

doi: 10.7541/2025.2024.0304

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0304

不同岸线植物和仔稚鱼群落特征及其与江豚分布的关系: 以长江安庆段为例

罗来开^{1,2} 谈凯^{1,2} 伍佳楠¹ 朱玲^{1,2} 薛立勋^{1,2} 肖晶晶¹
章伟^{1,2} 赵凯^{1,2}

(1. 安庆师范大学生命科学学院, 安庆 246011; 2. 安徽省“一带一路”流域生物多样性保护与利用国际合作基地, 安庆 246011)

摘要: 为了探究不同岸线植物和仔稚鱼群落特征及其与江豚分布的潜在关系, 研究在长江安庆段选取了15个典型断面, 分别进行了植物群落结构特征和仔稚鱼群落特征调查并开展了3次江豚数量和分布的目视考察。结果表明: (1)自然岸线、抛石岸线和预制砌块岸线分别记录了126、106和89种植物, 均以草本植物为主; Ward最小方差聚类将3种岸线的植物群落分别划分成了4、4和5个群落类型, 其中益母草+芦苇+狗牙根群落、芦苇+荻+狗牙根群落及三裂叶薯+苍耳+小蓬草群落分别在自然岸线、抛石岸线和预制砌块岸线出现频率最高。(2)共采集仔稚鱼个体130005尾, 隶属于6目7科14属15种。其中自然岸线、抛石岸线和预制砌块岸线水域分别采集了15、12和13种鱼类, 三种岸线水域鱼类群落结构均以鲤科鱼类为主。鲮、鲫、鲤、陈氏新银鱼、大银鱼和间下鱊为三种岸线水域的共优势种, 子陵吻虾虎鱼为预制砌块岸线水域的特有优势种。方差分析结果表明, 自然岸线渔获物总数量和中上层鱼类种数显著高于其他两种岸线水域。(3)3次考察累计发现江豚135头次, 平均每次考察观察到江豚(45.00±8.66)头次。考察发现长江安庆段江豚总体呈连续分布, 但存在明显的集中分布区域, 江豚对自然岸线水域有较为明显的偏向选择性。(4)植物群落和仔稚鱼群落和江豚分布的相关性分析表明: 植被盖度与仔稚鱼种类、数量及小型鱼类种数之间存在显著的正相关($P<0.05$), 仔稚鱼种类、数量及小型鱼类物种数和数量与长江江豚的分布也均显示出显著的正相关($P<0.05$)。综上推断, 江豚选择自然岸线水域作为主要栖息地可能是由于其具有较高的植被覆盖率和丰富多样的植物种类及丰富的中上层鱼类资源。

关键词: 岸线; 植物群落; 栖息地碎片化; 仔稚鱼; 中上层鱼类; 长江江豚

中图分类号: S932 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)05-052503-13



岸线是指江河沿岸带一定范围内的水域和陆域, 地理位置上位于最高水位线与最低水位线之间的水陆交错区域^[1]。长江干流及其众多支流分布着广泛的岸线资源, 是整个长江流域经济带生态环境的重要组成部分和核心环节, 对沿岸生产生活及长江生态功能具有重要的作用^[2,3]。此外, 长江自然状态下的河堤、洲滩水陆交错带中的土壤和植被

中含有大量动植物、微生物, 既可以为水生动物提供饵料, 也是鱼类等水生动物重要的产卵、育幼和觅食场所, 同时也能发挥着稳定岸堤、协调土壤养分、拦截陆源营养污染, 降低消落带土壤富营养程度等重要的生态作用^[4]。由于自然洪涝灾害及人类活动的干扰, 许多自然岸线被块石或混凝土固化, 形成了坡度大、底质硬、遮荫性差的砌石、碎

收稿日期: 2024-08-09; **修订日期:** 2024-10-22

基金项目: 安庆江豚省级自然保护区能力建设项目——生物多样性本底调查(CG-AQ-2022-276 FS34080120220280); 长江安徽段鱼类重要栖息地调查课题项目(230133); 2023年度安徽省科研编制计划(2023AH010041)资助 [Supported by Capacity Building Project of Anqing Finless Porpoise Provincial Nature Reserve-Biodiversity Background Survey (CG-AQ-2022-276 FS340801 20220280); the Fish Important Habitat Survey of Anhui Section of the Yangtze River (230133); the Natural Science Research Project of Anhui Educational Committee (2023AH010041)]

作者简介: 罗来开(1994—), 男, 硕士研究生; 研究方向为植物生物学。E-mail: 627764007@qq.com

通信作者: 赵凯, E-mail: zhaokai1911@126.com

©The Author(s) 2025. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

石、混凝土砌块等固化岸线。岸线的固化给淡水生态系统带来的生态学影响还有待进一步的研究。目前,已有从鱼类、浮游生物、底栖动物及江豚分布等方面研究了岸线固化对水生生物的影响^[5],但未涉及岸线植被与长江江豚和鱼类等水生生物的关系。

仔稚鱼是鱼类生命周期中的初级阶段,其数量和群落波动是衡量鱼类亲本资源量的重要指标^[6]。鱼类早期资源调查聚焦于揭示仔稚鱼的种类组成、时空分布模式及其栖息地环境特征,研究结果对渔业资源保护与管理具有重要意义^[7]。此外,鱼类早期资源调查还具有样本量大、对资源破坏小、采样简单、费用较低等优势,使其成为评估和预测鱼类群体丰度研究的重要手段^[8,9]。然而近年来随着人口的快速增长和长江流域社会经济的迅速发展,港口建设及航道整治等涉水工程实施、过度捕捞和水体污染等强烈的人为干扰因素,均在不同程度上导致鱼类种群数量和渔业资源的枯竭,使食物因素成为制约江豚生存的重要因素之一。因此,本文对长江江豚较大规模分布的附近水域进行早期鱼类资源调查,可为江豚食物资源保护提供科学依据。

长江江豚(*Neophocaena asiaorientalis*)仅分布在我国长江中下游和两个大型通江湖泊—洞庭湖和鄱阳湖^[10]。根据最新科考调查结果,截至2022年长江流域江豚种群数量约为1249头,其中鄱阳湖约492头、洞庭湖约162头、长江干流约595头(湖北宜昌市—上海市)^[11],而长江安庆段约有183头,约占江豚总数的14.65%,长江干流江豚总数的30.76%^[12],因此长江安庆段是长江干流中江豚密度最高的区域^[13,15],同时也是长江干流中江豚保护的重要节点。作为长江流域淡水生态系统食物链的顶端捕食者,通常需要占用较大的栖息地和充足的食物资源来维持其生存及种群的繁衍^[16,17]。在自然环境下,长江江豚中主要捕食中上层的小型鱼类和一些虾类^[18],食物资源短缺和栖息地丧失是导致江豚种群下降的两大主要因素^[19]。江豚主要栖息在近岸300 m的浅水水域,尤其喜爱岸型为自然泥沙质的近岸水域^[20]。然而随着近年来长江航道整治、码头建设及防洪的需要等大量涉水工程的实施,使长江下游的水文情势、光照、水温、氧含量和土壤等环境因素改变^[21],不仅引起了原有植被的分布、物种组成、丰富度、盖度与生态功能等一系列的变化,还对长江水产种质资源保护区和渔业资源造成不利影响^[22],尤其是对产黏性卵鱼类的产卵场影响较大^[23];同时也成为压缩江豚栖息地和导致栖息地破碎化的主要因素^[24],进一步加剧了江豚生存所

面临的生态威胁。因此,本研究选择长江安庆江段为研究区域,先对长江江豚进行目视考察,基于考察结果,选择在江豚较大规模分布的附近水域进行了仔稚鱼群落和消落带植物群落的调查,并对不同岸线水域仔稚鱼和消落带植物群落结构的差异及分析其与江豚分布的潜在关系。相关研究结果对长江安庆段鱼类资源的恢复、江豚的保护及长江岸滩保护和生态修复具有参考价值。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

长江安庆段位于长江中下游的交界处,西与湖北省黄梅县接壤,南岸为江西省九江市和安徽省池州市,东与铜陵市枞阳县接壤,干流总长度为165 km。随着近年来经济的蓬勃发展,对河流及河岸的过度开发利用,如大规模防洪工程建设和航道整治等,长江安庆段消落区河岸形成了3种主要的岸线生境类型(图1B): (1)自然岸线(Natural Shoreline, NS),河床坡度平缓,底质为泥沙和淤泥,为原始自然状态,受人为干扰较小; (2)预制砌块岸线(Prefabricated Masonry Shoreline, PMS),河床坡度较陡,底质为浆砌预制块,裸露表面土壤层稀薄,植被覆盖率低; (3)抛石岸线(Rock shoreline, RS),河床坡度较为陡峭,底质为大型块石固脚。

