

采用渔业声学方法和 GIS 模型对楠溪江 鱼类资源量及空间分布的评估

陶江平¹, 艾为明^{2,3}, 龚昱田¹, 陈志俭^{3,5}, 李尚鲁^{3,4}, 谢起浪^{3,4}, 陈少波^{3,4}, 周志明^{3,4,*}

(1. 水利部/中国科学院 水工程生态研究所, 武汉 430079; 2. 温州医学院 生命科学院, 温州 325035;
3. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 温州 325005; 4. 浙江省海洋水产养殖研究所, 温州 325005;
5. 永嘉县农业局, 温州 325100)

摘要:采用快捷、直接、经济的渔业声学调查方法, 结合 GIS 模型对温州楠溪江 4 个主要渔业作业区域的鱼类空间分布及资源量进行了评估。结果表明, 4 个区域的鱼类平均目标强度为 (-55.03 ± 5.44) dB, 平均体长约为 7 cm, 范围 3—10 cm, 各区域的鱼类大小没有显著的统计学差异 ($P > 0.05$)。同时 4 个区域的鱼类平均密度为 8.87 ind./1000 m³, 95% 置信区间为 1.66—16.09 ind./1000 m³。其中区域Ⅲ的鱼类密度最高, 平均密度为 (20.06 ± 9.34) ind./1000 m³。通过鱼类分布的 GIS 图形得知, 鱼类的空间分布呈现斑块状的分布形式。按照 ArcGIS 对鱼类密度进行的栅格化数据, 并结合各个栅格所代表的水体体积, 进行鱼类资源量的估算, 结果为 4 个探测区域的鱼类总尾数为 2.5 万尾, 各个区域的鱼类资源量分别为: 3971 ind.、11478 ind.、6587 ind.、2978 ind.。

关键词:渔业声学; 地理信息系统 (GIS); 楠溪江; 空间分布; 鱼类资源量

Assessment of fish abundance and distribution using fisheries acoustics and GIS modeling in the Nanxi River of Wenzhou City

TAO Jiangping¹, AI Weiming^{2,3}, GONG Yutian¹, CHEN Zhijian^{3,5}, LI Shanglu^{3,4}, XIE Qilang^{3,4}, CHEN Shaobo^{3,4}, ZHOU Zhiming^{3,4,*}

1 Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, China

2 College of Life Science, Wenzhou Medical College, Wenzhou 325035, China

3 Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Coastal Bio-resource, Wenzhou 325005, China

4 Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China

5 Yongjia Agricultural Bureau, Wenzhou 325100, China

Abstract: Fisheries acoustics methods have been applied in fisheries investigation and research for decades, which superioered in direct, effectual, economical and does not result in fish mortality in fish sampling. They have been used to acquire the *in situ* information, such as fish abundances, temporal-spatial distribution and behaviours. Nanxi River is a model stream and is plentiful in fishery resources in the southern part of Zhejiang Province, which is located near the Wenzhou city. The Reach located in Shatou town, Fuli village Shizhu village and Lixi village (Area I—IV) is the major fisheries area. More than 37 fish species had acquired in those areas from 2007 to 2009, with *Zacco platypus* as the dominant species.

In present study, the acoustical fish abundance assessment was conducted in the four Reaches of Nanxi River using EY60 split-beam echosounder (200 kHz, Simrad) in 4th and 5th October, 2008. In post processing analysis, the GIS model had been applied to analysis the fish spatial distribution pattern in Area I—III, using the interpolation method of inverse distance weighting (IDW). During such procedure, the survey areas were divided into numerous gridding cells by the grid

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2007F10011, 2009F20009); 温州市科技计划资助项目(S20080048, S20090054)

收稿日期:2009-07-27; **修订日期:**2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jptao@mail.ihe.ac.cn; zhou8899@126.com

size of about 30m × 10m in the Area I and Area II, and an grid size of about 10m × 10m in the Area III. The result showed that, the mean target strength of four investigation area is (-55.03 ± 5.44) dB, and the standard length of fishes are ranging from 3 to 10 cm, with the mean length of 7 cm, according to the empirical measures of target strength. The deviation of the fish sizes in the four area are not significant ($P > 0.05$). The mean density of four survey area is 8.87 ind./1000m³, with the 95% confidence interval ranging from 1.66 ind./1000m³ to 16.09 ind./1000m³. The mean fish density of Area III is (20.06 ± 9.34) ind./1000m³, which is the highest fish density among these areas. The fish spatial distribution in each survey area are aggregated into plaque pattern, based on the GIS modeling. However, the fish distribution pattern of Area IV had not revealed in this study, for the zigzag transects of this area is not dense. As for the fish biomass, the four investigation area are all together possessed of 25 thousand fish individuals, the biomass of each survey area is 3971ind., 11478ind., 6587ind., 2978ind. respectively, according to vectoring grid technique of fish density, and the volume of element grid.

