

浙江梅山岛附近海域大型底栖动物和游泳动物的群落组成及其与环境因子的关系

周维维¹, 王晓波², 韩庆喜^{1*}

(1. 宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315832; 2. 禹治环境科技(浙江)有限公司, 浙江 宁波 315199)

摘要: 2020年9月对梅山岛附近海域的大型底栖动物和游泳动物进行了定量调查, 分析了梅山岛附近海域大型底栖动物和游泳动物的群落组成和数量特征, 包括群落种类组成、丰度、生物量和优势种, 并对大型底栖动物和游泳动物的群落组成、数量特征与水深、悬浮物、营养盐等重要环境因子进行了相关性分析。结果表明: 梅山岛附近海域共有大型底栖动物5门16种, 其中环节动物门5种、软体动物和节肢动物门各4种、棘皮动物门2种、脊索动物门1种; 梅山岛附近海域大型底栖动物平均丰度为 $12.73 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 平均生物量为 $2.87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中纵肋织纹螺(*Nassarius variciferus*)为研究海域唯一的优势种。游泳动物共有55种, 其中鱼类29种、甲壳动物23种、软体动物门中头足纲动物2种、腔肠动物1种; 游泳动物在整个研究海域的尾数密度为 $24.77 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$, 重量密度为 $144.53 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$; 游泳动物优势种共9种, 其中龙头鱼(*Harpadon nehereus*)的优势度最高, 口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)次之, 而龙头鱼和棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)是尾数密度和重量密度的最大贡献者。相关分析结果显示, 梅山岛附近海域的游泳动物主要优势物种与水深呈现极显著正相关($P < 0.01$), 与水体氨氮含量呈现极显著负相关($P < 0.01$)。与浙江其他海域的底栖动物和游泳动物研究结果相比, 梅山岛附近海域大型底栖动物物种数量、丰度、生物量以及游泳动物的物种数量、尾数密度、重量密度等均处于较低水平。研究结果可为梅山岛附近海域的海洋生物资源与生物多样性提供翔实的基础资料, 并可为生态环境评估和海洋生物资源保护决策等提供科学依据。

关键词: 大型底栖动物; 游泳动物; 梅山岛; 优势种; 相关性分析

中图分类号: [P735]

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2023) 02-0031-11

梅山岛位于浙江省宁波市东南侧象山港北部海域, 处于象山港入口, 与大陆最近处相距仅 500 m, 其朝陆侧的梅山湾两端有大坝拦截, 形成人工潟湖, 并且通过梅山大桥和红桥与大陆相连。梅山岛与外海的舟山六横岛和佛渡岛隔海相望, 全岛面积约 28.2 km^2 , 岛周围水深约 10 m。梅山岛附近海域受陆地径流与外海水的影响, 水产资源较为丰富^[1-3]。

大型底栖动物作为河口海湾生态系统中的重要生物组成部分, 是海洋生态系统中多样性最高、

生态学关系最复杂的生物类群^[4], 常被用作近岸海域和河口污染及有机质积累的指示生物^[5-6], 能够准确反映长期累积的生态学效应^[7]。游泳动物是海洋生态系统的关键类群, 处于海洋食物链的顶端^[8], 是主要的海洋生物资源捕捞对象^[9]。对该海域大型底栖动物和游泳动物的研究不仅可以为海洋生态系统的功能提供基础资料, 也可以为渔业资源管理策略的制订提供科学依据^[10]。

有关梅山岛海域海洋生物学的文献资料较少, 仅见浮游生物^[11]和古菌群落的研究^[3], 未见有大型

收稿日期: 2022-08-15.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(42076156, 41676139)。

第一作者: 周维维(2000-), 女, 四川筠连人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 大型底栖动物生态学。E-mail: zhouweiwei0109@icloud.com

*通信作者: 韩庆喜(1982-), 男, 山东潍坊人, 副研究员, 主要研究方向: 大型底栖动物生态学。E-mail: hanqingxi@nbu.edu.cn

底栖动物和游泳动物的研究报道。

本文根据 2020 年 9 月在梅山岛附近海域进行的生物和环境调查数据,对该海域的大型底栖动物和游泳动物的空间分布以及多样性进行了研究,分析了水深、悬浮物、营养盐等重要环境因子对大型底栖动物和游泳动物群落组成的影响。研究结果可为梅山岛附近海域的可持续利用和管理政策制定提供科学依据,并可为该海域生态环境保护和未来科学研究提供翔实数据。

1 材料与方法

1.1 站位分布

调查取样时间为 2020 年 9 月 15 日至 16 日,共设置 12 个采样站位,分别是 S01(122°03'48"E, 29°50'13"N)、S03(122°01'52"E, 29°49'34"N)、S05(122°04'32"E, 29°48'04"N)、S06(122°02'28"E, 29°47'59"N)、S07(122°03'36"E, 29°47'18"N)、S08(122°01'14"E, 29°46'47"N)、S09(122°02'46"E, 29°46'19"N)、S12(121°59'35"E, 29°44'03"N)、S15(121°54'57"E, 29°44'02"N)、S16(121°55'56"E, 29°43'22"N)、S18(121°53'12"E, 29°42'16"N)、S20(121°55'38"E, 29°40'23"N), 详见图 1。这 12 个站均采集了大型底栖动物和游泳动物。

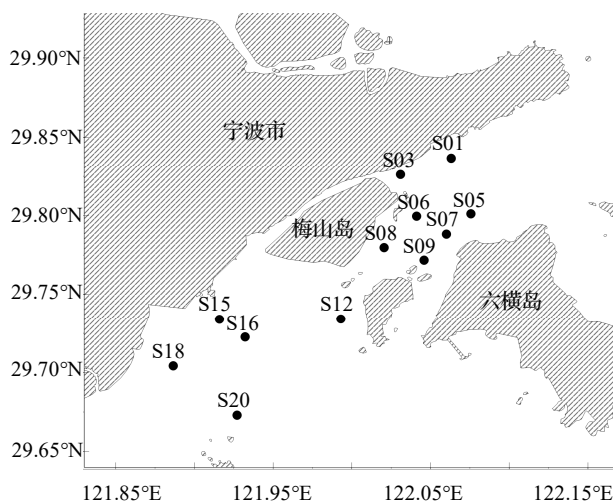


图 1 梅山岛附近海域采样站位分布

在梅山岛附近海域中,采样站位深度最深的是梅山岛东南方向靠近六横岛的 S07 站位,水深达 42 m,最浅的为靠近岸边的 S03 和 S15 站位,分别位于东西两侧,水深仅 4.5 m;调查区海水 pH 值为 8.02~8.14,呈弱碱性;温度为 26.4~27.2℃。

