



大陈洋产卵场保护区鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系

芮银^{1,2}, 蒋日进^{2*}, 王好学², 栾会妮³,
印瑞², 朱玉丹^{1,2}, 张琳琳²

(1. 浙江海洋大学海洋与渔业研究所, 浙江 舟山 316021;

2. 浙江省海洋水产研究所, 农业农村部重点渔场渔业资源科学观测实验站,

浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021;

3. 威海海洋职业学院, 山东 荣成 264300)

摘要: 为了解大陈洋产卵场保护区的保护效果, 基于2018年4月(春季)和11月(秋季)在大陈洋产卵场保护区的渔业资源调查数据, 利用相对重要性指数(IRI)、多样性分析、聚类分析和典范对应分析(CCA)等方法, 对该海域鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系进行了相关分析。结果显示, 共捕获鱼类83种, 隶属于9目51科, 其中优势种鱼类2种, 重要种18种, 隶属于5目11科, 优势种为六丝钝尾虾虎鱼和龙头鱼。等级聚类(CLUSTER)和非度量多维测度(NMDS)分析表明, 春、秋季鱼类群落在空间上均可分为3组, 且群落组间差异显著, 龙头鱼、七星底灯鱼、赤鼻棱鳃等是影响群落结构季节变化的主要分歧种。ABC曲线分析表明, 春季鱼类群落受到中度干扰($W=0.027$); 秋季鱼类群落处于较为严重干扰状态($W=-0.185$)。典范对应(CCA)分析表明, 水深、温度和盐度为影响该海域鱼类种类组成及群落结构时空变化的重要海洋理化因子。与2015年和2017年同期资源量相比, 2018年11月生物量和丰度均大幅增加。研究表明, 保护区的建立对渔业资源恢复起到了一定的保护作用, 但想要将海洋资源恢复到理想状态, 需要进行长久的资源保护。

关键词: 产卵场保护区; 群落结构; 典范对应分析; 年际比较; 大陈洋

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

鱼类作为海洋生态系统中的重要组成部分, 是人类对高蛋白食物需求的重要来源^[1], 促进了海洋生态系统的能量流动和物质转换, 其群落结构的稳定性在一定程度上反映了海洋生态系统的健康度。近年来, 由于过度捕捞^[2-4]和环境污染^[5-6]等的影响, 东海海洋生态环境恶化, 生态系统受损严重。为了修复渔业资源, 2017年原浙江省海洋与渔业局设立了大陈洋产卵场保护区等10

个产卵场保护区, 保护区内严格遵守禁渔制度, 加强保护区的巡查管护, 组织开展生境修复。

大陈洋产卵场保护区位于浙江中部台州湾东南海域, 处于我国重要渔场“大陈渔场”的核心部位, 有着特殊的自然资源优势和区位优势, 也是重要经济鱼类大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、带鱼(*Trichiurus lepturus*)和小黄鱼(*L. polyactis*)等生长、索饵和繁殖的重要场所^[7]。在产卵场鱼类群落生

收稿日期: 2020-09-27 修回日期: 2021-04-13

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0900903); 浙江省公益性技术应用研究项目(LGN20C190012); 浙江省重点研发计划项目(2019C02056); 大陈洋产卵场保护区资源监测及养护效果服务采购项目

第一作者: 芮银(照片), 从事渔业资源养护与利用研究, E-mail: 1923761994@qq.com

通信作者: 蒋日进, 从事鱼类早期生活史研究, E-mail: jiangridge@163.com



态学方面,王易帆等^[8]对阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)资源丰度预测模型进行了研究。于金珍等^[9]研究了渤海鳀(*Engraulis japonicus*)产卵场关键影响因素识别及变迁预测。而浙江沿岸的产卵场鱼类资源现状在马鞍列岛^[10]、岱衢洋^[11]、韭山列岛^[12]以及七星列岛海域^[13]等已有相关研究报道,但迄今尚无针对大陈洋产卵场保护区鱼类资源现状的相关研究报道。

为了对大陈洋产卵场保护区的建设效果进行评估,本研究分别于2018年4月和11月在大陈洋产卵场保护区进行了2个季节的渔业资源和环境调查,并对比了2015年和2017年同期该海域的资源量状况。采用ABC曲线、聚类分析和典范对应分析(CCA)相结合的方法,分析了大陈洋产卵场保护区鱼类的种类组成和优势种、群落结构组成及其物种多样性等,旨在为浙江近岸渔业资源的保护和可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

依据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)^[14],于2018年4月(春季)和2018年11月(秋季)在大陈洋产卵场保护区进行渔业资源调查,调查范围为28.3°~28.6°N,121.8°~122.5°E,共设置15个站位(图1),调查船为浙普渔43055#,网具为有翼单囊底拖网,网口周长50 m、网身长48 m、下纲长37 m、上纲长30 m、囊网网目尺寸为24 mm,每站位拖网时长约0.5 h,拖速约3 kn/h。采用多功能水质监测仪(JFE-AAQ171)同步调查各站位水深、温度、盐度、溶解氧和浑浊度等环境数据。所采集渔获物参照《东海鱼类志》^[15]和《中国海洋生物名录》^[16]等文献进行分类鉴定、计数和测量体质量(精确到0.1 g)。

1.2 数据分析

优势种采用Pinkas^[17]相对重要性指数,计算公式:

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

式中, N 表示某一物种尾数占所有物种总尾数的百分比, W 表示某一物种体质量占所有物种体质量的百分比, F 表示某一物种在调查中出现的站位数占总站位数的百分比($IRI > 1\ 000$,为优势种; $1\ 000 > IRI > 100$,为重要种; $100 > IRI > 10$,为常见

种)。为减少罕见种对结果的影响,以下所有数据处理的方法均采用 $IRI > 100$ 的种类。

在进行聚类分析前,对鱼类原始数据进行对数转换,使其更接近正态分布^[18]。对大陈洋产卵场保护区春秋两季鱼类群落进行等级聚类(CLUSTER)和非度量多维测度(NMDS)分析,应用单因子相似性分析法(ANOSIM)研究不同站位群落结构差异的显著性,应用相似性百分比法(SIMPER)分析鱼类对站位组内的相似性和组间相异性贡献率^[19]。

用数量生物量比较曲线表示调查海域鱼类群落的稳定性,主要通过二者与坐标轴所围面积的差值表示海域群落受到的扰动情况(W 值)。生物量曲线位于丰度曲线上方时, W 为正值,表明鱼类群落未受扰动;两曲线接近或出现部分相交时, W 接近0,表明鱼类群落受到中度干扰;生物量曲线位于丰度曲线下方时, W 为负值,表明鱼类群落遭受严重扰动,处于不稳定状态^[20]。

将鱼类丰度与表层水温、底层水温、水深、表层盐度、底层盐度、溶解氧、叶绿素 a 和浑浊度等8个环境变量进行CCA排序,通过蒙特-卡洛置换检验从中筛选出对群落有显著影响的环境变量,并作出鱼类组成与环境因子关系的二维排序图^[21-22]。

