

doi: 10.7541/2025.2024.0477

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0477

安庆西江长江江豚迁地群体分布格局及影响因子

梁海英^{1,2} 蔺丹清¹ 严燕³ 陈宇宽⁴ 张四刚³ 应聪萍¹
王炜祺¹ 李凡³ 刘凯^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 无锡 214062; 2. 上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 3. 安庆市水产技术推广中心站, 安庆 246000; 4. 南京农业大学, 无锡渔业学院, 无锡 214081)

摘要: 为掌握安庆西江长江江豚迁地群体分布格局、活动规律及关键影响因子, 研究综合主动及被动声学技术于2023年开展了覆盖4个季节的周年调查。被动声学调查结果显示, 西江长江江豚活动强度存在明显的时空特征。就不同区段而言, 利用固定式水下高频声音事件记录仪在西江上、中、下段分别记录到127297、56566和58115个长江江豚脉冲串, 表明长江江豚迁地群体在西江上段水域活动强度最高, 中段和下段水域差异不显著($P>0.05$)。细分到各个季节, 冬季、春季和秋季均在上段水域活动强度最高, 长江江豚脉冲串占比依次为55.64%、58.34%和57.15%; 夏季则为下段水域最高, 占比为56.05%; 冬季和秋季均为下段水域活动强度最低, 脉冲串占比依次为17.7%和18.7%; 春季和夏季均为中段活动强度最低, 脉冲串占比依次为17.6%和16.47%。就各季节活动强度而言, 冬季和秋季日均分别记录到3814和2840个长江江豚脉冲串, 春季和夏季日均分别记录到978和1099个脉冲串, 冬季活动强度显著大于春季、夏季和秋季($P<0.05$)。主动声学调查结果显示, 秋季鱼类平均密度最高约为598尾/1000 m³; 春季则最低约为55尾/1000 m³, 夏季和秋季鱼类密度显著大于冬季和春季($P<0.05$)。空间分析结果显示, 4个季节上段水域均有鱼类集群, 冬季和春季上段水域的鱼类平均密度最高, 夏季和秋季则为中段水域最高。上述研究表明, 西江长江江豚迁地群体对栖息地利用具有显著的时间和空间特征, 鱼类资源分布格局和最大水面宽度是影响长江江豚对西江栖息地利用的主要因子, 迁地群体最偏好整个周年均有鱼类集群的上段水域。研究分析了长江江豚在相对封闭的迁地水域时空分布特征, 可以为长江江豚迁地保护群体科学管护及迁地水域栖息地修复提供技术支持, 亦可为后续新建迁地保护水域提供参考依据。

关键词: 安庆西江; 分布格局; 水声学; 鱼类资源; 脉冲串数量

中图分类号: S932.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)07-072502-12



长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*)是目前长江中唯一的鲸类动物。随着社会经济快速发展, 人类涉水活动强度持续增强, 诸如江湖阻隔、航运发展、岸坡硬化、过度捕捞等, 这对长江江豚的生存和繁衍产生了剧烈扰动, 导致20世纪90年代至21世纪初, 长江江豚种群数量急剧

减少, 种群极度濒危^[1-3]。为扭转长江江豚数量下降的颓势, 我国逐步探索了就地保护、迁地保护和人工繁育三大保护策略, 其中, 迁地保护是当前保护长江江豚最直接有效的措施。截至2023年, 我国已建立5个迁地保护地, 迁地群体总量超过150头, 多个迁地保护水域的长江江豚种群数量已呈现出

收稿日期: 2024-12-06; 修订日期: 2025-02-26

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF1301604); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD11); 省级财政项目“安徽省重点水域水生生物资源监测”(2023AHNYNC016XQ)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2022YFF1301604); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD11); Provincial Fiscal-funded Project “Monitoring of Aquatic Biological Resources in Key Water Areas of Anhui Province” (2023AHNYNC016XQ)]

作者简介: 梁海英(2000—), 女, 硕士研究生; 主要从事水生生态保护方向研究。E-mail: m220150558@st.shou.edu.cn

通信作者: 刘凯, E-mail: liuk@ffrc.cn

稳定增长^[4-7]。安庆西江长江江豚迁地保护基地位于吉阳矾水道, 原为长江故道, 长约9 km, 该保护基地人类活动干扰少, 生境适宜, 适合长江江豚栖息与繁育, 是理想的长江江豚迁地保护水域^[8-10]。安庆西江既为长江下游唯一的长江江豚半自然迁地水域, 同时也是安徽安庆江豚省级自然保护区的组成部分, 对于支撑长江下游长江江豚保护工作具有积极意义^[11]。

长江江豚的分布是栖息地选择性、季节性分布变化、人类活动影响、保护需求及种群动态监测等多个方面研究的基础。早期长江江豚分布考察主要依赖于直接观察, 但直接观察存在效率低、受天气和能见度影响大等局限性^[12, 13]。随着技术发展, 被动声学技术被广泛应用于长江江豚种群数量和分布监测中^[14]。被动声学技术通过布置水下声学仪器开展被动声学调查, 可以实现长时间、大范围的连续监测, 在长江江豚的分布特征及活动迁移规律研究上具有良好的应用潜力。在江苏镇江长江江豚类省级自然保护区、南京长江江豚省级自然保护区等已有通过被动声学技术调查长江江豚分布规律的研究成果, 进一步探究了长江江豚生境选择机制^[15, 16]。

已有研究表明自然水域中长江江豚的分布与鱼类资源和生境因子密切相关^[17]。在长江干流长江江豚喜好栖息在大型回水区多、水流缓慢、水生生物资源丰富且人类活动少的水域, 并受饵料鱼资源、水文特征变化及两者交互作用影响^[18, 19]。东洞庭湖栖息的长江江豚也表现出相似特征, 长江江豚观测数量与鱼类密度呈显著正相关^[20]。而迁地水域等小水体中长江江豚群体栖息地选择和分布规律研究较少。目前针对天鹅洲故道、何王庙故道的长江江豚迁地保护群体的栖息地选择偏好开展一定研究, 通常采用目视考察掌握保护区内长江江豚分布规律, 研究表明小水体中长江江豚分布规律与鱼类分布格局的关联性较弱, 而是受到生境因子影响更显著, 并推测可能与长江江豚游动距离远有关^[21, 22]。西江长江江豚迁地保护群体分布规律尚不明确, 探究该群体的分布规律及时空特征对阐明小水体中长江江豚群体的栖息地选择策略十分重要。本研究利用被动声学技术对西江长江江豚群体的时空格局进行调查, 结合生境因子和主动声学技术, 分析影响安庆西江长江江豚群体分布的主要关联因素, 更好地识别该水域的关键栖息地, 以支撑西江科学管护和该迁地群体的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究时间与研究水域

2023 年开展覆盖4个季节的周年调查, 具体采样时间为冬季(12—2月)、春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)。研究水域为安庆西江长江江豚迁地保护基地(简称“西江”, 116°28′—117°03′E, 30°20′—30°50′N), 按河道分为上段(样区A和B)、中段(样区C和D)和下段(样区E和F)水域, 在A—F这6个样区均匀布设18个采样点(图1: S1—S18)。对这18个采样点的水深和水温进行测定, 对6个样区的河道弯曲率(B: River bend rate)、平均水面宽度和最大水面宽度分别进行测算, 河道弯曲率因短期内不会发生较大改变, 只测量一次; 每样区选择1个固定点位(S2、S4、S6、S8、S10、S12)结合浮筒布设固定式水下高频声音事件记录仪调查长江江豚脉冲串; 于6个样区南北岸分别设置1个网具调查点位进行渔获物采样, 同步进行走航式全水域科学鱼探仪渔业水声学调查。