Key Words: fisheries acoustics; GIS; Nanxi River; spatial distribution; fish abundance

鱼类资源评估是渔业资源开发的基础,准确、及时评估鱼类资源数量对渔业管理和生产具有重要意义^[1]。渔业声学调查方法对鱼类资源的探测具有快捷、直接、经济的特点,应用前景广阔^[2-3]。其中鱼探仪(又称回声探测仪)作为水下生物资源研究的一个重要手段,广泛应用于鱼类资源评估、时空分布及其行为学研究^[3-5]。该方法自 20 世纪 80 年代引入我国以来,已成为我国海洋渔业资源调查和研究的重要方法之一。例如,曾成功的进行了太平洋狭鳕(*Theragra chalcogramma*)等资源调查^[6-7];另外,赵宪勇通过受控实验方法拟合获得了黄海带鱼(*Trichiurus haumela*)的体长与目标强度的换算关系式^[8],在渔业声学的非线性理论研究方面,建立了灵活、简便而实用的密集鱼群隐蔽效应的估测与补偿模型^[9]。与此同时,渔业声学方法也引入了内陆水体鱼类资源的调查研究,例如湖泊中鱼群丰度调查^[10],长江、珠江等水域的鱼类资源调查^[11-13]。为精确的描述鱼类空间分布结构及其变异形式,近年来,国外相关学者开始借鉴和引进地统计学的原理和方法,并引入渔业声学的数据分析中。以此来进行鱼类空间分布结构与变异的可视化描述,克服渔业资源的声学评估中以单一、平均值的点估计为主要途径的局限性^[14-15]。

楠溪江为浙江南部典型河流,拥有鱼类 60 余种,为永嘉县重要的渔业水域^[16]。其中沙头镇江段、福利村江段、石柱村江段以及鲤溪村江段为主要的渔业作业区域。据 2007—2009 年的渔获物调查,在该 4 个江段共获得鱼类约 37 种,主要为鲤科鱼类。其中以宽鳍鱲(*Zacco platypus*)为优势种群,占统计总尾数的 35% 以上,其次为花鲢(*Hemibarbus maculatus*)、温州光唇鱼(*Acrossocheilus wenchowensis*)、乐山棒花鱼(*Abbottina kiatingensis*)、小鰾(*Sarcocheilichys parvus*)、原缨口鳅(*Vanmanenia stenosoma chekianensis*)、台湾铲颌鱼(*Varicorhinus barbatulus*)等,分别占统计总尾数的 8%—4%^[17]。

为协调楠溪江渔业的保护与开发,相关部门于 1998 年实施了楠溪江的全流域渔业承包经营,由于对当地渔业资源状况不了解,护渔方法欠妥,承包方经营不善等原因,楠溪江的渔业资源遭到了极大的破坏。因而本研究以 4 个主要渔业作业江段为调查对象,采用声学调查方法对其进行探测,并结合地统计学方法(GIS 模型),研究不同江段鱼类的数量和空间分布形式,以期对楠溪江渔业管理和发展提供有价值的参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究地区介绍

楠溪江(北纬 27°59′—28°37′,东经 120°19′—120°59′)位于温州市永嘉县境内,为浙江南部的典型河流,年径流量 28.7 亿 m³,河道呈树枝状分布状(图 1)。其中干流江段长约 135.5km,江面宽度范围为 0.05—0.8km,水深范围为 0.5—20.5m。在 4 个主要渔业作业江段的水深较深,平均水深在 4.0—7.0m 之间。

1.2 声学调查方法

2008 年 10 月 4—5 日,采用声学探测方法对该江段主干流的 4 个区域进行了探测。探测江段总长度约为

6.5km,探测水面面积约为 85hm²。具体探测区域分别为:沙头镇江段(区域 I),福利村江段(区域 II),石柱村江段(区域 III)和鲤溪村江段(区域IV)。基本信息见图 1 和表 1。

声学探测使用的设备为 Simrad EY60 型鱼探仪(携带分裂波束式换能器,型号 ES200-7C,工作频率 200kHz,半功率角为 7°)。使用当地渔船进行走航式探测,探测航速约为 1.0m/s。在探测过程中换能器固定于前舷,入水深约 0.4m,波束发射方向垂直向下。船只以“之”字路线行驶。采用 Garmin 公司生产的 GPS60CS 进行导航,利用 IBM T60 便捷式电脑进行声学数据和 GPS 数据的同步存储。数据采集过程中,换能器的发射功率为 240W;脉冲宽度为 64us。为消除不同介质条件对换能器性能的影响,获得换能器的准确增益参数,以确保回波强度的准确度^[2]。探测之前严格按照设备出厂说明的要求,采用直径为 13.7mm 的钨铜金属球对 TS 的标准值进行实地的校准。

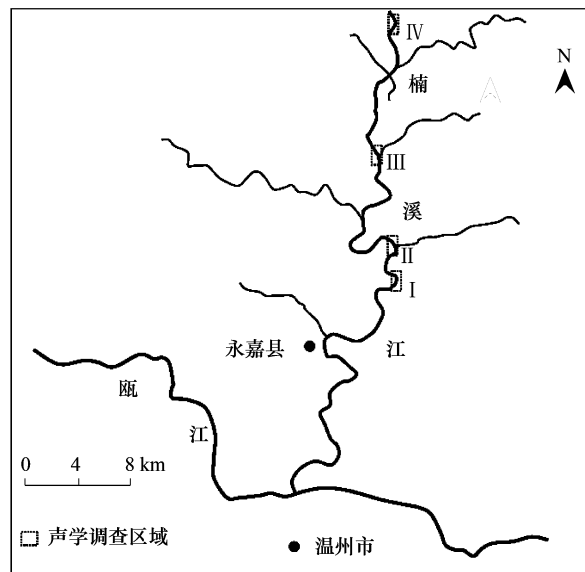


图 1 楠溪江主干流的声学调查区域
Fig.1 Acoustic survey area in the Nanxi River

表 1 楠溪江典型江段声学探测的基本信息
Table 1 The primary information of each survey area in Nanxi River

