | 0.0085                                | 0.4783                       | 0.0000                       | 0.47104                             | 1.74                           |
|                         | 中层 Middle  | 0.0148                                | 0.2038                       | 0.0000                       |                                     |                                |
|                         | 下层 Bottom  | 0.0043                                | 0.0043                       | 0.0000                       |                                     |                                |
| 2007<br>春季<br>Spring of | 上层 Surface | 0.0085                                | 0.4783                       | 0.0000                       | 0.56481                             | 0.51                           |
|                         | 中层 Middle  | 0.0148                                | 0.2038                       | 0.0000                       | 0.04214                             | 0.29                           |
|                         | 下层 Bottom  | 0.0043                                | 0.0043                       | 0.0000                       |                                     |                                |

### 2.3 大宁河鱼类分布类型

2006年冬季大宁河上层鱼类密度的变异系数为 2.27, 中层鱼类密度的变异系数为 2.22, 下层鱼类密度的变异系数为 2.53; 2007年春季大宁河上层鱼类密度的变异系数为 6.93, 中层鱼类密度的变异系数为 2.66, 下层鱼类密度的变异系数为 3.64。按

照孙儒泳种群分布型的划分标准, 两次调查大宁河上层、中层和下层的鱼类明显成群分布, 因此可以认为大宁河鱼类在 2006年冬季和 2007年春季属于成群分布类型。图 5为大宁河鱼类密度变异系数的图示, 图中两组结果相比可以发现, 2007年春季的变异系数明显比 2006年冬季的大, 其中上层鱼类密度

的变异系数变化最大。

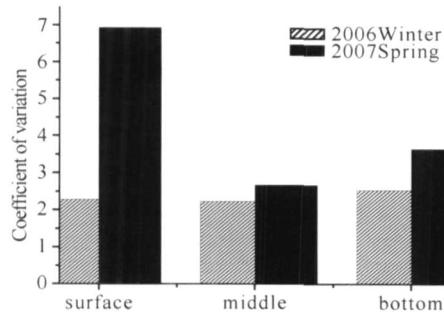


图 5 大宁河鱼类密度变异系数

Fig. 5 Variation coefficient of fish density in the Daning River

### 3 讨 论

通常,鱼类的分布跟生态因子如:温度、盐度、水温、水的流速、食物的可利用性等因素存在一定的关系<sup>[13, 14]</sup>。大宁河巫山大昌段河道走势曲折多变,大部分河段宽度不超过 60m。整个河段共有 4 处高程值较大的区域,离巫山距离分别约为 2km 的巫山县、14km 的双龙镇、23km 的小小三峡、29km 的大昌镇,两次调查的结果显示鱼类较为集中的分布在这 4 个河段所处区域。巫山县位于长江和大宁河的交汇地段,此段流态复杂,河面开阔,并且巫山县大量生活和工业用水的排放增加了鱼类的食物来源,形成鱼类良好的栖息地;双龙镇和大昌镇两处共有 10 户网箱(平均每户 20 个网箱左右),饵料的投放增加了鱼类的食物来源,另一方面可能与这两处居民排放的生活用水有关,富营养化程度较其他河段高,水生生物的丰度也比较高,相应鱼类在这些地方比较密集;小小三峡指的是大宁河的一条狭长支流,这两条河流的交汇处同样形成了一个流态复杂的三角地带,此处水质较好,是鱼类良好的栖息地。

长江上游绝大多数鱼类都是在江河流水中进行繁殖,繁殖期多在 4—6 月份<sup>[8]</sup>,8 月份,鱼类又重新回到原来的河流育肥,这将使得 10 月份鱼类密度达到一个较高值<sup>[15]</sup>。进入冬季,鱼类潜进深水层越冬,所以冬季大宁河的鱼类密度显著高于春季是可以理解的。两次调查结果表明大宁河鱼类在冬季和春季都是成群分布类型,由于统计分析没有能证明大宁河鱼类分布与水深有关,所以这种水平密度分布的差异可能是由鱼类的群聚行为引起的;又由于在冬季表层水温比底层低,所以鱼类主要聚集在中下层,而在春季,表层水温一般高于底层,鱼类主要在中上层。冬季和春季的统计结果还显示,在春季

大宁河鱼类密度水平分布的变异系数比冬季大,表层差异尤其明显,即春季鱼类的群聚程度比冬季高,这可能是由于大宁河两岸高山积雪在春季融化,导致水温变寒,鱼类表现出群体防御行为。