1.2 研究方法

植被样方设置与调查 为了尽可能全面反映长江安庆段消落区不同岸线类型植物的分布现状,于2023年10月展开调查,此时正属于长江安庆段低水位的时期,消落区裸露面积大、时间较长,且此时植物生长较好。根据全面性、典型性及代表性原则,以安庆市宿松县为起点,从上游往下游方向选取典型的共计15个样点(图1A),调查区域贯穿整个安庆市。每个样点内,在沿河流方向上分别设置3条样线,每条样线长度不低于1.5 km,每条样线内设置10个1 m × 1 m的小样方,并对样方内植被盖度进行估算。

记录样方中植物的物种名称、高度与株数(丛数)。在每条样线内选取3个样方,再在样方内对草本植物采取全株挖取法取完整植株,并装入自封袋内带回实验室处理^[25]。将挖取的植株从茎基部将其根系剪下,洗去其所带的残土泥渣,地上部分则按茎秆和叶分离。将以上处理好的植物各构件按样方为单位分装在纸袋内,在70℃烘箱中烘干至恒重,然后用电子天平分别称量根、茎和叶的干重。

鱼类资源采样方法 首先通过查阅长江中上游鱼类早期资源调查的历史文献^[26]及现场勘

查, 然后于2023年6—11月在长江下游安庆段距离岸边10 m选取15个采样点(图 1A), 在每个采样点的表层(1 m以内)沿河流方向设置3条样线, 租用小型渔船(船名: 皖观渔指80002, 捕捞证编号: No.00002582088)进行拖曳调查, 每条样线拖曳时长为3—10 min。采样的网具为直径80 cm, 网深2.5 m, 网目40目, 孔径0.25 mm的圆锥网, 网后连接圆柱形集苗器(长20 cm, 直径10 cm)。过网口的水量采用德国JKY/Hydrobios/438115数字网口流量计测量(m^3)。

长江江豚分布调查 本文以目视观测的方式对长江安庆段长江江豚分布及其数量进行研究。不同水位时期造成的不同水文环境, 江豚的分布和数量可能有所差异, 因此分别于2022年12月中旬(枯水期)、2023年5月中旬(丰水期)和2023年9月下旬(平水期)对研究区域内江豚数量和分布共进行了3次目视考察。江豚目视数量和分布的调查方法采用基于小型船只的截线抽样法, 即以小型渔船作为目视观测平台。考察水域范围为长江安庆段, 全长约165 km。考察路线分为两程: 第一行程为以安庆市凤凰码头为起点, 上行至宿松县程营村, 然后再掉头返回下行至凤凰码头; 第二行程为安庆市凤凰码头下行至贵池区桂家村, 然后再掉头返回凤凰码头。全长考察采用双船双程的方式。双船行经路径在南北两岸近岸300 m水域范围内, 行船速度稳定在5—10 km/h, 对江豚数量和分布进行同步观察^[27]。考察时使用手持GPS记录航迹和江豚出现的坐标点, 记录内容包括发现江豚的时间、离岸距离、群体大小和栖息生境(岸线类型)等信息, 然后使用Arcgis10.2绘制江豚分布图。

1.3 数据分析

植物物种多样性分析 选取重要值作为评

价群落中物种相对重要性的总和数量指标^[28]

重要值=(相对频度+相对盖度+相对密度)/3

本研究采用Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数、Simpson优势度指数和Patrick丰富度指数作为评价指标, 各计算公式:

Shannon-Wiener多样性指数(H): $H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

Pielou均匀度指数(J): $J = H / \ln S$

Simpson优势度指数(D): $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

Patrick丰富度指数(R): $R = S$

式中, S 为物种数, P_i 为第 i 个种的重要值。

数据处理 参考《数量生态学-R语言的应用》(第二版)^[29]中的程序方法, 将各样地中的物种计算重要值, 并整理出重要值矩阵, 作为植物群落聚类分析的基础, 后在R软件中运用vegen、gclus、cluster等程序包对植物群落进行数量划分并作图。经聚类树融合水平值判定, 采用Ward最小方差聚类的结果最为合理, 同时通过计算原始距离与代表不同分类水平的二元矩阵(从聚类树计算获得)之间的相关性确定最优聚类簇数。

鱼类样品处理及数据分析 将现场采集的仔稚鱼保存于4%的甲醛溶液中, 带回实验室冲洗去除杂质, 通过形态学方法在奥林巴斯解剖镜SZX16下进行物种鉴定并计数, 对形态破损和无法确定物种的仔稚鱼进行编号, 并保存于75%中性酒精中, 然后提取DNA, 再经过PCR扩增 COI 基因序列, 最后在NCBI网站中与长江鱼类条形码数据库进行比对, 遗传相似度 $\geq 99\%$ 为对应物种。

根据已发表的文献资料^[30, 32]确定鱼类的体型大小、食性及垂直分布空间类型等特征。同时计算不同岸线不同鱼类优势度, 计算公式:

$$IRI = N\% \times F\% \times 10000$$

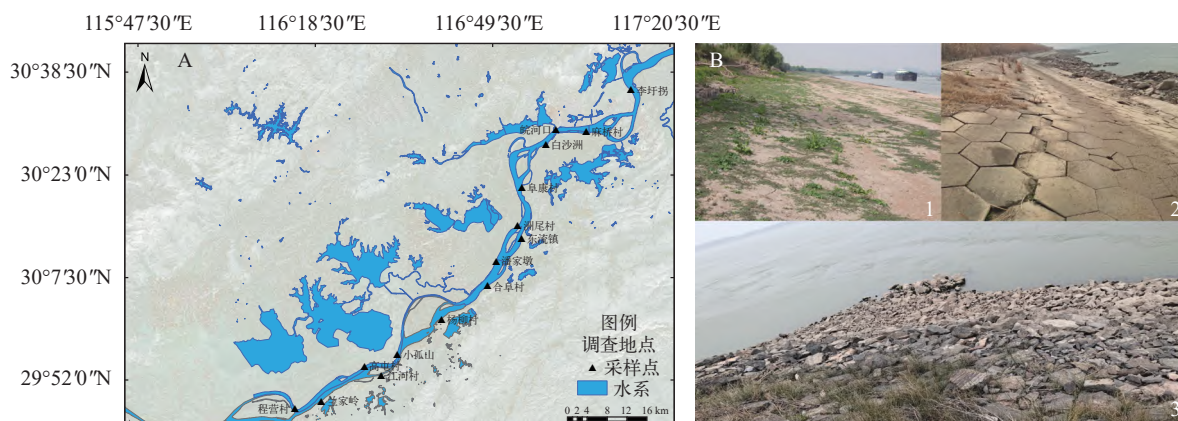


图1 研究区域位置及样点分布示意图(A)和不同岸线类型生境图(B)

Fig. 1 Location of the study area (A) and the distribution of sample points (B)

1. 自然岸线; 2. 预制砌块岸线; 3. 抛石岸线

1. Natural shoreline; 2. Prefabricated masonry shoreline; 3. Rock shoreline

式中, $N\%$ 为某个物种占群落总数量的数量百分比, $F\%$ 为某个物种被采集到的总次数占调查总次数的百分比。将 $IRI \geq 100$ 定义为优势种, $10 \leq IRI < 100$ 为常见种, $IRI < 10$ 为少见种^[33]。不同岸线仔稚鱼的数量、种类数的差异采用单因素方差分析进行检验。

2 结果

2.1 不同岸线植物群落组成和结构特征

研究区域植被组成 此次调查共记录长江安庆段流域3种不同岸线类型的维管植物34科91属153种, 其中自然岸线植物物种数最多, 共计33科80属126种, 其次是抛石岸线, 为106种, 预制砌块岸线植物物种数最少, 为89种(图2)。这些植物中占优势的科主要有菊科、禾本科、莎草科、蓼科和苋科, 其中前三者为典型的大科, 且在3种岸线类型生境中均有分布, 是长江安庆段植物群落的主要物种, 说明其适合在各生境中生长。在生活型方面, 三种岸线中的一年生草本植物种类分别为99、