探测区域 Survey area	探测江段长度/km Length of Reach	水面面积/hm ² Hectare of the survey area	探测位置 GPS sites of the survey area	
			起始位点 Start site	终止位点 End site
区域 I Area I	2.30	40	28°11.867'N, 120°45.896'E	28°12.528'N, 120°44.911'E
区域 II Area II	1.70	30	28°13.250'N, 120°43.938'E	28°13.727'N, 120°44.575'E
区域 III Area III	1.10	10	28°15.600'N, 120°45.379'E	28°16.160'N, 120°45.425'E
区域 IV Area IV	0.65	6	28°23.970'N, 120°45.760'E	28°24.194'N, 120°45.610'E

1.3 声学数据的映像分析

通过 Sonar-5 分析软件(Lindem Data Acquisition, Oslo, Norway)对声学数据进行分析。Sonar-5(Sonar-5 Post processing system)可应用于鱼类目标信号的提取,单体鱼的自动计数,生物量评估等。本文采用合理的参数设置有效的消除噪音干扰并准确的提取信噪比较低低的信号。同时采用单回声检波与跟踪分析(single echo detection and tracking methods, STM)和图像分析方法进行回声映像的分析,逐一提取目标信号的目标强度(Target strength, TS)均值(文中统一定义为 TS),分布位点水深等参数^[3]。数据分析的相关声呐参数分别为:单回声检波(Single Echo Detection, SED)回波阈值为-60dB;水体吸收系数为 8.72dB/km;最小回波长度为 0.8;最大回波长度为 2.0;最大相差为 1.2;声学截面的最大增益补偿(Max. Gain Compensation, MGC)为 6dB。

1.4 鱼类资源量估算(密度估算)

采用 Kieser and Mulligan^[18]的回声计数方法进行鱼类密度的估算,算法如下:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot \tan(\theta'/2) \cdot \tan(\phi'/2) \cdot (R_2^3 - R_1^3) \tag{1}$$

$$\varphi = \frac{N}{PV} \tag{2}$$

式中, N 为探测到的鱼类的数目, $\varphi = f/m^3$ 为单位体积水体或者单位面积水面鱼类数量,即鱼类体积密度或鱼类面积密度。 V 为每一个 Ping 探测的水体体积; P 为分析数据的 ping 数量, V 为波束探测的水体体积, θ'

和 ϕ' 分别为换能器的横向和纵向方向的有效检测角度,其为回波在声学截面方向上获得最大增益补偿 (MGC) 时的张角, R_2 为探测位置水深, R_1 为换能器 1m 以下的水深。

1.5 鱼类时空分布的 GIS 建模

为了解不同探测区域的鱼类空间分布特征,使用 ArcGIS9.0 软件进行区域 I—III 的鱼类空间分布的 GIS 建模(区域 IV 的鱼类空间分布的 GIS 图形未给出,原因见文中讨论部分)。

建模过程中,将鱼探仪获得的数据(包括采样点 GPS 坐标,水深和鱼类密度)导入 ArcGIS 平台,然后将获得的相关数据进行栅格化,采用反距离加权法(Inverse Distance Weighting, IDW)进行插值运算。该方法考虑了距离对插值的影响,较常用于快速建模,具体算法见文献^[14, 19]。建模涉及幂值 P ,最大搜寻半径 N 和输出栅格大小 3 个参数的设定。根据相关文献的建议、实际采样点密度和流域大小,设定 $p = 2^{[14-15, 19-20]}$, $N = 3$ 。区域 I 和区域 II 设输出栅格大小约为 $30\text{m} \times 10\text{m}$,区域 III 输出栅格大小约为 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 。

1.6 鱼类资源量估算

鱼类资源量(生物量)估算过程中,通过 ArcGIS9.0 软件获得的各个区域的鱼类密度的栅格数据。同时将各个网格的平均水深,以及各个网格所代表的水面面积等数据进行分别计算,获得每个网格所代表的水体体积。随后通过计算各个网格的密度和水体体积之积,即可获得各个网格内的鱼类总尾数。最后通过统计每个网格内的鱼类总尾数,从而获得不同区域的鱼类资源总量。具体算法如下:

$$B = \sum_{i=1}^k \varphi_i \cdot V_i \quad (3)$$

式中, B 为探测区域的鱼类生物量。 i 为被分析的栅格的序号; φ_i 为第 i 个网格内鱼类的密度,来源于鱼类空间分布的 GIS 模型获得的栅格化的数据; V_i 为 φ_i 范围内获得的水体体积,由第 i 个网格所代表的水面面积和该网格的实际探测的水深获得。 k 为各个探测区域的栅格总个数,其中在区域 I, $k = 128$; 在区域 II, $k = 88$, 在区域 III, $k = 92$ 。

1.7 数据的统计分析

各探测区域的鱼类目标强度差异性的非参数检验,以及鱼类密度差异的方差分析(ANOVA)等均采用统计分析软件 SPSS(V. 13.0)进行。

2 结果与分析

2.1 单回声检波获得的鱼类个体数量

本次实验在 4 个探测区域内,共获得典型的鱼类个体回波信号 539 个,最大 TS 值为 -27.15dB ,最小 TS 值为 -60dB (即 SED 回声映像滤波的阈值),平均 TS 值为 $(-55.03 \pm 5.44)\text{dB}$ 。按照 Foote^[21] 的经验公式 ($TS = 20\log_{10}L - 67.4$) 可得,该江段鱼类的平均体长范围约为 7cm ,变化范围为 $3\text{—}10\text{cm}$ 。

各区域内探测到的鱼类信号数量、 TS 见表 2。各区域的鱼类个体的 TS 值分布集中向低 TS 值倾斜。大于 60% 的鱼类个体的目标强度在 $-60\text{—}-50\text{dB}$ 之间,4 个探测区域分别为 62.5%、90.0%、88.2% 和 82.8%。低 TS 值的个体信号多,高 TS 值的个体信号非常少,各区域鱼类个体的 TS 值频数分布见图 2。