1.2 研究方法

被动声学调查 目视考察结果可以清晰反映长江江豚分布点位和数量, 但由于频次低且仅能反映日间分布, 在季节性分布特征研究中具有局限性; 相比之下, 被动声学设备持续时间长且不受天气影响, 更能反映季节性的分布格局。本研究使用声音事件记录仪(T-tag, ML200-AS8 Marine Micro Technology, Saitama, Japan)对长江江豚脉冲串事件进行长期调查。T-tag灵敏度在120 kHz频率上(100—160 kHz, 5 dB带宽)为-201 dB re 1 V/μPa, 与长江江豚发声的主频率接近, 电子带通滤波为55—235 kHz, 以消除长江江豚脉冲串频段外的噪声信号。采样率为2 kHz, 即每0.5ms记录1次脉冲串声压强度和持续时间, 定期更换电池。

通过Igor Pro 7 (Wave Metrics, USA)软件的定制程序提取长江江豚脉冲串, 根据长江江豚脉冲串特征(图2)进行手动筛选, 记录长江江豚脉冲串数量, 基于各段水域调查到脉冲串数量比率反映西江长江江豚群体对西江各段水域的利用率^[23]。

鱼类资源调查 使用网具和科学鱼探仪同步开展鱼类资源调查。每个调查点位放置1套3层复合刺网(单条网长200 m, 网高2 m, 长×高: 50 m×2 m, 网目2a=2、6、10和14 cm), 2个定制串联倒须笼壶(单条网长18 m, 网高33 cm, 网宽45 cm, 网目2a=0.8 cm), 每套网具放置24h (由保护区管理人员24h值班, 保证动物安全)后起水, 对渔获物进行鉴定及生物学测量。

水声学调查使用科学探鱼仪EY60 (200 kHz, Simrad, Norway)进行鱼类资源密度及其时空分布特征调查,在考察船左侧船舷垂直固定探鱼仪,换能器入水0.5 m,数据采集时换能器发射功率选择150 W,脉冲宽度256 μ s。根据西江狭长的特点,采用“Zig Zag”类型航线进行走航式测定并采集数据。使用echoview 7.1 (Myriax Pty Ltd. Australia)软件对采集水声学数据进行处理,对原始数据进行处

理,获得不同调查时间的鱼类密度信息。采用Arc GIS10.3进行鱼类资源分布格局的建模,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Arc GIS10.3平台,采用反距离权重法(Inverse Distance Weighted)进行栅格插值运算,可视化鱼类水平分布格局^[24]。

生境因子调查 使用多参数水质仪(YSI, Pro Plus, America)测量各采样点水温,使用便携式

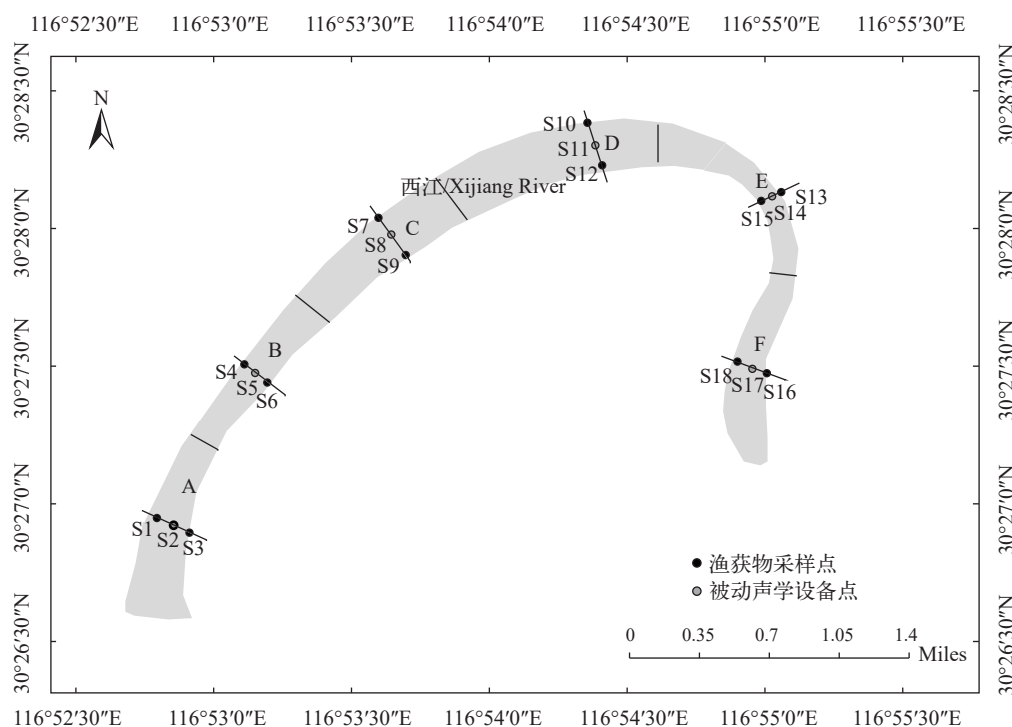


图1 西江水域采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points in Xijiang Oxbow

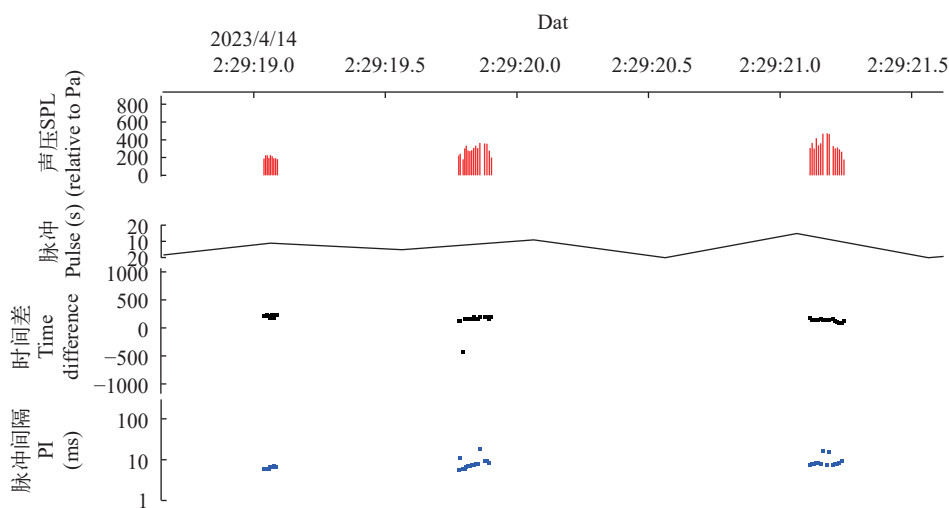


图2 T-tag提取的长江江豚脉冲串

Fig. 2 Pulse signal of Yangtze finless porpoise extracted by T-tag

SPL. 声压; TD. 时间差; PI. 脉冲间隔

SPL. Sound pressure; TD. Time difference; PI. Inter click interval

测深仪(Speedtech SM-5, Mettler Toledo, America)测量各采样点水深。利用激光测距仪(Leica, CRF 2700, Sweden)测量水面宽度,沿河道每300 m左右测量1次水面宽度,每个样区测量5次,取最大值为水面最大宽度,5次测量的平均值为平均水面宽度。利用GIS工具测量各样区河段实际长度(S : Actual length of the river section)和直线长度(L_m : Straight length of the river section),计算河道弯曲率(B)=河段实际长度(S)/直线长度(L_m)。

数据统计与分析 通过单因素方差法(One-way Analysis of Variance)分析各段水域生境的差异;使用Kruskal Wallis方差法分析空间(上、中、下段)和时间(四个季节)对长江江豚分布格局的影响,通过双因素方差法(Two-Way Analysis of Variance)分析空间和时间对长江江豚分布格局的交互作用。

