

东洞庭湖长江江豚及其与鱼类资源相关性

王崇瑞¹, 索纹纹¹, 蒋国民¹, 李昊旻¹, 梁志强¹, 杨鑫¹, 袁希平¹, 李鸿¹, 廖伏初^{1,3}, 葛虹孜¹, 张辉^{2*}, 伍远安^{1,3**} (1.湖南省水产科学研究所, 湖南长沙 410153; 2.中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北武汉 434000; 3.水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 湖南常德 415000)

摘要: 为掌握东洞庭湖长江江豚种群动态分布规律及其与鱼类资源的相关关系, 2012年6月~2017年12月, 对东洞庭湖进行了54次长江江豚种群调查和8次水声学鱼类资源空间分布调查。调查结果显示: (1) 共发现长江江豚1110头次, 分布在湘阴—洞庭大桥之间长约65km的区域内; (2) 100%MCP、95%MCP、75%MCP和50%MCP下, 长江江豚栖息地面积依次为161.3、114.26、76.95和64.31 km², 占保护区总面积百分比依次为24.18%、17.13%、11.54%和9.63%; (3) 不同水位条件下, 长江江豚观测群次和头次差异显著, 枯水期可观测到群次和头次最高, 分别为(13.92±4.64)群次/次和(31.92±7.17)头次/次, 丰水期观测群次和头次最低, 分别为(5.17±1.64)群次/次和(17.25±7.46)头次/次; (4) 水声学调查结果显示, 2013年3月东洞庭湖鱼类资源平均密度最高为57.21尾/1000m³, 东洞庭湖鱼类密度与水位呈弱负相关关系, 相关系数 $r=-0.601$ ($P>0.05$); (5) GIS模型分析结果显示, 东洞庭湖鱼类资源低水位时期(枯水期和退水期后期), 集中分布于扁山至鲢鱼口区域, 高水位时期, 东洞庭湖鱼类资源分布较为分散; (6) 方差分析结果显示, 东洞庭湖低水位期鱼类资源水平密度分布不均, 扁山至煤炭湾区域鱼类资源水平空间平均密度最高, 与其它区域有显著性差异 ($P<0.05$), 高水位时期鱼类分布较为均匀, 方差分析显示, 除煤炭湾至鹿角区域与城陵矶至洞庭大桥区域和扁山至煤炭湾区域分别有显著性差异之外 ($P<0.05$), 其他水域之间无显著性差异 ($P>0.05$); (7) Pearson相关性分析显示长江江豚头次与对应的鱼类密度呈显著正相关, $R^2=0.86$, $P<0.01$, 长江江豚可能具有随鱼群迁徙的行为特征。

关键词: 长江江豚; 东洞庭湖; 种群分布; 水声学; 鱼类资源; 相关性

中图分类号: X176 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2019)10-4424-11

Spatial distribution of the Yangtze finless porpoise and relationship to fish density in East Dongting Lake, China. WANG Chong-rui¹, SUO Wen-wen¹, JIANG Guo-min¹, LI Hao-min¹, LIANG Zhi-qiang¹, YANG Xin¹, YUAN Xi-ping¹, LI Hong¹, LIAO Fu-chu^{1,3}, GE Hong-zi¹, ZHANG Hui^{2*}, WU Yuan-an^{1,3**} (1.Hunan Fisheries Science Institute, Changsha 410153, China; 2.Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 434000, China; 3.Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000, China). *China Environmental Science*, 2019,39(10): 4424~4434

Abstract: The Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) is a subspecies of finless porpoise and is known to live only in the middle and lower reaches of the Yangtze River and the adjacent Dongting and Poyang Lake. Since the 1990s the population has decreased dramatically due to habitat degradation, by-catch, water pollution and other human activities. The Yangtze finless porpoise was listed as an Endangered species on the IUCN Red List since 1996 and was listed as a top-level protected animal in China since 1989. The Dongting Lake, China's second largest freshwater lake, is located in the northern Hunan Province. The lake is at the south of the middle reach of Yangtze River and is divided into three parts: East Dongting Lake, South Dongting Lake and West Dongting Lake. Dongting Lake is important both at home and abroad due to the aquatic biodiversity, geographical location, and human activities. Dongting Lake has been for hundreds of thousands of years as one of the most important habitats for Yangtze finless porpoise. According to the population assessment by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs in 2017, there are approximately 110 individuals (10.87% of the total population) living in Dongting Lake. To assess the population distribution of the finless porpoise and its relationship with fish density, 54 line transects surveys and eight hydroacoustic surveys were conducted in East Dongting Lake covering four hydrological seasons between June 2012 and December 2017. A total of 1110 individuals were observed, and they were primarily distributed in an elongated area approximately 35km long between Xiangyin County and Dongting Bridge. The natural habitat area of finless porpoise estimated by the method of minimum convex polygon (MCP) under the 100%, 95%, 75%, and 50% were 161.3km², 114.3km², 77.0km² and 64.3km² respectively, accounting for 24.2%, 17.1%, 11.5% and 9.6% of the whole finless porpoise protected area. Results of the one-way ANOVA revealed significant differences among observations during different hydrological seasons ($P<0.05$) and the highest frequency of groups and individuals of finless

收稿日期: 2019-04-01

基金项目: 农业财政专项“长江渔业资源与环境调查”项目资助(CJDC-2017-19); 湖南省科技厅重点科研计划项目(2013NK2007); 湖北省长江生态保护基金会“豚越计划”项目(CCFTYJH2018003); 农业部物种资源保护(渔业)项目(171721301354052126)

* 责任作者, 研究员, zhanghui@yfi.ac.cn; ** 研究员, wya74859259@sina.com

porpoise were observed (13.92 ± 4.64 groups/survey and 31.92 ± 7.17 ind./survey) during the dry season. The lowest frequency (5.17 ± 1.64 groups/survey and 17.25 ± 7.46 ind./survey) occurred during the wet season. Results of the hydroacoustic surveys showed that the highest fish density was 57.21 ind./ 1000m^3 in March 2013. There was a weak negative correlation ($R = -0.601$, $P > 0.05$) between fish density and water levels in East Dongting Lake. ArcGIS modelling and hydroacoustic technology were combined to analyze the spatial distribution of fish densities, and the results showed that fish mainly distributed in Bianshan–Meitanwan (Area III), Meitanwan–Lujiao Port (Area IV) and Lujiao Port–Nianyukou (Area V) during low water (dry season and late stage of falling season). Fish were more disperse during high water. During low water of Dongting Lake, an uneven distribution of fish was found and significant differences existed between Area III and other areas ($P < 0.05$) with the highest fish density (107.52 ± 17.36 ind./ 1000m^3). Except for the significant differences between Nianyukou–Leishi Port (Area VI) and Chenglingji–Dongting Bridge (Area I), and Area III ($P < 0.05$), there were no significant differences between the other areas ($P > 0.05$). The positive relationship between the number of porpoises and fish density ($R^2 = 0.86$, $P < 0.01$), analyzed by Pearson correlation, suggests that Yangtze porpoise possesses the behavior to track fish school. Future conservation on the Yangtze finless porpoise could be more effective if special measures are conducted to stop fishing and habitat degradation related to finless porpoises in East Dongting Lake.