1.2 样品采集

大型底栖生物的采集依据《海洋监测规范 第 7 部分:近海污染生态调查和生物监测》(GB 17378.7—2007)实施^[12]。每站用取样面积为 0.1 m² 的静力式采泥器重复取样 2 次,采得的泥样用 0.5 mm 和 1.0 mm 网目套筛冲洗,冲洗后的样品用 95% 酒精固定。运回实验室后用虎红钠酒精溶液对固定样品进行染色,挑选其中的大型底栖动物,在体视解剖镜(SZ61,日本奥林巴斯)下鉴定、计数及称重。分类计数后的标本用精度为 0.01 g 电子天平(上海花潮电器有限公司)称重,并换算求得所有物种的优势度、丰度和生物量。

游泳动物的采集依据《海洋调查规范 第 6 部分:游泳动物调查》(GB/T 12763.6—2007)^[13]和《海洋渔业资源调查规范》(SC/T 9403—2012)^[14]进行。使用单拖网(10.0 m(宽)×5.0 m(高)),网目 2~7 cm,其中网囊网目为 2 cm,拖网长度为 20 m,网板规格为 1.2 m×0.5 m。拖曳作业时网口水平扩展宽度约为 6 m,每网拖曳时间 0.5~1.0 h,拖网时船速控制在 3.0 n mile·h⁻¹。在海上底拖网调查过程中,规范记录各站位网产量、拖网时间等。按规范渔获物总质量在 40 kg 以下时全部取样分析,大于 40 kg 时从中挑出大型和稀有标本后,从渔获物中随机取出 20 kg 左右渔获物进行分析。鉴于本航次调查的每个站位渔获物均小于 40 kg,因此对渔获物全部取样。将渔获物冰鲜冷藏,运回实验室后对渔获物进行种类、渔获重量和尾数统计。同时,依据调查海域物种分布和经济种类等情况,本次调查海域渔获物主要分为鱼类、甲壳动物类、头足类和其他等 4 大类群分别进行描述。其中甲壳动物类又分为虾类、蟹类和口足类。在计算资源密度时将口足类归入虾类进行统计,其他类包括采到的软体动物头足类和腔肠动物等底栖无脊椎动物。

在采集该海域大型底栖动物的同时,对海水进行分析检测,主要包括海水中的悬浮物(SS)、溶解氧(DO)、化学耗氧量(COD)、活性磷酸盐(PO₄)、亚硝酸盐氮(NO₂)、硝酸盐氮(NO₃)、氨氮(NH₄)、石油类(Oil)、叶绿素 *a*(Chl*a*)等。

1.3 数据分析

大型底栖动物群落的生物特征主要包括丰度、物种数目、多样性指数、丰富度指数和均匀度指数。

丰富度指数的计算公式为:

$$d = \frac{S-1}{\log_2 N},$$

式中: d 为丰富度指数; S 为样品中的种类总数; N 为样品中生物总个体数。

一般认为, 在健康环境中种类丰富度高, 在污染环境种类丰富度较低。

多样性指数采用香农-威纳多样性指数, 其计算公式为:

$$H' = -\sum_i^S (P_i \times \log_2(P_i)),$$

式中: H' 为种类多样性指数; P_i 为第 i 种个数(n_i)或生物量(ω_i)与 N 或总生物量(W)的比值($P_i = n_i / N$ 或 $P_i = \omega_i / W$)。

一般认为, 在正常环境中多样性指数高, 在污染环境多样性指数较低。

均匀度指数(J)由皮诺提出^[11], 计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}.$$

优势度指数(Y)的计算公式为:

$$Y = \frac{n_i}{N \times f_i},$$

式中: f_i 为第 i 个物种在样品中出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时, 该物种即为优势种。

采样站位分布图采用 Surfer 16 软件绘制; 优势度计算等采用 Excel 2010 软件; 相关性分析采用 SPSS 18.0 软件分析; 两组样品间差异采用 PASW Statistics 18 中 ANOVA 的 DUNCAN 分析。以 P 值小于 0.05 和 0.01 作为显著性和极显著性的差异标准。

2 结果

2.1 大型底栖动物的物种组成、优势种、丰度、生物量和群落指数

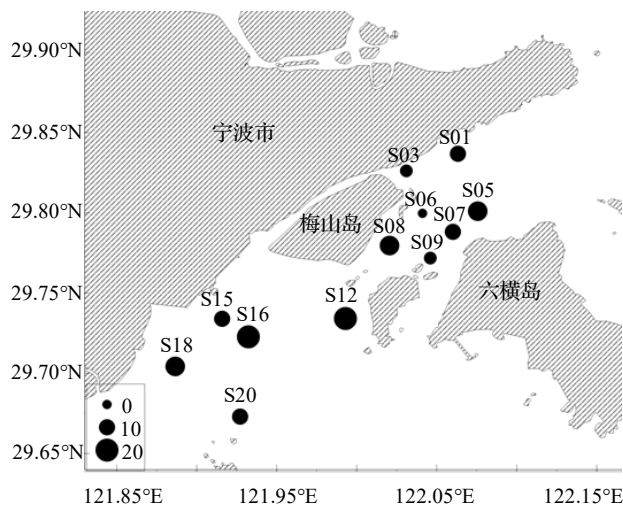
梅山岛附近海域共采集到大型底栖动物 5 门 16 种, 其中环节动物门最多(5 种), 占 31.25%; 软体动物门和节肢动物门次之, 各 4 种, 均占 25.00%; 棘皮动物门 2 种, 占 12.50%; 脊索动物门 1 种, 占 6.25%, 详见表 1。

梅山岛附近海域大型底栖动物的优势度大于

0.02 的仅 1 种, 即纵肋织纹螺(*Nassarius variciferus*)。塞切尔泥钩虾(*Eriopisella sechellensis*)优势度次之, 仅为 0.012。大型底栖动物丰度的空间分布相对比较均匀, 除梅山岛东南角的 S06 站位未采集到生物外, 其余各站位的丰度在 5~20 ind·m⁻² 之间, 平均丰度为 12.73 ind·m⁻²。生物量的空间分布差异较大, 在梅山岛南方靠近佛渡岛的 S12 站位出现生物量的峰值, 为 12.75 g·m⁻²。除 S06 站位外, 各站位生物量均在 0.05~12.75 g·m⁻² 之间, 平均 2.87 g·m⁻², 详见图 2。

表 1 梅山岛附近海域采集到的大型底栖动物名录

门类	物种名	拉丁名
环节动物门	不倒翁虫	<i>Sternaspis scutata</i>
	太平洋稚齿虫	<i>Prionospio pacifica</i>
	后指虫	<i>Laonice cirrata</i>
	寡节甘吻沙蚕	<i>Glycinde gurjanovae</i>
	加州齿吻沙蚕	<i>Nephtys californiensis</i>
软体动物门	白带笋螺	<i>Duplicaria dussumierii</i>
	纵肋织纹螺	<i>Nassarius variciferus</i>
	丽核螺	<i>Mitrella bella</i>
	红带织纹螺	<i>Nassarius succinctus</i>
甲壳动物门	日本鼓虾	<i>Alpheus japonicus</i>
	塞切尔泥钩虾	<i>Eriopisella sechellensis</i>
	息铲钩虾	<i>Idunella pauli</i>
	绒毛细足蟹	<i>Raphidopus ciliatus</i>
棘皮动物门	鳞片冀作参	<i>Mitsukuriella squamulosa</i>
	棘刺锚参	<i>Protankyra bidentata</i>
脊索动物门	孔鰕虎鱼	<i>Trypauchen vagina</i>



