

辐射沙洲海域浮游动物特征和吕泗渔场的成因分析

何群^{1,2}, 蒋欣慰³, 徐兆礼¹, 王翠华^{1*}

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所,农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室,上海 200090;

2. 上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306;

3. 华东勘测设计研究院,浙江 杭州 310014)

摘要:为探讨辐射沙洲海域浮游动物饵料变化规律和吕泗渔场的形成机制,于2012年5月(春季)和2012年9月(秋季)采集了苏北浅滩辐射沙洲核心海域浮游动物样品,通过聚集强度、方差贡献、优势度及逐步回归等指标和方法,分析了苏北浅滩浮游动物时空分布与辐射沙洲地形等环境因子的关系。结果显示:春、秋两季,浮游动物的生物量和丰度分布均表现出沙脊水域高于潮沟水域,且存在明显的季节差异。春季不同水域平均生物量分别为沙脊水域606.63 mg/m³、沟底水域428 mg/m³、沟口水域为178.55 mg/m³,秋季为沙脊水域208.01 mg/m³、沟底水域181.30 mg/m³、沟口水域60.47 mg/m³;春季不同水域平均丰度分别为沙脊水域560.76 个/m³、沟底水域389.39 个/m³、沟口水域161.28 个/m³,秋季为沙脊水域184.15 个/m³、沟底水域56.42 个/m³、沟口水域112.14 个/m³。春、秋季桡足类均占绝对优势。研究表明:研究水域浮游动物分布特征与地形和潮波系统有关,沙脊水域的浮游动物数量高于潮沟水域,其原因一方面是潮沟地形造成沙脊上流速较小,潮沟中流速较大,另一方面东海前进潮波与南黄海旋转潮在沙脊线附近汇合,导致处于交汇处的沙脊水域水动力较弱,因此浮游动物容易在沙脊水域集聚和摄食。苏北浅滩潮沟系统海域的饵料水平远高于其他水域,其优势种群主体为桡足类,是经济鱼类主要的饵料组分,这是吕泗渔场成为我国著名渔场的重要环境因素。

关键词:浮游动物;沙脊;潮沟;平面分布;渔场;苏北浅滩

中图分类号:Q 958.8; S 932.8

文献标志码:A

苏北浅滩海域地处吕泗渔场近海,地形由沙脊潮沟系统构成。由于该渔场水域沙脊潮沟生态系统的特殊性^[1],是探讨浮游动物、渔场环境与地形特征关系的理想水域。

吕泗渔场是我国最大的渔场之一,受大片辐射沙脊群覆盖,形成了独特的水文、地理和生态环境,加上不同水团的影响,水质肥沃、饵料丰富,是多种鱼类产卵、索饵的场所^[2]。

浮游动物在食物链中占重要位置,为初级生产者与三级生产者或终级生产者之间的能量转换器,是肉食性鱼类的摄食对象^[3]。在黄海南部、东海北部的各主要渔场,浮游动物的数量分布与

小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)等鱼类的聚群关系都非常密切^[4-5]。

目前国内学者对苏北浅滩浮游动物的研究较少,如田丰歌等^[6]研究了春夏季苏北浅滩大丰水域浮游动物的生态特征,张海景^[2]分析了春夏季苏北浅滩浮游动物生态特征,陈佳杰等^[7]解析了冬、春季黄海南部沿岸水域浮游动物群落组成。但涉及浮游动物分布与浅滩地形关系的研究报道并不多见,特别是苏北浅滩的辐射沙洲这一特殊地形对浮游动物分布特征影响的研究尚未见报道。

国外对滩涂海洋浮游动物的研究中,对

收稿日期:2015-01-09 修回日期:2015-03-26

资助项目:国家自然科学基金(41176131);海洋公益性行业科研专项(201305027-8)

通信作者:王翠华,E-mail:wangch@ecsf.ac.cn

Georges 浅滩的浮游动物研究较多,其他滩涂也有一定研究。Durbin 等^[8]分析了冬春季 Georges 滩绕足类的丰度和空间分布,Frost^[9]研究了 Dogger 滩胶质浮游动物的分布和营养链,Leal 等^[10]研究了莫桑比克 Sofala 滩浮游群落的水平分布和垂向动力学,Ekau^[11]等阐述了巴西 Abrolhos 滩的地形和水文对浮游动物群落结构的影响。但到目前为止,国内外对沙脊潮沟系统海域环境与浮游动物分布关系的研究却鲜见报道。

本研究选取苏北浅滩中部典型的辐射沙洲海域为研究对象,分析了沙脊潮沟水域浮游动物生物量和丰度特征的季节变动,以期作为辐射沙洲海域渔场浮游动物饵料变化的分析依据,从而进一步丰富我国海洋生物学与环境关系的科学理论,探讨我国著名的吕泗渔场饵料变化规律和形成机制。

1 材料与方 法

1.1 采样区域和方法

2012 年 5 月(春季)在苏北浅滩水域(120.90°E ~ 121.65°E,32.45°N ~ 33.60°N)布设

M1[#] ~ M43[#]共 43 个站位,9 月(秋季)在苏北浅滩水域布设 S1[#] ~ S43[#]共 36 个站位(图 1)。浮游动物样品采集用浅水 I 型浮游生物网,自海底至海面垂直拖拽获得。浮游动物采集方法及标本处理等均按《海洋调查规范》进行。所获标本均经 5% 福尔马林溶液固定带回实验室进行称重、分类鉴定和统计(生物量为湿重,单位为 mg/m³;个体丰度单位为个/m³)。

为了便于比较和分析,又考虑到沙脊的流动性,本研究将水深 5 m 以下站位称为沙脊水域,5 m 以上的水域为潮沟水域,其中 5 ~ 10 m 水深站位称为沟底水域,即潮沟末端与沙脊结合部海域,10 m 以上站位称为沟口水域,与外海连接。由于此处地形复杂,难以按照通常的网格状设计,为了更好地反映沙脊潮沟系统浮游动物与潮流的关系,依其地形的特殊性按沙脊和潮沟面积比例布设站位。5 月(春季),沙脊、沟底、沟口分别设置 22、12 和 9 个站位。9 月(秋季),在沙脊设置 18 个站位,沟底 11 个,沟口 7 个。一般而言,潮沟里的水流速度大于沙脊的水流速度。