Key words: Yangtze finless porpoise; East Dongting Lake; population distribution; hydroacoustics; fishery resources; correlation analysis

长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*)是江豚的3个亚种之一,也是最濒危的一个亚种,仅生活在长江中下游和大型通江湖泊鄱阳湖和洞庭湖中^[1-3]。基于江豚种群基因组学最新研究结果显示,极度濒危的长江江豚种群应被作为一个独立的物种^[4]。自20世纪80年代以来长江江豚种群数量呈持续下降趋势^[5-9]。被国际自然保护联盟(IUCN)列为濒危级,被列为国家二级保护动物^[10]。农业农村部也明确要求长江江豚按照国家一级重点保护野生动物的保护要求,实施最严格的保护和管理措施。

洞庭湖是长江中下游第一个大型通江湖泊,分为东洞庭湖、西洞庭湖和南洞庭湖三部分。其中,东洞庭湖面积约占全湖的50%,是目前洞庭湖湖泊群落中面积最大、保存最完好的天然季节性湖泊,是长江流域重要水生生物物种质资源库,也是长江江豚重要的栖息地之一^[11-12]。随着环洞庭湖经济圈的日益发展,长江江豚正面临着前所未有的生存困境。为了保护洞庭湖长江江豚种群成立了东洞庭湖江豚自然保护区。由于洞庭湖长江江豚种群分布、迁徙规律和生境选择性等相关研究缺乏,重点保护区域和保护措施实施精准性不高,在洞庭湖生态环境恶化日益加剧过程中,洞庭湖江豚种群数量急剧下降,栖息地范围不断缩减。中国科学院水生生物研究所调查报告显示,2006年9月~2012年12月间,洞庭湖长江江豚种群数量由230头(占总种群数量的12.78%)减少到仅有92头(占总种群数量的8.61%),年均下降率为21.23%,如果不采取有效的保护措施,洞庭湖长江江豚很可能在未来10~20a左右出现区域性灭绝^[14]。

农业农村部正式公布2017年长江江豚考察结果,东洞庭湖长江江豚种群数量为110头(占总种群数量的10.87%),相比较2012年考察结果略有增长,但总体形势依然严峻。为避免长江江豚重蹈白鱀豚功能性灭绝的覆辙,应积极采取切实可行的保护对策。在长江江豚种群生态学方面,于道平等^[13]研究了湖口至荻港长江段长江江豚春季对生境的选择特征;Mei等^[14]对长江流域长江江豚历史调查数据研究分析得出了长江江豚正在加速灭绝;Mei等^[15]研究了半自然水体中长江江豚对生境的偏好性;Kimura等^[16]湖口附近长江干流及鄱阳湖内长江江豚种群的季节变化及其与鱼群的相关性。本文首次采用MCP方法研究了长江江豚在东洞庭湖栖息范围,并结合水声学技术分析研究了长江江豚与鱼类密度的相关性。本文结论旨在为东洞庭湖江豚保护措施制定和实施提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域

本调查区域为东洞庭湖长江江豚的主要分布区,位于东洞庭湖城陵矶三江口至营田镇的东洞庭湖主湖区(图1),往返全程约160km。

为了更为精准的分析长江江豚和鱼类资源在东洞庭湖的空间分布特征及相关性,基于湖区自然特征和受人为影响程度将调查水域分成6个区域(图1),分别为①区域 I:城陵矶至洞庭大桥之间约7.0km 水域,连通长江通道,受人为影响最严重;②区域 II:洞庭大桥至扁山之间约8.0km 水域,自然湖区

出水口,人为影响较重;③区域 III:扁山至煤炭湾之间约 10.7km 水域,主湖区,采砂活动重点区;④区域 IV:煤炭湾至鹿角之间约 10.7km 水域,主湖区,航运和采

砂区;⑤区域 V:鹿角至鲇鱼口之间约 11.0km 水域,湘江和西、南洞庭湖汇流区;⑥区域 VI:鲇鱼口至磊石码头之间约 6.8km 水域,湘江洪道。

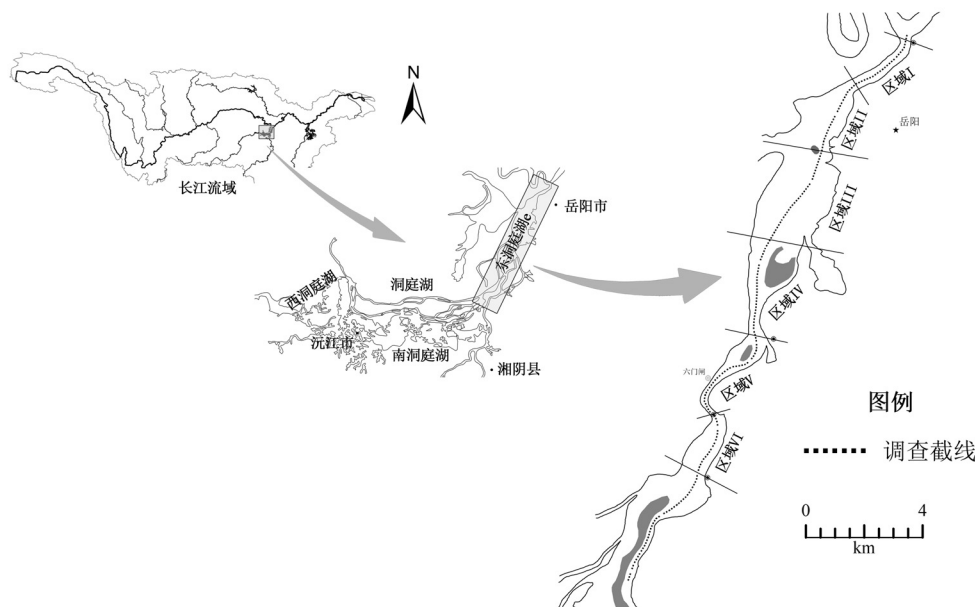


图 1 调查水域及调查截线

Fig.1 Survey area and transect line

1.2 调查方法

1.2.1 长江江豚调查方法 长江江豚种群动态调查采用“截线抽样调查法”^[15],调查船为湖南省畜牧水产局配备的渔政快艇,排水量 6.772t,长 12m,宽 2.6m,动力 103kW.调查过程中,航速控制在 10~15km/h.采用标准化记录表格记录调查数据.主要记录内容包括:1)每 30min,记录一次调查船位置、航速、航向、船岸间垂直距离、天气(优、良、中、差 4 个等级);2)发现江豚时,记录时间、地理坐标、观察者到动物的距离、群体大小、动物与最近岸的垂直距离等。

1.2.2 鱼类资源空间分布调查方法 鱼类资源空间分布调查采用走航式水声学调查技术方法^[16-18],在考察船左侧船舷垂直固定分裂波束式(Split beam)探鱼仪(Simrad EY60,200kHz,半功率角 7°,挪威),换能器入水 0.5m.数据采集时换能器发射功率选择 150W,脉冲宽度 256μs,同时使用 GPS(Garmin 60CSx,美国)将空间数据导入笔记本电脑(Dell,E6430)与声学数据整合为 Raw 格式文件,用于后期处理分析。

为消除不同介质条件对换能器的影响,确保回波强度的准确,在探测之前按照设备的出厂说明,采

用直径为 13.7mm 的铜金属球对仪器进行实地校准^[19-20]。

1.3 数据分析

1.3.1 长江江豚种群动态和栖息地分析 根据每次观测到的江豚数量和位置数据进行整理,导入 ArcGIS 10.3 中建立东洞庭湖长江江豚分布模型,用一般统计方法分析长江江豚在东洞庭湖总体特征;采用 SPSS Statistics17.0 成对比较方法分析东洞庭湖枯水期、涨水期、丰水期和退水期长江江豚群次和头次的观测差异性.采用 50%、75%、95%和 100%最小凸边形法(MCP)识别评估长江江豚在东洞庭湖的分布区域和活动范围^[21-22]。

1.3.2 水声学调查数据分析 采用 Sonar5-pro 软件对采集水声学数据进行处理,首先对原始数据进行转换和初步分析,每 100m 探测距离作为一个数据单元;使用交叉过滤方法(CFT)对转换后的数据进行背景噪音的去除和底部搜索;使用单目标检测(SED)分析方法提取每个数据单元的鱼类密度和地理坐标.数据处理的相关参数设置:单回波检测(SED)阈值为 -70dB;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;最大增益补偿为 6dB.采用

ArcGIS10.3 进行鱼类资源分布的建模^[23-24],将每个数据单元分析计算出的鱼类密度、单元中心坐标导入 ArcGIS10.3 平台,采用反距离权重法(IDW)进行栅格插值运算^[25-26],做出鱼类分布模型图.采用 SPSS Statistics17.0 中 Pearson 相关性分析研究洞庭湖长江江豚与鱼类资源分布的相关性.