由于 4 个探测区域的鱼类个体的分布不符合正态分布形式(图 2),故采用非参数检验方法对各区域内不同区间的鱼类 TS 值的差异进行检验。结果为 ($\chi^2 = 1.921, P > 0.05$),各区域内鱼类 TS 值的差异不显著。

表 2 声学方法获得的楠溪江典型江段鱼类个体的基本信息

Table 2 The essential information of single fish obtained by acoustic method in the four surveyed area of Nanxi River

探测区域 Survey area	获得鱼类尾数 / (ind.) No. of individual fish	最大 TS (dB) Max. TS of individuals	平均 $TS \pm$ 标准差 (dB) Mean $TS \pm$ SD
区域 I Area I	70	-32.83	-56.44 $\pm$ 5.67
区域 II Area II	188	-34.56	-57.77 $\pm$ 5.40
区域 III Area III	246	-34.77	-57.80 $\pm$ 5.24
区域 IV Area IV	35	-27.15	-53.81 $\pm$ 6.84

2.2 回声计数方法获得的各区域内鱼类密度

通过回声计数方法获得 4 个探测区域的鱼类个体的平均密度(ind./1000m³)为(8.87 ± 3.66) ind.。95% 置信区间为 1.66—16.09 ind.。最大密度为在探测区域Ⅲ(石柱村江段)内,其为 1106.31 ind.。具体位置的 GPS 位点为:28°15.903'N,120°15.477'E。

