

东湖放养鱼类时空分布的水声学研究

谭细畅¹ 夏立启¹ 立川贤² 谢平¹ 常剑波¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 日本东京大学海洋研究所, 东京 164 8639)

摘要: 2000 年, 用鱼探仪逐月对东湖鱼类的空间分布进行探测的结果表明: 东湖鱼类主要分布在 1.5m 以下的水层, 1.5m 以上与 1.5m 以下水层的鱼类密度分布存在显著差异。此外, 东湖中不同区域的鱼类密度分布亦有显著性差异。统计分析显示, 这种水平分布差异与水深、离岸距离等因素没有明显的相关, 可能主要由群聚行为引起。由不同月份群聚程度不一致, 推测水温的变化可能会影响鱼类的群聚行为。污水排放对鱼类空间分布也可能有一定的影响。

关键词: 东湖; 放养鱼类; 时空分布; 水声学研究

中图分类号: S973.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2002)06-0585-06

东湖(30°33'N, 114°23'E)位于湖北省武汉市, 面积约 32km², 最大水深 4.8m, 平均水深 2.2m, 是一个富营养化的浅水湖泊。50 年代以来, 中国科学院水生生物研究所对东湖生态系统进行了长期的研究, 但对鱼类资源量的评估则相对较少^[1]。1983—1984 年立川贤一等曾对东湖鱼类进行水声学探测, 提出了一套估算资源量的方法, 并根据研究结果推测东湖中鱼类的分布在不同的区域存在差异, 但未进一步探讨分布存在差异性的原因, 也没有对这种分布差异的季节变化进行比较^[2]。作者根据 2000 年逐月一次的周年水声学探测数据, 对东湖鱼类的时空分布特征进行描述, 并探讨了导致其时空分布产生差异的原因。本文研究目的是为评估东湖的鱼类资源量提供科学依据, 并推动我国应用水声学方法进行淡水鱼类资源调查等方面工作的开展。

1 材料与方法

1.1 仪器设备 PS-20R 型便携式回声探测仪, 声纳探头的工作频率为 200KHz, 探测张角 6°; 以热敏纸记录探测信号, 接收灵敏度为 3, 走纸速度为 3cm/min。声纳探头固定在玻璃钢考察艇右舷, 考察艇由雅马哈船尾机推动, 手扶舵控制方向, 航行速度约 4.5km/h。KGP-97 型 GPS 导航仪定位采集点和航线。

收稿日期: 2002-07-03; 修订日期: 2002-07-28

基金项目: 东湖湖泊生态系统实验站开放基金(2000-2); 国务院三峡办和长江三峡工程开发总公司资助[SX(98)-15/KHB/JS]

作者简介: 谭细畅(1973—), 男, 湖北通山县人; 硕士研究生

通讯作者: 常剑波, E-mail: jibchang@ihb.ac.cn

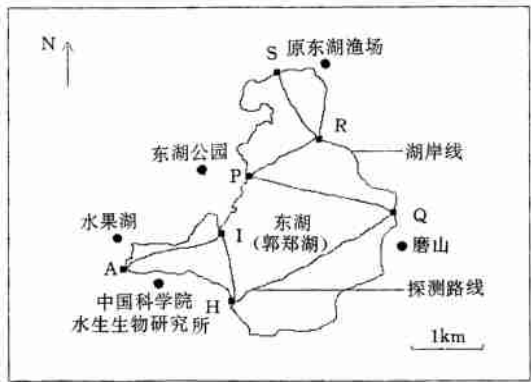


图 1 东湖水声学探测路线

Fig. 1 Routes of hydroacoustic surveys in the East Lake

1.2 探测路线和频次 参照立川贤一等采用的探测路线, 先在东湖沿岸设立 7 个参照点(图 1), 分别记为 A、I、H、Q、P、R、S^[2], 每次探测均从 A 点出发, 到 S 点后再原途返回, 相邻两点间作直线航行(图 1)。由 A 点到 S 点作垂直探测, 由 S 点返回 A 点作水平探测。研究期限为 2000 年 1—12 月, 每月探测 1 次(表 1)。

1.3 水平探测 探头置于水面下 0.8m, 方向与水面平行, 与考察艇侧弦(纵轴)垂直, 只统计探测范围 7—13m 之间的数据, 探测截面面积 A_s 为:

表 1 东湖水声学探测时间及其天气状况

Tab. 1 Dates and weather conditions of hydroacoustic surveys in the East Lake

日期 Dates	航程(km) Survey distances	持续时间(min) Lasting time	水温(℃) Water temperature	天气 Weather
1. 28	22. 8	310	4	阴
2. 25	22. 8	330	10	晴
3. 23	22. 8	305	14	晴
4. 21	22. 8	294	20	晴
5. 26	22. 8	340	23	晴
6. 28	22. 8	320	26	阴
7. 20	22. 8	312	28	晴
8. 23	22. 8	296	29	晴
9. 22	22. 8	280	25	晴
10. 24	22. 8	319	19	小雨
11. 23	22. 8	314	10	晴
12. 28	22. 8	301	6	阴

$$A_s = (13^2 - 7^2) \text{tg}(6^\circ/2) = 6.28\text{m}^2 \tag{1}$$

1.4 垂直探测 探头置于水下 0.3m, 方向垂直向下, 为避免声纳探头自发噪声的影响, 只统计水面下 1.5m 至湖底的数据。将探测水深记为 H , 探测截面面积 A_b 由下式计算:

$$A_b = (H^2 - 1.5^2) \text{tg}(6^\circ/2) \tag{2}$$

1.5 采样单元划分和采样点定位 以 100m 为单位将 A 点至 S 点 7 个参照点之间的距离分段, 共得到 114 个采样单元。用笔记本电脑记录 KGP-97 型 GPS 导航仪获得的 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依据。此外, 沿东湖实测湖岸线的 GPS 数据, 并采用自行编写的 VB 程序计算出各采样单元与湖岸之间的

最短距离。

1.6 各采样单元的鱼类密度计算 根据热敏纸的记录, 分别统计每个采样单元探测到的鱼类个数。如将表层各采样单元探测到的鱼类个数记为 N_s , 中底层的记为 N_b , 则其对应的鱼类密度(ind./m³) 分别为:

$$D_s = \frac{N_s}{100A_s} \quad (3)$$

$$D_b = \frac{N_b}{100A_b} \quad (4)$$

1.7 数据分析 分别对各月份表层与中底层的鱼类密度进行 t 检验分析, 比较鱼类在表层、中底层分布的差异及其季节变化。分别对不同月份表层、中底层的鱼类密度进行方差分析, 比较不同区域鱼类水平分布是否有显著性差异。对各月份表层、中底层的鱼类密度与水深、离岸距离作相关分析和二元回归分析, 分析鱼类分布是否与水深、离岸距离有关。并作各统计单元中底层鱼类相对密度月份变化图, 分析鱼类水平分布的季节变化。

计算各月份表层、中底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划分标准^[3] 分析东湖中鱼类种群分布的类型。 $s^2/m = 0$, 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 东湖鱼类的垂直分布及其季节变异

各月份东湖表层与中底层的鱼类密度存在较大的差异。各月份中底层的鱼类密度的平均值、最大值都比表层的大, 表层鱼类密度范围 0—0.0747ind/m³, 年平均值为 0.0069ind/m³, 中底层的鱼类密度范围为 0—0.754ind/m³, 年平均值为 0.0474ind/m³ (表 2)。逐月 t 检验分析结果表明表层、中底层鱼类密度差异显著($P < 0.001$)。东湖中鱼类主要分布在中底层。中底层与表层的鱼类平均密度比值随季节的不同较为有规律的变化(表 2)。6—8 月份比值在 3.9—5.7 之间, 而 1—3、11、12 月的比值在 9.6—16.4 之间, 冬季的平均密度比值较夏季的大。

2.2 东湖鱼类的水平分布及其季节变异

全年中各统计单元表层鱼类的水平分布有显著性差异($F = 1.62, P < 0.001$), 中底层鱼类的水平分布也有显著性差异($F = 2.11, P < 0.001$)。各月份东湖中表层、中底层鱼类密度与水深、离岸距离的相关性都很小, 变化范围在 -0.50 至 0.33 之间。各月份表层、中底层的鱼类密度与水深、离岸距离的二元回归系数也较小(在 0.07—0.41 之间), 没有达到显著性相关的水平, 这进一步说明了东湖中鱼类水平上的分布与水深、离岸距离没有明显的相关关系。

2.3 东湖鱼类分布类型

东湖中各月份表层鱼类密度的变异系数在 0.31—2.54 之间, 均值为 0.83; 中底层鱼类密度的变异系数在 3.26—15.9 之间, 均值为 9.2 (图 2)。按照孙儒泳种群分布型的划分标准, 东湖鱼类表层的水平分布趋向于随机分布, 中底层明显地成群分布。由于东湖鱼类主要分布在中底层, 因此可以认为东湖鱼类属于成群分布类型。从图 2 还可以看出, 底层