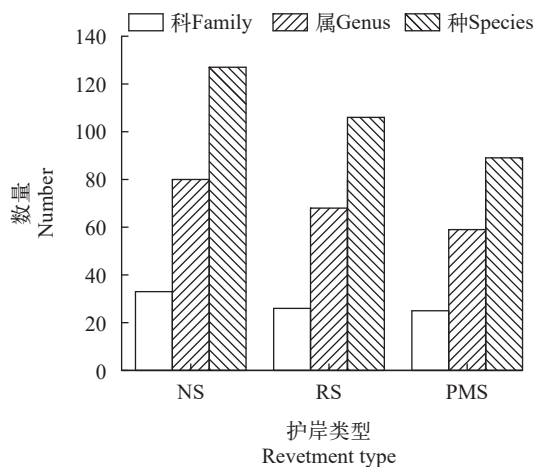


图2 不同岸线草本植物群落科、属、种数量

Fig. 2 The number of family, genus and species of herbaceous plant communities in different shorelines

NS. 自然岸线; RS. 抛石岸线; PMS. 预制砌块岸线

NS. Natural shoreline; RS. Rock shoreline; PMS. Prefabricated masonry shoreline

86和70种。物种来源方面, 整个长江安庆段本土植物121种, 入侵植物32种, 分别占物种总数的79.08%和20.26%。

不同岸线工程植物群落分类 对长江安庆段不同岸线植物群落进行Ward聚类分析的结果表明, 自然岸线、抛石岸线和预制砌块岸线分别划分为4、4和5个群落类型(图3)。依据植物群落中平均重要值较大的优势物种对群落进行命名。

自然岸线植物群落分类: 群丛1. 苍耳+糠稷+愉悦蓼 (Ass. *Xanthium strumarium* + *Panicum bisulcatum* + *Persicaria jucunda*)

该群丛仅包含样地1, 群落高度为80—110 cm, 平均盖度为87.22%。优势种为糠稷、苍耳、愉悦蓼, 重要值分别为1.12、1.03和0.87, 主要伴生种有益母草、葎草、乌菰莓和牛鞭草。

群丛2. 芦苇+青葙+愉悦蓼 (Ass. *Phragmites australis* + *Celosia argentea* + *Persicaria jucunda*)

该群丛仅包含样地2, 群落高度为90—223 cm, 平均盖度82.26%, 优势种为芦苇、青葙和愉悦蓼, 重要值分别为0.68、0.62和0.60。主要伴生种为稗、喜旱莲子草、灰化藁草和鬼针草。

群丛3. 糠稷+藜草+狗牙根 (Ass. *Panicum bisulcatum* + *Phalaris arundinacea* + *Cynodon dactylon*)

该群丛仅包含样地3, 群落高度为35—122 cm, 平均盖度为86.35%, 优势种为藜蒿、蓼子草、牛鞭草、益母草, 重要值分别为0.70、0.66和0.66。主要伴生种有喜旱莲子草、牛鞭草、马兰、羊蹄和酸模叶蓼。

群丛4. 益母草+狗牙根+芦苇 (Ass. *Leonurus japonicus* + *Cynodon dactylon* + *Phragmites australis*)

该群丛包含了5、6、7等12个样地, 群落高度为43—340 cm, 平均盖度为85.81%, 优势种为益母草、狗牙根和芦苇, 重要值分别为0.91、0.60和0.56。主要伴生种为藜蒿、糠稷、苍耳、愉悦蓼、小蓬草和牛鞭草。

抛石岸线植物群落分类: 群丛1. 芦苇+荻+狗牙

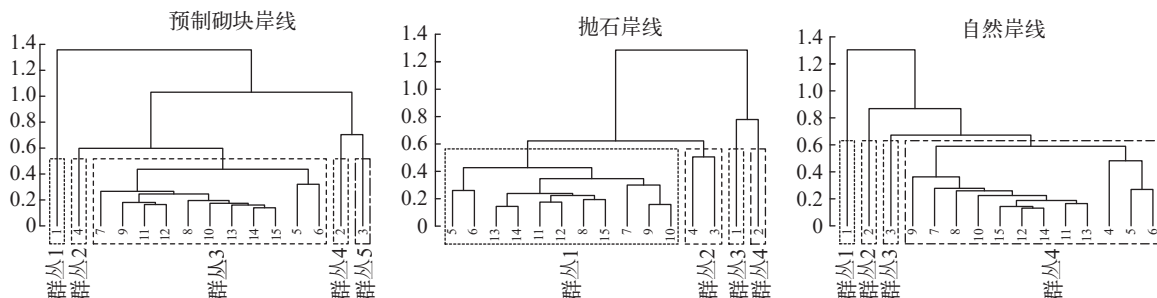


图3 长江安庆段消落区不同岸线的植物群落聚类树

Fig. 3 Cluster tree of plant communities in the different shoreline types

根 (*Ass. Phragmites australis* + *Miscanthus sacchariflorus* + *Cynodon dactylon*)

该群丛包含4、5、6等12个样地, 群落高度为35—275 cm, 平均盖度为73.31%, 优势种为芦苇、荻和狗牙根, 重要值分别为0.60、0.54和0.52。主要伴生种为小蓬草、苍耳、益母草、马唐和糠稷。

群丛2. 苍耳+牛鞭草+糠稷 (*Ass. Xanthium strumarium* + *Hemarthria sibirica* + *Panicum bisulcatum*)

该群丛包含样地3和4, 群落高度为35—135 cm, 平均盖度为72.11%, 优势种为苍耳、牛鞭草和糠稷, 重要值分别为0.80、0.73和0.54。主要伴生种为小蓬草、虻子草、乌菰莓、狗牙根和野大豆。

群丛3. 苍耳+愉悦蓼+小蓬草 (*Ass. Xanthium strumarium* + *Persicaria jucunda* + *Erigeron canadensis*)

该群丛仅包含样地1, 群落高度为95—180 cm, 平均盖度为71.70%, 优势种为苍耳、愉悦蓼和小蓬草, 重要值分别为0.94、0.68和0.66, 主要伴生种为荻、芦苇、狗牙根和显花蓼。

群丛4. 狗牙根+小蓬草 (*Ass. Cynodon dactylon* + *Erigeron canadensis*)

该群丛仅包含样地2, 群落高度为30—160 cm, 平均盖度为71.30%, 优势种为狗牙根和小蓬草, 重要值为1.06和0.70, 主要伴生种为钻叶紫菀、愉悦蓼、青葙和芦苇。

预制砌块岸线植物群落分类: 群丛1. 糠稷+芦苇+白羊草 (*Ass. Panicum bisulcatum* + *Phragmites australis* + *Bothriochloa ischaemum*)

仅包含样地1, 群落高度为35—176 cm, 平均盖度为60.95%, 优势种为糠稷、芦苇、白羊草, 重要值分别为1.58、0.82和0.68。主要伴生种为狗牙根、益母草和小叶大戟。

群丛2. 狗尾草+狗牙根 (*Ass. Setaria viridis* + *Cynodon dactylon*)

仅包含样地4, 群落高度为35—55 cm, 平均盖度为67.40%, 优势种为狗尾草和狗牙根, 重要值分别为1.10和0.83。主要伴生种为蒺藜、风花菜、朝天委陵菜、过江藤和斑地锦。

群丛3. 三裂叶薯+小蓬草+苍耳 (*Ass. Ipomoea triloba* + *Xanthium strumarium* + *Erigeron canadensis*)

包含5、6、7等10个样地, 群落高度45—180 cm, 平均盖度为70.80%, 优势种为三裂叶薯、苍耳和小蓬草, 重要值分别为0.56、0.50和0.50。主要伴生种为狗牙根、狗尾草、篱栏网和灰化藁草。

群丛4. 荻+小蓬草 (*Ass. Miscanthus sacchariflorus* + *Erigeron canadensis*)

仅包含样地2, 群落高度为178—322 cm, 平均盖度为55.30%, 优势种为荻和小蓬草, 重要值分别为1.39和1.24。主要伴生种为钻叶紫菀、芦苇、灰化藁草和小叶大戟。

群丛5. 益母草+芦苇+荻 (*Ass. Leonurus japonicus* + *Phragmites australis* + *Miscanthus sacchariflorus*)

仅包含样地3, 群落高度为30—225 cm, 平均盖度为66.60%, 优势种为益母草、荻、芦苇, 重要值分别为1.14、0.68和0.68。主要伴生种为狗牙根、小叶大戟、画眉草和苍耳。

