

Yu Z Y, Ding B Z, Zhong Z H, *et al.* Selection of nursery habitats by yangtze finless porpoise in the anqing section of the yangtze river and its correlation with fish resource distribution [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(8): XXXXXX. [余仲寅, 丁邦志, 钟志华, 等. 长江安庆段长江江豚抚幼栖息地选择及其与鱼类资源分布相关性研究 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(8): XXXXXX.]

长江安庆段长江江豚抚幼栖息地选择及其与鱼类资源分布相关性研究

余仲寅 丁邦志 钟志华 汤清澄 杜冰艳 黄永富 于道平 陈敏敏* 连玉喜*

(安庆师范大学生命科学与食品工程学院水生生物保护与水生态修复安徽省高等学校工程技术研究中心, 安庆 246003)

摘要: 极度濒危淡水鲸类长江江豚(*Neophocaena asiaeorientalis*) 0-2龄死亡率最高, 提高幼豚存活率对促进长江江豚种群数量回升至关重要。优良的抚幼场所是提高幼豚存活率的关键, 然而, 长江江豚抚幼栖息地的选择目前鲜有研究。本研究基于2023年4月至2025年6月在长江安庆吉阳矾—鹅毛洲江段开展的母子豚分布目视考察, 结合鱼类资源水声学调查探测, 分析了长江江豚抚幼栖息地的选择及其与鱼类资源分布的相关性。目视考察共观察到长江江豚357头次, 观测到母子豚28对, 母子豚出水点位130处, 均为一母一幼。平均每月观察到的幼豚占比为8.2%, 其中5—6月和10—12月观察到的幼豚占比最大, 分别为23.6%和41.4%。核心抚幼区(50%KDE)占研究水域总面积的17.12%, 主要分布于吉阳矾、清涪洲南汊、大渡口江段及鹅毛洲洲头区域, 其共同特征是含有大面积的非航道区域和自然漫滩。87.8%的核心抚幼区与长江江豚核心分布区(50%KDE)重叠, 且均位于长江江豚核心分布区的中心水域。相关性分析表明, 母子豚分布密度与鱼类整体分布密度, 以及体长<10 cm的小型鱼类分布密度均无显著相关性($P>0.05$)。以上结果说明长江江豚繁殖存在明显的季节性差异, 抚幼对栖息地质量要求更高, 核心抚幼区为长江江豚最优质栖息地, 并提示鱼类资源并非抚幼栖息地选择的主导因素, 推测这与禁渔后长江鱼类资源的整体恢复有关。本研究揭示的长江江豚核心抚幼栖息地选择和特征可为长江江豚抚幼生境判别和保护提供理论指导。

关键词: 安庆段; 长江江豚; 抚幼; 栖息地选择; 季节性差异; 栖息地保护

中图分类号: Q178.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2026)08-XXXXXX-11

doi: 10.3724/1000-3207.2026.2025.0440 CSTR: 32229.14.SSSWXB.2025.0440



抚幼是动物生命活动的关键阶段, 鲸类动物普遍2龄内的个体死亡率最高^[1-3]。海洋鲸类为寻找合适的繁殖抚幼地常进行长距离迁徙, 如灰鲸(*Eschrichtius robustus*)、蓝鲸(*Balaenoptera musculus*)、座头鲸(*Megaptera novaeangliae*)等在繁殖季节由北极附近的觅食区迁徙至低纬度温暖的海域进行分娩和抚幼^[4-7]。定居型小型齿鲸对繁殖抚幼地也有明显的选择性, 如宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)的母子群倾向于选择浅水海湾或红树林区域, 这些水域可有效躲避虎鲨等天敌, 同时提供了丰富的食物鱼资源^[8]。波罗的海本土港湾鼠海豚(*Phocoena phocoena*)喜欢在中部离岸浅滩以及西南部海域繁殖^[9]。相较于海洋鲸类, 淡水鲸类抚幼场所选择的研究非常少, 但已有研究表明淡水鲸类对抚幼场所也有较强的选择性。比如, 在印度尼西亚的马哈坎河, 89%的伊洛瓦底海豚(*Orcaella brevirostris*)幼豚出现在汇流区^[10]; 在湄公河中, 大部分伊洛瓦底海豚幼豚在深潭区被观察到^[11]。亚马逊河豚(*Inia geoffrensis*)母子豚常占居河流的边远洪泛区, 亚成年豚也常占据洪泛区, 而成年雄性豚常出现在主河道^[12]。这可能是由于洪泛区域栖息地环境复杂, 食物资源丰富, 可为亚马逊河豚抚幼提

抚幼是动物生命活动的关键阶段, 鲸类动物普遍2龄内的个体死亡率最高^[1-3]。海洋鲸类为寻找合适的繁殖抚幼地常进行长距离迁徙, 如灰鲸(*Eschrichtius robustus*)、蓝鲸(*Balaenoptera musculus*)、座头鲸(*Megaptera novaeangliae*)等在繁殖季节由北极附近的觅食区迁徙至低纬度温暖的海域进行分娩和抚幼^[4-7]。定居型小型齿鲸对繁殖抚幼地也有明显的选择性, 如宽吻海豚(*Tursiops truncatus*)的母子群倾向于选择浅水海湾或红树林区域, 这些水域可有效躲避虎鲨等天敌, 同时提供了丰富的食物鱼资源^[8]。波罗的海本土港湾鼠海豚(*Phocoena phocoena*)喜欢在中部离岸浅滩以及西南部海域繁殖^[9]。相较于海洋鲸类, 淡水鲸类抚幼场所选择的研究非常少, 但已有研究表明淡水鲸类对抚幼场所也有较强的选择性。比如, 在印度尼西亚的马哈坎河, 89%的伊洛瓦底海豚(*Orcaella brevirostris*)幼豚出现在汇流区^[10]; 在湄公河中, 大部分伊洛瓦底海豚幼豚在深潭区被观察到^[11]。亚马逊河豚(*Inia geoffrensis*)母子豚常占居河流的边远洪泛区, 亚成年豚也常占据洪泛区, 而成年雄性豚常出现在主河道^[12]。这可能是由于洪泛区域栖息地环境复杂, 食物资源丰富, 可为亚马逊河豚抚幼提

收稿日期: 2025-12-14; 修订日期: 2026-01-27

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(32470539)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) General Program (Grant No.32470539)]

作者简介: 余仲寅(1998—), 男, 硕士研究生; 主要从事生态学研究。E-mail: 1033547573@qq.com

通信作者: 陈敏敏(1985—), 女, 博士; 主要从事长江江豚保护生物学研究。E-mail: chenminminok@163.com 连玉喜(1986—), 男, 博士; 主要从事鱼类生态学研究。E-mail: lianyx177@163.com *共同通信作者

供良好的隐蔽场所,并能远离船舶等干扰^[13]。幼豚存活率低是淡水豚种群面临的最主要问题^[11, 14–16]。由于人类活动的严重干扰,淡水豚普遍面临生境质量退化、栖息地丧失和破碎化^[17]的威胁。对淡水豚抚幼栖息地选择的研究不仅可以掌握其抚幼栖息地特征,还可为淡水豚生命活动敏感时期的栖息地保护提供科学依据。