2 结果与分析

2.1 东洞庭湖江豚种群空间分布特征

表 1 2012~2017 年东洞庭湖长江江豚调查信息汇总
Table 1 Summary of Yangtze finless porpoise population surveys from East Dongting Lake, 2012~2017

年份	监测次数	目击群次	目击头次	平均群体大小	平均目击率(群次/km)	平均船速(km/h)
2012	6	38	132	2.36	0.18	12.5
2013	9	63	121	2.13	0.13	11.9
2014	9	64	158	2.21	0.14	10.9
2015	10	80	219	2.86	0.16	10.1
2016	10	52	148	2.11	0.12	12.3
2017	10	122	332	2.79	0.22	10.07
合计	54	419	1110	/	/	/

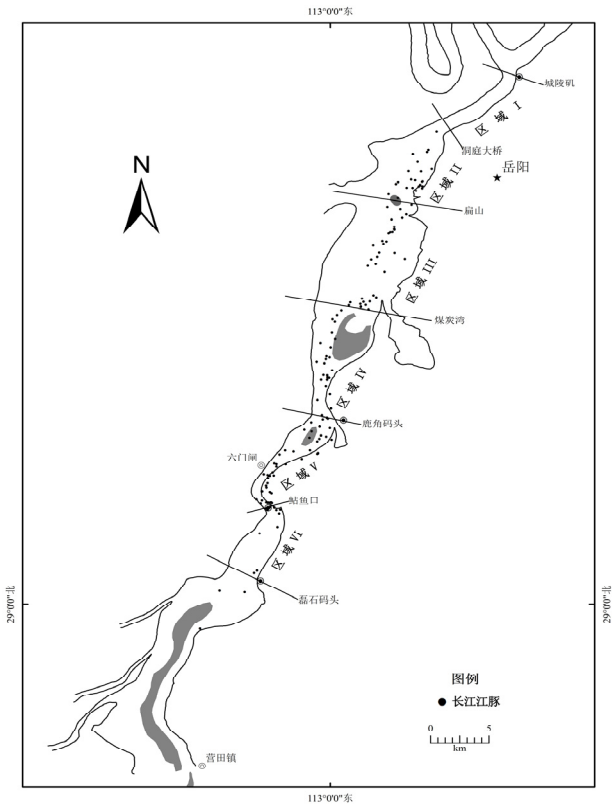


图 2 2012 年~2017 年长江江豚在东洞庭湖的分布范围
Fig.2 Distribution of Yangtze finless porpoise in East Dongting Lake, 2012~2017

2012 年 6 月~2017 年 12 月,共完成东洞庭湖长江江豚调查 54 次,观测到长江江豚 419 群次, 1110 头次(表 1),主要集中在区域(II~V)范围内,其他水域偶然发现,区域 I 未记录到长江江豚(图 2).

东洞庭湖江豚有聚群和单独活动行为,聚群次数约占发现江豚位点数量的 60%,单独活动个体数占江豚位点数量的 40%.在水平空间分布上,洞庭湖江豚分布偏集中,主要分布在鲢鱼口—南岳坡段水域,平均目击率(0.31±0.09)群次/km,区域 I 和磊石码头上游水域,长江江豚出现率偏低,平均目击率(0.044±0.027)群次/km(图 2).

100%、95%、75%和 50%MCP 分析表明,长江江豚活动范围(100%MCP)介于洞庭大桥至湘江湘阴段,长约 75km,面积约 161.3km²,占东洞庭湖江豚自然保护区总面积的 24.18%,核心活动范围(50%MCP)介于煤炭湾至六门闸,长约 25km,面积约 64.31km²,占保护区总面积的 9.64%(图 3).

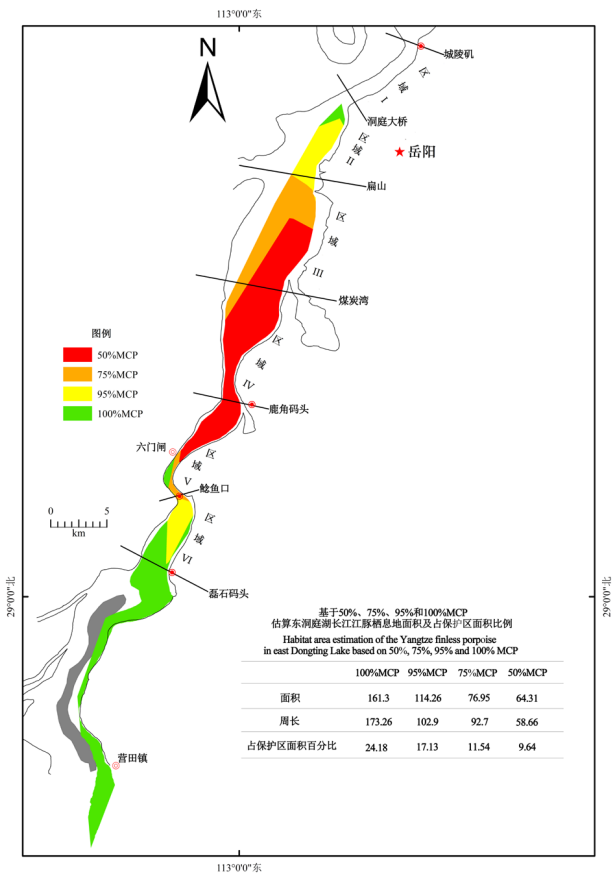


图 3 基于最小凸边形法分析长江江豚栖息地面积

Fig.3 Analysis of finless porpoise habitat area based on the minimum convex polygon (MCP)

2.2 东洞庭湖长江江豚观测季节性差异

洞庭湖是典型的季节性江湖连通性湖泊,水文情势具有明显的周期性,表现出明显的枯水期(1~3月)、涨水期(4~6月)、丰水期(7~9月)和退水期(10~12月)^[27-28].洞庭湖这种周期性的水文情势也影响各种水生生物的行为和分布^[29].方差分析结果显示,不同水位条件下,东洞庭湖长江江豚观察效果存在差异.

不同水情时期长江江豚群次和头次观测结果(表 2)成对比较结果(图 4)显示,在显著水平 $\alpha=0.05$ 下,不同时期观测到的江豚头次与群次趋势高度一致,枯水期观测率最高,丰水期最低,因此,东洞庭湖长江江豚最佳观测时期应为枯水期和退水期.

表 2 不同水情时期长江江豚观测结果

Table 2 Observation of Yangtze finless porpoise in the different hydrologic season

水文季节	观测次数	平均群次	95%置信 区间	平均头次	95%置信 区间
枯水期	12	13.92±4.64	10.97,16.86	31.92±7.17	27.36,36.47
涨水期	12	8.75±3.65	6.43,11.07	23.17±10.98	16.18,30.15
丰水期	13	5.17±1.64	4.12,6.21	17.25±7.46	12.51,21.99
退水期	17	8.08±2.47	6.52,9.65	22.25±5.19	18.95,25.55