用单因素方差分析方法,对2015年、2017年和2018年全部种类和保护种的资源量进行差异性分析,2015年和2017年调查站点和网具均与2018年相同。 $P < 0.05$ 表示有显著差异。

本研究中,鱼类群落结构聚类分析、非度量多维测度分析和ABC曲线分析使用PRIMER 5.0软件;CCA二维排序图使用CANOCO 5软件;调查站位图使用Arcgis 10.2软件;资源密度和生物量计算使用Excel 2010软件。

2 结果

2.1 种类组成和IRI

2018年春秋两季共采集到鱼类83种,隶属于9目51科,除光鲷(*Dasyatis laevis*)为软骨鱼类外,其余82种皆为硬骨鱼类。优势种为龙头鱼(*Harpodon nehereus*)和六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)2种,重要鱼类为黄鲫(*Setipinna taty*)、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)和七星底灯鱼(*Benthosema pterotum*)等18种。

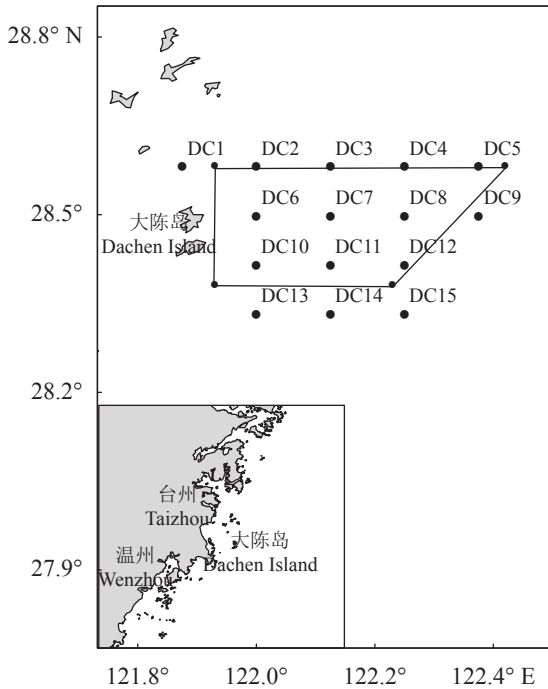


图 1 大陈洋产卵场保护区渔业资源调查站位

Fig. 1 Fishery resources investigation station in Dachenyang spawning ground reserve

春季优势种为龙头鱼和六丝钝尾虾虎鱼, 重要种为黄鲫、赤鼻棱鲉和皮氏叫姑鱼 (*Johnius belangerii*) 等 11 种。秋季优势种为龙头鱼, 重要种为黄鲫、赤鼻棱鲉和七星底灯鱼等 11 种 (表 1)。

2.2 鱼类群落结构分析

对春季鱼类群落进行的 CLUSTER 和 NMDS 进行分析, 鱼类在 15 个站位的分布在 40% 的相似性水平上可以分为 3 组, ANOSIM 组间相似性分析表明, 鱼类群落物种组成在不同站位组间均存在显著差异 ($R=0.783$, $P<0.05$) (图 2)。

春季各群落间的平均相异性贡献之和占 90% 以上的分歧种及其贡献率见表 2。群落 I 和群落 II 的平均相异性为 65.43%, 主要分歧种为龙头鱼、矛尾虾虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*) 和赤鼻棱鲉等 9 种; 群落 I 和群落 III 的平均相异性为 72.35%, 主要分歧种为七星底灯鱼、龙头鱼和矛尾虾虎鱼等 9 种; 群落 III 和群落 II 的平均相异性为 83.81%, 主要分歧种为七星底灯鱼、龙头鱼和矛尾虾虎鱼等 8 种。

对秋季鱼类群落进行的 CLUSTER 和 NMDS 分析见图 3。鱼类在 15 个站位的分布在 48% 的相似性水平上可以分为 3 组。ANOSIM 组间相似性分析表明, 鱼类群落物种组成在不同站位组间均

存在显著差异 ($R=0.958$) ($P<0.05$)。

秋季各群落间的平均相异性贡献之和占 90% 以上的分歧种及其贡献率见表 2。群落 I 和群落 II 的平均相异性为 71.89%, 主要分歧种为龙头鱼、小黄鱼和赤鼻棱鲉等 9 种; 群落 I 和群落 III 的平均相异性为 74.89%, 主要分歧种为七星底灯鱼、龙头鱼和带鱼等 9 种; 群落 III 和群落 II 的平均相异性为 76.22%, 主要分歧种为龙头鱼、细条天竺鲷 (*Apogon lineatus*) 和鳞鳍叫姑鱼 (*Johnius distincta*) 等 8 种。

2.3 ABC 曲线特征

大陈洋产卵场保护区主要鱼类群落丰度/生物量比较, 两季的群落受干扰程度见图 4 和图 5。春季 W 值为 0.027, 接近于 0, 表明均处于中等程度干扰状态。秋季 W 值为 -0.185, 小于 0, 表明受干扰程度更严重更大。同时, 秋季的丰度曲线在生物量曲线之上, 也表明鱼类体型较小。

2.4 群落与环境因子间的 CCA 分析

春季, CCA 排序图显示, 鱼类在盐度、温度、溶解氧、浑浊度和水深等环境维度上存在生态分化现象 (图 6)。龙头鱼、棘头梅童鱼 (*Collichthys lucidus*) 和中华栉孔虾虎鱼 (*Ctenotrypauchen chinensis*) 等受表温和叶绿素 a 影响最大, 主要分布在叶绿素 a 和表温较高的水域; 黄鲫、七星底灯鱼和矛尾虾虎鱼等受深度和溶解氧影响最大, 主要分布在溶解氧高和较深的水域。

秋季, CCA 排序图显示, 鱼类在盐度、温度、溶解氧、浑浊度和水深等环境维度上存在生态分化现象 (图 7)。黄鲫、七星底灯鱼和带鱼等受溶解氧影响最大, 主要分布在溶解氧较高的水域; 赤鼻棱鲉、鳞鳍叫姑鱼和细条天竺鲷等受叶绿素 a 影响最大, 主要分布在叶绿素含量较高的水域。尖头黄鳍牙鲷 (*Chrysochir aureus*) 等表层温度和表层盐度影响较大, 主要分布在温度和盐度较高的水域 (表 3, 表 4)。

2.5 年际变化

2015—2018 年的 4 月丰度变化趋势为先下降再上升, 生物量变化趋势为逐年降低, 2018 年 4 月丰度和 2017 年 4 月相比增幅为 45.41%, 生物量下降 19.45%; 2018 年 11 月的丰度和生物量较前两年同期明显上升。11 月, 2018 年和 2017 年相比, 丰度和生物量增幅分别为 939.9% 和 710.4%

表1 大陈洋产卵场保护区春秋季节鱼类种类组成及相对重要性指数

Tab. 1 Fish species composition and relative importance index in spring and autumn in Dachenyang spawning ground reserve