长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis*)是长江流域特有的淡水鲸类,国家一级重点保护野生动物,属于极度濒危物种(CR)^[18, 19]。自1997年至2017年,长江江豚种群快速下降至仅剩约1000头。2022年长江江豚科考显示长江江豚数量略有回升,约1249头,但仍极度濒危^[20, 21]。禁渔之前,导致长江江豚数量下降的主要因素是食物资源短缺和栖息地丧失及破碎化^[22]。长江江豚种群生命表研究显示,长江江豚0—2龄死亡率最高^[23, 24],幼豚存活率低可能是限制长江江豚种群增长的重要因素之一^[15, 16, 25]。提高幼豚存活率需优先保障母子豚对适宜栖息地的需求^[26, 27]。然而,在长江干流中,长江江豚选择什么样的水域抚幼还没有被深入研究,仅有零星的描述性报道,比如母子豚常在沙洲浅滩水域被观察到^[28, 29]。因此,不仅长江江豚抚幼栖息地选择及机制缺乏理论研究,抚幼栖息地保护也缺乏科学指导。那么,长江江豚选择哪些水域抚幼?其是否像亚马逊河豚一样,抚幼期与非抚幼期栖息的水域不同?另外,幼豚在6月龄后需从母乳过渡至捕食小型鱼类(如贝氏餐、似鳊等)^[30]。迁地保护区的研究表明,母子豚倾向于选择小型鱼类生物量高($>500 \text{ g/m}^3$)且集群性强的水域,若抚幼区鱼类资源不足,幼豚会出现营养不良及捕食行为发育延迟^[21, 31]。那么,在长江干流中,抚幼栖息地选择是否与鱼类资源有显著相关性?

本研究选择长江安庆吉阳矶-鹅毛洲段,通过开展母子对数量和分布的季节性目视考察,研究长江江豚核心抚幼栖息地选择,并通过分析不同季节下母子豚分布密度与鱼类分布密度相关性,探讨母子豚抚幼水域选择与鱼类资源分布的关系。本研究的主要目标有两点,一是研究水域长江江豚核心抚幼区域位于哪些水域,与长江江豚核心栖息水域有无重叠?二是核心抚幼区的选择是否受鱼类资源分布主导?长江干流中众多干扰因素,如密集的航运、航道整治等涉水工程,对抚幼及幼豚带来巨大危害,在长江江豚种群由快速下降到出现增长的关键时刻,保护好抚幼生境,是保证种群稳定增长的关键。本研究结果可进一步阐明母子豚抚幼生境特征及选择策略,为抚幼生境判别和保护提供科学

指导。

1 材料与方法

1.1 研究水域及调查时间

研究水域位于长江安庆吉阳矶-鹅毛洲江段,全长约60 km。该江段属于安庆江豚省级自然保护区,由吉阳矶和安庆两个自然河段组成,前者是鹅头型分汊河段,后者是弯曲分汊河段。研究水域含有江湖汇流区、江中沙洲浅滩区、洲尾汇流区、自然近岸水域等长江江豚偏爱的各种典型栖息地,是具有代表性的栖息江段^[32](图1)。

长江江豚的分布及数量考察时间为2023年4月—2025年6月,考察分不同水位期进行。不同水位期根据安庆站水位判定(图2)。平水期:4、5、9和

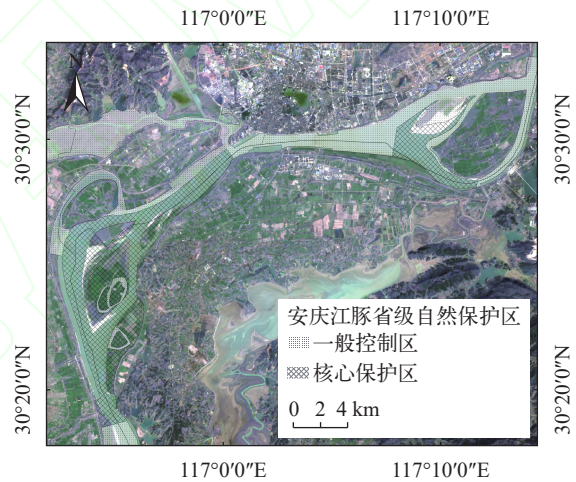


图1 研究区域(长江安庆吉阳矶-鹅毛洲江段)

Fig. 1 Study area (Jiyangji-Emaozhou section of the Yangtze River)

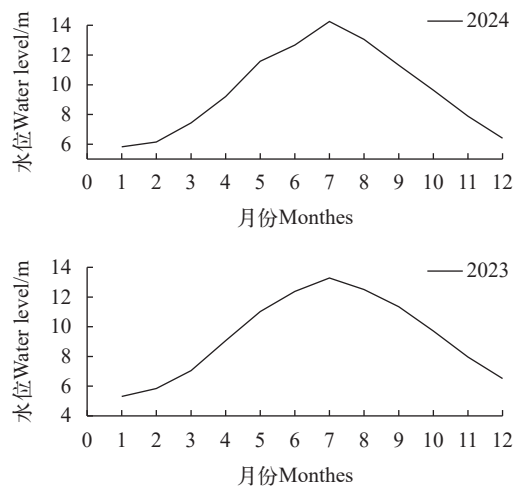


图2 2023—2024研究水域每月平均水位

Fig. 2 Average monthly water level in the study area from 2023 to 2024

10月, 2023—2024年每年各月份均考察两次。丰水期: 6月—8月, 其中2023—2024年每年各月考察两次, 2025年6月考察两次。枯水期: 11月—3月, 其中2023—2024年每年11月和12月各考察一次; 2023—2025年每年1和3月各考察两次。鱼类资源调查也分为3个时期: 平水期(2024年4月), 丰水期(2024年7月)和枯水期(2025年1月), 每个时期采集一次(图3)。

1.2 研究方法

本研究采取淡水豚类数量和分布调查常用的目视考察法^[18, 19, 32, 33]。考察船为小型船舶(皖观渔运80017), 长13 m, 观察平台约2.5 m, 视野开阔。考察时, 船以8—10 km/h的固定船速, 沿离岸150 m左右航线航行。3名观察者均为具有多次考察经验的人员, 可准确辨认长江江豚及幼豚。为保证数据准确, 考察选择晴朗无风或微风天气下进行, 沿途记录长江江豚数量和分布动态数据。

判断是否是母子豚时, 主要根据体型差异、出水方式和体位。体型差异: 成年长江江豚体长约1.5 m, 新出生幼豚体长约0.5 m, <6个月月龄的幼豚体型明显小于母豚。出水方式: 母豚与新出生或者几个月月龄大的幼豚紧密互动(一般分离不超过30 m^[34]), 相伴出水, 幼豚在出水呼吸时身体的仰角大于母豚, 母豚有背驮、干涉、身体触碰和伴游等特殊行为^[35, 36]。特殊的体位关系: 母子豚体位主要为队列位(Echelon position, 幼豚在母豚胸鳍侧0.5 m内平行同游)和婴儿位(Infant position, 母豚准备下潜时, 幼豚紧贴其腰部出水, 幼豚在母豚生殖裂下方, 出水延迟<2s)^[37]。为保证母子对的准确判定, 我们只记录具有明显以上特征的数据。

当观察到长江江豚时, 记录者立刻进行GPS打点定位并记录江豚相对于船的距离和群体组成等信息。当观察到母子豚时, 如果母子豚在迁移运动, 则通过望远镜保持200—300 m跟踪, 每隔1min, 记录1次位置, 直到无法跟踪。如果母子豚在徘徊, 则