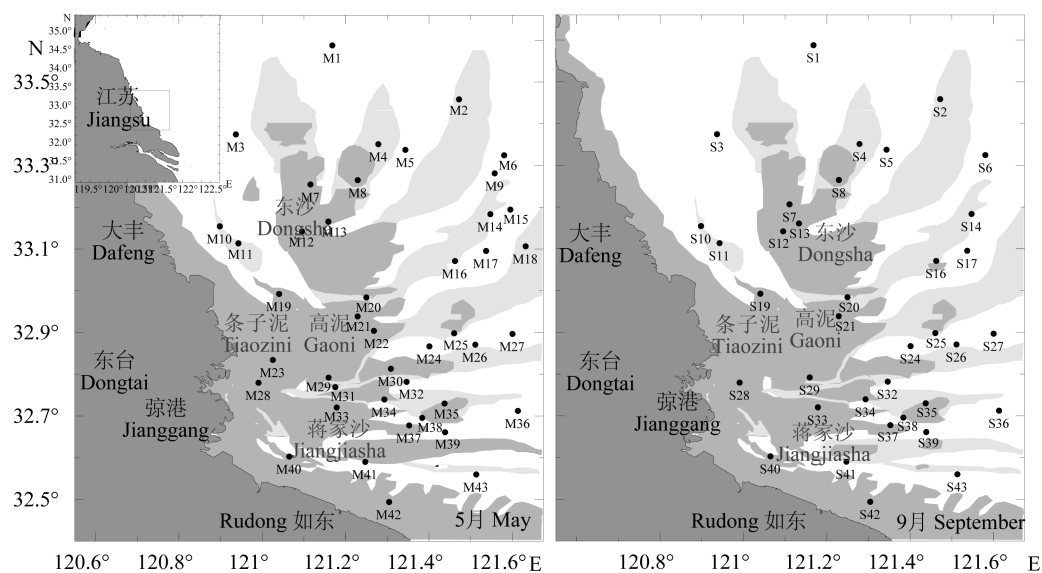


图 1 采样站位图

Fig. 1 Sampling stations

1.2 数据处理

优势种优势度值: $Y = \frac{n_i}{N} \times f_i$ 。式中, n_i 为第 i 种浮游动物的丰度, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率, N 为总丰度。浮游动物优势度 $Y \geq 0.02$ 的

种为优势种^[12]。

优势种种群聚集强度测度采用丛生指标(Index of clumping)表示, $I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1$, 式中, \bar{X} 为某一物种的平均丰度, S^2 为方差。用 I 可估计各种

群空间格局的非随机程度, I 正值数值越大, 说明该种群空间格局的非随机程度就越大, 聚集强度就越高^[13]。

浮游动物丰度变化的动力分析, 即贡献率分析计算优势种对浮游动物总丰度的影响, 在计算中以浮游动物总丰度为因变量, 各优势种丰度为自变量, 分析优势种丰度对浮游动物总丰度变化的影响, 计算优势种的贡献值, 根据 t 值筛选出对总丰度回归方差贡献显著的优势种, 然后计算其标准回归系数 (β), 以标准回归系数作为优势种的贡献指数值。具体的计算方法参考 Christensen^[14]。

用 DPS 软件做逐步回归分析^[15]。

2 结果与分析

2.1 浮游动物总生物量的水平分布

结果显示, 春季浮游动物的总生物量, 越靠近沙脊越高, 例如 M8[#] 站位附近的总生物量 (970 mg/m³) 最高, 位于东沙附近。南部高泥附近的

M30[#] 站位的浮游动物总生物量最大, 为 2 982.50 mg/m³; 此外, 位于蒋家沙西南沿岸滩涂的 M40[#] 站位的总生物量也很高, 为 2 502.50 mg/m³ (图 2)。

与春季类似, 秋季浮游动物的总生物量的高点也都落在沙脊处, 北部最大生物量出现在东沙, 总生物量为 566 mg/m³ (S8[#] 站位), 南部沙洲总生物量除了辐射中心的条子泥 S28[#] 站位数量相对较高 (总生物量为 575 mg/m³) 以外, 蒋家沙的 S39[#] 站位附近的总生物量达到最高 (641.88 mg/m³)。

春季和秋季的浮游动物分布趋势类似, 都是总生物量在沙脊处高。但秋季与春季在数量上有很大的不同。春季浮游动物的生物量范围为 28.89 ~ 2 982.50 mg/m³, 均值为 503.00 mg/m³; 而秋季浮游动物的生物量范围为 2.50 ~ 641.88 mg/m³, 均值为 175.65 mg/m³。从总生物量分析, 5 月的总生物量整体比 9 月高 (图 2)。春季浮游动物的数量远高于秋季的水平。

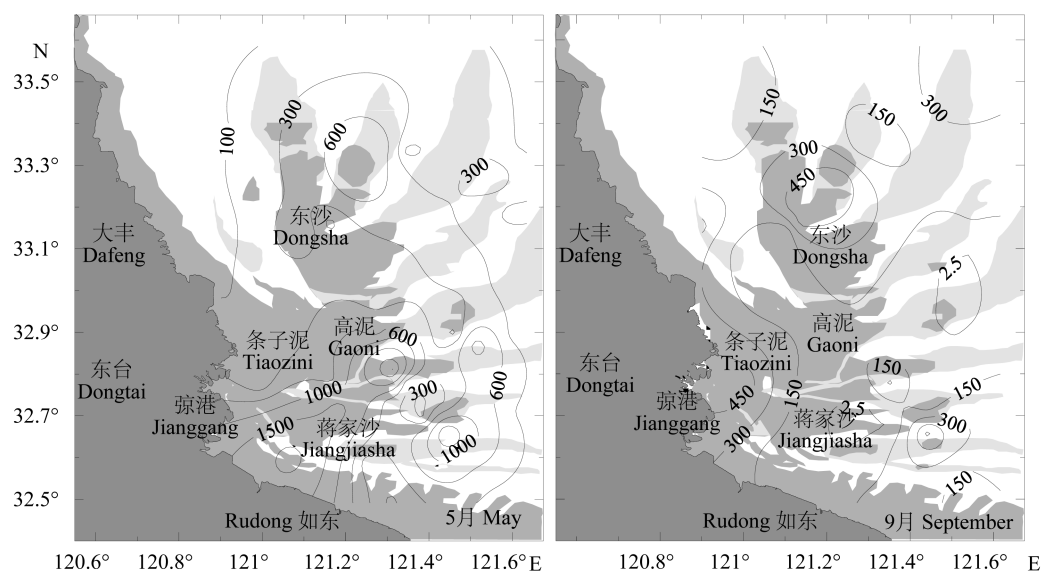


图 2 苏北浅滩水域浮游动物总生物量的水平分布图 (mg/m³)

Fig. 2 Horizontal distribution of total biomass of zooplankton in the north Jiangsu shoal (mg/m³)

2.2 浮游动物总丰度的水平分布

结果分析可得, 春季和秋季的总丰度与总生物量分布表现出一致性, 即生物量高的区域丰度也较高 (图 3)。丰度也呈现出自潮沟向沙脊递增的趋势, 越靠近沙脊, 浮游动物的总丰度越大。

春季的 4 个高点分别位于北部的东沙附近、南部的蒋家沙南部近岸、高泥附近和蒋家沙靠外海

的沙脊。东沙附近的 M8[#] 站位总丰度为 490 个/m³, 在北部水域水平较高; 南部生物量最高的站位于高泥附近的 M30[#] 站, 为 2 892.50 个/m³。

与春季类似, 秋季总丰度的高值区也都落在沙脊上。秋季的 3 个高点分别位于北部的东沙, 南部的蒋家沙附近和蒋家沙偏向外海的沙脊。东沙的 S13[#] 站附近的丰度最大, 为 570 个/m³。

与总生物量的分布类似,春季浮游动物的丰度也远高于秋季的分布。春季的丰度范围为 27.78 ~ 2 892.50 个/m³,均值为 429.32 个/m³;

