

## 大陈岛海域潮下带岩礁生境鱼类群聚特征

毛嘉烜<sup>1</sup>, 汪振华<sup>1,2</sup>, 章守宇<sup>1,2</sup>, 林 军<sup>1,2</sup>, 邹沁东<sup>1</sup>, 陈怡卉<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋科学与生态环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 海洋牧场工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘 要:** 为了解大陈岛海域岩礁生境的鱼类群聚特征, 2020年9月至2021年4月每个季度1次, 采用多网目组合刺网对该海域的潮下带岩礁生境进行了鱼类样本采集, 利用 Jaccard 相似性指数、相对重要性指数、 $\alpha$ 多样性指数、聚类和排序以及典型对应分析等多元统计方法对该生境鱼类群聚特征及其与环境因子的相互关系进行了研究。结果显示: 在大陈岛潮下带岩礁生境共采集鱼类 49 种, 隶属于 10 目 27 科 40 属, 其中石首鱼科和鲷科的比例最高, 分别为 22.45% 和 10.20%。全年共出现优势种鱼类 11 种, 褐菖鲉 (*Sebastiscus marmoratus*)、鳞鳍叫姑鱼 (*Johnius distinctus*) 和丝背细鳞鲷 (*Stephanolepis cirrhifer*) 等鱼类优势度较高, 其中褐菖鲉为全域全年优势种。多元统计结果表明: 空间上不同类型站点之间均有不同程度的相异性, 其中养殖区域及东部岩礁区形成了与其他区域差异显著的群聚特征 ( $P < 0.05$ ); 时间上亦呈现出明显的季节变化 ( $P < 0.05$ )。多样性表现上, 夏季鱼类多样性最高, 冬季最低。典型对应分析表明: 盐度和温度是影响大陈岛岩礁生境鱼类群聚的最显著因子。在局地水平的研究发现养殖干扰区周边的岩礁生境呈现出更为稳定且多样的鱼类群聚格局, 但总体上大陈岛潮下带岩礁的鱼类群聚组成简单、结构相对脆弱, 亟需建立针对性的保护和管理措施。

**关键词:** 岩礁生境; 鱼类群聚; 时空格局; 局地尺度; 多元统计分析; 大陈渔场

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

鱼类群聚是指基于特定观测手段或采样方法的鱼类组成, 特定生境中的鱼类群聚状况往往能反映出该生境的环境特点和功能水平<sup>[1]</sup>, 结合该生境所在区域的环境时空格局, 可进一步探知其中的鱼类群聚在局地尺度上的生态学问题及面临的潜在威胁, 为针对性地进行人为干预、引导生物群聚乃至生态系统的整体修复发挥积极指导作用。

纵观已有研究, 我国早期对鱼类群聚的研究皆在较大的景观尺度上开展<sup>[2-3]</sup>, 一般需结合大规模的专项调查; 近几十年中小尺度(区域和局地尺度)的研究丰富起来, 聚焦特定海洋生境的案例明显增多<sup>[4-5]</sup>。在众多的海洋生境类型中, 岩礁生境以其复杂的空间异质性和资源养护功能, 被诸多学者关注<sup>[6-7]</sup>。目前国内对马鞍列岛、中街山列岛、西沙群岛等区域尺度上的岩礁生境鱼类群聚特征进行了探索性的报道<sup>[8-10]</sup>, 在大水面、多岛

屿且较分散的空间格局下呈现了宝贵的鱼类生态学信息。但在更小的局地尺度上的相关报道却极为匮乏, 而很多岛屿往往分布集中且面积小, 如位于浙江台州椒江的大陈岛就是典型的集中式小岛分布格局, 其中的岩礁生境功能也更多在局地尺度上呈现。

大陈岛海域是东海第二大渔场——大陈渔场所在地, 历史上渔业资源丰富, 即便辉煌已成过去, 现今仍发挥着庞大的资源再生功能<sup>[11]</sup>。该海域紧邻椒江口, 西靠沿岸流, 东接台湾暖流, 营养盐充足, 生产力旺盛<sup>[12]</sup>。然而有关该海域渔业资源时空格局的系统性研究却极为少见<sup>[13-14]</sup>, 大陈岛岩礁生境鱼类群落研究几近空白。随着大黄鱼养殖规模的扩大和旅游业的兴起, 大陈海域对渔业资源的消耗进一步加强, 消费压力之一便直接释放给岛礁区域的鱼类资源, 进而对岛礁海域整

收稿日期: 2024-03-19

修回日期: 2024-05-26

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901303); 上海海洋大学科技发展专项(A2-2006-20200212)

作者简介: 毛嘉烜(2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向为海洋生物学。E-mail: sensitive-plant@foxmail.com

通信作者: 汪振华, E-mail: zh\_wang@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

体生态功能造成不可预知的潜在威胁。结合前述背景,大陈岛礁海域岩礁生境资源与环境的全面调查评估就显得极为迫切,而其中鱼类群聚特征的研究亦是重要一环,是岛礁鱼类资源实现可持续的核心理论依据。为此,基于2020—2021年4个季度的大陈岛潮下带岩礁生境鱼类资源和环境调查,对大陈岛岩礁生境局地尺度下的鱼类组成特征、群聚格局及其对环境因子的响应等进行分析,明确该生境鱼类群聚状况和时空格局,探索人类活动、环境梯度变化对局地水平下鱼类群聚特征的影响,为当地渔业资源的保护和管理以及海洋牧场建设等提供现实依据和理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与站位划分

于2020年9月(夏季)、2020年11月(秋季)、2021年1月(冬季)和2021年4月(春季)连续4个季度在浙江省台州市椒江区大陈岛海域(28°23′58″~28°30′05″N,121°50′56″~121°55′02″E)的潮下带岩礁生境进行鱼类样品采集,共设置14个采样站位(图1)。大部分站位深度为5~10 m(随潮汐波动),东部和南部少数达13~14 m,总体实测的平均水深为(7.80±2.82) m。14个站位中,S3、S4、S7、S8、S11和S12共6个站位为受饵料沉积和养殖逃逸等影响的养殖活动强干扰站位(Aquaculture disturbance sites, ADS),其余为捕捞活动强干扰的

天然岩礁生境站位(Fishing disturbance sites, FDS)。租用当地渔业辅助船(椒陈辅029)完成所有站位的渔获采集。

### 1.2 采样方法与样品处理

采样时间为每个季度月大潮向小潮的过渡期间,避免大小潮汛带来的干扰。采样网具为自行设计和组装的多网目组合刺网,由缩节高度皆为1.5 m、内网目大小分别为25、35、50、60和70 mm及外网目260 mm(对应25和35 mm内网目)和330 mm(对应50、60和70 mm内网目)的5张网具随机连接而成,总长度125 m左右。各站位组合刺网的放置时间一般为上午8—12点,起网为次日上午,网具浸置时间为20~24 h,平均22 h;夏季为避免渔获腐烂及食腐动物影响,放网时间调整为傍晚4—7点,起网为次日清晨,网具浸置时间为14~16 h。起网同时使用温盐深剖面仪(SBE19plus-CTD)获取水体温度、盐度、溶解氧等环境参数。环境参数采集及监测方法主要参照《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)和《海洋监测规范》(GB/T 17378—2007)执行。

样品当天即在大陈岛临时实验室完成所有生物学实验,包括体长、体质量、性别、性腺成熟度、摄食等级等的测定,测定内容及依据参考《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)。种类鉴定参照《浙江海洋鱼类志》和《中国海洋及河口鱼类系统检索》等,鉴定至分类最低阶元。