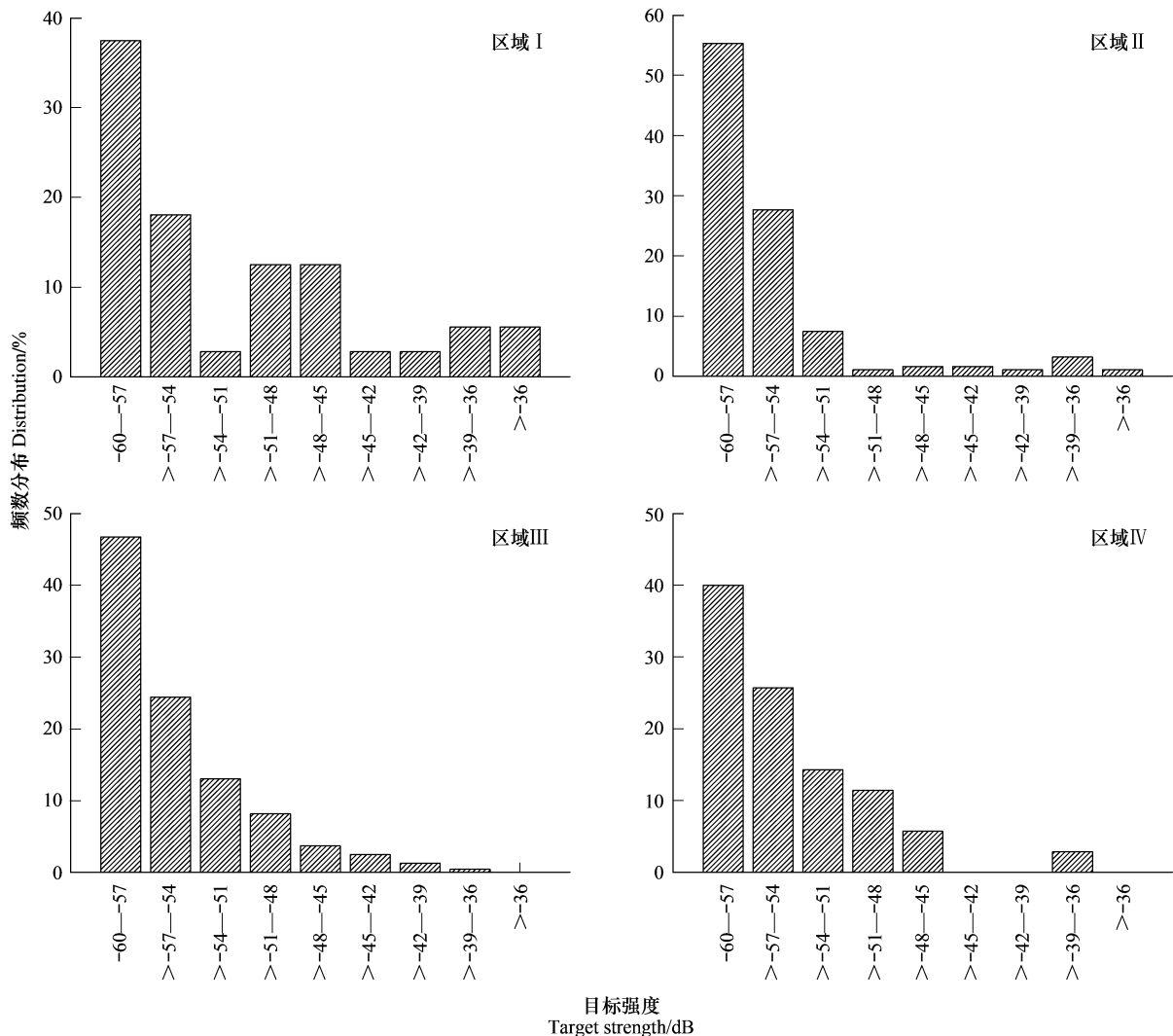


图2 4个探测江段鱼类目标强度频数分布

Fig.2 Frequency distribution of fish TS in the four area of Nanxi River

其中区域Ⅰ的鱼类平均密度为(1.91 ± 1.17) ind.,最大密度为 149.32 ind.,中心位置的 GPS 位点为 28°12.522'N, 120°44.898'E;区域Ⅱ鱼类平均密度为(7.64 ± 2.56) ind.,最大密度为 141.84 ind.,中心位置的 GPS 位点为 28°13.467'N, 120°44.555'E;区域Ⅲ鱼类平均密度为(20.06 ± 9.34) ind.,最大密度为 1106.31 ind.。中心位置的 GPS 位点为:28°15.903'N,120°15.477'E。区域Ⅳ的鱼类平均密度为(7.32 ± 4.49) ind.,最大密度为 87.36 ind.,中心位置的 GPS 位点为 28°15.724'N, 120°45.444'E。4 个探测区域的鱼类平均密度分布情况见图 3。

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)进行 4 个区域的鱼类密度差异的显著性检验。结果表明,区域Ⅲ和其他 3 个区域之间的鱼类密度有显著性的统计学差异($P < 0.05$),其他 3 个区域之间的鱼类密度无显著性的统计学差异($P > 0.05$)。结合图 3 可知,区域Ⅲ的鱼类密度要显著高于其他 3 个区域的鱼类密度。

2.3 鱼类空间分布特征的 GIS 模型

采用 ArcGIS9.0 软件对 3 个探测区域的鱼类密度的空间分布进行 GIS 建模,结果见图 4。

从 3 个区域鱼类空间分布的 GIS 图可以看出,鱼类空间分布有其特定的形式,主要为斑块状聚集的空间结构,不同区域鱼类密度差异很大。按照鱼类密度进行的栅格化数据,并结合各个栅格的水体体积、实测水深等数据,对各个栅格进行描述,结果见图 5。

区域 I 中,未探测到有鱼类分布的区域约有 26.43hm²,约占总探测水面面积的 66.08%,平均水深约为 5.78m;鱼类密度在 0—1ind./1000m³ 之间的水面面积约为 3.01hm²,约占总探测面积的 7.55%,平均水深为 9.43m;密度大于 10ind./1000m³ 的水面面积约为 10.24hm²,平均水深约为 6.08m;鱼类平均密度大于 100ind./1000m³ 的水面面积约为 0.30hm²,约占总探测水面面积的 0.75%,平均水深约为 4.16m。

区域 II 中,未探测到鱼类分布的区域约有 20.79hm²,约占总探测水面面积的 69.28%,平均水深约为 3.10m;鱼类密度在 0—1ind./1000m³ 之间的水面面积约为 0.45hm²,约占总探测面积的 4.48%,平均水深为 11.60m;密度大于 10ind./1000m³ 的水面面积约为 8.41hm²,平均水深约为 7.05m;鱼类平均密度大于 100ind./1000m³ 的水面面积约为

