

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20109

长江口横沙浅滩及邻近水域夏季游泳动物群落结构分析

郑文明^{1,2}, 杨刚^{1,3,4}, 张涛^{1,3,4}, 赵峰^{1,3,4}, 庄平^{1,2,3,4}

1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090;
2. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;
3. 农业农村部东海与长江口渔业资源环境科学观测实验站, 上海 200090;
4. 上海长江口渔业资源增殖和生态修复工程技术研究中心, 上海 200090

摘要: 为了解长江口横沙浅滩及邻近水域游泳动物群落结构状况, 分析其是否受河口工程建设的影响, 本研究于 2019 年 6 月对该水域展开底拖网数据调查, 通过分析其优势种、物种多样性、群落结构特征来了解群落结构现状。结果显示, 夏季该水域共出现游泳动物 68 种, 种类组成主要以节肢动物和鱼类为主。优势种分别为安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)和矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*), 主要为小型、低营养层次和短生命周期的物种。调查水域游泳动物生物多样性指数偏低, 群落结构总体不稳定, 受环境扰动较大。聚类 and 排序分析显示调查水域站位大致可分为两组, 并且两组组间物种群落结构差异极显著($R=0.825$, $P<0.01$), 主要是受到盐度和水温的影响。总体上看, 近年来长江口深水航道和滩涂围垦等工程的建设可能对横沙浅滩及邻近水域游泳动物群落结构造成了一定程度的影响。

关键词: 游泳动物; 生物多样性; 群落结构; 长江口

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)12-1477-08

横沙浅滩位于长江河口区域, 为长江口最大拦门沙, 水域生态环境错综复杂, 生物资源丰富多样^[1-2]。因其特殊的地理位置, 该区域成为许多游泳动物的产卵场、索饵场和洄游通道, 如历史上为中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鱼索饵场, 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)、凤鲚(*Coilia mystus*)产卵场, 以及刀鲚(*Coilia nasus*)、日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)洄游通道等^[1]。但近年来, 随着长江口深水航道治理、横沙东滩圈围促淤等工程的建设, 横沙浅滩水域出现明显的栖息地隔断、破碎甚至直接面积减少, 游泳动物群落结构发生了一定程度的变化^[3-4]。

游泳动物作为海洋生态系统的关键类群, 处于海洋食物链顶端, 其群落结构通常被用来检测生态系统状况^[5]。因此也引起国内外学者的广泛

关注, 如 Meyer 等^[6]为了解河口生境大小和景观设置是否影响群落结构和生境内某些物种的支持能力, 对不同大小的沼泽栖息地进行了详细的研究; Diskin 等^[7]研究发现气候变化能够对水域基础物种产生影响, 并且改变降雨和水域盐度进而影响海岸湿地游泳动物群落结构组成; 许永久等^[8]研究表明环境因子对游泳动物群落结构影响显著, 并且对数量分布影响较大, 对个体大小分布影响较小。

近年来国内关于长江口横沙浅滩水生动物的研究较少, 只有部分关于底栖动物的报道^[3], 而集中于研究横沙浅滩游泳动物群落结构的文章鲜见报道。本文基于对 2019 年夏季横沙浅滩及邻近水域的取样调查, 通过分析游泳动物种类组成、优势种、物种多样性和群落空间差异等, 研究该

收稿日期: 2020-04-23; 修订日期: 2020-05-19.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900802, 2019YFD0901202); 上海市科学技术委员会科研计划项目(18DZ1206600).

作者简介: 郑文明(1995-), 男, 硕士研究生, 从事河口生态及资源保护研究. E-mail: 1318162749@qq.com

通信作者: 庄平, 研究员, 从事渔业生态及资源保护研究. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn

水域游泳动物群落的生态特征,为横沙浅滩水域生态修复提供基础资料和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 调查海域及方式

于 2019 年 6 月对横沙浅滩及邻近水域进行渔业生物调查。调查水域坐标 121°38'07"E~122°45'00"E, 30°45'00"N~31°30'00"N, 在该水域共设置 15 个调查站点(图 1)。调查网具为桁杆底拖网, 桁杆长 6 m, 网具总长 10 m, 高 2 m, 网囊网目 20 mm。拖网船速 3 n mile/h, 拖网时间 0.5 h。样品采集按照《海洋调查规范第 6 部分: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)操作。物种鉴定以《长江口鱼类》(第二版)^[1]、《长江河口大型底栖无脊椎动物》^[9]等为依据。