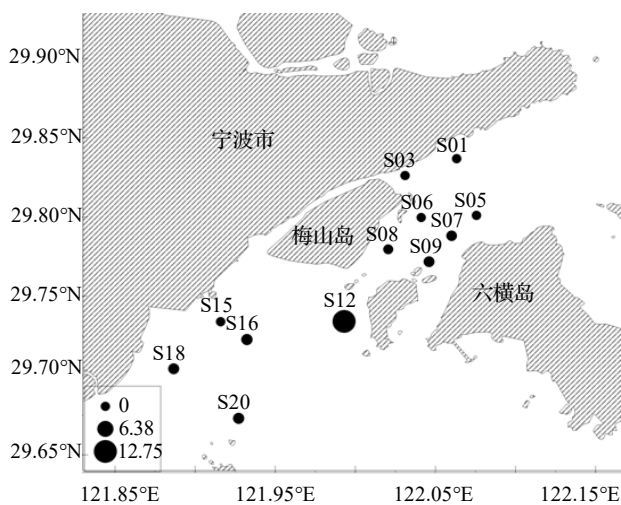


图2 大型底栖生物丰度和生物量的空间分布

梅山岛附近海域大型底栖生物的多样性指数在0~1.39之间、均匀度指数在0~1.00之间、丰富度指数在0~1.00之间。这3个指数的峰值均出现在S16站位,该站位拥有整个研究海域最多的物种数量(4种),详见表2。

表2 梅山岛附近海域大型底栖动物群落多样性指数、均匀度指数和丰富度指数

站号	种类数/个	多样性指数	均匀度指数	丰富度指数
S01	2	0.69	1.00	0.43
S03	1	—	—	—
S05	3	1.04	0.95	0.67
S06	—	—	—	—
S07	2	0.69	1.00	0.43
S08	3	1.10	1.00	0.74
S09	1	—	—	—
S12	1	—	—	—
S15	2	0.69	1.00	0.43
S16	4	1.39	1.00	1.00
S18	3	1.10	1.00	0.74
S20	2	0.69	1.00	0.43

注: “—” 为0值。

2.2 游泳动物的多样性、丰度、重量密度、尾数密度以及群落结构分析

2020年9月在梅山岛附近海域的底拖网调查中共捕获游泳动物55种,其中鱼类物种数量最多(29种),占该海域游泳动物总物种数量的52.73%;甲壳动物23种(其中虾类13种、蟹类8种、口足目2种),占底拖网种数的41.82%;软体动物头足

纲动物2种,占底拖网种数的3.64%;腔肠动物1种,占底拖网种数的1.82%,详见表3。

图3为梅山岛附近海域游泳动物尾数密度和重量密度的空间分布。分析结果表明,游泳动物群落在整个研究海域的尾数密度为 $24.77 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$,重量密度为 $144.53 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。其中在游泳动物各类群中鱼类尾数密度为 $15.98 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$,占整个群落尾数密度的62.95%;重量密度达 $97.86 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$,占整个群落重量密度的67.11%。虾类(包括口足目2种)次之,尾数密度和重量密度分别为 $7.89 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $27.59 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$;蟹类尾数密度和重量密度均小于虾类,分别为 $0.88 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $18.42 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$;头足类动物尾数密度和重量密度分别为 $0.01 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $0.55 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$;腔肠动物的尾数密度和重量密度分别为 $0.01 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $0.11 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

图4为梅山岛附近海域龙头鱼和口虾蛄尾数密度以及龙头鱼和棘头梅童鱼重量密度的空间分布。梅山岛附近海域游泳动物群落的优势种为鱼类中的龙头鱼(*Harpadon nehereus*)、棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)和孔鲷虎鱼(*Trypauchen vagina*);虾类中华管鞭虾(*Solenocera crassicornis*)、哈氏仿对虾(*Parapenaeopsis hardwickii*)、安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、口足目的口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)和窝纹网虾蛄(*Dictyosquilla foveolata*)。其中龙头鱼的优势度最高($Y=0.49$);口虾蛄次之($Y=0.09$),其余各优势种的优势度在0.02~0.05之间。龙头鱼也是尾数密度和重量密度的最大贡献物种,贡献率达27.48%。此外,在贡献最大的9种物种中,优势种棘头梅童鱼、口虾蛄、窝纹网虾蛄、孔鲷虎鱼也位列其中。个体重量较大的鲞鱼(*Miichthys miiuy*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)、日本蟳(*Charybdis japonica*)和海鳗(*Muraenesox cinereus*)是主要贡献者,贡献量为3.13%~10.12%。龙头鱼和口虾蛄是丰度最大的物种,龙头鱼尾数密度在整个采样海域为 $12.24 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$,重量密度平均值为 $41.63 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$;棘头梅童鱼尾数密度平均值为 $0.63 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$,重量密度平均值为 $13.95 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$;口虾蛄平均尾数密度达 $2.00 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$,平均重量密度为 $11.20 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