选用Margalef丰富度指数(d)、Pielou均匀度指数(J)、Shannon-wiener指数(H')、Simpson优势度指数(C)分析鱼类群落多样性特征,计算公式: $d=(S-1)/\ln N$ 、 $H'=-\sum P_i \ln P_i$ 、 $J=H'/\ln S$ 、 $C=1-\sum_{i=1}^s (n_i/N)^2$ (S 表示群落中物种数量, N 表示群落中所有物种个体数量, N_i 表示第*i*个物种的个体数量, P_i 为*i*种所占总尾数的比例, $N_{\max}$ 为优势种的个体数)。使用Person相关性系数分析鱼类平均密度与长江江豚脉冲串数量的相关性,参照Foote^[25]提出的喉鲮鱼类经验公式对目标强度和鱼体体长进行转换: $TS=20\lg TL-71.9\text{dB}$ [TS 为鱼类的目标强度(dB), TL 为目标鱼体的体长(cm)],计算各段水域体长小于20 cm鱼类平均密度,并利用线性回归方程分析长江江豚分布格局与体长小于20 cm鱼类的平均密度的关系;使用反距离权重法对6样区的脉冲串数量进行栅格插值运算,可视化各段水域长江江豚利用率,结合鱼类密度水平分布格局分析两者关系。

使用广义线性模型(Generalized Linear Model)分析生境因子与长江江豚分布的相关性。

2 结果

2.1 西江生境特征

单因素方差分析显示,各段平均水面宽度差异显著($F=45.191$, $P=0.000^{**}$),中段的水面宽度显著高于其他河段;各段最大水面宽度差异不显著($F=3.592$, $P=0.071^{*}$);各段水深差异显著($F=13.271$, $P=0.002^{**}$),下段河流平均水深最深,而中段最浅,上段次之;各段水温并未显示出统计学上的显著差异($F=0.000$, $P=1.000$),水温平均值相近且波动范围小,反映了西江水域内水温的一致性;各样区河道弯曲率存在显著差异($F=0.000$, $P=0.000^{**}$),下段河道弯曲率显著高于其他河段(表 1)。

2.2 西江长江江豚分布格局

被动声学技术调查结果 6个被动声学调查点位在调查期间共记录到241978个长江江豚脉冲串(表 2)。其中,冬季和秋季调查时间天数为27d(设备电池限制),分别记录到102986和76690个长江江豚脉冲串;春季和夏季调查天数为30d,分别记录到29327和32975个脉冲串;冬季日均记录脉冲串数量显著大于春季、夏季和秋季($P<0.05$)。分析结果显示,上段水域总记录脉冲串数量占比为52.61%,显著大于中段水域的23.38%和下段水域的24.02% ($P<0.05$)。

2023年共进行2次目视考察,考察累计观察到19群次32头次(表 3)。目视考察上段水域目击数量最多,与被动声学调查结果匹配(图 3)。

长江江豚各季节分布格局 双因素方差分析结果表明,季节因素($F=14.25$, $P<0.05$)和空间因素($F=12.25$, $P<0.05$)对脉冲串数量均具有主效应,且季节因素和空间因素对脉冲串数量具有交互作用($F=3.52$, $P<0.05$)。声学调查结果显示,在同一段水域,不同季节长江江豚的探测概率也有明显差异。上段水域冬季和秋季长江江豚的探测概率显著高于春季和夏季($P<0.05$),中段水域冬季的探测

表 1 西江生境参数

Tab. 1 Habitat parameters of Xijiang Oxbow

指标Index	冬Winter			春Spring			夏Summer			秋Autumn			<i>F</i>	<i>P</i>
	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L		
最大水面宽度 Max width of the water surface (m)	326	437	300	343	454	290	437	510	445	449	472	399	45.191	0.000**
平均水面宽度 Mean width of the water surface (m)	307	421	252	318	432	265	352	471	318	330	438	299	3.592	0.071*
水温Temperature (°C)	8.4	8.27	8.28	19.52	19.33	19.77	33.95	31.67	31.78	26.63	26.3	26.28	0.000	1.000
水深Depth (m)	4	4	6	5	5	7	5	5	7	5	5	7	13.271	0.002**
河道弯曲率River bend rate	1.07	1.11	1.34	1.07	1.11	1.34	1.07	1.11	1.34	1.07	1.11	1.34	0.000	0.000**

注: U. 上段河道 Upper section of river; M. 中段河道 Middle section of river; L. 下段河道 Lower section of river; 下同The same applies below; ** $P<0.01$

概率显著高于其他季节($P<0.05$), 下段水域各季节探测概率差异不显著($P>0.05$)。

在同一季节, 长江江豚对不同水域利用率有明显差异。冬季、春季和秋季均为对上段水域利用率最高, 分别为55.64%、58.34%和57.15%; 而夏季对下段水域利用率最高, 为56.05%。各季节Kruskal Wallis方差分析结果显示3段水域长江江豚的脉冲串数量均有显著差异($P<0.05$), 冬季和秋季各段水

域记录到脉冲串数量都为上段>中段>下段, 春季: 上段>下段>中段; 夏季: 下段>上段>中段(图 4)。

鱼类资源与长江江豚分布格局关系 渔获物采样结果显示, 4次网具调查共鉴定鱼类49种, 隶属于6目8科。在所有种类中, 以鲤科种类最多, 为39种, 占总种类数的79.59%, 其次是鲮科, 为3种, 占6.12%; 鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)和蒙古鲌(*Culter mongolicus*)数量占比最高, 分别为22.67%、17.81%和10.69%。Shannon多样性指数(H')、Pielou均匀度指数(E)、Simpson优势度指数(C)和Margalef 丰富度指数(DMG)分别为2.63、0.68、0.11和5.81。4次调查共捕获土著鱼类3890尾, 其中体长20 cm以下鱼类为2999尾, 占总数约77.09%; 其中鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)和子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)数量占比最高, 分别为23.11%、

表 2 各段记录脉冲串数量

Tab. 2 T-tag records the number of pulse trains

季节 Season	调查时间段 Investigation period	调查天数 Investigation day	河段 River section	脉冲串 总数量 Total number of pulse train	脉冲串 数量 Number of pulse trains (d)
冬Winter	2023.1.7— 2023.2.4	27	U	57302	2122
			M	27451	1017
			L	18233	675
春Spring	2023.4.12— 2023.5.22	30	U	17111	570
			M	5159	172
			L	7057	235
夏Summer	2023.7.9— 2023.8.15	30	U	9054	302
			M	5434	181
			L	18487	616
秋Autumn	2023.9.22— 2023.10.19	27	U	43830	1623
			M	18522	686
			L	14338	531

表 3 目视考察观测到的长江江豚群次、数量、最大群体

Tab. 3 Visual inspection of the observrd population, quantity, and the maximum population of Yangtze finless porpoises

考察季 节 Season	考察日 期 Date	长江江豚 群次 Number of groups observed	目击率 Encounter rate (群次/km)	长江江豚 数量 Number of porpoises observed	最大群体 The maximum group size
春 Spring	2023— 05—17	12	1.33	25	4
秋 Autumn	2023— 09—01	7	0.78	7	1