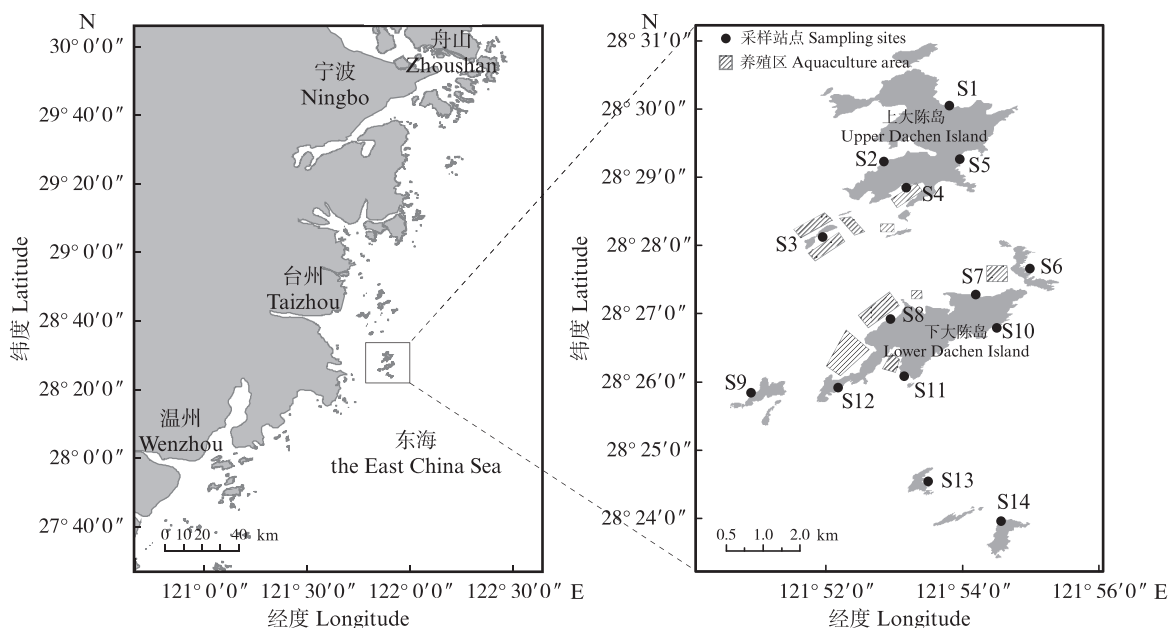


图1 大陈岛岩礁生境鱼类采集站位分布

Fig. 1 Fishery resources sampling sites in rocky reef habitats of Dachen Islands

### 1.3 数据处理与统计分析

#### 1.3.1 物种优势度

Pinkas 相对重要性指数 (Index of relative importance, IRI) 用于分析群聚的优势物种<sup>[15]</sup>。计算公式:

$$I_{IRI} = (W + N) \times F \quad (1)$$

式中:  $I_{IRI}$  为相对重要性指数 IRI 值;  $W$  为某一物种的质量百分比, %;  $N$  为该物种的数量百分比, %;  $F$  为该物种在样本中的出现频率, %;  $IRI \geq 1\ 000$  的物种定义为优势种<sup>[16]</sup>,  $100 \leq IRI < 1\ 000$  的物种定义为常见种。

#### 1.3.2 鱼类群聚的丰富度、多样性及均匀度

采用 Margalef 的种类丰富度指数 ( $D$ )<sup>[17]</sup>、Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )<sup>[18]</sup> 及 Pielou 均匀度指数 ( $J'$ )<sup>[19]</sup> 来分析鱼类群聚的  $\alpha$  多样性和均匀度变化情况。各多样性测度指数公式:

Margalef 丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^S N_i \ln N_i \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / \ln S \quad (4)$$

式中:  $S$  为鱼类物种数;  $N$  为所有鱼类的个体数总和;  $N_i$  为该物种的数量占比, %。

#### 1.3.3 群聚物种相似性

采用 Jaccard 相似性指数分析鱼类群聚的  $\beta$  相似性, 计算公式:

$$C_j = C / (A + B - C) \times 100\% \quad (5)$$

式中:  $A$ 、 $B$  分别为群聚 A 和群聚 B 出现的种数;  $C$  为两群聚的共有种数。当结果为 0~25% 时, 为群聚极不相似; 25%~50% 为中等不相似; 50%~75% 为中等相似; 75%~100% 为极相似。

#### 1.3.4 群聚结构及特征分析

将所有捕获鱼类的生态类型依据适温性分为暖温种、暖水种和冷水种; 依据栖息水层分为中上层鱼类、中下层鱼类和底层鱼类; 依据洄游类型分为定居型、河海洄游型(咸淡水间或河口与近海间洄游)和海洋洄游型(近海与外海间洄游)。

生态型的判断参考 Fishbase (<https://www.fishbase.org/>) 及前述参考书。

分析时将 IRI 小于 100 的个体剔除, 以减少罕见种对结果的影响。对鱼类丰度数据进行四次方根转换以减弱数据间差距后<sup>[20]</sup>, 采用等级聚类分析 (Cluster) 和非度量多维标度排序 (nMDS), 分析不同站点群聚组成的相似性, 用胁强系数 (Stress) 来判断 nMDS 结果的可信度。采用单因子相似性分析 (ANOSIM) 来检验鱼类组成的相似性程度。采用百分比相似性分析 (SIMPER) 计算引起不同站位间鱼类群聚差异的物种贡献率, 以平均相似贡献率大于 5% 作为群聚的指示种<sup>[21]</sup>。

DCA 预处理的第一排序轴长度值结果为 3.0, 使用典型对应分析 (CCA) 显示环境因子与鱼类群聚的二维关系<sup>[22]</sup>。分析时先将丰度数据同水温、盐度、溶氧、pH、叶绿素 a 这 5 个环境数据经过  $\lg(x+1)$  转换处理以减少误差, 部分缺失数据参考哥白尼海事局网站 (<https://marine.copernicus.eu>)。

采用 Microsoft Excel 处理物种丰度及生物量等数据; Primer 5.0 用于多样性指数计算、Cluster、nMDS、ANOSIM 和 SIMPER 等相关分析; Canoco 5 用于典范对应分析和作图; ArcMap 10.4、Origin 2022 和 Adobe Illustrator 2020 用于其他相关作图。

## 2 结果

### 2.1 鱼类种类组成

4 个季度在大陈岛潮下带岩礁生境共采集鱼类 49 种, 隶属 10 目 27 科 40 属 (表 1)。夏季采集 33 种, 隶属 7 目 22 科 30 属; 秋季 32 种, 隶属 7 目 20 科 27 属; 冬季 7 种, 隶属 3 目 5 科 6 属; 春季 9 种, 隶属 5 目 6 科 9 属。科级分类上, 石首鱼科为主要种类, 共 11 种 (占 22.45%), 其次为鲷科 5 种 (占 10.20%); 目级分类上, 鲈形目为主要种类, 共 28 种 (占 57.14%), 其次为鲱形目 8 种 (占 16.33%)。

表 1 大陈岛岩礁生境组合刺网所采鱼类种类组成及生态型

Tab. 1 Composition and ecotypes of fish species taken by combined gillnets in rocky reef habitats of Dachen Islands