表 3 梅山岛附近海域采集到的游泳动物名录

类群	物种名	拉丁名	类群	物种名	拉丁名
脊索动物门	半滑舌鲷	<i>Cynoglossus semilaevis</i>	脊索动物门	窄体舌鲷	<i>Cynoglossus gracilis</i>
	赤鼻棱鲷	<i>Thrissa kammalensis</i>	节肢动物门	中国对虾	<i>Fenneropenaeus chinensis</i>
	带鱼	<i>Trichiurus haumela</i>		中国毛虾	<i>Acetes chinensis</i>
	刀鲚	<i>Coilia nasus</i>		中华管鞭虾	<i>Solenocera crassicornis</i>
	凤鲚	<i>Coilia mystus</i>		周氏新对虾	<i>Metapenaeus joyneri</i>
	海鳗	<i>Muraenesox cinereus</i>		安氏白虾	<i>Exopalaemon annandalei</i>
	黑斑十指马鲛	<i>Galeoides decadactylus</i>		鞭腕虾	<i>Hippolysmata vittata</i>
	横纹东方鲀	<i>Takifugu oblongus</i>		葛氏长臂虾	<i>Palaemon gravieri</i>
	黄姑鱼	<i>Nibea albiflora</i>		哈氏仿对虾	<i>Parapenaeopsis hardwickii</i>
	黄鲫	<i>Setipinna tenuifilis</i>		脊尾白虾	<i>Exopalaemon carinicauda</i>
	黄鳍东方鲀	<i>Takifugu xanthopterus</i>		日本鼓虾	<i>Alpheus japonicus</i>
	黄吻棱鲷	<i>Thryssa vitrirostris</i>		太平洋长臂虾	<i>Palaemon pacificus</i>
	棘头梅童鱼	<i>Collichthys lucidus</i>		细巧仿对虾	<i>Batopenaeopsis tenella</i>
	尖头黄鳍牙鲷	<i>Chrysochir aureus</i>		鲜明鼓虾	<i>Alpheus heterocarpus</i>
	康氏侧带小公鱼	<i>Stolephorus commersonnii</i>		口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>
	孔鰕虎鱼	<i>Trypauchen vagina</i>		窝纹网虾蛄	<i>Dictyosquilla foveolata</i>
	拉氏狼牙鰕虎鱼	<i>Odontamblyopus lacepedii</i>		锯缘青蟹	<i>Scylla serrata</i>
	鳙	<i>Ilisha elongata</i>		隆线强蟹	<i>Eucrate crenata</i>
	棱鲅	<i>Liza carinata</i>		日本关公蟹	<i>Dorippe japonica</i>
	鲷形鰕虎鱼	<i>Taenioides anguillaris</i>		日本蟳	<i>Charybdis japonica</i>
	龙头鱼	<i>Harpadon nehereus</i>		肉球近方蟹	<i>Hemigrapsus sanguineus</i>
	矛尾鰕虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>		锐齿蟳	<i>Charybdis acuta</i>
	鲢鱼	<i>Miichthys miiuy</i>		三疣梭子蟹	<i>Portunus trituberculatus</i>
	皮氏叫姑鱼	<i>Johnius belangerii</i>		锈斑蟳	<i>Charybdis cruciata</i>
	鲷	<i>Engraulis japonicus</i>	软体动物门	日本枪乌贼	<i>Loligo japonica</i>
	小黄鱼	<i>Larimichthys polyactis</i>		长蛸	<i>Octopus variabilis</i>
	银鲳	<i>Pampus argenteus</i>	刺胞动物门	星虫爱氏海葵	<i>Edwardsia sipunculoides</i>
	鲷	<i>Platycephalus indicus</i>			