不同岸线工程植物多样性 由表1可见, 长江安庆段不同岸线植物种丰富度差异显著, 且在科属种水平丰富度表现一致, 即: 自然岸线>抛石岸线>预制砌块岸线。在多样性指数方面, 各生境的植物群落中物种多样性特征变化范围较小, 不同岸线植物群落 Shannon-Wiener 多样性指数为0.77—1.05, Simpson 优势度指数为0.46—0.56, Pielou 均匀度指数为0.69—0.76。根据方差分析可知, 除 Pielou 均匀度指数外, 自然岸线的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数及 Patrick 指数均显著高于其余两种岸线生境, 表明其植物群落物种较为丰富, 群落结构相对稳定。Pielou 均匀度指数的变化幅度较小, 表明长江安庆段岸线植物群落整体以少数物种为主, 优势现象明显。

不同岸线植物构件生物量与盖度的比较

由表2可知, 在各种岸线类型中, 自然岸线植物的根、茎、叶及总干重均最大。除根干重外, 自然岸线植物的茎、叶和总干重生物量均显著高于其他2种岸线, 且与其他岸线也存在显著差异 ($P < 0.05$)。

通过对各样地内的植被盖度的估算, 长江安庆段不同岸线类型植被的整体覆盖度在68.63%—85.98%, 其中自然整体植被覆盖度较高, 且显著

表1 长江安庆段消落区不同岸线植物多样性差异

Tab. 1 Differences of plant diversity under different shorelines in the fluctuating area of Anqing section of the Yangtze River

岸线类型 Shoreline type	Patrick 丰富度指数 Patrick richness index	Shannon- Wiener 指数 Shannon- Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	Pielou 均匀度指数 Pielou index
NS	28.27±3.43 ^a	1.05±0.15 ^a	0.56±0.06 ^a	0.76±0.06 ^a
RS	23.40±2.13 ^b	0.83±0.18 ^b	0.46±0.09 ^b	0.69±0.13 ^a
PMS	19.53±2.33 ^c	0.77±0.16 ^b	0.46±0.10 ^b	0.72±0.17 ^a

注: 同行肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 下同

Note: Different lowercase letters in the same shoulder scale indicate significant differences ($P < 0.05$), and no letter indicates non-significant differences ($P > 0.05$); The same applies below

高于其他岸线, 平均盖度为85.98%, 抛石岸线次之(72.91%), 预制砌块的植被盖度最低(68.60%)。

2.2 不同岸线仔稚鱼群落结构特征

物种组成与生态类型 本研究共采集到仔稚鱼130005尾, 鉴定出15种, 隶属5目7科14属(表3)。其中鲤科鱼类占优势, 共有7属8种, 占总种数的53.33%, 其次是银鱼科, 有2属2种(13.33%), 其他各

表2 不同岸线草本植物构件生物量和植被盖度

Tab. 2 Modular biomass and vegetation coverage in different shorelines in fluctuating area

岸线类型 Shoreline type	根干重 Root dry weight (g)	茎干重 Stem dry weight (g)	叶干重 Leaf dry weight (g)	总干重 Total dry weight (g)	植被盖度 Vegetation cover (%)
NS	96.70±96.27 ^a	449.02±569.40 ^a	112.45±103.36 ^a	658.17±753.73 ^a	85.98±2.00 ^a
RS	75.55±68.09 ^a	236.69±223.32 ^b	65.64±53.84 ^b	374.89±311.31 ^b	72.91±2.74 ^b
PMS	35.66±35.14 ^b	112.48±159.89 ^b	38.03±44.68 ^b	186.18±235.17 ^c	68.60±5.76 ^c

表3 不同岸线仔稚鱼种类组成、生态类型和相对重要性指数

Tab. 3 Species composition, ecological guilds, and dominance of larvae and juveniles fish in different shorelines

物种Species	生态类型Ecological guild	产卵方式Spawning method	NS	RS	PMS	
鲤形目Cypriniformes						
鲤科Cyprinidae						
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i> *	P	U	黏性卵	4658.40	4113.80	4845.69
鲫 <i>Carassius auratus</i>	O	L	黏性卵	547.18	917.38	851.64
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	O	D	黏性卵	255.13	723.08	649.08
兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i> *	D	U	沉性卵	55.37	22.93	65.24
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	P	U	漂流性卵	3.98		2.17
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i> *	O	U	漂流性卵	13.44	7.22	48.24
银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	O	L	黏性卵	1.80	3.42	16.42
翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>	C	U	黏性卵	31.52	77.31	94.21
泥鳅科Cobitidae						
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> *	O	D	黏性卵	0.02		
胡瓜鱼目Osmeriformes						
银鱼科Salangidae						
陈氏新银鱼 <i>Neosalanx tangkahkeii</i>	C	U	沉性卵	1726.58	1814.67	1386.44
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i> *	C	U	沉性卵	1912.84	1312.68	732.22
颌针鱼目Beloniformes						
鱮科Hemirhamphidae						
间下鱮 <i>Hyporhamphus intermedius</i> *	C	U	黏性卵	588.35	817.91	693.56
鲈形目Perciformes						
虾虎鱼科Gobiidae						
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i> *	O	L	黏性卵	77.38	94.83	109.83
鲱科Clupeidae						
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	C	L	漂流性卵	2.65	5.84	3.65
鲱形目Clupeiformes						
鳀科Engraulidae						
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	C	U	浮性卵	35.49		

注: *. 小型鱼类Small fish; O. 杂食性Omnivore; P. 浮游生物食性Planktivore; H. 草食性Herbivore; De. 碎屑食性Detritivore; C. 肉食性Carnivore; U. 中上层Upper; L. 中下层Lower; D. 底栖性Demersal

科种数都较少, 共占总种数的33.33%。从岸线水域上看, 鱼类种数从大到小的顺序依次为自然岸线水域15种鱼类>预制砌块岸线水域12种>抛石岸线水域13种, 三种岸线水域中的小型鱼类(仔稚鱼)的物种数分别为7、6和6。

从食性上来看, 自然岸线杂食性(5种)和肉食性鱼类(6种)物种数均高于其他2种岸线水域; 从生态位上来看, 自然岸线水域中的中上层鱼类物种数(10种)要高于抛石岸线水域(8种)和预制砌块岸线水域(9种); 从产卵方式来看, 三种岸线水域中产黏性卵的鱼类分别为8种、7种和7种, 其中自然岸线水域产黏性卵的小型鱼类有4种, 要高于抛石岸线水域(3种)和预制砌块岸线水域(3种), 而产漂流性卵的鱼类种数分别为3、2和3种。

仔稚鱼优势种组成 根据相对重要性指数统计分析, 在本次鱼类调查中, 预制砌块岸线水域

的优势种最多(7种), 自然岸线和抛石岸线水域优势种均为6种。蟹、鲫、鲤、陈氏新银鱼、大银鱼和间下鱖为三种岸线水域的共优势种, 子陵吻虾虎鱼为预制砌块岸线水域的特有优势种。这些仔稚鱼优势种的数量之和分别占自然岸线、抛石岸线及预制砌块岸线水域渔获物数量之和的96.89%、97.45%和95.89%。

不同岸线水域仔稚鱼渔获物特征 根据方差分析结果, 自然岸线渔获物总种数与其他两种岸线无显著差异, 但中上层鱼类种数显著高于其他两种岸线。就鱼类生态位而言, 3种岸线水域的显著差异主要存在于渔获物总数量, 但自然岸线水域中上层鱼类渔获物总数量仅显著高于抛石岸线水域(表4)。

2.3 不同岸线江豚分布特征

江豚数量 于2022年12月至2023年9月期间在长江安庆段流域共进行3次考察, 观测到江豚55次, 计135头次。枯水期累积观察到22群次, 55头次, 平均每次观察到江豚(18.33±6.11)头; 平水期累积观察到17群次, 40头次, 平均每次观察到江豚(13.33±3.06)头和丰水期累积观察到16群次, 40头次, 平均每次观察到江豚(13.33±4.16)头次(表5)。3个水位时期平均观察到的江豚头数无显著差异($P>0.05$)。

长江江豚对岸线类型的选择 在研究期间, 长江江豚在自然岸线的活动较为频繁, 总计37群次, 占总群次的68.52%, 在抛石岸线的出现频率次之, 共10群次, 占总群次的18.52%, 而在预制切块岸线的活动较低, 共7群次, 占总群次的12.96%(图4A)。研究表明长江江豚对于自然岸线的水域具有较强的选择偏向性。

江豚分布特征 图4B为3次考察所记录的江豚次数累积分布叠加图, 张家洲北汊(鄱阳湖口与长江干流汇流处)、三号洲洲尾、清洁洲南汊、皖河口-南岸及江心洲洲头-南岸等水域的江豚分