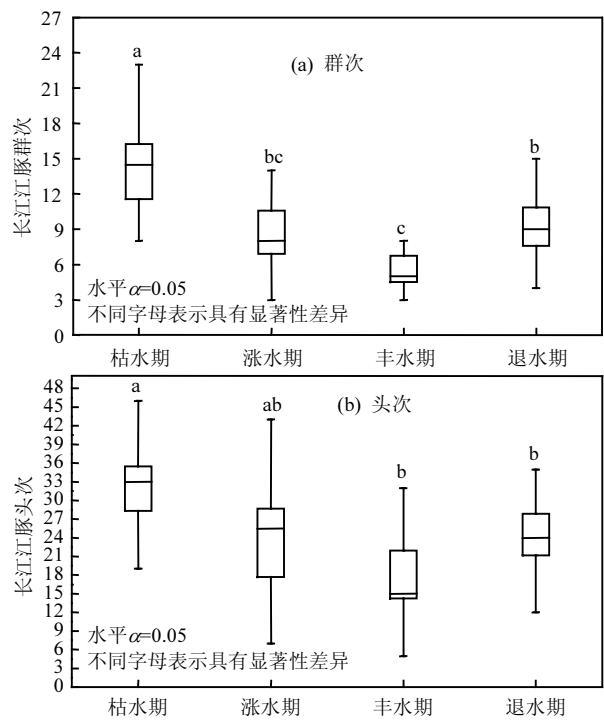


图 4 不同水情时期江豚平均观测群次和头次差异性
Fig.4 Differences between mean finless porpoise groups and individuals during different hydrologic season
标相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$),标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.3 基于水声学的东洞庭湖鱼类空间分布

2.3.1 东洞庭湖鱼类资源空间分布 共获得 8 次较为全面有效的调查结果(表 3),2013 年 3 月东洞庭湖鱼类资源平均密度最高为 57.21 尾/100m³,其次为 2014 年 10 月份,为 38.3 尾/1000m³,2014 年 9 月探测到东洞庭湖鱼类平均密度仅 1.15 尾/1000m³.相关性分析结果显示,东洞庭湖平均鱼类密度与水位呈弱负相关性,相关系数 $r=-0.601$,显著性 $P=0.113>0.05$,统计学意义不明显,其原因是水位升高湖区面积扩大和非鱼类繁殖期和越冬期,鱼类集群性降低所致.

表 3 东洞庭湖鱼类资源声学调查
Table 3 Summary of eight hydroacoustic surveys in East Dongting Lake

时间	船速(km/h)	平均密度 (尾/1000m ³)	最大密度 (尾/1000m ³)	最小密度 (尾/1000m ³)	水位(m)
2013-03	12.24	57.21±100.55	671.038	0.097	20.5
2013-07	9.9	19.54±32.67	297.26	1.01	28.3
2013-12	10.152	19.47±29.83	278.6	0.083	19.02
2014-01	9.144	33.2±47.17	272.68	0.42	18.86
2014-08	9.72	11.12±11.92	80.9	0.79	28.3
2014-09	9.216	7.15±12.6	102.45	0.25	29.05
2014-10	9.36	38.3±40.52	247.03	2.6	22.25
2014-11	9.684	16.21±23.73	249.44	0.49	21.9

2.3.2 东洞庭湖鱼类资源水平分布 东洞庭湖鱼类资源的水平空间分布规律与东洞庭湖水位具有相关性.2013 年 3 月、2013 年 12 月和 2014 年 1 月调查结果表明,低水位时期(枯水期和退水期后期),东洞庭湖鱼类资源集中分布在区域 III、区域 IV 和区域 V(扁山至鲢鱼口之间中部湖区)(图 5),水平空间密度高于其他水域,鱼类集群行为较为明显,区域 I 和区域 VI 鱼类密度相对较低,分析原因是低水位期,洞庭湖通长江水道(区域 I 和区域 II)和湘江洪道(区域 VI)洞庭湖水道流速快,不适于鱼群越冬,而区域 III、区域 IV 和区域 VI 之间的湖区水域水面宽阔,流速相对较缓,是曾经采石挖砂的集中区域,湖底分布有砂坑,恰好成了鱼类集群越冬的优越场所(图 6);高水位时期,东洞庭湖鱼类资源分布较为分散,7 月、8 月和 9 月最高水位期,湖面宽广,洲滩洼地被洪水淹没成为鱼类理想的天然索饵场,中部区(区域 III、区域 IV 和区域 VI)鱼类水平分布较为分散,几乎没有明显的集群行为,而通江水道(区域 I)和湘江洪道(区域 VI)内有较为明显的鱼群,表明高水位期长江和湘

江干流有鱼群进入洞庭湖索饵场,10 月和 11 月退水期前期,东洞庭湖鱼群在区域 I 和区域 VI 内有较为明显的集群,表明受水位回落影响,鱼类开始向长江和湘江洄游越冬。

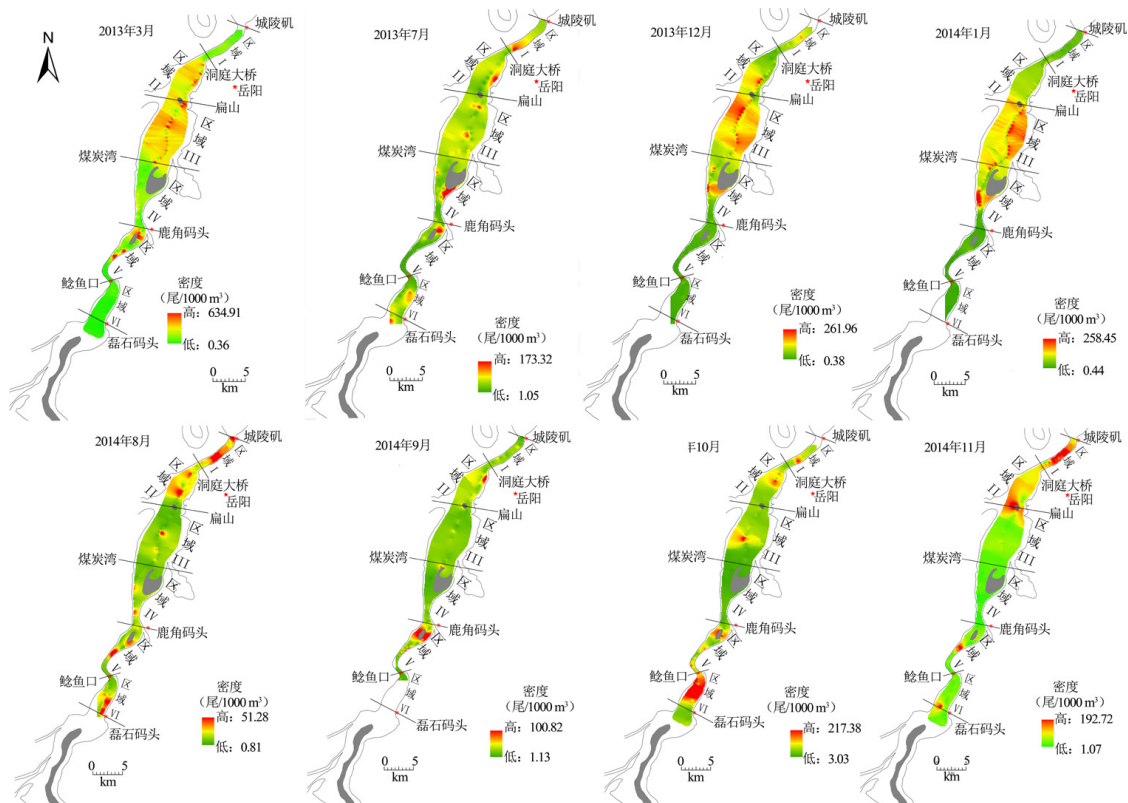


图 5 东洞庭湖鱼类资源空间分布
Fig.5 Spatial distribution of fish density in East Dongting Lake

