

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16028

苏北浅滩中部典型沙脊潮沟海域不同空间鱼类群落的分析

严太亮^{1,2}, 徐兆礼¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 利用 2011 年 5 月(春季)和 2010 年 11 月(秋季)在苏北浅滩大丰沿岸海域(32°44′~33°23′N、120°54′~121°38′E)开展渔业资源调查获取的资料, 运用聚类分析方法划分群落结构, 从鱼类的种类组成、多样性以及优势种等不同方面, 探讨苏北浅滩沙脊潮沟地形对鱼类群落的影响。研究表明: 春秋季苏北浅滩沙脊潮沟沿岸海域鱼类可划分为西部近岸群落、中部沙脊群落以及东部潮沟群落 3 个群落, 其鱼类群落结构差异表现为, 春季鱼类总种类数表现为潮沟(15 种) > 沙脊(11 种) > 近岸(3 种); 多样性指数(H')类似, 即潮沟(1.57, 1.89) > 沙脊(1.19, 1.57) > 近岸(0.51, 0.69); 秋季鱼类种类数表现为潮沟(18 种) > 近岸(12 种) > 沙脊(11 种), 鱼类多样性指数表现为潮沟(1.54, 1.54) > 近岸(1.02, 0.96) > 沙脊(0.92, 0.83)。潮沟海域与外海相连, 外海鱼群顺着潮沟向近海移动, 在潮沟末端遇到沙脊地形的阻挡, 底栖性鱼群停留在沟底, 造成种类数累积, 多样性增加。优势种分布上, 潮沟群落多为方氏锦鲷(*Pholos fangi*)、鲢(*Miichthys miiuy*)、小带鱼(*Eupleurogrammus muticus*)等产卵性鱼类; 沙脊群落鱼类主要由赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)和大银鱼(*Protosalanx chinensis*)等滤食性鱼类组成。苏北浅滩沙脊潮沟海域鱼类群落空间差异显著, 而地形变化以及由此导致的环境变化是苏北浅滩沙脊潮沟海域鱼类群落结构差异的主要原因。以沙脊潮沟地形因素为突破口, 不仅丰富了鱼类群落结构变化的环境影响因素, 也为苏北浅滩渔业的管理和保护提供可靠依据。

关键词: 苏北浅滩; 沙脊; 潮沟; 鱼类组成多样性; 优势种; 地形影响; 饵料

中图分类号: S92

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)06-1389-10

苏北浅滩位于黄海西南部, 是亚洲最大的淤泥质海岸滩涂湿地。苏北浅滩位于暖温带生物气候带, 具有调节气候、减缓洪水灾害和净化水质环境等功能^[1]。潮滩最宽处可达 10 km 以上, 水体营养盐类和饵料生物资源丰富, 是鱼类繁殖、索饵、生长、发育的良好场所。

苏北浅滩具有独特的沙脊潮沟系统, 因而环境因子复杂多变, 沙脊潮沟生态系统往往是国内学者研究的焦点。例如: 在苏北浅滩辐射沙洲海域, 康伟等^[2]研究了沙脊潮沟系统特殊的地形对浮游植物分布特征的影响, 沙脊潮沟海域数量分布差异明显; 而在苏北浅滩大丰水域, 田丰歌等^[3]

对春夏两个季节浮游动物的生态特征进行比较, 阙江龙等^[4]以苏北浅滩潮流和沙脊潮沟地形为背景, 研究其对虾类分布的影响。在潮沟系统对鱼类的研究方面, 国内也备受关注, 主要研究有龚小玲等^[5]于 2009 年至 2010 年间在九段沙湿地的上沙、中沙和下沙潮沟处, 研究了鱼类的组成及其多样性; 金斌松^[6]以长江口盐沼鱼类为研究对象, 研究了潮沟地貌特征对其多样性空间分布的影响。而在苏北浅滩地区, 鱼类研究主要集中于南部地区, 诸如徐捷等^[7-8]关于苏北浅滩南部海域鱼类资源密度季节变化特征和生态类群的报道。但是, 南部海域未涉及沙脊和潮沟中鱼类群

收稿日期: 2016-01-24; 修订日期: 2016-03-06.

基金项目: 国家 973 计划项目(2010CB428705); 国家自然科学基金项目(41176131).

作者简介: 严太亮(1989-), 男, 研究生, 研究方向: 海洋环境科学. E-mail: nba361liang@126.com

通信作者: 徐兆礼, 研究员. E-mail: xiaomin1957@126.com

落的划分和地形特征关系研究,而且后者是国际上浅滩沙脊潮沟系统最典型的水域。因此,对苏北浅滩中部典型沙脊潮沟系统中鱼类群落的研究具有更加重要的科学意义。

在国外,关于鱼类群落结构的研究有许多,例如,Aschan 等^[9]研究了巴伦支海海岸鱼类在水团的影响下,鱼类的群落结构时空变化;Rimantas 等^[10]研究了立陶宛波罗的海海岸带浅滩鱼类的组成以及物种的多样性变化;在爱尔兰海近岸,Jovanovic 等^[11]研究了在强潮的作用下,鱼类的群落结构及其分布特征。然而像苏北浅滩沙脊潮沟独特的地形特征,国外也很少见,因而对潮沟系统鱼类群落空间特征的研究几乎没有报道。

本研究以2011年5月(春季)和2010年11月(秋季)在苏北浅滩中部海域所得的鱼类调查资料,运用聚类分析方法划分鱼类群落结构,揭示不同群落结构特征,包括鱼类组成、种类数、多样性分布等,研究地形地貌特征和鱼类群落结构之间的耦合,旨为苏北浅滩渔业资源管理提供有效的依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点与采样方法