布较为密集。其中张家洲北汊水域累计观察到的江豚数量最多, 共21头次, 占总观察头次的38.89%, 最大群体为6头。

3 讨论

3.1 长江安庆段不同岸线植物群落结构及多样性特征

群丛的划分可以明确反映群落与环境条件之间的密切联系及植物生长的特定生境类型, 有效揭示群丛的多样性组成^[34]。由于频繁受到水位波动和人为干扰(防洪工程及航道整治工程措施)的双重影响, 其植物群落类型与组成在不同生境不尽相同。Ward最小方差聚类将长江安庆段3种岸线的植物群落分别划分成了4、4、5个群落类型, 其中益母草+芦苇+狗牙根群落、芦苇+荻+狗牙根群落、三裂叶薯+苍耳+小蓬草群落分别在自然岸线、抛石岸线和预制砌块岸线中出现的频率最高, 分别占总样方数的80%、80%和66.67%, 是长江安庆段不同岸线中的代表群落类型。这些优势群落类型在物种组成上大多以禾本科的芦苇、糠稷、狗牙根等耐水淹和菊科的苍耳、小蓬草及唇形科的益母草等抗干旱能力强的植物为主。这可能与这些植物的生理特性有关, 如这些植物大多为一年生草本植物, 生活史与繁殖周期短, 数量多、生命力强及生态位广^[35], 使其能够很好地适应周期性的干旱和水淹及人为干扰。这与邓红兵等^[36]所说的河岸带植物大多以耐水淹物种为主的结论一致。

物种的多样性不仅具有植物群落物种丰富性和均匀性两方面的内容^[37], 同时也在一定程度上反映了植物群落生境的特点。比较不同岸线间的植物多样性指数发现, 非自然岸线的物种丰富度、Shannon多样性指数、Simpson优势度指数均显著低于自然岸线, 这与植物群落聚类结果相吻合。这可能与生境异质性和特殊性有关, 即自然岸线为近

表 4 不同岸线渔获物种数和数量对比

Tab. 4 Comparison of species number and individual number of catch in different shorelines

变量Variable	NS	RS	PMS	P	F
总种数Total species number	11.00±1.67 ^a	9.67±1.51 ^a	10.00±2.10 ^a	0.915	2.928
中上层鱼类种数Species number of upper fish	7.33±1.37 ^a	5.33±0.52 ^b	5.00±0.89 ^b	0.002	9.773
中下层鱼类种数Species number of lower fish	1.50±0.84 ^a	2.50±0.84 ^{ab}	2.33±0.52 ^b	0.075	3.1
底层鱼类种数Species number of demersal fish	1.17±0.41 ^a	1.00±0.00 ^a	1.00±0.00 ^a	0.391	1
小型鱼类种数Species number of Small fish	5.27±0.39 ^a	2.20±0.38 ^b	2.93±0.54 ^c	0.001	10.409
渔获总数量Total individual number of catch	10454.17±7941.30 ^a	3233.83±2594.56 ^b	4894.33±4254.81 ^b	0.422	0.084
中上层渔获物数Individual number of upper fish	9993.50±7500.77 ^a	2658.00±2194.57 ^b	4075.17±3682.32 ^{ab}	0.051	3.651
中下层渔获物数Individual number of lower fish	755.17±465.59 ^a	345.67±309.92 ^a	503.50±363.25 ^a	0.211	1.726
底层渔获物数量Individual number of demersal fish	299.67±244.10 ^a	233.83±179.04 ^a	316.17±249.93 ^a	0.804	0.222
小型鱼类渔获物数量Total individual number of small fish catch	8733.17±5966.17 ^a	2030.83±1819.12 ^b	4586.17±4888.01 ^{ab}	0.066	3.28

原始自然状态,且其坡度相对平缓,受人为干扰最小,土壤条件良好,使物种更容易定居和存活故而物种多样性较高。较高的物种多样性不仅使群落结构更加复杂,还能增加土壤的孔隙度,有利于植物的生长,进而促进根系及地上部分的生物量^[38],这也与自然岸线的植被盖度和植物总干重均最大的特征相契合。而非自然岸线由于受到硬质化的砌石或混凝土堤岸及航道整治等涉水工程,破坏了原有的自然环境,使植被生长受到影响,导致植被覆盖度、连通性降低^[39]。但需要注意的是,就长江安庆段整体而言,3种岸线类型中的植物物种均是草本群落,表明该区域植物演替处于初级阶段,群

落结构不稳定,这是由于河岸带受到持续不断水淹一干旱和土壤环境因子干扰,这些干扰也造成岸线植物群落结构趋于简单化^[40],这一现象也符合大多数河岸带岸线的植物群落特征。

3.2 长江安庆段不同岸线仔稚鱼资源分布特征

仔稚鱼是水生食物链中的重要环节之一,在水生生态系统中,仔稚鱼不仅是重要的被捕食者,同时也是捕食者,它们的存活数量是鱼类资源补充和渔业资源持续利用的基础,其数量和群落的波动变化直接影响渔业资源量的变动^[41]。从鱼类组成及产卵方式上来看,自然岸线水域的仔稚鱼物种数(15种)和产黏性卵物种数(8种)要高于抛石岸线水域(12种、7种)和预制砌块岸线水域(13种、7种),其原因可能是固化岸线缺乏适当的小生境(如挺水植物、水藻)作为抵御捕食者和鱼卵发育的庇护所,进而影响动物繁殖体的定居和生存^[42,43]。此外,自然岸线水域中上层鱼类高于其他非自然岸线水域,说明涉水工程建设对鱼类的群落结构具有一定的影响。

从优势物种组成来看,长江安庆段不同岸线水域优势物种以小型鱼类为主,共有4种小型鱼类,分别为鲮、大银鱼、间下鱊和子陵吻虾虎鱼,其中前三者为不同岸线水域的共有优势种。但在岸线类型方面,自然岸线水域的小型鱼类平均种数与小型鱼类渔获物数量(58733)均显著高于抛石岸线水域(22030)和预制砌块岸线水域(34586),表明小型鱼类易受到岸线类型的影响,其原因可能是抛石和预制砌块等岸线底质被硬化,导致其原生植被遭到破坏以及水文环境的变化,改变了鱼类等水生生物原有的栖息生存条件,如产卵场、索饵场及庇护所的退化和消失,鱼类聚集度下降,部分鱼类由于不能适应而进行迁移。以往研究表明,在自然环境下长

表5 不同水位时期观测到的江豚群次、数量和最大群体
Tab. 5 Number of porpoise and groups, the maximum group and number observed during investigations

考察季节 Season	考察日期 Date	江豚群次 Number of groups observed	目击率 Encounter rate	目击数量 Number of porpoise observed	最大群体 Maximum group size
枯水期Low water level	2022-12-18	8	0.15	25	5
	2022-12-19	7	0.13	13	4
	2022-12-20	7	0.13	17	3
	均值Average	7.33±0.58	0.13±0.01	18.33±6.11	4.00±1.00
平水期Middle water level	2023-9-27	5	0.08	10	3
	2023-9-28	6	0.10	14	3
	2023-9-29	6	0.10	16	4
	均值Average	5.67±0.58	0.09±0.01	13.33±3.06	3.33±0.58
丰水期High water level	2023-5-12	6	0.12	18	6
	2023-5-13	5	0.10	10	4
	2023-5-14	5	0.10	12	4
	均值Average	5.33±0.58	0.10±0.01	13.33±4.16	4.67±1.15

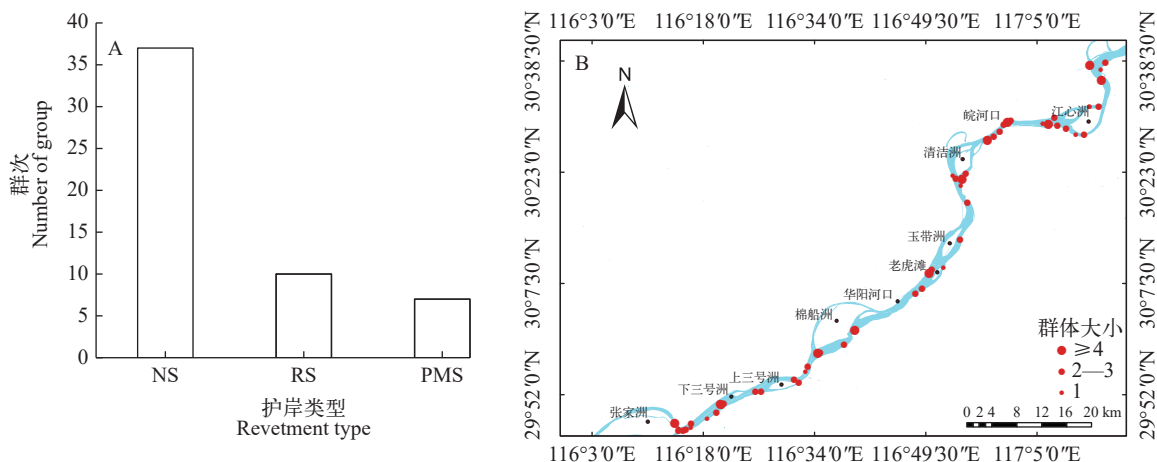


图4 长江江豚在不同岸线的出现次数(A)和江豚分布图(B)