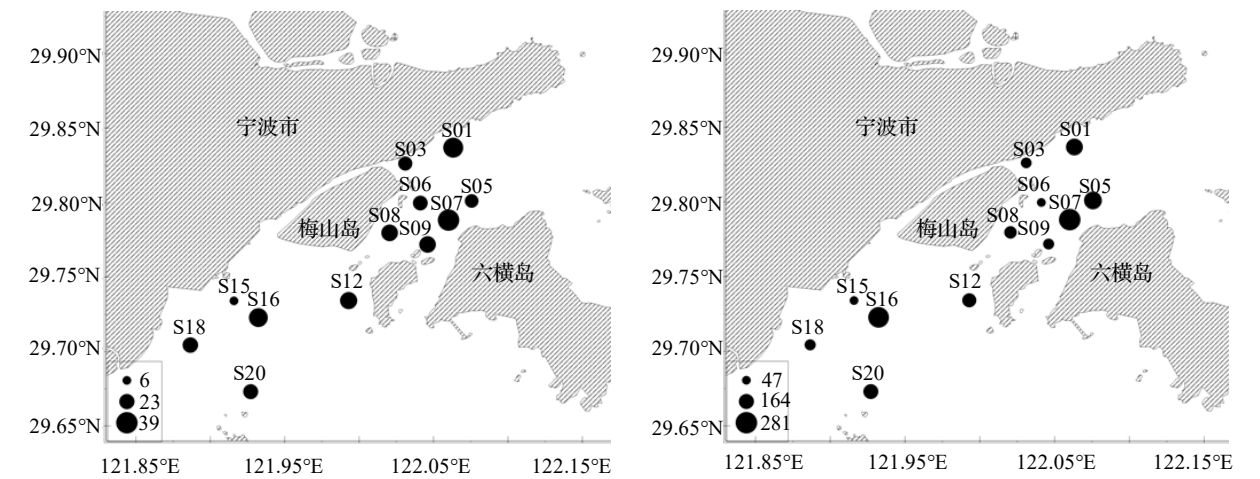


图 3 梅山岛附近海域游泳动物尾数密度和重量密度的空间分布

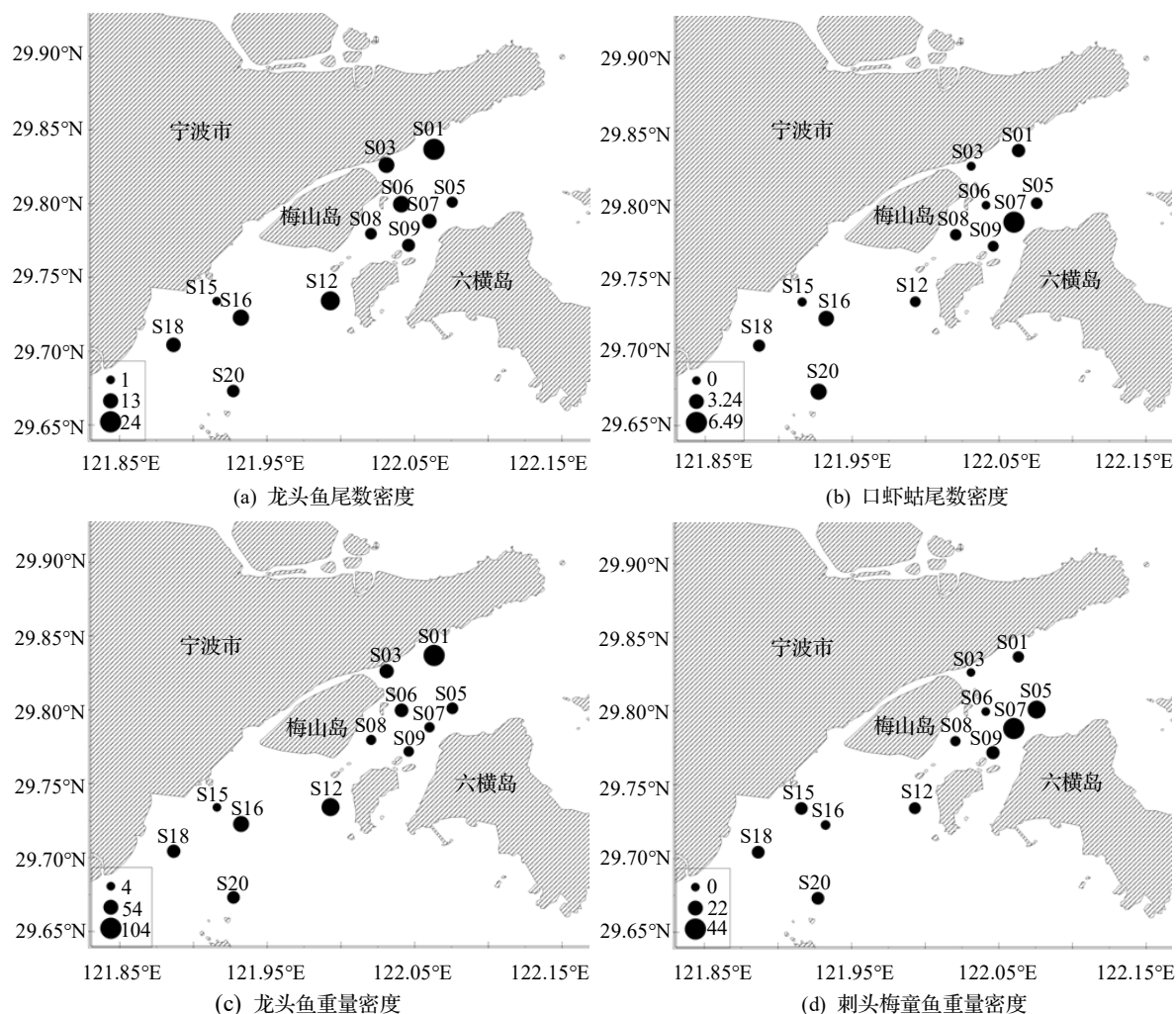


图4 梅山岛附近海域龙头鱼和口虾蛄尾数密度以及龙头鱼和棘头梅童鱼重量密度的空间分布

表4 大型底栖动物和游泳动物指标与环境因子的相关性分析

指标	Chla	NO ₂	NO ₃	NH ₄	Oil	SS	Depth	DO	COD	PO ₄
大型底栖动物丰度	-0.087	0.234	-0.228	-0.225	0.200	-0.009	0.073	0.015	-0.046	-0.043
大型底栖动物生物量	0.406	-0.094	-0.061	-0.143	0.022	0.103	0.070	0.261	0.354	-0.448
游泳动物总尾数密度	-0.045	-0.106	-0.238	-0.040	-0.176	-0.253	0.442	-0.002	-0.361	-0.103
游泳动物总重量密度	0.437	-0.003	-0.114	-0.062	0.033	-0.258	0.519	-0.003	-0.287	-0.099
口虾蛄尾数密度	0.343	-0.222	0.225	0.074	0.004	-0.008	0.617 ¹⁾	-0.106	-0.241	-0.289
龙头鱼尾数密度	-0.214	-0.131	-0.233	-0.580 ¹⁾	-0.113	-0.396	-0.229	-0.273	-0.471	0.249
棘头梅童鱼重量密度	-0.040	0.264	-0.204	0.301	0.540	-0.066	0.832 ²⁾	0.040	-0.273	0.165
龙头鱼重量密度	-0.028	-0.158	-0.190	-0.629 ¹⁾	-0.195	-0.287	-0.420	-0.185	-0.240	0.212

注: Chla 表示叶绿素 *a*, NO₂ 表示亚硝酸盐氮, NO₃ 表示硝酸盐氮, NH₄ 表示氨氮, Oil 表示石油类, SS 表示悬浮物, Depth 表示深度, DO 表示溶解氧, COD 表示化学需氧量, PO₄ 表示活性磷酸盐; 1)表示 $P<0.05$, 2)表示 $P<0.01$ 。

2.3 大型底栖动物和游泳动物与环境因子的相关性分析

化学需氧量有 96.8% 的测站符合第 4 类海水水质标准, 有 3.2% 的测站为劣 4 类海水; 无机氮有

67.7% 的测站符合第 4 类海水水质标准, 有 32.3% 的测站为劣 4 类海水; 活性磷酸盐有 64.5% 的测站符合第 4 类海水水质标准, 有 35.5% 的测站为劣 4 类海水。

将大型底栖动物的丰度和生物量、游泳动物尾数密度、重量密度的主要贡献物种的丰度和生物量、游泳动物的总尾数密度和总重量密度与主要环境因子(包括引起海水水质下降的主要环境因子,如化学需氧量、氨氮、硝酸盐氮和活性磷酸盐等)进行相关性分析,结果见表4。从表4可知,在梅山岛附近海域大型底栖动物的丰度和生物量分布与所分析的环境因子均不具有显著相关性;而龙头鱼作为游泳动物尾数密度和重量密度的最主要贡献者,其尾数密度和重量密度与氨氮呈现显著相关性,相关系数分别为 $R=0.580$, $P<0.05$ 和 $R=-0.629$, $P<0.05$ 。另外,口虾蛄与深度呈显著正相关 $R=0.617$, $P<0.05$; 棘头梅童鱼的尾数密度与深度呈现极显著正相关($R=0.832$, $P<0.01$)。

3 讨论

3.1 大型底栖动物的物种组成和数量分布

大型底栖动物作为海洋生态系统中多样性最高、生态学关系最复杂的生物类群,其多数种类的成体阶段终生栖息在固定场所,对逆境的逃避相对迟缓,兼之其较长的生活史周期,受环境变化的影响更为严重。因此,大型底栖生物的种类组成和结构信息能够准确地反映其所处环境的较长历史周期的变化^[4-15]。

根据2020年9月在梅山岛附近海域所采集得到的生物样品,共计采集到大型底栖动物5门16种,每个站位的物种数量从0~4种不等,平均丰度($12.73 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$)、平均生物量($2.87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$),远小于除金塘岛外的浙江其他海域的研究报道(表5)。分析原因,主要是由于本研究海域北部与杭州湾相通,长江口南下的江水携带大量泥沙涌入,经杭州湾

和穿山半岛北部进入,虽然水流流速略减,但是水质仍旧浑浊,悬沙含量高达 $0.41 \sim 1.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[16],处于该通道中间的金塘岛海流流速更大、悬沙质量浓度更高(达 $1.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)^[17],整个研究海域悬沙和底沙交换频繁,泥沙运移十分活跃,海底环境极不稳定,多数大型底栖动物难以适应,仅对底质依赖性较小的物种能够在此存活。因此,梅山岛和金塘岛是大型底栖动物种类组成最单调、生物多样性指数最低、群落结构最为脆弱的海域。

在梅山岛附近海域,纵肋织纹螺是大型底栖动物的唯一优势种。纵肋织纹螺生活在潮间带低潮区至40m水深的沙或泥沙质海底,为我国沿海常见的腹足纲种类,黄渤海、东海、南海都有分布^[23-24]。织纹螺是一类腐食性动物,常进食其他动物尸体,其体内可聚集河豚毒素及其他毒素,我国沿海居民因食用织纹螺导致食物中毒屡见不鲜,因此卫生部于2012年发布文件明确禁止销售和食用织纹螺。在梅山岛附近海域相对稀少的大型底栖动物中,纵肋织纹螺成为该海域唯一的优势种。纵肋织纹螺作为优势种不仅在梅山岛附近海域,也出现在如象山港^[25]和长江口^[23-26],向北至渤海的天津海域^[27]和黄河口^[28-30],向南至台州椒江口化工污染区^[31],纵肋织纹螺能在各种环境压力下成为优势种,具有很强的环境适应能力。