2011年5月和2010年11月在苏北浅滩大丰海域(32°44′~33°23′N、120°54′~121°38′E)进行了两个航次的渔业资源调查。以苏大渔13056[#]为调查船,船体长27.5 m、宽5.6 m,主机功率198.5 kW,

总吨位65 t,共设置29个拖网站位(图1),采用单拖网[6.0 m(宽)×3.0 m(长)],网目范围2.0~12.0 cm,每网拖曳0.5 h,平均拖速4.63 km/s(2.5),根据《海洋水产资源调查手册》^[12]和《海洋调查规范》(GB12673-2007)进行调查。对渔获物中鱼类进行分类、物种的重量和尾数统计,并对每个物种进行生物学测定,并依性腺成熟与否区分成鱼和幼鱼,并分别对其体重、体长和尾数进行统计。图1左图中,调查海域浅色方格阴影部分表示海域退潮时,裸露在表面的沙脊海域部分,而深色阴影部分表示退潮后,不会裸露在表面的沙脊海域。

1.2 数据处理方法

1.2.1 鱼类资源密度的估计 采用扫海面积法^[13],在渔获统计结果基础上,计算各站位鱼类重量密度和尾数密度,公式如下:

$$\rho_i = C_i / (a_i \times q)$$

式中, ρ_i 为第*i*站位鱼类资源的重量密度(kg/km²)或尾数密度(10³ind/km²);

C_i 为第*i*站位单位时间渔获物中鱼类重量(kg/h)或尾数(ind/h);

a_i 为第*i*站位单位时间的扫海面积(km²/h),其值为网口水平宽度(km,本网具为0.0075 km)×拖曳距离(km),拖曳距离为拖速(km/h)和实际拖曳时间(h)的乘积;

q 为网具捕获率(可捕系数=1-逃逸率),根据本网具参数,重量和尾数逃逸率取0.4~0.6^[14],本

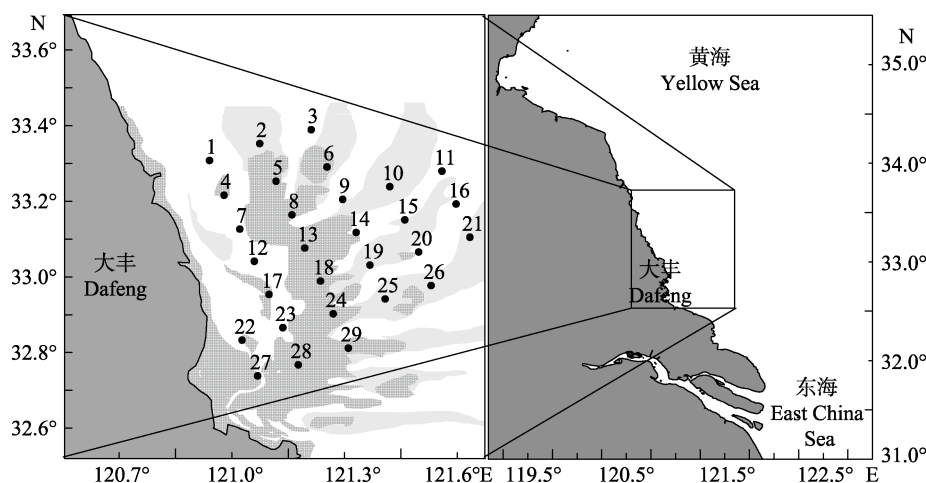


图1 苏北浅滩大丰海域调查站位(●)分布

Fig. 1 Sampling stations (●) in Dafeng Sea Areas, North Jiangsu shoal

次逃逸率参数统一取 0.5。

1.2.2 相对重要性指数(index of relative importance, IRI) 参照 Pinkas 等^[15]提出的相对重要性指数分析鱼类群落的优势度, 计算公式如下:

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

式中, N 为某一物种尾数占总尾数的百分比; W 为相应物种重量占总重量的百分比; F 为相应物种的出现率(出现的站位数/总站位数)。选取 IRI 大于 1000 的物种作为优势种^[7]。

1.2.3 物种多样性指数 多样性指数采用香农-维纳指数(Shannon-Wiener index, H'), 计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中, H' 为物种多样性指数值; S 为样品中的总种数; P_i 为第 i 种的个体密度(n_i)与总密度(N)的比值(n_i/N)。

1.2.4 聚类及相似性分析 运用聚类分析方法, 以不同季节不同站位鱼类群落的相似性, 划分群落结构。不同群落结构的差异主要以群落的关键种、优势种和常见种为主, 为减少稀有种对群落相似性分析的干扰, 在聚类分析前首先剔除出现率低、重要性较低的种类, 将 $F \leq 10\%$ 、 $IRI \leq 5.0$ 的种类剔除, 对其余种类, 以尾数密度为指标、站位为样本, 采用类平均法进行 Q 型聚类分析, 计算前对原始数据矩阵进行开四次方根转换, 平衡优势种和非优势种在群落中的作用, 再建立相似性矩阵^[16], 根据各站位间相似性大小, 有效划分群落结构, 最后采用类平均法进行聚类分析和非线性多维标度排序分析(nMDS)。按照聚类结果,

对不同鱼类群落的生态类群进行分析, 最终确定其生态属性。

相似性系数矩阵(similarity coefficient matrix):

$$S = \left\{ 1 - \sum_{i=1}^S \frac{|S_{ij} - S_{im}|}{|S_{ij} + S_{im}|} \right\} \times 100\%$$

式中, S_{ij} 和 S_{im} 分别代表第 i 个种类在第 j 个站位和第 m 个站位的平均网获尾数密度($\times 10^3 \text{ ind/km}^2$)。