种类 species	相对重要性指数 IRI		适温性 thermo- phily	种类 species	相对重要性指数 IRI		适温性 thermo- phily
	秋季 autumn	春季 spring			秋季 autumn	春季 spring	
鲭形目 Myliobatiformes				石首鱼科 Sciaenidae			
缸科 Dasytidae				小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	258.12	87.21	WT
光缸 <i>Dasyatis laevigatus</i>	6.24			鳎 <i>Miichthys miiuy</i>	101.03	22.87	WT
鲱形目 Clupeiformes				鳎科 Leiognathidae			
鲱科 Clupidae				鹿斑鳎 <i>Leiognathus ruconius</i>	1.57		
斑鲈 <i>Konosirus punctatus</i>		0.71		石鲈科 Pomadasysidae			
锯腹鳎科 Pristigasteridae				横带髯鳎 <i>Haploxygnathys mucronatus</i>	0.77		
鳎 <i>Ilisha elongata</i>	1.77	0.30		鲷科 Theraponidae			
鯧科 Engraulidae				细鳞鲷 <i>Terapon jarbua</i>	0.13		
鯧 <i>Engraulis japonicus</i>	4.08			羊鱼科 Mullidae			
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	207.49	138.23	WW	条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	0.13		
中颌棱鯧 <i>Thryssa mystax</i>		3.21		赤刀鱼科 Cepolidae			
赤鼻棱鯧 <i>Thryssa kammalensis</i>	157.36	131.63	WT	克氏棘赤刀鱼 <i>Acanthocephala krusensternii</i>		0.36	
凤鲆 <i>Coilia mystus</i>	1.86	51.54		唇指鲷科 Cheilodactylidae			
刀鲆 <i>Coilia nasus</i>	8.36	17.74		素尾鹰鲷 <i>Goniistius quadricornis</i>		0.12	
鲑形目 Silluriformes				拟鲈科 Paraperidae			
海鲈科 Ariidae				六带拟鲈 <i>Paraperca sexfasciatus</i>	0.51		
中华海鲈 <i>Arius sinensis</i>	0.21			鲷科 Uranoscopidae			
灯笼鱼目 Myctophiformes				日本鲷 <i>Uranoscopus japonicus</i>	0.18		
狗母鱼科 Synodontidae				鳄齿鲷科 Champsodontidae			
长蛇鲷 <i>Saurida elongata</i>		0.39		鳄齿鱼 <i>Champsodon capensis</i>		5.77	
多齿蛇鲷 <i>Saurida tumbil</i>		7.60		绵鲷科 Zoarcidae			
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	11840.41	7692.40	WW	长绵鲷 <i>Zoarcis elongatus</i>		0.65	
灯笼鱼科 Myctophidae				带鱼科 Trichiuridae			
七星底灯鱼 <i>Benthoosema pterotum</i>	706.65	362.69	WT	小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	1.10		
鳗鲡目 Anguilliformes				带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>	519.03	15.97	WW
蛇鳗科 Ophichthyidae				鲷科 Scombridae			
食蟹豆齿鳗 <i>Pisodonophis cancrivorus</i>	1.06	2.60		日本鲷 <i>Scomber japonicus</i>	1.92		
杂食豆齿鳗 <i>Pisodonophis boro</i>		0.94		鲷科 Stromateidae			
海鳗科 Muraenidae				银鲷 <i>Pampus argenteus</i>	65.98	8.57	
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	41.44	84.52		长鲷科 Centrolophidae			
康吉鳗科 Congridae				刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	192.90		
星康吉鳗 <i>Conger myriaster</i>	0.14			虾虎鱼科 Gobiidae			
黑尾吻鳗 <i>Rhynchoconger ectenurus</i>	1.34	6.06		六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	7.55	1221.91	WT
短尾吻鳗 <i>Rhynchoconger brevirostris</i>	5.47			矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	55.88	635.43	WT
前肛鳗科 Dysommidae				鳗虾虎鱼科 Taenioididae			
前肛鳗 <i>Dysomma anguillar</i>	2.29	80.74		中华栉孔虾虎鱼 <i>Ctenotrypauchen chinensis</i>	37.60	329.96	WT
鳕形目 Gadiformes				拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	6.70	161.76	WW
犀鳕科 Bregmacerotidae				鲷形目 Scorpaeniformes			
麦氏犀鳕 <i>Bregmaceros maclellandii</i>	0.36	12.24		鲷科 Scorpaenidae			
长尾鳕科 Macrouridae				褐菖鲈 <i>Sebastes marmoratus</i>		2.73	
多棘腔吻鳕 <i>Coelorinchus multispinulosus</i>		0.09		锯棱短鳍蓑鲈 <i>Brachypterois serrulatus</i>		0.94	

· 续表 1 ·

种类 species	相对重要性指数 IRI		适温性 thermo- phily	种类 species	相对重要性指数 IRI		适温性 thermo- phily
	秋季 autumn	春季 spring			秋季 autumn	春季 spring	
月鱼目 Lampridiformes				鲂鲂科 Triglidae			
海龙科 Syngnathidae				翼红娘鱼 <i>Lepidotrigla alata</i>	0.26	5.17	
舒氏海龙 <i>Syngnathus schlegeli</i>		7.12		小眼绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	8.74	224.83	WW
鲷形目 Mugiliformes				绒皮鲷科 Aploactidae			
鲷科 Mugilidae				虹鲷 <i>Erisphex pottii</i>		86.35	
鲃 <i>Liza haematocheilus</i>	1.23			毒鲷科 Synanceidae			
马鲛科 Polynemidae				单指虎鲷 <i>Minous monodactylus</i>	0.03		
黑斑多指马鲛 <i>Polydactylus sextarius</i>	0.12			红鲷科 Bembridae			
鲈形目 Perciformes				日本红鲷 <i>Bembras japonicus</i>	0.08		
鲷科 Serranidae				鲽形目 Pleuronectiformes			
花鲈 <i>Lateolabrax japonicus</i>		12.94		牙鲆科 Paralichthyidae			
发光鲷科 Acropomatidae				五眼斑鲆 <i>Pseudorhombus pentophthalmus</i>	0.11	15.45	
日本发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	2.83	0.97		鲷科 Soleidae			
大眼鲷科 Priacanthidae				日本条鲷 <i>Zebrias japonicus</i>		0.67	
短尾大眼鲷 <i>Priacanthus macracanthus</i>	0.07			带纹条鲷 <i>Zebrias zebra</i>	0.69	2.70	
天竺鲷科 Apogonidae				舌鲷科 Cynoglossidae			
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	481.59	25.51	WW	宽体舌鲷 <i>Cynoglossoides robustus</i>	8.59	185.84	WT
鲷科 Sillaginidae				断线舌鲷 <i>Cynoglossus interruptus</i>		56.31	
少鳞鲷 <i>Sillago japonica</i>		1.05		焦氏舌鲷 <i>Cynoglossus joynerii</i>		1.20	
多鳞鲷 <i>Sillago sihama</i>		0.50		长吻红舌鲷 <i>Cynoglossus lighti</i>	0.45	140.97	WT
鲷科 Carangidae				短吻三线舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>	3.54	2.87	
日本竹筴鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	10.48			鲈形目 Tetraodontiformes			
蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>	84.89			单角革鲷科 Monacanthidae			
石首鱼科 Sciaenidae				丝背细鳞鲷 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	0.36		
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	94.47	436.42	WW	鲷科 Tetraodontidae			
鳞鳍叫姑鱼 <i>Johnius distincta</i>	194.41		WW	棕腹刺鲷 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	6.67		
尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysochir aureus</i>	282.08		WT	黄鳍东方鲷 <i>Takifugu xanthopterus</i>	3.17		
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	71.89	55.71		鲈形目 Lophiiformes			
黑姑鱼 <i>Atrubucca nibe</i>	0.83			鲈科 Lophiidae			
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	0.6	19.38		黑鲈 <i>Lophiomus setigerus</i>		4.99	
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	224.89	561.02	WT	躄鱼科 Antennariidae			
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	10.90			斑条躄鱼 <i>Antennarius striatus</i>	3.36		

