

长江新螺段白暨豚国家级自然保护区长江江豚分布特征及河道形态影响研究

徐子佳 张瑶瑶 刘小宇 陈懋 梅志刚

**DISTRIBUTION AND INFLUENCE ON RIVER MORPHOLOGY OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE IN THE XINLUO SECTION OF THE YANGTZE BAIJI NATIONAL NATURE RESERVE**

XU Zi-Jia, ZHANG Yao-Yao, LIU Xiao-Yu, CHEN Mao, MEI Zhi-Gang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2025.2024.0362>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江江豚自然保护区建设管理存在的问题及调整建议

PREDICAMENTS AND ADJUSTMENT SUGGESTIONS FOR CONSTRUCTION AND MANAGEMENT OF YANGTZE FINLESS PORPOISE NATURE RESERVES

水生生物学报. 2020, 44(6): 1360–1368 <https://doi.org/10.7541/2020.156>

基于eDNA技术的长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区重庆段鱼类多样性研究

FISH DIVERSITY IN CHONGQING SECTION OF THE NATIONAL NATURE RESERVE FOR RARE AND ENDEMIC FISH IN THE UPPER YANGTZE RIVER BASED ON EDNA TECHNOLOGY

水生生物学报. 2022, 46(1): 2–16 <https://doi.org/10.7541/2021.2021.132>

江苏镇江长江豚类省级自然保护区长江江豚种群分布与水下噪声的关系探究

THE RELATIONSHIP BETWEEN POPULATION DISTRIBUTION AND UNDERWATER NOISE OF YANGTZE FINLESS PORPOISE IN ZHENJIANG PROVINCIAL NATURE RESERVE, JIANGSU PROVINCE

水生生物学报. 2024, 48(10): 1660–1671 <https://doi.org/10.7541/2024.2024.0015>

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

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS OF FISH RESOURCES IN ZHENJIANG YANGTZE RIVER DOLPHIN PROVINCIAL NATURE RESERVE WERE EVALUATED BASED ON HYDROACOUSTIC FREQUENCY DIFFERENCE TECHNIQUE

水生生物学报. 2023, 47(1): 121–132 <https://doi.org/10.7541/2022.2021.0314>

长江安庆段长江江豚分布特征及其影响因子探究

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS AND ITS INFLUENCING FACTORS OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE IN ANQING SECTION OF THE YANGTZE RIVER

水生生物学报. 2024, 48(10): 1651–1659 <https://doi.org/10.7541/2024.2024.0017>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2025.2024.0362

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0362

# 长江新螺段白暨豚国家级自然保护区长江江豚分布特征及河道形态影响研究

徐子佳<sup>1</sup> 张瑶瑶<sup>2</sup> 刘小宇<sup>1</sup> 陈懋<sup>1</sup> 梅志刚<sup>2</sup>

(1. 湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区管理处, 洪湖 433200; 2. 中国科学院水生生物研究所水生生物多样性与保护重点实验室, 武汉 430072)

**摘要:** 研究旨在探讨长江新螺江段长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis*)分布特征及影响其栖息地选择的河道形态因素, 为其栖息地修复和保护区管理提供科学依据。研究利用2006—2023年的考察数据, 通过栖息地选择模型分析了保护区江段长江江豚在不同水文季节的分布情况及与环境因子的相关性。结果显示, 该江段的长江江豚在枯水期主要分布于保护区江段的老湾水域、潘家湾和簪洲湾水域, 丰水期主要分布于簪洲湾水域, 季节性分布差异显著。保护区赤壁大桥以上江段在历次考察中长江江豚分布稀少。总体来看, 长江江豚的分布与河道弯曲度、河漫滩面积显著相关, 这提示长江河道的自然景观特征可能是驱动长江江豚分布的主要因素。根据上述结果, 建议进一步开展保护区水域具体河道理化特征研究, 阐明长江江豚栖息地选择机制。加强河漫滩生境的保护和修复, 在长江江豚高密度分布的老湾水域、潘家湾和簪洲湾水域保持自然岸线占比。加强保护区上游江段长江江豚的种群监测, 并采取生境改造手段, 恢复部分河漫滩, 改善不同河漫滩生境之间的栖息地连通性。

**关键词:** 自然保护区; 栖息选择偏好; 河道形态; 保护与管理; 长江江豚

中图分类号: S932.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2025)05-XXXXXX-09



全球生物多样性正面临着急剧衰退, 在此背景下, 栖息地丧失和破碎化是全球生物多样性降低与物种灭绝的重要影响因素之一<sup>[1,2]</sup>。淡水河流生态系统与人类活动最为密集, 从文化起源、生存建设再到经济发展, 河流提供的生态系统服务一直被利用<sup>[3]</sup>。然而城市化、排污水、堤坝和渠化、抽取地下水及过度捕捞等一系列人类活动导致河流生态系统的水文连通性降低, 河流网络结构破碎化<sup>[4,5]</sup>。长江流域是我国最具代表性的生态河流之一, 其河网纵横、湖泊众多, 孑遗物种丰富, 生态类型复杂, 在全球范围内占据重要地位<sup>[6]</sup>。随着长江沿岸的经济发展和在人类活动加剧干扰下, 长江生态系统服务正面临多重严重威胁, 导致严重的水生态环境危机<sup>[7]</sup>。

长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis*)是鼠海

豚科(Phocoenidae)江豚属(*Neophocaena*)中唯一的淡水种, 仅仅分布于中国长江中下游干流及鄱阳湖和洞庭湖两大通江湖泊中。由于长江流域人类活动干扰导致流域环境持续恶化, 长江江豚的野外种群呈现加速下降的趋势<sup>[8]</sup>。2012年长江淡水豚考察结果显示, 长江江豚的种群数量已经由1990年代早期的约2700头下降至1040头左右<sup>[9]</sup>。因此长江江豚在2013年被世界自然保护联盟的濒危物种红色名录(IUCN)列入极度濒危物种并在2021年被列为中国国家一级重点保护野生动物<sup>[10]</sup>。自1992年起, 我国已经在长江中下游干流以及鄱阳湖、洞庭湖水域建立了8个长江江豚自然保护区, 基本覆盖了长江江豚种群密度较高的水域为延缓长江江豚自然种群的快速衰退发挥了积极作用<sup>[11]</sup>。2022年“长江豚类生态科学考察”估算长江江豚种群数量约