2 结果与分析

2.1 苏北浅滩沙脊潮沟海域不同空间鱼类群落的相似性分析

苏北浅滩沙脊潮沟海域各站位的聚类和 NMDS 排序分析结果一致(图 2 和图 3), 因而聚类结果能较好地反映苏北浅滩鱼类群落划分的结果。

春季, 在相似度为 73.2% 的系数水平上, 苏北浅滩海域鱼类可分为 3 个群落(图 2a)。其中, 沙脊内侧近岸海域的 6 个站位聚为一组, 计为西部近岸群落, 中部海域 12 个站位聚为一组, 计为中部沙脊群落。东部潮沟海域 11 个站位聚为一组, 计为东部潮沟群落。

秋季, 按照聚类分析结果, 在相似度达 67.2% 的系数水平上, 苏北浅滩秋季鱼类也可划分为 3 个群落(图 3a)。其中, 近岸水域的 6 个站位聚为一组, 计为西部近岸群落, 中部海域 11 个站位鱼类群落结构相似, 计为中部沙脊群落。东部海域 12 个站位可统计为东部潮沟群落。

根据数据结果, 春、秋两个季节不同群落差异比较明显。从检验结果胁强系数(stress)可以看

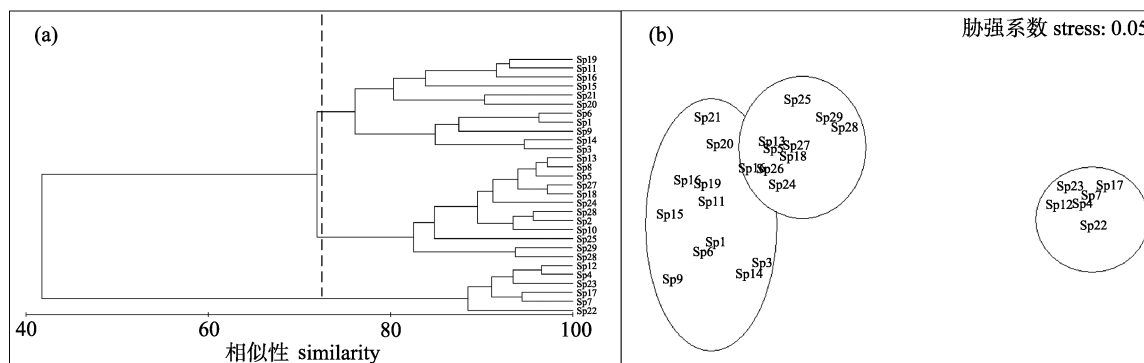


图 2 苏北浅滩春季调查站位的聚类树状图(a)和 nMDS 排序(b)

Fig. 2 Charts of cluster analysis (a) and nMDS ordination analysis (b) of the sampling stations in spring

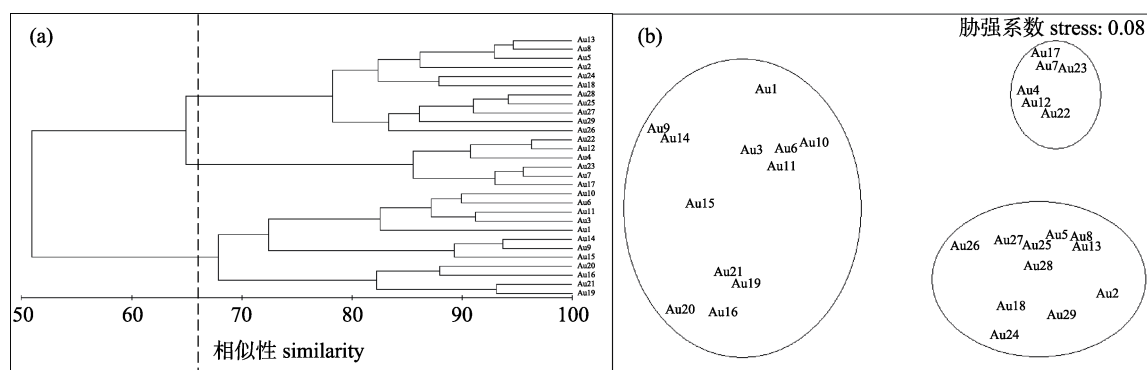


图 3 苏北浅滩秋季调查站位的聚类树状图(a)和 nMDS 排序(b)

Fig. 3 Charts of cluster analysis (a) and nMDS ordination analysis (b) of the sampling stations in Autumn

出, 春季胁强系数值为 0.05(图 2b), 秋季胁强系数值为 0.08(图 3b), 其数值均小于 0.10, 用 nMDS 的二维点图表示, 其图形有一定的解释意义^[17]。

2.2 不同群落鱼类种类数平面分布

春季, 西部近岸群落鱼类种类数最高值出现在 4 号和 22 号站位, 种类数为 3 种, 站位平均种类数为 1.83 种; 中部沙脊群落种类数最高值 6 种, 站位平均值为 4 种; 东部潮沟群落最高值出现在最东侧的 21 号站位, 种类为 8 种, 平均 5.45 种(图 4)。

秋季, 西部近岸群落最高值 5 种, 平均 4 种。中部沙脊海域最高值 6 种, 出现在中部沙脊海域的 2 号、24 号和 29 号站位, 群落平均值为 4.91 种; 东部潮沟群落站位最高种类数为 10 种, 出现在潮沟海域的 15 号站位, 邻近的 9 号和 14 号站位次之(8 种), 群落平均值为 5.5 种(图 4)。

综上所述, 春秋季鱼类种类数平均值显示东部潮沟 > 中部沙脊 > 西部近岸, 即东部潮沟群落鱼类种类数高于中部沙脊群落, 而沙脊海域又高于西部近岸海域。

2.3 不同群落鱼类适温性差异

春季, 西部近岸、中部沙脊和东部潮沟群落暖温种种类数分别为 1 种、4 种和 7 种, 西部近岸、中部沙脊和东部潮沟群落暖水种种类数分别为 2 种、7 种和 8 种(表 1), 暖温种、暖水种鱼类总种类数均表现为东部潮沟 > 中部沙脊 > 西部近岸。