种类 Species	生态类型 Eco-Types	编号 Code	种类 Species	生态类型 Eco-Types	编号 Code
鲈形目 Pleuronectiformes			天竺鲷科 Apogonidae		
舌鲷科 Cynoglossidae			半线天竺鲷 <i>Apogon semilineatus</i>	WW*LC	SP32
短吻舌鲷 <i>Cynoglossus abbreviatus</i>	WT*LC	SP1	虾虎鱼科 Gobiidae		
鲱形目 Clupeiformes			拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus lacepedii</i>	WT-LC	SP33
鲱科 Clupeidae			六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	WT*LC	SP34
黄泽小沙丁鱼 <i>Sardinella lemuru</i>	WW+OD	SP2	唇指鲷科 Cheilodactylidae		
青鳞小沙丁鱼 <i>Sardinella zunasi</i>	WW+OD	SP3	花尾唇指鲷 <i>Goniistius zonatus</i>	WW-OD	SP35
锯腹鲷科 Pristigasteridae			四角唇指鲷 <i>Goniistius quadricornis</i>	WW*OD	SP36
鲷 <i>Ilisha elongata</i>	WW+OD	SP4	花鲈科 Lateolabracidae		
鳀科 Engraulidae			中国花鲈 <i>Lateolabrax maculates</i>	WT*LC	SP37
黄鲫 <i>Setipinna tenuifilis</i>	WW+OD	SP5	鳗鲡目 Anguilliformes		
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	WW+AD	SP6	海鳗科 Muraenesocidae		
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	WW+OD	SP7	灰海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	WW*OD	SP38
长颌棱鳀 <i>Thryssa setirostris</i>	WW+OD	SP8	鲭形目 Scombriformes		
中颌棱鳀 <i>Thryssa mystax</i>	WW+OD	SP9	带鱼科 Trichiuridae		
鲈形目 Perciformes			沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>	WW-OD	SP39
鲷科 Sparidae			鲛形目 Siluriformes		
黑棘鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>	WT*LC	SP10	鳗鲡科 Plotosidae		
真赤鲷 <i>Pagrus major</i>	WW*OD	SP11	线纹鳗鲡 <i>Plotosus lineatus</i>	WW-LC	SP40
蝴蝶鱼科 Chaetodontidae			鲈形目 Tetraodontiformes		
朴蝴蝶鱼 <i>Cheatodon modestus</i>	WW*OD	SP12	单角鲀科 Monacanthidae		
舵鱼科 Kyphosidae			丝背细鳞鲀 <i>Stephanolepis cirrhifer</i>	WT*OD	SP41
小鳞黑鲷 <i>Girella leonina</i>	WT-LC	SP13	鲀科 Tetraodontidae		
细刺鱼 <i>Microcanthus strigatus</i>	WW*OD	SP14	横纹东方鲀 <i>Takifugu oblongus</i>	WW*OD	SP42
鲷科 Terapontidae			铅点东方鲀 <i>Takifugu alboplumbeus</i>	WT*OD	SP43
尖突吻鲷 <i>Rhynchopelates oxyrhynchus</i>	WW-LC	SP15	星点东方鲀 <i>Takifugu niphobles</i>	WT*OD	SP44
蓝子鱼科 Siganidae			仙女鱼目 Aulopiformes		
褐蓝子鱼 <i>Siganus fuscescens</i>	WW*OD	SP16	合齿鱼科 Synodontidae		
马鲛科 Polynemidae			龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	WW-OD	SP45
六指多指马鲛 <i>Polynemidae sextarius</i>	WW*AD	SP17	鲉形目 Scorpaeniformes		
发光鲷科 Acropomatidae			平鲉科 Sebastidae		
胁谷氏软鱼 <i>Malakichthys wakiyae</i>	WT+LC	SP18	褐莒鲉 <i>Sebastiscus marmoratus</i>	WT*OD	SP46
石鲈科 Haemulidae			鲉科 Scorpaenidae		
华髭鲷 <i>Haplogeny analis</i>	WT-LC	SP19	棘鲉 <i>Hoplosebastes armatus</i>	WT*LC	SP47
三线矶鲈 <i>Parapristipoma trilineatum</i>	WW-OD	SP20	鲷科 Platycephalidae		
石首鱼科 Sciaenidae			鲷 <i>Platycephalus indicus</i>	WW-OD	SP48
银姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	WT-OD	SP21	鲷形目 Mugiliformes		
日本白姑鱼 <i>Argyrosomus japonicus</i>	WT-OD	SP22	鲚科 Sphyrnaeidae		
大黄鱼 <i>Larimichthys crocea</i>	WT-OD	SP23	油鲚 <i>Sphyrna pinguis</i>	WT+OD	SP49
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	WT-OD	SP24			
黑姑鱼 <i>Atrubucca nibe</i>	WW*LC	SP25			
黄姑鱼 <i>Nibea albiflora</i>	WT-LC	SP26			
尖头黄鳍牙鲷 <i>Chrysoschir aureus</i>	WW-LC	SP27			
鲷 <i>Miichthys miiuy</i>	WT*OD	SP28			
鳞鳍叫姑鱼 <i>Johnius distinctus</i>	WW*LC	SP29			
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	WT-AD	SP30			
屈氏叫姑鱼 <i>Johnius trewavasae</i>	WW-LC	SP31			

注: WT. 暖温种; WW. 暖水种; OD. 海洋洄游种; AD. 河海洄游种; LC. 定居种; +. 中上层生活种; -. 中下层生活种; \*. 底层生活种。

Notes: WT. Warm temperate species; WW. Warm water species; OD. Oceanodromous species; AD. Amphidromous species; LC. Local species; +. Pelagic-neritic species; -. Benthopelagic species; \*. Demersal.



在鱼类生态类型方面,适温性上,捕获鱼类中有暖温种 21 种,暖水种 28 种,无冷水种;栖息空间上,中上层鱼类 10 种,中下层鱼类 18 种,底

层鱼类 21 种;居留型上,河海洄游型鱼类 3 种,海洋洄游型 29 种,定居型 17 种(表 2)。

表 2 大陈岛海域岩礁生境鱼类各生态型统计  
Tab. 2 Statistics of the ecotypes of fish in rocky habitats of Dachen Islands

生态类型 Eco-Types	季节 Season				总计 Total
	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring	
暖水种 Warm water species	19	18	2	4	28
暖温种 Warm temperature species	14	14	5	5	21
中上层 Pelagic-neritic species	5	6	1	2	10
中下层 Benthopelagic species	14	12	3	4	18
底层 Demersal species	14	14	3	3	21
河海洄游种 Amphidromous species	2	2	1	2	3
海洋洄游种 Oceanodromous species	21	22	5	5	29
定居种 Local species	10	8	1	2	17

## 2.2 鱼类优势种组成

4 个季度共捕获优势鱼类 11 种,其中 7 种为大陈岩礁全域优势种(表 3),另有 4 种为特定季节出现在特定区域的优势种(表 4)。褐菖鲉是大陈海域岩礁生境的全年绝对优势种,其他优势种

的出现受季节影响明显。在局地尺度上,大黄鱼(*Larimichthys crocea*)和皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)等有明显的优势分布倾向,在 ADS 附近优势度更显著。

表 3 大陈岛海域不同季节岩礁生境鱼类优势种及其优势度  
Tab. 3 Composition and IRI of dominant fishes in rocky habitats in different seasons of Dachen Islands

种类 Species	季节 Season			
	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring
大黄鱼 <i>L. crocea</i>	—	—	1 385.37	—
鳞鳍叫姑鱼 <i>J. distinctus</i>	4 110.59	—	—	—
褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i>	1 429.77	1 656.02	8 285.53	6 246.40
黄姑鱼 <i>N. albiflora</i>	—	—	—	1 221.79
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	—	—	1 036.82	—
丝背细鳞鲷 <i>S. cirrhifer</i>	3 585.19	—	—	—
中颌棱鳀 <i>T. mystax</i>	—	2 276.63	—	—

## 2.3 鱼类群聚 $\alpha$ 多样性和 $\beta$ 多样性

根据各 $\alpha$ 多样性指数变化来看(表 5),丰富度指数( $D$ )与多样性指数( $H'$ )的变化趋势基本一致,丰富度指数在秋季最高(5.324),多样性指数在夏季最高(2.300),同时,两者的整体趋势在冬季骤然下降。而均匀度指数( $J'$ )则与上述两种指标呈相反的变化规律,最高值出现在冬季,最低

值则出现在春季。

对比 ADS 内外鱼类群聚各多样性指数(图 2),发现两区域的多样性指数同均匀度指数变化趋势基本一致,除了冬季以外,ADS 周边的鱼类群聚多样性指数和均匀度指数均较 FDS 高;丰富度指数方面,ADS 周边的鱼类丰富度在各季节都比 FDS 低,且夏秋季显著较低。

表 4 大陈海域不同区域中岩礁生境鱼类优势种及其优势度  
Tab. 4 Composition and IRI of dominant fishes in rocky habitats in different areas of Dachen Islands

种类 Species	夏 Summer		秋 Autumn		冬 Winter		春 Spring	
	养殖干扰 ADS	捕捞干扰 FDS	养殖干扰 ADS	捕捞干扰 FDS	养殖干扰 ADS	捕捞干扰 FDS	养殖干扰 ADS	捕捞干扰 FDS
大黄鱼 <i>L. crocea</i>	-	-	-	-	-	1 902.15	-	-
鳞鲚叫姑鱼 <i>J. distinctus</i>	3 063.97	4 995.34	-	-	-	-	-	-
灰海鳗 <i>M. cinereus</i>	-	-	2 427.39	-	-	-	-	-
褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i>	1 708.99	1 201.75	4 261.81	1 193.06	9 109.88	7 649.52	4 613.24	7 093.70
黄姑鱼 <i>N. albiflora</i>	-	-	-	-	-	-	2 922.85	-
六指多指马鲛 <i>P. sextarius</i>	1 183.84	-	-	-	-	-	-	-
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	-	-	2 072.91	-	1 554.47	-	-	-
丝背细鳞鲉 <i>S. cirrhifer</i>	3 344.64	3 747.02	-	-	-	-	-	-
真赤鲷 <i>P. major</i>	1 110.77	-	-	-	-	-	-	-
中颌棱鲷 <i>T. mystax</i>	-	-	-	4 081.86	-	-	-	-
褐蓝子鱼 <i>S. fuscescens</i>	1 477.31	-	-	-	-	-	-	-

注:养殖干扰.养殖活动强干扰站位;捕捞干扰.捕捞活动强干扰站位。  
Notes: ADS. Aquaculture disturbance sites; FDS. Fishing disturbance sites.