而秋季浮游动物的丰度范围为 3.08 ~ 570.00 个/m³,均值为 132.87 个/m³。

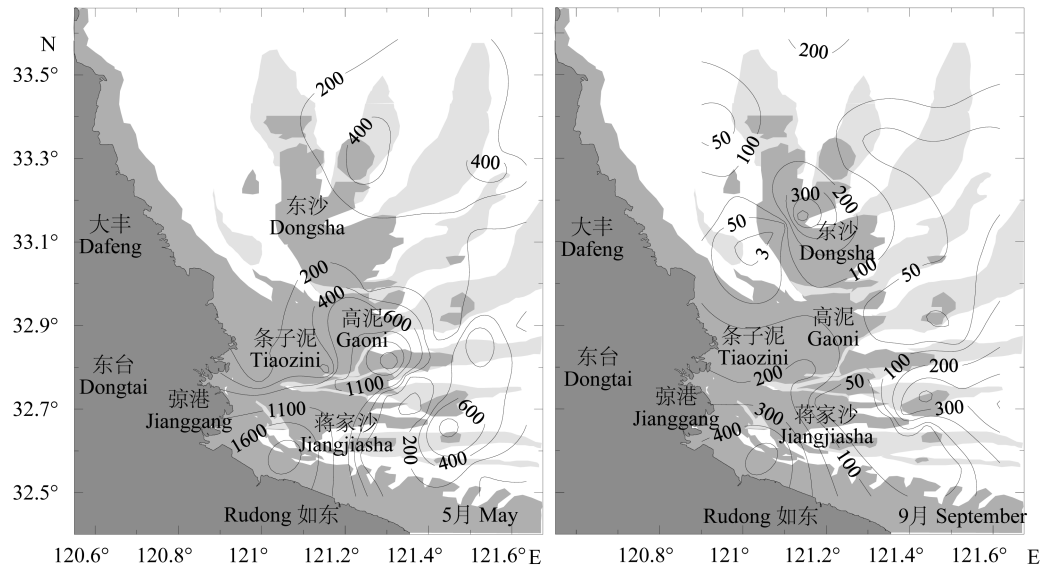


图 3 苏北浅滩水域浮游动物总丰度的水平分布图(个/m³)

Fig. 3 Horizontal distribution of total abundance of zooplankton in the north Jiangsu shoal (ind./m³)

2.3 苏北浅滩浮游动物不同季节不同地形平均生物量和平均丰度比较

根据结果分析苏北浅滩不同季节不同地形下浮游动物的平均生物量和平均丰度(图 4)。

苏北浅滩的浮游动物平均生物量与地形变化有一定的关系,无论是春季还是秋季,平均生物量

最高的水域总是沙脊水域,春季沙脊水域平均生物量为 676.63 mg/m³,秋季为 208.01 mg/m³(图 4-a)。而最低的平均生物量区都为沟口水域。春季的平均生物量整体比秋季高,平均生物量为 503 mg/m³,而秋季为 175.65 mg/m³。

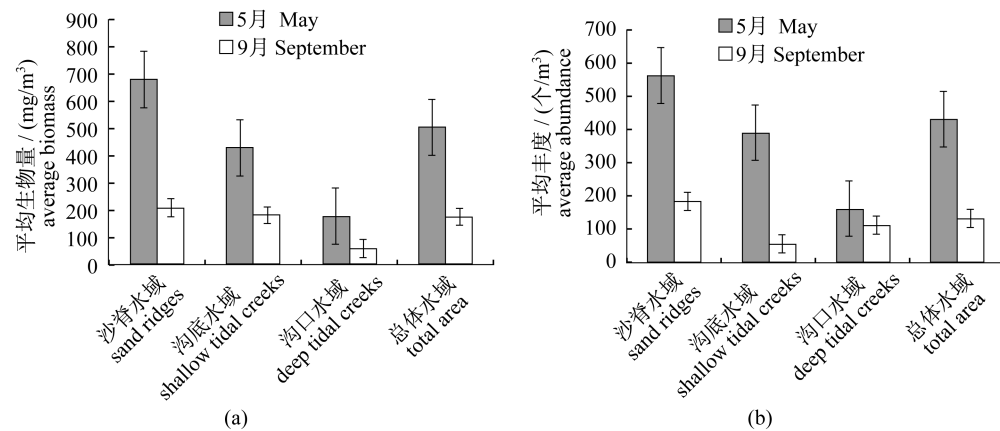


图 4 苏北浅滩水域浮游动物 (a) 平均生物量 (mg/m³) 和 (b) 平均丰度 (个/m³)

Fig. 4 Average biomass (a) and average abundance (mg/m³) (b) of zooplankton in the north Jiangsu shoal (ind./m³)

苏北浅滩的浮游动物平均丰度与地形变化也有一定的关系。春季和秋季的平均丰度最高水域也都为沙脊水域,不同的是最小区域,春季为沟口水域,而秋季为沟底水域。沙脊水域春季平均丰度为 560.76 个/m³,秋季为 184.15 个/m³。与平均生物量相同,秋季的总平均丰度比春季低很多,其春季的平均丰度为 429.32 个/m³,秋季为 132.87 个/m³(图 4-b)。

无论是平均生物量还是平均丰度,春季的量都是秋季的两倍以上(图 4)。总体来看,春季浮游动物生物量和丰度均高于秋季,且春秋两季平均生物量和平均丰度都呈现沙脊水域最高。

2.4 优势种分布及对总丰度分布的贡献

从优势度、平均丰度和丰度百分比结果分析,春季的浮游动物优势种为真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、短额刺糠虾(*Acanthomysis brevirostris*)和中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)。其中,真刺唇角水蚤的优势度为 0.27,虽高于其他优势种,但与短额刺糠虾及

中华哲水蚤优势度相差不大,三种优势种平均丰度都较高,分别占浮游动物总丰度的 27.17%、26.99% 和 22.47%。

秋季的浮游动物优势种为真刺唇角水蚤、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)、中华哲水蚤和针刺拟哲水蚤(*Paracalanus aculeatus*)。其中,真刺唇角水蚤的优势度为 0.31,远高于其他优势种,为绝对优势种,其平均丰度为 44.14 个/m³,占浮游动物总丰度的 41.52%。

从对总丰度的贡献分析,春季的优势种真刺唇角水蚤、短额刺糠虾和中华哲水蚤都对总丰度贡献极显著($P < 0.001$),其中短额刺糠虾对总丰度贡献值 β 较大(0.61)(表 1)。秋季,对总丰度有显著贡献($P < 0.05$)的优势种有百陶箭虫和中华假磷虾两种;对总丰度贡献极显著($P < 0.001$)的优势种有真刺唇角水蚤、中华哲水蚤和针刺拟哲水蚤,其中仍以真刺唇角水蚤对总丰度贡献值 β 较大(0.57)。

表 1 优势种的优势度、平均丰度、丰度百分比、对总丰度的贡献及丛生指标
Tab.1 Dominance (Y), average abundance (\bar{x}), percentage ($N\%$), contribution to the total abundance and index of clumping (I) of dominant species

季节 season	优势种 dominant species	Y	β	P	\bar{x}	$N\%$	I
春季 Spring	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.27	0.41	1×10^{-7}	139.23	27.17	285.06
	短额刺糠虾 <i>Acanthomysis brevirostris</i>	0.25	0.61	1×10^{-7}	138.32	26.99	1 013.72
	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.22	0.15	1.1×10^{-7}	115.16	22.47	116.55
秋季 Autumn	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.31	0.57	1.1×10^{-7}	44.14	41.52	157.58
	百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i>	0.07	0.18	0.02	9.81	9.23	18.01
	中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	0.06	0.14	0.01	9.84	9.25	54.76
	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.04	0.34	4.9×10^{-7}	7.43	6.99	109.44
	针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	0.02	0.26	1.6×10^{-5}	8.22	7.73	114.33