停船, 每隔1min记录1次位置, 直到江豚游远无法观察。观察者将母子豚每次出水时距离船头的角度(以船正前方为0°, 船左边为-180°—0°, 船右边为0°—180°)与距离及母子豚离岸的距离信息精准汇报给记录者, 直至母子豚消失, 记录者将信息记录在记录表内, 然后根据手持GPS获取母子豚出水点位置。

1.3 数据分析

结合目视观察长江江豚和母子豚点位数据, 利用核密度估计(Kernel Density Estimation, KDE)计算母子豚在研究水域内的核心分布概率(KDE(x, y)), 通过Home range tool插件在ArcGIS 10.8中计算长江江豚50%、95%的密度分布区域。95%为动物分布区, 50%KDE为核心分布区^[38—40]。

利用鱼探仪采集鱼类资源数据。采用BioSonics公司生产的BioSonics DT-X, 200 kHz分裂波束回声探测仪。换能器-3 dB波束为6.8°×6.8°, 通过不锈钢制换能器支臂固定在探测船只右舷, 距离船首1/3船体长度, 入水深度0.3 m, 波束垂直向下发射。回声探测仪与笔记本电脑相连, 实时显示和存储数据。采用GPS (Garmin 60CSx) 来实时确定探测位置^[41]。再利用Echoview软件处理Visual acquisition程序采集的水声学原始数据。为了计算鱼类密度, 首先创建新的单体回波回声映像, 用以产生计算平均目标强度(Target Strength, TS)所需的单体回波。本文采用“single target detection split beam method 2”来作单体回波检测, 用来判定单体回波检测(SED)的参数如下: TS阈值=-70 dB; 脉冲宽度决定水平=6 dB; 最小标准脉宽=0.4; 最大标准脉宽=1.5; 最大波束补偿(2 ways)=6 dB; 短轴角度最大标准偏差=0.6; 长轴角度最大标准偏差=0.6, 鱼类TS值和鱼体全长(Total Length, TL)的换算公式采用鲤的TS-TL换算公式: $TS=23.97lgTL-103.9$ ^[41, 42]。根据各断面的长度, 运用加权平均法计算总体鱼类

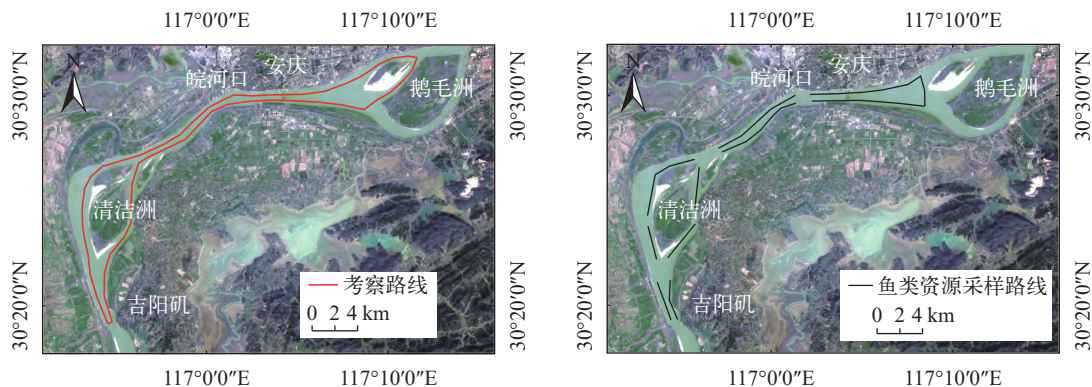


图3 长江江豚考察和鱼类资源采样路线

Fig. 3 Routes for the Yangtze Finless Porpoise monitoring and fish collection

的平均密度及10 cm以下的小型鱼类密度(判断是否是小豚适应性开口鱼类资源)。

兼顾研究水域水域面积及长江江豚活动范围,将研究区域等分成500 m×500 m栅格,计算每个栅格母子豚分布密度、鱼类密度和体长小于10 cm的鱼类密度。使用SPSS软件中斯皮尔曼相关性分析(变量不满足正态分布),分析各时期下母子豚活动的区域是否和鱼类资源分布相关联。

2 结果

2.1 长江江豚数量

本研究于2023年4月—2025年6月,在长江安庆吉阳矶-鹅毛洲江段共进行了46次考察,观测到长江江豚200群次,共计357头次,平均每次观察到长江江豚(7.76±3.92)头次(mean±SD);平均群体大小为1.79±0.94(图4)。观察到母子豚28对,均为一母一幼。以幼豚数量占比来看,平均每个月观察到的幼豚占比为8.2%,其中5—6月份及10—12月份观察到母子豚较多,占比分别为23.6%和41.4%(图4)。

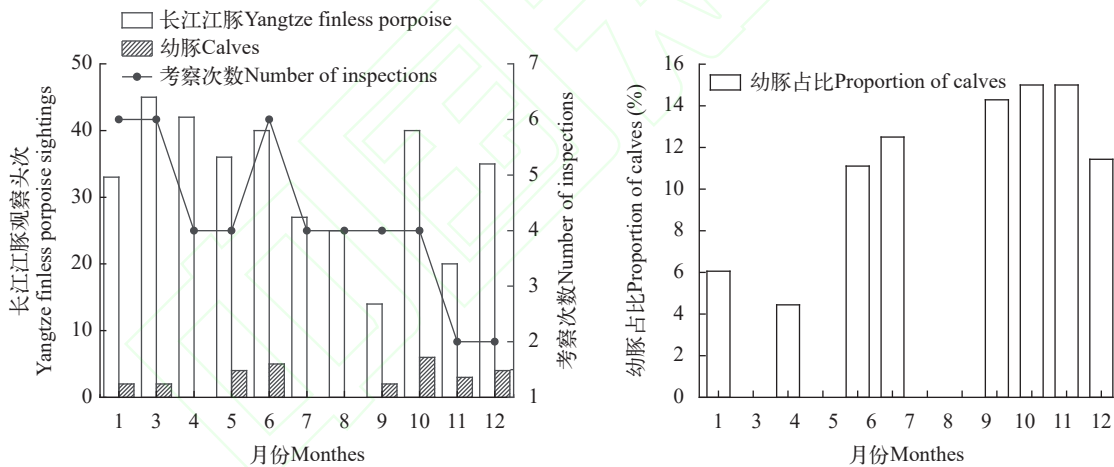


图4 不同月份长江江豚观察头次及幼豚占比

Fig. 4 Yangtze finless porpoise sightings and proportion of calves in different months

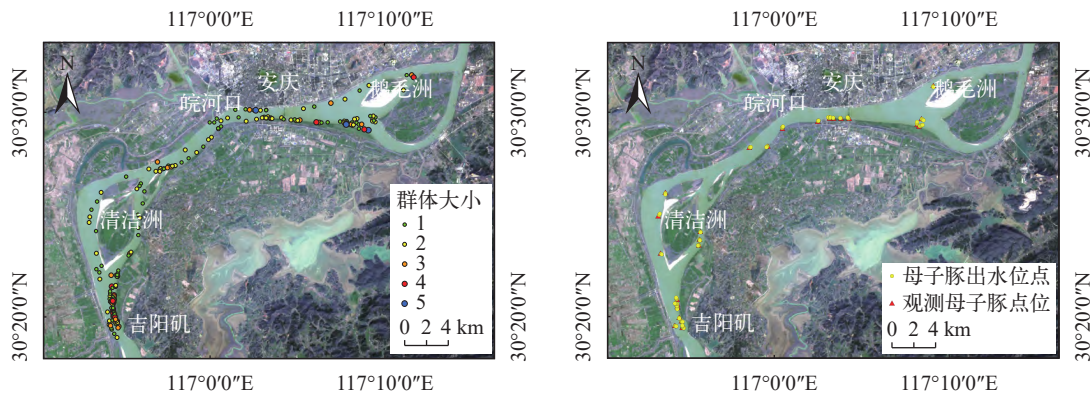


图5 长江江豚(左)及母子豚(右)观察点位分布

Fig. 5 Location of Yangtze finless porpoises (left) and mother-calf pairs (right) observed