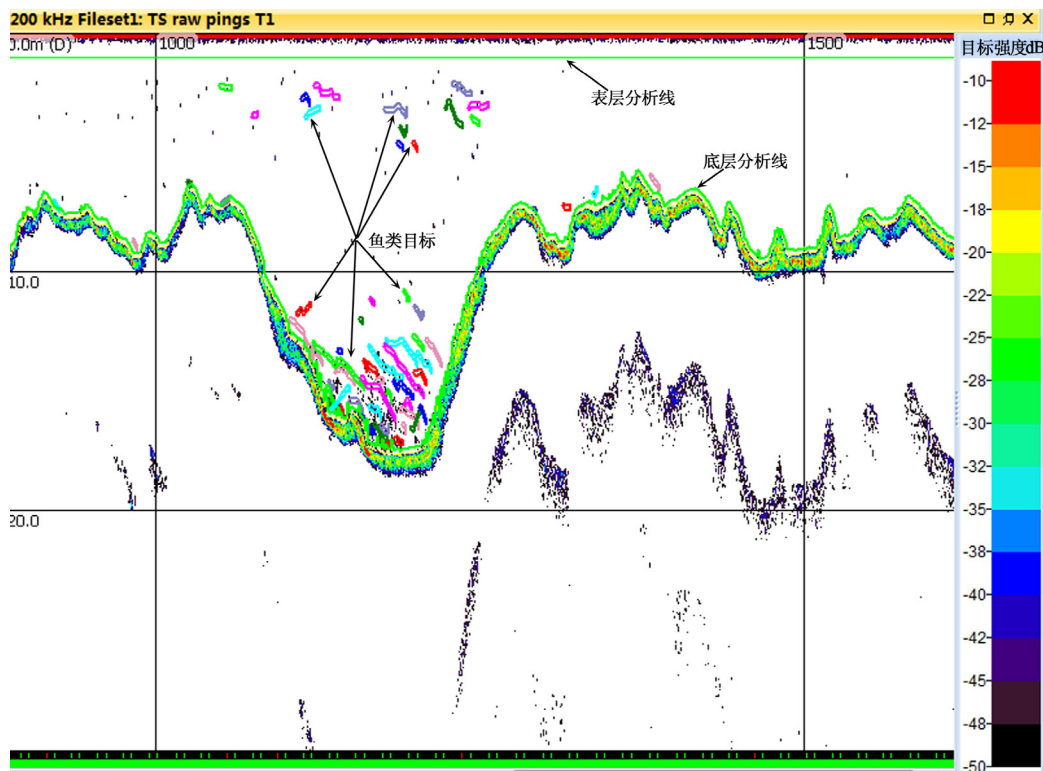


图 6 东洞庭湖沙坑中鱼集群跟踪回波图像
Fig.6 Echogram of fish tracks in sandpit of the East Dongting Lake

方差分析结果显示,东洞庭湖低水位期鱼类资源水平密度分布不均(图 7),区域 III 鱼类资源水平空间平均密度最高,为 (107.52 ± 17.36) 尾/ 1000m^3 ,区域 VI 鱼类资源平均密度最低为 (9.87 ± 1.93) 尾/ 1000m^3 ,区域 I 鱼类密度与其他水域密度均存在显著性差异($P < 0.05$),但区域 II、区域 III、区域 IV 和区域 V 之间鱼类密度无显著性差异($P > 0.05$),表明低水位时期鱼群主要分布在东洞庭湖中区宽阔水域.相比之下,高水位时期鱼类资源分布较为均匀,除区域 VI 外,其他 5 个水域鱼类密度较为接近,方差分析结果显示,除区域 VI 与区域 I 和区域 III 分别有显著差异之外($P < 0.05$),其他水域之间无显著性差异($P > 0.05$)(图 7).

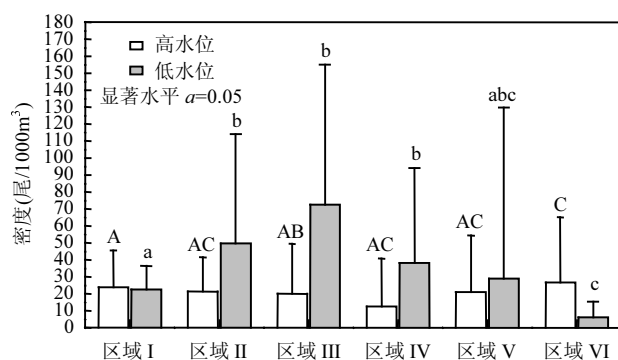


图 7 不同水位条件下东洞庭湖不同区域鱼类资源分布差异性

Fig.7 Differences in fish distribution in six areas under different water level, in the East Dongting Lake

标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$),标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.4 东洞庭湖长江江豚与鱼类资源空间分布关系

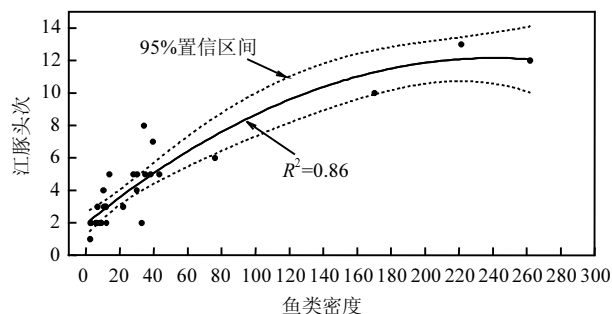


图 8 东洞庭湖长江江豚与鱼类密度相关性

Fig.8 Relationships between Yangtze finless porpoise individuals and fish density

选取 30 个长江江豚观测坐标和头次数据 and 对应水体鱼类密度,采用 SPSS 进行 Pearson 相关性

分析,结果显示长江江豚头次与对应水域鱼类密度呈显著正相关,相关系数 $R^2 = 0.86$, $P < 0.01$ (图 8),表明江豚具有随鱼群迁徙的行为特征.

3 讨论

3.1 东洞庭湖长江江豚分布及其与鱼类资源相关性

长江江豚是我国特有的珍稀淡水鲸类,作为江-湖水生态系统中的旗舰物种,也是评价长江流域生态健康与否的重要标志.Wang 等^[30]提出洞庭湖作为长江江豚重要的栖息地,并长期维持着一个相对较大的自然群体.杨健等^[11]和张新桥等^[12]研究结果显示东洞庭湖城陵矶至鲇鱼口之间的狭长水域是长江江豚的主要分布区,在南洞庭湖和湘江下游段也偶有发现,与本研究的结果高度一致,不同之处在于本研究在洞庭大桥至城陵矶湖区没有发现长江江豚分布,表明洞庭湖大桥至城陵矶段作为长江江豚迁移通道确实受到阻隔,并且已经严重影响了东洞庭湖种群与长江干流种群之间的交流.

东洞庭湖长江江豚种群存在一定的迁徙规律,水位发生急剧变化时,呈现出趋向下游扁山水域迁移,在水位稳定时,长江江豚多集中分布于鲇鱼口水域或随机分布状态.分析认为主要原因和鱼群迁徙有一定的相关性.鱼类具有江-湖洄游习性,特别是繁殖期、越冬期和育肥期尤为明显^[31],洞庭湖鱼类繁殖期和越冬期也恰是水位变化最快的时期.已有文献和本研究均表明江豚与鱼群分布有显著相关性^[32-33],鱼类集群易于江豚捕食,反之,在水位趋于稳定期也是鱼类育肥期,鱼类较为分散于湖区.鲇鱼口处于湘江洪道和草尾河交汇处,是理想的鱼类天然索饵场,对于长江江豚也是理想的索饵场.作者认为这可以合理解释东洞庭湖长江江豚活动规律与鱼类密度分布具有较高一致性的原因.