注: WW. 暖水种, WT. 暖温带种

Notes: WW. warm water species, WT. warm temperate species

(表 5)。经单因素方差分析, 全部种类生物量和丰度的年际变化无显著差异 ($P>0.05$)。

大陈洋产卵场保护区保护种为带鱼、小黄鱼、大黄鱼和银鲳 (*Pampus argenteus*), 2018 年 11 月各保护种生物量最高。4 月, 大黄鱼、带鱼和银鲳的生物量年际变化先增加后减少, 小黄鱼呈递减趋势; 11 月, 大黄鱼的生物量年际变化呈递减趋势, 小黄鱼和带鱼在 2018 年大幅增加, 仅在 2018 年的 11 月采集到银鲳 (图 8)。经单因素方差分析, 4 个保护种生物量和丰度的年际变化无显

著差异 ($P>0.05$), 但 2018 年 11 月各保护种的资源量与其他月份有显著差异 ($P<0.05$) (表 6)。

3 讨论

3.1 种类组成与优势种

大陈洋产卵场保护区捕获的鱼类重要种中, 春季暖温带种占 61.54%, 其他为暖水种; 秋季暖温带种占 75%, 其他为暖水种; 春季鱼类的暖温带种少于秋季, 暖水种多于秋季, 可能是由于大陈洋产

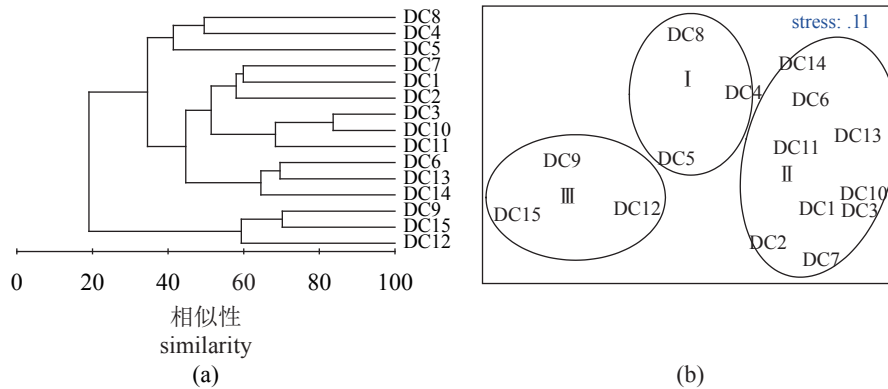


图 2 大陈洋产卵场保护区春季站位的聚类分析 (a) 和 NMDS 排序图 (b)
Fig. 2 Group average clustering (a) and NMDS ordination (b) of stations in Dachenyang spawning ground reserve in spring

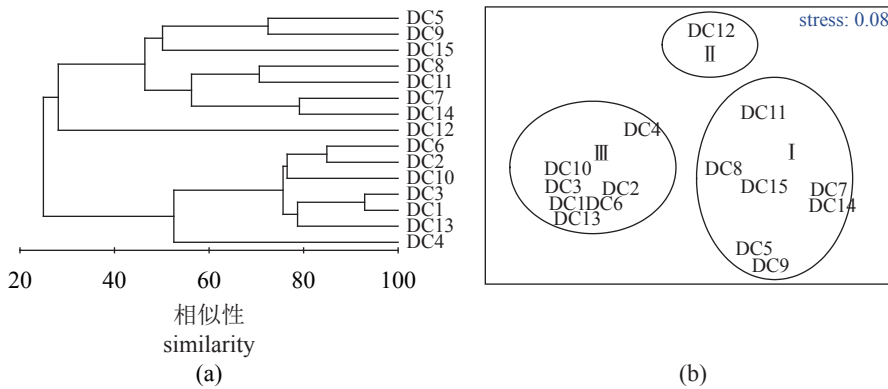


图 3 大陈洋产卵场保护区秋季站位的聚类分析和 NMDS 排序图
Fig. 3 Group average clustering (c) and NMDS ordination (d) of stations in Dachenyang spawning ground reserve in autumn

卵场保护区属于亚热带海洋性季风气候，且受浙江沿岸流和台湾暖流的影响^[23]，因此该海域的鱼类为暖水种和暖温种两种。

优势种是影响鱼类群落特征的因素之一，其种类变化对群落种类组成、能量流动和物质循环有一定的影响^[24]。春季鱼类优势种为龙头鱼和六丝钝尾虾虎鱼，秋季鱼类优势种为龙头鱼。龙头鱼是以鱼、虾、蟹及头足类等为主食的肉食性鱼类，该海域龙头鱼数量较多，这与杨星星等^[25]对浙江南部龙头鱼数量分布调查研究结果相似。本次调查中六丝钝尾虾虎鱼尾数比重占总数比例较大，为 19.64%，六丝钝尾虾虎鱼的产卵期为 4—5 月且主要分布在近岸海域，这与韩东燕等^[26]对胶州湾六丝钝尾虾虎鱼的摄食生态特征研究结果一致。20 世纪八九十年代浙江南部以带鱼、小黄鱼和大黄鱼等经济型鱼类居多，现在已经变成龙头鱼和六丝钝尾虾虎鱼等低值饵料型鱼类居多^[27]。不同研究中调查时间、站位设计和网具等有一定

差异，采样结果会有所不同，但物种组成的剧烈变化在一定程度上能够反映出近几十年来东海鱼类种类数减少且大个体、高营养级的物种数量极少，渔业资源已严重衰退^[28]。这是由于长期的过度捕捞、污染等人为因素导致一部分的优质鱼类资源衰减甚至枯竭，鱼类的生境条件遭到破坏，导致一部分种类地理分布范围退化、缩小^[29]。