表 5 大陈岛海域岩礁生境鱼类各季节α多样性指数  
Tab. 5 Seasonal α-diversity indices of fish assemblage in rocky reef habitats of Dachen Islands

评价指数 Evaluation index	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring
丰富度指数(D) Margalef's species richness(D)	4.694	5.324	1.595	2.140
Pielou均匀度(J') Pielou's species evenness(J')	0.658	0.611	0.681	0.579
多样性指数(H') Shannon-Wiener's diversity index(H')	2.300	2.116	1.325	1.273

同季节下各站位之间多为极不相似和中等不相似(表6)。而各季节间,夏季与秋季分别与冬春的相似性指数皆在17.14%~20.00%,为极不相似;剩余季节间的相似性在27.78%~47.73%,为中等不相似。

2.4 鱼类群聚结构分析

各季节等级聚类分析(图3)对应的nMDS排序协强系数均低于0.2,说明排序具有一定解释意义。夏季站位在66.55%的相似水平上可分为5组(图3a),组Ⅰ为下大陈北部ADS周

边,组Ⅱ为西侧FDS,组Ⅲ为南部ADS周边,组Ⅳ为东侧FDS,组Ⅴ为捕捞/养殖混合站位;秋季在46.79%的水平上可分为5个站位组(图3b),组Ⅰ为ADS站位,组Ⅱ为FDS站位,组Ⅲ为下大陈北部以FDS为主的站位组,组Ⅳ以ADS为主,组Ⅴ为东侧FDS;冬季和春季分别在56.51%、62.71%相似水平可分出4组(图3c和3d),组Ⅰ为ADS站位,组Ⅱ为东侧FDS站位,组Ⅲ为主要渔获是褐菖鲉的混合站位,组Ⅳ主要为西侧站位。

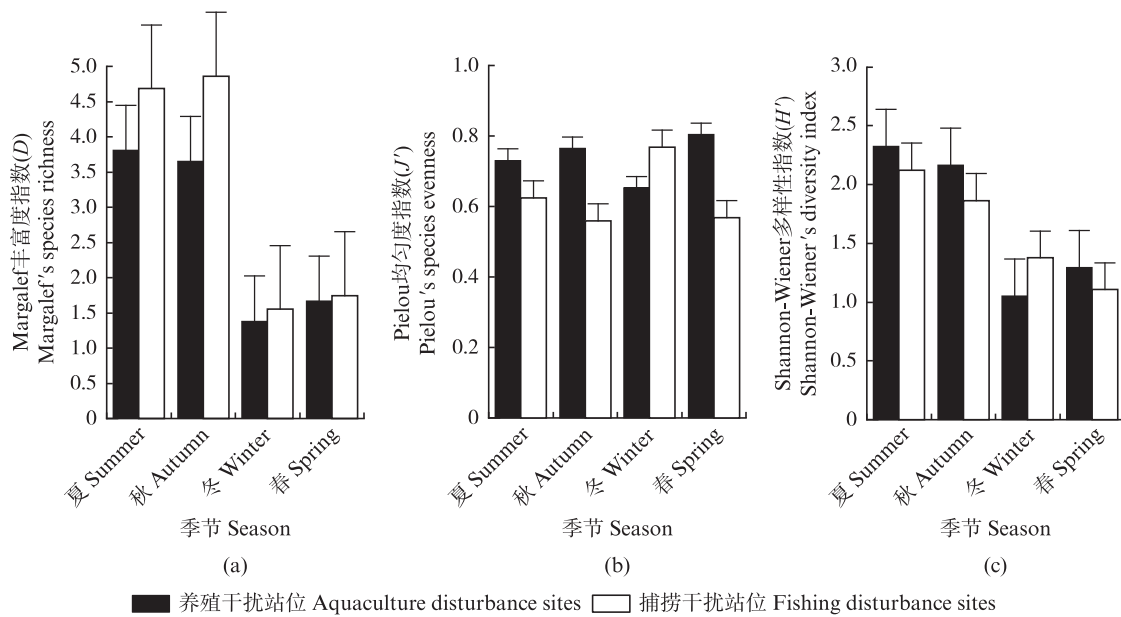


图2 养殖区域内外鱼类各α多样性指数变化图

Fig. 2 Changes in α-diversity indices of fish species within and outside the aquaculture areas

表6 各季节站位间两两比较的Jaccard相似性指数分布数量

Tab. 6 Distribution of Jaccard similarity indices for two-by-two comparisons between sites in each season

季节 Season	站位数 No. of sites	Jaccard相似性指数区间 Jaccard similarity index interval			
		≤25%	25%~50%	50%~75%	>75%
夏 Summer	14	11	76	4	0
秋 Autumn	14	70	20	1	0
冬 Winter	13	31	39	4	4
春 Spring	12	35	21	0	10

ANOSIM结果发现季节之间具有较强的差异性(Global Test,  $R=0.465$ ,  $P=0.001$ ),夏季与冬季之间差异水平极显著(Pairwise Tests,  $R=0.826$ ,  $P=0.001$ ),夏秋、夏春之间差异性较显著(Pairwise Tests,  $R \in [0.662, 0.676]$ ,  $P=0.001$ )。根据SIMPER分析(表7),除了冬春季相异性仅30.01%,其余各季节相异性均在70.00%以上,相异性最高值为夏春间的86.69%。贡献种中鳞鳍叫姑鱼、丝背细鳞鲀、褐菖鲈、皮氏叫姑鱼等是造成季节间差异的主要鱼类。

同季节不同站位组之间的ANOSIM分析表明,夏季5个站位组之间差异极显著(Global Test,  $R=0.817$ ,  $P=0.001$ ),组间SIMPER平均相异性百分比为33.45%~44.97%,分歧种主要为丝背

细鳞鲀、六指多指马鲛(*Polynemidae sextarius*)等;秋季5个站位组之间的差异极显著(Global Test,  $R=0.846$ ,  $P=0.001$ ),平均相异性为53.21%~100%,主要分歧种为日本白姑鱼(*Argyrosomus japonicus*)、中颌棱鲷(*Thryssa mystax*)和褐菖鲈等;冬季4个站位组之间差异极显著(Global Test,  $R=0.923$ ,  $P=0.001$ ),平均相异性百分比为43.49%~100%,主要分歧种为大黄鱼、褐菖鲈等;春季4个站位组之间差异极显著(Global Test,  $R=0.966$ ,  $P=0.001$ ),组间平均相异性为37.29%~100%,皮氏叫姑鱼、黄姑鱼(*Nibea albiflora*)和褐菖鲈是主要分歧种。

## 2.5 群聚与环境因子间的CCA分析

基于各季度区域的平均环境参数(表8)作CCA排序,结果显示对4个季度鱼类群聚组成影响最大的环境因子为盐度(正相关),其次为温度(负相关)和叶绿素a(负相关为主)。皮氏叫姑鱼(SP30)、大黄鱼(SP23)等下层鱼类与盐度呈显著的正相关,与温度呈负相关;绝对优势种褐菖鲈(SP46)作为恋礁鱼类,与溶氧关系密切;鳞鳍叫姑鱼(SP29)、丝背细鳞鲀(SP41)、鲀(*Miichthys miiuy*) (SP28)等大量物种与温度正相关;赤鼻棱鲷(*Thryssa kammalensis*)(SP7)、中颌棱鲷(SP9)、日本白姑鱼(SP22)等受温度和盐度的共同影响(图4)。