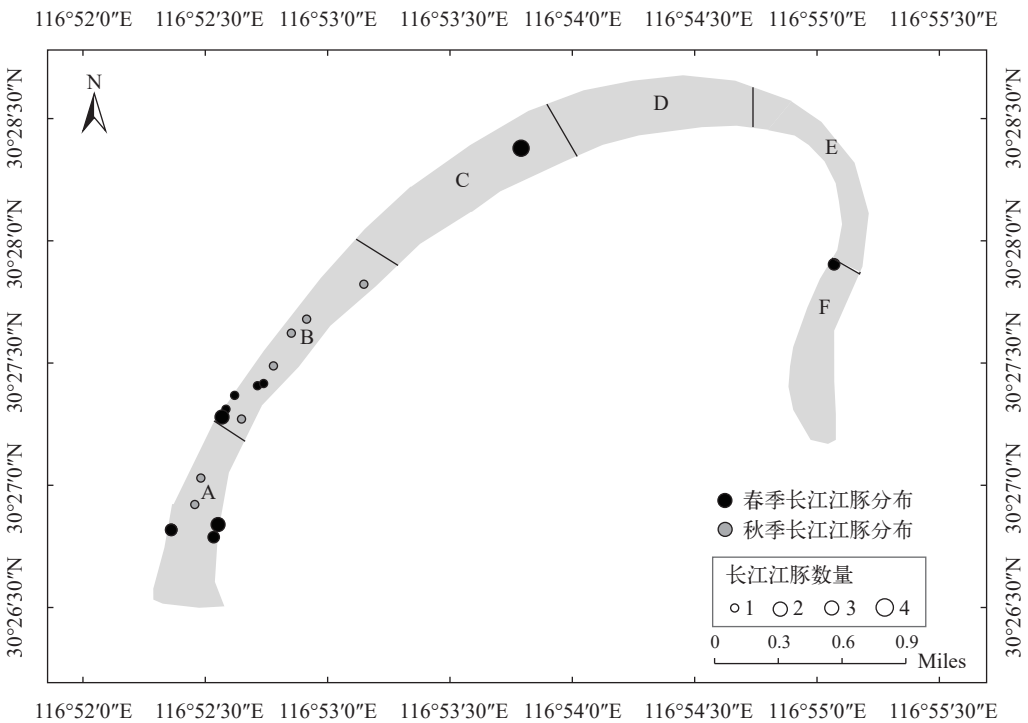


图 3 目视考察结果

Fig. 3 Visual inspection results

21.97%和8.77%。

渔业水声学调查结果显示, 秋季鱼类平均密度最高为597.94 尾/1000 m³, 春季鱼类平均密度最低为54.59 尾/1000 m³。单因素方差分析及事后检验显示, 各季节西江鱼类密度差异显著($P=0.000^{**}$), 秋季鱼类平均密度显著大于其他3个季节($P<0.05$), 夏季显著大于冬季和春季($P<0.05$; 表 4)。Person 相关系数分析结果显示, 鱼类平均密度与长江江豚分布格局相关性不显著(相关系数为0.076, $P>0.05$)。通过体长转换公式计算体长小于20 cm 鱼类的平均密度, 线性分析结果表明体长小于20 cm 鱼类与西江长江江豚分布格局不存在显著的线性关系($P>0.05$; $R^2=0.0041$; 图 5)。

插值分析结果显示, 冬季和春季上段水域的鱼类平均密度最高, 夏季和秋季中段水域鱼类平均密度最高; 4个季节上段水域均有鱼类集群行为, 夏季中段水域也有鱼类集群行为, 秋季3段水域都有鱼类集群行为(图 6)。结合长江江豚脉冲串数量插值分析, 冬季和春季西江长江江豚活动的热点水域与鱼类集群水域重叠, 而夏季和秋季分布格局与鱼类密度和鱼类集群无明显关系。

2.3 生境因子与长江江豚分布格局关系

广义线性模型的Omnibus检验结果显示至少有一个自变量对因变量有显著影响($P<0.001$), 参数估计结果(表 5)显示截距项在统计上显著($P<0.05$); 在自变量中, 最大水面宽度的系数为10.01, 在统计上具有显著性($P<0.05$); 平均水面宽度和河道弯曲率

与脉冲串数量正相关, 水温和水深与脉冲串数量负相关, 但在统计学上均不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 西江长江江豚迁地群体活动强度的时空特征

已有研究表明, 与中华白海豚(*Sousa chinensis*)及白鲸(*Delphinapterus leucas*)等鲸类动物类似, 长江江豚对于栖息地选择具有偏好特征; 其表现包括更倾向于在近岸浅水区、水流较缓慢及水生生物资源丰富的水域活动, 而这些水域通常位于支流湖泊与长江的汇合处、弯曲河段及江心洲头尾^[26—31]。长江江豚的摄食需求及行为习性还促使它们在鱼类密度高的水域聚集, 对东洞庭湖长江江豚分布影响因素进行研究发现, 长江江豚的目击头次与鱼类密度呈显著正相关, 推测长江江豚可能具有逐鱼而居的行为特征^[20]。本研究基于被动声学技术跟踪分析了2023年西江长江江豚群体分布特征及栖息地偏好, 发现西江长江江豚群体在上段水域活动强度最高; 同期主动声学调查结果显示, 上段水域鱼类密度较高且各季节均有鱼类集群行为。上段水域相对宽阔的水面为长江江豚提供了良好的栖息和捕食场所, 更为集中的鱼类分布则更有利于长江江豚捕食, 可以提高捕食效率进而减少捕食过程中的能量消耗, 这些条件叠加可能是长江江豚在上段水域维持高活动强度的主要驱动因素。

淡水豚类的栖息地选择存在季节性差异, 与水位波动、食物资源分布及人类活动干扰等因素的季节性变化关系密切。已有研究表明, 印度恒河豚(*Platanista gangetica gangetica*)在旱季和雨季对水深的偏好不同, 旱季时更喜欢6—10 m深的水域, 而在雨季则偏好10—16 m深的水域^[26]; 鄱阳湖长江江豚受枯丰水位显著性差异的影响, 冬季主要沿狭窄的湖泊通道广泛分布, 春季和夏季集中于湖泊中心区域^[32]。西江历史上是长江故道, 现为受节制闸控制的半封闭水域, 受人类活动干扰较小, 长江江豚分布格局的季节特征可能与鱼类分布格局和生境的季节性变化有关。冬季和春季在上段水域记录到长江江豚脉冲串数量最多, 主动声学调查结果显示冬季和春季上段水域鱼类平均密度最高且伴随

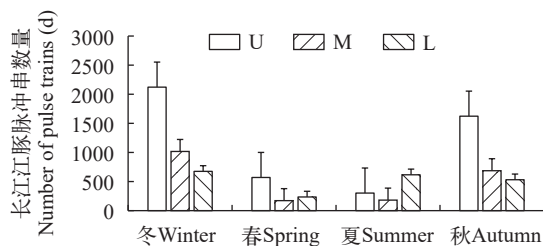


图 4 西江水域长江江豚脉冲串记录数量

Fig. 4 Recorded number of Yangtze finless porpoise pulse trains records in Xijiang Oxbow

U. 上段河道 Upper section of river; M. 中段河道 Middle section of river; L. 下段河道 Lower section of river

表 4 鱼类资源声学调查结果

Tab. 4 Acoustic survey of fish resources (mean±SE)

指标Index(ind./1000 m ³)	冬Winter	春Spring	夏Summer	秋Autumn	F	P
最大密度Maximum value	733.7	230.98	743.8	978.13		
最小密度Minimum value	3.21	3.96	3.12	128.46		
平均密度Mean density	64.82±13.00	54.59±13.83	138.59±29.09	597.94±60.05	67.84	0.000**

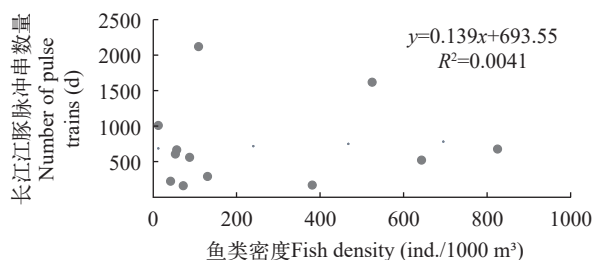


图5 西江长江江豚分布与体长小于20 cm鱼类平均密度关系
Fig. 5 Relationship between the distribution of finless porpoises in the Xijiang Oxbow and the average density of fish with a body length of less than 20 cm

有鱼类集群行为, 其他水域则相对分散, 鱼类小范围集群提高了长江江豚的捕食效率, 这可能是其更倾向于在捕食机率更大的上段水域活动的原因; 已有研究表明鲸类动物会通过增加脂肪层厚度以提高保温效果来度过寒冷的冬季, 为了建立脂肪层以应对冬季寒冷和减少热调节的能量成本, 其进食量会显著增加, 相比其他季节长江江豚在冬季更容易受到鱼类分布格局的影响^[22]; 这也与西江冬季被动声学记录脉冲串数量最多的结果相吻合, 夏季在下段水域记录到脉冲串数量最多, 可能与大型鱼类分布有关, 夏季鱼类资源调查结果显示上段和中段水域的大型鱼类例如蒙古鲃(*Culter mongolicus*)、翘嘴鲃(*Culter alburnus*)等数量较多, 大型鱼类可能与长江江豚存在种间竞争关系, 为了增大捕食机遇, 长江江豚倾向于在下段水域捕食。秋季在上段水域记录到脉冲串数量最多, 该季节各段水域鱼类资源均较丰富且有鱼类集群行为, 鱼类更偏好在上段水域集群分布可能是导致长江江豚群体该季节偏好上段水域的主要因素。