收稿日期: 2024-09-20; 修订日期: 2024-12-10

基金项目: 国家重点研发计划濒危旗舰水生动物种群监测及栖息地修复技术集成与示范(2022YFF1301603)资助 [Supported by the National Key Programme of Research and Development of Ministry of Science and Technology of China (2022YFF1301603)]

作者简介: 徐子佳(1994—), 男, 硕士研究生; 主要研究方向环境科学与工程。E-mail: 731452493@qq.com

通信作者: 陈懋(1987—), 男, 工程师; 主要研究方向动物生态学。E-mail: chenmao1219@163.com

1249头, 相较2017年考察结果, 种群初步呈现恢复性增长, 但极度濒危的现状仍未改变<sup>[12, 13]</sup>。然而, 长江干流中的大量涉水工程, 例如桥梁建设、大坝修建及航道整治等, 会改变河道形态, 造成河床冲刷或泥沙淤积, 影响洲滩发育<sup>[14]</sup>, 使得长江干流中长江江豚种群分布碎片化, 长江江豚在长江干流与两湖之间洄游活动的显著减少, 这对长江江豚的长期生存构成了持续的威胁, 迫切需要采取进一步行动, 开展栖息地修复是每个长江江豚保护区首要考虑的关键问题。

栖息地选择模型是研究动物的分布及影响其栖息地选择的因素的重要方法<sup>[15]</sup>, 利用动物出现数据和栖息地环境因子通过建模技术探索两者之间的关系, 厘清物种的分布特征及影响因子可对保护区管理和栖息地修复提供重要科学依据<sup>[16]</sup>。目前长江江豚的栖息地选择研究中, 对于环境因子选择较多复杂, 例如利用水文数据与食物资源<sup>[17]</sup>, 水环境理化参数与食物资源<sup>[18]</sup>, 水文数据与气象数据<sup>[19]</sup>等。而这些因素之间存在这个因果关联未能对保护区栖息地修复工作提供可实践的指导方针, 河流水文地貌特征是保护区管理和修复的重要内容, 因此本研究仅选择水文地貌特征作为栖息地选择模型的影响因子, 进一步探讨长江江豚的保护策略调整和优化。

湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区是最早成立的长江豚类保护区, 也是目前长度最长、面积最大的长江豚类保护区。其处在通江湖泊洞庭湖的下游江段, 河道洲滩发育充分, 具有顺直且有弯曲河道, 是长江中上游江豚重点分布水域之一, 在长江江豚的保护事业中起着重要的作用。但由于各种人类活动的直接和间接影响, 新螺江段的长江江豚种群数量明显下降, 且分布逐渐斑块化<sup>[20]</sup>。因此, 探究该江段内长江江豚历史分布变动, 以及栖息地选择影响因子研究对理解长江干流生态环境变化对长江江豚的影响具有重要意义。本研究整理了2006—2023年长江新螺保护区江段长江江豚的分布数据, 分析了其集群规模、迁移规律等分布特征的时空变化, 探究了影响长江江豚栖息地选择的影响因子, 为保护区江段的长江江豚保护和管理提供了理论支撑, 也为长江干流长江江豚的栖息地修复提供了重要参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究时间与研究区域

长江江豚分布及数量数据收集的时间从2006年11月至2023年8月间按水文季节分13次进行,

根据当年水位划定丰水期与枯水期。其中, 2006年11月、2012年11月、2017年年12月和2022年9月为长江科学大考察数据, 2019年后的仅对保护区江段考察, 考察方式与科学大考察一致。

本研究区域为湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区(N28° 38'—30° 05', E113° 07'—114° 05'), 保护区位于湖北省洪湖市、赤壁市、嘉鱼县和湖南省临湘市4市县所涉的长江干流, 上起洪湖市螺山镇邹家洲, 下至嘉鱼县向新州(图1)。

### 1.2 数据收集

**长江江豚分布数据收集** 野外考察方法采用截线抽样法进行, 根据长江江豚的分布与行为特征, 考察船只与岸线平行且距岸边300 m以内, 全程速度控制在11—15 km/h<sup>[21]</sup>。考察天气选择在风速小于3级(Beaufort State  $\leq 3$ )的晴天或阴天, 以保证考察效率。考察队员包括左侧观察者、中间观察者和右侧观察者, 左边观察者负责-90°到10°的水域, 右边观察者负责90°到-10°的水域, 中间的数据记录员负责记录工作, 同时也用望远镜或者肉眼在船前方180°范围内搜寻动物。所有观察者主要采用裸眼观察, 偶尔使用双筒望远镜(Fujinon, 7×50)辅助观察。为保证所有观察者对考察具有相同的贡献率, 观察者每隔半小时顺时针交换位置。在记录数据时, 采用了标准化记录表格与专用记录代码进行。

**栖息地选择环境变量选择** 本研究所涉及的栖息地选择环境变量是通过Landsat 8卫星影像提取水文地貌特征数据(表1), 卫星影像的分辨率是30 m, 分别下载对应考察年份月份的影像, 进行

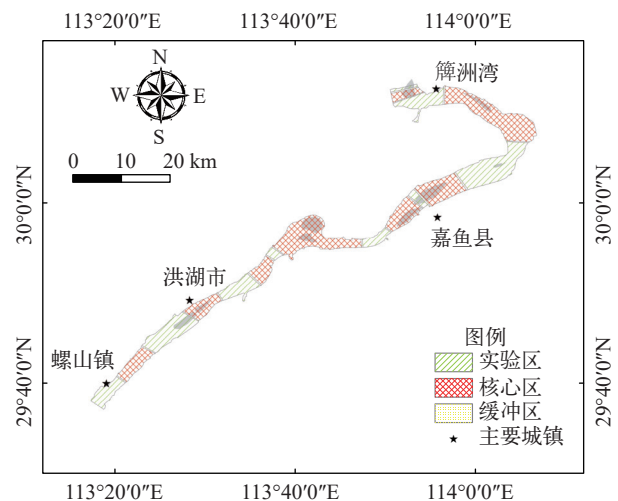


图1 研究区域, 长江湖北新螺段白暨豚国家级自然保护区  
Fig. 1 Study area, Baiji National Nature Reserve in Hubei Xinluo Section of the Yangtze River