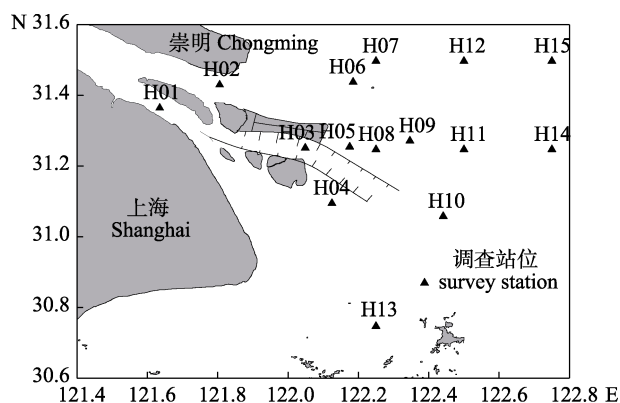


图 1 长江口横沙浅滩及邻近水域调查站位示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the survey stations in the Hengsha Shoal and adjacent waters of the Yangtze River estuary

1.2 数据处理

1.2.1 优势种 渔获物优势种采用 Pianka^[10]相对重要性指数(index of relative importance, IRI)计算, 公式如下:

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\%$$

式中, $N\%$ 为某一物种数量占物种总数量的百分比, $W\%$ 为某一物种重量占物种总重量的百分比, $F\%$ 为某物种在调查中出现的站位次占总调查站位次数的百分比。当 $IRI > 1000$ 定为优势种, $100 < IRI \leq 1000$ 为重要种, $10 < IRI \leq 100$ 为常见种, $1 < IRI \leq 10$ 为一般种, $IRI \leq 1$ 为稀有种。

1.2.2 生物多样性 用 Shannon-Wiener 多样性指

数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数、Simpson 单纯度指数分析游泳动物物种多样性^[11], 公式如下:

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数: } H' = -\sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J' = \frac{H'}{H'_{\text{Max}}},$$

$$\text{Margalef 丰富度指数: } d = (S-1)/\ln N$$

$$\text{Simpson 单纯度指数: } C = \sum_{i=1}^S \frac{n_i^2}{N^2},$$

式中, S 为调查总种类数, n_i 为第 i 种的数量, N 为物种总数量。

1.2.3 群落结构分析 根据渔获物数量平方根转换后计算 Bray-Curtis 相似性矩阵, 利用等级聚类分析(CLUSTER)和非度量多维标序方法(non-metric multidimensional scaling, NMDS)分析群落结构特征。当胁迫系数 $\text{stress} < 0.05$ 时, 拟合度极好; $0.05 < \text{stress} < 0.1$, 拟合度较好; $0.1 < \text{stress} < 0.2$, 拟合度一般; $\text{stress} > 0.2$, 拟合度较差^[12-14]。运用单因子相似性(ANOSIM)检验群落结构差异显著性。利用 SIMPER 分析造成群落结构差异的主要物种^[15]。以上数据分析均在软件 PRIMER 5.0 中完成。

2 调查结果

2.1 种类组成

本次调查共监测到游泳动物 68 种, 隶属于 14 目 38 科。其中, 鱼类 29 种, 隶属于 8 目 16 科; 节肢动物 30 种, 隶属于 2 目 15 科; 软体动物 9 种, 隶属于 4 目 7 科。鱼类数量百分比为 34.95%, 重量百分比为 30.46%, 生物量为 149.24 kg/km², 丰度为 7.35×10^4 ind/km²; 节肢动物数量百分比为 58.34%, 重量百分比为 65.52%, 生物量为 249.12 kg/km², 丰度为 7.35×10^4 ind/km²; 软体动物数量百分比为 6.71%, 重量百分比为 4.02%, 生物量为 28.67 kg/km², 丰度为 0.97×10^4 ind/km² (表 1)。

2.2 优势种

利用相对重要性指数(IRI)对本次调查渔获物进行优势种分析, 则本次调查共有优势种($IRI > 1000$) 3 种, 依次为安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)和矛尾虾

虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*), 共占渔获物总数量的 73.01%, 占总重量的 36.85%, 其中, 安氏白虾为第一优势种, 其数量和重量百分比均为最高(表 2)。其余物种中有重要种($100<IRI<1000$) 7 种, 常见种($10<IRI<100$)19 种, 一般种($1<IRI<10$) 26 种, 稀有种($IRI<1$) 13 种。