注: Y 为优势度; β 为标准回归系数; P 为显著性; I 为丛生指标; \bar{x} 为平均丰度; $N\%$ 为丰度百分比

Notes: Y : dominance; β : standard regression coefficient; P : significance; I : index of clumping; \bar{x} : average abundance; $N\%$: abundance percentage

根据优势种聚集强度分析,春季,短额刺糠虾聚集强度最高($I = 1 013.72$),真刺唇角水蚤($I = 285.06$)、中华哲水蚤($I = 116.55$)次之。秋季,真刺唇角水蚤($I = 157.58$)、针刺拟哲水蚤($I = 114.33$)和中华哲水蚤($I = 109.44$)聚集度相对较高(表 1)。总体而言,春季的浮游动物聚集强度

高于秋季。

此外,从主要优势种丰度的水平分布上,表现出与总生物量、总丰度的水平分布相类似的分布情况(图 5)。但与真刺唇角水蚤和短额刺糠虾不同,中华哲水蚤的高值区则分布在靠近外海的水域。

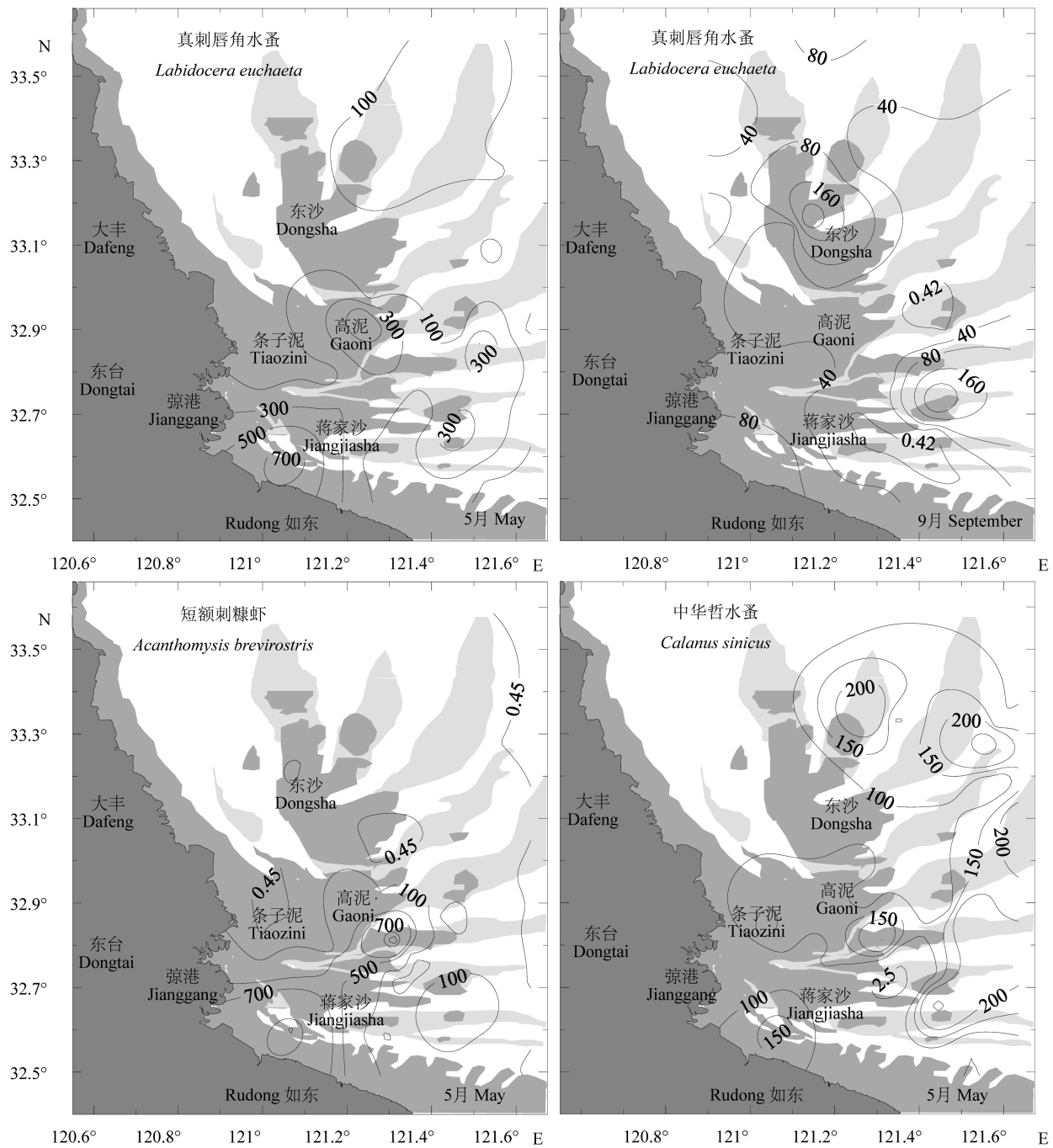


图 5 春、秋季主要优势种丰度的水平分布图(个/ m^3)

Fig. 5 Horizontal distribution of abundance of the main dominant species in spring and autumn(个/ m^3)

2.5 浮游动物种类组成

苏北浅滩水域春秋两季共鉴定出浮游动物 45 种,分属于 3 门 3 纲,共有 10 大类(表 2)。春季检测到浮游动物 2 门 2 纲 7 大类 25 种,其中桡足类种类最多,且该类群占丰度的百分比

最大,其次为糠虾类、毛颚类、十足类、磷虾类、端足类;秋季检测到 3 门 3 纲 9 大类 35 种,与春季相同,也是桡足类种类最多,其次为毛颚类和十足类,糠虾类次之。两季相同的浮游动物种类有 15 种。

表2 苏北浅滩水域春、秋季浮游动物种类组成
Tab.2 Species composition of zooplankton in the north Jiangsu shoal in spring and autumn

类群 group		5月 May		9月 September		种类数总计 total
		S	N%	S	N%	
		13	63.05	21	73.18	26
	桡足亚纲 Cepepoda					
	糠虾目 Mysidacea	3	33.72	2	4	4
节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea	2	0.02	4	0.32	4
	软甲亚纲 Malacostraca					
	十足目 Decapoda	2	0.82	1	10.47	2
	磷虾目 Euphausiacea	2	0.82	1	0.12	2
	端足目 Amphipoda	1	0.78	-	-	1
	涟虫目 Cumacea	-	-	-	-	-
软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	-	-	1	0.01	1
	后鳃亚纲 Opisthobranchia					
	翼足目 Pteropoda	-	-	1	0.01	1
	前鳃亚纲 Prosobranchia					
	中腹足目 Mesogastropoda	-	-	1	0.02	1
	异足亚目 Heteropoda	-	-	1	0.02	1
毛颚动物门 Chaetognatha	矢虫纲 Sagittoidea	2	0.80	4	11.86	4
合计 total		25	-	35	-	45

注: S 为种类数; N% 为丰度百分比

Notes: S, number of species; N%, abundance percentage

3 讨论

3.1 辐射沙洲水域潮沟地形系统特征对浮游动物分布的影响

辐射沙洲是由沙脊和分布其间的潮沟(深槽)组成。各条沙脊之间有深槽相隔,潮沟深槽坡陡水深^[16],是潮流的主要通道。受海底这些辐射状的沙脊潮沟地形的影响,辐射沙洲上的涨落潮主流基本与深槽走向一致,浅滩上则流速较小,深槽中流速较大^[17]。根据现有实测资料,条子泥二分水沙脊的涨、落潮平均流速分别为 0.62 m/s 和 0.59 m/s^[18],多以旋转流为主,水流较缓。而王家槽外水道表面流速则高达 3 m/s^[19]。辐射沙洲水域潮流受潮沟水道约束,潮流以往复流为主,水流湍急。