表 1 卫星影像提取的水文地貌空间特征参数

Tab. 1 The spatial characteristic parameters of hydrological and geomorphological features extracted from satellite imagery

参数 Parameter	缩写 Acronym	描述 Description
最大河道宽度	GCW	与水流方向垂直, 测量河道最宽处的宽度
最小河道宽度	SCW	与水流方向垂直, 测量河道最窄处的宽度
河道变化率	R	GCW与SCW之比
沙洲宽度	W_island	该段上游第一个沙洲最大宽度
北岸到沙洲的距离	D_island	北岸到测量上游第一个沙洲最近距离
沙洲头角度	A_island	该段上游第一个沙洲头角度
河道弯曲度	S	河道中心线长度与该段首尾之间直线距离之比
河漫滩面积	AFP	丰水期被淹没, 枯水期裸露出来的洲滩面积

数据收集。利用ArcMap 10.3软件, 沿着主河道的中心线勾画从洪湖市螺山镇邹家州至嘉鱼县向新州的一条线段, 测量该长度。以此条线段为依据, 本文将按照5 km分段将长江新螺段分割成25个5 km的江段。本文以分割之后的每个江段作为一个单元, 分别计算各分段单元的水文地貌特征参数(除弯曲度和河道变化率外, 其他参数单位均为m)。基于各源卫星影像提取水面, 从而提取季节性河漫滩的区域。每年6—10月的图像创建了丰水期的最大水域合成影像。各周期内丰、枯水期的水域面积(即最大和最小水域面积)之间的差异区域即为该年度季节性淹没的区域(即该年度的河漫滩面积)。最后, 基于 Landsat 8天NDVI合成产品<sup>[22]</sup>, 为各年度河漫滩生成归一化差异植被指数(NDVI)的最大值面积。

目视考察中记录的长江江豚目击事件GPS位点被叠加到经过分段的卫星影像中, 据此我们得到每个江段的江豚出(presence 1)及不出现(absence 0)二值化数据。

### 1.3 核心栖息地利用

本研究利用ArcGIS10.3软件平台插件——家域工具插件(Home Range Tool, HRT 2.0)及地理空间建模环境插件(Geospatial Modelling Environment, GME), 借由插件来识别长江江豚在新螺江段的栖息地家域范围, 并计算其面积。具体运用的计算方法为Kernel密度估算法(Kernel Density Estimator, KED)和最小凸变形法(Minimum Convex Polygon, MCP)。其中, Kernel密度估算法的平滑指数h值采用LSCV法(Least-Squares Cro-Validation)进行计算。该方法受极端位点的影响较小, 并且结果稳定, 是当前普遍使用的家域计算方法<sup>[23]</sup>。本研究中选择概率水平为75%和95%, 即当前水文条件下枯

水期和丰水期长江江豚出现概率为50%、75%、95%的核心栖息地范围。绘制了50%、75%和95%的KDE等值线, 分别定义为核心使用区域、中等使用区域和广泛使用区域。

### 1.4 栖息地选择模型

本研究通过广义可加模型(Generalized Additive Models, GAMs)定量研究了长江江豚丰度与水文地貌之间的关系, 量化长江江豚与栖息地环境因子之间的关系及人类活动对其分布的影响。广义可加模型(GAMs)是广义线性模型(GLMs)的非参数拓展, 允许响应变量和解释变量之间灵活的关系<sup>[24]</sup>。本研究主要选择我们使用泊松加性分布模型(Poisson GAMs with a log link)。这一部分数据分析选择2019—2022年间的丰水期和枯水期的考察数据, 以及对应年份的卫片提取水文地貌。丰水期选取的数据为沙洲最宽宽度(W\_island)、沙洲距北岸的最近距离(D\_island)、沙洲洲头的角度(A\_island)、河道变化率(R)、河道弯曲度(S, 为河道最宽宽度与河道最窄宽度之比); 枯水期增加一个河漫滩面积(AFP)。在建模之前, 通过相关性分析探索解释变量之间的相关性大小, 使用R 4.1.5统计分析软件cor.程序包进行皮尔逊相关性(Pearson's correlation)分析。

## 2 结果

### 2.1 新螺江段长江江豚分布

2006年11月至2023年8月间, 先后13次对长江新螺江段进行了考察。在正常考察状态下, 历次考察总航程为3125.9 km, 平均单程考察努力量为240.45 km。共计发现长江江豚117次283头次, 目击率平均为1.2头/km, 最大群体数达到15头(表2)。

**新螺江段长江江豚分布特征** 通过2006年至2023年间的13次考察结果显示, 不同水文季节的集中分布区有所差异: 丰水期长江江豚在新螺江段的下游江段分布, 即簰洲湾水域, 枯水期长江江豚在新螺江段的分布较为连续(图2)。保护区江段的长江江豚分布存在年际差异, 2006—2020年间长江江豚在新螺江段的分布区域可至螺山镇, 但2021年起, 螺山区域和洪湖市区域未观测到长江江豚。

新螺段长江江豚的考察目击率总体呈现波动稳定状态(图3), 丰水期的动物目击率显著低于枯水期(Mann-Whitney U test,  $P < 0.05$ )。

**新螺江段长江江豚集群规模** 长江江豚喜欢单独或集成小群体规模。根据历年的考察结果中, 丰水期长江江豚集群最多有9头次, 平均每群(2.71±2.63)头; 枯水期长江江豚集群最多15头次, 平均每群(2.5±1.3)头, 具有一定的季节性差异(Moses

Extreme Reactions,  $P < 0.001$ ), 与以往考察结果一致<sup>[25]</sup>。

## 2.2 新螺江段长江江豚核心栖息地利用

枯水期保护区面积约为205.01 km<sup>2</sup>; 丰水期保护区面积约为224.19 km<sup>2</sup>。由图4a可知, 在丰水期保护区内的长江江豚广泛分布到洪湖市区, 核心使用区域从潘家湾到簰洲湾水域之间。