Fig. 4 Number of occurrences at different shorelines (A) and distribution map of the Yangtze finless porpoise in the study area (B)

江豚主要捕食中上层的小型鱼类和一些虾类^[18], 因此, 鱼类的迁移往往能够吸引江豚觅食迁移, 进而间接影响江豚的分布。此外, 在各生境中小型鱼类优势种渔获物总数量分别占其渔获物总数量的71.61%、37.20%和67.15%, 表明小型鱼类在长江安庆段仔稚鱼资源中占有优势地位, 同时也表明长江禁渔措施对渔业资源的恢复具有良好的促进作用, 尤其是对生活周期短的小型鱼类的资源得以较快恢复。较高比例的小型鱼类虽然会导致鱼类群落的单一化和小型化^[44], 但随着长江禁渔措施的深入推进实施, 长江流域人类捕捞活动强度降低及水污染防治工作的有序落实, 后期一些大型和肉食性鱼类种群数量上升, 鱼类资源将逐步恢复并形成一个稳定的鱼类群落结构, 这对为江豚提供丰富充足的饵料资源具有积极作用。

3.3 长江安庆段不同岸线江豚的数量与分布特征

长江江豚作为淡水河流生态系统的顶级捕食者, 其生存和活动受到食物资源、栖息地、水文情势及地形地貌等多方面因素的影响, 且对栖息环境的变化敏感^[45, 48]。本研究通过结合历史文献及3次对考察数据的分析发现, 在小尺度区域上, 分布在自然泥沙质的自然岸线的江豚数量要显著高于分布在抛石及预制砌块等固化岸线的数量, 这与陈敏敏等^[27]的研究结果一致, 即长江江豚通常喜欢栖息在长江近岸300 m内的浅水水域, 尤其喜爱河床坡度平缓, 水流缓慢的自然泥沙质的近岸水域。而在大尺度区域上, 长江江豚表现为围绕江心洲洲头、洲尾、靠近洲侧浅滩、汇流区等水域的集中分布的特征(图5), 例如在安庆江心洲、清洁洲、下三号洲及张家洲的附近水域, 但这种选择并不完全一致^[49]。其原因是这些水域连续分布着自然河岸, 河

床坡度平缓, 底质为淤泥, 大型回水区多, 水流缓慢, 水生生物资源丰富, 人类活动少^[50], 能够为江豚的生存和繁衍提供丰富的食物资源和适宜的栖息环境。因此, 本研究认为岸线类型的异质性是长江江豚分布格局中的影响因素之一。在较小的空间尺度上, 江豚显示出对自然滩涂水域的偏好; 而在较大的空间尺度上, 分布则倾向于在洲滩周围水域呈现出明显的集中趋势。

此外, 由于人类经济活动, 如水利工程建设, 使河道的自然形态、水文条件发生变化, 河床坡度被改变, 底质被固化, 近岸植被遭到破坏, 不仅不利于鱼类的产卵, 还会影响鱼卵的孵化, 对鱼类完成正常生活史造成多重影响, 进而影响到鱼类种群的稳定性。涉水工程也改变了江豚栖息所需要的水文生态环境和栖息地, 导致淡水豚类随栖息地的碎片化而呈斑块状分布^[51]。因此, 在由于固化河岸造成了食物资源降低和栖息地质量下降的双重影响下, 使江豚对自然河岸具有强选择性。

3.4 不同岸线植物群落和鱼类群落特征与江豚分布的关系

生长在低海拔消落带内的植物, 尤其是一些禾本科植物, 在淹水后是草食性鱼类的优质饵料, 其被淹没的根茎叶部分亦可为如鲤、鲫、鲂等产黏性卵鱼类提供良好的孵卵基质^[52], 对鱼类的繁殖具有重要作用。此外, 消落带植被分布的空间异质性不仅有利于浮游动物等饵料生物的生长和繁殖, 也可为许多中上层的小型定居鱼类提供躲避天敌的避害场所和为仔稚鱼提供充足的食物资源^[53, 54]。食物丰富度是表征长江江豚栖息地适合度的关键因素之一^[55]。饵料鱼的丰富度是长江江豚栖息地选择的重要驱动因子之一。本研究对植物群落特征和仔稚鱼群落特征及其与江豚分布的三者间关系的相关性分析表明(图5), 发现湿地植被覆盖度与仔稚鱼种类、数量及小型鱼类种数之间存在显著的正相关($P < 0.05$), 这表明植被覆盖度较高的区域仔稚鱼的丰度也较高。仔稚鱼种类、数量及小型鱼类物种数和数量与长江江豚的分布也均显示出显著的正相关($P < 0.05$), 暗示了仔稚鱼(尤其是小型鱼类)可能是江豚的重要食物来源。湿地植被生物量与长江江豚分布之间的相关性不显著, 这可能表明江豚分布可能受到多种复杂因素的影响, 包括人类活动、水文条件和栖息地质量等, 但这些都是本文未涉及的研究, 因此, 在未来的应需要更深入与加强这方面的研究。上述结果表明, 湿地植被是湿地生态系统中初级生产力的重要主体, 其盖度对仔稚鱼和江豚的分布具有一定的潜在影响。该结

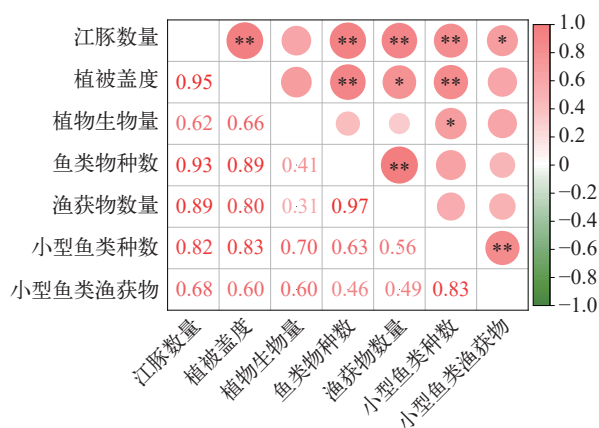


图5 江豚分布与植物群落和仔稚鱼群落特征的相关性

Fig. 5 Correlation of finless porpoise distribution with plant community and larval and juvenile fish community characteristics

果也与在自然岸线的仔稚鱼种类与渔获物数量及江豚数量要显著高于分布在固化岸线的数量结果相对应。鉴于此,建议在洲滩附近及近岸的自然岸线处逐渐做好沿江滩涂的植被恢复工作,逐步改造成芦苇、狗牙根和苍耳等为代表的原生湿生和中生植被。此外,在植被恢复工作中,还应充分考虑三峡截流对安庆段水文情势的影响,必要时应采取生境改造手段,确保恢复后的植被可以成为有效的鱼类产卵场和索饵场,促进长江安庆段流域鱼类资源的恢复,特别是适合作为江豚食物的小型鱼类的种群数量的恢复,以保障长江江豚饵料资源的持续供应和满足江豚对生存水体环境和栖息地质量的要求^[56]。

4 结论

本研究通过对长江安庆段不同岸线水域的植物群落、仔稚鱼及长江江豚等水生生物群落的采样调查与量化分析,研究不同岸线下湿地植被、仔稚鱼及长江江豚三者间的影响关系。岸线固化不仅会改变附近水域的河床底质与水文情势,也会使其岸滩附近原生植被遭到破坏,植被盖度和生物量下降,改变了鱼类的生存条件(如产卵场、索饵场及遮蔽所的退化和丧失),引起部分鱼类的迁移和聚集,进而影响长江江豚分布状况变化。因此,建议:(1)开展新型护岸技术研究,在有效护岸的同时,能尽量维持自然岸线植被分布。(2)制定长江干流洲滩生态保护与修复方案,对已开发的洲岛,可通过改变固化岸线的材料来减少对栖息环境的影响,在条件允许的地方还可将固化岸线进行“内迁”,使其满足防洪和保护生态环境的要求。与此同时,严格禁止未来江心洲及其附近水域不合理的开发活动及慎重考虑涉水工程的实施,尤其是江心洲及其他紧邻主江堤的重要滩地,同时清退现洲滩不合理的占用活动。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

[1] Ryu J H, Choi J K, Lee Y K. Potential of remote sensing in management of tidal flats: a case study of thematic mapping in the Korean tidal flats [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2014(102): 458-470.