秋季, 西部近岸、中部沙脊和东部潮沟暖温种种类数分别为 4 种、3 种和 3 种, 表现为西部近岸 > 中部沙脊 ≥ 东部潮沟, 而暖水种种类数分别为 8 种、8 种和 15 种(表 1), 表现为西部近岸 ≤ 中部沙脊 < 东部潮沟。

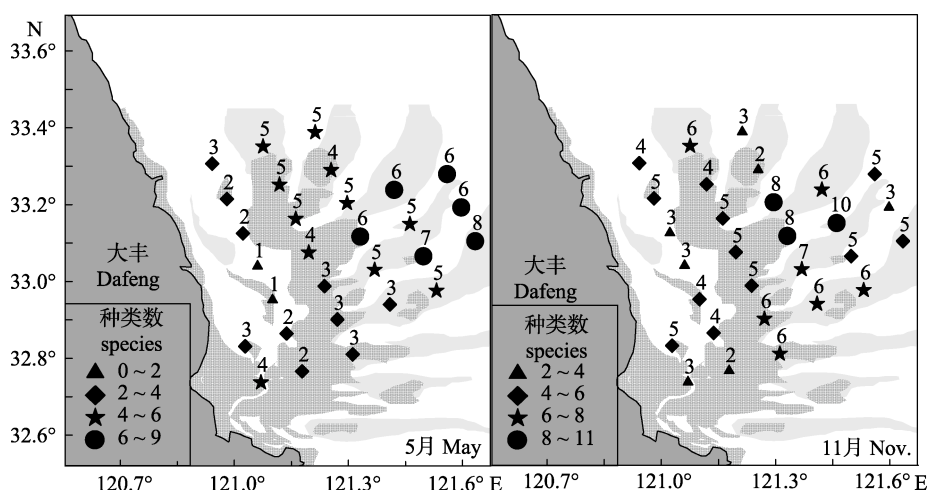


图 4 苏北浅滩不同群落鱼类种类数平面分布

Fig. 4 Distribution of species number of fishes in different communities of northern Jiangsu shoal

表 1 苏北浅滩不同群落种类数和密度分布

Tab. 1 Distribution of species number and individual of fishes in different communities of northern Jiangsu shoal

区域 area	种类 species			尾数密度 individual density		
	暖温种	暖水种	小计	暖温种	暖水种	小计
	warm-temperature species	warm-water species	total	warm-temperature species	warm-water species	total
春季 近岸 off-shore	1	2	3	3.45	1.14	4.59
spring 沙脊 sand ridge	4	7	11	26.71	15.88	42.59
潮沟 tidal creek	7	8	15	84.29	24.01	108.30
秋季 近岸 off-shore	4	8	12	5.26	38.93	44.19
autumn 沙脊 sand ridge	3	8	11	11.39	347.68	359.07
潮沟 tidal creek	3	15	18	17.06	52.50	69.56

从尾数密度来看, 春季 3 个群落均显示暖温种尾数密度大于暖水种, 潮沟海域表现更为明显, 暖水种尾数密度为 84.29×10^3 ind/km², 暖温种尾数密度为 24.01×10^3 ind/km², 且暖温种和暖水种尾数密度在 3 个群落间变现为东部潮沟 > 中部沙脊 > 西部近岸; 秋季 3 个群落中, 暖水种尾数密度远大于暖温种, 且中部沙脊暖水种尾数密度为 347.68×10^3 ind/km², 大于西部近岸和东部潮沟。暖温种尾数密度表现为东部潮沟 > 中部沙脊 > 西部近岸(表 1)。

2.4 不同群落鱼类多样性差异

春季, 西部近岸群落鱼类重量多样性指数范围为 0~1.11, 平均值为 0.51; 尾数多样性指数范围为 0~1.50, 平均值为 0.69。中部沙脊群落鱼类重量多样性指数范围为 0.26~1.89, 平均值为 1.19; 尾数多样性指数范围为 0.62~2.39, 平均值为 1.57。东部潮沟群落鱼类重量多样性指数范围为

1.03~2.39, 平均值为 1.57, 尾数多样性指数范围为 0.40~2.37, 平均值为 1.87(图 5)。

秋季, 西部近岸群落鱼类重量多样性指数范围为 0.25~2.19, 平均值为 1.02; 尾数多样性指数范围为 0.41~1.70, 平均值为 0.96。中部沙脊群落鱼类重量多样性指数范围为 0.16~2.16, 平均值为 0.92; 尾数多样性指数范围为 0.16~2.46, 平均值为 0.83。东部潮沟群落鱼类重量多样性指数范围为 0.06~2.82, 平均值为 1.54, 尾数多样性指数范围为 0.86~2.20, 平均值为 1.54(图 6)。