3.2 鱼类群落结构特征

聚类和排序分析结果显示，鱼类的群落结构季节变化显著。春季，优势种龙头鱼主要分布在组 II 站位中，六丝钝尾虾虎鱼主要分布在组 I 站位中；七星底灯鱼为群落间主要分歧种，主要分布在组 III 站位中。秋季，优势种龙头鱼主要分布在组 III 站位中。细条天竺鲷为群落间主要分歧种，主要分布在组 I 站位中。龙头鱼不仅为两季共同优势种，也是两季共有的群落间主要分歧种。由此可见，组间的分歧种一定程度上是群落的优势种，鱼类群落结构的特征可能是由于站位组的优

表 2 大陈洋产卵场保护区鱼类各群落之间平均相异性贡献率之和占 90% 以上的分歧种

Tab. 2 Divergent species with more than 90% of the sum of the mean dissimilarity contribution among fish communities in the Dachangyang spawning ground reserve

种类 species	春季 spring						秋季 autumn					
	I~II A _d =65.43%		I~III A _d =72.35%		II~III A _d =83.81%		I~II A _d =71.89%		I~III A _d =74.89%		II~III A _d =76.22%	
	A	C/%	A	C/%	A	C/%	A	C/%	A	C/%	A	C/%
七星底灯鱼 <i>B. pterotum</i>			24.2	33.5	24.6	29.4	4.7	6.5	11.7	15.6		
龙头鱼 <i>H. nehereus</i>	12.1	18.6	5.6	7.8	17.7	21.1	8.8	12.3	17.2	22.9	3.4	4.5
矛尾虾虎鱼 <i>C. stigmatias</i>	6.7	10.3	4.8	6.6	7.5	8.9						
六丝钝尾虾虎鱼 <i>A. hexanema</i>	11.4	17.4	9.6	13.3	5.5	6.6						
小眼绿鳍鱼 <i>C. spinosus</i>	6.1	9.3	4.8	6.6	4.8	5.7						
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>					4.4	5.3			7.5	10.0		
中华栉孔虾虎鱼 <i>C. chinensis</i>	3.5	5.4			4.31	5.14						
赤鼻棱鯧 <i>T. kammalensis</i>	4.7	7.2	3.3	4.5	3.1	3.6	10.9	15.2			12.1	15.9
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>O. lacepedi</i>	4.3	6.5	4.6	6.3								
皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i>	5.7	8.6	5.0	6.9								
长吻红舌鲷 <i>C. lighti</i>	4.7	7.2	5.1	7.1								
细条天竺鲷 <i>A. lineatus</i>							7.7	10.7	12.6	16.8	12.9	16.9
鳞鳍叫姑鱼 <i>J. distincta</i>							7.7	10.7	5.1	6.1	10.3	13.6
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>							8.8	12.2	4.5	6.1	10.8	14.2
带鱼 <i>T. lepturus</i>									4.1	5.5		
刺鲳 <i>P. anomala</i>							7.3	10.1	3.3	4.4	8.9	11.7
黄鲫 <i>S. taty</i>									3.2	4.3		
鲞 <i>M. miuy</i>							6.2	8.6			6.7	8.8
尖头黄鳍牙鲷 <i>C. aureus</i>							6.7	9.4			6.5	8.6

注: A_d. 种群的平均差异性; A. 物种的平均差异性; C. 贡献率
Notes: A_d. population average dissimilarity; A. average dissimilarity; C. contribution

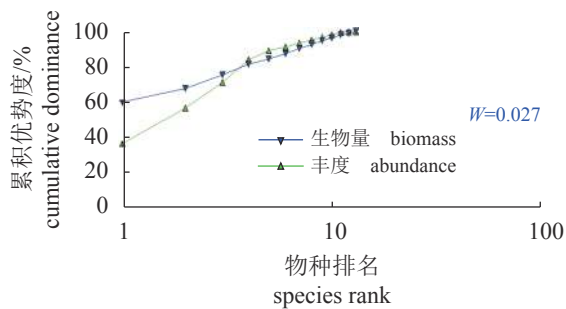


图 4 大陈洋产卵场保护区春季鱼类群落 ABC 曲线及 W 统计值

Fig. 4 ABC curve and W value of fish community of Dachenyang spawning ground reserve in spring

物种组成和数量相对变化造成的, 王小林等^[30]对海州湾及邻近海域冬季鱼类群落结构的研究也得出相似结论。

Blanchard 等^[31]则认为鱼类群落中 ABC 曲线特征反映了群落中大型种类和小型种类相对数量

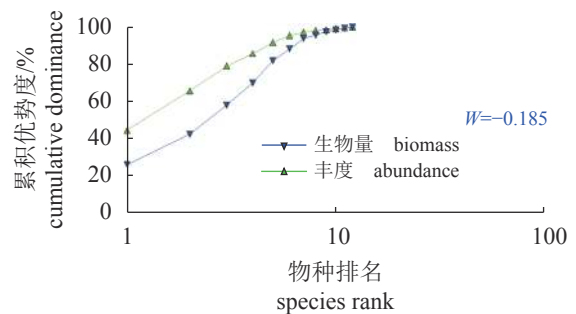


图 5 大陈洋产卵场保护区秋季鱼类群落 ABC 曲线及 W 统计值

Fig. 5 ABC curve and W value of fish community of Dachenyang spawning ground reserve in autumn

的变化以及个体大小组成的变化。本次秋季鱼类的丰度优势度曲线位于生物量优势度曲线上方, 一方面表明大陈岛东部海域秋季的鱼类群落处于严重干扰的状态, 其原因可能是该海域受人为因素的影响较大, 如过度捕捞和海洋环境污染等,

表 3 春、秋季鱼类群落环境因子与 CCA 环境轴的相关性

Tab. 3 Correlation between environmental factors of fish communities and CCA environmental axis between spring and autumn

环境因子 environmental factor	春季 spring		秋季 autumn	
	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2
D	-0.0361	-0.1710	-0.1400	-0.4574
ST	0.3255	-0.0821	0.1362	-0.5153
SS	0.0975	-0.2995	-0.0121	-0.6336
BT	-0.0241	-0.2074	-0.0892	-0.4018
BS	-0.0126	-0.0069	-0.1422	-0.2797
Chl.a	0.2699	-0.1786	-0.2251	0.1146
DO	-0.0789	-0.0318	0.2413	0.3636
Turb	0.0564	-0.1309	0.1594	-0.0096

注: D. 水深, ST. 表层温度, SS. 表层盐度, BT. 底层温度, BS. 底层盐度, Chl.a. 叶绿素, DO. 溶解氧, Turb. 浑浊度, 下同
Notes: D. depth, ST. surface water temperature, SS. surface water salinity, BT. bottom water temperature, BS. bottom water salinity, Chl.a. chlorophyll a, DO. dissolved oxygen, Turb. turbidity degree

表 4 春、秋季鱼类群落环境因子的测量值范围和均值

Tab. 4 Measurement range and mean value of environmental factors of fish community in spring and autumn