3.2 西江长江江豚迁地群体栖息地选择特征及影响因子

此前对长江江豚栖息地选择的影响因子研究多聚焦于大水体, 在长江禁捕之前由于食物资源匮乏, 鱼类资源成为影响长江干流等大水体中长江江豚分布格局的关键因子^[33, 34]。通过调查皖河口长江江豚分布特征并分析其与鱼类分布格局的关系, 结果显示长江江豚的分布与可摄食鱼类分布具有显著的正相关关系, 尤其是上层可摄食鱼类^[35]。对长江干流9个码头区长江江豚分布调查发现长江江豚冒险在码头附近进行捕食, 鱼类资源可能是其在此分布的主要驱动因子^[36]。尽管广泛认为长江江豚分布与鱼类资源分布格局显著相关, 但本研究结果表明, 西江长江江豚活动强度与各段水域鱼类平均密度相关性不显著($P>0.05$)。西江长江江豚群体冬季和春季的偏好水域与鱼类集群分布的水域重

叠, 夏季和秋季鱼类分布格局对西江长江江豚分布格局影响则不显著, 说明长江江豚和鱼类之间的关系可能是随季节动态变化的。可能原因是, 一方面夏季和秋季西江鱼类资源比较丰富, 其密度大于长江宜昌和宜宾江段、城陵矶至宜昌江段等长江干流^[37-39]。根据Liebig最小因子定律, 低于某种生物需要的最小量的任何特定因子是决定该种生物生存和分布的根本因素, 西江鱼类平均密度可能并不低于长江江豚生存的最小量的需要。Huang等^[40]在研究长江江豚在何王庙(集成垸)迁地保护区的栖息地偏好时也发现, 长江江豚在何王庙故道偏爱中等程度渔业密度的水域。另一方面, 根据Akamatsu等^[41]的研究, 估计长江江豚每日游泳距离能达到30 km左右; 西江总长仅约9 km, 其迁地群体理论上可以快速地活动迁移以完成其食物、生理或社交需求。因此较丰富的鱼类资源和年内相对较大的水域空间及西江总体较小活动范围可能是这两个季节长江江豚分布格局与鱼类分布格局不存在明显相关的原因。水声学结果还表明, 西江各季节鱼类平均密度差异显著($P<0.05$), 秋季(598 尾/1000 m³)和春季(55 尾/1000 m³)鱼类平均密度差了10倍多, 这与西江为静止、孤立的长江江豚迁地保护基地有关。春、夏两季为数量较丰富的棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、达氏鲃(*Culter dabryi*)等鱼类的主要繁殖季节, 平均鱼类密度在秋季达到顶峰, 这也说明西江鱼类资源繁殖能力较强, 是长江江豚理想的迁地保护水域。总体来看, 西江鱼类资源较丰富, 平均鱼类密度可能并不低于长江江豚生存的最小量的需要, 但适合长江江豚捕食小型鱼类资源发展趋势需重点关注。

鲸类动物对生境变化尤其敏感, 分布受水情水势、地形地貌等生境因子影响, 其中水面宽度被认为是影响其分布的重要因子^[42, 43]。恒河豚和短吻海豚(*Lagenorhynchus obliquidens*)偏好宽阔河道, 这些区域通常具有丰富的猎物和有利的水文特征^[44]。长江江豚更倾向于选择宽度较大的水域进行栖息和活动。在长江干流中, 水面宽度直接影响长江江豚的栖息地选择, 在水面缩窄的枯水期, 许多水面宽度不足400 m, 显著影响长江江豚的活动范围和栖息地质量^[45]。在鄱阳湖渚溪河口上游, 由于水面宽度不足, 船舶噪声对长江江豚的影响更为显著, 因而航运活动对长江江豚的影响尤为突出^[46]。本研究发现西江长江江豚群体分布格局与最大水面宽度呈显著正相关, 偏向于在中等最大水面宽度的上段水域活动, 其可能与长江江豚通过声呐定位、捕食和交流相关($P<0.05$)。研究表明, 水面宽度的

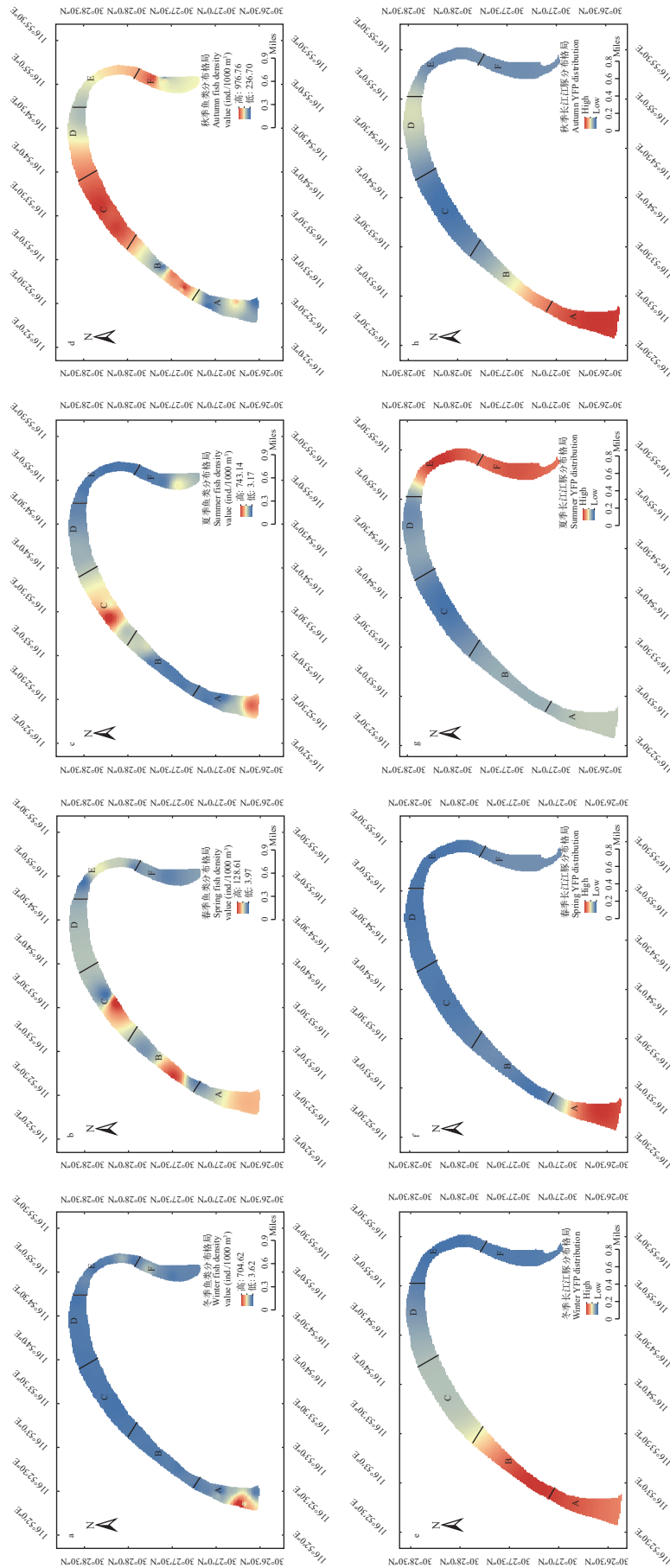


图6 各季节西江鱼类和长江江豚分布格局

Fig. 6 Distribution pattern of fish and Yangtze finless porpoise in the Xijiang Oxbow in each season

a—d. 冬季、春季、夏季、秋季鱼类分布格局; e—h. 冬季、春季、夏季、秋季长江江豚分布格局

a—d. Pattern of fish distribution in winter, spring, summer, and autumn; e—h. Distribution patterns of the Yangtze River finless porpoises in winter, spring, summer, and autumn