3.2 游泳动物的物种组成和数量分布

与浙江近岸其他海湾相比,梅山岛附近海域的游泳动物物种数、平均尾数密度与重量密度均处于较低水平,不仅低于三门湾的多数研究报道,更小于浙江南部的瓯江口和乐清湾,详见表6。

龙头鱼作为丰度、尾数密度和重量密度最主要的贡献种,在每个站位均有分布,尾数密度和重量

表5 浙江近岸大型底栖动物的物种数量、丰度与生物量比较

海域	物种数量	平均丰度/($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)	平均生物量/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	时间
梅山岛	16(秋季)	12.73	2.87	2022年(本研究)
六横岛和佛渡岛	32	159.00	7.54	2014年 ^[17]
象山港	43(冬季)	123.00	103.32	2004年 ^[18]
浙江近岸	118	230.00	11.04	2006年 ^[19]
乐清湾	124	85.00	41.95	2005年 ^[20]
乐清湾	116	269.00	12.30	2018年 ^[21]
金塘岛	10(秋季)	14.40	0.17	2017年 ^[22]

表6 浙江近岸游泳动物的物种数量、尾数密度与重量密度比较

海域	物种数量	平均尾数密度/(ind·km ⁻²)		平均重量密度/(kg·km ⁻²)		时间
		春季	秋季	春季	秋季	
梅山岛	55(秋季)	24.77×10 ³		144.53		2022 年(本研究)
甌江口	87	304.60×10 ³		365.80		2015 年 ^[32]
三门湾	8	23.45×10 ³	28.40×10 ³	356.73	384.10	2022 年 ^[33]
三门湾	57	34.11×10 ³	42.68×10 ³	314.44	286.61	2016 年 ^[34]
三门湾	55(春季)、60(秋季)	17.40×10 ³	15.30×10 ³	136.40	152.50	2021 年 ^[35]
乐清湾	63	59.10×10 ³	27.20×10 ³	310.87	356.07	2021 年 ^[36]

密度均呈现出梅山岛东北部海域相对较高;尾数密度平均值为 $12.24 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$, 最大值出现在 S01 号站位, 为 $24.96 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$; 重量密度平均值为 $41.63 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$, 最大值同样出现在 S01 号站位, 为 $104.54 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$.

本次调查结果显示, 从丰度、尾数密度和重量密度看, 龙头鱼、口虾蛄和棘头梅童鱼是梅山岛附近海域中最重要的游泳动物, 龙头鱼作为其中最主要的优势种, 分布于整个采样海域的所有站位, 其单个物种的丰度和重量密度分别贡献了研究海域总体的 49.05% 和 27.48%. 龙头鱼广泛分布于整个东海沿海海湾, 是河口和浅滩最主要的经济鱼类, 也是包括台湾海峡^[37]在内众多海域的优势种. 东海区龙头鱼存在 2 个群体: 有明显洄游现象的东海北部群体($30^{\circ}30' - 33^{\circ}30' \text{N}$, $122^{\circ}30' - 126^{\circ}00' \text{E}$) 和洄游现象不明显的东海南部群体($27^{\circ}00' - 28^{\circ}30' \text{N}$, $121^{\circ}30' - 123^{\circ}00' \text{E}$)^[38]. 东海北部群体春季(3—5 月)主要分布在东海北部近海和南部近海的里侧, 夏季(6—8 月)大部分鱼群到江苏南部沿海产卵, 秋季(9—10 月)主要集中在东海北部索饵, 冬季(12 月到翌年 2 月)集中在东海北部近海, 分布水深一般不超过 150 m. 东海南部群体主要集中在温台渔场和渔山渔场南部的近岸海域, 在秋冬季时进入台州中部和北部海域索饵, 有较高的群体丰度^[39]. 龙头鱼在象山港水域完成产卵与育幼阶段, 随后离开象山港, 洄游至东海, 部分聚集于梅山岛附近海域索饵^[40]. 鉴于同时采集的鱼类浮游生物样品中未发现龙头鱼的浮游动物样品, 推测梅山岛附近海域的龙头鱼为短距离洄游的索饵群体.

棘头梅童鱼是我国近海重要的底栖性、短距离洄游的小型经济鱼类, 主要分布于中西太平洋区

的南海、东海和黄渤海等低盐度水域, 洄游特征不甚明显, 一般仅作深、浅海域之间的移动. 在浙江, 棘头梅童鱼的产卵盛期为 5 月下旬至 6 月中旬以及 9—10 月. 但在本次 9 月份的调查中, 采集到的鱼卵、仔、稚鱼样品中没有发现棘头梅童鱼, 因此梅山岛附近海域可能仅为棘头梅童鱼的索饵场.

口虾蛄是梅山岛附近海域除龙头鱼外对群落丰度贡献最大的物种, 是整个东海口足类的绝对优势种^[41]. 在本次调查中除 S06 站位外, 其余站位均有分布. 口虾蛄没有长距离洄游的生活习性, 仅随季节变化在近岸深浅水间移动. 口虾蛄的重量密度峰值($36.12 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$)与棘头梅童鱼一样出现在梅山岛和六横岛中间的 S07 站位, 该站位是整个调查海域中水深最深的站位.

3.3 梅山岛附近海域环境因子分析

梅山岛附近海域地处亚热带, 气候温和湿润, 光照充足, 长江口南下经杭州湾和穿山半岛北部的淡水携带大量泥沙涌入, 水质浑浊, 悬沙的含量高达 $0.41 \sim 1.00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[16]. 同时, 该海域也受来自东南海洋高盐水的影响, 表层盐度较低, 且盐度变化幅度较大, 使梅山岛附近海域具有非常多样化的生态环境和复杂的水文环境, 为游泳动物的多样性分布提供了条件.