表 1 长江口横沙浅滩水域游泳动物组成
Tab. 1 Composition of swimming animals in Hengsha Shoal of the Yangtze River estuary

类别 species	数量百分比 N%	重量百分比 W%	生物量/(kg/km ²) biomass	丰度/(10 ⁴ ind/km ²) abundance
鱼类 fish	34.95	30.46	149.24	7.35
节肢动物 arthropod	58.34	65.52	249.12	15.82
软体动物 mollusc	6.71	4.02	28.67	0.97
总计 total	100.00	100.00	427.03	24.14

表 2 长江口横沙浅滩水域主要渔获物组成
Tab. 2 Main catch composition of Hengsha Shoal of the Yangtze River estuary

种类 species	数量百分比 N%	重量百分比 W%	频率百分比 F%	相对重要性指数 IRI
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	46.52	22.86	66.67	4625
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	10.38	9.89	80.00	1621
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	16.11	4.10	60.00	1213
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	8.32	4.77	73.33	960
焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	1.87	8.12	80.00	800
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.76	12.13	60.00	774
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	0.34	4.17	46.67	211
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	1.18	2.32	46.67	164
鲢 <i>Miichthys miiuy</i>	0.58	2.75	46.67	155
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	2.11	2.96	26.67	135

2.3 物种多样性及其分布

横沙浅滩及邻近水域物种多样性平均指标为: Margalef 丰富度指数(d) 2.07 (0.73~5.13), Pielou 均匀度指数(J') 0.49 (0.27~0.74), Simpson 单纯度指数(C) 0.44 (0.12~0.77), Shannon-Wiener 多样性指数(H') 1.31 (0.49~2.65)。其中横沙浅滩调查核心区域 H05、H08、H09 的平均指标为: 丰富度 1.60, 均匀度 0.35, 单纯度 0.59, 多样性 0.94, 相较于整个调查水域, 核心区域丰富度、均匀度、多样性指数较低, 单纯度较高, 说明该水域物种多样性整体较差。

从空间分布来看(图 2), 横沙浅滩水域生物多样性指标具有明显的空间差异, 各站点的物种丰富度指数 d 、物种均匀度指数 J' 、物种多样性指数 H' 、物种单纯度指数 C 最优站位均为第 15 站位, 最差站位均为第 2 站位。

2.4 群落结构分析

将 2019 年夏季横沙浅滩水域渔获物资源丰

度进行平方根计算, 绘制 CLUSTER 和 NMDS 图(图 3)。结果显示, 在相似性 17.58%的水平上, 可以将 15 个调查站位分为 2 组, 以站位 H1、H2、H3、H4、H5、H6、H7、H8、H9、H13 为组 1, 其余站位为组 2。而在相似性 77.41%的水平上, 可以将组 1 再次进行划分, 其中以站位 H5、H6、H8、H9 为组 3, 其余站位为组 4。MDS 表明, 其胁迫系数为 0.08 ($0.05<stress=0.08<0.1$), 拟合度相对较好, MDS 排序和 CLUSTER 等级聚类分析结果相对一致。

SIMPER 分析表明(表 3), 组 1 站间的平均相似性为 33.33%, 其中, 安氏白虾、葛氏长臂虾的组内相似性贡献率达 68.27%; 组 2 站间的平均相似性为 32.24%, 其中, 矛尾虾虎鱼、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、葛氏长臂虾、焦氏舌鳎(*Cynoglossus joyneri*)对组内相似性贡献率达 66.55%。组 1 和组 2 的组间平均相异性为 85.23%, 其中, 安氏白虾、矛尾虾虎鱼、小黄鱼、葛氏长臂虾对

组间相异性贡献率达 43.98%。ANOSIM 分析表明, 组 1 和组 2 组间站位差异性极显著($R=0.825$, $P<0.01$), 说明两组组间站位物种群落结构差异十分显著。