本研究共记录到母子豚出水点位130个(图5)。

2.2 长江江豚核心栖息地分布

研究时段内,研究水域平均水表面积为81.5 km²。根据长江江豚分布数据,计算得满足长江江豚(不含母子豚)95%KDE分布的水域面积为80.5 km²,占总水域面积的98.77%;满足母子豚95%KDE分布的水域有3处,面积共56.24 km²,占总水域面积的69%。满足长江江豚(不含母子豚)50%KDE的核心分布区有4处,面积共30.27 km²,占总水域面积的37.14%;而满足母子豚50%KDE的核心分布区有4处,面积共13.95 km²,占总水域面积的17.12%,87.8%的母子豚核心分布区位于长江江豚核心分布区,且均位于长江江豚核心分布区的中心水域(图6)。

2.3 与鱼类分布相关性

研究时段内,研究水域平水期鱼类密度均值为3319.09 ind./ha,体长小于10 cm的鱼类密度均值为2890.14 ind./ha;丰水期鱼类密度均值为4280.49 ind./ha,体长小于10 cm的鱼类密度均值为3656.38 ind./

ha; 枯水期鱼类密度均值为538.88 ind./ha, 体长小于10 cm的鱼类密度均值为470.53 ind./ha。平水期, 鱼类中高密度分布区主要位于沙洲附近; 丰水期, 清洁洲-皖河口水域的鱼类密度要明显高于下游江段; 而枯水期, 鱼类分布比较分散(图7)。各时期下长江江豚分布密度与鱼类分布密度没有显著相关性($P>0.05$; 图8), 母子豚分布密度与鱼类分布密度及体长小于10 cm的小型鱼类分布密度也均没有显著相关性($P>0.05$; 图8)。

3 讨论

3.1 母子对数量有季节性差异

以往研究报道长江江豚交配行为有两个高峰期, 即每年3—6月和9—10月^[43, 44], 根据长江江豚近12个月的妊娠期, 推测长江江豚分娩行为有春季和秋季两个高峰期, 尤其以3—5月为主^[28, 45]。本研究通过全年段观察, 发现5—6月及10—12月幼豚占比较高, 分别为23.6%和41.4%。为保证数据的准确性, 本研究仅记录有明显母子对特征的数据, 因此幼豚均为几月龄大的低龄幼豚。推测长江江豚分娩存在两个高峰期, 其时间与以往报道一致。但本研究在全年大部分月份都可观察到母子豚, 陈炳耀等^[46]在长江南京段在不同季节也均能观察到幼崽, 推测长江江豚全年均可繁殖, 这在其他鲸类动物也比较常见^[47, 48]。

本研究平均每个月观察到的幼豚占比为8.2%; 陈炳耀等^[49]2019—2023年在南京段5年观察到的幼豚平均占比为11.4%。本研究的幼豚占比与南京江段幼豚占比无显著差异(Mann-Whitney U-test, $Z = -0.967$, $P>0.05$)。鄱阳湖是长江江豚最重要的湖区栖息地, 近一半的长江江豚栖息在湖区。湖区长江江豚的低龄幼豚占比未见文献报道, 但是在2009—

2011年连续3年湖区长江江豚普查中, 妊娠长江江豚占比20.4%^[50], 饶榕城等^[51]对2022—2023年鄱阳湖被围困的129头长江江豚监测发现, 妊娠长江江豚占比10.1%, 这提示近年鄱阳湖低龄幼豚占比与长江干流可能相当。

3.2 抚幼水域为高质量栖息地

核心抚幼区主要分布在吉阳矶、清洁洲南汊、大渡口江段及鹅毛洲洲头, 除清洁洲南汊外, 其余3块核心抚幼区均位于长江江豚核心分布区, 位于长江江豚核心分布区中心水域的面积占比高达87.8%。核心抚幼区的共同特征为含有大面积的非航道(低干扰)、河漫滩和自然岸线。以吉阳矶段为例, 由于主流北上, 深水槽靠北岸, 南侧水流缓, 形成大面积的浅滩区, 且该段主航道靠北侧深槽, 为长江江豚抚幼提供了大片非航道、自然河漫滩区域。大渡口段及鹅毛洲洲头同样如此, 而清洁洲南汊本身就是非通航水道。这些结果表明江豚抚幼对栖息地质量要求高, 母豚选择的抚幼水域是长江江豚核心栖息地中心水域, 是长江江豚最优质栖息地。长江江豚幼豚出生后1个月内游泳技能发育不完善, 不能控制好浮力且对水流抵抗能力弱, 母豚常有背驮幼豚的行为^[35—37]。3个月内的幼豚声呐系统发育不完善, 不能独立地确定游动方向、避开障碍物以寻找食物^[51], 高度依赖母豚携带和护领^[36, 37]。这表明生活在水流环境复杂、航运、码头、涉水工程等人类干扰众多的长江干流江豚种群, 母豚对抚幼生境选择比非抚幼期有更严格的要求。另外, 长江江豚并不像亚马逊河豚那样, 抚幼选择远离成年豚群体的水域^[12], 而是与其他成年豚栖息水域高度重叠。这可能是对栖息地有限、受干扰强、食物资源短缺等的适应。抚幼期间, 利用熟悉的栖息地, 既能增强动物高效利用有限资源的能力, 又能降低

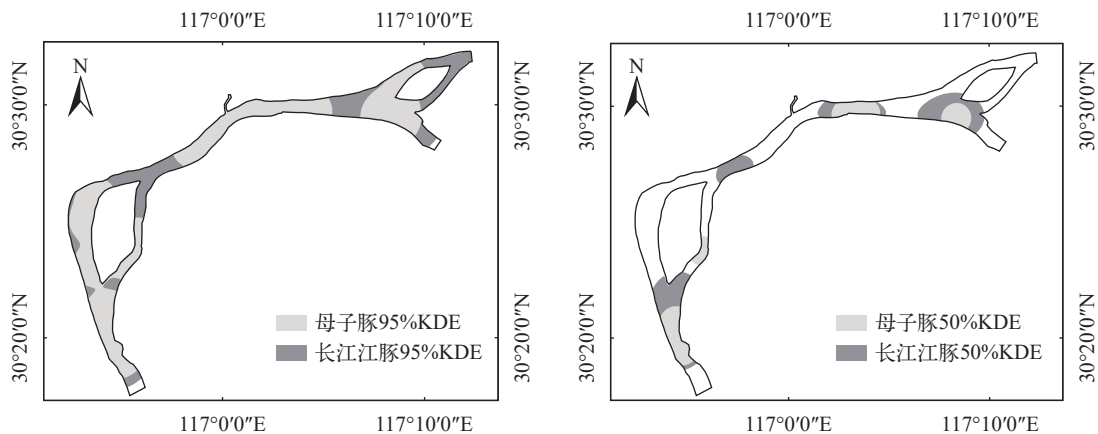


图6 长江江豚和母子豚分布区

Fig. 6 Distribution areas of Yangtze finless porpoises and mother-calf pairs

探索新区域带来的风险^[52, 53]。

3.3 抚幼水域选择与鱼类资源单因素相关性不显著

母子豚分布密度与鱼类分布密度及体长小于10 cm的小型鱼类分布密度均没有显著相关性。虽然基于鱼探仪的鱼类资源数据反映的是整体鱼类密度分布,而不是江豚食物鱼分布密度。但是根据连玉喜等^[9]报道,研究水域鱼类群落优势种为贝氏餐、似鳊、银鲴和刀鲚,这些都是江豚主要的食物鱼^[30]。因此该江段鱼类分布密度基本可反映江豚