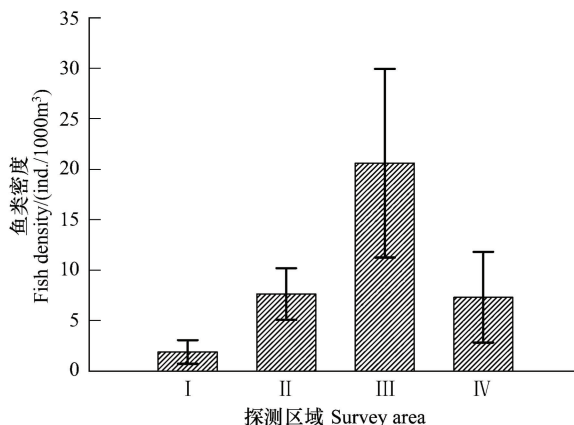


图3 4个探测区域内鱼类密度分布情况

Fig.3 Fish density distribution in the four survey areas

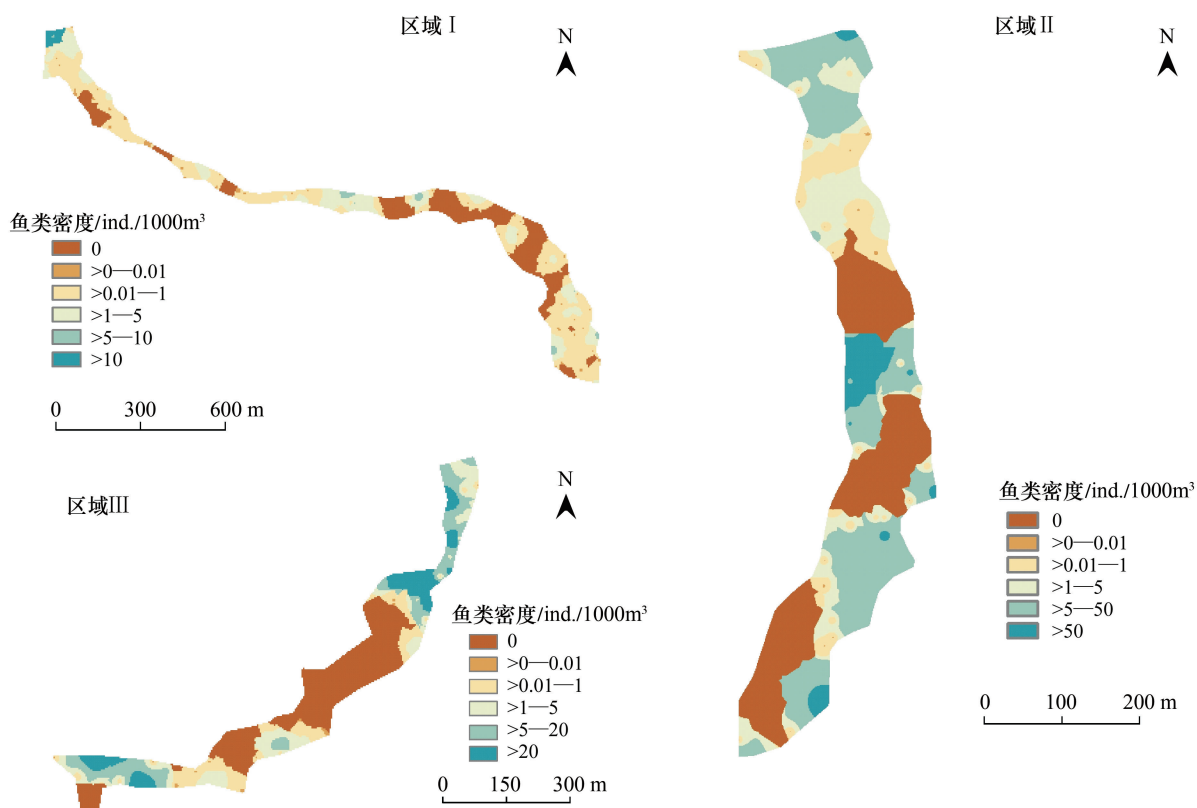


图4 探测区域鱼类空间分布的 GIS 图

Fig.4 GIS map of fish spatial distribution in the three survey area

0.8hm², 占总探测水面面积的 2.67%, 平均水深为 2.30m。

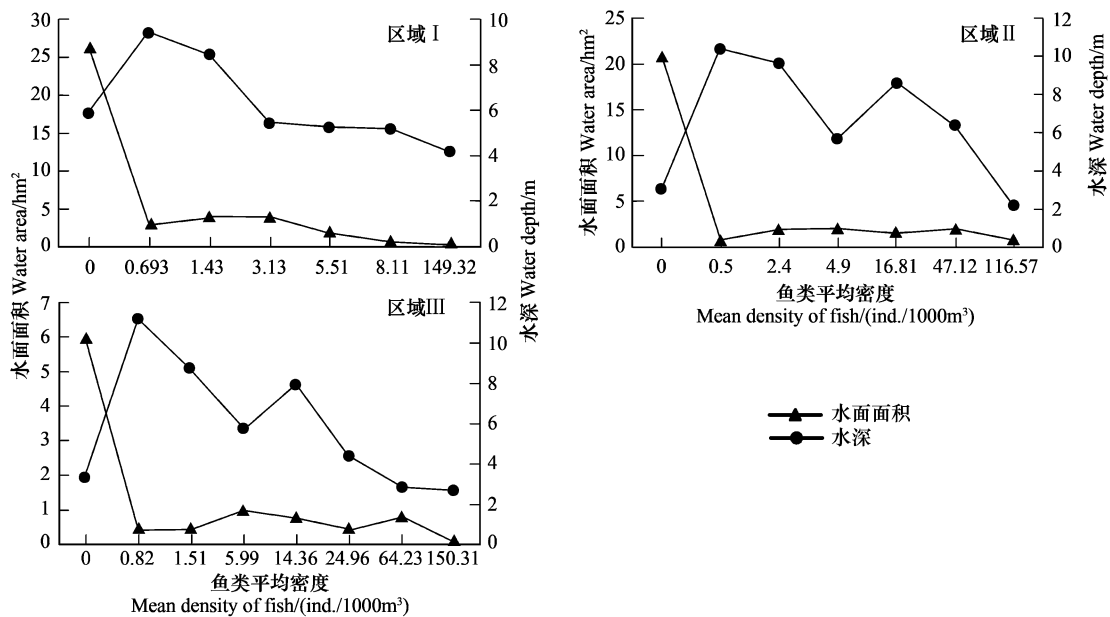


图5 各区间内的鱼类密度所拥有的水面面积和平均水深情况

Fig.5 The size of water area and the water depth in each interval of fish density

区域Ⅲ中,未探测到鱼类分布的区域约有 5.99hm²,约占总探测水面面积的 59.86%,平均水深为 3.29m; 鱼类密度在 0—1ind. 之间的水面面积约为 0.81hm²,约占总探测水面面积的 2.70%,平均水深为 10.30m; 密度大于 10ind. 的水面面积约为 2.01hm²; 鱼类平均密度大于 100ind. 的水面面积约为 0.10hm², 占总探测面积的 1.1%, 平均水深为 2.80m。

2.4 鱼类生物量估算

基于以上鱼类密度 GIS 栅格化数据、各个栅格的水面面积、水深等数据,对鱼类资源总量进行估算(式 3),结果为,区域Ⅰ的鱼类资源总量约为 3971ind.; 区域Ⅱ的鱼类资源总量约为 11478ind.; 区域Ⅲ的鱼类资源总量约为 6587ind.。由于区域Ⅳ未进行鱼类密度分布的栅格化,因此采用探测区域的平均鱼类密度和探测的水体体积进行直接估算,结果约为 2978ind.。4 个探测区域的鱼类总尾数约为 2.5 万尾。

3 讨论

本论文采用声学调查方法和地统计学方法对楠溪江 4 个区域的鱼类分布及资源量进行调查研究。由于楠溪江的地理条件的限制,江段很窄,同时水深很浅,实测结果表明,该江段的平均水深小于 5m。因此,调查区域仅选择在江面较宽,水深较深的 4 个区域进行,同时这 4 个区域也是当地的主要渔业作业区域。为获得鱼类资源量的更加精确估算,特结合鱼类时空分布的 GIS 模型结果对其资源量进行评估。