本调查的结果显示,沙脊上浮游动物数量较多,潮沟里的浮游动物数量较低。春季,从生物量上看,沙脊水域的浮游动物生物量水平明显比沟口和沟底水域的高(图 4-a)。丰度的变化与生物量水平基本一致。秋季与春季趋势相同,生物量水平上,沙脊水域比沟口水域和沟底水域要高。从丰度上看,沙脊水域的浮游动物丰度依然比沟口和沟底水域要高。综上所述,春秋两季的生物量和丰度变化都体现出沙脊上浮游动物数量多,而潮沟里的浮游动物数量少,表明地形对浮游动物的分布有一定影响,沙脊环境可能有利于浮游动物栖息,而潮沟则相反。一般而言,潮沟水体流速

大于沙脊。水流速较大的地方,即潮沟里的水域,浮游动物数量比较少;水流较缓的地方,即沙脊上的水域数量比较多。

这种沙脊浮游动物数量丰度高,潮沟浮游动物数量丰度少的形成特征绝非偶然,主要是流速对浮游动物的数量分布有一定影响。

根据 Visser 等^[20]的理论,超过某一临界流速后,浮游甲壳动物捕食成功几率能够被水体产生的紊动大大减小,浮游甲壳动物生长会受到抑制。林秋奇^[21]对溪流水库的研究表明,在水流流速比较快的水体中,高的浮游动物生长速率也不一定导致高的现存量,即使是在被捕食压力很低的情况下,因为高的平流损失率大大抵消了浮游动物的生长速率。陈伟民等^[22]发现浮游动物的种类、数量与水流状态关系密切。在静止状态时,不但浮游动物的种类数多,而且枝角类和桡足类占的比例也大;从静止状态进入水流状态时,浮游动物种类数量随水流增大呈递减趋势,其种类组成中原生动物、轮虫占的百分比增加,枝角类和桡足类占的百分比减少,即水流缓的地方浮游动物容易聚集,水流流速较小、靠近潮沟的沙脊上的浮游动物生物量和丰度都比较大,而水流较急的深沟浮游动物相对较少。因此,潮沟系统地形变化形成的流速不等最终影响到浮游动物数量平面分布特征的形成。

潮流场以琼港为中心呈辐射状分布,与沙脊走向大体一致^[23]。沙脊浅滩上流速小,潮沟深槽

中流速较大。本调查水域沙脊中浮游动物数量高,潮沟中浮游动物数量少。其原因可能是水流速度较小的地方浮游动物容易集聚和摄食,而水流速度大的水体则相反。

3.2 潮波系统对浮游动物分布的影响

沙脊潮沟系统对浮游动物分布的影响主要通过潮流来实现。在苏北浅滩的中部,除了受浅滩潮流影响外,水团对浮游动物分布也有影响。

该区域主要受东海传入的前进潮波与南黄海旋转潮波这两个水流控制。东海前进潮波通过烂沙洋、黄沙洋、条鱼港向北进入条子泥南侧水域;受辽东半岛和山东半岛反射而产生的南黄海旋转潮波则通过西洋、平涂洋和陈家坞槽向南进入条子泥北侧与东侧水域^[18]。这两大潮波系统在条子泥附近水域辐合和辐散,形成特有的水动力状况和二分水滩脊^[24]。二分水处水流和缓,泥沙易于沉降。滩脊为南北两个相反方向的落潮流水的“分水岭”,也是条子泥南北两侧潮汐通道的交汇处^[25]。这两大潮波碰撞带来的泥沙沉积正是形成沙脊的原因。

江苏沿海主要受北部的南黄海旋转潮波系统和南部的东海前进潮波系统控制,两大潮波系统的汇潮大体可以分为三个级别:辐合中心、聚流点和汇潮点。各潮流主槽相辐合之处即辐合中心,如条子泥-高泥二分水滩脊和高泥所在地;各潮流支槽相聚之处即聚流点,如高泥和东沙交汇所在地;属同一沙脊群的各沙洲间潮流相遇之处即汇潮点^[18]。由此,对应分别形成了代表潮汐三级不同的汇合与消能状况的地形特征和水动力状况^[26],这个背景对沉积物的分级分布起着决定作用,辐合中心的水动力相对最弱,汇潮点附近的水动力相对较强。潮流相聚的地方就是沙脊的位置,潮流相聚和沙脊形成密切相关。

本研究结果显示,水动力较弱的沙脊上浮游动物数量高,水动力较强的潮沟里浮游动物数量低。春季,从生物量上看,M30[#]、M40[#]、M33[#]站位生物量相对较大,分别为2 982.50 mg/m³、2 502.50 mg/m³、1 710.00 mg/m³。这3个站位都位于水流交汇辐合中心的南部。根据张忍顺^[25]的研究,北部泥沙含量大于南部,而含沙量变化与平均潮流流速变化存在较好的对应关系,因此北部的流速大于南部。根据赵强等^[27]的研究,来自高泥沙以东的涨潮流则受高泥沙阻挡,向

南汇入黄沙洋。受潮位影响,南部的涨潮流在经过高泥沙时,会绕过沙体南部边缘向北进入条子泥与高泥沙之间的水道,并与南下的涨潮流相遇,导致潮流汇合处流速较小。本结果表明,在水流速度较小的南部,水体中浮游动物生物量相对较高,北部较低。相似地,丰度的变化与生物量水平基本一致。丰度最高的M30[#]站为2 892.50个/m³,位于竹根沙;而最小丰度27.78个/m³的M41[#]站则位于沟口水域。秋季与春季趋势相同,生物量水平上,水动力较弱的沙脊水域浮游动物也都比较高;丰度也同样如此。

两个潮波系统在汇合点处形成了二分水的流干,并达到稳定。由于静止处泥沙容易沉积,其水团静止时往往生物量最大,且容易在此形成上升流,为潮沟系统海域带来了丰富的营养盐。水团交汇处往往是浮游动物聚集处,水流缓的地方恰好是浮游动物多的区域^[21-22]。因此,除了地形的原因,该潮波系统的影响也同样造成了沙脊上的浮游动物生物量和丰度高,潮沟里的浮游动物生物量和丰度低。

海流对浮游动物的影响还表现为对不同优势种分布的影响。根据优势种丰度的分布,真刺唇角水蚤和短额刺糠虾的丰度高值区都分布在沙脊上,而中华哲水蚤的高值区则分布在靠近外海的水域。与真刺唇角水蚤、短额刺糠虾这些沿岸种不同,中华哲水蚤是近海种,受外来海流的影响比较大,这也是其高值区出现在靠近外海水域的原因。因此,对浮游动物数量分布的主要贡献者是沿岸种真刺唇角水蚤和短额刺糠虾。其中,短额刺糠虾属于糠虾类,有底层栖息特性^[28]。

除了海流等海洋环境的影响外,浮游植物、浮游动物食性种类等其他因素对浮游动物时空分布也有一定的影响。康伟等^[17]的研究表明,该水域的营养盐丰富,浮游植物较多,然而对比分析本研究的结果,浮游动物与该水域浮游植物的分布不一致。一般而言,浮游植物分布主要与水流中的营养盐有关,而海洋浮游动物自主游动能力较弱,其分布主要与海流的运动有关^[2],两者主要影响因素有所差异。