环境因子 environmental factor	4月 April		11月 November	
	范围 range	均值 average	范围 range	均值 average
D	14.65~66.82	34.98	12.29~50.50	37.16
ST	14.70~20.23	16.20	19.20~21.67	20.28
BT	14.04~19.04	16.25	19.47~22.21	20.79
SS	29.42~33.99	30.64	27.97~33.40	30.51
BS	29.79~34.46	32.16	18.77~33.99	28.18
Chl.a	0.47~2.95	1.61	2.04~51.30	19.67
Turb	0.38~10.83	3.37	11.53~1 677.72	606.76
DO	5.30~8.57	7.12	0.40~7.45	5.09

会致使海域稳定性降低^[32]。另一方面表明此时的生物体型趋于小型化,以小型鱼类为主,相较丰度,生物量更不占优势;秋季 W 值比春季更小也充分说明这一事实。

3.3 鱼类与环境因子的相关性

CCA 排序能够较好地解释物种与环境间的内在联系,揭示鱼类对不同生态栖息环境(生物的和非生物的)的适应性特征^[33]。适宜的温度能够促进鱼类的生长发育^[32]。温度是鱼类重要的环境因子,其主要通过影响鱼类新陈代谢的反应速率,来调控其基础代谢、生长发育、酶活性和抗病能力等^[30,34];盐度是影响鱼类呼吸代谢和消化能力的重要环境因子^[35];水深影响游泳动物的生长、发育和分布,也是影响群落结构变化的最主要因素^[36]。本研究通过 Pearson 相关性分析表明,该海

域温度、盐度和水深对鱼类的影响最为明显,春秋两季的鱼类都与这三个环境因子呈显著负相关。

CCA 分析结果表明,研究区域内鱼类群落均受到温度、盐度、水深、叶绿素 a 和溶解氧等环境因子的影响。其中,龙头鱼具短距离洄游习性^[25],棘头梅童鱼和尖头黄鳍牙鲷等石首鱼科大多也为洄游性种,受水温影响较大。赤鼻棱鳀等鳀科为近岸中上层小型鱼类,生活区域浮游植物和阳光充足,受叶绿素 a 的影响较大。鲩和刺鲃(*Psenopsis anomala*)都为底层鱼类,主要分布在盐度较高的区域。虾虎鱼科多为近岸小型底栖鱼类,栖息于淤泥底质水域,受水深影响较大。

3.4 保护效果评价

4月大陈洋产卵场保护区资源量年际变化显示,2018年4月幼鱼占比高于2017年。11月,

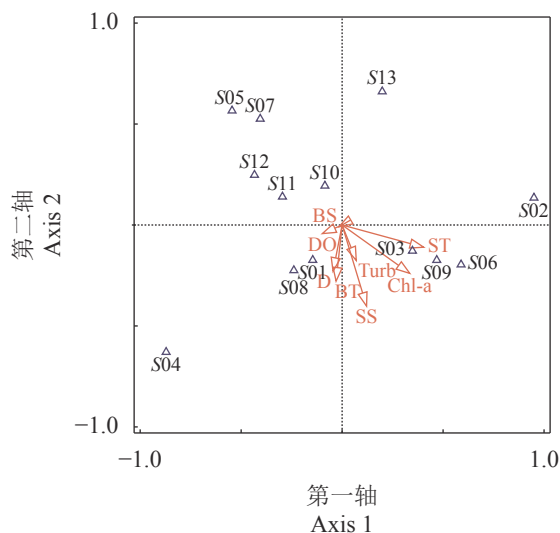


图6 大陈洋产卵场保护区春季鱼类生物量与环境因子的 CCA 排序

S01. 黄鲫; S02. 赤鼻棱鲢; S03. 龙头鱼; S04. 七星底灯鱼; S05. 皮氏叫姑鱼; S06. 棘头梅童鱼; S07. 六丝钝尾虾虎鱼; S08. 矛尾虾虎鱼; S09. 中华栉孔虾虎鱼; S10. 拉氏狼牙虾虎鱼; S11. 小眼绿鳍鱼; S12. 宽体舌鲷; S13. 长吻红舌鲷

Fig. 6 CCA ordination of fish biomass and environmental factors in Dachenyang spawning ground reserve in spring

S01. *S. taty*; S02. *T. kammalensis*; S03. *H. nehereus*; S04. *B. pterotum*; S05. *J. belengerii*; S06. *C. lucidus*; S07. *A. hexanema*; S08. *C. stigmatias*; S09. *C. chinensis*; S10. *O. lacepedi*; S11. *C. spinosus*; S12. *C. robustus*; S13. *C. lighti*

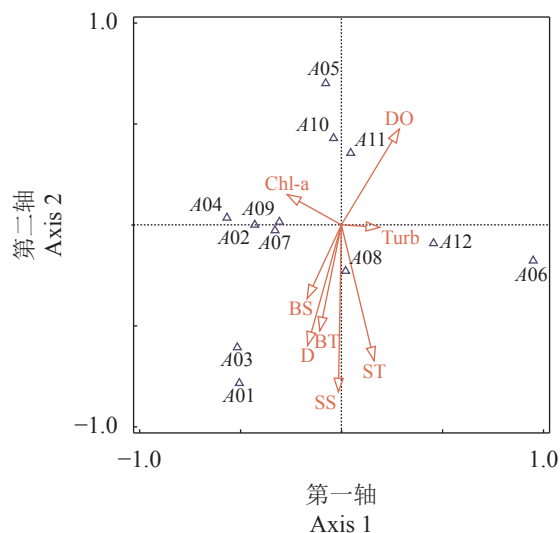


图7 大陈洋产卵场保护区秋季鱼类生物量与环境因子的 CCA 排序

A01. 鲞; A02. 赤鼻棱鲢; A03. 刺鲳; A04. 鳞鳍叫姑鱼; A05. 黄鲫; A06. 棘头梅童鱼; A07. 小黄鱼; A08. 尖头黄鳍牙鲷; A09. 细条天竺鲷; A10. 带鱼; A11. 七星底灯鱼; A12. 龙头鱼

Fig. 7 CCA ordination of fish biomass and environmental factors in Dachenyang spawning ground reserve in autumn

A01. *M. miiuy*; A02. *T. kammalensis*; A03. *P. anomala*; A04. *J. distincta*; A05. *S. taty*; A06. *C. lucidus*; A07. *L. polyactis*; A08. *C. aureus*; A09. *A. lineatus*; A10. *T. lepturus*; A11. *B. pterotum*; A12. *H. nehereus*

表5 2015—2018年大陈洋产卵场保护区资源量月份变化

Tab. 5 Month changes of resources in Dachenyang spawning ground reserve from 2015 to 2018

资源量 resources	4月 April			11月 November		
	2015	2017	2018	2015	2017	2018
丰度/(10 ³ 尾/km ²) abundance	100.59±46.40	31.95±8.04	46.46±10.46	68.82±17.23	63.28±12.85	658.05±365.49
生物量/(kg/km ²) biomass	484.42±90.28	357.42±31.09	287.89±23.85	465.46±95.47	703.27±120.49	5 699.31±4 364.72