由于 4 个探测江段水深较浅,平均水深约为 5.3m,最大水深为 20.5m,因此在探测过程中,鱼类对探测船只可能有一定的回避行为,从而可能会导致探测结果与实际情况有一定的偏差^[22]。另外,在数据分析过程中,为了消除探测盲区对探测结果的影响,因此数据分析只分析了水深 1m 位置至水底的鱼类密度,而对水面至水深 1m 位置的鱼类分布情况未作分析。尽管如此,声学调查方法依然可作为鱼类资源现状较为全面的评估方法,可克服传统的渔业资源评估方法的诸多局限性^[1]。

对于探测到的鱼类个体,对于 TS 而言,其值要小于其他探测范围的鱼类 TS,例如珠江的 TS 均值为 -42.2dB^[12-13]。因为该江段鱼类的优势种为宽鳍鱲(*Zacco platypus*),其种群为小型鱼类,最大的个体也不超过 20cm^[16],因此所获得的鱼类的 TS 与珠江等江段获得的 TS 相比要小。另外,TS 的频数分布结果显示,其鱼类主要为小型个体,中大型鱼类个体所占比例很小。通过经验公式换算后,获得的鱼类平均体长约为 7cm,变

化范围在 3—10cm 之间。通过 2007—2009 年的连续渔获物调查结果显示,该江段的鱼类平均体长为 7.57cm^[17],该结果与声学调查结果也很接近。因此,该声学调查结果基本反应了调查江段可捕捞群体的大小、种群结构及数量。

对于鱼类资源量,由于难以进行鱼类种类的鉴别,因此仅从整体对探测到的所有鱼类进行估算。本次实验结果显示,在探测区域以内,鱼类平均密度为 8.87ind./1000m³,95% 置信区间为 1.66—16.09ind./1000m³。而国内其他江河的鱼类密度数据显示,在珠江西江,广东鲂的密度为 2—15ind./1000m³^[12]。而在国外,例如,波兰白鲑湖的 4 个小湖泊的声学探测结果显示,鱼类密度均值分别为 9196ind./hm²、7535ind./hm²、7314ind./hm² 和 5887ind./hm²^[22]。因此,与其他区域的鱼类密度比较,该江段的鱼类密度与其他区域的差异并不大。对于水库和河流渔业,由于渔业产量取决于河流的长度和河流面积,同时对于河流的特定区域而言,还取决于沿河流连续统片段分割的位置,因而不同地区之间或者同一地区内不同水域在渔业产量上有相当大的变化^[23]。由于本文未获得楠溪江和相关河流的基本参数,因而无法进行相关水域的鱼类资源的直接比较,但是可作为衡量楠溪江鱼类资源现状的一条参考依据。

同时,鱼类生物量估算过程中,由于在同一水面面积的情况下,不同区域的水深差异会导致探测水体体积以及估算范围的水体体积的差异。因此为消除水体体积差异对估算结果的影响,特将不同个体密度的情况下的资源量进行分批估算。本文采用鱼类时空分布 GIS 模型的栅格化数据,结合各个栅格的所代表的水面面积、水深进行鱼类资源量的估算,有效的对不同区域空间的鱼类密度和水体体积进行了权重,克服了单一点估计的局限性,增加了鱼类资源量估算的精确度。

进行鱼类时空分布的 GIS 建模过程中,以 IDW 进行插值。该方法是一种几何方法,具有计算相对简单、操作便利等特点,是 ArcGIS 中最常用的空间内插方法之一^[19]。在计算网格节点时,配给的权重是一个分数,所有权重的总和等于 1.0。当一个待插点与一个网格节点重合时,该待插点被给予一个实际为 1.0 的权重,所有其他观测点被给予一个几乎为 0.0 的权重,即得准确插值^[20]。IDW 作为一种局部插值法,其假设前提是未知值的点受较近控制点的影响比较远控制点的影响更大^[15, 20]。该方法要求对受影响的局部控制点有清楚的认识,且其结论的正确性直接受到采样点数值的、位置及栅格的大小等的影响。在建立鱼类空间分布的 GIS 模型中,区域 I—III 的采样点基本为均匀分布,这样有效地反映研究要素在空间上的分布特征。而在区域 IV,鱼探仪获得的密度的样点接近直线形式,探测路线不够密集,仅获得 24 个探测位点的数据。同时,在边界区域获得的样点数有限,不方便划分栅格。因而无法真实地反映鱼类空间分布的实际状况,故文中未作分析。

鱼类作为水生态系统中的顶级群落,水生态环境的各种变化,最后都会在鱼类上得到相应。对于鱼类时空分布,不同探测江段的鱼类密度有一定的差异,区域 III 的鱼类密度明显高于其他 3 个探测区域的鱼类密度。相关研究结果显示,鱼类的栖息和繁殖和其环境存在一定的关系,温度、流速、盐度和水深等环境变量被认为是决定鱼类的分布和丰度的关键因素^[24-25]。但是由于缺乏相关的环境因子数据,对造成不同江段鱼类密度差异的原因有待进一步研究。

References:

- [1] Zhan B Y. Fishery Resources Assessment, Beijing: China Agricultural Press, 1995: 236-253.
- [2] Zhao X Y, Chen Y Z, Li X S, Chen W Z, Li Y Z, Sun J M, Jin X S, Tang Q S. Acoustic estimation of multi-species marine fishery resources. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 25 (suppl): 192-202
- [3] Tao J P, Qiao Y, Tan X C, Chang J B. Species identification of Chinese sturgeon using acoustic descriptors and ascertaining their spatial distribution in the spawning ground of Gezhouba Dam. Chinese Science Bulletin, 2009, 54 (21): 3972-3980.
- [4] Getabu A, Tumwebaze R, MacLennan D N. Spatial distribution and temporal changes in the fish populations of Lake Victoria. Aquatic Living Resources, 2003, 16: 159-165.
- [5] Jones I J, Winfield I J, Case F. Assessment of long-term changes in habitat availability for Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in a temperate lake using oxygen profiles and hydroacoustic surveys. Freshwater Biology, 2008, 53: 393-402.