的鱼类密度变异系数季节变动规律性较强, 冬季的变异系数明显比夏季的大, 从夏季到冬季鱼类密度变异系数有逐渐增大的趋势, 但 3—4 月份的变异系数比其他月份的大。表层中鱼类密度的变异系数季节变化不明显, 仅 1、11 月的变异系数明显大于其他月份。

表 2 各月份表层、中底层鱼类密度 t 检验分析

Tab. 2 T test between the fish densities of surface and middle bottom monthly in the East Lake

月份 Months	水层 Water layer	平均密度(ind/m ³) Average density	最大值(ind/ m ³) Max. density	方差 Variances	t 检验 P 值 P level	平均密度比 Ratio of average density
1 月	表	0.0009	0.0238	8E-06	7.7E-06	15.6
	中底	0.0148	0.304	0.001696		
2 月	表	0.0048	0.041	6.63E-05	0.000106	12.7
	中底	0.0615	0.212	0.001943		
3 月	表	0.0014	0.0175	6.58E-06	3.98E-10	16.4
	中底	0.0235	0.221	0.001605		
4 月	表	0.0017	0.009	5.16E-06	3.81E-05	9.2
	中底	0.0155	0.215	0.001312		
5 月	表	0.0031	0.0127	1.08E-05	1.28E-06	4.4
	中底	0.0136	0.241	0.001689		
6 月	表	0.0101	0.0461	7.63E-05	2.27E-13	5.7
	中底	0.0576	0.309	0.004306		
7 月	表	0.0076	0.035	4.84E-05	7.98E-17	4.3
	中底	0.0326	0.436	0.003865		
8 月	表	0.0142	0.0572	0.00012	1.18E-18	3.9
	中底	0.0548	0.209	0.001789		
9 月	表	0.0228	0.051	0.000143	2.26E-11	5.1
	中底	0.1162	0.754	0.01473		
10 月	表	0.0057	0.0223	2.94E-05	4.33E-09	11.4
	中底	0.064	0.729	0.010267		
11 月	表	0.0076	0.0429	8.36E-05	0.000277	9.6
	中底	0.0743	0.373	0.013254		
12 月	表	0.0033	0.0747	8.34E-05	9.32E-08	12.5
	中底	0.0411	0.36	0.005431		

3 讨论

在东湖鱼类组成中, 人工放养的鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鳙(*Aristichthys nobilis*) 占 93%—97%^[4], 因此在讨论东湖鱼类时空分布上的变化时仅指密度分布的差异, 而不涉及种类组成的变化。通常, 引起湖泊鱼类空间密度分布差异的主要有水深、离岸距离、

植被状况、浮游生物、底质特点等因素^[5-7]。鲢、鳙是浮游生物食性的鱼类^[8]，一般认为它们应该分布在水体的上层，但在东湖以水面下 1.5m 为界划分水层的水声学探测结果显示，中底层鱼类的密度显著比上层高。这可能与东湖处于城市的中心，其水深一般不超过 5m，表层与中底层没有显著的空间生态位差异，而中底层又相对受人类活动的干扰较少有关，但这需要进一步研究来证实。另外，中底层密度的水平分布差异显示，东湖鱼类属于成群分布类型。由于统计分析没有能证明东湖鱼类的分布与离岸距离、水深等因素有关，作者认为这种水平密度分布的差异可能

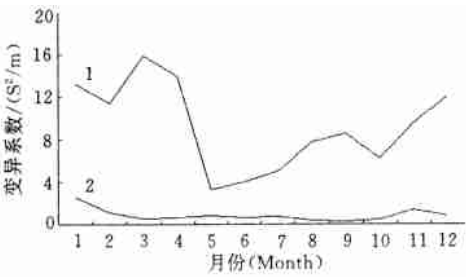


图 2 东湖鱼类密度变异系数
(1—中底层; 2—表层)

Fig. 2 Monthly changes of variation coefficient of fish density in the East Lake
(1—middle and bottom; 2—surface)