3.3 潮沟系统水域渔场主要饵料水平的分析

从季节变化来看,春季浮游动物的生物量和丰度都比秋季多。而春季正是鱼类产卵繁殖的季节,高水平的浮游动物数量有利于鱼类幼体的摄

食、索饵和生长。

凡是潮沟系统水域的饵料水平往往要比其他水域高^[15,29-32]。本研究的结果中春季苏北浅滩浮游动物生物量为 503.00 mg/m³。而根据张冬融等^[15]的研究,杭州湾(舟山渔场附近)春季浮游动物生物量为 61.82 mg/m³;郑惠东^[29]的研究中,东山湾 5 月浮游动物生物量为 91.7 mg/m³;高倩等^[30]的研究中,瓯江口春季的浮游动物生物量为 81.97 mg/m³;张达娟等^[31]的研究中,黄河口春季浮游动物生物量为 146.44 mg/m³;徐兆礼等^[32]的研究中,长江口春季浮游动物生物量为 154.73 mg/m³。对比本研究的结果,苏北浅滩水域春季浮游动物的生物量明显比杭州湾、东山湾、瓯江口、黄河口和长江口都要高很多,结果表明,苏北浅滩水域春季浮游动物饵料资源极为丰富,其数量远远高于其他水域,可为产卵期各种鱼类和育幼期的仔稚鱼提供丰富饵料。

在季节变化上,春季浮游动物生物量和丰度较秋季高,一方面是由于春末仔稚鱼大量摄食的结果;另一方面也与优势种数量的季节变化有关^[6]。在生物量比较上,苏北浅滩浮游动物春季的生物量比其他水域都要高,这与苏北浅滩特殊的地形和此地受两大水团的影响所形成的特定环境是分不开的。

3.4 潮沟系统水域渔场主要饵料种类的研究

饵料种类事关饵料质量。桡足类、磷虾类、糠虾类、毛颚类都是好的饵料。桡足类是重要的饵料浮游动物,在种类组成中种类多,数量大;桡足类春季种数百分比为 52%,秋季为 58%。

从优势种来看,春季的 3 个优势种真刺唇角水蚤、短额刺糠虾和中华哲水蚤的优势度都很高,都在 0.2 以上,且相差不多;秋季的优势种种类虽多,但其中真刺唇角水蚤的优势度为 0.31,远高于其他优势种,为绝对优势种。春季的 3 个优势种中,真刺唇角水蚤和中华哲水蚤都是桡足类,而短额刺糠虾属于糠虾类,聚集强度最高,底栖聚集特征较为明显,其高值区分别落在高泥和条子泥沙脊上;而秋季的 5 个优势种中也有 3 种是桡足类。从类群上看,春季桡足类丰度较高,其次的毛颚类、糠虾类、十足类、磷虾类、端足类也都是饵料,有利于春末仔稚鱼大量摄食和当地水域幼鱼摄食、索饵和生长。秋季桡足类虽有一定的下降,但是百陶箭虫的大量出现,使得毛颚类的数量在

秋季迅速增加;磷虾类的比例也在秋季增加,成为该季主要的大型甲壳动物类群,无论是毛颚类还是磷虾类都是幼鱼和成鱼的饵料。总体上看,苏北浅滩水域浮游动物群落结构变化与渔场资源生物饵料需求具有一致性,可为不同发育期的仔稚鱼、幼鱼提供各种粒径的饵料。

从优势种的聚集强度来看,春季浮游动物的聚集强度明显高于秋季。两季聚集强度较高的优势种,真刺唇角水蚤、中华哲水蚤、针刺拟哲水蚤和短额刺糠虾都是非常优质的饵料。这些聚集强度高的优势种中,桡足类是许多经济鱼类(包括鲱形鱼)以及仔、稚鱼的主要摄食对象^[33]。糠虾类也是经济鱼类等许多经济水产动物的重要饵料^[28]。

此外,从春、秋两季优势种的丰度上看,春季和秋季的优势种丰度的最高值也都落在沙脊上(图 5),与整体浮游动物生物量和丰度分布趋势相似,这说明优势种丰度高的地方也是浮游动物数量多的水域。优势种聚集强度较高,群体易于聚集,有利于鱼群集中摄食,这也是渔场良好环境特征的重要标志。

春季调查的 25 种浮游动物中桡足类占了 13 种,秋季的 35 种中桡足类占了 21 种。根据刘磊等^[34]的结果,鲰鱼和斑鲦分别是苏北浅滩水域仔稚鱼的最优势种,且这 2 个种类的生物量占到总量的 90% 以上。鲰鱼仔幼鱼在生长到全长 20 mm 前以摄食浮游动物为主,其仔鱼适口的开口饵料是桡足类的无节幼体和桡足幼体^[35]。斑鲦是杂食性鱼类,浮游动物中的中华哲水蚤、强壮箭虫、纺锤水蚤等都能被其摄食^[36]。

因此,苏北浅滩水域浮游动物除了数量多,其饵料组成也非常理想,饵料质量较好,是鱼类优良的产卵场和索饵场。

3.5 形成吕泗渔场的地形和饵料关系的分析

首先,从地形上,苏北浅滩水深较浅,呈辐射状展布的沙洲为浮游动物提供了良好的栖息环境。由于沙脊与潮沟众多,地貌、地形多样,辐射沙洲海域潮流体系较为复杂。沙脊浅滩上的潮流相对较弱,潮沟水道里的潮流相对较强。这些水道是潮水主要的通道,水道控制着潮流方向,并与潮流发生相互作用,潮流也同样塑造着沙滩地貌^[37]。本研究结果显示,沙脊上的浮游动物数量多,潮沟中的浮游动物数量少。其原因可能是水

流缓的地方浮游动物容易聚集。此外,流水这一环境因子对许多需要在流水中产卵的鱼类的性腺发育成熟和排卵极为重要。例如我国的“四大家鱼”在湖泊和池塘中性腺能发育成熟,但因为缺少水位和水流的刺激而不能自然排卵,必须进行人工催产,即使是这样也需要水流的刺激^[38]。鱼类受到水流的刺激产卵后,加上该水域高水平的浮游动物,幼体容易生长。因此,苏北浅滩特殊地形造成的潮流流速的变化,既造就了浮游动物沙脊数量多,又给鱼类产卵提供了基础。

其次,在潮波系统上,从东海方向而来的太平洋前进潮与撞击到山东半岛折回的黄海西南旋转潮在苏北浅滩水域相会,达到一个平衡点,导致该水域泥沙沉积,水动力相对较为稳定^[26]。因此,沙脊上的水流缓除了地貌地形对潮流的作用外,也是两股潮流在此交汇并相互作用导致的结果,这才造就了浮游动物在沙脊上聚集的特殊表现。同时上升流带来的丰富营养盐也为浮游动物的生长提供了良好的基础^[17]。总之,这两个潮波系统在苏北浅滩水域达到稳定,加上特殊的沙脊沉积地形,丰富的营养盐和浮游植物使得该调查水域饵料浮游动物数量和种类十分发达。该水域的浮游动物数量多,尤其在春季这个鱼类繁育季节,其生物量比周边的舟山渔场等数量高得多^[15,29-32],有利于鱼类索饵生长。