- [6] Tang Q S, Wang W X, Chen S Z, Li F G, Zhao X Y, Jin X S, Chen J F, Dai F Q. Stock assessment of walleye Pollock in the north Pacific ocean by acoustic survey. *Journal of Fisheries of China*, 1995, 19(1): 8-20.
- [7] Chen G, Chen W Z. The application of acoustic method in fishery resources survey. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2003, 12(1): 40-44.
- [8] Zhao X. In situ target-strength measurement of young hairtail (*Trichiurus haumela*) in the Yellow Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 2006, 63: 46-51.
- [9] Zhao X and Ona E. Estimation and compensation models for the shadowing effect in dense fish aggregations. *ICES Journal of Marine Science*, 2003, 60: 155-163.
- [10] Tatsukawa K I, Zhu Z L, Miura T. Hydroacoustic estimates of fish in the East Lake of Wuhan city using shallow water Echosounder, *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1986, 10(4): 311-326.
- [11] Qiao Y, Tang X C, Brosse S, Chang J B. Chinese Sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze River: a hydroacoustic assessment of fish location and abundance on the last spawning ground. *Journal of Applied Ichthyology*, 2006, 22 (Suppl. 1): 140-144.
- [12] Tan X C, Li X H, Chang J B, Tao J P. Observation of the Spawning Aggregation of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River. *Journal of Freshwater Ecology*, 2009, 24 (2): 293-299.
- [13] Tan X C, Li X H, Lin J Z, Zhou D H, Gao X, Li M J. Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1756-1762.
- [14] Petitgas P. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application. *ICES Journal of Marine Science*, 1993, 50, 285-298.
- [15] Gimona A and Fernandes P G. A conditional simulation of acoustic survey data: advantages and potential pitfalls. *Aquatic Living Resources*, 2003, 16: 123-129.
- [16] Mao J R. Zhejiang Fauna for Freshwater Fish. Zhejiang: Zhejiang Science and Technology Press, 1991: 9-21.
- [17] Gu J Y. Primary Investigation of the Fish Resources in the Nanxi River. Wenzhou: Dissertation for degree of Master of Science, College of Life Science, Wenzhou Medical College, 2009: 3-15.
- [18] Kieser R and Mulligan T J. Analysis of echo counting data: A model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1984, 41: 451-458.
- [19] Li X, Cheng G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(3): 260-265.
- [20] Zhang C Q, Zhou H, Feng X T, Zhang Z H, Dong S R. Method for obtaining local stress field based on interpolation and numerical simulation method. *Rock and Soil Mechanics*, 2008, 29(8): 2016-2024.
- [21] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1987, 82: 981-987.
- [22] Godlewska M, Długoszewski B, Doroszczyk L, Józwiak A. The relationship between sampling intensity and sampling error — empirical results from acoustic surveys in Polish vendace lakes. *Fisheries Research*, 2009, 96: 17-22.
- [23] Jackson D and Marmulla G. The Influence of Dams on River Fisheries//Acreman M C, Farquharson F A K and McCartney M P eds. The Report of World Commission on Dams, Earth can Publications, 2000, III: 14-15. 2008, <http://www.dams.org/report/>.
- [24] Mabragaña E, Lucifora L O, Massa A M, The reproductive ecology and abundance of *Sympterygia bonapartii* endemic to the south-west Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 2002, 60: 951-967.
- [25] Vögler R, Milessi A C, Quiñones R A. Influence of environmental variables on the distribution of *Squatina Guggenheim* (*Chondrichthyes*, *Squatinaidae*) in the Argentine-Uruguayan Common Fishing Zone. *Fisheries Research*, 2008, 91(2): 212-221.

参考文献:

- [1] 詹秉义. 渔业资源评估学. 北京: 中国农业出版社, 1995: 236-253.
- [2] 赵宪勇, 陈毓桢, 李显森, 陈卫忠, 李永振, 孙继闯, 金宪仕, 唐启升. 多类海洋渔业资源声学评估技术和方法探讨. *海洋学报*, 2003, 25(增刊1): 192-202.
- [6] 唐启升, 王为详, 陈毓桢, 李富国, 金宪仕, 赵宪勇, 陈聚法, 戴芳群. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究. *水产学报*, 1995, 19(1): 8-20.
- [7] 陈刚, 陈卫忠. 渔业资源评估中声学方法的应用. *上海水产大学学报*, 2003, 12(1): 40-44.
- [10] 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. *水生生物学报*, 1986, 10(4): 311-326
- [13] 谭细畅, 李新辉, 林建志, 周东华, 高翔, 李嘉敏. 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. *生态学报*, 2009, 29(4): 1756-1762.
- [16] 毛节荣. 浙江动物志: 淡水鱼类. 浙江: 浙江科学技术出版社, 1991: 9-21.
- [17] 顾继颖. 楠溪江鲤溪段鱼类资源初步调查研究. 温州: 温州医学院生命科学院硕士学位论文, 2009, 3-15.
- [19] 李新, 程国栋, 卢铃. 空间内插方法比较. *地球科学进展*, 2000, 15(3): 260-265.