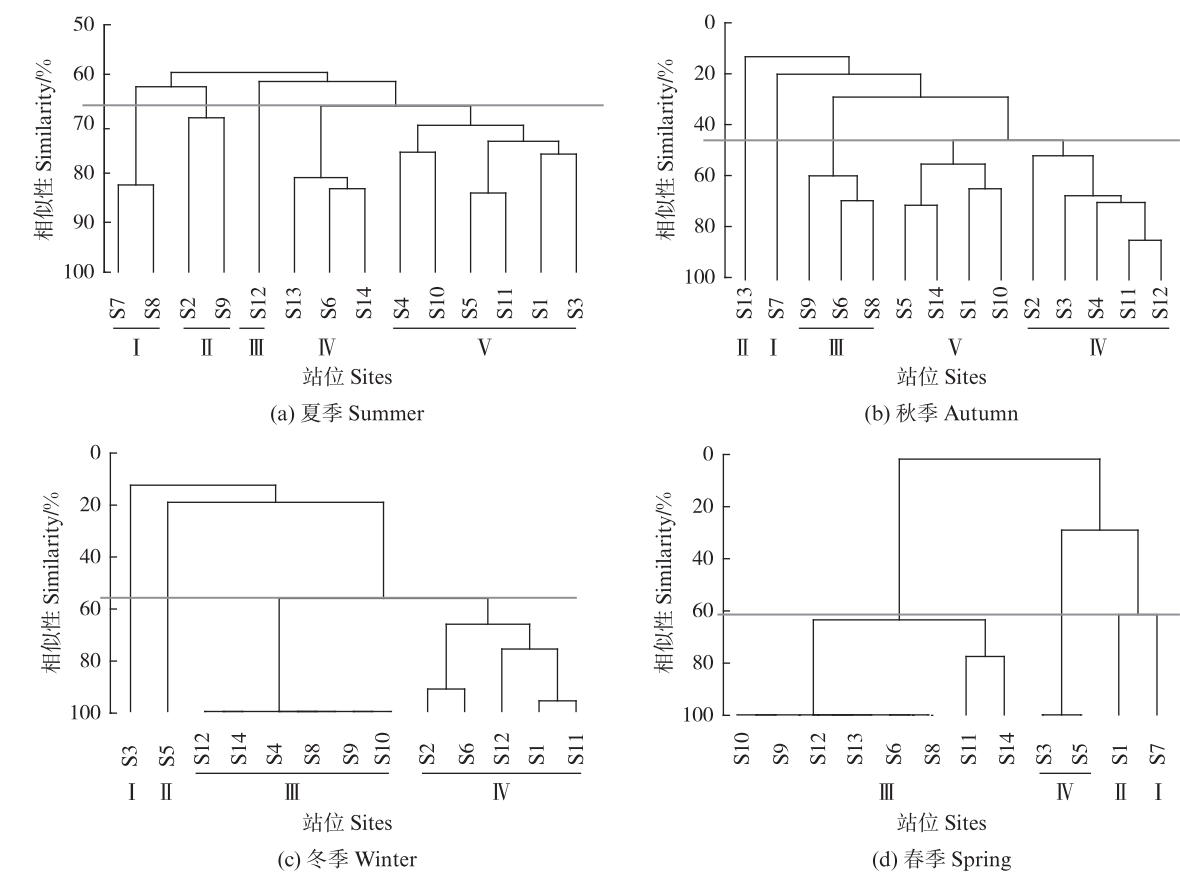


图3 大陈海域岩礁生境鱼类群聚聚类分析图

Fig. 3 Cluster analysis of fish assemblages in rocky habitats of Dachen Waters

表7 不同季节间岩礁生境鱼类群聚主要贡献种的相异性贡献率						
Tab. 7 Contributions of dissimilarity of major contributing species to fish assemblages between seasons						
物种 Species	夏-秋 Su.-Au.	夏-冬 Su.-Wi.	夏-春 Su.-Sp.	秋-冬 Au.-Wi.	秋-春 Au.-Sp.	冬-春 Wi.-Sp.
Ad	78.62	82.25	86.69	72.28	76.78	30.01
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	6.62	7.26	7.32	13.93	14.34	25.93
褐菖鲈 <i>S. marmoratus</i>	6.01	10.13	10.91	14.85	15.75	30.35
鳞鳍叫姑鱼 <i>J. distinctus</i>	13.41	16.79	16.47	-	-	-
丝背细鳞鲈 <i>S. cirrhifer</i>	10.37	14.16	13.89	-	-	-
黑姑鱼 <i>A. nibe</i>	6.43	7.99	7.83	-	-	-
大黄鱼 <i>L. crocea</i>	-	7.46	-	11.81	7.80	20.68
中颌棱鲷 <i>T. mystax</i>	-	-	-	7.79	7.60	-
日本白姑鱼 <i>A. japonicus</i>	-	-	-	5.72	5.65	-
黄姑鱼 <i>J. belangerii</i>	-	-	5.25	5.98	9.83	16.71
真赤鲷 <i>P. major</i>	5.64	7.18	7.04	-	-	-
三线矶鲈 <i>P. trilineatum</i>	5.46	7.29	7.15	-	-	-
褐篮子鱼 <i>S. fuscescens</i>	5.17	6.26	6.13	8.16	8.00	-
六指多指马鲛 <i>P. sextarius</i>	6.01	-	5.88	-	-	-
朴蝴蝶鱼 <i>R. modesta</i>	-	-	5.05	-	-	-
灰海鲷 <i>M. cinereus</i>	-	-	-	7.26	7.12	-

注:表中仅列出贡献值大于5%的部分种类;Ad表示平均相异性百分比。  
Notes: Only species with contribution greater than 5% are listed in; Ad denotes the average percentage of dissimilarity.



表 8 大陈岛海域不同季节岩礁生境平均环境参数  
Tab. 8 Average environmental parameters in rocky habitats in different seasons of Dachen Islands

环境因子 Environmental factor	季节 Season			
	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	春 Spring
温度 Temperature/°C	26.92	18.55	10.47	15.45
盐度 Salinity	27.45	29.94	30.54	29.31
溶解氧 Dissolved oxygen/(mg/L)	7.55	8.24	10.31	9.47
叶绿素 a Chlorophyll-a/(μg/L)	2.06	0.99	0.78	2.29
pH	8.09	8.14	8.25	8.12

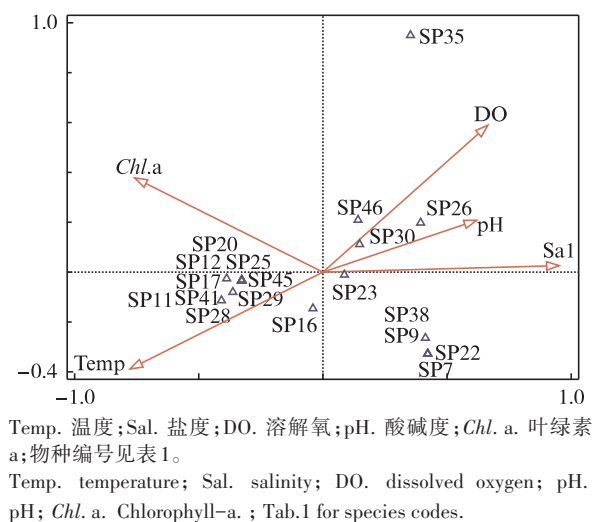


图 4 大陈海域岩礁生境鱼类丰度与环境因子的 CCA 排序

Fig. 4 CCA ordination of fish abundance and environmental factors in rocky habitats of Dachen Waters

### 3 讨论

#### 3.1 大陈岛海域岩礁生境的鱼类组成特征

本研究发现,鲈形目鱼类是大陈岛潮下带岩礁生境分类学上占比最大的鱼类,而其中的石首鱼科鱼类又起着主导作用。大陈岛岩礁生境采集的 49 种鱼类中,鲈形目及石首鱼科鱼类各占总鱼种数的 57.14% 和 22.45%。在同样使用刺网的情况下,大陈岩礁生境采集的石首鱼类种数多于马鞍列岛<sup>[23]</sup>、中街山列岛<sup>[9]</sup>,与各临近岛礁海域的拖网结果中所获石首鱼种数相近<sup>[24-25]</sup>。由于石首鱼类多生活在沙泥底质的大陆架或河口等水深不超过 100 m 的近海水域中<sup>[26]</sup>,如此多种石首鱼类聚集于近礁区域,反映出大陈岛具有不同于前述各类岛礁的独特性质,其岩礁生境与近海泥沙生境存在极其快速的生境过渡,而各石首鱼类可