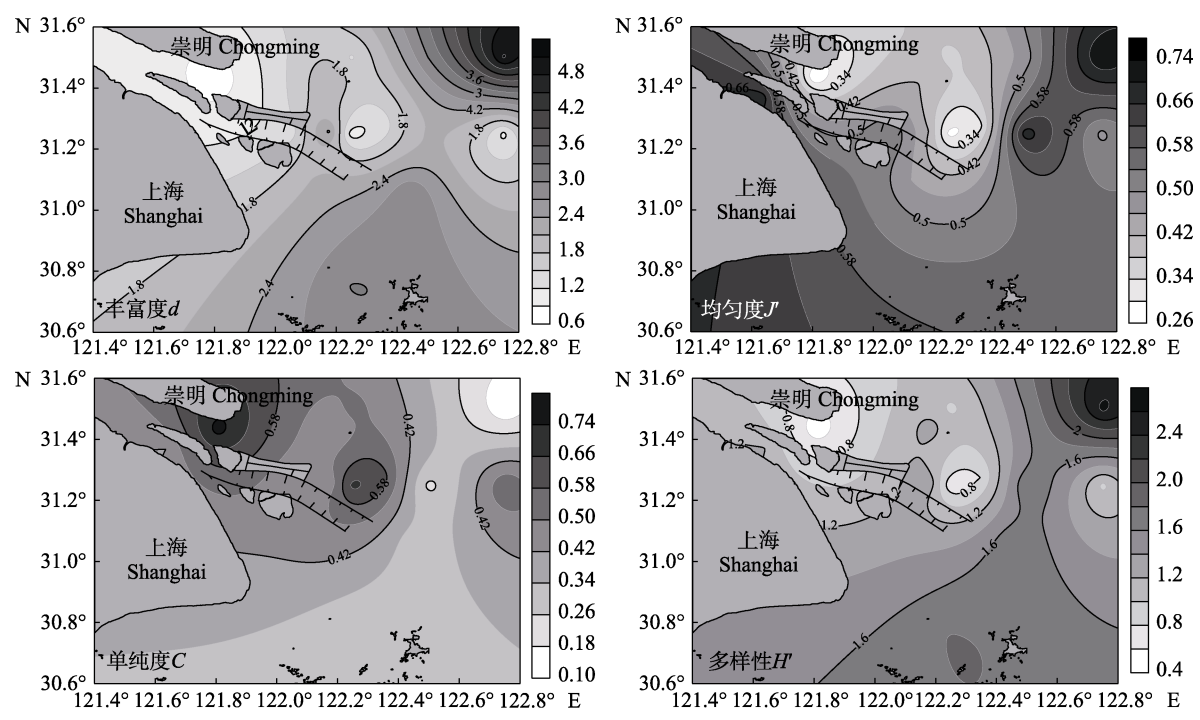


图 2 长江口横沙浅滩及邻近水域多样性指标
Fig. 2 Diversity index of Hengsha Shoal and adjacent waters in the Yangtze River estuary

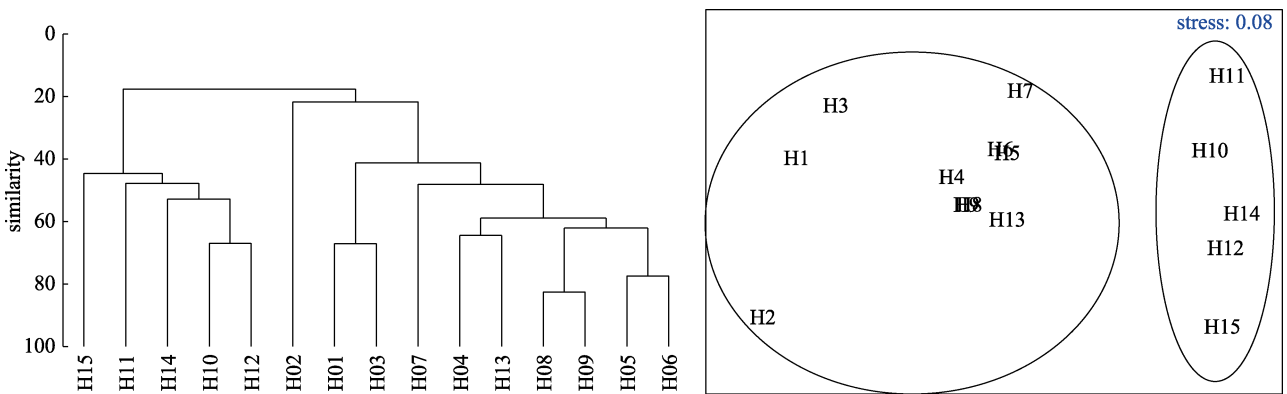


图 3 长江口横沙浅滩及邻近水域渔获物 CLUSTER 聚类分析和 MDS 标序结果
Fig. 3 CLUSTER analysis and MDS results in Hengsha Shoal and adjacent waters of the Yangtze River estuary

表 3 组内群落结构平均相似性和组间群落结构平均相异性贡献率百分比(>5)