第三,从饵料水平和质量上,苏北浅滩水域不仅饵料水平高,而且饵料的组成配比恰当。桡足类的比例占一半以上,除此之外,种类数较高的毛颚类、糠虾类、十足类、磷虾类、端足类等也都是很好的饵料。高水平和高质量的饵料为仔稚鱼的摄食,幼鱼的索饵和生长提供了得天独厚的条件,这是形成渔场最有利的条件。

综上所述,地形导致的饵料浮游动物数量多、种类质量好,为鱼虾蟹的繁殖,良好的幼体水平提供了机会。所以吕泗渔场是我国最著名的渔场和鱼类的产卵场。

本文撰写过程得到沈晓民先生的大力指导和帮助,徐佳奕帮助鉴定样品,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] Li M G. Advances in the research and development of the radial and banks[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2011, 32(4): 229 - 243. [李孟国. 辐射沙洲研究开发的进展. 水道港口, 2011, 32(4): 229 - 243.]
- [2] Zhang H J. Ecological characteristics of zooplankton in the northern Jiangsu Shoal in spring and summer [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011. [张海景. 春夏季苏北浅滩浮游动物生态特征的分析研究. 上海:上海海洋大学, 2011.]
- [3] Xu Z L, Cui X S, Huang H L. Distribution of zooplankton in *Ommastrephes batrami* fishing ground of the North Pacific Ocean and its relationship with the fishing ground[J]. Journal of Fisheries of China, 2004, 28(5): 515 - 521. [徐兆礼, 崔雪森, 黄洪亮. 北太平洋柔鱼渔场浮游动物数量分布及与渔场的关系. 水产学报, 2004, 28(5): 515 - 521.]
- [4] Fisheries Bureau of MGAP, East China Sea Fisheries headquarters. Survey and zoning for the fishery resources in the East China Sea area[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987. [农牧渔业部水产局, 农牧渔业部东海区渔业指挥部. 东海区渔业资源调查和区划. 上海:华东师范大学出版社, 1987.]
- [5] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Biological resources and environment on the continental shelf of the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1987. [郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境. 上海:上海科学技术出版社, 2003.]
- [6] Tian F G, Xu Z L. Ecological characters of zooplankton in middle area of Subei Shoal in spring and summer [J]. Marine Environmental Science, 2001, 30(3): 316 - 320. [田丰歌, 徐兆礼. 春夏季苏北浅滩大丰水域浮游动物生态特征. 海洋环境科学, 2001, 30(3): 316 - 320.]
- [7] Chen J J, Xu Z L, Chen X Z. Zooplankton in the coastal waters of Southern Yellow Sea during winter and spring[J]. Marine Fisheries, 2008, 30(4): 327 - 332. [陈佳杰, 徐兆礼, 陈雪忠. 冬、春季黄海南部沿岸水域浮游动物. 海洋渔业, 2008, 30(4): 327 - 332.]
- [8] Durbin E G, Casas M C. Abundance and spatial distribution of copepods on Georges Bank during the winter/spring period[J]. Deep-sea Research Part II - Topical Studies in Oceanography, 2006, 53(23 - 24): 2537 - 2569.
- [9] Frost J R, Denda A, Fox C J, et al. Distribution and trophic links of gelatinous zooplankton on Dogger Bank, North Sea[J]. Marine Biology, 2012, 159(2): 239 - 253.

- [10] Leal M C, Sa C, Nordez S, *et al.* Distribution and vertical dynamics of planktonic communities at Sofala Bank, Mozambique[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 84(4): 605 – 616.
- [11] Ekau W. Topographical and hydrographical impacts on zooplankton community structure in the Abrolhos Bank region, east Brazil[J]. *Archive of Fishery and Marine Research*, 1999, 47(2 – 3): 307 – 320.
- [12] Xu Z L, Chen Y Q. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 8(4): 13 – 15 + 19. [徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲐渔场的关系. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13 – 15 + 19.]
- [13] Zhao Z M, Zhou X Y. Introduction to ecology[M]. Chongqing: Chongqing Branch of Scientific and Technical Documents Publishing House, 1984: 108 – 119. [赵志模, 周新远. *生态学引论*. 重庆科学技术文献出版社, 1984: 108 – 119.]
- [14] Christensen R. Analysis of variance, design and regression: Applied statistical methods [M]. New York: Chapman and Hall, 1996.
- [15] Zhang D R, Xu J Y, Xu Z L, *et al.* Distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay during spring and autumn in relation to the main environment factors[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(8): 2115 – 2123. [张冬融, 徐佳奕, 徐兆礼, 等. 杭州湾南岸海域春秋季节浮游动物分布特征与主要环境因子的关系. *生态学杂志*, 2014, 33(8): 2115 – 2123.]
- [16] Huang Y C, Wang W Q. Discussion of dynamic mechanism of radial sand ridges along Jiangsu coast [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1987, 9(2): 209 – 215. [黄易畅, 王文清. 江苏沿岸辐射状沙脊群的动力机制探讨. *海洋学报*, 1987, 9(2): 209 – 215.]
- [17] Kang W, Sun Y, Sun L-F, *et al.* Distribution of phytoplankton in radial sand ridge area in North Jiangsu Shoal [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2013, 19(5): 727 – 733. [康伟, 孙岳, 孙鲁峰, 等. 苏北浅滩辐射沙洲海域浮游植物分布特征. *应用与环境生物学报*, 2013, 19(5): 727 – 733.]
- [18] Chen J, Wang Y G, Zhang R S. Sedimentary characteristics of the Dongsha Sandbanks off Jiangsu Province[J]. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(6): 37 – 46. [陈君, 王义刚, 张忍顺. 江苏岸外东沙沙脊群的沉积特征. *海洋通报*, 2006, 25(6): 37 – 46.]
- [19] Zhang R S, Chen J J. Development and recent evolution in the inner edge area of radiation sandbank in Jianggang [J]. *Marine Science Bulletin*, 1988, 7(1): 42 – 48. [张忍顺, 陈家记. 琼港辐射沙洲内缘区海岸发育及近期演变. *海洋通报*, 1988, 7(1): 42 – 48.]
- [20] Visser A W, Stips A. Turbulence and zooplankton production: Insights from PROVESS [J]. *Journal of Sea research*, 2002, 47(3 – 4): 317 – 329.
- [21] Lin Q Q. Species diversity and spatial and temporal variations of Pelagic meta zooplankton in Liuxihe Reservoir [D]. Guangzhou: Jinan University, 2007. [林秋奇. 流溪河水库后生浮游动物多样性与群落结构的时空异质性. 广州: 暨南大学, 2007.]
- [22] Chen W M, Chen Y W, Qin B Q, *et al.* Experimental study on the biological community succession caused by water flow [J]. *Journal of Lake Science*, 2000, 12(4): 343 – 352. [陈伟民, 陈宇炜, 秦伯强, 等. 模拟水动力对湖泊生物群落演替的实验. *湖泊科学*, 2000, 12(4): 343 – 352.]
- [23] Zhang D S, Zhang J L, Zhang C K, *et al.* Trend shaping—storm damage—trend recovery—try to explain the formation and evolution dynamic mechanism of radial sand ridges on the Yellow Sea seabed [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(5): 394 – 402. [张东生, 张君伦, 张长宽, 等. 潮流塑造——风暴破坏——潮流恢复——试释黄海海底辐射沙脊群形成演变的动力机制. *中国科学(D辑)*, 1998, 28(5): 394 – 402.]
- [24] Ren M E, Zhang R S, Yang J H, *et al.* The influence of storm tide on mud plain coast—with special reference to Jiangsu Province [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1983, 3(4): 1 – 24. [任美愕, 张忍顺, 杨巨海, 等. 风暴潮对淤泥质海岸的影响——以江苏淤泥质海岸为例. *海洋地质与第四纪地质*, 1983, 3(4): 1 – 24.]
- [25] Zhang R S, Wang Y H, Wu D A, *et al.* Preliminary study on the developing mechanism of sandy island on the radial tidal sands off Jiangsu Coast [J]. *Marine Science Bulletin*, 2003, 22(4): 41 – 47. [张忍顺, 王艳红, 吴德安, 等. 江苏岸外辐射沙洲区沙岛形成过程的初步研究. *海洋通报*, 2003, 22(4): 41 – 47.]
- [26] You K Y, Zhu D K, Wang X Y, *et al.* The stability analysis of Xiyang tidal channel in radial submarine sand ridges along North Jiangsu [J]. *Geographical Research*, 1998, 17(1): 10 – 16. [尤坤元, 朱大奎,