本研究水声学评估范围内水域面积约 173.8km^2 ,按照 Aglen^[34]覆盖率公式计算本研究水声学调查的覆盖率为 9.1,达到了覆盖率 6 以上的要求,保证了调查结果的代表性,但由于东洞庭湖浅滩和湖汊较多,导致浅水区水声学调查数据不能满足 Sonar5-pro 分析条件,很难准确评估其鱼类密度.虽然相关报道和本研究均表明长江江豚与鱼群有显著的相关性,但分析过程中也发现在有些低密度鱼

群区域也有长江江豚分布,同样高密度鱼群区域长江江豚的分布较少,因此,未来需要更为深入研究其对鱼群及其它生境要素选择性研究。

本文主要研究区域为东洞庭湖城陵矶至营田镇湖区,未对南洞庭湖、西洞庭湖及“湘、资、沅、澧”入湖口进行综合调查,特别是湘江下游湘阴至营田镇段长江江豚出现频率较高,但其分布迁徙规律尚不清楚,因此,若要全面掌握洞庭湖区长江江豚种群数量、分布范围及迁徙规律,湘江长沙综合枢纽下游湘江段和入湖口应纳入综合调查范围。

3.2 东洞庭湖长江江豚的威胁因素

3.2.1 鱼类资源过度利用和非法渔具使用 充足的饵料资源和合理的鱼类种群结构是长江江豚赖以生存的生态基础^[35-37]。洞庭湖历史最高产量 4.8 万 t,由于捕捞力度的加大,20 世纪 70 年代,渔业产量下降,80 年代后开始缓慢恢复,80 年代后期至 90 年代,由于经济的迅速发展和资源的过度开发利用,洞庭湖生态环境遭到破坏,渔业产量日趋下降^[38](图 9)。

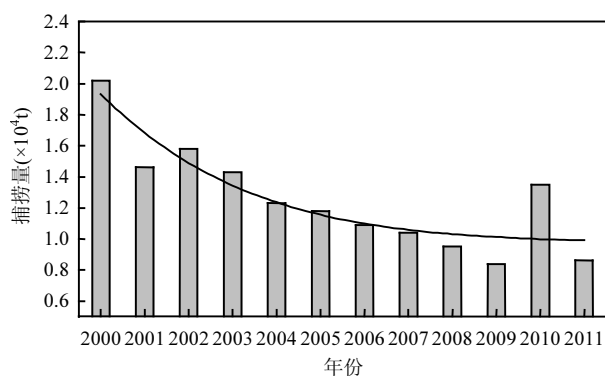


图 9 2000 年~2011 年东洞庭湖渔业产量趋势

Fig.9 Capture yield in East Dongting Lake between 2000 and 2011

洞庭湖渔业资源的衰退导致江豚捕食难度增加,长江江豚须扩大捕食范围,在洞庭湖水位快速回落的时候,会导致误入浅水湖汊的长江江豚搁浅死亡,或因饥饿死亡,甚至是因饥饿诱发疾病死亡。

长江江豚活动范围与鱼群活动范围具有较高的相关性,同时鱼群集聚区也是主要的渔业捕捞区。调查显示,东洞庭湖每年大约有 7000 多艘渔船,近万渔民在此生产生活,是上世纪 50 年代的 25 倍。这些渔民 85%拥有电鱼机、迷魂阵、围网、深水张网等

非法渔具^[39]。非法渔具不仅严重影响鱼类资源,同时也会危及到长江江豚的生命安全。近年来,由于电击、围网、丝网、定置网等非法渔具导致长江江豚死亡的事件屡有发生。

3.2.2 水体污染 2001 年~2013 年的《湖南省环境状况公报》显示,洞庭湖水质状况介于 III~V 类之间,其超标项基本是总氮、总磷等,总体处于中等营养水平,个别交换率低的静水湖区有富营养化现象。20 世纪 90 年代以来,由于人口数量的增长、工农业化和城镇化进程的加快,流入洞庭湖内的污染物不断增加,水体富营养化趋势严重^[40-41]。Yang 等^[42]对 1998 年—2004 年来自于洞庭湖的 5 头江豚体内的持久性污染物(POPs)进行了分析,表明 POPs 对长江江豚个体有明显的危害。除了 POPs 之外,洞庭湖区每年为杀灭钉螺,大量使用氯硝柳胺、五氯酚等灭螺药剂,对水生生物有一定毒性^[43],已有报道表明,氯硝柳胺可损伤 DNA,并可导致哺乳动物胎儿骨骼畸形^[44-45]。因此,水体污染物对位于洞庭湖生态系统食物链顶端的长江江豚有一定的影响。

3.2.3 涉水工程 东洞庭湖是湖南省连接长江流域各地的“黄金水道”,洞庭湖沿岸码头港口林立,南岳坡至城陵矶三江口有大小码头 15 个。三峡水利工程的运行,改变了长江中下游水文节律,对洞庭湖水位季节变化也有极大的影响^[46],三峡工程运行对长江江豚的影响研究还在继续。

航道整治工程也是影响长江江豚种群生存重要因素之一。目前研究表明航道整治工程导致的长江江豚饵料资源减少、水下声环境增强和关键栖息地水文条件变化会影响长江江豚种群数量及分布、个体之间的声通讯和生存空间恶化或丧失^[47]。

3.2.4 水下噪声 东洞庭湖水下噪声一般来自于水工程建设、船舶航行、采石挖沙、航道整治、抛石等。文献表明,打桩^[48]、船舶^[49]、挖沙船^[50]和抛石^[51]等产生的低频噪声(1~20kHz),在不同暴露时长下均会导致长江江豚听觉暂时性阈移(TTS),增加长江江豚遭遇风险的几率,严重的会导致永久性听觉阈移(PTS)。特别是水下噪音对幼豚影响非常明显,长江江豚幼豚发声 2~3kHz 的低频声信号,且声压级仅 150dB re 1μPa^[52],很容易被水下噪声干扰甚至屏蔽,导致幼豚与母豚分离,导致尚没有独立生存能力的幼豚死亡(图 10)。

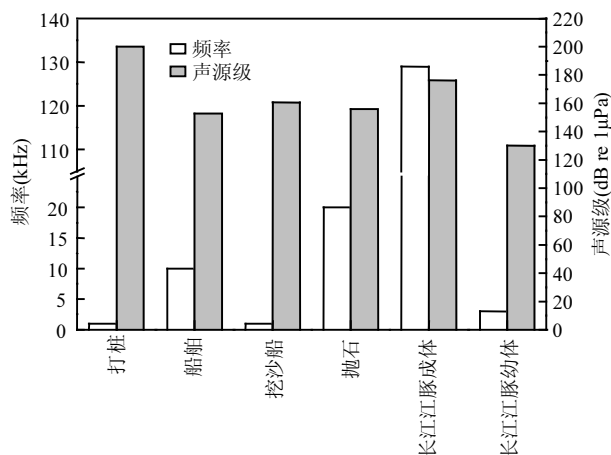


图 10 不同类型水下噪声和长江江豚声信号对比

Fig.10 Comparison between different underwater noise and sound signal of finless porpoise

3.2.5 无序采石挖砂 底栖生物是水生生态系统中重要的次级生产者,也是水生生态系统维持平衡的重要部分.对于天然水域,未经规划的肆意采石挖砂可以完全破坏底栖生物的生境和生物群落结构,对水生生态系统造成长期甚至不可逆的影响^[53].

根据 Meng 等^[54]对洞庭湖挖沙对底栖动物的影响研究结果,挖沙活动显著地影响水体透明度、底质构成、水质条件和底栖动物类群^[52].挖沙使沉积于湖底的营养物质快速扩散,一方面造成水质污染,另一方面也导致湖底沉积物营养贫乏,底栖动物物种多样性和生物量的降低,迫使鱼类及其它高营养级水生生物发生迁徙,进而影响到长江江豚的生存,最终导致整个生态系统发生紊乱.

无序挖沙不仅对水生生态系统有严重影响,还会导致水文改变^[55]、江湖阻隔^[56]和对长江江豚的直接伤害^[57]等.

综上所述,本文提出为了更好地保护东洞庭湖长江江豚种群及其生境,应积极采取以下措施: (i)全面禁止东洞庭湖各种渔业活动,特别是电鱼等非法渔业行为,以避免长江江豚的误捕误伤等;(ii)禁止在长江江豚主要活动区进行施工和水工建设,避免长江江豚栖息地生境被破坏;(iii)东洞庭湖长江江豚保护范围应扩大至湘江入湖口,特别是其关键栖息地分布和范围需要进一步研究.