综上所述, 春季鱼类重量和尾数多样性指数在群落间表现为东部潮沟 > 中部沙脊 > 西部近岸; 而秋季多样性指数呈现出东部潮沟 > 西部近岸 > 中部沙脊的现象。

2.5 不同群落优势种的密度分布

按照群落划分, 统计所有鱼类在不同群落中单个站位尾数密度均值, 按照均值大小确定每个

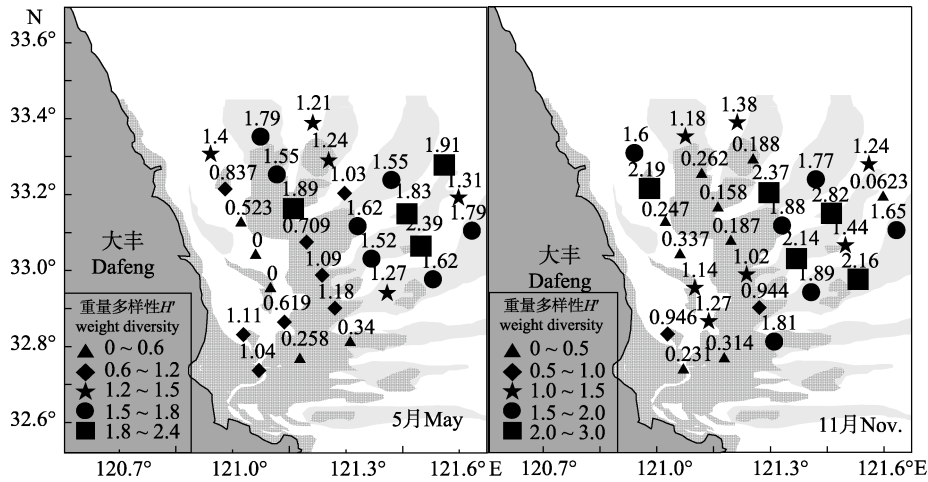


图 5 苏北浅滩不同群落鱼类重量多样性分布

Fig. 5 Distribution of weight diversity of fishes in different communities of northern Jiangsu shoal

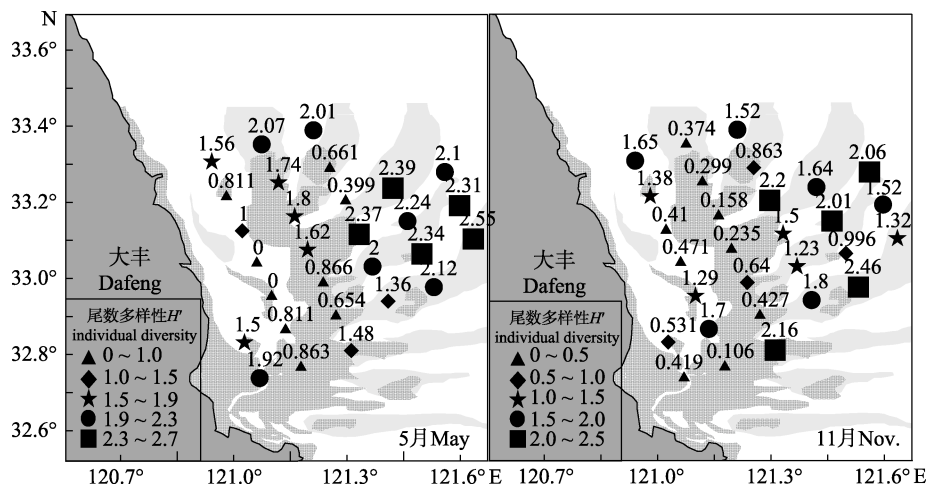


图 6 苏北浅滩不同群落鱼类尾数多样性分布

Fig. 6 Distribution of individual diversity of fishes in different communities of northern Jiangsu shoal

群落主要鱼类种类, 如表 2 所示。

春季, 西部近岸群落的主要鱼类有方氏锦鲷 (*Pholos fangi*)、凤鲚(*Coilia mystus*)和鲢鱼(*Müchthys miiuy*); 中部沙脊群落优势种主要由方氏锦鲷、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)和长吻红舌鲷(*Cynoglossus lighti*)组成; 而东部潮沟群落优势种除方氏锦鲷外, 还包括鲢鱼和小带鱼(*Eupleurogrammus muticus*)等洄游性鱼类。

秋季, 西部近岸优势种出现些许变化, 大银鱼(*Protosalanx chinensis*)取代了凤鲚成为该群落主要优势种; 中部沙脊群落鱼类主要由方氏锦鲷、大银鱼和康氏小公鱼(*Stolephorus commersonii*)组成; 东部潮沟群落主要优势种有大银鱼、尖海龙(*Syngnathus acus* Linnaeus)和康氏小公鱼, 沙脊海域鱼类总生物量最高(尾数密度单位: 10^3 ind/km²)。

3 讨论

3.1 沙脊潮沟水域群落结构划分

根据聚类结果, 苏北浅滩鱼类群落格局总体呈现出近海与外海, 沙脊与潮沟差异的格局。例如, 春秋季鱼类群落种类数均表现为潮沟群落大于沙脊群落, 秋季鱼类群落总尾数密度表现为沙脊海域大于潮沟海域。随着水深的变化, 春季暖水种和暖温种种类数自潮沟向近岸有逐渐较少的趋势; 由于地形因素和鱼类习性的影响, 秋季中部沙脊群落鱼类多样性均小于潮沟群落和西部近

表 2 苏北浅滩不同群落鱼类优势种的尾数密度

Tab. 2 Individual of dominant species of fishes in different communities of northern Jiangsu shoal

物种 species	春季 spring				秋季 autumn			
	近岸	off-shore	沙脊	sand ridge	潮沟	tidal creek	近岸	off-shore
方氏锦鲷 <i>Pholos fangi</i>	0.58		1.77		6.82		0.52	0.37
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	—		0.59		—		—	—
大银鱼 <i>Protosalanx chinensis</i>	—		—		—		5.58	30.56
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	0.08		—		—		—	—
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i> Linnaeus	—		—		—		—	1.29
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersonii</i>	—		—		—		—	0.45
长吻红舌鲷 <i>Cynoglossus lighti</i>	—		0.13		—		—	—
鲢鱼 <i>Müchthys miiuy</i>	0.12		—		0.57		0.46	—
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	—		—		0.23		—	—

注: “—”表示该种不是该季节的优势种或者未出现。

Note: “—”means the species was not presented, or not the dominant species of the season.