食物鱼分布密度。然而,本研究并没有监测到母子豚分布与鱼类资源分布显著相关,推测鱼类资源不是抚幼栖息地选择的主导因素,这可能与长江十年禁渔政策实施后鱼类资源整体恢复有关^[54]。

本研究显示母豚选择的核心抚幼水域同样也是长江江豚的核心栖息地。因此,抚幼栖息地选择的影响因素与其他成年长江江豚对栖息地选择的影响因素基本类似,同样受到食物鱼资源、水深、水流、人类活动强度、河床地貌等因素的综合影响^[15, 28, 32, 44, 55-57]。本研究推测在当前鱼类资源恢

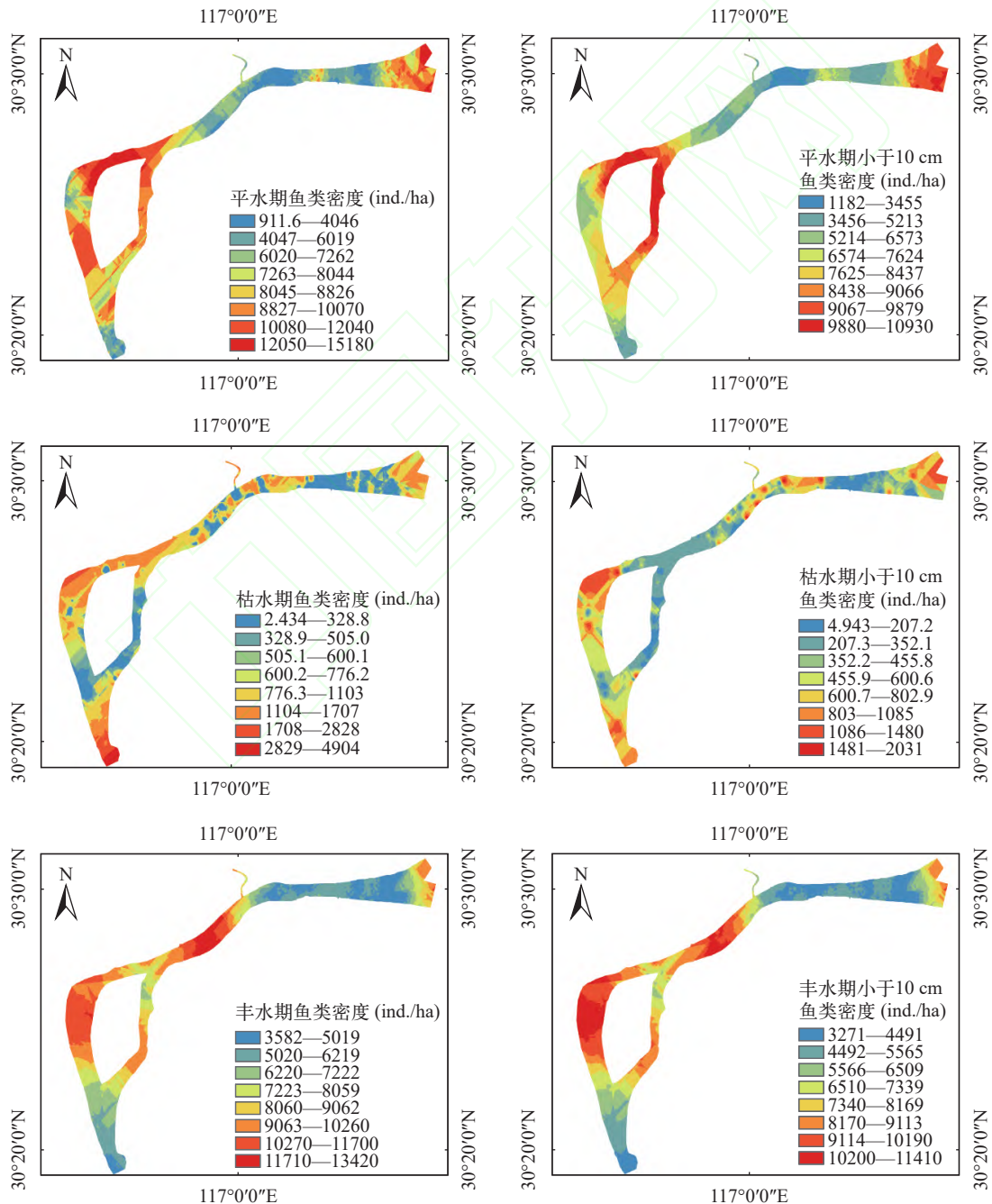


图 7 不同季节鱼类密度和体长小于10 cm的鱼类密度分布

Fig. 7 Distribution of fish density and density of fish less than 10 cm in different seasons

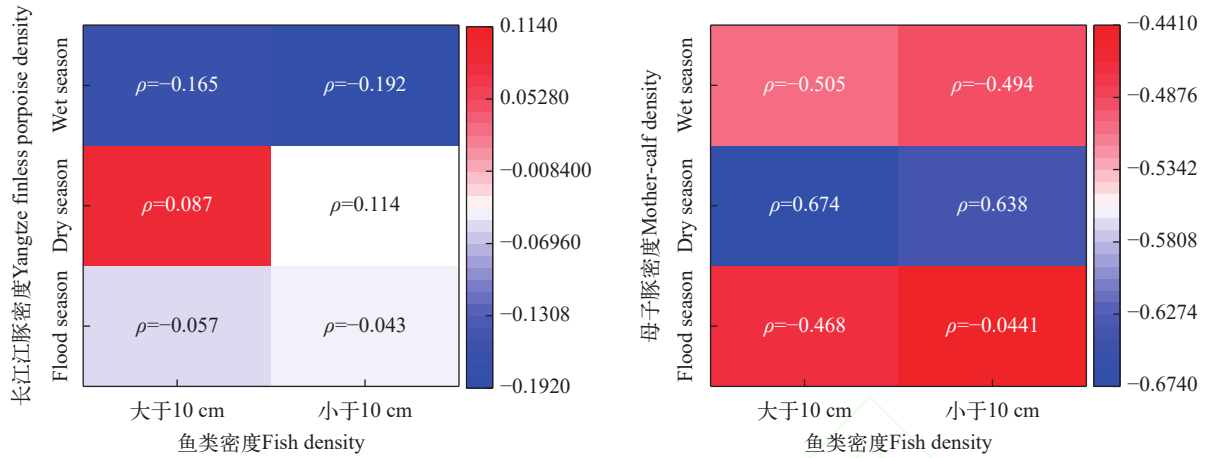


图8 不同季节长江江豚、母子豚与鱼类密度相关性热力图

Fig. 8 Thermal map of the correlation between Yangtze finless porpoise density and fish density, and between mother-calf pair density and fish density in different seasons