能利用这种生境过渡进行产卵、觅食等活动<sup>[27]</sup>。

在生态型上,区域鱼类群聚主要由暖水种和暖温种构成。除了冬春季采样外,其余 2 次采样中暖水种的种类相较暖温种皆更加丰富。可能由于大陈海域属亚热带海洋性季风气候,夏冬季风向相反,同时受浙闽沿岸流和台湾暖流影响<sup>[28]</sup>,导致暖水种与暖温种组成有一定的季节性更替。夏秋季海洋洄游种数量显著增多,表明大陈岛礁环境是诸多洄游种的重要栖息地,洄游种对大陈岛礁的季节性利用可能表现为夏秋季在岛礁周边育幼、摄食后在冬春季向开阔海域越冬洄游。

11 种优势种中多为经济鱼类,表明大陈岛礁区域具有丰厚的渔业资源基础和潜力。其中不乏六指多指马鲛及石首鱼科鱼类等多见于泥沙底质生境的物种,考虑由于采样过程中,站位周边水流较急以及生境过渡较快等原因使网具被水流携带到岛礁与沙质生境交界边缘所致。总体而言,优势种组成基本符合岩礁生境下的常见鱼类组成,同时又显示出大陈岛礁的独特性质,一定程度上补足了同期的拖网采样结果<sup>[14]</sup>,形成了对整片大陈海域鱼类组成的基本认识。与《东海鱼类志》等早期历史资料相比,发现采集的鱼类种数远高于记录(49 种鱼类仅有 13 种在大陈海域有记录,24 种在台州海域有记录)且有未记录种(11 种),考虑可能是采样环境、采样方式、人类活动影响、环境变迁以及分类学发展等因素共同导致的。

但是群聚优势种组成单一且小型化的问题显著,且各季节优势种的生物量占比大多超过 50%,唯有夏季群聚结构稳定性较好(优势种占比 34%);增殖放流重点目标如黑棘鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)<sup>[29]</sup>、大黄鱼等种群的补充也未见明显成效。可见大陈海域岩礁生境鱼类的群聚结构相对简单且季节性明显,即便通过伏季休渔短暂调整,大陈海域岩礁生境依然十分脆弱。

#### 3.2 大陈岛海域岩礁生境鱼类多样性的时空变化

夏秋鱼类群聚 α 多样性显著高于冬春季,展示了大陈岛礁鱼类对岩礁生境明显的季节性利用。秋季尽管采集的鱼类数量不多,但是种类数接近夏季,因此表现出较高的丰富度指数。种类数和生物量的峰值均出现在放网时间相对更短

的夏季,或许表明夏季鱼类群聚实际上拥有更高的多样性和丰富度;冬季和春季在鱼类种类数、生物量上相较前两季节骤降,因此丰富度指数和多样性指数也相应骤降。这一方面反映了由于鱼类的季节性洄游或繁殖策略<sup>[30]</sup>,鱼类群聚受季节更替影响强烈;另一方面或许说明大陈岩礁生境渔业资源极易遭受捕捞作业的消耗和破坏,现行捕捞强度仍过大或当前渔业资源还未得到充分恢复。而同一季节养殖区域与捕捞区域之间的 $\alpha$ 多样性对比则初步反映了两种区域之间鱼类群聚存在明显差异。由于FDS所捕获的鱼类不论在种数或是个体数上都比ADS多,因此FDS表现出相对较高的丰富度指数。然而除了冬季外,其他季节ADS的均匀度指数和多样性指数均比FDS更高,且这种变化趋势基本一致,结合表4两区域优势种的分布来看,可判断ADS拥有更复杂更多样的鱼类群聚结构。

同季节各站位之间的Jaccard相似性指数表明各站位之间的群聚相关性不大,侧面反映出该海域的岩礁生境可能具有较强的空间异质性,通过提供丰富的环境结构为不同的群聚构筑栖息地和繁殖场所<sup>[8]</sup>。聚类 and 排序结果显示,岩礁生境鱼类群聚组成季节差异较为显著,尤其是夏季与冬春差异最为明显。各季节能明显分出“以FDS为主导”和“以ADS为主导”的两大站位组,表明水产养殖影响下的岩礁生境与捕捞活动干扰的天然岩礁生境相比,已经形成了其独特的群聚特征。

### 3.3 大陈岛岩礁生境鱼类群聚格局及其对环境因子的响应

CCA结果显示(图4),环境因子中盐度对鱼类群聚影响最大,其次为温度。盐度是影响岩礁相关物种的主要结构变量以及沿海鱼类群落的关键结构因素<sup>[31]</sup>,或许正是大陈海域咸淡水交汇的情况配合岛礁复杂的生境,使得大陈岛礁海域形成多样的盐度梯度,从而能够支持大陈岛潮下带丰富的岛礁鱼类群聚。而温度和叶绿素a的季节性变化对鱼类群聚的影响往往有协同的作用:一方面随温度升高浮游植物越发活跃,海域初级生产力上升可供养更多鱼类;另一方面台湾暖流、沿岸流等的季节性相互作用又能够维持和调控近海岩礁生境下的初级生产力<sup>[32]</sup>。本研究中国叶绿素a对群聚为负相关影响,这与邻近海域的

部分相关研究结果相同<sup>[33-34]</sup>,但尚未见合理的解释。自然情况下,多种环境因子之间错综复杂的相互作用共同影响着鱼类群聚的结构。考虑到大陈海域具有复杂的岩礁生境及水文特征,鱼类群聚对各环境因子背后的响应机制需要更深入的研究才能揭示。而由于岩礁生境的本质空间异质性极强,单纯的深度因子较难用于准确衡量和代表生境内鱼类组成分布,故在本研究中考量环境因子时不考虑水深的作用。

在局地尺度下,鱼类群聚的多样性与岛礁生境的地形复杂性有关<sup>[35]</sup>。岩礁生境的垂直偏斜度等结构指标与其他环境变量一样,是影响群聚组成的重要潜在要素<sup>[36]</sup>,但目前鲜有报道和讨论。聚类分析中发现,东部FDS在每个季节均能形成独立的群聚组,表明其或许具有一定的特殊性。而现实中大陈岛东面主要是倾斜、陡峭的岩壁礁石。有研究认为较陡峭的岩礁具有更高的生境复杂性,可为幼鱼提供额外庇护所、支持更多生态位和提供功能多样性<sup>[37]</sup>,与水流相互作用还可提供初级生产力和浮游动物生物量,进而利于小型中上层鱼类聚集<sup>[38]</sup>。尽管基于现有研究尚无大陈东部的岩礁物理指标参数,且在本研究中其物种组成和多样性未见显著特点,但其较特殊的环境构造和聚类时表现出的独特性或许暗示其存在着潜在研究价值,有待结合实际的生境复杂程度和空间异质性进一步讨论。

### 3.4 人类活动对大陈岛岩礁生境局地尺度上鱼类群聚格局的影响

研究发现,在ADS周边的岩礁鱼类群聚拥有更复杂的优势种组成和更高的多样性,并形成了有别于FDS周边的群聚结构。从重金属和营养盐、浮游生物群落特征等角度来看,大陈岛海域以大黄鱼铜围网养殖为首的水产养殖业给区域带来了不同程度的污染<sup>[11,39-41]</sup>。但就鱼类群聚而言,目前水产养殖对局地尺度岩礁生境鱼类群聚的影响似乎利大于弊,可能是由于多样的人工结构增加了鱼类栖息地进而能够促进形成更复杂的群聚结构<sup>[42]</sup>,养殖活动产生的额外食物或其他可利用营养资源也能够吸引各种鱼类<sup>[43]</sup>。水产养殖对岛礁或珊瑚礁生态系统的影响一直是关注的焦点<sup>[44]</sup>,RIERA等<sup>[45]</sup>甚至发现养殖区域周边的岛礁鱼类群聚具有更高的功能多样性。可见水产养殖对岩礁生境鱼类群聚产生的具体影响