岸群落;同时,沙脊潮沟海域浮游生物等饵料的种类和数量差异,使得不同群落种类组成以及优势种的分布存在差异。如潮沟海域多为鲢和小带鱼等产卵性鱼类,而沙脊海域主要由赤鼻棱鲷、长吻红舌鲷和大银鱼等滤食性鱼类组成。

3.2 地形对不同群落种类数的影响

苏北浅滩沙脊潮沟海域水深差异明显,水流冲刷下形成独特的沙脊潮沟地形,由于受沙脊地形因素的影响,使得近岸、沙脊和潮沟不同水域鱼类种类数差异明显。

在西部近岸海域,由于受沙脊阻挡的影响,位于沙脊与潮间带浅滩之间的深槽,仅通过沟口北部与外海海区连通,属于半开放系统,多数鱼类不能越过沙脊到达此处,致使鱼类种类数和多样性指数总体上小于中部沙脊海域和东部潮沟海域。例如,春季西部近岸群落,鱼类种类数仅出现3种(图2),均低于中部沙脊群落以及东侧潮沟群落。

潮沟海域与沙脊海域相比较,在潮沟末端,由于沙脊地形的阻挡,多数鱼类停留在海底,致使潮沟海域种类数累积。故沙脊潮沟地形对群落种类数的影响可以引申为水深的大小对群落结构的影响。从苏北浅滩站位水深来看,水深最高处位于海域外侧16号站位,其数值为23 m;9号站位其次,数值为20 m。潮沟海域平均水深可达13.6 m。而在沙脊海域,水深范围为2.5~8.4 m,平均值仅为4.72 m。潮沟海域水深大于沙脊海域。从鱼类种类数来看,春季潮沟群落共出现鱼类达15种,而沙脊群落共出现鱼类11种;秋季潮沟群落共出现鱼类达18种,而沙脊群落共出现鱼类11种,潮沟群落均大于沙脊群落,沙脊潮沟水深的大小和群落种类数的分布相一致,平均水深越高,种类数越多。与此同时,徐捷对吕泗渔场鱼类生态结构和密度分布的研究发现,水深对鱼类种类数的分布均有不同程度的相关关系,季节呈现出沿岸一侧向外海移动有逐步增加的趋势^[7],即水深越高的海域,鱼类种类数越多。

综上所述,苏北浅滩西部近岸海域由于沙脊的阻挡和半开放的海域系统,鱼类种类数较少。而潮沟末端由于沙脊的阻挡,一部分鱼类停留在海底,使得潮沟海域种类数大于沙脊海域,即平

均水深较高的潮沟海域,种类数越多。

3.3 地形对不同群落多样性的影响

苏北浅滩属于强潮区,受潮沟系统的影响,潮流流速大于邻近海域,强大的潮流使得潮沟内呈冲刷状态,而水流较缓的沙脊呈淤积状态。不同水域鱼类多样性的变化与沙脊潮沟地形密切相关。

潮沟海域与外海相连,在水流的冲击作用下,离岸方向逐渐变宽,向岸方向逐渐变窄,鱼类随水流进入潮沟海域。春季,在潮沟沟口,鱼类活动区域范围广,且多为成年产卵性鱼类,同一站位鱼类数量分布均匀,因此多样性较高。而在潮沟末端,由于沙脊的阻挡和水流的冲击作用,致使大量鱼卵和幼鱼集中在此,使得某一站位鱼类重量密度和尾数密度分布不均匀,多样性数值降低,如潮沟末端9号站位多为方氏锦鲷幼体,该站位尾数多样性仅为0.399(图6)。而到了秋季,幼鱼生长成形,鲢鱼和小带鱼等洄游性鱼类开始游向外侧深海海域。而鲢鱼相比较于地方性鱼类,体型规格较大,因此在海域外侧,同一站位鱼类重量密度分布差异大,重量多样性降低。但整体上来看,潮沟海域种类数多,海域面积大,鱼类在群落站位间分布均匀,整体多样性高。

在沙脊海域,由于沙脊地形的阻挡,水深逐渐降低,相比于潮沟海域,鱼类的生活区域减少,同时,沙脊海域浑浊度高,多种鱼类选择集体觅食的方式,以减少不同种鱼类之间的食物竞争。春季,沙脊处主要鱼类分布均匀,鱼类数量相差不明显(表2),多样性和种类数表现相同,均高于近岸海域;秋季,沙脊海域主要鱼类大银鱼的尾数密度高达 $30.56 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$,鱼类重量密度和尾数密度远高于其他鱼类。大银鱼为无胃肉食性凶猛鱼类,食道之后即为直管道的肠,成年鱼食物以小型鱼虾类为主^[18],因此大大削弱了其他鱼类的食物竞争力,使得其他种类的鱼类向近岸或留在潮沟海域索饵生长,造成大银鱼在沙脊群落站位间优势度明显,从而出现了秋季沙脊海域鱼类多样性最低的现象。

综上所述,影响鱼类多样度数值的高低,一是种类数大小,二是同一站位不同种类重量和尾数之间的均匀性。在沙脊潮沟地形影响下,鱼类

种类数越多,密度分布越均匀,多样性越高。相反,多样性越低。

3.4 饵料对不同水域群落优势种分布的影响

优势种的分布与水域饵料的分布以及鱼类习性有一定的联系,不同种类和不同数量的饵料造成不同群落优势种的分布差异。

在潮沟海域,鱼类种类数最多,优势种多为底栖性鱼类。例如,春季,一方面由于潮沟末端遇到沙脊地形的阻挡的缘故,使得方氏锦鲷^[19]、鲢鱼和小带鱼等底栖性鱼类停留在沟底。其次,春季是鱼类产卵的季节,鲢鱼和小带鱼等洄游性鱼类洄游至此,在潮沟海域海水的刺激作用下,更有利于鱼类的产卵。而与此同时,康伟等^[2]对苏北浅滩海域浮游植物细胞丰度平面分布特征的研究表明,春季潮沟海域高于沙脊海域,特别是潮沟末端与沙脊结合部海域附近站位浮游生物丰度更高,从而为鲢鱼和小带鱼的产卵以及方氏锦鲷幼鱼的生长提供了丰富的饵料,使之成为春季潮沟海域主要的优势种。