经计算(表3), 丰水期长江江豚在保护区水域的广泛使用区域面积为169.91 km<sup>2</sup>, 占保护区丰水期总面积75.79%, 中等使用区域面积为102.92 km<sup>2</sup>, 占保护区丰水期总面积45.91%, 核心使用区域面积为69.87 km<sup>2</sup>, 占保护区丰水期总面积31.17%。由图4b可知, 在枯水期长江江豚在整个保护区范围广泛分布, 核心使用区域从簰洲湾到嘉鱼县之间, 以及老湾洲尾水域。经计算(表3), 枯水期长江江豚在保护区水域的广泛使用区域面积为205.01 km<sup>2</sup>, 占保护区枯水期的整个水域, 中等使用区域面积为192.75 km<sup>2</sup>, 占保护区枯水期总面积94.02%, 核心使用区域面积为110.37 km<sup>2</sup>, 占保护区枯水期总面积53.84%。

## 2.3 新螺江段长江江豚栖息地选择因素分析

相关性分析结果显示, 丰水期和枯水期的环境参数相关性均不显著( $R < 0.8$ ; 图5), 丰水期的模型的偏差解释率(Deviance explained)为71.6%, 调整 $R^2$ ( $R^2$ -adj)为0.828; 枯水期的模型的偏差解释率(Deviance explained)为44%, 调整 $R^2$ ( $R^2$ -adj)为0.163。

根据模型分析结果, 丰水期长江江豚在保护区水域的分布显著受河道弯度、沙洲与岸之间距离和河道变化率的影响(图6a)。具体而言, 长江江豚

偏向于分布顺直河道, 且一定距离的河道存在宽度变化。

枯水期长江江豚的分布与河道弯曲度、水域沙洲宽度和河漫滩面积显著相关(图6b)。长江江豚分布与河道弯曲度成负相关; 与沙洲宽度呈现到一定峰值后下降, 峰值为1000 m; 与河漫滩面积呈现先下降后上升趋势, 2 km<sup>2</sup>处最低。

## 3 讨论

### 3.1 新螺江段长江江豚种群动态变化

长江新螺江段是长江江豚重要的栖息地, 历史上该江段的长江江豚密度高、种群数量大<sup>[26]</sup>。但由于各种人类活动的直接和间接影响, 新螺江段的长江江豚种群数量明显下降。熊远辉等<sup>[20]</sup>在2001年7月至2003年6月采用定点监测和流动监测相结合的方式对保护区内长江江豚的种群数量、分布、活动规律及栖息地选择进行研究, 结果显示保护区江段的长江江豚种群数量为50—64头, 主要分布在赤壁大桥以下江段。此次研究并未进行准确估算该江段的长江江豚数量, 根据2022年长江生态科学考察的结果可估算该江段的长江江豚约30头。根据本研究历次考察的分布考察结果可知, 新螺江段的长江江豚依旧较集中的分布于簰洲湾和潘家湾的弯道水域。而自2021年起, 赤壁大桥以上江段几乎未观察到长江江豚。但根据作者未发表数据, 在洪湖市区上游水域布防的定点声学监测结果显示保护区上游江段存在长江江豚分布, 且保护区上游江段长江江豚分布已存在明显的昼夜差异。因此

表2 13次新螺江段长江江豚考察数据概要

Tab. 2 Overview of the 13 population surveys of YFPs in Xinluo section from Nov. 2006 to Aug. 2023

考察日期 Date	努力量 Effort (km)	考察船数量 Number of research vessel	考察方式 Investigation method	江豚群次(群) Group	目击率 Encounter rate (头/km)	最大群体(头次) Max group	江豚数量(头次) Individual	水文季节 Season
2006-11	224.9	双船	目视+声学	9	0.22	15	49	枯水期
2012-11	224.2	双船	目视+声学	7	0.07	6	15	枯水期
2017-11	225.6	双船	目视+声学	15	0.14	8	32	枯水期
2019-07	237	双船	目视+声学	5	0.07	6	16	丰水期
2019-12	214.8	双船	目视+声学	14	0.10	4	22	枯水期
2020-12	227.5	双船	目视+声学	9	0.10	6	23	丰水期
2021-08	224.9	双船	目视+声学	9	0.05	2	12	丰水期
2021-12	267	单船	目视+声学	9	0.08	4	22	枯水期
2022-06	235.8	单船	目视+声学	2	0.01	2	3	丰水期
2022-09	237	双船	目视+声学	14	0.11	4	25	枯水期
2023-04	237.2	单船	目视+声学	9	0.10	7	24	枯水期
2023-05	236	单船	目视+声学	6	0.08	9	20	丰水期
2023-08	334	单船	目视+声学	9	0.06	4	20	丰水期
汇总	3125.9			117			283	

2021年后白天开展的船基考察并未监测到,可能与长江干流整体鱼类资源变动有关<sup>[27]</sup>,由于三峡水库运行后荆江门水域持续开展河道整治与疏浚,以及与赤壁陆水河口开展航道疏浚工程有关,从而改变了保护区长江江豚的分布格局<sup>[28]</sup>。洪湖市城关-螺山镇段南岸水域曾是新螺段内著名的渔场之一,也是历史上江豚的集中分布区,但是自界牌航道整治工程(1994—1998年)结束后,这个长达20 km的江段一直没有发现江豚<sup>[20]</sup>。然而从2006—2021年考察结果来看,该江段又开始出现江豚。这说明航道整

治结束之后,经保护区近年来持续开展岸线整治、长江禁捕、洲滩修复、退耕还湿、联合执法等工作,该江段的水生栖息地和渔业资源得到较好的恢复<sup>[29]</sup>。保护区内长江江豚的季节性变化也提示该江段的长江江豚可能存在上下游一定范围的移动,与食物资源的季节性变动相关,长江水文季节变动也可能是一个原因。