2018年和2017年相比, 丰度和生物量也大幅增加。其变化的主要原因: 一是大陈洋产卵场保护区自2017年8月开始设立, 对产卵亲体起到了保护作用, 亲体资源量增加, 使得2018年资源补充量增加; 二是自2018年起, 禁渔期提前至4月, 对幼鱼起到了很大的保护作用, 资源量得到较大补充, 因此2018年11月丰度和生物量大幅增加。

大陈洋产卵场保护区的保护种为大黄鱼、小黄鱼、带鱼和银鲳, 其中小黄鱼、带鱼和银鲳在2015—2017年资源量较少, 2018年11月显著增加 ($P < 0.05$), 大黄鱼的资源量呈逐年递减趋势, 未出现明显的资源修复效果(图8)。可见保护区的

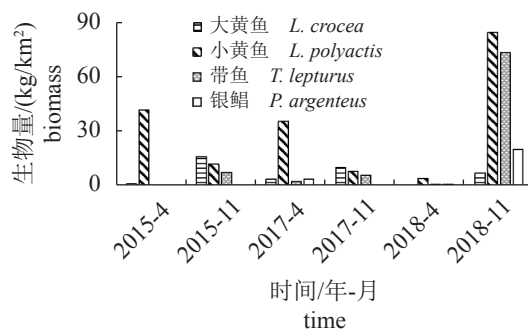


图8 2015—2018年大陈洋产卵场保护区保护种生物量变化

Fig. 8 Biomass variation of protected species in Dachenyang spawning ground reserve from 2015 to 2018

表 6 2015—2018 年大陈洋产卵场保护区全部种类和保护种资源量变化的方差分析

Tab. 6 Variance analysis of all species and changes in protected species resources in Dachenyang spawning ground reserve from 2015 to 2018

相关系数 correlation coefficient		全部种类 all species	带鱼 <i>T. lepturus</i>	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	大黄鱼 <i>L. crocea</i>	银鲳 <i>P. argenteus</i>
丰度 abundance	<i>F</i>	1.101	1.417	0.635	2.294	1.591
	<i>P</i>	0.370	0.233	0.674	0.058	0.178
生物量 biomass	<i>F</i>	0.613	2.096	1.192	1.631	1.728
	<i>P</i>	0.690	0.080	0.326	0.168	0.143

建立对渔业资源恢复和重要经济种的保护起到了一定的作用, 由于保护区设立年限较短, 一些重要经济种的恢复需要长期的保护监测。因此, 大陈洋产卵场保护区的建立对海洋渔业生态恢复具有重要意义, 需要长期执行实施。

感谢浙江省海洋水产研究所渔业资源与生态研究室陈峰、徐开达、李鹏飞等老师在本研究工作中的大力协助!

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等. 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性[J]. 生态学报, 2014, 34(2): 377-389.
- [2] Shan X J, Chen Y L, Dai F Q, *et al.* Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 377-389 (in Chinese).
- [3] Jin X S, Tang Q S. Changes in fish species diversity and dominant species composition in the Yellow Sea[J]. *Fisheries Research*, 1996, 26(3-4): 337-352.
- [4] Xu B D, Jin X S. Variations in fish community structure during winter in the southern Yellow Sea over the period 1985-2002[J]. *Fisheries Research*, 2005, 71(1): 79-91.
- [5] Baum J K, Worm B. Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2009, 78(4): 699-714.
- [6] Lotze H K, Lenihan H S, Bourque B J, *et al.* Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas[J]. *Science*, 2006, 312(5781): 1806-1809.
- [7] Stramma L, Johnson G C, Sprintall J, *et al.* Expanding oxygen-minimum zones in the tropical oceans[J]. *Science*, 2008, 320(5876): 655-658.
- [8] 吴常文, 朱爱意, 陈志海, 等. 台州市大陈岛海洋牧场建设的探讨[J]. *中国渔业经济*, 2002(5): 31-33.
- [9] Wu C W, Zhu A Y, Chen Z H, *et al.* On constructing marine pasturage in Dachen Island of Taizhou City[J]. *Chinese Fisheries Economics*, 2002(5): 31-33 (in Chinese).
- [10] 王易帆, 陈新军, 郭立新. 基于产卵场海表温度的阿根廷滑柔鱼资源丰度预测模型研究[J]. *海洋学报*, 2020, 42(6): 29-35.
- [11] Wang Y F, Chen X J, Guo L X. Research on the abundance prediction model of *Illex argentinus* based on sea surface temperature of spawning ground[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2020, 42(6): 29-35 (in Chinese).
- [12] 于金珍, 张燕伟, 卞晓东, 等. 渤海鲐鱼产卵场关键影响因素识别及变迁预测[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(5): 2214-2221.
- [13] Yu J Z, Zhang Y W, Bian X D, *et al.* Key impact factor identification and future distribution prediction of the anchovy spawning ground in the Bohai Sea[J]. *China Environmental Science*, 2020, 40(5): 2214-2221 (in Chinese).
- [14] 韩旭东, 章守宇, 汪振华, 等. 马鞍列岛及其东部海域鱼类群落格局与环境因子之间的关系[J]. *水产学报*, 2019, 43(6): 1483-1497.
- [15] Han X D, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ma'an Archipelago and its eastern waters[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(6): 1483-1497 (in Chinese).
- [16] 樊紫薇, 蒋日进, 张洪亮, 等. 岱衢洋产卵场鱼卵、仔稚鱼群落结构及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2020, 44(4): 606-620.
- [17] Fan Z W, Jiang R J, Zhang H L, *et al.* Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environ-