表 5 参数估计表

Tab. 5 Parameter estimation table

参数 Parameter	系数 Coefficient	标准差SD	Wald	P	95%置信区间下界 Lower bound of 95% confidence interval	95%置信区间上界 Upper 95% confidence interval
截距Intercept	5139.48	3895.16	1.74	0.19	-2494.88	12773.85
最大河道宽度 Max river width (m)	10.01	4.87	4.22	0.04**	0.46	19.56
平均河道宽度 Mean river width (m)	25.66	19.16	1.79	0.18	-63.22	11.90
温度Temperature (°C)	-7.12	42.94	0.03	0.87	-91.28	77.04
水深Depth	-772.50	401.81	3.70	0.05	-1560.04	15.04
河道弯曲率B	5182.52	3709.04	1.96	0.16	-2087.07	12452.11

变化会影响声波的传播和反射, 从而影响其回声定位能力; 在较宽的河道, 声波传播可以减少多路径反射和干扰, 使得长江江豚能够更准确地探测到目标, 水面宽度较大且水流平缓的水域更有利于长江江豚的交流和捕食^[47]。而过宽的水面也可能不利于长江江豚捕食活动, 对于依赖回声定位的长江江豚来说, 宽阔的水域可能会增加声波传播的距离, 导致定位猎物不准确, 影响捕食效率^[48, 49]。

4 结论

本研究利用主动及被动声学技术, 量化分析了安庆西江长江江豚迁地保护基地各季节长江江豚和鱼类分布格局, 探究了长江江豚分布的影响因子。结果表明长江江豚群体在上段水域活动强度最高, 冬、春、秋三季长江江豚偏好水域均为上段, 在日常管护工作中应该加强对西江上段水域的巡护力度并优先实施生态修复措施, 以提升该水域栖息地适宜性并排除安全隐患。对西江迁地保护水域的长江江豚群体分布格局影响因素分析发现鱼类资源不是西江长江江豚群体栖息活动的限制因子, 但对长江江豚喜食鱼类和凶猛肉食性鱼类的种群发展需要持续关注。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

[1] Chen B Y, Chen L W, Zhang J, *et al.* Impact of vessels on the behavior of Yangtze finless porpoises in Nanjing [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(10): 1672-1679. [陈炳耀, 陈力文, 张俊, 等. 船只对南京长江江豚的行为影响分析 [J]. *水生生物学报*, 2024, **48**(10): 1672-1679.]

[2] Zhou X, Guang X, Sun D, *et al.* Population genomics of finless porpoises reveal an incipient cetacean species adapted to freshwater [J]. *Nature Communications*, 2018, **9**(1): 1276.

[3] Huang J, Mei Z, Chen M, *et al.* Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise [J]. *Biological Conserva-*

tion, 2020(241): 108315.

[4] Wang D. Progress achieved on natural *ex situ* conservation of the Yangtze finless porpoise. IUCN SSC Cetacean Specialist Group. 2015.

[5] Jiang W H, Huang L X, Yu D P. Status and solution of the ex-situ conservation Yangtze finless porpoise in Tongling Freshwater Porpoise National Nature Reserve [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, **31**(3): 109-112. [蒋文华, 黄立新, 于道平. 铜陵淡水豚自然保护区江豚迁地保护现状与对策 [J]. *水生态学杂志*, 2010, **31**(3): 109-112.]

[6] Tao F. Study on the distribution law and its influencing factors of the ex-situ population of the Yangtze finless porpoise in the Xijiang River in Anqing City [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2018. [陶峰. 安庆市西江长江江豚迁地种群分布规律及影响因子研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2018.]

[7] Qiu J S, Sun X D, Wang D, *et al.* The first case of reintroduction and behavioral adaptability of Yangtze finless porpoise [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(10): 1709-1718. [邱建松, 孙晓冬, 王丁, 等. 首例长江江豚的野化及行为适应性研究 [J]. *水生生物学报*, 2023, **47**(10): 1709-1718.]

[8] Ye Q, Tan J H, Liu K. Current status of zooplankton community and assessment of fishery potential in Yangtze finless porpoise ex-situ nature reserve of Xijiang River in Anqing [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2021, **49**(19): 82-85. [叶卿, 谈金豪, 刘凯. 安庆西江长江江豚迁地保护基地浮游动物群落现状及渔产潜力评估 [J]. *安徽农业科学*, 2021, **49**(19): 82-85.]

[9] Ma F J, Lin D Q, Zhang X K, *et al.* Characteristics of riparian plant community in Yangtze finless porpoise ex-situ reserve in Xijiang oxbow, Anqing city [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(3): 623-633. [马凤娇, 蔺丹清, 张晓可, 等. 安庆西江长江江豚迁地保护基地河岸带植物群落结构特征 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(3): 623-633.]

[10] Tao F, Liu K, Lin D Q, *et al.* Spatial pattern of phytoplankton community diversity in Xijiang River at Anqing, Anhui Province [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2019, **34**(2): 239-246. [陶峰, 刘凯, 蔺丹清, 等. 安庆市

- 西江浮游植物群落多样性时空格局 [J]. 大连海洋大学学报, 2019, **34**(2): 239-246.]
- [11] Anqing Xijiang Yangtze River Finless Porpoise Relocation Protection Base to add new “dolphin treasure” [J]. *Scientific Fish Farming*, 2019(8): 85. [安庆西江长江江豚迁地保护基地再添新生“豚宝” [J]. 科学养鱼, 2019(8): 85.]
- [12] 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): 1432-1439. [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.]
- [13] Wei Z, Wang D, Zhang X F, *et al.* Aggregation and spatio-temporal distribution of the Yangtze finless porpoise *Neophocaena phocaenoides asiaorientalis* in Tian-e-Zhou National Baiji Reserve [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(3): 247-252. [魏卓, 王丁, 张先锋, 等. 长江天鹅洲故道江豚的集群规模及其时空分布 [J]. 水生生物学报, 2004, **28**(3): 247-252.]
- [14] Wang K X, Wang Z T, Mei Z G, *et al.* Ecological assessment indicator of the Yangtze River: Passive acoustic monitoring based population size of the Yangtze finless porpoise [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(6): 1390-1395. [王克雄, 王志陶, 梅志刚, 等. 长江生态考核指标: 基于被动声学监测的长江江豚数量 [J]. 水生生物学报, 2021, **45**(6): 1390-1395.]
- [15] Li D. Relationship between underwater noise and population distribution of Yangtze finless porpoise in Zhenjiang Yangtze Dolphin Provincial Nature Reserve [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022. [李栋. 镇江长江豚类省级自然保护区水下噪声与长江江豚种群分布的关系 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.]
- [16] Li P. Distribution law and habitat selection of Yangtze finless porpoise in Nanjing section of the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023. [黎盼. 长江南京段长江江豚分布规律及生境选择 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.]
- [17] Zhao X, Wang D, Mei Z, *et al.* Habitat preferences of the Yangtze finless porpoise in fragmented oxbow lakes: Implications for conservation [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020(24): e01234.
- [18] 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. [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.]
- [19] Zhao X J, Wang D. Limitations to the application of line transect surveying on cetaceans in Chinese waters and recommendations [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2011, **31**(2): 179-184. [赵修江, 王丁. 截线抽样法在中国水域鲸豚考察中的应用及其局限性与改进建议 [J]. 兽类学报, 2011, **31**(2): 179-184.]
- [20] Wang C R, Suo W W, Jiang G M, *et al.* Spatial distribution of the Yangtze finless porpoise and relationship to fish density in East Dongting Lake, China [J]. *China Environmental Science*, 2019, **39**(10): 4424-4434. [王崇瑞, 索纹纹, 蒋国民, 等. 东洞庭湖长江江豚及其与鱼类资源相关性 [J]. 中国环境科学, 2019, **39**(10): 4424-4434.]
- [21] Wang Z X, Chen M M, Wang K W, *et al.* Comparison of habitat activities of Yangtze finless porpoise in different flow regimes [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2022, **42**(2): 152-158. [王子璇, 陈敏敏, 王康伟, 等. 不同流态中长江江豚的栖息活动比较 [J]. 兽类学报, 2022, **42**(2): 152-158.]
- [22] 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. [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.]
- [23] Wang D. A preliminary study on sound and acoustic behavior of Yangtze River finless porpoise *Neophocaena phocaenoides* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20**(2): 127-133. [王丁. 长江江豚声信号及其声行为的初步研究 [J]. 水生生物学报, 1996, **20**(2): 127-133.]
- [24] Oksanen J, Blanchet F G, Friendly M, *et al.* Vegan: Community Ecology Package. 2020.
- [25] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1987, **82**(3): 981-987.
- [26] Bashir T, Khan A, Gautam P, *et al.* Abundance and prey availability assessment of Ganges river dolphin (*Platanista gangetica gangetica*) in a stretch of upper Ganges River, India [J]. *Aquatic Mammals*, 2010, **36**(1): 19.
- [27] Correia A M, Sousa-Guedes D, Gil Á, *et al.* Predicting cetacean distributions in the eastern North Atlantic to support marine management [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021(8): 643569.
- [28] Fernandez M, Alves F, Ferreira R, *et al.* Modeling fine-scale cetaceans' distributions in oceanic islands: Madeira Archipelago as a case study [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021(8): 688248.
- [29] Fu J, Zhao L, Liu C, *et al.* Estimating the impact of climate change on the potential distribution of Indo-Pacific humpback dolphins with species distribution model [J]. *PeerJ Life & Environment*, 2021(9): e12001.
- [30] Hornby C A, Hoover C, Iacozza J, *et al.* Spring conditions and habitat use of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) during arrival to the Mackenzie River Estuary [J]. *Polar Biology*, 2016, **39**(12): 2319-2334.
- [31] Chen M M, Liu Z G, Huang J, *et al.* Effects of artificial riverbanks on distribution of the Yangtze finless porpoise in the Anqing section of the Yangtze River main stem [J].

- Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(3): 945-952. [陈敏敏, 刘志刚, 黄杰, 等. 固化河岸对长江江豚栖息活动的影响 [J]. 生态学报, 2018, **38**(3): 945-952.]
- [32] Ma J, Huang J L, Chen J H, *et al.* Analysis of spatiotemporal fish density distribution and its influential factors based on generalized additive model (GAM) in the Yangtze River estuary [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, **44**(6): 936-946. [马金, 黄金玲, 陈锦辉, 等. 基于 GAM 的长江口鱼类资源时空分布及影响因素 [J]. 水产学报, 2020, **44**(6): 936-946.]
- [33] Mogensen L M W, Mei Z, Hao Y, *et al.* Spatiotemporal relationships of threatened cetaceans and anthropogenic threats in the lower Yangtze system [J]. *Frontiers in Conservation Science*, 2022(3): 929959.
- [34] Li D, Lin D Q, Wang Z G, *et al.* Spatial and temporal characteristics of fish resources in Zhenjiang Yangtze River Dolphin provincial nature reserve were evaluated based on hydroacoustic frequency difference technique [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(1): 121-132. [李栋, 蔺丹清, 王召根, 等. 基于水声学频差技术的镇江长江豚类省级自然保护区鱼类资源时空特征 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(1): 121-132.]
- [35] Wang Z T, Duan P X, Akamatsu T, *et al.* Increased Yangtze finless porpoise presence in urban Wuhan waters of the Yangtze River during fishing closures [J]. *Ecology and Evolution*, 2024, **14**(4): e11247.
- [36] Zhang X, Yu D, Wang H, *et al.* Effects of fish community on occurrences of Yangtze finless porpoise in confluence of the Yangtze and Wanhe Rivers [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2015, **22**(12): 9524-9533.
- [37] Wang Z, Akamatsu T, Mei Z, *et al.* Frequent and prolonged nocturnal occupation of port areas by Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*): Forced choice for feeding [J]? *Integrative Zoology*, 2015, **10**(1): 122-132.
- [38] Fan Z H, Ba J W, Duan X B. Studies on resources and species diversity in the middle reaches of the Yangtze River from Yichang to Chenglingji section [J]. *Freshwater Fisheries*, 2012, **42**(4): 20-25. [范振华, 巴家文, 段辛斌. 长江宜昌至城陵矶江段鱼类资源现状及物种多样性研究 [J]. 淡水渔业, 2012, **42**(4): 20-25.]
- [39] Duan X B, Xie Y J, Guo J, *et al.* Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distribution of fishes in the section from Honghu to Yichang of the Yangtze River middle reaches [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, **25**(12): 1842-1849. [段辛斌, 谢意军, 郭杰, 等. 长江中游洪湖至宜昌江段鱼类空间分布特征的水声学研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, **25**(12): 1842-1849.]
- [40] Xu D P, Liu K, Zhang M Y, *et al.* Interannual variation of the fish community composition in Anqing and Changshu section in the lower reaches of the Changjiang River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, **22**(9): 1156-1164. [徐东坡, 刘凯, 张敏莹, 等. 2003—2010 年长江下游两江段鱼类群落结构特征的年际变动 [J]. 长江流域资源与环境, 2013, **22**(9): 1156-1164.]
- [41] Huang S L, Mei Z, Hao Y, *et al.* Saving the Yangtze finless porpoise: time is rapidly running out [J]. *Biological Conservation*, 2017(210): 40-46.
- [42] Akamatsu T, Wang D, Wang K, *et al.* Biosonar behaviour of free-ranging porpoises [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, **272**(1565): 797-801.
- [43] Chen Y K, Lin D Q, Li D, *et al.* Distribution characteristics and its influencing factors of the Yangtze finless porpoise in Anqing section of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(10): 1651-1659. [陈宇宽, 蔺丹清, 李栋, 等. 长江安庆段长江江豚分布特征及其影响因子探究 [J]. 水生生物学报, 2024, **48**(10): 1651-1659.]
- [44] Wu J M, Zhou Q H, Xu D, *et al.* Progress in studies on water ecology in Tian'e Zhou oxbow [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(4): 935-946. [武俊梅, 周巧红, 徐栋, 等. 天鹅洲故道水生生态研究进展 [J]. 水生生物学报, 2017, **41**(4): 935-946.]
- [45] Braulik G, Atkore V, Khan M S, *et al.* Review of Scientific Knowledge of the Ganges river dolphin [M]. WWF, Commissioned by the World Bank, 2021, 28-29.
- [46] Zhang J X, Chen M, Han Y, *et al.* River bank habitat assessment of the Yangtze finless porpoise in the main stem of middlelower Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 56-61. [章晋秀, 陈懋, 韩祎, 等. 长江中下游干流江豚岸线栖息地质量评估 [J]. 水生生物学报, 2019, **43**(S1): 56-61.]
- [47] Que J L, Rao R C, Yang Y, *et al.* Population and distribution characteristics of Yangtze finless porpoise in Jiangxi waters during dry season [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(10): 1701-1708. [阙江龙, 饶榕城, 杨英, 等. 江西水域枯水期长江江豚种群数量和分布特征 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(10): 1701-1708.]
- [48] Broadmeadow S, Nisbet T R. The effects of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2004, **8**(3): 286-305.
- [49] Zimmer W M X, Harwood J, Tyack P L, *et al.* Passive acoustic detection of deep-diving beaked whales [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, **124**(5): 2823-2832.