### 参 考 文 献:

- [1] Anonymous (Eds), *Ecosystem approaches for fisheries management* [M]. University of Alaska Sea Grant, Fairbanks (AK-SG-99-01). 1999
- [2] ICES (International Council for the Exploration of the Sea). *Ecosystem effects of fishing* [C]. Proceedings of an ICES/SCOR Symposium held in Montpellier, France, 16—19 March 1999. *ICES J. Mar Sci.*, 2000, **57**: 465—792
- [3] Reiner E. Allocation of echo integrator output to small larval insect and medium-sized target [J]. *Fishery Research*, 1998, **35**: 115—125
- [4] John E E, Tracey W S. Improved technique for studying the temporal and spatial behavior of fish in a fixed location [J]. *J. Mar Sci.*, 2003, **60**: 700—706
- [5] Chen G B, Li Y Z, Zhao X Y, et al. Acoustic assessment of five groups commercial fish in South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, **28**(2): 128—134 [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. 海洋学报, 2006, **28**(2): 128—134]
- [6] Tan X C, Xia L Q, Kenichi TW, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked caps in the East Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 585—590 [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研究. 水生生物学报, 2002, **26**(6): 585—590]
- [7] Céline C, Luis Tito de Morais, Raymond L, et al. Use and limits of three methods for assessing fish size spectra and fish abundance in two tropical man-made lakes [J]. *Fisheries Research*, 2007, **83**: 306—318
- [8] Frances K M. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, **59**: 942—949
- [9] Duan X B, Chen D Q, Liu S P, et al. Studies on status of fishery resources in Three Gorges Reservoir of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, **26**(6): 605—611 [段辛斌, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江三峡库区鱼类资源现状的研究. 水生生物学报, 2002, **26**(6): 605—611]
- [10] Wang Y M. Conservation strategies of fish resources in upper reach of Yangtze River [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 2004 [王亚民. 长江上游鱼类资源保护对策. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2004]
- [11] Zhong C H, Xing Z G, Zhao W Q, et al. Eutrophication investigation and assessment of the Daninghe River after the storage of the Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, **23**(3): 20—23 [钟成华, 幸治国, 赵文谦, 等. 三峡水库蓄水后大宁河水体富营养化调查及评价. 灌溉排水学报, 2004, **23**(3): 20—23]

- 报, 2004, 23(3): 20—23]
- [12] Sun R Y. Principle of animal ecology [M]. Beijing: Beijing Normal University Press 1987, 283—295 [孙儒泳. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社. 1987, 283—295]
- [13] Nowbray, F. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off newfoundland [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59: 942—949
- [14] Paramo J, Quinones R A, Ramirez A, et al. Relationship be-  
tween abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Seaan analysis based on hydroacoustic information [J]. *Aquatic Living Resources*, 2003, 16 (3): 239—245
- [15] Misund O A. Underwater Acoustic in Marine Fisheries and Fisheries Research [J]. *Rev in Fish Biol and Fisheries*, 1997, 7: 1—34

## SURVEY ON TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF FISH IN THE DANING RIVER

WANG Ke<sup>1</sup>, DUAN Xin-Bin<sup>1</sup>, LIU Shao-Ping<sup>1</sup>, LI Zhi-Hua<sup>1</sup> and CHEN Da-Qing<sup>1,2</sup>

(1. Key Field Station of Fishery Resources and Environment in the Uppermiddle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Jingzhou 434000, China;  
2. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Science, Wuxi 214081, China)

**Abstract:** To gain the biomass and distribution of the fish in Daning River, twice acoustic evaluation have been carried out by using the HTIModel241 fish detection equipment in the winter of 2006 and April of 2007. The density of fish was obvious higher in winter than that in spring, which may be relate to the behavior of fish. Statistical analysis showed that difference in horizontal distribution was not significantly correlated to water depth; the variations of fish density in the Daning River might be caused mainly by aggregation activity of fish. In winter, there were very significant differences between surface and middle layers, and surface and bottom layers in fish distribution ( $p < 0.01$ ). In spring, average of fish density in middle was much higher than that in surface and bottom layers and obvious differences between middle and the other two layers were observed ( $p < 0.05$ ). The variations of fish density in spring were higher than that in winter, which have relationship with the water temperature and recovery capability of fish.

**Key words:** Daning River; Hydroacoustic survey; Temporal and spatial distribution; The Three Gorges Reservoir