Tab. 3 The percentage of community structure average similarity and the percentage of community structure average dissimilarity (>5)

物种 species	组 1 group1	组 2 group2	组 1+组 2 group1 + group2
安氏白虾 <i>Biodiversity index</i>	56.58	—	19.37
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	11.69	10.12	6.47
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	—	34.22	11.59
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	—	14.26	6.55
焦氏舌鳎 <i>Cynoglossus joyneri</i>	—	7.94	—

3 讨论

3.1 种类及优势种组成

调查表明, 横沙浅滩及邻近水域游泳动物以节肢动物最高, 数量百分比和重量百分比分别为 58.34% 和 65.52%; 鱼类次之, 为 34.95% 和 30.46%; 软体动物最低, 为 6.71% 和 4.02%。其主要种类以节肢动物和鱼类为主, 这与汤昌盛等^[16]所叙述的长江口及其邻近海域渔业生物以节肢动物和底层鱼类为主的结论基本相符。根据历史资料显示, 2012 年和 2013 年长江口及邻近海域鱼类和节肢动物生物量百分比分别占 42.1%~59.2% 和 40.1%~54.2%^[17], 2015 年长江口及邻近海域鱼类和节肢动物的生物量百分比分别占 93.5% 和 5.3%^[16], 鱼类生物量均占据较大比例, 而本次调查渔获物种组成出现以节肢动物占据较大比例的现象, 可能是由于近年来渔业资源的过度捕捞所致, 高强度的捕捞作业致使以节肢动物为饵食的鱼类减少, 节肢动物作为饵料资源的压力减少得以繁衍生息, 从而出现节肢动物占较大资源比例的现象。高营养级游泳动物减少可能会使群落结构发生改变, 李建生等^[18]通过对长江口渔场的调查, 发现大型游泳动物减少, 能够致使小型游泳动物生存空间增大, 进而改变其群落结构。

优势种作为群落中对生境影响最大的物种, 其反映了群落的性质特征。在本次调查中出现的优势种分别为安氏白虾、葛氏长臂虾和矛尾虾虎鱼, 主要表现为小型、低营养层次、短生长周期的物种。历史资料显示, 2012 年春季(5 月)和夏季(8 月)长江口及邻近海域优势种为六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、中国毛虾(*Acetes chinensis*)、三疣梭子蟹、龙头鱼(*Harpadon neheus*)、日本鳀(*Engraulis japonicus*)、葛氏长臂虾、拉氏狼牙虾虎鱼(*Odontamblyopus lacepedii*)、双斑螭(*Charybdis bimaculata*)、中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)和龙头鱼^[17], 2015 年夏季长江口及邻近水域的优势种为小黄鱼、日本鳀和日本带鱼(*Trichiurus japonicus*)^[18]。对比以往优势种群, 可以看出该水域种群逐渐呈

现小型化、低营养级别趋势。横沙浅滩地处长江口河口区域, 水域水质肥沃, 资源丰富, 渔业发达, 是国内重要的渔业基地^[1]。但本次调查的优势种群均为中低营养层次生物, 且出现频率较高, 可以看出渔业资源出现明显的衰退, 高营养级鱼类较少, 中低营养层次游泳动物生长压力降低, 游泳动物食物网呈现简单化趋势。

3.2 多样性特征及其分布

多样性指数作为评价物种多样性的指标, 能够直接反应出群落变化状态。从横沙浅滩及邻近水域多样性总体特征来看, 其多样性指数偏低, 水域群落结构不稳定, 波动较大, 位于水域 122°E 以东(H15)靠近近海区域的种群情况较为良好, 而位于水域 121°E~122°E (H02)内河区域的种群情况较为恶劣, 水域群落出现了明显的空间差异性。而本次水域调查的核心区域 H05、H08、H09 站位距离近海区域较近, 但物种多样性整体表现较差, 可能是调查水域靠近深水航道等工程所致, 因深水航道等工程的实施造成水域局部理化因子改变^[19], 影响水域物种生存, 从而出现调查站点距离相近, 但种群差距显著。横沙浅滩及邻近水域总体出现群落结构不稳定现象, 推测原因主要为: (1)人为因素(如捕捞、河口工程)^[20-21], 人为因素能够直接影响水域物种的习性, 从空间角度来看, 相较于受人为因素较小的近海水域, 内河水域种群则呈现出较差的情况, 而近海水域种群因距离较远, 受影响较小, 种群状况较为良好。(2)自然因素, 内河水域受径流等因素影响, 温度、盐度、溶氧等理化因子变化多端, 大多数物种难以适应, 从而多样性指标显示偏低。