### 3.2 新螺江段长江江豚栖息地偏好

在丰水期,观察到长江江豚出现概率最高的区域为潘家湾至簪洲湾水域,枯水期在老湾、嘉鱼县

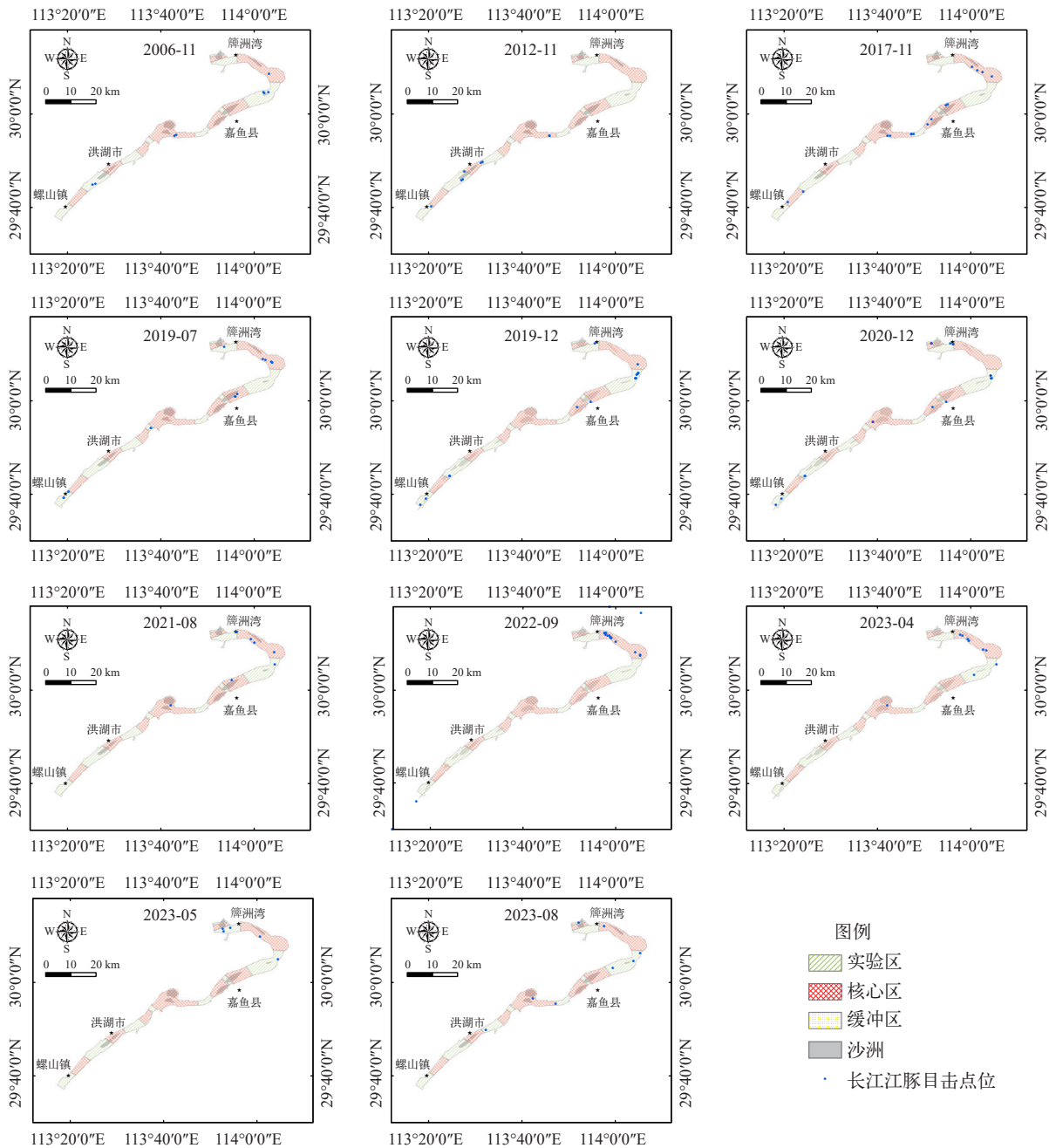


图2 2006—2023年长江江豚考察分布点位示意图

Fig. 2 Distribution of Yangtze finless porpoise in investigated waters from 2006 to 2023

至簕洲湾长江江豚出现概率最高。此外KDE计算核心面积的结果仅根据各水文时期分别获得的长江江豚点位计算,因此在枯水期,长江江豚较为集中分布,容易观察,故模型结果在保护区江段核心面积较大;而丰水期,江段水面较大,观察长江江豚存在一定困难,故所得的核心区面积较小。该结果可仅利用枯水期的核心栖息地作为指导规划。同时分布结果也显示,保护区上游江段长江江豚分布具有显著的季节性差异。

本研究主要探讨长江江豚分布与河道水文地貌的关系,河道形态的变化可以改变水流的理化性质及河流底质的类型等,造成河流生态系统中的环境异质性,形成一些微生境,因此河道形态可能会对河流中水生生物产生影响<sup>[30]</sup>。基于模型分析结果,长江江豚明显偏好具有一定弯曲度的河道。弯曲河段通常具有相对缓慢的水流速度和平坦的河床,这些条件为小型鱼类等水生生物提供了理想的

栖息环境,因此为长江江豚觅食提供了丰富的食物来源。长江江豚偏好围绕沙洲分布,季节性河漫滩为长江江豚提供较为丰富的水生生物资源,此外一定角度的沙洲头能够分解丰水期的急流,从而在周边形成适宜的流速环境,有助于长江江豚的觅食和活动<sup>[31]</sup>。根据以往认知,长江江豚喜好有一定弯道的水域及偏好沙洲分布,此观点在本研究中得到进一步证实。

### 3.3 新螺江段长江江豚保护建议

长江江豚依旧处于极度濒危的状态,为了避免步入白鱘豚“功能性灭绝”的后尘,加强人类活动管理和实施自然栖息地环境恢复至关重要。长江新螺段白鱘豚国家级自然保护区是长江江豚重要的栖息地之一,即使很早实施禁渔政策,但该江段繁忙的航运可能会对江豚造成一定的影响。因此建议:(1)加强保护区科研监测,形成常态化长江江豚监测体系;持续进行保护区每年不同水文季节的长江江豚船基生态科学考察,补充保护区江段长江江豚动态数据库。此外,开展保护区河道理化特征研究,探讨长江江豚栖息地选择机制。通过构建智慧型监测体系,推进监测技术发展,在全局水域布设水下声学监测设备,实现对长江江豚及水下环境的实时传输和监测,从而实时获取重点水域,例如老湾水域和簕洲湾至潘家湾水域的长江江豚的数量和分布信息,或重点关注水域,例如螺山和南门洲水域,并从技术上推动实施保护区段江豚的自动化和智慧化监测。(2)加强监管,降低意外伤害风险;利用保护区已建成信息化网络和监控系统,严厉打击非法行为联合地方渔政部门,开展沿江禁捕禁钓联合巡查,以及规定在保护区核心区的限航限速,