可能建立在复杂的、营养与环境相协同的机制之上<sup>[46]</sup>,现行还不足以对其在大陈岛礁的具体机制做出有把握的预测,亟需更具针对性的研究去探索。

本研究认为捕捞活动可能是导致群聚结构简单、优势种单一的重要原因,而养殖活动对鱼类群聚存在的长远影响则尚未清晰,在此情况下大陈岩礁生境的鱼类群聚极可能已形成了与人类活动相适应的生活策略。研究发现所有优势种中仅有中颌棱鲉、大黄鱼两种鱼类在FDS单独表现了优势地位,其中中颌棱鲉可能与其生活于水体中上层、集群且洄游等习性有关<sup>[47]</sup>,不喜养殖设施存在的水域,大黄鱼则根据其越冬习性和捕获数量推测可能为养殖逃逸个体<sup>[48]</sup>;有6种鱼类在不同季节于ADS单独表现出优势地位,这些大多具有一定经济价值的暖水性底层鱼类可能受丰富的饵料沉降或富营养化所带来的高生产力吸引<sup>[40]</sup>,将养殖区视为适宜的觅食场所。而对同时在两个区域均表现优势的物种而言,也能发现其生境利用的规律:如鳞鳍叫姑鱼可能将大陈岛礁视为繁育场从而导致其在夏季的优势突出<sup>[49]</sup>,然而该种在ADS无论是生物量、丰度及出现频率上都低于FDS,表明其在选择繁育地点时可能偏向于ADS以外,人为干扰相对更少、潜在捕食者也更少的FDS;又如绝对优势种褐菖鲉在夏秋季于ADS的生物量、丰度均远高于FDS,但进入冬春季该种的捕获量则逐渐向FDS迁移,可能由于进入冬春季水温降低,褐菖鲉的摄食强度降低从而减少在ADS的觅食活动<sup>[50]</sup>,另一方面可能出于躲避敌害、进行繁育的目的选择在繁殖高峰的冬春季向FDS移动<sup>[51]</sup>。

作者声明本文无利益冲突。

#### 参考文献:

- [1] WOOTTON R J. Ecology of teleost fishes[M]. London: Chapman and Hall, 1990.
- [2] 郁尧山, 张庆生, 陈卫民, 等. 浙江北部岛礁周围海域鱼类群聚特征值的初步研究[J]. 水产学报, 1986, 10(3): 305-313.
- [3] YU Y S, ZHANG Q S, CHEN W M, et al. A preliminary study on eigenvalues of fish communities in waters surrounding islands off the northern Zhejiang[J]. Journal of Fisheries of China, 1986, 10(3): 305-313.
- [4] 高炜程, 汪振华, 章守宇, 等. 枸杞岛筏式贻贝养殖海域鱼类群聚特征[J]. 水产学报, 2024, 48(1): 019305.
- [5] GAO W C, WANG Z H, ZHANG S Y, et al. Characteristics of fish assemblage in a mussel farming area in Gouqi Island waters[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(1): 019305.
- [6] 邱科程, 张荣良, 晁敏, 等. 浙江三门湾鱼卵、仔稚鱼群聚结构时空变化研究[J]. 海洋与湖沼, 2022, 53(3): 684-696.
- [7] QIU K C, ZHANG R L, CHAO M, et al. Spatiotemporal variations in Cluster structure of fish eggs, larvae, and juveniles in the Sanmen Bay, Zhejiang, East China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2022, 53(3): 684-696.
- [8] 金显仕, 窦硕增, 单秀娟, 等. 我国近海渔业资源可持续产出基础研究的热点问题[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 124-131.
- [9] JIN X S, DOU S Z, SHAN X J, et al. Hot spots of frontiers in the research of sustainable yield of Chinese inshore fishery[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(1): 124-131.
- [10] 李娇, 公丕海, 常青, 等. 岩礁鱼类行为生态学研究进展[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 192-199.
- [11] LI J, GONG P H, CHANG Q, et al. Research progress on behavioral ecology of reef fish[J]. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 192-199.
- [12] 汪振华. 多元生境中的鱼类群落格局——以马鞍列岛为例[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- [13] WANG Z H. Fish community patterns in meta-habitat: a case study from Ma' an Archipelago [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011.
- [14] 汪洋, 吴常文. 中街山列岛岩礁海域鱼类群落多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2015, 46(4): 776-785.
- [15] WANG Y, WU C W. Fish community diversities in reef waters of Zhongjieshan Islands [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2015, 46(4): 776-785.
- [16] 王雪辉, 杜飞雁, 林昭进, 等. 西沙群岛主要岛礁鱼类物种多样性及其群落格局[J]. 生物多样性, 2011, 19(4): 463-469, 501-504.
- [17] WANG X H, DU F Y, LIN Z J, et al. Fish species diversity and community pattern in coral reefs of the Xisha Islands, South China Sea [J]. Biodiversity Science, 2011, 19(4): 463-469, 501-504.
- [18] 王钻一. 大陈岛海域生态环境与渔业资源承载力研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.



- WANG Z Y. Research on the marine ecological environment and fishery resources carrying capacity of Dachen Islands [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [12] 蔡一声,戴笑. 关于浙江大陈海域开发与管理研究[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(3): 50-52.
- CAI Y S, DAI X. Study on the development and management of Zhejiang Dachen sea area [J]. Ocean Development and Management, 2015, 32(3): 50-52.
- [13] 芮银,蒋日进,王好学,等. 大陈岛产卵场保护区鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 水产学报, 2022, 46(6): 995-1007.
- RUI Y, JIANG R J, WANG H X, et al. Characteristics of fish community structure and its relationship with environmental factors in Dachenyang spawning ground reserve[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(6): 995-1007.
- [14] 邹沁东,汪振华,章守宇,等. 大陈岛礁海域鱼类群落结构特征[J]. 生态学杂志, 2024, 43(3): 795-803.
- ZOU Q D, WANG Z H, ZHANG S Y, et al. Characteristics of fish community structure in the sea area of Dachen Island[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(3): 795-803.
- [15] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K. Fish bulletin 152. Food habits of Albacore, Bluefin Tuna, and Bonito in California waters [R]. Scripps: Scripps Institution of Oceanography Library, 1970.
- [16] 单秀娟,金显仕. 长江口近海春季鱼类群落结构的多样性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(1): 32-40.
- SHAN X J, JIN X S. Diversity of fish community structure in the spring-time offshore waters at the Yangtze river estuary [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(1): 32-40.
- [17] MARGALEF R. Information theory in ecology [J]. General Systems, 1958, 3: 36-71.
- [18] WILHM J L. Use of biomass units in Shannon's formula [J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [19] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [20] 周红,张志南. 大型多元统计软件PRIMER的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 58-64.
- ZHOU H, ZHANG Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in Benthic Community Ecology [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 58-64.
- [21] CLARKE K R, WARWICK R M. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation [M]. 2nd ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd, Plymouth Marine Laboratory, 2001.
- [22] TER BRAAK C J F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis [J]. Ecology, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [23] 汪振华,赵静,王凯,等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6218-6226.
- WANG Z H, ZHAO J, WANG K, et al. Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6218-6226.
- [24] 渠遥,黄波,周永东,等. 中街山列岛海域鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2022, 41(5): 387-394, 399.
- QU Y, HUANG B, ZHOU Y D, et al. Characteristics of fish community and its relationships with environmental factors in the waters of Zhongjieshan Islands [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2022, 41(5): 387-394, 399.
- [25] 宋晨,王晓波,张国豪,等. 浙江瓊江口海域游泳动物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(4): 1113-1124.
- SONG C, WANG X B, ZHANG G H, et al. Community characteristics of nekton assemblages in Oujiang river estuary and its relationship with environmental factors, Zhejiang, East China [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2023, 54(4): 1113-1124.
- [26] 郭昶畅. 中国沿海石首鱼科鱼类的鉴定、分类和分子系统发育研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2017.
- GUO C C. Identification, classification and molecular phylogeny of Sciaenidae species from Chinese waters [D]. Xiamen: Xiamen University, 2017.
- [27] 沈慧. 岛礁海域典型石首鱼科鱼类的生物学特征及其分布规律[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- SHEN H. Biological characteristics and spatial patterns of typical *Sciaenidae* fishes in rocky island waters [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.
- [28] 王建丰,司广成,于非. 台湾暖流变化特征及机制研究进展[J]. 海洋科学, 2020, 44(5): 141-148.
- WANG J F, SI G C, YU F. Progress in studies of the characteristics and mechanisms of variations in the Taiwan Warm Current [J]. Marine Sciences, 2020, 44(5): 141-148.
- [29] 陈欣怡,徐开达,李鹏飞,等. 浙江近海海洋鱼类增殖放流现状分析[J]. 海洋开发与管理, 2023, 40(9): 128-135.
- CHEN X Y, XU K D, LI P F, et al. Analysis of the status of marine fish proliferation and release in Zhejiang offshore [J]. Ocean Development and Management, 2023, 40(9): 128-135.
- [30] CHENG X P, WANG Z H, ZHANG S Y, et al. Analysis of short-term and local scale variations in fish community