- mental factors in Daiquyang spawning ground[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(4): 606-620 (in Chinese).
- [12] 李进京, 刘颖, 李祥付, 等. 韭山列岛海洋生态自然保护区及其附近海域底拖网生物资源的分布及群落结构分析[J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(1): 176-185.
Li J J, Liu Y, Li X F, *et al.* Distribution and community structure of trawling marine organisms in Jiushan islands marine ecological nature reserve and adjacency[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, 51(1): 176-185 (in Chinese).
- [13] 张春草, 水玉跃, 覃胡林, 等. 七星列岛海域春秋季节游泳动物群落特征[J]. 水产学报, 2017, 41(3): 382-391.
Zhang C C, Shui Y Y, Qin H L, *et al.* Community characteristics of swimming animal in the waters of Qixing Islands in spring and autumn[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(3): 382-391 (in Chinese).
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008 (in Chinese).
- [15] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰. 东海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 277-278.
Zhu Y D, Zhang C L, Cheng Q T. Fishes of East China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2005: 277-278 (in Chinese).
- [16] 刘瑞玉. 中国海洋生物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Liu R Y. Checklist of marine biota of China seas[M]. Beijing: Science Press, 2008 (in Chinese).
- [17] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *Amphibolurus isolepis* in western Australia[J]. *Copeia*, 1971, 1971(3): 527-536.
- [18] 刘淑德, 线薇薇, 刘栋. 春季长江口及其邻近海域鱼类浮游生物群落特征[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2284-2292.
Liu S D, Xian W W, Liu D. Characteristics of ichthyoplankton assemblages in Yangtze Estuary and adjacent waters in spring[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10): 2284-2292 (in Chinese).
- [19] 徐炳庆, 吕振波, 李凡, 等. 山东半岛南部近岸海域夏季游泳动物的组成特征[J]. 海洋渔业, 2011, 33(1): 59-65.
Xu B Q, Lv Z B, Li F, *et al.* On nekton composition in southern coastal waters off Shandong Peninsula in summer[J]. *Marine Fisheries*, 2011, 33(1): 59-65 (in Chinese).
- [20] 李圣法. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况[J]. 中国水产科学, 2008, 15(1): 136-144.
Li S F. Status of fish community in East China Sea using the method of abundance-biomass comparison (ABC) curve[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(1): 136-144 (in Chinese).
- [21] Braak C J F T. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [22] Braak C J F T, Prentice I C. A theory of gradient analysis[J]. *Advances in Ecological Research*, 1988, 18: 271-317.
- [23] 李鹏, 杨世伦, 陈沈良. 浙南近岸海流季节变化特征[J]. 海洋学报(中文版), 2014, 36(3): 19-29.
Li P, Yang S L, Shen C L. Primary analysis of current condition and seasonal variation in southern Zhejiang[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2014, 36(3): 19-29 (in Chinese).
- [24] 聂振林, 王咏雪, 胡成业, 等. 三门湾春秋季节鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2018, 42(9): 1390-1398.
Nie Z L, Wang Y X, Hu C Y, *et al.* Fish community structure and its relationships with environmental factors in Sanmen bay during spring and autumn[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(9): 1390-1398 (in Chinese).
- [25] 杨星星, 洪小括, 叶海滨. 浙南沿岸龙头鱼数量分布调查[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(3): 410-414.
Yang X X, Hong X K, Ye H B. Survey of the number distribution of *Harpodon nehereus* along the southern coast of Zhejiang[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(3): 410-414 (in Chinese).
- [26] 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾六丝钝尾虾虎鱼的摄食生态特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1446-1452.
Han D Y, Xue Y, Ji Y P, *et al.* Feeding ecology of

- Amblychaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1446-1452 (in Chinese).
- [27] 李星颢, 吴常文. 浙江北部沿岸海域张网渔获物中的鱼类组成与分布[J]. 海洋渔业, 1985(5): 199-203.
Li X J, Wu C W. The composition and distribution of fish in the net catches in the coastalwaters of northern Zhejiang[J]. Marine Fisheries, 1985(5): 199-203 (in Chinese).
- [28] 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.
Lin L S. Spatial distribution and environmental characteristics of *Harpodon nehereus* in the East China Sea region[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(1): 66-71 (in Chinese).
- [29] 中华人民共和国农业部水产局, 农业部黄海区渔业指挥部. 黄渤海区渔业资源调查与区划 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 57-69.
Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture Yellow Sea Fishery Command. Survey and division of fishery resource in the Yellow Sea and the Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 57-69 (in Chinese).
- [30] 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): 1707-1714.
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): 1707-1714 (in Chinese).
- [31] Blanchard F, LeLoc'h F, Hily C, *et al.* Fishing effects on diversity, size and community structure of the benthic invertebrate and fish megafauna on the Bay of Biscay coast of France[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 280: 249-260.
- [32] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [33] 张金屯. 数量生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
Zhang J T. Quantitative ecology[M]. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese).
- [34] 王雅萌, 陈芄, 陈新军. 气候变化下西北太平洋大海洋生态系海表面温度特征分析[J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(5): 874-883.
Wang Y M, Chen P, Chen X J. Characteristics of sea surface temperature for large marine major ecosystems in the northwest Pacific under climate change[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2021, 30(5): 874-883 (in Chinese).
- [35] 黄丽聪. 硬骨鱼类对盐度变化的适应及其渗透压调节机制的研究进展[J]. 科技创新导报, 2016(9): 87-88.
Huang L C. Review on the osmoregulation and adaptation to salinity changes of teleost fish[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016(9): 87-88 (in Chinese).
- [36] 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.
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 (in Chinese).

Characteristics of fish community structure and its relationship with environmental factors in Dachenyang spawning ground reserve

RUI Yin^{1,2}, JIANG Rijin^{2*}, WANG Haoxue², LUAN Huini³,
YIN Rui², ZHU Yudan^{1,2}, ZHANG Linlin²

(1. Institute of Oceanography and Fisheries, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China;

2. Zhejiang Institute of Marine Fisheries, Scientific Observation and Experimental Station of Fishery Resources of Key Fishing Grounds, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

Zhejiang Provincial Key Laboratory of Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Zhoushan 316021, China;

3. Weihai Marine Vocational College, Rongcheng 264300, China)

Abstract: To understand the protection effect of Dachenyang spawning ground reserve, based on the survey data of fishery resources in the Dachenyang Spawning Ground Reserve in April (spring) and November (autumn) 2018, relative importance index (IRI), diversity analysis, cluster analysis, canonical correspondence analysis (CCA) and other methods were used to analyze the characteristics of fish community structure in this sea area and its relationship with environmental factors. The results showed that: a total of 83 species of fish were caught, belonging to 9 orders and 51 families, including 2 dominant species of fish, 18 important species of fish, belonging to 5 orders and 11 families, and the dominant species were *Amblychaeturichthys hexanema* and *Harpodon nehereus*. Hierarchical clustering (CLUSTER) and non-metric multidimensional measures (NMDS) analysis showed that the spring and autumn fish communities can be divided into 3 groups spatially, and there are significant differences between the community groups ($P < 0.05$). *H. nehereus*, *Benthoosema pterotum* and *Thryssa kammalensis* were the main divergent species that affect the seasonal changes of community structure. ABC curve analysis showed that the fish community in spring was moderately disturbed ($W = 0.027$); the fish community in autumn was in a state of severe disturbance ($W = -0.185$). Canonical Correspondence (CCA) analysis shows that water depth, temperature and salinity are important marine physical and chemical factors that affect the composition of fish species and the temporal and spatial changes of community structure in this sea area. Compared with the resources in the same period in 2015 and 2017, both biomass and abundance increased significantly in November 2018. This study found that the establishment of protected areas played a protective role in the recovery of fishery resources, but long-term resource protection was needed to restore marine resources to an ideal state.

Key words: spawning ground reserve; community structure; canonical correspondence analysis; inter-annual comparison; Dachenyang

Corresponding author: JIANG Rijin. E-mail: jiangridge@163.com

Funding projects: National Key R & D Program of China (2018YFD0900903); Zhejiang Province Public Welfare Technology Application Research Project (LGN20C190012); Zhejiang Province Key R & D Program Project (2019C02056); Dachenyang Spawning Ground Reserve Resource Monitoring and Conservation Effect Service Procurement Project