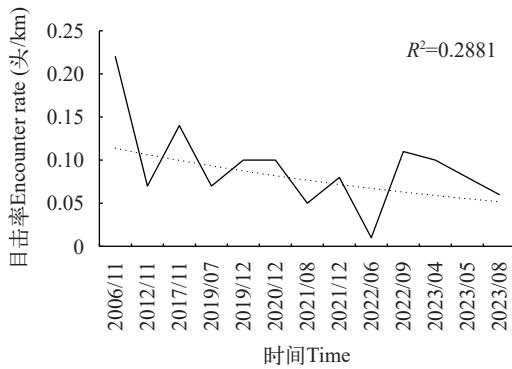


图3 2006—2023年新螺段长江江豚目击率

Fig. 3 Encounter rates of Yangtze finless porpoises in Xinluo section from 2006 to 2023

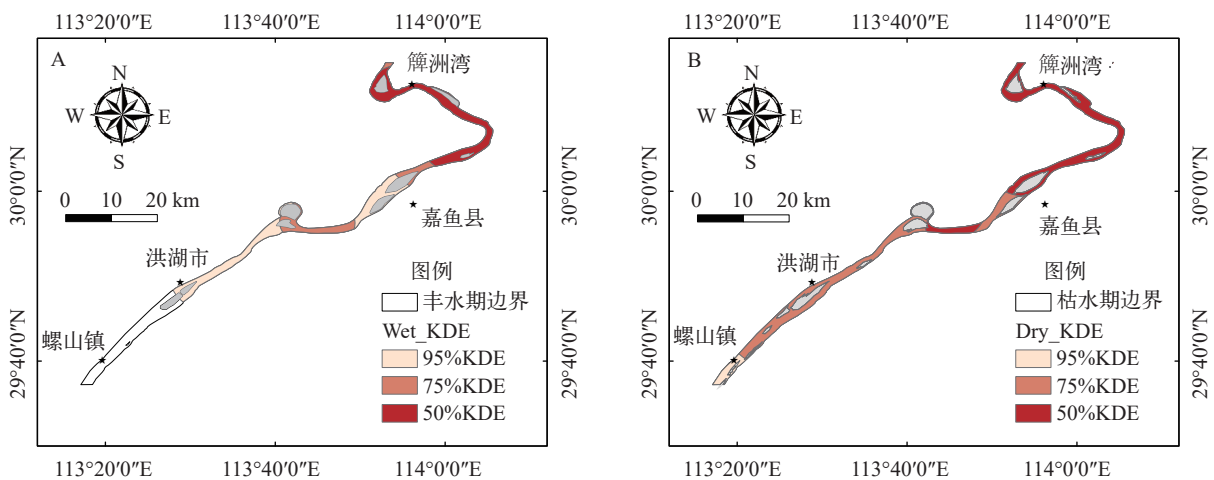


图4 长江新螺江段长江江豚核心栖息地分布

Fig. 4 Core habitat distribution of Yangtze finless porpoise in Xinluo section

a. 丰水期; b. 枯水期

a. wet season; b. dry season

加强长江江豚应急救护能力建设, 加大相关设施设备投入和开展救护能力提升培训等。(3)强化栖息地保护和修复; 根据本研究长江江豚的分布与河道形态密切相关, 因此避免过度修建护岸和河道直线化工程, 保持自然河流形态和水文变异性, 以满足江豚对多样化水流环境的需求。开展长江江豚重要栖息地研究与保护, 制定生境保护规划, 有针对性地实施洪湖市区以上江段岸线河漫滩的保护和恢复工程, 加强潘家湾水域的重点关注度, 为长江江豚保留栖息的关键生境。

表 3 2006—2023 年新螺江段长江江豚丰水期和枯水期栖息地面积统计表

季节	50%KDE	50%KDE	75%KDE	75%KDE	95%KDE	95%KDE
Season	面积	面积比例	面积	面积比例	面积	面积比例
枯水期	110.37	53.84%	192.75	94.02%	205.01	100%
丰水期	69.87	31.17%	102.92	45.91%	169.91	75.79%

地保护和修复; 根据本研究长江江豚的分布与河道形态密切相关, 因此避免过度修建护岸和河道直线化工程, 保持自然河流形态和水文变异性, 以满足江豚对多样化水流环境的需求。开展长江江豚重要栖息地研究与保护, 制定生境保护规划, 有针对性地实施洪湖市区以上江段岸线河漫滩的保护和恢复工程, 加强潘家湾水域的重点关注度, 为长江江豚保留栖息的关键生境。  
(作者声明本文符合出版伦理要求)