游泳动物群落分布的异质性与海水环境、饵料生物、洄游、海底地貌等因素密切相关^[42]. 在本次梅山岛附近海域的调查中, 游泳动物丰度、重量密度和尾数密度主要受海水深度和水体氨氮含量的影响. 水深对海洋底栖动物和游泳动物群落结构具有普遍的制约性^[43-44], 这缘于两个原因, 其一是海洋底栖环境由近岸至外海的梯度渐变, 其二是不同深度的海域具有特定的地理特征与环境压力,

如溶氧、水温等环境因子会与深度显著相关,从而影响海洋动物的垂直分布^[45]。水深对底栖动物食性功能群^[46]和多样性^[47]的影响较大,在游泳动物数量时空分布上起重要作用^[48],与游泳动物重量和尾数密度呈正相关^[49]。当然,水深并非决定海洋动物时空分布的唯一因素。除水深外,盐度、水温、浑浊度、水体溶氧含量、淡水径流量以及栖息地的特征等也是形成海洋动物时空分布格局的重要因素^[48]。

宁波近岸水域生态状况较差,其近岸海域包括杭州湾、象山港和三门湾均为劣4类水质,水体处于中度富营养化,主要超标的为无机氮和活性磷酸盐。而梅山岛附近海域正处于杭州湾和象山港两个重度富营养化污染的海湾中间,其水体中的营养盐浓度居高不下,2020年9月该海域检测到的氨氮含量达到 $0.086\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。氨氮、化学需氧量、硝酸盐氮、无机磷和叶绿素 a 等指标,与象山港等海域水质的级别具有直接的因果关系^[50]。水体中氨氮主要来源于生活污水排放、氮肥以及有机农药的氧化转化、藻类细胞自溶与有机碎屑沉积物的矿化作用及鱼类高密度养殖时饵料和排泄物的沉积^[51-52]。梅山岛附近海域有多个闸门,沿岸生活污水和工农业生产等活动产生的污染物不断排入,从而导致水中氮、磷居高不下,引发海水的富营养化^[13]。氨氮是水体中藻类生长最重要的氮源,氨氮含量不足常成为水体初级生产力的限制因素,但是过量的氨氮对水生动物具有很大的危害,会引起水体富营养化、溶解氧降低和水质恶化^[53]。氨氮在水体中通常以非离子氨(NH_3)和离子氨(NH_4^+)形式存在,其中氨氮的毒性主要来源于 NH_3 , NH_3 具有较高的脂溶性,极易穿过细胞质膜在体内过度积累影响机体的呼吸系统、神经系统、免疫系统等,严重时会导致死亡。此前,在有关海洋生态系统的报道中仅在乐清湾发现高浓度的含氮营养盐,对乐清湾的大型底栖动物产生负面影响^[54]。而本研究发现,梅山岛附近海域存在营养盐浓度居高不下,其对大型底栖动物也产生了负面影响。比较而言,淡水河流生态系统中的大型底栖动物,受氨氮的影响更加明显,氨氮在河流中可能对河流生物群落产生直接或协同毒性效应^[55-57],河流中底栖动物生物的完整性与氨氮水生态风险高低呈现一

定的相关趋势^[58]。

参考文献:

- [1] 邱武生. 梅山岛海域浮游植物分布的初步分析[J]. 海洋通报, 1993, 12(5):38-43.
- [2] 项有堂, 顾峰, 吴景燕, 等. 梅山岛附近海域水化学要素分布特征[J]. 海洋通报, 1993, 12(1):35-42.
- [3] 闫慧贞, 徐邹洋, 陈文杰, 等. 环梅山岛海域春季浮游古菌群落空间分布特征研究[J]. 微生物学报, 2021, 61(9):2709-2725.
- [4] 李新正, 刘录三, 李宝泉, 等. 中国海洋大型底栖生物: 研究与实践[M]. 北京: 海洋出版社, 2010:7-8.
- [5] Pearson T, Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment[J]. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 1978, 16:229-331.
- [6] Han Q X, Wang Y Q, Zhang Y, et al. Effects of intensive scallop mariculture on macrobenthic assemblages in Sishili Bay, the northern Yellow Sea of China[J]. Hydrobiologia, 2013, 718(1):1-15.
- [7] Kanaya G, Nakamura Y, Koizumi T. Ecological thresholds of hypoxia and sedimentary H_2S in coastal soft-bottom habitats: A macroinvertebrate-based assessment[J]. Marine Environmental Research, 2018, 136:27-37.
- [8] 沈国英, 黄凌风, 郭丰. 海洋生态学[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2010:47-52.
- [9] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落功能群组成与功能群多样性[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(1): 108-114.
- [10] 唐启升, 苏纪兰, 张经. 我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理[J]. 地球科学进展, 2005, 20(12):1280-1287.
- [11] 孙丽梅, 汪文东, 高凤, 等. 宁波市某人工泻湖浮游生物变化特征及影响因素分析[J]. 生态毒理学报, 2018, 13(4):60-67.
- [12] GB 17378.7—2007. 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[S].
- [13] GB/T12763.6—2007. 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S].
- [14] SC/T 9403—2012. 海洋渔业资源调查规范[S].
- [15] 严润玄, 朱峰, 韩庆功, 等. 黄河口潮间带大型底栖动物群落特征[J]. 动物学杂志, 2019, 54(6):835-844.
- [16] 张美, 毛硕乾, 楼巧婷, 等. 2018年梅山湾营养盐的时空变化及富营养化分析[J]. 海洋环境科学, 2020, 39(6): 853-859.
- [17] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志 浙江卷第二册(舟山群岛南部)[M]. 北京: 海洋出版社, 2014:735-