复、食物不再成为主要限制因素的情况下, 长江江豚抚幼栖息地选择可能受到水动力因素直接或间接影响。鲸类动物幼豚与母豚的体位关系已被证实与流体力学密切相关。鲸类动物母子豚体位主要为队列位(幼豚位于母豚的腰上方, 二者体轴保持平行, 一起游动)和婴儿位(幼豚位于母豚生殖裂下方, 二者一起游动, 母豚准备下潜时, 幼豚紧贴其腰部出水)^[58-61]。队列位有助于新生幼豚借助流体力学中的贝努利效应(Bernoulli effect)和取代效应(Displacement effect), 从而获得高效的助推力, 并紧密地与母豚联系在一起^[62-65]。例如, Weihs等^[62]通过对长吻原海豚(*Stenella longirostris*)母子豚游泳方式和水动力学研究发现长吻原海豚幼豚处于队列位可有效“免费乘坐”, 节省60%以上的推力, 是最佳的流体动力学效应位置。Noren & Edwards^[64]发现婴儿位虽然不是最佳的流体动力学效应位置, 但是也是有效降低游泳能耗的位置, 且兼顾了哺乳和庇护。长江江豚母子豚体位关系也主要为队列位和婴儿位^[34]。长江干流流态复杂, 幼豚对浮力控制能力差且体能有限, 因此, 长江江豚对抚幼栖息地的选择, 合适的水动力学环境可能是重要因素之一。另外, 幼豚尚没有发育完善的声呐系统, 主要依赖母豚导航, 水下噪音会对幼豚听觉造成干扰, 干扰其寻找母豚^[66], 可能也是影响抚幼水域选择的重要因素之一。本研究结果揭示的江豚核心抚幼水域以远离航道、有大面积河漫滩且水流平缓为主要特征, 这可能是对上述因素综合选择的结果。

4 结论

本文通过对长江安庆吉阳矶-鹅毛洲段长江江豚抚幼栖息地选择及其与鱼类资源分布的相关性

研究, 发现江豚的繁殖抚幼存在明显的季节性, 核心抚幼区为长江江豚核心分布区的中心水域, 为长江江豚高质量栖息地。研究发现鱼类资源并非母豚选择抚幼栖息地的主导因素, 推测这可能与长江十年禁渔后鱼类资源恢复有关。本研究为长江江豚抚幼生境判别和保护提供了很好的理论指导。长江江豚抚幼生境斑块化明显, 以大片河漫滩、远离主航道、自然岸带为主要特征。对于核心抚幼栖息地保护而言, 我们建议: 一是在5—6月及10—12月抚幼高峰期, 在适宜的栖息地保持低干扰, 比如管控涉水工程、船舶限航限速等; 二是保持核心抚幼区环境稳定, 比如尽量避免核心抚幼区上下游涉水工程改变抚幼区地貌或水动力环境。同时, 需深入开展抚幼栖息地需求的驱动机制研究, 进一步阐明抚幼对不同流速、水深等水文要素的响应阈值, 为保护修复措施的优化提供更精确的科学依据。(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Mann J. Behavioral sampling methods for cetaceans: a review and critique [J]. *Marine Mammal Science*, 1999, **15**(1): 102-122.
- [2] Mann J. Establishing trust: socio-sexual behaviour and the development of [J]. *Homosexual Behaviour in Animals: An Evolutionary Perspective*, 2006: 107.
- [3] Herzog D L. The life history of free - ranging Atlantic spotted dolphins (*Stenella frontalis*): Age classes, color phases, and female reproduction [J]. *Marine Mammal Science*, 1997, **13**(4): 576-595.
- [4] Vertebrates C. Breeding together: kin selection and mutualism in [J]. *science*, 2002, **296**: 69.
- [5] Pike G C. Migration and feeding of the gray whale (*Eschrichtius gibbosus*) [J]. *Journal of the Fisheries*

- Board of Canada*, 1962, **19**(5): 815-838.
- [6] Fossette S, Heide-Jørgensen M P, Jensen M V, *et al.* Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) post breeding dispersal and southward migration in the western Indian Ocean [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2014, **450**: 6-14.
- [7] Szesciorka A R, Ballance L T, Širović A, *et al.* Timing is everything: Drivers of interannual variability in blue whale migration [J]. *Scientific reports*, 2020, **10**(1): 7710.
- [8] Wells R S, Smith C R, Sweeney J C, *et al.* Fetal survival of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida [J]. *Aquatic Mammals*, 2014, **40**(3): 252.
- [9] Carlén I, Thomas L, Carlström J, *et al.* Basin-scale distribution of harbour porpoises in the Baltic Sea provides basis for effective conservation actions [J]. *Biological Conservation*, 2018, **226**: 42-53.
- [10] Krieb D. Conservation management of small core areas: key to survival of a Critically Endangered population of Irrawaddy river dolphins *Orcaella brevirostris* in Indonesia [J]. *Oryx*, 2005, **39**(2): 178-188.
- [11] Beasley I L. Conservation of the Irrawaddy dolphin, *Orcaella brevirostris* (Owen in Gray, 1866) in the Mekong River: biological and social considerations influencing management [D]. James Cook University, 2007.
- [12] Martin A R, Da Silva V M F. River dolphins and flooded forest: seasonal habitat use and sexual segregation of botos (*Inia geoffrensis*) in an extreme cetacean environment [J]. *Journal of zoology*, 2004, **263**(3): 295-305.
- [13] McGuire T L, Winemiller K O. Occurrence patterns, habitat associations, and potential prey of the river dolphin, *Inia geoffrensis*, in the Cinaruco River, Venezuela 1 [J]. *Biotropica*, 1998, **30**(4): 625-638.
- [14] Limsong H S, Ath M C S, Thomas P, *et al.* Report of the international workshop on the conservation of irrawaddy dolphins in the mekong river[C]. The World Wide Fund for Nature Workshop, Kratie, Cambodia, 2017.
- [15] Mei Z, Huang S L, Hao Y, *et al.* Accelerating population decline of Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) [J]. *Biological Conservation*, 2012, **153**: 192-200.
- [16] Mei Z G, Hao Y J, Zheng J S, *et al.* Population status and conservation outlooks of Yangtze finless porpoise in the Lake Poyang [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, **33**(5): 1289-1298. [梅志刚, 郝玉江, 郑劲松, 等. 鄱阳湖长江江豚的现状和保护展望 [J]. *湖泊科学*, 2021, **33**(5): 1289-1298.]
- [17] Mei Z, Chen M, Han Y, *et al.* Thresholds of population persistence for the Yangtze finless porpoise: implications for conservation managements [J]. *Integrative Zoology*, 2021, **16**(4): 538-547.
- [18] 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.
- [19] Mei Z, Zhang X, Huang S L, *et al.* The Yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction [J]. *Biological Conservation*, 2014, **172**: 117-123.
- [20] Huang J, Mei Z, Chen M, *et al.* Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise [J]. *Biological Conservation*, 2020, **241**: 108315.
- [21] Yang J, Wang K, Mei Z, *et al.* Temporal variation in the diet of Yangtze finless porpoise calls for conservation of semi-migratory fish [J]. *Freshwater Biology*, 2021, **66**(5): 992-1001.
- [22] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, **54**(19): 3473-3484.
- [23] Yang G, Zhou K Y, Gao A L, *et al.* Study on finless porpoise life table and population dynamics [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1998, **18**(1): 1-7. [杨光, 周开亚, 高安利, 等. 江豚生命表和种群动态的研究 [J]. *兽类学报*, 1998, **18**(1): 1-7.]
- [24] Wu B, Wang W P, He G, *et al.* Analysis of Population Viability of Yangtze Finless Porpoise and Its Implications for Protected Area Planning [J]. *Jiangxi Journal of Agricultural Sciences*, 2020, **32**(6): 93-98. [吴斌, 王伟萍, 贺刚, 等. 长江江豚种群生存力分析及其对保护区规划的启示 [J]. *江西农业学报*, 2020, **32**(6): 93-98.]
- [25] Wu B, Wang W P, Wang Q P, *et al.* Analysis of the number of dead Yangtze finless porpoises based on gray prediction [J]. *Biology Bulletin*, 2020, **55**(9): 19-20. [吴斌, 王伟萍, 王庆萍, 等. 基于灰色预测的死亡长江江豚数量分析 [J]. *生物学通报*, 2020, **55**(9): 19-20.]
- [26] Wang Z T, Akamatsu T, Duan P X, *et al.* Underwater noise pollution in China's Yangtze River critically endangers Yangtze finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) [J]. *Environmental Pollution*, 2020, **262**: 114310.
- [27] Lu Y, Bi H, Jiang W, *et al.* Two Strategies for Researching the Endangered Yangtze Finless Porpoises Suggest Data-Poor Areas Are Worthy of Greater Conservation Efforts [J]. *Ecology and Evolution*, 2025, **15**(7): e71649.
- [28] Wei Z, Wang D, Zhang X F, *et al.* Population size, behavior, movement pattern and protection of Yangtze finless porpoise at Balijiang section of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2002, **11**(5): 427-432. [魏卓, 王丁, 张先锋, 等. 长江八里江江段安庆西江长江江豚迁地群体分布格局及影响因子种群数量、行为及其活动规律与保护 [J]. *长江流域资源与环境*, 2002, **11**(5): 427-432.]
- [29] Liu X, Mei Z, Zhang J, *et al.* Seasonal Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) movements in the Poyang Lake, China: Implications on flexible management for aquatic animals in fluctuating