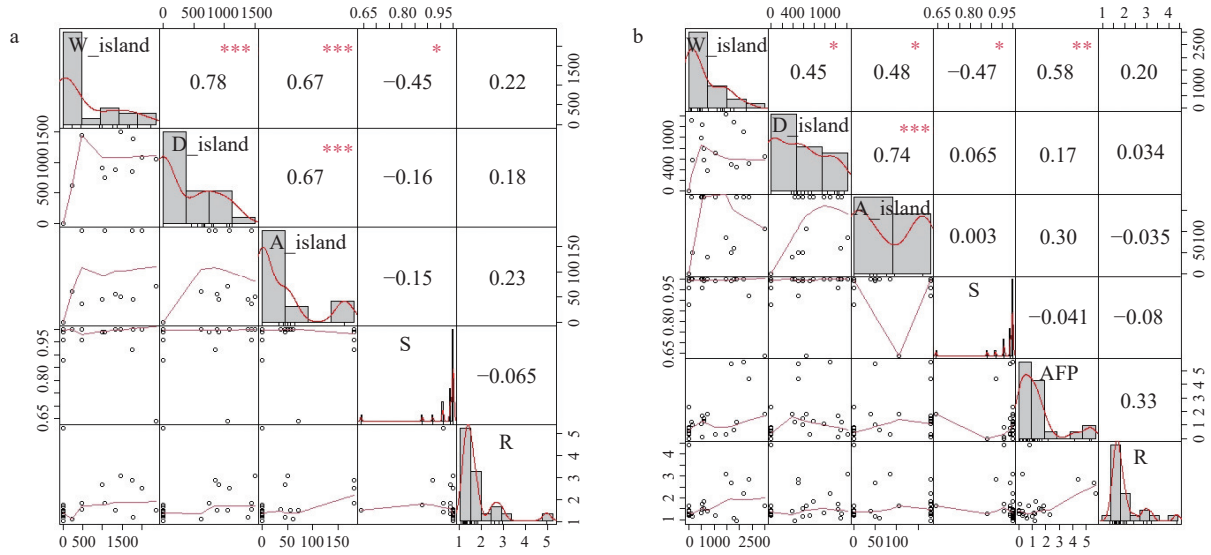


图 5 解释变量之间的成对散点图

Fig. 5 Pairplot of all explanatory variables

右上部分(带数字)表示相关系数, 字体大小与相关系数大小成正比; 左下部分为散点图; 对角线(蓝色部分)为变量的直方图; a. 丰水期; b. 枯水期

The upper right part (with numbers) represents the correlation coefficient, and the font size is proportional to the size of the correlation coefficient. The lower left part is scatter plots. Diagonal (blue part) is the histogram of variables; a. wet season; b. dry season

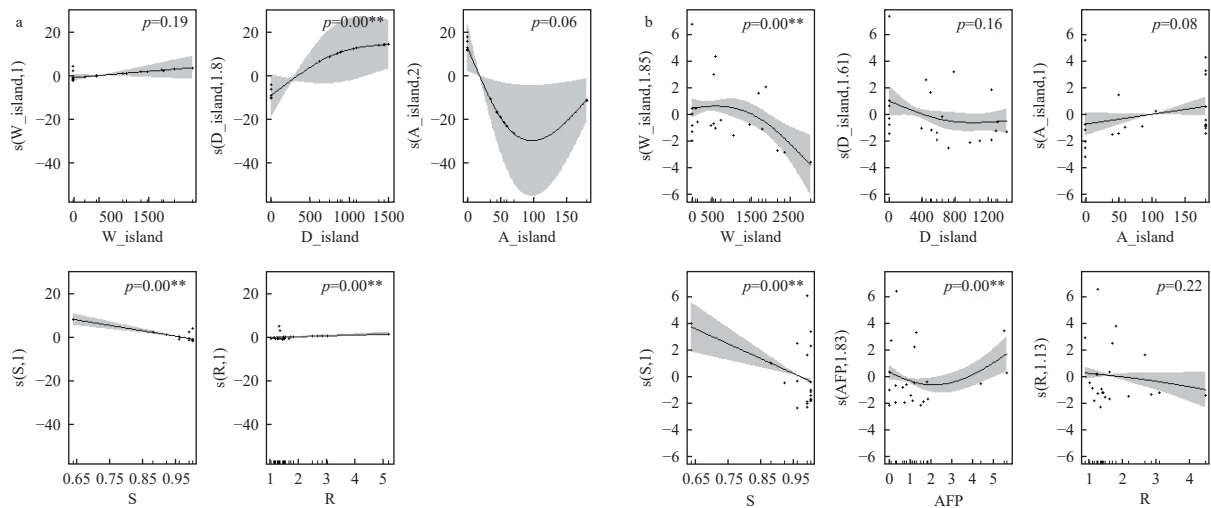


图 6 模型输出的长江江豚数量与各栖息地变量之间响应曲线

Fig. 6 Response curves of the relationship between Yangtze finless porpoise number and habitat variables selected by the model

a. 丰水期, b. 枯水期; 阴影区域表示 95% 置信区间; 各变量自由度见纵轴括号中数字

a. wet season, b. dry season; Shade areas represent 95% CI; the degree of freedom of each variable are indicated by the numbers in parentheses on the vertical axis



## 致谢

感谢历次参与长江淡水豚类考察的所有科考队员。

## 参考文献:

- [1] Wiegand T, Revilla E, Moloney K A. Effects of habitat loss and fragmentation on population dynamics [J]. *Conservation Biology*, 2005, **19**(1): 108-121.
- [2] Rybicki J, Hanski I. Species-area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation [J]. *Ecology Letters*, 2013, **16**(Suppl 1): 27-38.
- [3] Seliger C, Zeiringer B. River Connectivity, Habitat Fragmentation and Related Restoration Measures [M]. Riverine Ecosystem Management. Cham: Springer International Publishing, 2018: 171-186.
- [4] Dynesius M, Nilsson C. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world [J]. *Science*, 1994, **266**(5186): 753-762.
- [5] Jumani S, Deitch M J, Kaplan D, *et al.* River fragmentation and flow alteration metrics: a review of methods and directions for future research [J]. *Environmental Research Letters*, 2020, **15**(12): 123009.
- [6] Wang H Z, Liu X Q, Wang H J. The Yangtze River-floodplain ecosystem: multiple threats and holistic conservation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(S1): 157-182. [王洪铸, 刘学勤, 王海军. 长江河流-泛滥平原生态系统面临的威胁与整体保护对策 [J]. 水生生物学报, 2019, **43**(S1): 157-182.]
- [7] Jin B, Winemiller K O, Ren W, *et al.* Basin-scale approach needed for Yangtze River fisheries restoration [J]. *Fish Fisheries*, 2022, **23**(4): 1009-1015.
- [8] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009(54): 3473-3484.
- [9] 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.
- [10] Xu P, Liu K, Ying C P, *et al.* Progress and prospects on the protection of Yangtze finless porpoise [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(6): 1077-1084. [徐跑, 刘凯, 应聪萍, 等. 长江江豚保护进展与工作展望 [J]. 水生生物学报, 2024, **48**(6): 1077-1084.]
- [11] Liu X, Hao Y J, Liu Z L, *et al.* Predicaments and adjustment suggestions for construction and management of Yangtze finless porpoise nature reserves [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, **44**(6): 1360-1368. [刘馨, 郝玉江, 刘增力, 等. 长江江豚自然保护区建设管理存在的问题及调整建议 [J]. 水生生物学报, 2020, **44**(6): 1360-1368.]
- [12] Huang J, Mei Z G, Chen M, *et al.* Population survey showing hope for population recovery of the critically endangered Yangtze finless porpoise [J]. *Biology Conservation*, 2020(241): 108315.
- [13] ([https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/28/content\\_5743732.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/28/content_5743732.htm)). [农业农村部宣布2022长江科学考察长江江豚数量.]
- [14] Huang Z, Li H. Dams trigger exponential population declines of migratory fish [J]. *Science Advance*, 2024, **10**(19): eadi6580.
- [15] Redfern J V. Techniques for cetacean habitat modeling [J]. *Marine Ecology Progress*, 2006, **310**(8): 271-295.
- [16] Franklin J. Mapping species distributions: Spatial inference and prediction [J]. *Quarterly Review of Biology*, 2009, **36**(6): 818.
- [17] Mei Z G, Chen M, Li Y, *et al.* Habitat preference of the Yangtze finless porpoise in a minimally disturbed environment [J]. *Ecological Modelling*, 2017(353): 47-53.
- [18] Huang J. Study on present situation of population and habitat selection mechanism of the Yangtze finless porpoise [D]. University of Chinese Academy of Sciences, 2019: 51-62. [黄杰. 长江江豚种群现状及栖息地选择机制的研究 [D]. 中国科学院大学, 2019: 51-62.]
- [19] Liu X, Mei Z G, Zhang J, *et al.* Seasonal Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaorientalis asiaorientalis*) movements in the Poyang Lake, China: Implications on flexible management for aquatic animals in fluctuating freshwater ecosystems [J]. *Science of Total Environment*, 2022(807): 150782.
- [20] Xiong Y H, Zhang X Q. Population size, distribution and activities of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze Xin-Luo Baiji national nature reserve, Hubei [J]. *Resources and Environment in the Yangtze basin*, 2011, **20**(2): 143-149. [熊远辉, 张新桥. 长江湖北新螺长江段长江江豚数量、分布和活动的研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(2): 143-149.]
- [21] Zhao X J, 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): 3006-3018.
- [22] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, **113**(5): 893-903.
- [23] Nilsen E B, Pedersen S, Linnell J D. Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions [J]? *Ecological research*, 2008, **23**(3): 635-639.
- [24] Wood S N. Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd edition) [M]. Chapman and Hall/CRC, 2017.
- [25] Chen P X, Liu P L, Liu R J, *et al.* The distribution, ecology, behavior and protection of the dolphins in the middle reach of Changjiang River (Wuhan-Yueyang) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1980, **11**(1): 73-84. [陈佩薰, 刘沛霖, 刘仁俊, 等. 长江中游(武汉-岳阳江段)豚类的分布、生态、行为和保护 [J]. 海洋与湖沼, 1980, **11**(1): 73-84.]
- [26] Xiong Y H, Zeng Q, Li H, *et al.* Management effectiveness and enlightenment of the Baiji national nature reserve in Xinluo section of the Yangtze river in Hubei [J]. *China-Arab States Science and Technolog*, 2020(8):