[2] Bai K K, Li Z W, Zhang P, *et al.* Shoreline evolution of natural lakes in Lake Dongting area based on multi-source remote sensing interpretation [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2024, **36**(5): 1537-1549. [白宽宽, 李志威, 张鹏, 等. 基于多源遥感解译的洞庭湖区自然湖岸线演变过程研究 [J]. *湖泊科学*, 2024, **36**(5): 1537-1549.]

[3] Fang G H, Yang Y, Zhang C, *et al.* Risk assessment of shoreline resources development and utilization based on set pair analysis. a case study of the Jiangsu section of the Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2024, **33**(8): 1679-1690. [方国华, 杨赞, 张程, 等. 基于集对分析的岸线资源开发利用风险评估——以长江江苏段为例 [J]. *长江流域资源与环境*, 2024, **33**(8): 1679-1690.]

[4] Gundersen P, Laurén A, Finér L, *et al.* Environmental services provided from riparian forests in the Nordic countries [J]. *Ambio*, 2010, **39**(8): 555-566.

[5] Zhu Z B. Study on the influence of shoreline solidification on aquatic biological communities such as fish in Anqing section of the Yangtze River [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021: 1-50. [朱宗波. 长江安庆段岸线固化对鱼类等水生生物群落影响研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 1-50.]

[6] He M, Fang D A, Chen Y J, *et al.* Structural characteristics and influencing factors of fish larvae community in Huadian section of Songhua Lake [J]. *Wetland Science*, 2023, **21**(2): 292-301. [何苗, 方弟安, 陈永进, 等. 松花湖桦甸段水域中仔稚鱼群落结构特征及其影响因素分析 [J]. *湿地科学*, 2023, **21**(2): 292-301.]

[7] Li Y F, Li X H, Yang J P, *et al.* Status of *Elopichthys bambusa* recruitment stock after the impoundment of Changzhou Hydro-junction in Pearl River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2015, **27**(5): 917-924. [李跃飞, 李新辉, 杨计平, 等. 珠江干流长洲水利枢纽蓄水后珠江鳊鱼 (*Elopichthys bambusa*) 早期资源现状 [J]. *湖泊科学*, 2015, **27**(5): 917-924.]

[8] Li X F, Ding L Q, He X H, *et al.* The community characteristics of larvae and juvenile fish in the Anqing section of the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(6): 1300-1310. [李新丰, 丁隆强, 何晓辉, 等. 长江安庆段仔稚鱼群落特征调查研究 [J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(6): 1300-1310.]

[9] Tao Y Z, Wang L Y, Huang Q F, *et al.* Distribution patterns and habitat environmental characteristics of *Brachymystax tsinlingensis* larval fish [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2024, **48**(10): 1716-1723. [陶渝镇, 王丽英, 黄青峰, 等. 秦岭细鳞鲑仔稚鱼分布模式及其栖息地环境特征 [J]. *水生生物学报*, 2024, **48**(10): 1716-1723.]

[10] 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. [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.]

[11] Yan F J, Yu W J. The Yangtze finless porpoise population rebounds to 1249 [N]. *Xinhua Daily Telegraph*, 2023-03-01(006). [严赋憬, 于文静. 长江江豚种群数量回升至1249头 [N]. 新华每日电讯, 2023-03-01(006).]

[12] Ma J H. Population quantity and distribution pattern of finless porpoise in Anqing section of the Yangtze River

- [J]. *Scientific Fish Farming*, 2023(9): 79-80. [马建华. 长江安庆段长江江豚种群数量和分布特征分析 [J]. *科学养鱼*, 2023(9): 79-80.]
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Zhao X, Wang D, Turvey S T, *et al.* Distribution patterns of Yangtze finless porpoises in the Yangtze River: implications for reserve management [J]. *Animal Conservation*, 2013, 16(5): 509-518.
- [16] Tilman D, May R M, Lehman C L, *et al.* Habitat destruction and the extinction debt [J]. *Nature*, 1994(371): 65-66.
- [17] Melián C J, Bascompte J. Food web structure and habitat loss [J]. *Ecology Letters*, 2002, 5(1): 37-46.
- [18] 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.
- [19] Wang D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(19): 3473-3484.
- [20] 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.]
- [21] Li M L, Huang S L. Analysis of the effects and countermeasures of large hydraulic structures on fishery resources in Yangtze River [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(6): 759-764. [李美玲, 黄硕琳. 大型水工建筑对长江渔业资源影响及对策浅析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(6): 759-764.]
- [22] Xu C, Xu Z, Yang Z. Reservoir operation optimization for balancing hydropower generation and biodiversity conservation in a downstream wetland [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020(245): 118885.
- [23] Liu M D, Li P F, Huang C, *et al.* Spring community structure and species diversity of fish in the Anqing section of Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2017, 38(6): 64-71. [刘明典, 李鹏飞, 黄翠, 等. 长江安庆段春季鱼类群落结构特征及多样性研究 [J]. *水生态学杂志*, 2017, 38(6): 64-71.]
- [24] Mei Z, Han Y, Turvey S T, *et al.* Mitigating the effect of shipping on freshwater cetaceans: the case study of the Yangtze finless porpoise [J]. *Biological Conservation*, 2021(257): 109132.
- [25] Yu F Y, Wang K Y, Ye X, *et al.* Research on species diversity and biomass variation of herbaceous communities in different habitats in Wenjiang section of Jinma River [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(3): 793-800. [余飞燕, 王坤悦, 叶鑫, 等. 金马河温江段河岸带不同生境草本群落物种多样性和生物量变化研究 [J]. *草地学报*, 2020, 28(3): 793-800.]
- [26] Cao W X, Chang J B, Qiao Y, *et al.* Fish Resources of Early Life History Stages in Yangtze River [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2007. [曹文宣, 常剑波, 乔晔, 等. 长江鱼类早期资源 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.]
- [27] 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.]
- [28] Su X, Bejarano M D, Yi X, *et al.* Unnatural flooding alters the functional diversity of riparian vegetation of the Three Gorges Reservoir [J]. *Freshwater Biology*, 2020, 65(9): 1585-1595.
- [29] Lai J S. Numerical Ecology with R [M]. Beijing: Higher Education Press, 2019. [赖江山. 数量生态学-R语言的应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.]
- [30] Xu P. Atlas of Fish and Aquatic Plants in Changdang Lake [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019. [徐跑. 长荡湖鱼类和水生植物图谱 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.]
- [31] Tang J, Ye S, Li W, *et al.* Status and historical changes in the fish community in Erhai Lake [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2013, 31(4): 712-723.
- [32] Zhang X K, Yu D P, Wang H L, *et al.* Fish community structure in main habitat of the finless porpoise, the Anqing section of Yangtze River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(7): 1832-1839. [张晓可, 于道平, 王慧丽, 等. 长江安庆段江豚主要栖息地鱼类群落结构 [J]. *生态学报*, 2016, 36(7): 1832-1839.]
- [33] Ding L Q, Li J S, Xu D P, *et al.* Spatial and temporal distribution and influencing factors of four major Chinese carps larvae fish resources in lower reaches of Yangtze River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(3): 478-486. [丁隆强, 黎加胜, 徐东坡, 等. 长江下游四大家鱼仔稚鱼时空分布特征及影响因素分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(3): 478-486.]
- [34] Li Y, Luo J F, Hou Z Y, *et al.* Plant diversity and environmental interpretation of Mang Shan Lang Pan Lake national important wetland [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(12): 5340-5350. [李阳, 罗健夫, 侯志勇, 等. 莽山湖畔湖国家重要湿地植物多样性及环境解释 [J]. *生态学报*, 2024, 44(12): 5340-5350.]
- [35] Cheng L D, Deng H P, He S, *et al.* Distribution patterns and diversity of plant communities in fluctuating areas of Chongqing section of Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(12): 3626-3634. [程莅登, 邓洪平, 何松, 等. 长江重庆段消落区植物群落分布格局与多样性 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38(12): 3626-3634.]
- [36] Deng H B, Wang Q C, Wang Q L, *et al.* On riparian