- structure in Dachen Island waters[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2023, 10: 1199524.
- [31] FRANCO A C S, SANTOS L N D. Habitat-dependent responses of tropical fish assemblages to environmental variables in a marine-estuarine transitional system [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 211: 110-117.
- [32] 吴林妮. 南黄海及东海溶解氧和营养盐的时空格局及影响因素研究[D]. 青岛: 自然资源部第一海洋研究所, 2021.
- WU L N. Spatiotemporal patterns and influencing factors of dissolved oxygen and nutrients in the South Yellow Sea and the East China Sea [D]. Qingdao: First Institute of Oceanography, MNR, 2021.
- [33] 马稳, 秦松, 赵静. 浙江南部近海鱼类资源季节分布特征及其影响因素[J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(3): 1-11.
- MA W, QIN S, ZHAO J. Distribution characteristics and influencing factors of fish resources in the offshore waters South of Zhejiang [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(3): 1-11.
- [34] 赵静, 章守宇, 汪振华, 等. 基于GAM模型的鱼类群落多样性分布及影响因素[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(12): 3226-3235.
- ZHAO J, ZHANG S Y, WANG Z H, et al. Fish community diversity distribution and its affecting factors based on GAM model [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(12): 3226-3235.
- [35] COWBURN B, GRAHAM J, SCHRATZBERGER M, et al. Rocky reefs of St Helena and the tropical Atlantic: how the lack of coral and an isolated oceanic location drive unique inshore marine ecology[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2021, 663: 31-49.
- [36] JACKSON-BUÉ T, EVANS A J, LAWRENCE P J, et al. Habitat structure shapes temperate reef assemblages across regional environmental gradients [J]. *Science of the Total Environment*, 2024, 906: 167494.
- [37] MCKINLEY S J, SAUNDERS B J, RASTOIN-LAPLANE E, et al. Functional vulnerability and biogeography of reef fish assemblages in the Galapagos Archipelago [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2023, 286: 108301.
- [38] ROJO I, SÁNCHEZ-CARNERO N, ANADÓN J D, et al. Habitat selection of high trophic-level predatory fishes in protected and unprotected areas: the effects of density and maturity stage [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2022, 274: 107954.
- [39] 李明云, 苗亮, 俞淳, 等. 大黄鱼大型座底式围栏养殖的不同形式和管理的效果[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2019, 32(6): 30-34.
- LI M Y, MIAO L, YU C, et al. Effects of different forms and management of large bottom-seated enclosure for culturing large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition)*, 2019, 32(6): 30-34.
- [40] 陈志和. 大陈岛大型围栏养殖区海洋环境质量评价及IMTA模式构建初步研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
- CHEN Z H. Marine environmental quality assessment of large scale fenced aquaculture area in Dachen Island and preliminary study on the construction of IMTA model [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.
- [41] 宋全健, 丰美萍, 边文华, 等. 大陈岛海域浮游动物群落季节变化及其影响因素[J]. *生态学报*, 2023, 43(17): 7128-7139.
- SONG Q J, FENG M P, BIAN W H, et al. Seasonal variation and environmental factors of zooplankton communities in sea areas around Dachen Island [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(17): 7128-7139.
- [42] WANG Z H, CHEN Y, ZHANG S Y, et al. A comparative study of fish assemblages near aquaculture, artificial and natural habitats [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2015, 14(1): 149-160.
- [43] OAKES C T, PONDELLA II D J. The value of a net-cage as a fish aggregating device in southern California [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2009, 40(1): 1-21.
- [44] HEDBERG N, STENSON I, KAUTSKY N, et al. Causes and consequences of spatial links between sea cage aquaculture and coral reefs in Vietnam [J]. *Aquaculture*, 2017, 481: 245-254.
- [45] RIERA R, TUSET V M, RODRÍGUEZ M, et al. Analyzing functional diversity to determine the effects of fish cages in insular coastal wild fish assemblages [J]. *Aquaculture*, 2017, 479: 384-395.
- [46] KOLDA A, GAVRILOVIĆ A, JUG-DUJAKOVIĆ J, et al. Profiling of bacterial assemblages in the marine cage farm environment, with implications on fish, human and ecosystem health [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 118: 106785.
- [47] KENDE D R, NIRMALE V H, GURJAR U R, et al. Biometric analysis of moustached thryssa *Thryssa mystax* (Bloch and Schneider, 1801) along the Ratnagiri coast of Maharashtra, India [J]. *Indian Journal of Fisheries*, 2020, 67(2): 110-113.
- [48] 许永久, 唐心悦, 严小军, 等. 基于耳石微化学的东海大黄鱼洄游路线推测[J]. *海洋学报*, 2023, 45(9): 128-140.
- XU Y J, TANG X Y, YAN X J, et al. Speculation of migration routes of *Larimichthys crocea* in the East China Sea based on otolith microchemistry [J]. *Haiyang Xuebao*, 2023, 45(9): 128-140.
- [49] 裴如德, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海鳞鲷姑



- 鱼和皮氏叫姑鱼的生长、性成熟和死亡特征研究[J]. 南方水产科学, 2021, 17(6): 39-47.
- PEI R D, MA Q Y, TIAN S Q, et al. Growth, maturity and mortality of *Johnius distinctus* and *J. belangerii* in offshore waters of southern Zhejiang Province[J]. South China Fisheries Science, 2021, 17(6): 39-47.
- [50] 王静. 舟山群岛海域四种经济鱼类的摄食生态研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2022.
- WANG J. Feeding ecology of four commercial fishes in Zhoushan Islands [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022.
- [51] 吴祖立, 汪振华, 王凯, 等. 马鞍列岛趋礁鱼类褐菖鲉生物学特性初步研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(12): 133-137.
- WU Z L, WANG Z H, WANG K, et al. Preliminary study on biological characteristics of reef fish *Sebastiscus marmoratus* of Ma' an Archipelago [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(12): 133-137.

## Characteristics of fish assemblages in subtidal rocky reef habitats around Dachen Islands

MAO Jiaxuan<sup>1</sup>, WANG Zhenhua<sup>1,2</sup>, ZHANG Shouyu<sup>1,2</sup>, LIN Jun<sup>1,2</sup>, ZOU Qindong<sup>1</sup>, CHEN Yihui<sup>1</sup>

(1. College of Oceanography and Ecological Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Engineering Research Center of Marine Ranching, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** To comprehend the fish assemblage characteristics of the rocky reef habitats in the sea area of Dachen Islands, we collected fish samples from the subtidal rocky reef habitats using gillnets with multiple mesh, once per season from September 2020 to April 2021. Multiple statistical methods, including Jaccard similarity index, relative importance index,  $\alpha$ -diversity index, clustering and ordination, and canonical correspondence analysis, were employed to investigate the characteristics of fish assemblages in this habitat and their relationship with environmental factors. A total of 49 fish species were collected from the subtidal rocky reef habitats of Dachen Islands. These species belong to 10 orders, 27 families, and 40 genera. The highest proportions were found in the Sciaenidae family (22.45%) and the Engraulidae family (10.20%). Eleven dominant species appeared throughout the year, with *Sebastiscus marmoratus*, *Johnius distinctus*, and *Stephanolepis cirrhifer* exhibiting high dominance. The multivariate statistics results indicate significant spatial and temporal differences in fish communities in subtidal reef habitats on Dachen Islands. Different degrees of dissimilarity between various site types were observed, with the aquaculture areas and eastern rocky reefs forming assemblages that differed significantly from other areas ( $P < 0.05$ ). Additionally, significant seasonal variations were observed ( $P < 0.05$ ), with the highest biological diversity observed in summer and the lowest in winter. Canonical correspondence analysis identifies salinity and temperature as the most significant factors influencing fish assemblages in the rocky reef habitats of Dachen Islands. On a local scale, the study reveals that rocky reef habitats around aquaculture disturbance areas exhibit more stable and diverse fish assemblage patterns. The negative impact of aquaculture activities on fish assemblages is currently not significant, and fish within these habitats may have already developed adaptive strategies to cope with human disturbances. But in general, the fish assemblage composition of subtidal reefs was simple and structurally fragile, emphasizing the urgent need for targeted conservation and management measures.

**Key words:** rocky habitats; fish assemblages; spatio-temporal pattern; local scale; multivariate analysis; Dachen fishing ground