在沙脊海域,鱼类种类数低于潮沟海域,且以滤食性鱼类为主。春季,鱼类主要由赤鼻棱鳀和长吻红舌鲷组成。而赤鼻棱鳀是典型的浮游动物滤食性鱼类,偏食大型桡足类和介形类^[20]。而田丰歌等^[3]对苏北浅滩大丰海域浮游动物研究发现,春季浮游动物以桡足类最占优势,其丰度占总丰度的 61.38%。而长吻红舌鲷为亚热带海水鱼,喜欢栖息在沙泥底质大陆棚底层水域^[21],以底栖性无脊椎动物为食。因此,丰富的饵料和优越的栖息环境使得赤鼻棱鳀和长吻红舌鲷成为沙脊海域主要的优势种。而到了秋季,沙脊海域浮游动物种类主要有真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、中华假磷虾(*Pseudeuphausia sinica*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和针刺拟哲水蚤(*Paracalanus aculeatus*),种类繁多,且丰度最高区位于沙脊海域^[22]。而大银鱼以浮游动物(桡足类为主)和小型鱼虾为食,生长速度较快。沙脊海域丰富的饵料环境使得大银鱼大量集中于此,其数量远高于西部近岸群落和东部潮沟群落。

综上所述,饵料的分布使得群落间优势种分布明显。潮沟海域由于沙脊的阻挡、水流的刺激

以及丰富的浮游植物饵料环境,鱼类以产卵性鱼类为主;沙脊海域,浮游动物饵料丰富,种类繁多,鱼类多为滤食性鱼类。

因此,苏北浅滩鱼类种类数、多样性指数和优势种的空间分布是划分群落结构相似性格局的主要依据。而造成这些元素的差异主要是苏北浅滩独特的地形条件、沙脊潮沟饵料的分布等居多因素的影响。

3.5 苏北浅滩群落结构差异的其他影响因素

除地形和饵料外,水温和盐度等环境因子也是影响群落结构的因素,随着水深的变化,水温和盐度也有所变化。在浅海海域,温度和盐度的梯度较大;而在深海海域,盐度的梯度较小,而温度和深度的梯度大,是决定群落变化的主要因素^[23]。因此在平均水深高、温度梯度大的东部潮沟群落,更适宜于多种鱼类生长,故潮沟群落暖温种和暖水种的种类数最多,如表 1 所示。与此同时,空间的物种更替和能量的流动以及长期的气候变化或特定年份的气候跃变,均有可能造成幼鱼阶段的死亡^[24]。因此,环境因子的细微变化均可对群落结构产生明显的影响。

除环境因素外,苏北浅滩鱼类种类减少,密度降低,与人为捕捞因素密不可分。长期以来,苏北浅滩渔业生产主要集中于沿岸、近海及浅海区域,即水深较浅的沿岸海域,渔业资源破坏越严重。随着科技的发展,捕捞方式越发多样化,加上对某种经济鱼类针对性的捕捞,使得群落结构恶化越发明显。如春季在苏北浅滩近岸群落,鱼类仅出现方氏锦鲷、凤鲚和鲢鱼 3 种鱼类。秋季,由于禁渔期的有效控制,鱼类种类有所回升。因此,经常性的监测有助于控制渔业捕捞,提高渔业资源的保护。

致谢: 康伟、柏育材、田丰歌等研究人员在海上采集样品,并对样品的处理做了大量的工作,谨致谢忱。另外,特别感谢沈晓民研究员在论文构思和写作过程中提供的极大帮助。

参考文献:

- [1] Yi J T, Liu W. Ecological conditions and analysis of Jiangsu shoal[J]. Ocean Development and Management, 2007(2):