- 王雪瑜,等. 苏北岸外辐射沙洲王港西洋潮流通道稳定性研究. 地理研究,1998,17(1):10-16.]
- [27] Zhao Q, He Q Y, Yang Y F, *et al.* A study of impacts tidal current and sediment concentration by artificial island projects in radial sand ridges of the South Yellow Sea [J]. *Marine Science Bulletin*, 2014,33(4):397-404. [赵强,何琴燕,杨耀芳,等. 人工岛工程对南黄海辐射沙脊群海域潮流泥沙影响研究. 海洋通报,2014,33(4):397-404.]
- [28] Xu Z L, Chao M, Cui X S. The abundance distribution of mysids(Mysidacea) in the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*,2006,30(3):341-346. [徐兆礼,晁敏,崔学森. 东海糠虾类数量分布. 水产学报,2006,30(3):341-346.]
- [29] Zheng H D. Species Composition and distribution of zooplankton in Dongshan Bay[J]. *Journal of Fujian Fisheries*,2009(2):11-17. [郑惠东. 福建东山湾浮游动物的种类组成与数量分布特点. 福建水产,2009(2):11-17.]
- [30] Gao Q, Xu Z L. Distribution pattern of zooplankton in the Oujiang Estuary during summer and autumn [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*,2009,16(3):372-380. [高倩,徐兆礼. 瓯江口水域夏、秋季浮游动物数量时空分布特征. 中国水产科学,2009,16(3):372-380.]
- [31] Zhang D J, Yan Q L, Wang Z L. Variation in species number and biomass of zooplankton in typical estuaries of China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*,2008,39(5):536-540. [张达娟,闫启仑,王真良. 典型河口浮游动物种类数及生物量变化趋势的研究. 海洋与湖沼,2008,39(5):536-540.]
- [32] Xu Z L, Shen X Q. Zooplankton biomass and its variation in water near Changjiang Estuary [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005,14(3):282-286. [徐兆礼,沈新强. 长江口水域浮游动物生物量及其年间变化. 长江流域资源与环境,2005,14(3):282-286.]
- [33] Wang R, Zhang H Y, Wang K, *et al.* Function performed by small copepods in marine ecosystem [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 33(5):453-460. [王荣,张鸿雁,王克,等. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用. 海洋与湖沼,2002,33(5):453-460.]
- [34] Liu L, Guo Z R, Tang X M, *et al.* Abundance distribution of fish larvae and juveniles in shoal water areas along the northern coast of Jiangsu Provinces [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*,2009,18(5):546-551. [刘磊,郭仲仁,汤晓鸿,等. 苏北浅滩生态监控区仔稚鱼的分布. 上海海洋大学学报,2009,18(5):546-551.]
- [35] Lin C X, Li W J, Tang T D. A study on feeding habits of mullet fry under culturing environments [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1985, 9(3):289-296. [林重先,李文杰,唐天德. 养殖条件下梭鱼仔、幼鱼摄食习性的研究. 水产学报,1985,9(3):289-296.]
- [36] Wei S, Jiang W M. Study on food web of fishes in the Yellow Sea [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*,1992,23(2):182-192. [韦晟,姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究. 海洋与湖沼,1992,23(2):182-192.]
- [37] Li F. A study of drive mechanism of evolution and reclamation layout in the inner edge area of radiation sandbank of the South Yellow Sea [D]. Nanjing: Nanjing Normal University,2014. [李飞. 南黄海辐射沙洲内缘区演变驱动机制及围垦布局研究. 南京:南京师范大学,2014.]
- [38] Wen H S, Lin H R. Effect of environmental factors on gonadal maturation as well as its ovulation and spawning in teleosts[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2001,12(1):151-155. [温海深,林浩然. 环境因子对硬骨鱼类性腺发育成熟及其排卵和产卵的调控. 应用生态学报,2001,12(1):151-155.]

Causal analysis of distribution pattern of zooplankton in radial sand ridge area of Jiangsu shoal and Lvsì Fishing Ground

HE Qun^{1,2}, JIANG Xinwei³, XU Zhaoli¹, WANG Cuihua^{1*}

(1. Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, P. R. China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The distribution of zooplankton in the area of radiate sand ridges in north Jiangsu shoal was investigated during May and September in 2012. The relationship between the distribution of zooplankton, topography and some other environmental factors were analyzed by using indicators and methods of gathering strength, variance contribution, dominance index, stepwise regression, etc. The results showed that both of the biomass and abundance of zooplankton have obvious seasonal variation. Spatially, the quantity of zooplankton was higher in sand ridges than that in tidal creeks. In spring, the average biomass of different areas were 606.63 mg/m³ (sand ridges), 428.00 mg/m³ (shallow tidal creeks) and 178.55 mg/m³ (deep tidal creeks). The average abundance were 560.76 ind/m³ (sand ridges), 389.39 ind/m³ (shallow tidal creeks) and 161.28 ind/m³ (deep tidal creeks). However, in autumn, the average biomass of different areas were 208.01 mg/m³ (sand ridges), 181.30 mg/m³ (shallow tidal creeks) and 60.47 mg/m³ (deep tidal creeks). And the average abundance were 184.15 ind/m³ (sand ridges), 56.42 ind/m³ (shallow tidal creeks) and 112.14 ind/m³ (deep tidal creeks). The study showed that the *Copepods* was predominant species in two seasons. The research indicated that the distribution of zooplankton was associated with topography and tidal waves in the north Jiangsu shoal. Some reasons can explain it. Firstly, the water velocity was influenced by the topography, where the water velocity was higher in sand ridges than tidal creeks. Secondly, the East China Sea tidal wave and the South Yellow Sea tidal wave converged in north Jiangsu shoal. Sediment can be deposited easily in low flow velocity water, and upwelling waters brought a wealth of nutrients. It would be beneficial to the aggregation and feed of zooplankton, which lead to high biomass and abundance of zooplankton in sand ridges. The dominant species tend to be highly aggregated, which contributed to the main component of economic fishes' bait. The food availability and quality of north Jiangsu shoal were higher than other water areas, which played a crucial role in the formation of Lvsì Fishing Ground.

Key words: zooplankton; sand ridges; tidal creek; horizontal distribution; fishing ground; the north Jiangsu shoal

Corresponding author: WANG Cuihua. E-mail: wangch@ecsf.ac.cn