3.3 群落结构特征

横沙浅滩及邻近水域站位大致可分为位于河口水域的组 1 和位于外海水域的组 2, 在相似性 77.41% 的水平下可以将组 1 进而划分为组 3 和组 4, 而组 3 站位主要以横沙浅滩核心区域为主, 并与组 4 站位相似性表现出了明显的差异, 调查站位相邻相似性却差异明显, 可以看出横沙浅滩核心区域群落结构受到了明显的影响。同时数据显示组 1 和组 2 两组间站位种群差异性极显著($R=0.825$, $P<0.01$), 群落结构差异十分明显。

SIMPER 分析表明, 组 1 和组 2 间的主要相异性贡献物种为安氏白虾、葛氏长臂虾、矛尾虾虎鱼和小黄鱼。群落结构是游泳动物对环境耐受性和栖息地偏好在空间上的综合表现^[22], 盐度作为影响河口群落结构重要的环境因子, 河口盐度梯度的变化直接影响鱼类对生活区域的选择^[23], 而本次调查水域群落结构显示了物种对盐度差异明显的偏好, 位于河口区域的组 1 站位物种主要表现为对盐度需求较小的河口半咸水种和广盐种(安氏白虾和葛氏长臂虾), 位于组 2 站位物种主要为生活于近海水域物种(葛氏长臂虾、矛尾虾虎鱼、小黄鱼和焦氏舌鳎), 对盐度存在一定需求, 盐度的差异使水域种群出现巨大变化。水温作为影响群落结构的重要环境因子, 水温的差异直接影响游泳动物的栖息场所的选择, 有研究^[24]报道水深变化不大的温带水域鱼类群落组成对水温有较大的依赖性。横沙浅滩地处长江河口区域, 受长江径流影响, 水温变化较大, 组间群落结构受到明显的水温因素的影响, 组 1 站位位于河口区域, 物种主要表现为耐受性较强的物种, 组 2 地处近海水域, 水温稳定, 物种结构大致表现为对温度有一定需求的暖温性鱼类(矛尾虾虎鱼、小黄鱼、焦氏舌鳎)。国内外学者通过对河口种群研究, 认为盐度和温度对水域种群具有一定的影响^[25-27], 例如: 史赞荣等^[27]通过对长江口鱼类群落分布进行研究, 发现底层 pH 值、底盐、底温对河口外部群落影响较大。

从本次调查结果来看, 横沙浅滩及邻近水域物种群落结构受到明显的人为因素影响, 其中以深水航道、圈围促淤等工程对水域物种影响较为突出。深水航道等工程的实施使得北港与北槽之间淤积成陆^[28], 阻断了鱼类的洄游通道, 改变了水动力条件及盐度等理化因子, 造成水域局部水文环境发生改动, 对渔业资源生境造成一定的破坏性。杨红等^[29]通过对长江口中华鲟幼鱼研究发现深水航道及横沙围垦工程阻断其生殖洄游通道, 栖息地功能退化, 生存条件日趋恶劣。并且因工程实施而改变的局部水文环境, 破坏了一些对盐度、温度存在需求的游泳动物的生存场地, 如水文环境的改变使中华绒螯蟹的交配、抱卵和孵化

遭受了重大影响, 其栖息场地遭受了严重的破坏^[19], 对横沙浅滩水域种群造成了明显的影响。

本次研究是通过横沙水域空间分布状况进行的初步分析, 下一步应结合时间变化进行研究, 从而对横沙浅滩及邻近水域生物群落状况进行进一步的了解。

参考文献:

- [1] Zhuang P, Zhang T, Li S F, et al. Fishes of Yangtze Estuary (Second Edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018: 1-657. [庄平, 张涛, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2018: 1-657.]
- [2] Luo B Z. Ecological characteristics and fishery resources of the Yangtze River Estuary and adjacent sea[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 1992, 1(1): 24-30. [罗秉征. 河口及近海的生态特点与渔业资源[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1): 24-30.]
- [3] Lv W W, Ma C A, Yu J, et al. Influence of reclamation on macrobenthic community in the Hengsha East shoal of Yangtze River Estuary[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(2): 340-347. [吕巍巍, 马长安, 余骥, 等. 围垦对长江口横沙东滩大型底栖动物群落的影响[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(2): 340-347.]
- [4] Wang W J, Jiang X Z, Xue J B, et al. Study on evolution trend of the Hengsha East shoal in the Yangtze River Estuary and its implication for the waterway resource[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(1): 39-45. [王维佳, 蒋雪中, 薛靖波, 等. 长江口横沙附近河势变化与可利用港航资源分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(1): 39-45.]
- [5] Knap A, Dewailly E, Furgal C, et al. Indicators of ocean health and human health: developing a research and monitoring framework[J]. Environmental Health Perspectives, 2002, 110(9): 839-845.
- [6] Meyer D L, Martin H, et al. Salt marsh habitat size and location do matter: the influence of salt marsh size and landscape setting on nekton and estuarine finfish community structure[J]. Springer US, 2019, 42(5): 1353-1373.
- [7] Diskin M S, Smea D L. Effects of black mangrove *Avicennia germinans* expansion on salt marsh nekton assemblages before and after a flood[J]. Hydrobiologia, 2017, 803(1): 283-294.
- [8] Xu Y J, Yu C G, Zhang P, et al. Spring nekton community structure and its relationship with environmental variables in Hangzhou Bay-Zhoushan inshore waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(3): 605-617. [许永久, 俞存根, 张平, 等. 杭州湾—舟山近海春季游泳动物群落结构及与环

- 境因子的关系[J]. 水产学报, 2019, 43(3): 605-617.]
- [9] Liu W L, He W S. Large Benthic Invertebrates in the Yangtze River Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical publishers, 2007: 1-172. [刘文亮, 何文珊. 长江河口大型底栖无脊椎动物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2007: 1-172.]
- [10] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia[J]. Copeia, 1971, 1971(3): 527-536.
- [11] Zhang T, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Composition and diversity of fish species in the coast of the Yangtze River Estuary[J]. Chinese Journal of Applied And Environmental Biology, 2010, 16(6): 817-821. [张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口近岸鱼类种类组成及其多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2010, 16(6): 817-821.]
- [12] Souissi S, Hamadou R B. A new multivariate mapping method for studying species assemblages and their habitats: Example using bottom trawl surveys in the Bay of Biscay (France)[J]. Sarsia, 2001, 86(6): 527-542.
- [13] Khalaf M A, Kochzius M. Community structure and biogeography of shore fishes in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. Helgoland Marine Research, 2002, 55(4): 252-284.
- [14] Zhang T, Zhuang P, Zhang L Z, et al. Community structure of demersal fish in Nature Reserve of *Acipenser sinensis* in Yangtze River Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(6): 1687-1694. [张涛, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟自然保护区底层鱼类的群落结构特征[J]. 生态学报, 2011, 31(6): 1687-1694.]
- [15] Zhou H, Zhang Z N. Rationale of the multivariate statical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 58-64. [周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 2003, 33(1): 58-64.]
- [16] Tang C S, Zhang F, Feng S, et al. Biological community of fishery resources in the Yangtze River Estuary and adjacent sea areas in the summer of 2015[J]. Marine Fisheries, 2017, 39(5): 490-499. [汤昌盛, 张芳, 冯颂, 等. 2015 年夏季长江口及其邻近海域渔业生物群落结构分析[J]. 海洋渔业, 2017, 39(5): 490-499.]
- [17] Sun P F, Dai F Q, Chen Y L, et al. Seasonal variations in structure of fishery resource in the Yangtze River Estuary and its adjacent waters[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(6): 8-16. [孙鹏飞, 戴芳群, 陈云龙, 等. 长江口及其邻近海域渔业资源结构的季节变化[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(6): 8-16.]
- [18] Li J S, Jiang Y Z, Jin Y. The intel-decadal variations of species composition and diversity of nekton community in Yangtze Estuary fishing grounds in winter[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(3): 507-516. [李建生, 姜亚洲, 金艳. 冬季长江口渔场游泳动物群落种类组成和多样性的年代际变化[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 507-516.]
- [19] Geng Z. The environment adaptability and conservation strategy of *Eriocheir sinensis* in estuarine life stages[D]. Shanghai: East China Normal University, 2018. [耿智. 中华绒螯蟹河口生活史阶段的环境适应性及保护策略[D]. 上海: 华东师范大学, 2018.]
- [20] Wang J H, Huang X Q, Liu A C, et al. Tendency of the biodiversity variation nearby Yangtze River Estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2004, 23(1): 32-39. [王金辉, 黄秀清, 刘阿成, 等. 长江口及邻近水域的生物多样性变化趋势分析[J]. 海洋通报, 2004, 23(1): 32-39.]
- [21] Shan X J, Jin X S. Diversity of fish community structure in the spring-time offshore waters at the Yangtze River Estuary[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(1): 32-40. [单秀娟, 金显仕. 长江口近海春季鱼类群落结构的多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 32-40.]
- [22] Boada J, Sagué O, Gordo A. Spearfishing data reveals the littoral fish communities' association to coastal configuration[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 199(5): 152-160.
- [23] Zhai L, Xu B D, Ji Y P, et al. Spatial pattern of fish assemblage and the relationship with environmental factors in Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2852-2858. [翟璐, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 黄河口及其邻近水域夏季鱼类群落空间格局及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2852-2858.]
- [24] Cheng J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(1): 29-34. [程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 29-34.]
- [25] Harrison T D, Whitfield A K. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2006, 66(1-2): 335-345.
- [26] Maci S, Basset A. Composition, structural characteristics and temporal patterns of fish assemblages in non-tidal Mediterranean lagoons: A case study[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2009, 83(4): 602-612.
- [27] Shi Y R, Chao M, Quan W M, et al. Spatial variation in fish community of Yangtze River Estuary in spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(5): 1141-1151. [史赟荣,