4 结论

4.1 东洞庭湖长江江豚种群主要分布在鲇鱼口至洞庭大桥之间(区域 II~V), 100%和 50%MCP 分析表

明,东洞庭湖长江江豚活动范围介于洞庭大桥至湘江湘阴段,面积约 161.3km²,占保护区总面积的 24.18%,核心活动范围(50%MCP)介于煤炭湾至六门闸,面积约 64.31km²,占保护区总面积的 9.64%.

4.2 不同的水文时期,东洞庭湖长江江豚观察效果存在差异性.在显著水平 $\alpha=0.05$ 下,观测群次和头次枯水期观测率最高,丰水期最低.因此,东洞庭湖长江江豚最佳观测时期应为枯水期和退水期.

4.3 东洞庭湖鱼类资源平均密度分布与水文存在弱相关性($r=-0.601, P=0.113>0.05$);高水位时期,东洞庭湖鱼类水平空间分布较为均匀,各湖区之间无显著差异($P>0.05$),低水位时期,鱼类资源存在明显的差异性,表现为鱼类向易于越冬的深水区集群.

4.4 Pearson 相关性分析,结果显示东洞庭湖长江江豚头次与对应水域鱼类密度呈显著正相关,相关系数 $R^2=0.86, P<0.01$,表明东洞庭湖长江江豚具有随鱼群迁徙的行为特征.

参考文献:

- [1] 王丕烈.江豚的形态特征和亚种划分问题 [J]. 水产科学, 1992, 11(11):4-81.
Wang P L. The morphological characters and the problem of subspecies identifications of the finless porpoise [J]. Fisheries Science, 1992, 11(11):4-81.
- [2] 高安利,周开亚.中国水域江豚外形的地理变异和江豚的三亚种 [J]. 兽类学报, 1995, 15(2):81-92.
Gao A L, Zhou K Y. Geographical variation of external measurements and three subspecies of *Neophocaena phocaenoides* in Chinese waters [J]. Acta Theriologica Sinica, 1995, 15(2):81-92.
- [3] 张先锋,刘仁俊,赵庆中,等.长江中下游江豚种群现状评价 [J]. 兽类学报, 1993, 13(4):260-270.
Zhang X F, Liu R J, Zhao Q Z, et al. The population of finless porpoise in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. Acta Theriologica Sinica, 1993, 13(4):260-270.
- [4] Zhou X M, Guang X M, Sun D, et al. Population genomics of finless porpoises reveal an incipient cetacean species adapted to freshwater [J]. Nature Communications, 2018, 9:1276.
- [5] Wang D, Liu R, Zhang X, et al. Status and conservation of the Yangtze finless porpoise [M]. Biology and conservation of fresh water cetaceans in Asia, IUCN SSC Occasional Paper, Switzerland: IUCN, 2000:81-85.
- [6] Wang D, Hao Y, Wang K, et al. The first Yangtze finless porpoise successfully born in captivity [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2003, 12(5):247-250.
- [7] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 45:3473-3484.
- [8] Zhao X, Barlow J, Taylor B L, et al. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China [J].

- Biological Conservation, 2008,141(12):3006-3018.
- [9] IUCN species survival commission. IUCN Red List categories and criteria: Version 3.1 [M]. Switzerland: IUCN, 2000.
- [10] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. Chinese Science Bulletin, 2009,54:3473-3484.
- [11] 杨 健,肖 文,匡兴安,等.洞庭湖、鄱阳湖白鱀豚和长江江豚的生态学研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2000,9(4):444-450.
- Yang J, Xiao W, Kuang X A, et al. Studies on the distribution, population size and the active regularity of *Lipotes vexillifer* and *Neophocaena phocaenoides* [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000,9(4):444-450.
- [12] 张新桥.洞庭湖及邻近水域长江江豚种群生态学研究 [D]. 武汉:中科院水生生物研究所, 2011.
- Zhang X Q. Population ecology of Yangtze finless porpoise in Dongting Lake and adjacent waters [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, 2011.
- [13] 于道平,王 江,杨 光,等.长江湖口至荻港段江豚春季对生境选择的初步分析 [J]. 兽类学报, 2005,25(3):302-306.
- Yu D P, Wang J, Yang G, et al. Primary analysis on habitat selection of Yangtze finless porpoise in spring in the section between Hukou and Digang [J]. Acta Theriologica Sinica, 2005,25(3):302-306.
- [14] Mei Z G, Zhang X Q, Huang S L, et al. The yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction? [J]. Biological Conservation, 2014,172,117-123.
- [15] Mei, Z G, Chen, M, Li, Y T, et al. Habitat preference of the yangtze finless porpoise in a minimally disturbed environment [J]. Ecological Modelling, 2017,353,47-53.
- [16] Kimura, S, Akamatsu, T, Li, S H et al. Seasonal changes in the local distribution of yangtze finless porpoises related to fish presence [J]. Marine Mammal Science, 2012,28(2):308-324.
- [17] 赵修江,王 丁.长江八里江江段的江豚种群数量与分布 [J]. 长江流域资源与环境, 2011,20(12):1432-1439.
- Zhao X J, Wang D. Abundance and distribution of Yangtze finless porpoise in Balijiang section of the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011,20(12):1422-1439.
- [18] Johannesson K A, Mitson R B. Fisheries acoustics: A practical manual for aquatic biomass estimation [J]. FAO Fish Tech Pap, 1983,240:65-75.
- [19] 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 H J, Yang D G, Wei Q W, et al. Hydro-acoustic survey on fishes in the reach from Gezhouba Dam to Gulaobei of the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007,16(1):86-91.
- [20] 谭细畅.水声学探测在内陆水体鱼类资源研究中的几个应用 [D]. 武汉:中科院水生生物研究所, 2009.
- Tang X C. Applications of echo-sounder for the Fish Resource Research in China's Inland Waters [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, 2009.
- [21] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys [J]. Journal of the Acoustical Society of American, 1987,82(3):981-987.
- [22] Balk H. Development of hydroacoustic methods for fish detection in shallow water [D]. Norway: University of Oslo, 2001.
- [23] Mei Z G, Chen M, Li Y T, et al. Habitat preference of Yangtze finless porpoise in a minimally disturbed environment [J]. Ecological modelling, 2017,353:47-53.
- [24] Rodgers A R, Kie J G. HRT: Home Range Tools for ArcGIS: Version 1.1 [M]. Ontario ministry of natural resources, 2011.
- [25] 陶江平,艾为明,龚昱田,等.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 [J]. 生态学报, 2010,30(11):2992-3000.
- Tao J P, Ai W M, Gong Y T, et al. Assessment of fish abundance and distribution using fisheries acoustics and GIS modeling in the Nanxi River of Wenzhou City [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010,30(11):2992-3000.
- [26] 张子昕,周强波.空间插值算法在 GIS 中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2015,38(2):103-107.
- Zhang Z X, Zhou Q B. Application of the Spatial Interpolation Methods in GIS [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015,38(2):103-107.
- [27] 孙铭师,陈作志,蔡研聪,等.空间插值法在北部湾渔业资源密度评估中的应用 [J]. 中国水产科学, 2017,24(4):853-861.
- Sun M S, Chen Z Z, Cai Y C, et al. Application of a spatial interpolation method for the assessment of fishery resources in the Beibu Gulf [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017,24(4):853-861.
- [28] Ozelkan E, Bagis S, Ozelkan E C, et al. Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting [J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(4):1000-1025.
- [29] 周 慧,毛德华,刘培亮.三峡运行对东洞庭湖水位影响分析 [J]. 海洋湖沼通报, 2014,4:180-186.
- Zhou H, Mao D H, Liu P L. The investigation on water level of East Dongting Lake affected by Three-Gorge reservoir [J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 2014,4:180-186.
- [30] 黄 维,王为东.三峡工程运行后对洞庭湖湿地的影响 [J]. 生态学报, 2016,36(20):6345-6352.
- Huang W, Wang W D. Effects of Three Gorges Dam project on Dongting Lake wetlands [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016,36(20):6345-6352.
- [31] 谢 平.三峡工程对两湖的生态影响 [J]. 长江流域资源与环境, 2017,26(10):1607-1618.
- Xie P. Ecological impacts of three gorges dam on lakes Dongting and Poyang [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(10):1607-1618.
- [32] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. Chinese Science Bulletin, 2009,54:3473-3484.
- [33] Yi Y J, Yang Z F, Zhang S H. Ecological influence of dam construction and river-lake connectivity on migration fish habitat in the Yangtze River basin, China [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010,2:1942-1954.
- [34] Aglen A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied [J]. FAO Fisheries Report, 1983,300:293-298.
- [35] Mei Z G, Chen M, Li Y T, et al. Habitat preference of the Yangtze finless porpoise in a minimally disturbed environment [J]. Ecological Modelling, 2017,353:47-53.
- [36] Kimura S, Akamatsu T, Li S H, et al. Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence [J]. Marine Mammal Science, 2012,28:308-324.
- [37] 于道平,蒋文华,糜 励.半自然水域中长江江豚食性与摄食行为的初步观察 [J]. 兽类学报, 2003,23(3):198-202.