是由鱼类的群聚行为引起的。立川贤一等在 1984 年的水声学探测也显示了东湖的不同湖区鱼类密度存在差异^[2]，与本文的研究结果是一致的。不同月份的统计结果还显示，在冬季东湖的鱼类密度水平分布的变异系数比夏季的大，亦即冬季鱼类的群聚程度比夏季高。说明环境温度较低时，鱼类更容易表现出群聚行为。这可能是在环境胁迫加大时，鱼类表现出来的一种群体抵御策略。某些湖区如 A、I 点之间的水果湖区(图 1)，鱼类的总体密度较其他湖区高，与这里有较大的污水口存在，富营养化的程度较高，浮游生物的丰度也比较高有关。以食浮游生物为主的鲢、鳙在这些湖区比较密集是可以理解的。

Soria 等在地中海调查时发现秘鲁 (*Engraulis ringens*)、大西洋鲱(*Clupea harengus*) 鱼群在距离调查船 70m 时有侧向回避行为，因而使回声探测器所记录到的鱼群较实际的小^[9]；J. Mous 在面积 480km²，深 3—9m 的 IJsselmeer 湖区进行水声学探测时，观察到沙丁鱼 (*Sardina pilchardus*) 对探测船只明显的回避行为。尽管对东湖中鱼类的回避行为了解较少，但从目前了解的情况来看，由于东湖中鱼类主要分布在中底层，在进行垂直探测时，被探测的鱼类个体离探测船距离仅有 2—4m，鱼类对探测船的回避行为是可能存在的。因此，今后如采用水声学方法估算东湖鱼类的资源量，应对这种可能存在的偏差进行实验和校正，以免资源量的估计较实际偏小。

参考文献:

[1] 刘建康. 东湖生态学研究(二)[M]. 北京: 科学出版社, 1995, 1—25

[2] 立川贤一、朱志荣、三浦泰藏. 用浅水湖泊型鱼探仪估算东湖鱼群数量[J]. 水生生物学报, 1986, 10(4): 311—326

[3] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 1987, 283—295

[4] 黄根田、谢平. 武汉东湖鱼类群落结构的变化及其原因的分析[J]. 水生生物学报, 1996, 20: 38—46

[5] 谢松光. 扁担塘和梁子湖小型鱼类群落的空间和营养格局研究[D]. 中国科学院水生生物研究所博士学位论文, 1999

[6] 刘建康. 东湖生态学研究(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1990, 152—164

[7] Tameishi H, Shinomiya H, Aoki I, et al. Understanding Japanese sardine migrations using acoustic and other aids [J]. ICES J. Mar. Sci. 1996, 53: 167—171

[8] 刘建康、何碧梧. 中国淡水鱼类养殖学(第三版)[M]. 1992, 351—363

- [9] Soria M, Féon P, Gerlotto F. Analysis of vessel influence on spatial behaviour of fish schools using a multi beam sonar and consequences for estimates by echosounder [J]. ICES J. Mar. Sci. 1996, **53**: 453—458

HYDROACOUSTIC SURVEYS ON TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTIONS OF STOCKED CARPS IN THE EAST LAKE

TAN Xi chang¹, XIA Li-qi¹, Kenichi TATSUKAWA², XIE Ping¹ and CHANG Jiar bo¹

(1. *Institute of hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;*

2. *Ocean research institute, University of Tokyo, Tokyo 164-8639*)

Abstract: The temporal and spatial distributions of artificial stocked carps in the East Lake were investigated with an echo sounder in 2000. The transducer was set horizontally and vertically to get fish echoes from surface (depth less than 1.5m) and middle bottom (depth from more than 1.5m to the bottom) water layers, respectively. Surveys both for surface and middle bottom water layers were undertaken once monthly along the same route. Statistics on fish densities were carried out separately by dividing the survey route into 114 units, which one unit was 100 meters in length. The fish preferred middle bottom to surface water layer in the East Lake. Average of density fish in middle bottom (0.0474 ind/m^3) was much higher than that in surface (0.0069 ind/m^3), and significant difference between the two water layers was observed (T-test, $P < 0.001$). Meanwhile, significant differences in fish densities were also observed horizontally within the 114 statistical units both in surface ($F = 1.62, P < 0.001$) and middle bottom ($F = 2.11, P < 0.001$). The spatial variations of horizontal distribution in fish densities in the East Lake might be caused mainly by aggregation activity of fish, water temperature, and sewage discharge. However, no significant correlation was found between the aggregation activity of fish and water depth, or distances from the sampling sites to the shores.

Key words: The East Lake; Stocked carps; Temporal and spatial distribution; Hydroacoustic survey