- 9-12. [熊远辉, 曾强, 李华, 等. 湖北长江新螺段白暨豚国家级自然保护区管理经验及借鉴 [J]. 中阿科技论坛 (中英文), 2020(8): 9-12.]
- [27] 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.
- [28] Chen M M, Zhang K, Zhang P, *et al.* Spatio-temporal effects of waterway regulation engineering on population abundance and distribution of the Yangtze finless porpoise in Anqing section of the Yangtze River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, **43**(10): 4242-4249. [陈敏敏, 张康, 张平, 等. 长江安庆段航道整治对长江江豚数量和分布的时空影响 [J]. 生态学报, 2023, **43**(10): 4242-4249.]
- [29] Yuan S, Tang H, Li K, *et al.* Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence Between the Yangtze River and the Poyang Lake [J]. *Water Resources Research*, 2021, **57**(3): e2020WR028284.
- [30] 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 Freshwater Ecosystems*, 2020, **30**(6): 1088-1097.
- [31] Han Y, Sun Z, Fang H, *et al.* Habitat succession of the Yangtze finless porpoise in Poyang Lake under the changing hydrodynamic and feeding environment [J]. *Ecological Modelling*, 2020(424): 109035.

## DISTRIBUTION AND INFLUENCE ON RIVER MORPHOLOGY OF THE YANGTZE FINLESS PORPOISE IN THE XINLUO SECTION OF THE YANGTZE BAIJI NATIONAL NATURE RESERVE

XU Zi-Jia<sup>1</sup>, ZHANG Yao-Yao<sup>2</sup>, LIU Xiao-Yu<sup>1</sup>, CHEN Mao<sup>1</sup> and MEI Zhi-Gang<sup>2</sup>

(1. Xin-Luo Baiji National Nature Reserve, Honghu 433200, China; 2. Center for Aquatic Biodiversity and Resource Conservation, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis*), a flagship species for aquatic biodiversity conservation in the Yangtze River, serves as a key indicator of the river basin's ecological health. The Yangtze Xinluo Baiji National Nature Reserve is a crucial habitat for this species and one of the earliest established reserves for its protection. Monitoring the ecological conditions and population dynamics of the Yangtze finless porpoise within this reserve provides valuable insights into the broader environmental changes occurring in the mid-lower reaches of the Yangtze River. This study aims to explore the distribution characteristics of the Yangtze finless porpoise in the Xinluo section of the Yangtze River and the river morphological factors influencing its habitat selection, providing scientific basis for habitat restoration and protected area management. We analyzed survey data from 2006 to 2023, focusing on the distribution of the porpoises across different hydrological seasons and their correlation with environmental factors, utilizing habitat selection models. The results indicate that during the dry season, the porpoises are predominantly distributed in the Laowan, Panjiawan, and Paizhouwan areas. In contrast, during the wet season, their distribution is concentrated in Paizhouwan, showing significant seasonal variation. Above the Chibi Bridge, the porpoise population remains sparse across all surveys. Overall, the distribution of Yangtze finless porpoises is positively correlated with river channel curvature and floodplain area, suggesting that natural landscape features play a pivotal role in their distribution. According to the above results, we suggest that further studies on the physical and chemical characteristics of specific river channels in the protected waters to better understand the habitat selection mechanism of the Yangtze finless porpoises. Additionally, we recommend further strengthening the protection and restoration of floodplain habitats, maintaining the natural shoreline in high-density areas such as Laowan, Panjiawan, and Paizhouwan, and improving shoreline management practices. Furthermore, more intensive population monitoring is needed above the Chibi Bridge, along with habitat modification efforts to restore floodplains and improve connectivity between these critical habitats.

**Key words:** Nature reserve; Habitat preference; River Morphology; Conservation and management; Yangtze finless porpoise