- Yu D P, Jiang W H, Mi L. Preliminary observations on feeding behavior of finless porpoises in a semi-nature reserve of Yangtze River [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2003,23(3):198-202.
- [38] 廖伏初,何 望,黄向荣,等.洞庭湖渔业资源现状及其变化 [J]. *水生生物学报*, 2002,26(6):623-627.
- Liao F C, He W, Huang X R, et al. Studies on present situation and change trend of Dongting Lake fishery resources and environment [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002,26(6):623-627.
- [39] 张中于.专业捕捞渔民转业问题与对策研究—以东洞庭湖地区为例 [D]. 长沙:中南大学, 2013.
- Zhang Z Y. Reach on the production transfer of professional fisherman [D]. Changsha: Central South University, 2013.
- [40] 申锐莉,鲍征宇,周 旻,等.洞庭湖湖区水质时空演化(1983-2004) [J]. *湖泊科学*, 2007,19(6):677-682.
- Shen R L, Bao Z Y, Zhou W, et al. Temporal-spatial evolution of water quality in Lake Dongting, China [J]. *Journal of Lake sciences*, 2007,19(6):677-682.
- [41] 卢宏伟,曾光明,何 理.洞庭湖流域水体污染物变化趋势及风险分析 [J]. *水土保持通报*, 2004,24(2):12-16.
- Lu H W, Zeng G M, He L. Changing tendency and risk of water contamination in Dongting Lake watershed [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2004,24(2):12-16.
- [42] Yang, F X, Zhang, Q H, Xu, Y et al., Preliminary hazard assessment of polychlorinated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans to Yangtze finless porpoise in Dongting Lake, China [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008,27(4):991-996.
- [43] 张 兵,郑明辉,刘芑岩,等.五氯酚在洞庭湖环境介质中的分布 [J]. *中国环境科学*, 2001,21(2):165-167.
- Zhang B, Zheng M H, Liu F Y, et al. Distribution of pentachlorophenol in Dongting Lake environmental medium [J]. *China Environmental Science*, 2001,21(2):165-167.
- [44] Abreu F C, Goulart M O, Brett A M. Detection of the damage caused to DNA by niclosamide using an electrochemical DNA biosensor [J]. *Biosens Bioelectron*, 2002,17(11/12):913-919.
- [45] 王 飞,戴建荣.氯硝柳胺的毒理学安全性评价研究概况 [J]. *中国人兽共患病学报*, 2013,29(1):86-90.
- Wang F, Dai J R. Assessment studies of Niclosamide's toxicological safety: an overview [J]. *Chinese Journal of Zoonoses*, 2013,29(1):86-90.
- [46] 朱 瑶.三峡工程对长江江豚生境的影响及对策研究 [D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2012.
- Zhu Y. Studies on influence of Three Gorges reservoir on Yangtze finless porpoise habitats and countermeasures [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012.
- [47] 王克雄,王 丁.航道整治工程对长江江豚影响及缓解措施分析 [J]. *环境影响评价*, 2015,37(3):13-17.
- Wang K X, Wang D. Analysis of impact of waterway adjustment activities on Yangtze finless porpoise and mitigation measures [J]. *Environmental Impact Assessment*, 2015,37(3):13-17.
- [48] 时文静.涉水施工及水上交通所致水下噪声对长江江豚影响评价 [D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2013.
- Shi W J. Impact assessment of underwater noise caused by aquatic construction and traffic on the Yangtze Finless Porpoise [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy Sciences, 2013.
- [49] 张天赐,居 涛,李松海,等.长江和畅洲江段大型船舶的噪声特征及其对长江江豚的潜在影响 [J]. *兽类学报*, 2018,38(6):543-550.
- Zhang T C, Ju T, Li S H, et al. Navigation noise properties of large vessels in Hechangzhou region of the Yangtze river and their potential effects on the Yangtze finless porpoise [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2018,38(6):543-550.
- [50] 王振太,李青青,时文静,等.洞庭湖采砂船水下噪声对长江江豚的影响研究 [J]. *声学技术*, 2014,33(S1):20-25.
- Wang Z T, Li Q Q, Shi W J, et al. Impact assessment of underwater noise caused by dredging ships in Dongting Lake on the Yangtze finless porpoise [J]. *Technical Acoustics*, 2014,33(S1):20-25.
- [51] 居 涛,张天赐,王志陶,等.抛石噪声特性及其对长江江豚的可能影响 [J]. *声学技术*, 2017,36(6):580-588.
- Ju T, Zhang T C, Wang Z T, et al. Characteristics of riprapping underwater noise and its possible impacts on the Yangtze finless porpoise [J]. *Technical Acoustics*, 2017,36(6):580-588.
- [52] Li S H, Wang D, Wang K X, et al. The ontogeny of echolocation in a Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*). [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2007,122(2):715-718.
- [53] 谢志才,张君倩,陈 静,等.东洞庭湖保护区大型底栖动物空间分布格局及水质评价 [J]. *湖泊科学*, 2007,19(3):289-298.
- Xie Z C, Zhang J Q, Chen J, et al. Spatial distributional pattern of macrozoobenthos and pollution evaluation in East Lake Dongting Reserve [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007,19(3):289-298.
- [54] Meng X L, Jiang X M, Li Z F, et al. Responses of macroinvertebrates and local environment to short-term commercial sand dredging practices in a flood-plain lake [J]. *Science of the Total Environment*, 2018,(631/632):1350-1359.
- [55] 张先锋,刘仁俊,赵庆中,等.长江中下游江豚种群现状评价 [J]. *兽类学报*, 1993,13(4):260-270.
- Zhang X F, Liu R J, Zhao Q Z, et al. The population of finless porpoise in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 1993,13(4):260-270.
- [56] 梅志刚.长江江豚种群变动趋势及濒危机制的研究 [D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2013.
- Mei Z G. Study on the population dynamics and endangered mechanism of the Yangtze finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy Sciences, 2013.
- [57] Turvey S, Barrett L, Hart T et al. Spatial and temporal extinction dynamics in a freshwater cetacean [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010,277:3139.
- 致谢:** 本研究得到农业农村部长江流域渔政监督管理办公室、湖北省长江生态保护区基金会(CCF)和湖南省畜牧水产局的大力支持,感谢中科院水生生物研究所的梅志刚博士在数据分析上的指导,感谢岳阳市渔政管理站和东洞庭湖江豚保护管理站万军副站长和冷建辉同志的无私帮助。
- 作者简介:** 王崇瑞(1984-),男,山东菏泽人,助理研究员,硕士,主要从事濒危水生动物保护和水生生态学研究。