- 85–87. [易俊掬, 刘炜. 苏北浅滩生态状况及分析[J]. 海洋开发与管理, 2007(2): 85–87.]
- [2] Kang W, Sun Y, Xu Z L, 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, 徐兆礼, 等. 苏北浅滩辐射沙洲海域浮游植物分布特征[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(5): 727–733.]
- [3] Tian F G, Xu Z L. Ecological characters of zooplankton in middle area of Jiangsu shoal in Spring and Summer[J]. Marine Environmental Science, 2011, 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[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(3): 316–320.]
- [4] Que J L, Ke C, Xu Z L, et al. Effects of topography and tidal current of sand ridge and tidal creek system in North Jiangsu shoal of East China on the distribution of shrimps[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(3): 661–667. [阙金龙, 柯昶, 徐兆礼, 等. 苏北浅滩沙脊潮沟地形和潮流对虾类分布的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 661–667.]
- [5] Gong X L, Zhang X Y, Zhu M, et al. Fish species composition and diversity in intertidal creek of Jiuduansha wetland in the Yangtze River estuary[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(4): 517–524. [龚小玲, 张晓懿, 朱敏, 等. 长江口九段沙湿地潮沟鱼类组成及其多样性[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4): 517–524.]
- [6] Jin B S. Temporal and spatial distribution patterns of fish diversity in Salt Marsh Creeks of the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Fudan University, 2010: 115–134. [金斌松. 长江口盐沼潮沟鱼类多样性时空分布格局[D]. 上海: 复旦大学, 2010: 115–134.]
- [7] Xu J, Wang C, Xu Z L, et al. On the seasonal quantitative changes of the fish resources in the south area of northern Jiangsu shoal[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 108–116. [徐捷, 王晨, 徐兆礼, 等. 苏北浅滩南部海域鱼类资源密度季节变化特征[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 108–116.]
- [8] Xu J, Sun Y, Xu Z L. Fish assembles in the coastal water of Lūsi fishing ground during Spring and Summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(1): 243–250. [徐捷, 孙岳, 徐兆礼. 吕泗渔场沿岸海域春夏季鱼类生态类群[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 243–250.]
- [9] Aschan M, Fossheim M, Greenacre M, et al. Change in fish community structure in the Barents Sea[J]. PloS ONE, 2013, 8(4): e62748.
- [10] Repečka R, Stankus S, Ložys L. Species composition and abundance of fish in shallow waters of the Lithuanian Coastal Zone in the Baltic Sea[J]. Acta Zool Lituanica, 2003, 13(2): 158–166.
- [11] Jovanovic B, Longmore C, O’Leary Á, et al. Fish community structure and distribution in a macro-tidal inshore habitat in the Irish Sea[J]. Estu Coast Shelf Sci, 2007, 75(1–2): 135–142.
- [12] Yellow Sea Fisheries Research Institute. Marine aquatic resources survey manual[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1981. [黄海水产研究所. 海洋水产资源调查手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.]
- [13] Zhan B Y. Fisheries Resource Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.]
- [14] Yang L, Zhang X F, Tan Y G, et al. Selectivity study on minimum mesh size of bottom trawl codend in South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(4): 325–333. [杨吝, 张旭丰, 谭永光, 等. 南海区拖网网囊最小网目尺寸选择性研究[J]. 中国水产科学, 2003, 10(4): 325–333.]
- [15] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fish Bull Calif Depart Fish Game, 1971, 152: 1–105.
- [16] Bray J R, Curtis J T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. Ecol Monogr, 1957, 27(4): 325–349.
- [17] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. Mar Ecol Prog, 2002, 239(1): 287–299.
- [18] Zhu C D. A preliminary study on growth and feeding habits of *Protosalanx chinensis* in Taihu[J]. Journal of Fisheries of China, 1985, 9(3): 275–287. [朱成德. 太湖大银鱼生长与食性的初步研究[J]. 水产学报, 1985, 9(3): 275–287.]
- [19] Lv Z B, Xu B Q, Li F, et al. Structure and distribution of fish resources in the Yellow Sea off Shandong during spring and autumn 2006[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1335–1342. [吕振波, 徐炳庆, 李凡, 等. 2006年春、秋季黄海山东海域鱼类资源结构与数量分布[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1335–1342.]
- [20] Guo X W, Tang Q S. Consumption and ecological conversion efficiency of *Thrisa kammalensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(5): 422–427. [郭学武, 唐启升. 赤鼻棱鳀的摄食与生态转换效率[J]. 水产学报, 2000, 24(5): 422–427.]
- [21] Wang X L, Xu B D, Ji Y P, et al. Fish community structure and its relationships with environmental factors in Haizhou Bay and adjacent waters of East China in winter[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(6): 1713–1714. [王小林, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1713–1714.]

- [22] He Q, Xu Z L, Wang C H, et al. Causal analysis of distribution pattern of zooplankton in radial sand ridge area of Ji-angsu shoal and Lvsu Fishing Ground[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(6): 846–858. [何群, 徐兆礼, 王翠华, 等. 辐射沙洲海域浮游动物特征和吕泗渔场的成因分析[J]. 水产学报, 2015, 39(6): 846–858.]
- [23] Qiu Y S. The regional changes of fish community on the northern continental shelf of South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1988, 12(4): 303–313. [邱永松. 南海北部大陆架鱼类群落的区域性变化[J]. 水产学报, 1988, 12(4): 303–313.]
- [24] Planque B, Frédou T. Temperature and the recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. Can J Fish Aqu Sci, 1999, 56(11): 2069–2077.

Analysis of different spatial fish communities in a sand ridge and tidal creek system in the central North Jiangsu shoal, China

YAN Tailiang^{1,2}, XU Zhaoli¹

1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China;
2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: We analyzed data from the investigation of fishery resources in Dafeng, off the north coastal waters of Jiangsu Province, east of China, to examine the community structure and influences upon it. Cluster analysis was used to divide the community structure based on the spatial distribution of species composition, diversity and dominant species. We found that during the spring (May) and autumn (November) the coastal water fishes in the northern Jiangsu shoal could be classified into three communities: the coastal waters to the west of the sand ridge; the sea of the central sand ridge; and the tidal creek. The difference in fish community structure was also demonstrated by the total number of fish species in spring [tidal creek (15)>sand ridge (11)>coastal (3)]; and autumn [(tidal creek (18)>coastal (12)>sand ridge (11)]. There was a similar diversity index in spring [tidal creek (1.57,1.89), sand ridge (1.19,1.57)>coastal (0.51,0.69)]; and autumn [tidal creek (1.54,1.54)>coastal (1.02,0.96)>sand ridge (0.92,0.83)]. The tidal creek and open sea are adjacent, so the sand ridge obstructs the sea fish in moving offshore when encountering the end of the tidal creek and makes the benthic fishes stay at the bottom of the ditch which render the accumulation of species, diversity increasing. The spatial distribution of dominant species shows that tidal creek species are mostly *Pholos fangi*, *Miichthys miiuy*, *Eupleurogrammus muticus* and other spawning fishes; the sand ridge mostly consists of *Thryssa kammalensis*, *Protosalanx chinensis* and other filter-feeding fishes. We conclude that the community structure of fishes in the sandy ridge and tidal creek in the northern Jiangsu shoal varies, and that topographic changes and environmental change caused by the terrain are the main reasons for this. Using the topography of the tidal creek and sand ridge is an advance that not only focuses on the environmental factors influencing fish community structure changes, but also provides a reliable basis for the management and conservation of fisheries in Subei shoal.

Key words: North Jiangsu shoal; sand ridges; tidal creek; fish diversity; dominant species; topography effect; bait

Corresponding author: XU Zhaoli. E-mail: xiaomin1957@126.com