- forest buffers and riparian management [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(6): 951-954. [邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理 [J]. *应用生态学报*, 2001, **12**(6): 951-954.]
- [37] Qi D H, Yang H X, Lu Q, *et al.* Biodiversity of plant communities and its environmental interpretation in the Otindag Sandy Land, China [J]. *Journal of Desert Research*, 2021, **41**(6): 65-77. [齐丹卉, 杨洪晓, 卢琦, 等. 浑善达克沙地植物群落物种多样性及环境解释 [J]. *中国沙漠*, 2021, **41**(6): 65-77.]
- [38] Li Q, Zhao H, Zhao C Z, *et al.* Response of main plant community diversity to soil environmental factors in Taohe national wetland park [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(7): 2674-2684. [李群, 赵辉, 赵成章, 等. 洮河国家湿地公园主要植物群落多样性对土壤环境因子的响应 [J]. *生态学报*, 2022, **42**(7): 2674-2684.]
- [39] Yang L, Du H Y, Song X J, *et al.* Investigation and health assessment of riparian vegetation of Huangpu River, China [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2017, **37**(8): 72-80. [杨璐, 杜红玉, 宋雪琨, 等. 黄浦江河岸带植物资源调查与健康状况评价 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, **37**(8): 72-80.]
- [40] Chen G, Li X L, Huang J, *et al.* Characteristics of plant communities and their relationships with environmental factors in the water level fluctuation zone of the Zigui region of the Three Gorges Reservoir [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(2): 688-699. [陈功, 李晓玲, 黄杰, 等. 三峡水库秭归段消落带植物群落特征及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2022, **42**(2): 688-699.]
- [41] Fan Z W, Jiang R J, Li Z, *et al.* Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Zhongjieshan islands, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(13): 4392-4403. [樊紫薇, 蒋日进, 李哲, 等. 中街山列岛海域鱼卵、仔稚鱼群落结构特征及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2020, **40**(13): 4392-4403.]
- [42] Bulleri F, Chapman M G, Underwood A J. Intertidal assemblages on seawalls and vertical rocky Shores in Sydney Harbour, Australia [J]. *Austral Ecology*, 2005, **30**(6): 655-667.
- [43] Bulleri F. Role of recruitment in causing differences between intertidal assemblages on seawalls and rocky Shores [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2005(287): 53-65.
- [44] Chang G F, Huang L M, Li J, *et al.* Study on fish community structure of set-net catches in Jiulong River Estuary, Fujian [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2013, **22**(2): 295-305. [常国芳, 黄良敏, 李军, 等. 福建九龙江河口区定置网渔业的鱼类群落结构研究 [J]. *上海海洋大学学报*, 2013, **22**(2): 295-305.]
- [45] Schofield P J. Habitat selection of two gobies (*Microgobius gulosus*, *Gobiosoma robustum*): influence of structural complexity, competitive interactions, and presence of a predator [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2003, **288**(1): 125-137.
- [46] 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.
- [47] Wang Z X, Chen M M, Wang K W, *et al.* Comparison of Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaorientalis*) clustering in different flow patterns [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.]
- [48] 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.
- [49] 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.]
- [50] 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. [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.]
- [51] Tan J H, Lin D Q, Wang Y P, *et al.* Zooplankton community structure in main habitat of Yangtze finless porpoise, confluence of Wanhe River and the Yangtze River [J]. *Journal of Hydroecology*, 2022, **43**(1): 71-78. [谈金豪, 蔺丹清, 王银平, 等. 皖河口江豚主要栖息地浮游动物群落结构特征 [J]. *水生态学杂志*, 2022, **43**(1): 71-78.]
- [52] Ding F. Study on the determination of spawning ground of spawning fish on lakes and marshes grass in Poyang Lake by remote sensing technology [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017. [丁放. 利用遥感技术测定鄱阳湖大湖池草上产卵鱼类产卵场的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.]
- [53] Liu Y Q, Liang Y T, Xiang Y X, *et al.* Application of aquatic plants in the restoration of fish spawning grounds [J]. *Journal of Smart Agriculture*, 2022, **2**(18): 41-43. [刘永清, 梁依甜, 向雅馨, 等. 水生植物在鱼类产卵场修复中的应用 [J]. *智慧农业导刊*, 2022, **2**(18): 41-43.]
- [54] Estlander S, Nurminen L, Olin M, *et al.* Seasonal fluctuations in macrophyte cover and water transparency of four brown-water lakes: implications for crustacean zooplankton in littoral and pelagic habitats [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **620**(1): 109-120.
- [55] 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.]
- [56] 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.]

CHARACTERISTICS OF PLANT AND JUVENILE FISH COMMUNITIES ALONG DIFFERENT SHORELINES AND THEIR RELATIONSHIP WITH THE DISTRIBUTION OF FINLESS PORPOISES: A CASE STUDY OF THE ANQING SECTION OF THE YANGTZE RIVER

LUO Lai-Kai^{1,2}, TAN Kai^{1,2}, WU Jia-Nan¹, ZHU Ling^{1,2}, XUE Li-Xun^{1,2}, XIAO Jing-Jing¹, ZHANG Wei^{1,2} and ZHAO Kai^{1,2}

(1. College of Life Sciences, Anqing Normal University, Anqing 246011, China; 2. The Belt and Road Model International Science and Technology Cooperation Base for Biodiversity Conservation and Utilization in Basins of Anhui Province, Anqing 246011, China)

Abstract: The Yangtze finless porpoise is found exclusively in the middle and lower reaches of the Yangtze River and two large river-connected lakes-Poyang and Dongting Lakes. With a considerable stretch of the natural riverbank along the Yangtze main stem replaced by artificial structures and the depletion of fish stocks, prey availability, habitat loss, and fragmentation have become the most important factors affecting the survival of the finless porpoise. To explore the structural characteristics of plant communities and juvenile fish along different shorelines and their potential relationship with the distribution of finless porpoises, we selected 15 typical sections in the Anqing section of the Yangtze River to investigate plant and juvenile fish communities. Simultaneously, three visual surveys were conducted to record the abundance and distribution patterns of the finless porpoise, along with the types of shorelines. The results showed that: (1) A total of 126, 106, and 89 species of vascular plants were collected from the natural, rock, and prefabricated masonry shorelines, respectively, with herbaceous plants being the main life form and Asteraceae, Poaceae, and Cyperaceae as the dominant families. The Ward's minimum variance method was used to classify plant communities of the three shorelines into four, four, and five community types, respectively. The most frequent plant associations were *Ass. Leonurus japonicus + Cynodon dactylon + Phragmites australis* on natural shorelines, *Ass. Xanthium strumarium + Hemarthritis sibirica + Panicum bisulcatum* on rock shorelines, and *Ass. Ipomoea triloba + Xanthium strumarium + Erigeron canadensis* on prefabricated masonry shorelines, respectively. (2) A total of 130005 juvenile were collected and identified, belonging to 14 genera, 7 families, and 6 orders. Among them, 15, 12, and 13 species were collected from natural, rock, and prefabricated shoreline waters, respectively. The six common dominant species across the three shoreline types were *Hemiculter leuciscus*, *Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Neosalanx tangkahkeii*, *Protosalanx hyalocranius*, and *Hyporhamphus intermedius*. The endemic dominant species in the rock and the prefabricated shoreline waters was *Rhinogobius giurinus*. ANOVA indicated that the total number of individual and upper fish species were significantly higher in natural shoreline waters than that in the other shoreline waters. (3) A total of 135 porpoises were sighted during the three surveys, with an average of (45.00±8.66) individuals per survey. Our observations revealed that porpoises in the Anqing section of the Yangtze River exhibit a continuous distribution, with distinct areas of concentrated distribution. However, finless porpoises displayed a noticeable preference for natural shoreline waters. (4) Correlation analyses of plant communities, juvenile fish communities, and finless porpoise distribution showed significant positive correlation ($P<0.05$) between vegetation cover and juvenile fish species richness, as well as between juvenile fish species richness, the number of small fish, and the distribution of the finless porpoise. ($P<0.05$). Therefore, we concluded that high vegetation cover, plant species diversity, and the abundance of upper fish in confluence areas are key factors supporting the habitat of the finless porpoise.

Key words: Shoreline; Plant community; Habitat fragmentation; Larval and juvenile fish; Upper fish; Yangtze finless porpoise