- freshwater ecosystems [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, **807**: 150782.
- [30] Yang J, Wan X, Zeng X, *et al.* A preliminary study on diet of the Yangtze finless porpoise using next-generation sequencing techniques [J]. *Marine Mammal Science*, 2019, **35**(4): 1579-1586.
- [31] Distribution pattern and influencing factors of ex-situ finless porpoises in the Yangtze River in Xijiang, Anqing [J]. *Chin Aquatic Biology*, 2025, **49**(7): 072502. [梁海英, 蔺丹清, 严燕, 等. 安庆西江长江江豚迁地群体分布格局及影响因素 [J]. *水生生物学报*, 2025, **49**(7): 072502.]
- [32] 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.
- [33] Chen M, Yu D, Lian Y, *et al.* Population abundance and habitat preference of the Yangtze finless porpoise in the highest density section of the Yangtze River [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2020, **30**(6): 1088-1097.
- [34] Xian Yijie. Behavioral development of juvenile Yangtze finless porpoise [J]. *Wuhan, Ph. D. dissertation, Institute of Aquatic Biology, Chinese Academy of Sciences*, 2010. [先义杰. 幼年长江江豚的行为发展 [J]. 武汉, 中国科学院水生生物研究所博士论文, 2010.]
- [35] Jiang W H, Yu D P. Preliminary observation of respiration behavior of female and young Yangtze finless porpoises in semi-natural waters [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, **41**(4): 97-99. [蒋文华, 于道平. 半自然水域中母仔长江江豚呼吸行为的初步观察 [J]. *动物学杂志*, 2006, **41**(4): 97-99.]
- [36] Xian Y J, Wang K X, Jiang W H, *et al.* Behavioral spectrum of juvenile Yangtze finless porpoise [J]. *Zoological Research*, 2010, **31**(5): 523-530. [先义杰, 王克雄, 蒋文华, 等. 幼年长江江豚的行为谱(英文) [J]. *动物学研究*, 2010, **31**(5): 523-530.]
- [37] Wu L, Chen R, Wei Y L, *et al.* The maternal care by Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis* *Asiaeorientalis*) in a semi-natural environment [J]. *Acta Theriologica Sinica*, 2015, **35**(3): 253. [吴亮, 陈燃, 魏垚麟, 等. 半自然条件下成年雌性长江江豚的抚幼行为[J]. *兽类学报*, 2015, **35**(03): 253-259. DOI:10.16829/j.slxb.2015.03.003.]
- [38] Gill P C, Morrice M G, Page B, *et al.* Blue whale habitat selection and within-season distribution in a regional upwelling system off southern Australia [J]. *Marine ecology progress series*, 2011, **421**: 243-263.
- [39] Brough T, Rayment W, Slooten E, *et al.* Fine scale distribution for a population of New Zealand's only endemic dolphin (*Cephalorhynchus hectori*) shows long-term stability of coastal hotspots [J]. *Marine Mammal Science*, 2019, **35**(1): 140-163.
- [40] Carome W, Slooten E, Rayment W, *et al.* A long-term shift in the summer distribution of Hector's dolphins is correlated with an increase in cruise ship tourism [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2022, **32**(10): 1660-1674.
- [41] Lian Y X, Yang X G, Wan A, *et al.* Resource assessment of bait fish for Anqing Xijiang Yangtze finless porpoise [J]. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, 2018, **27**(5): 1051-1060. [连玉喜, 杨晓鸽, 万安, 等. 安庆西江长江江豚饵料鱼资源评估 [J]. *长江流域资源与环境*, 2018, **27**(5): 1051-1060.]
- [42] Frouzova J, Kubecka J, Balk H, *et al.* Target strength of some European fish species and its dependence on fish body parameters [J]. *Fisheries Research*, 2005, **75**(1-3): 86-96.
- [43] HAO Y J, WANG D, ZHANG X X. Overview of the reproductive biology of Yangtze finless porpoises [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, **26**(2): 191. [郝玉江, 王丁, 张先锋. 长江江豚繁殖生物学研究概述 [J]. *兽类学报*, 2006, **26**(2): 191.]
- [44] Wei Z, Wang D, Zhang X F, *et al.* Aggregation and spatio-temporal distribution of the Yangtze finless porpoise *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis* 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.]
- [45] Zhang X F. Age, growth and reproduction of finless porpoises [J]. *Chinese Journal of Aquatic Biology*, 1992, **16**(4): 289-298. [张先锋. 江豚的年龄鉴定, 生长和生殖的研究 [J]. *水生生物学报*, 1992, **16**(4): 289-298.]
- [46] Chen B Y, Jiang X Y, Liu S, *et al.* 2019-2023 Nanjing Yangtze finless porpoise population dynamics [J]. *Journal of Nanjing Normal University(Natural Science Edition)*, 2024, **47**(02): 54-62. [陈炳耀, 姜新月, 刘杉, 等. 2019—2023年南京长江江豚种群动态 [J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2024, **47**(02): 54-62.]
- [47] Zhu X, Wang D, Wang K X, *et al.* Research Overview on Reproductive Biology of Cetaceans [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(5): 542-546. [祝茜, 王丁, 王克雄, 等. 鲸类繁殖生物学的研究概况 [J]. *水生生物学报*, 2003, **27**(5): 542-546.]
- [48] Félix F, Botero-Acosta N. Distribution and behaviour of humpback whale mother-calf pairs during the breeding season off Ecuador [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2011, **426**: 277-287.
- [49] Chen B Y, Chen L W, Zhang J, *et al.* Analysis of the behavioral impact of vessels on the behavior of Nanjing Yangtze finless porpoises [J]. *Chinese Journal of Aquatic Biology*, 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.]
- [50] Mei Z G, Hao Y J, Zheng J S, *et al.* Research progress on