EX-SITU POPULATION DISTRIBUTION PATTERN AND KEY INFLUENCING FACTORS OF YANGTZE FINLESS PORPOISE IN THE XIJIANG OXBOW OF ANQING CITY

LIANG Hai-Ying^{1,2}, LIN Dan-Qing¹, YAN Yan³, CHEN Yu-Kuan⁴, ZHANG Si-Gang³, YING Cong-Ping¹,
WANG Wei-Qi¹, LI Fan³ and LIU Kai^{1,2}

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214062, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Anqing Aquatic Technology Promotion Centre, Anqing 246002, China; 4. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: In order to deeply explore the distribution pattern, activity mode, and key influencing factors of the migrating finless porpoises in Xijiang Oxbow, Anqing City, we conducted an annual investigation covering 4 seasons in 2023, comprehensively applying active and passive acoustic techniques. The results of the passive acoustic investigation showed that the activity intensity of finless porpoises in Xijiang Oxbow has significant spatiotemporal characteristics. Regarding different sections, using a fixed underwater high-frequency acoustic event recorder, 127297, 56566, and 58115 pulse trains of Yangtze finless porpoise were recorded in the upper, middle and lower sections of the Xijiang Oxbow by using fixed underwater high-frequency acoustic event recorders, indicating that the activity intensity of Yangtze finless porpoise translocation population was the highest in the upper section, and there was no significant difference between the middle and lower sections ($P>0.05$). Subdivided into each season, the activity intensity of winter, spring, and autumn was the highest in the upper waters, and the proportion of the pulse train of Yangtze finless porpoise was 55.64%, 58.34%, and 57.15%, respectively. In summer, the lower water area was the highest, accounting for 56.05%. In winter and autumn, the activity intensity in the upper water area was the lowest, and the proportion of pulse train was 17.7% and 18.7%, respectively. In spring and summer, the activity intensity in the middle water area was the lowest, and the proportion of pulse train was 17.6% and 16.47%, respectively. In terms of seasonal activity intensity, 3814 and 2840 pulse trains were recorded in winter and autumn, respectively, compared to 978 and 1099 pulse trains in spring and summer. This suggests that the activity intensity in winter was significantly higher than that in spring, summer, and autumn ($P<0.05$). The results of active acoustic survey showed that the average density of fish was approximately 598 ind/1000 m³ in autumn and 55 ind/1000 m³ in spring, with significantly higher densities in summer and autumn compared to that in winter and spring ($P<0.05$). The spatial analysis indicated that there were fish clusters in the upper waters across all seasons. The highest average fish density was observed in the upper waters of winter and spring, while that in the middle waters exhibited the highest density in summer and autumn. The above research demonstrate that the habitat utilization of the ex-situ finless porpoise populations in the Xijiang Oxbow has significant temporal and spatial characteristics. The distribution pattern of fish resources and the width of the water surface are the main factors affecting the difference of habitat utilization of the Yangtze River finless porpoise. The ex-situ populations prefer the upper water with fish clusters every year. This study provides valuable insights into the spatiotemporal distribution characteristics of Yangtze finless porpoise in the relatively closed ex-situ waters, which can provide technical support for the scientific management and habitat restoration of translocated conservation groups. Additionally, it serves as a reference for the subsequent establishment of new ex-situ conservation waters in the future.

Key words: Anqing Xijiang Oxbow; Distribution pattern; Hydroacoustics; Fish stocks; Number of pulses trains

附录 S1 西江鱼类资源调查渔获物结果

Appendix S1 Fishery resource survey and catch results in Xijiang Oxbow

目Order 科Famliy	种类Species	数量Number											
		冬季Winter			春季Spring			夏季Summer			秋季Spring		
		上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段
鲱形目 Clupeiformes 鲱科 Engraulidae	短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	1	1	7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	福建小鰕鳊 <i>Microphysogobio fukiensis</i>	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
鲤形目 Cypriniformes 鲤科 Cyprinidae	蒙古鲃 <i>Culter mongolicus</i>	1	1	1	2	8	23	60	77	42	19	16	166
	似鲃 <i>Pseudobrama simoni</i>	1	NA	NA	67	67	102	11	4	5	1	1	1
	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	1	1	23	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA
	光唇蛇鲃 <i>Saurogobio gymnocheilus</i>	1	NA	NA	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA
	蛇鲃 <i>Saurogobio dabryi</i>	3	4	2	8	13	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	NA	NA	2	10	58	180	192	319	75	19	7	20
	兴凯鲌 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	NA	NA	1	NA	NA	NA	15	17	4	NA	2	1
	贝氏鲌 <i>Hemiculter bleekeri</i>	NA	NA	NA	154	146	382	10	1	NA	NA	NA	NA
	达氏鲃 <i>Culter dabryi</i>	NA	NA	NA	NA	11	27	39	24	35	16	9	13
	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	NA	NA	NA	12	34	31	36	5	11	13	49	57
	镇江片唇鲃 <i>Platysmacheilus zhenjiangensis</i>	NA	NA	NA	4	10	6	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	NA	NA	NA	5	14	2	NA	NA	2	NA	NA	NA
	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	7	5	1	7	3	1	
	鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	NA	NA	NA	3	1	4	2	3	5	1	NA	4
	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	NA	NA	NA	1	1	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	NA	NA	NA	1	1	2	1	1	9	9	3	3
	飘鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	NA	NA	NA	1	3	1	NA	NA	NA	3	2	7
	团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	NA	NA	NA	4	NA	2	4	1	3	3	NA	4
	细鳞鲴 <i>Xenocypris microlepis</i>	NA	NA	NA	15	11	57	15	3	4	7	2	39
	银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	NA	NA	NA	2	8	4	1	1	NA	2	1	NA
	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	NA	NA	NA	6	2	34	89	7	52	NA	3	14
	圆吻鲴 <i>Distoechodon tumirostris</i>	NA	NA	NA	1	2	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	鲂 <i>Megalobrama mantschuricus</i>	NA	NA	NA	NA	2	1	9	5	1	1	NA	NA
	鲤 <i>Carassius auratus</i>	NA	NA	NA	NA	1	1	NA	NA	1	3	1	NA
	银鲃 <i>Squalidus argentatus</i>	NA	NA	NA	NA	3	NA	2	NA	3	NA	7	4
	鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	NA	NA	NA	NA	2	3	3	2	3	NA	NA	4
	黑鳍鲈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	NA	NA	NA	NA	1	4	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	拟尖头鲃 <i>Culter oxycephaloides</i>	NA	NA	NA	1	8	10	NA	NA	3	NA	NA	NA
	鲢 <i>Ochetobius elongatus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	2	NA	NA	1	NA	NA	NA
	青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	NA	NA	NA	NA	2	2	5	2	2	NA	NA	3
	红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	NA	NA	NA	NA	1	1	NA	NA	NA	9	3	11
	赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	NA	2	1	NA	NA
	中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	21	23	NA	NA	NA
	寡鳞鲮 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9	4	13	NA	NA	NA
	点纹银鲃 <i>Squalidus wolterstorffi</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	1	1
	大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	NA	NA	NA	3	2	1	NA	NA	NA	18	5	4
	黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2
亚口鱼科 Catostomidae	胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	4	NA
虾虎鱼目 Gobiiformes 虾虎鱼科 Gobiidae	子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	NA	1	2	2	15	32	65	46	23	16	20	41

续表 S1

目Order 科Famliy	种类Species	数量Number											
		冬季Winter			春季Spring			夏季Summer			秋季Spring		
		上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段	上段	中段	下段
合鳃鱼目Synbranchiformes	中华刺鳅 <i>Sinobdella sinensis</i>	NA	NA	NA	1	1	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA
刺鳅科Mastacembelidae													
鲈形目Perciformes	斑鳊 <i>Siniperca scherzeri</i>	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
鲈科Serranidae	鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	NA	NA	1	NA	6	4	1	NA	2	NA	NA	NA
鳊科Channidae	乌鳊 <i>Channa argus</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	1
鲮科Bagridae	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	长须黄颡鱼 <i>Pelteobagrus eupogon</i>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2	NA	NA	NA	NA	NA
	粗唇鲃 <i>Leiocassis crassilabris</i>	NA	NA	NA	NA	NA	1	NA	NA	NA	NA	NA	NA

注: NA表示此次调查未采集到