- 781.
- [18] 余方平, 王伟定, 金海卫, 等. 2003 年夏季浙江沿岸大型底栖生物生态分布特征[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1):59-64.
- [19] 高爱根, 杨俊毅, 董永庭, 等. 浙江乐清湾大型底栖生物群落生态研究[C]//中国海洋学会 2005 年学术年会论文汇编. 北京: 中国海洋学会, 2005:268-273.
- [20] 王航俊, 邹清, 刘亚林, 等. 乐清湾大型底栖动物种类和数量组成特征及变化[J]. 海洋科学, 2018, 42(6):78-87.
- [21] 杨磊, 黄瑞换, 卢占晖, 等. 金塘岛海域大型底栖动物分布及其与环境因子的关系[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2017, 36(4):295-301; 307.
- [22] 张凤英, 庄平, 徐兆礼, 等. 长江口中华鲟自然保护区底栖动物[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8):1244-1249.
- [23] 尤仲杰, 张爱菊. 浙江沿海织纹螺科的分类学研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2008, 27(3):253-265.
- [24] 高爱根, 杨俊毅, 胡锡钢, 等. 2002 年冬季象山港大型底栖生物生态分布特征[J]. 东海海洋, 2004, 22(2):28-34.
- [25] 杨金龙, 周轩, 郭行磐, 等. 长江口潮下带大型底栖动物的群落结构特征[J]. 水产科技情报, 2014, 41(4):192-198.
- [26] 罗民波, 庄平, 沈新强, 等. 长江口中华鲟保护区及临近水域大型底栖动物研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(6):618-623.
- [27] 段秀娟, 李永仁, 任延军. 天津汉沽鲤鱼门潮间带的经济贝类资源[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2015, 35(4):71-74.
- [28] 范占伟. 东营河口浅海贝类生态国家级海洋特别保护区生态调查[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- [29] 张焕君, 李凡, 丛日翔, 等. 黄河口海域无脊椎动物群落结构及其变化[J]. 中国水产科学, 2014, 21(4):800-809.
- [30] 张旭, 张秀梅, 高天翔, 等. 黄河口海域弓子网渔获物组成及其季节变化[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(6):118-124.
- [31] 刘莲, 马道华. 椒南化工区排污口附近海域的底栖生物状况[J]. 海洋学研究, 2005, 23(2):50-55.
- [32] 胡成业, 徐衡, 水柏年, 等. 温州瓯飞滩邻近海域春季游泳动物群落结构及多样性[J]. 南方水产科学, 2015, 11(3):7-15.
- [33] 马路阔, 陈全震, 程方平, 等. 三门湾游泳动物群落结构与生物多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(2):384-393.
- [34] 冀萌萌, 田阔, 胡成业, 等. 三门湾春、秋季游泳动物群落组成及物种多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2016, 37(2):42-48.
- [35] 俞松立, 王咏雪, 韩晓凤, 等. 三门湾海域渔业生物群落结构及营养级变化特征[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(3):478-487.
- [36] 肖伟, 蒋日进, 印瑞, 等. 休闲渔船拖网标准化改造前后渔获物中游泳动物群落结构分析[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(6):1090-1100.
- [37] 宋普庆, 张静, 林龙山, 等. 台湾海峡游泳动物种类组成及其多样性[J]. 生物多样性, 2012, 20(1):32-40.
- [38] 林龙山. 东海区龙头鱼数量分布及其环境特征[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1):66-71.
- [39] 罗海舟, 张华东, 李鹏飞, 等. 东海区龙头鱼数量分布与渔业生物学现状分析[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2012, 31(3):202-205; 233.
- [40] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 象山港游泳动物群落结构及多样性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4):920-926.
- [41] 卢占晖, 薛利建, 张亚洲. 东海口足类(Stomatopod)种类组成和数量分布[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12):2159-2168.
- [42] 张焕君, 刘淑德, 刘元进, 等. 莱州湾游泳动物群落结构研究[J]. 海洋科学, 2020, 44(6):110-121.
- [43] 刘录三, 孟伟, 李新正, 等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: II. 生物多样性与群落结构[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2):155-161.
- [44] 吴忠鑫, 张磊, 张秀梅, 等. 荣成俚岛人工鱼礁区游泳动物群落特征及其与主要环境因子的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(21):6737-6746.
- [45] Montagna P A, Ritter C. Direct and indirect effects of hypoxia on benthos in Corpus Christi Bay, Texas, U.S.A.[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2006, 330(1):119-131.
- [46] 蒋日进, 张琳琳, 徐开达, 等. 浙江中南部近岸海域游泳动物功能群特征与多样性[J]. 生物多样性, 2019, 27(12):1330-1338.
- [47] 程济生. 东、黄海冬季底层鱼类群落结构及其多样性[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(3):1-8.
- [48] Akin S, Buhan E, Winemiller K O, et al. Fish assemblage structure of Koycegiz Lagoon-Estuary, Turkey: Spatial and temporal distribution patterns in relation to environmental variation[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, 64(4):671-684.
- [49] 张静, 罗雅婷, 李渊, 等. 东山湾及其邻近海域游泳动物种类组成与数量的时空分布[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2013, 43(6):44-51.
- [50] 滕丽华, 程利江, 王海丽, 等. 象山港海水养殖区贝叶斯网络水质评价及预测[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1):189-191; 232.

- [51] 王梦杰, 陈建华, 王海华. 氨氮对水产动物的毒性效应研究进展[J]. 江西水产科技, 2019(2):38-43.
- [52] Hargreaves J A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds[J]. Aquaculture, 1998, 166(3/4):181-212.
- [53] Ip Y K, Chew S F. Ammonia production, excretion, toxicity, and defense in fish: A review[J]. Frontiers in Physiology, 2010, 1:134.
- [54] 王航俊, 姚炜民, 林义, 等. 乐清湾大型底栖动物群落及其与环境因子之间的关系[J]. 海洋学报, 2020, 42(2): 75-86.
- [55] Newman R M, Perry J A. The combined effects of chlorine and ammonia on litter breakdown in outdoor experimental streams[J]. Hydrobiologia, 1989, 184(1): 69-78.
- [56] 渠晓东, 曹明, 邵美玲, 等. 雅砻江(锦屏段)及其主要支流的大型底栖动物[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 158-162.
- [57] 杨柏贺, 马思琦, 王汨, 等. 北运河水系大型底栖动物摄食功能群多样性及时空分布特征[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(1):105-111.
- [58] 毕业亮, 宿辉, 刘洋, 等. 龙岗河氨氮生态风险及水生生态功能评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(10): 100-105.

Community composition of macrobenthos and nektons and their relationship with environmental factors around the Meishan Island Zhejiang Province

ZHOU Weiwei¹, WANG Xiaobo², HAN Qingxi^{1*}

(¹. School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

². Yuzhi Environmental Technology (Zhejiang) Co., Ltd., Ningbo 315199, China)

Abstract: Using the macrobenthic and nekton assemblages collected in September 2020 around the Meishan Island, the community composition and quantity characteristics were analyzed. The community species composition, abundance, biomass and the dominant species were examined to determine the community composition and quantitative characteristics of macrobenthos. The nekton assemblages and the correlation with important environmental factors such as water depth, suspended sediment and nutrient contents were also determined. The results showed that a total of 16 species of macrobenthos were identified in this field investigation. A total of 16 species out of 5 phyla of macrobenthos were collected from the adjacent waters of the Meishan Island, including 5 species of Annelida, 4 species for both Mollusca and Arthropoda, 2 species of Echinodermata, and 1 species of Chordata. The average abundance of macrobenthos was $12.73 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ and the average biomass was $2.87 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ around the Meishan Island, with *Nassarius variciferus* being the only dominant species. There were 55 nekton species, including 29 fishes, 23 crustaceans, 2 cephalopods and 1 coelenterate. The abundance of the species was $24.77 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{km}^{-2}$, and the biomass was $144.53 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$. A total of 9 species were identified as the dominant nekton species. *Harpadon nehereus* had the highest dominant degree, followed by *Oratosquilla oratoria*. The largest contributors to biomass were *Harpadon nehereus* and *Collichthys lucidus*. Pearson correlation analyses showed that the dominant nekton species around the Meishan Island were significantly positively correlated with water depth, and negatively correlated with ammonia nitrogen content. The species number, abundance and biomass in this study were lower than the results reported from other sea areas of Zhejiang Province. This study provided detailed information for the study of marine biological resources and biodiversity around the Meishan Island. The information can be reliable scientific basis for ecological environment assessment and marine biological resources protection decision-making.

Key words: macrobenthos; nektons; Meishan Island; dominant species; correlation analysis

(责任编辑 史小丽)