- the decline mechanism of Yangtze finless porpoise population [J]. *Life Sciences*, 2011, **23**(5): 519-524. [梅志刚, 郝玉江, 郑劲松, 等. 长江江豚种群衰退机理研究进展 [J]. *生命科学*, 2011, **23**(5): 519-524.]
- [51] Rao R C, Yu J X, Que J L, *et al.* Population structure and growth status of Yangtze finless porpoises in the southern sand pit waters of Songmen Mountain, Poyang Lake [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, **32**(6): 1237-1244. [饶榕城, 余进祥, 阙江龙, 等. 鄱阳湖松门山南部砂坑水域长江江豚群体结构及生长状况评估 [J]. *上海海洋大学学报*, 2023, **32**(6): 1237-1244.]
- [52] Li S, Wang K, Wang D, *et al.* Simultaneous production of low-and high-frequency sounds by neonatal finless porpoises [J]. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, **124**(2): 716-718.
- [53] Lian Y X, Yang X G, Zhang X L, *et al.* Fish community structure in Qingjiezhou waters, an important habitat of the Yangtze finless porpoise [J]. *Biological Resources*, 2020, **42**(6): 629-636. [连玉喜, 杨晓鸽, 张心璐, 等. 长江江豚重要栖息地清节洲水域鱼类群落结构 [J]. *生物资源*, 2020, **42**(6): 629-636.]
- [54] Yang H, Shen L, He Y, *et al.* Status of aquatic organisms resources and their environments in Yangtze River system (2017-2021) [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2024, **9**(5): 833-850.
- [55] Chen M M, Liu Z G, Huang J, *et al.* Effects of solidified riverbank on habitat activities of Yangtze finless porpoises [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 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.]
- [56] Kimura S, Akamatsu T, Li S, *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.
- [57] Tavolga M C, Essapian F S. The behavior of the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*): Mating, pregnancy, parturition and mother-infant behavior [J]. *Zoologica: scientific contributions of the New York Zoological Society*, 1957, **42**(2): 11-31.
- [58] Miles J A, Herzing D L. Underwater analysis of the behavioural development of free-ranging Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*) calves [J]. *Aquat. Mamm.*, 2003, **29**: 363-377.
- [59] Krasnova V V, Bel’Kovich V M, Chernetsky A D. Mother-infant spatial relations in wild beluga (*Delphinapterus leucas*) during postnatal development under natural conditions [J]. *Biology Bulletin*, 2006, **33**(1): 53-58.
- [60] Gero S, Whitehead H. Suckling behavior in sperm whale calves: observations and hypotheses [J]. *Marine Mammal Science*, 2007, **23**(2): 398-413.
- [61] Gubbins C, Mcowan B, Lynn S K, *et al.* Mother - infant spatial relations in captive bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus* [J]. *Marine Mammal Science*, 1999, **15**(3): 751-765.
- [62] Weihs D. The hydrodynamics of dolphin drafting [J]. *Journal of Biology*, 2004, **3**(2): 8.
- [63] Noren S R, Biedenbach G, Edwards E F. Ontogeny of swim performance and mechanics in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2006, **209**(23): 4724-4731. Noren, Shawn R. , and Elizabeth F.
- [64] Noren S R, Edwards E F. Physiological and behavioral development in delphinid calves: Implications for calf separation and mortality due to tuna purse - seine sets [J]. *Marine Mammal Science*, 2007, **23**(1): 15-29.
- [65] Noren S R, Biedenbach G, Redfern J V, *et al.* Hitching a ride: the formation locomotion strategy of dolphin calves [J]. *Functional Ecology*, 2008, **22**(2): 278-283.
- [66] Li S H, Wang D, Wang K X, *et al.* Characteristics of finless porpoise echolocation signal and its sonar detection ability [C]//Animal Ecology Professional Committee of Chinese Ecological Society, Zoological Society of Chinese Zoological Society Zoological Branch, Chinese Wildlife Conservation Association. Abstracts of the Fourth National Symposium on Wildlife Ecology and Resource Protection. Institute of Aquatic Biology, Chinese Academy of Sciences; National Institute of Fisheries Engineering, Japan; 2007: 67. [李松海, 王丁, 王克雄, 等. 江豚回声定位信号特征及其声呐探测能力 [C]//中国生态学会动物生态专业委员会, 中国动物学会兽类学分会, 中国野生动物保护协会. 野生动物生态与资源保护第四届全国学术研讨会论文摘要集. 中国科学院水生生物研究所; 日本国立水产工学研究所; 2007: 67.]

SELECTION OF NURSERY HABITATS BY YANGTZE FINLESS PORPOISE IN THE ANQING SECTION OF THE YANGTZE RIVER AND ITS CORRELATION WITH FISH RESOURCE DISTRIBUTION

YU Zhong-Yin, DING Bang-Zhi, ZHONG Zhi-Hua, TANG Qing-Cheng, DU Bing-Yan, HUANG Yong-Fu, YU Dao-Ping, CHEN Min-Min and LIAN Yu-Xi

(Engineering Technology Research Center for Aquatic Organism Conservation and Water Ecosystem Restoration in University of Anhui Province, School of Life Sciences and Food Engineering, Anqing Normal University, Anqing, 246003, China)

Abstract: The mortality rate for the critically endangered freshwater cetacean, the Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis*), is highest between the ages of 0 and 2. Improving the survival rate of calves is crucial for promoting the recovery of the Yangtze finless porpoise population. The availability of optimal nursing habitats is essential for improving calf survival. Nevertheless, the specific waters selected by Yangtze finless porpoises for nursing remain poorly understood. Based on visual surveys conducted from April 2023 to June 2025 along the Anqing section (Jiyangji–Emaozhou) of the Yangtze River, combined with hydroacoustic survey data on fish resources, this study analysed nursery habitats characteristics and their correlation with fish resource distribution. A total of 357 Yangtze finless porpoise sightings were recorded, including 28 mother–calf pairs, all consisting of one adult female and one calf. The mean monthly calf proportion was 8.2%, with the highest proportions observed in May–June (23.6%) and October–December (41.4%). The core nursing area (50% KDE) comprised 17.12% of the total study area, primarily distributed in Jiyangji, the southern branch of Qingjiezhou, the Dadukou river section, and the E'maozhou Head area. These areas share common features, including extensive non-navigation zones, natural shallow waters, and slow-flowing shoals. Approximately 87.8% of the core nursing area overlapped with the core distribution area of the Yangtze finless porpoise (50% KDE) and was consistently located in the central parts of these core zones. No significant difference was between the distribution density of mother–calf pairs and the overall fish density, nor with the density of small fish (<10 cm in body length) ($P > 0.05$). The above results indicate significant seasonal differences in the reproduction of the Yangtze finless porpoise, with nursery habitats demand higher quality environmental conditions, representing the most favourable sites for the species. Additionally, the findings suggest that current habitat selection for calf rearing is influenced more by other factors rather than fish resources. The habitat selection and characteristics of the core nursing areas for the Yangtze finless porpoise revealed in this study can provide theoretical guidance for identification and protection of calf-rearing habitats for the species.

Key words: Anqing Section; Yangtze finless porpoise; Calf rearing; Habitat selection; Seasonal variation; Habitat conservation