- 晁敏, 全为民, 等. 2010 年春季长江口鱼类群落空间分布特征[J]. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1141-1151.]
- [28] Hua K, Cheng H Q, Zheng S W. Formation mechanism of near-shore erosional topography in the Hengsha passage of the Yangtze Estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(7): 1363-1373. [华凯, 程和琴, 郑树伟. 长江口横沙通道近岸冲刷地貌形成机制[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1363-1373.]
- [29] Yang H, Ding J, Wang C F, et al. Assessment on the habitat suitability of Chinese sturgeon juvenile in the Yangtze River Estuary[J]. Marine Science Bulletin, 2012, 31(6): 675-679. [杨红, 丁骏, 王春峰, 等. 长江口中华鲟幼鲟栖息地适宜性评价[J]. 海洋通报, 2012, 31(6): 675-679.]

Community structure analysis of swimming species in the Yangtze River estuary Hengsha Shoal and adjacent waters in summer

ZHENG Wenming^{1,2}, YANG Gang^{1,3,4}, ZHANG Tao^{1,3,4}, ZHAO Feng^{1,3,4}, ZHUANG Ping^{1,2,3,4}

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China;
3. Key Scientific Observing and Experimental Station of Fisheries Resources and Environment in the Yangtze River Estuary and East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200090, China;
4. Shanghai Engineering Research Center of Fisheries Stock Enhancement and Habitat Restoration of the Yangtze Estuary, Shanghai 200090, China

Abstract: Hengsha Shoal is located in the Yangtze River estuary, which is rich in biological resources. However, in recent years, owing to construction in the estuary, the community structure of aquatic species in this area has changed. To understand the community structure of swimming species in the Hengsha Shoal and adjacent waters of the Yangtze River Estuary to determine the construction effect, this study carried out a bottom trawl data survey in the summer of 2019. The community structure was analyzed by studying the dominant species, species diversity, and community structure characteristics. The results showed that there were 68 swimming species in summer, including 29 fish species, including 8 orders and 16 families; 30 arthropod species, including 2 orders and 15 families; and 9 mollusks species including 4 orders and 7 families. The species composition mainly comprised arthropods and fishes. The dominant species were *Exopalaemon annandalei*, *Palaemon gravieri*, and *Chaeturichthys stigmatias*, which are mainly small, low nutrition, and short life cycle species. The population characteristics showed a trend of miniaturization and low nutrition. The survey showed that the biodiversity index in this area is low, the community structure of swimming species is generally unstable, greatly disturbed by the environment, and there are obvious spatial differences. The results of cluster and ordination analyses showed that the investigated area can be roughly divided into two groups, and the differences of species community structure between the two groups were very significant ($R=0.825$, $P<0.01$). The main contributing species of the differences between the groups were *E. annandalei*, *P. gravieri*, *C. stigmatias*, and *Larimichthys polyactis*, and salinity and water temperature were the main factors that contributed to differences of community structure. Generally, recent beach reclamation and construction of a deep-water channel may have impacted the community structure of swimming species in Hengsha waters.

Key words: swimming species; biodiversity; community structure; Yangtze River estuary

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn