

## 枸杞岛近岸3种生境鱼类群落组成及 岩礁区底栖海藻对鱼类群落结构的影响

王蕾, 章守宇\*, 汪振华, 王凯, 林军  
(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

**摘要:** 2005年—2006年及2010年5—6月对枸杞岛近岸岩礁生境分布的底栖海藻进行观测和潜水采样,发现岩礁生境潮下带底栖海藻组成模式分以大型底栖海藻铜藻为优势种和以孔石莼等小型藻类为优势种两类。2009年2月—2010年1月利用组合刺网对枸杞岛海域岩礁、沙地和贻贝筏式养殖区3种生境的鱼类进行了逐月采样,通过采用方差分析、聚类和非度量多维标度等统计分析手段发现:(1)岩礁生境鱼类以底栖趋礁杂食性为主,沙地生境鱼类以中下层洄游肉食性为主,贻贝筏式养殖区生境鱼类大型个体占优;(2)岩礁生境鱼类多样性较高,大型底栖海藻生长的岩礁生境中鱼类群落组成较小型底栖海藻生长的岩礁生境稳定。前者为枸杞岛近岸优势种群繁衍提供有利条件,对鱼类幼体和小型个体有诱集作用,为鱼类捕食者提供更多样化的食物选择,鱼类群落较稳定;后者易受外界鱼类迁移的影响,个体数量和生物量月间差异大。

**关键词:** 底栖海藻; 鱼类群落; 时空分布; 栖息地选择; 食性转化

**中图分类号:** Q 178.52; S 917

**文献标志码:** A

大陆架浅海区集聚着适宜鱼类生存的各种栖息地,支持了数量众多、种类多样的生物资源,每种栖息地都对某些特定鱼种的繁衍起着不可替代的作用<sup>[1-2]</sup>。这种为某些鱼类种群的幼体或成体的摄食、生长、产卵和成熟提供依靠和保障,并在此过程中决定该种群的大小和群体补充是否成功的栖息地被称为鱼类关键生境(essential fish habitats, EFHs)<sup>[3]</sup>。海草床(seagrass beds)、海藻森林(kelp forests)、红树林(mangrove forests)和沙地(sand beach)等都为EFHs中分布较为普遍的几种栖息地类型,栖息地中植物与底质的联合可以使该生境拥有多样的生物种类和复杂的群落结构<sup>[4-6]</sup>,这是栖息地异质性的一种表现形式<sup>[7]</sup>。国外很多研究都对不同类型EFHs中鱼类和底栖动物的丰度、群体结构等的变化规律进行了研究和比较<sup>[8-14]</sup>,其中对岩礁—底栖海藻联合的栖息地异质性因素的探讨以及异质性对鱼类影响的研究是近年的热点<sup>[15-16]</sup>。岩礁基质凹凸不平、曲折错落的物理性

状与海藻个体形态和生活史差异的联合,构成栖息地中丰富多样的附着基和复杂的中空结构,使局部形成众多小型和微型生境,这种高异质性的海藻场栖息地,为多种鱼类和无脊椎动物提供生存、索饵和庇护场所<sup>[17-18]</sup>,使某些种群形成特有的行为模式和变化规律,对维持局部海域鱼类群落结构的稳定和物种多样性起着非常重要的生态作用<sup>[19]</sup>。岩礁—底栖海藻联合的栖息地分布十分广泛,我国针对该生境的生态学研究主要集中在底栖生物方面<sup>[20-22]</sup>,而对鱼类利用该生境的机制探讨不多<sup>[23]</sup>,作为岛礁渔业直接依赖且影响着整个近岸渔业的重要区域,有必要深入研究各种鱼类对该生境的利用特征。为此,本文以浙江嵊泗枸杞岛为例,对不同底质类型生境和两种底栖海藻组成模式的岩礁栖息地的鱼类组成特征进行比较分析,探讨近岸底栖海藻分布和组成对鱼类群落的影响,以期丰富海藻场生态学研究内容,为岛礁生物多样性保护和群岛海域海洋特别保护区的建设和管理提供

收稿日期:2011-02-18 修回日期:2011-05-13

资助项目:国家“九七三”前期课题(2011CB111608);国家自然科学基金项目(30871924);国家“八六三”高技术研究发展计划(2006AA100303);上海市重点学科建设项目(550702)

通讯作者:章守宇, E-mail: syzhang@shou.edu.cn

理论基础和现实依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域和站点选择

枸杞岛位于浙江嵊泗列岛东部,属亚热带季风气候,潮汐为正规半日潮,表层多年平均水温在 17~19 °C,潮差 4~5 m。海域西部受长江、钱塘江等径流为主的沿岸水影响较大,而东部外海则主要受台湾暖流和浙北上升流控制,形成该海域盐度东西水平梯度大,年变化范围介于 12.02~29.10,其低值一年二次分别于 7 月和 10 月出现在海域西侧沿岸。嵊泗海域的东部和北部分布着与枸杞岛地理自然环境相近相邻的花鸟、绿华等岛礁,这些岛礁近岸潮间带和潮下带岩礁均广泛分布着各种底栖海藻,近岸栖息着数量较多的幼小鱼、虾、蟹类<sup>[24-28]</sup>。

枸杞岛的东部岸线分布有累计约 2 000 m 的两处沙滩底质的海域,其余岸线 90% 为岩礁生境(图 1)。岩礁生境底质由各种大小形状的不规则礁石组成,底部表层堆积不同厚度的沉积物,潮间带和潮下带礁石上着生底栖海藻,部分区域潮下带集中生长着较大面积的大型底栖海藻,区域位置如图 1 中灰色带状区域,3—6 月间茂盛生长,形成大型海藻分布的岩礁生境。岛的西南、西北及东北海域距岸线 100~500 m 处,设置有大面积的贻贝养殖区(图 1 中灰色块状区域)。贻贝养殖区是由数量众多的贻贝养殖筏所构成,养殖筏是以浮绳串联不定数量浮子浮于水面上,每个养殖筏均以木桩固定于海底以抵抗风浪,整个筏体处于水深 10~30 m 的水体表面至水下约 3 米的水体中。

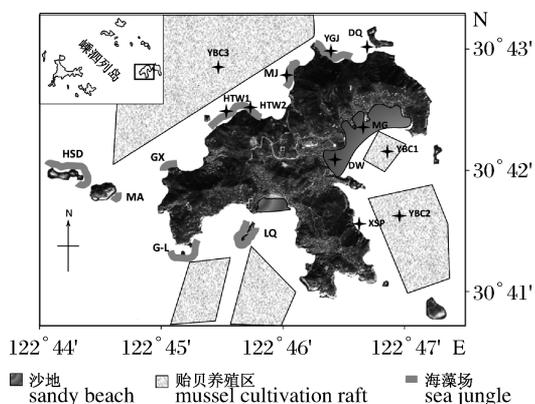


图 1 枸杞岛近岸生境分布及采样站点设置

Fig. 1 Distribution of habitats and location of sampling stations around Gouqi Island

### 1.2 采样方法和样品处理

2005—2007 年对 HTW1 和 HTW2 两处站点的潮下带大型底栖海藻进行了 3 月、5 月、6 月、8 月、9 月、11 月 6 个月的定量采样跟踪调查,了解大型底栖海藻生活史特征。每次每个站位采集 2~3 个规格 50 cm × 50 cm 样方内的底栖海藻样本。为进一步确定底栖海藻的分布区域和藻场沿岸长度,在枸杞岛 5、6 月每月大潮汛时进行了两次环岛观测,观测在大潮汛潮位落至最低点前后 2 h 内进行。测量方式为从岛的北部分布起始位置开始计时,调查船以恒定船速逆时针航行,直至分布终点位置停止计时,累计样带长度近 2 000 m。2010 年 6 月 5 日和 11 日进行进一步的潜水采样,以获得底栖海藻各项生物学参数(种类组成、株高和株重等)。将现场观察记录的大型海藻分布样带按分布位置的物理环境差异,分为 5 块区域,分别标注为 YGJ & MJ, HTW1 & HTW2, GX, HSD & MA, G-L & LQ(图 1)。每块区域随机采集 3~6 个样方,样方面积为 50 cm × 50 cm。两次环岛走航观测了无大面积大型底栖海藻集中生长区域(图 1 中灰色带状区域和沙滩以外区域)的岩礁站位 17 处,并观察了潮间带至潮下带区域小型底栖海藻着生情况。

对岩礁水域、沙底水域和贻贝筏式养殖区水域分别设立 2~5 个站位,进行一整年的鱼类资源月度跟踪调查,调查时间为 2009 年 2 月—2010 年 1 月(贻贝养殖区只进行了 2—6 月的调查)。总共设置了 11 个调查站位,进行了 12 次调查,每个月采集鱼类样本,进行种类鉴定和生物学测量。为了解潮下带底栖海藻生长对鱼类群落的影响,将岩礁水域分为大型底栖海藻和小型底栖海藻分布两块区域。从上述目的出发,同时考虑现场调查的可操作性,全年调查站次数如表 1 中所示,站点位置见图 1。

鱼类样品采集使用多网目三重底层刺网。投放时皆与岸线平行,放置于各站位的时间约为 24 h 左右,覆盖昼夜。在每一站点放置两组刺网,一组由网高 1.5 m,单片长 15 m 的 4 片网片组成,单张总长度为 60 m 的刺网,网片网目大小分别为 2.5、3.4、4.3 和 5.8 cm(2—8 月份仅由 25 mm 网片组成,9 月份以后在维持总长度不变的基础上换入 34、43 和 58 mm 小网目网片);另一组由网高 2.4 m,单片长 30 m 的 4 片网片组成单张长度

120 m 的刺网,网目大小分别为 50、60、70 和 80 mm。岩礁生境放置在距岸 5~50 m 的区域内,沙滩生境放置在距岸 50~200 m 的区域内,贻贝养

殖区放置位置如图 1。对采集到的鱼类样本进行生物学测量和胃含物分析,各项测定皆依据《海洋生物生态调查技术规程》<sup>[29]</sup>进行。

表 1 站点布置及其实际采样月份组成

Tab. 1 Set of sampling stations and composition of effective sampling month

生境 habitat	站点 site	代码 code	月份 month											
			2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	1月 Jan.
岩礁 rocky reef	羊宫礁	YGJ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	磨礁	MJ					+	+	+	+	+	+	+	+
	后头湾	HTW1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		HTW2	+		+	+								
	断桥	DQ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	小石浦	XSP	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
沙地 sandy beach	庙干	MG	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	大王	DW	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+
贻贝养殖区 mussel cultivation raft	庙干贻贝场	YBC1	+											
	小石浦贻贝场	YBC2		+	+	+								
	后头湾贻贝场	YBC3			+		+							

### 1.3 数据分析方法

研究采用相对重要性指数( *IRI* )<sup>[30]</sup>、Jaccard 相似性系数<sup>[31]</sup>、Margalef 丰富度指数、Shannon-wiener 多样性指数、Wilhm 改进多样性指数和 Pielou 均匀度指数对各生境的鱼类种类组成和群落结构差异进行分析研究。由于在各种生境类型中设置的采样站位数存在差异,采用鱼类出现的相对频率 *F* 比较鱼类在整个海域中每种生境的出现频率,用鱼类在某种生境类型中所出现的月份数占 12 个月的比例 *F'* 代表,主要公式如下:

(1) 相对重要性指数( *IRI* ):

$$IRI = (n_i/N + w_i/W) \times f_i$$

将  $IRI \geq 1000$  的物种定为优势种,  $100 \leq IRI < 1000$  的物种定为常见种,  $10 \leq IRI < 100$  的物种定为一般种,  $IRI < 10$  的物种定为少见种。

(2) Jaccard 相似性系数:

$$I = c/(a + b - c)$$

(3) Margalef 丰富度指数:

$$R = (S - 1)/\ln N$$

(4) Shannon-wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$$

(5) Wilhm 改进多样性指数:

$$H' = - \sum (w_i/W) \ln(w_i/W)$$

(6) Pielou 均匀度指数:

$$I = H'/\ln S$$

(7) 生境相对出现频率:

$$F = f_i/4$$

(8) 各生境鱼类出现时间比率:

$$F' = m_i/12$$

(9) 食物组成数量比例:

$$K = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n k_j/K_j$$

上述各式中  $n_i$  为第  $i$  种鱼类的个体数,  $w_i$  为第  $i$  种鱼类的体质量,  $N$  为所有渔获种类的总个体数,  $W$  为所有渔获种类的总体质量,  $f_i$  为第  $i$  种鱼类出现的站次数占该类型生境总调查站次数的百分比(出现频率),  $a$  为在  $a$  水域的种数,  $b$  为在  $b$  水域的种数,  $c$  为  $a$  水域和  $b$  水域的共有种数,  $S$  为群落中物种种类数量,  $m_i$  为第  $i$  种鱼类在该种生境中所出现的月份数,  $n$  为某种鱼类胃含物样本的个体数,  $k_j$  为该种鱼类第  $j$  个胃含物样本中某种食物成分的个体数,  $K_j$  第  $j$  个样本胃含物中所有成分的总个体数。

计算各站点间的 Bray-Curtis 相似性系数以形成相似性矩阵,在此基础上对海藻场、岩礁、沙滩和贻贝场各站点间鱼类群落结构进行相似性检验分析(ANOSIM),显著性水平为  $\alpha = 0.05$ ,对同一站点的鱼类群落进行聚类(UPGMA)和非度量多维标度(nMDS)分析各站点和各类型栖息地的

鱼类群聚模式和变化规律,对鱼类群落和环境之间的关系采用 BIOENV 进行多因子的最佳匹配,上述分析通过 Primer Premier 5.0 软件完成,大型底栖海藻株高、密度、生物量与环境因子的相关性分析通过 SPSS 软件实现,显著性水平为  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 底栖海藻分布和生长特点

枸杞岛近岸岩礁区潮间带和潮下带广泛生长着 3 门 20 种底栖海藻<sup>[32]</sup>。其中,潮下带以大型底栖海藻为主的岩礁区域主要生长着铜藻 (*Sargassum horneri*)、裙带菜 (*Undaria pinnatifida*) 和瓦氏马尾藻 (*Sargassum vachellianum*),铜藻为优势种,在 2009 年 5—6 月间的调查中采集到的样本占总株数的 65.9%、总质量的 87.2%。铜藻 6 月初时的平均高度为 (78.13 ± 34.54) cm,裙带菜平均高度为 (43.07 ± 20.80) cm,瓦氏马尾藻平均高度为 (41.88 ± 26.33) cm。潮下带以小型底栖海藻为主的岩礁区域优势种为裙带菜、鼠尾藻 (*Sargassum thunbergii*) 和孔石莼 (*Ulva pertusa*),

观测的 17 处站位中,孔石莼各个站位均有发现,裙带菜出现频率为 47%,鼠尾藻出现频率为 41%,羊栖菜出现频率为 12%。孔石莼贴地生长,广泛分布于各个站位的潮间带和潮下带,全年均有分布,生长盛期 4—6 月;裙带菜主要分布于潮间带低潮带和潮下带,偶有集中生长区域出现,生长盛期 4—6 月;鼠尾藻和羊栖菜主要分布于潮间带,覆盖率较高且集中,生长盛期前者 3—7 月,后者 4—7 月。

2005—2007 年对 HTW1 和 HTW2 两处站点的潮下带大型底栖海藻的定量采样跟踪调查发现,底栖海藻以铜藻为主,占总生物量的 90% 以上,两处的铜藻生物量和植株长度的变化趋势基本相同。这 4 个时间段铜藻的长度和生物量变化反映了其在一年中的生长周期中的生长特点。结合每隔一段时间的潜水观测和拍照,可将铜藻的生活史分为 4 个阶段:8—9 月幼体发育期,10 月—翌年 2 月缓慢生长期,3—5 月的快速生长和繁殖期,6—7 月腐烂衰退期,其中繁殖期多开始于 5 月。铜藻生长适温为 12 ~ 18 °C。由于铜藻的优势地位,这 4 个阶段基本上也反映了潮下带以大型海藻为支撑的海藻场的发展变化。

表 2 铜藻生长不同阶段的生物参数和水温变化

Tab. 2 The biological parameters of *S. horneri* and temperature variation at different growth stages

铜藻生活史阶段 stage of life history for <i>S. horneri</i>	平均 株高/cm average height	平均密度/ (ind/m <sup>2</sup> ) average density	平均生物量/ (g/m <sup>2</sup> ) average biomass	平均水 温/°C average temperature	株高增减幅度/ (cm/月) increase or decrease in height
幼体发育初期(8月) early developing period of juvenile (Aug.)	5.0	2 924	616	25.0	
幼体发育期(9月) developing period of juvenile (Sep.)	8.0	190	142	24.8	+3.0
缓慢生长期(11月) low-growing period (Nov.)	28.0	440	2 345	17.6	+10.0
快速生长初期(3月) early fast-growing period (Mar.)	34.0	232	1 920	12.0	+1.5
繁殖期(5月) breeding period (May)	87.0	124	7 715	20.0	+26.5
腐烂衰退期(6月) decomposing and declining period (Jun.)	74.7	98	2 860	20.8	-12.3

### 2.2 3种生境鱼类群落组成

在外界环境和鱼类本身的生物特性的共同作用下,通过对栖息空间、活动时间和食物对象的选择,枸杞岛近岸海域约 15 km<sup>2</sup> 区域形成了与枸杞岛周边岛礁海域相似,却不完全相同的鱼类群落。2009 年 2 月—2010 年 1 月一年对岩礁、沙地和贻贝筏式养殖区 3 种生境的调查采样共采集 12 目 42 科 67 属 79 种鱼类。整个枸杞岛近岸海域全年鱼类优势种为褐菖鲈 (*Sebastes marmoratus*) ( $IRI = 2 772$ )、斑头鱼 (*Agrammus agrammus*) ( $IRI = 1 220$ ) 和黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) ( $IRI = 1 059$ ),

分别占总渔获重量的 11.3%、9.4% 和 10.9%,渔获重量最高的种为鲮 (*Mugil cephalus*),占总渔获的 12.9%。常见种为褐牙鲈 (*Platessa percocephalus*)、花鲈 (*Lateolabrax maculatus*)、鲮、小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*)、皮氏叫姑鱼 (*Johnius belengerii*)、赤鼻棱鳀 (*Thryssa kammalensis*)、大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*)、蓝圆鲹 (*Decapterus maruadsi*)。与三横山海域相比<sup>[34]</sup>,斑头鱼是该海域比较独特的优势种。鱼类群落中黄姑鱼、小黄鱼、花鲈、蓝圆鲹、鲮等为洄游性鱼类,褐菖鲈、斑头鱼等种类为地方种,以上两类鱼全年在该海域

中的捕获月份数都不低于 50%, 优势种高于 83.3%, 常见种高于 67%。而部分一般种和绝大多数少见种为外来鱼种, 在该海域的出现月份数不超过 50%, 捕获量也比较低。8 月份浙江沿岸出现上升流<sup>[35-36]</sup>, 为该海域带来了多种暖水种鱼类, 使该海域多样性明显增高, 并于 9 月份达到该海域鱼类群落多样性的顶峰。其中赤鼻棱鳀的渔获重量在 8 月份激增, 占全年的 77.9%, 9、10 月也保持了相对较高的渔获量。6—10 月份在该海域出现数量激增的多种表层和中上层鱼类。一类为饵料鱼类, 如赤鼻棱鳀, 其渔获重量在 8 月份激增, 占全年的 77.9%, 9、10 月也保持了相对较高的渔获量; 一类则以饵料鱼类和虾类为食, 如蓝圆鲹, 5 月份突然以较高的渔获量出现在该海域, 然后于 10 月份消失, 5 个月渔获占全年该鱼种渔获量的 99.6%。全岛海域 80% 的一般种 12 个月的出现率高于 50%, 而少见种则多为 6—10 月突然出现 1—2 个月时间后消失。由于该海域的鱼类以底栖生物为主要摄食对象, 所以上述两类对该海域本身的鱼类群落影响不大。还有一类群体以鳗鲡(*Plotosus lineatus*) 为主的底栖性鱼类 8—12 月出现于近岸各种生境, 主要以底栖无脊椎动物和蟹类为食, 与当地种存在食物竞争, 其活动范围比较广, 岩礁生境和沙地生境均有分布。整个岛礁生态系统鱼类群落结构以岩礁性鱼类为主, 近岸洄游性鱼类为辅, 本地种占主要优势的群落格局。

枸杞岛近岸海域存在岩礁、沙地和贻贝筏式养殖区 3 种生境, 3 种生境鱼类种类组成存在明显的差异, 相似度最高的为岩礁和沙地,  $J = 0.468$ ; 贻贝场分别与沙地和岩礁的相似性都较低, 且相似性指数较为接近, 分别为 0.260 和 0.203。岩礁和沙地 5 月份鱼类的种类的相似性最高, 为 0.429, 7 月份最低, 为 0.129; 岩礁和贻贝养殖区 4 月份鱼类种类的相似性最高, 为 0.267, 3 月份最低, 为 0.077; 沙地和贻贝养殖区 6 月份鱼类种类的相似性最高, 为 0.385, 2 月份最低, 为 0.125。

**岩礁生境** 对岩礁生境的鱼类采样中共捕获 11 目 39 科 59 属 68 种鱼类; 优势种组成与整个海域相同, 为褐菖鲉、斑头鱼和黄姑鱼; 常见种为大泷六线、小黄鱼、花鲈、赤鼻棱鳀、鲷和蓝圆鲹; 鱼类群落中以底栖趋礁杂食性鱼类为主, 中下层鱼类为辅。岩礁生境鱼类全年种类丰富度  $R = 8.00$ , Shannon-wiener 多样性指数  $H' = 2.65$ ,

Wilhm 改进多样性指数  $H'' = 3.00$ , Pielou 均匀度指数  $J = 0.63$ 。

**沙地生境** 对沙地生境的鱼类采样中共捕获 11 目 31 科 43 属 48 种鱼类; 优势种为日本须鲷(*Paraplagusia japonica*) 和小黄鱼, 其中日本须鲷在沙地生境的渔获量占了该鱼种总渔获重量的 99.9%; 常见种为黄姑鱼、皮氏叫姑鱼、褐牙鲆、带鱼、褐菖鲉、鲷(*Platycephalus indicus*) 和斑头鱼, 鱼类组成中以中下层洄游肉食性鱼类为主。沙地生境鱼类全年种类丰富度  $R = 7.06$ , Shannon-wiener 多样性指数  $H' = 2.87$ , Wilhm 改进多样性指数  $H'' = 2.93$ , Pielou 均匀度指数  $J = 0.74$ 。

**贻贝筏式养殖区生境** 对贻贝筏式养殖区生境的鱼类采样中共捕获 6 目 13 科 15 属 15 种鱼类; 优势种为鲷和蓝圆鲹; 常见种为皮氏叫姑鱼、褐菖鲉、黄姑鱼、星康吉鳗(*Conger myriaster*)、小黄鱼和海鳗(*Muraenesox cinereus*); 鱼类组成中上层、中下层、底层鱼类较为平均、食性多元化。贻贝筏式养殖区生境 5 个月鱼类种类丰富度  $R = 2.71$ , Shannon-wiener 多样性指数  $H' = 1.61$ , Wilhm 改进多样性指数  $H'' = 1.77$ , Pielou 均匀度指数  $J = 0.59$ 。

就全年来看, 岩礁生境鱼类种类丰富度要明显高于其他两种生境。除 11 月和 1 月外, 其他月份鱼类种类丰富度岩礁生境都高于沙地生境, 而贻贝筏式养殖区种类丰富度总是三者中最低的。3 种生境鱼类种类丰富度最接近的时间为 4 月份, 分别为岩礁  $R = 2.00$ , 沙地  $R = 1.94$ , 贻贝养殖区  $R = 2.00$ 。岩礁生境鱼类群落的 Wilhm 多样性指数在 3—10 月间一直高于沙地生境, 11 月—翌年 1 月间则与沙地生境 Wilhm 多样性指数值高低交替, 差距不大。岩礁生境鱼类的 Shannon-wiener 多样性指数一直较其他两种生境高, 8、11、12 三个月除外。鱼类群落的均匀度, 沙地生境要明显高于岩礁生境和贻贝筏式养殖区生境(图 2)。春季和夏季鱼类群落均匀度, 岩礁生境的变化很小, 较为稳定, 而沙地生境则呈逐渐升高趋势, 导致岩礁生境和沙地生境的均匀度差值持续增加; 秋季沙地生境鱼类群落均匀度高于岩礁生境, 而冬季则是岩礁生境高于沙地生境。从总体来看, 沙地生境鱼类各个种的个体分布较岩礁生境平均, 尤其是 8 月和 12 月, 均匀度  $J$  值接近 1, 说明各种组成鱼类丰度接近相等; 岩礁生境鱼类群落的均匀度全年较

其他两种生境稳定,变化不大。

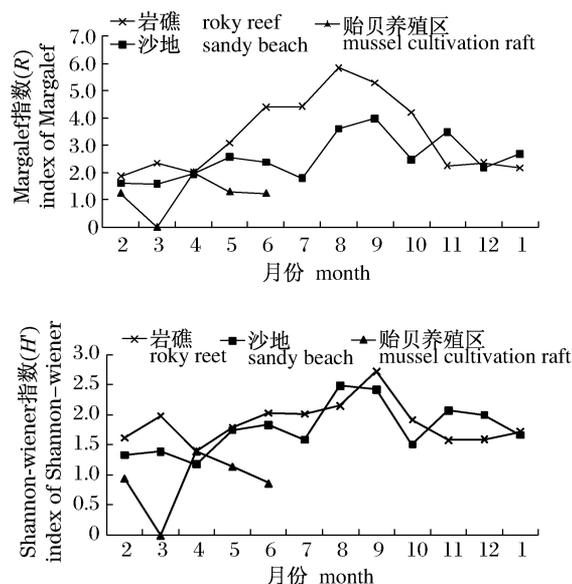


图2 枸杞岛3种生境鱼类多样性指数月变化  
Fig. 2 Monthly variation of fish diversity in rocky reef, sandy beach and mussel cultivation raft

### 2.3 岩礁区域大型海藻分布区与小型底栖海藻分布区鱼类群落特点

位于大型底栖海藻为主的岩礁生境的调查站

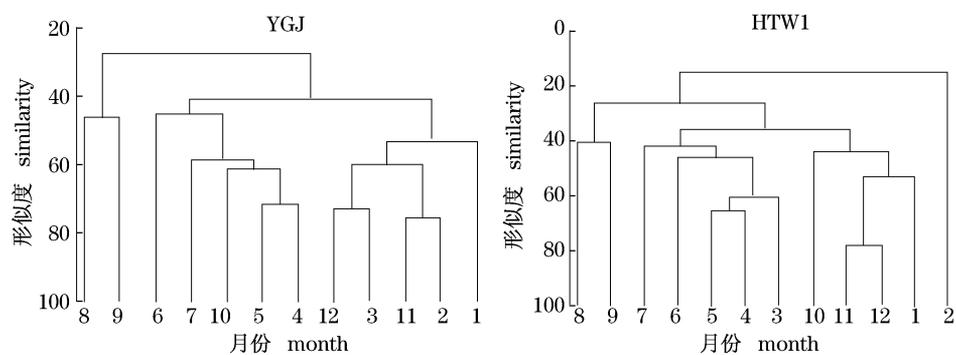


图3 YGJ和HTW1站点处鱼类丰度聚类图  
Fig. 3 Dendrogram of monthly collections of fishes in YGJ and HTW1

分别对上述两种不同类型底栖海藻分布的岩礁生境中捕获的鱼类进行统计。大型底栖海藻分布区捕获10目38科49属52种鱼类样本,小型底栖海藻控制区捕获11目35科54属61种鱼类样本;两个区域优势种一样,但IRI值及排序上稍有不同,前者褐菖鲉IRI值远大于后者,斑头鱼的IRI值也高于后者,且排位高于黄姑鱼,而后者斑头鱼排位低于黄姑鱼;前者常见种4种只有后者的一半,但一般种有21种,远高于后者的10种

位于YGJ、MJ、HTW1和HTW2,位于小型底栖海藻为主的岩礁生境的调查站位为DQ和XSP。对上述几个站位鱼类群落结构进行相似性检验分析(ANOSIM),结果发现两种类型海藻场中的鱼类组成差异并不显著。考虑到海藻在一年中不同阶段的生长差异可能对周围环境中鱼类的影响,将鱼类数据按照海藻生活史的4个阶段分别进行相似性检验分析,发现除大型底栖海藻生长盛期3—5月站点间鱼类群落存在显著性差异( $P=0.022$ )外,其他时间段并无显著性差异。分别对YGJ、HTW1和DQ、XSP4个站位的鱼类群落结构进行聚类分析,发现HTW1处鱼类群落聚类结果跟大型底栖海藻的生活史规律较为一致8、9月份为一组,3—7月为一组,10月到翌年2月为一组;YGJ处除2、10两个月份外,与HTW1处分组基本保持一致(图3)。而DQ和XSP两处站点鱼类群聚模式则无明显规律。上述两点均证明从较长时间段(至少一年)上看,底栖海藻分布类型不同的区域鱼类群落结构并无明显差异,但对于较短时间内(以月为单位)的鱼类群落结构还是有影响的,而这种影响很可能是与不同类型底栖海藻的生活史和分布特点等差异所造成的。

(表3)。大型底栖海藻控制区优势种渔获占总渔获个体数的48.5%,重量的43.9%;小型底栖海藻控制区优势种渔获占总渔获个体数的49.1%,重量的31.7%。

大型底栖海藻和小型底栖海藻分布的岩礁生境鱼类群落的组成种类的相似性指数呈现年内波动。鱼类种类相似性最高的是3月和9月,分别为0.692和0.706,相似性最低的为8月份,只有0.189,3—8月间两个区域内鱼类群落种类组成

的相似性持续下降,于 9 月份突然增高,于 8、9 月份分别出现鱼类种类组成相似性的波谷与波峰。此现象与 6—9 月份出现在该海域的多种洄游性鱼类有关,该鱼类群体具有高丰度、高生物量的特

点,出现于该海域进行索饵和繁殖,使这段时期外来鱼种成为枸杞岛近岸海域鱼类群落结构改变的主要因素,而生境本身的鱼类群落差异弱化。

表 3 两种生境鱼类优势种、常见种组成

Tab. 3 The composition of dominant species, common species in two kinds of habitats

生境类型 habitat type	大型海藻生长区 rocky reef dominated by larger macroalgae	小型海藻生长区 rocky reef dominated by smaller macroalgae
优势种 (IRI) dominant species	褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i> (4 524) 斑头鱼 <i>A. agrammus</i> (2 296) 黄姑鱼 <i>N. albiflora</i> (1 133)	褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i> (3 912) 黄姑鱼 <i>A. agrammus</i> (1 367) 斑头鱼 <i>N. albiflora</i> (1 298)
常见种 (IRI) common species	花鲈 (539) <i>L. maculatus</i> 大泷六线鱼 (510) <i>H. otakii</i> 赤鼻棱鲉 (421) <i>T. kammalensis</i> 小黄鱼 (266) <i>L. polyactis</i> 蓝圆鲈 (150) <i>D. maruadsi</i>	大泷六线鱼 (770) <i>H. otakii</i> 小黄鱼 (579) <i>L. polyactis</i> 鲷 (328) <i>M. cephalus</i> 赤鼻棱鲉 (279) <i>T. kammalensis</i> 皮氏叫姑鱼 (269) <i>J. belengerii</i> 花鲈 (194) <i>L. maculatus</i> 丝背细鳞鲈 (182) <i>S. cirrhifer</i> 星康吉鳗 (178) <i>C. myriaster</i> 褐牙鲈 (151) <i>P. percocephalus</i>

鱼类群落组成的种类丰度,小型底栖海藻分布的岩礁生境较大型底栖海藻生长的岩礁生境平均,前者的均匀度指数除 9 月外一直高于后者,两者差距最大时是 10 月份,此时后者的鱼类均匀度达到一年中的最低值 0.549。大型底栖海藻和小型底栖海藻生长的岩礁生境鱼类群落的年 Shannon-wiener 指数 ( $H'$ ) 分别为 2.561 和 2.701, 两者的月度变化为  $\pm 0.420$  和  $\pm 0.389$ ; 年 Wilhm 指数 ( $H''$ ) 分别为 2.973 和 2.783, 两者的月度变化为  $\pm 0.499$  和  $\pm 0.735$  (图 4)。说明大型底栖海藻生长的岩礁生境的鱼类群落基于物种数量的多样性低于小型底栖海藻生长的岩礁生境,且月间波动相差不大,而基于生物量的鱼类群落多样性则高于小型底栖海藻控制区,且月间波动要比小型底栖海藻控制区小。其原因是 8 月份大型底栖海藻生长的岩礁区出现了大量个体较小的鱼类种群,主要为中颌棱鲉 (*T. mystax*) 和赤鼻棱鲉,造成鱼类群落个体数量和生物量的变化幅度存在了较大的差异。上述情况说明,大型底栖海藻控制区鱼类群落的组成总体情况较小型底栖海藻控制区稳定,鱼类群落个体数量和生物量反映了一致的变化趋势,但小型底栖海藻控制区受外界鱼类群落迁移的影响较大,鱼类群落个体数量和生物量的月间变化差异比较大,与 2—5 月间进入该区域的一些个体较大的鱼类种群有关(如鲷)。

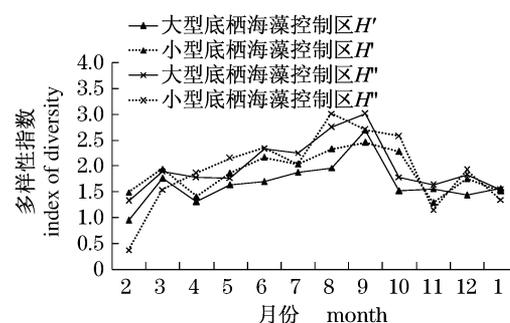


图 4 岩礁区两种底栖海藻组成模式下  
鱼类群落多样性月度差异

Fig. 4 The difference of fish community diversity between two patterns of macroalgae constitution every month

## 2.4 鱼类群落、大型底栖海藻和环境的关

基于上述的调查结果将枸杞岛周围生境划分为 4 种类型:大型海藻生长的岩礁区(a)、小型海藻生长的岩礁区(b)、沙滩区(c)、贻贝养殖区(d)。对 12 个月所有调查站点的鱼类群落进行非度量多维标度(nMDS)发现,有底栖海藻生长和没有底栖海藻生长的生境的鱼类群落存在显著地差异,大型海藻生长区和小型海藻生长区鱼类群落较为相似,但并不完全一样。

分别将 4 种栖息地的鱼类群落与环境因子进行最佳匹配分析(BIOENV),发现 4 种栖息地中除贻贝筏式养殖区生境与调查站点处水深的相关性最高外,其他 3 种类型都与水温相关性最高,反

映出季节变化才是该水域中鱼类群落变化的主导因素,贻贝养殖区与鱼群与水深的高相关性主要是因为每次的调查站点变化较大所致,虽然每次的调查站点均位于贻贝养殖区内,但由于其覆盖面积较大,所以水深等物理条件的差异较为明显,导致鱼类群落形成较大的差异。而在鱼类群落与环境的双因子分析中,四者间均不相同(表4)。大型海藻生长区叶绿素 a 和水温因子的结合与鱼类群落的匹配最佳,小型海藻生长区则是浊度和水温因子的结合与鱼类群落的匹配最佳,沙滩区是盐度和水温与鱼类群落的匹配最佳。而在三因子匹配中 a 型栖息地与 b、c 两者间均有两因子相同。栖息地类型 a、b 中的鱼类群落与环境因子存

在显著性关系( $P_a = 0.01, P_b = 0.01$ )。

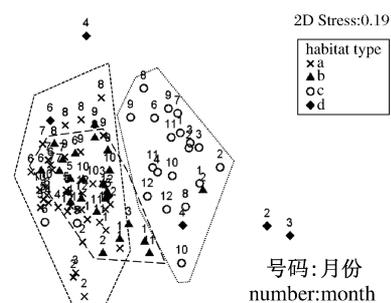


图5 各生境鱼类组成非度量多维标度排序  
Fig. 5 nMDS plot for fish assemblage patterns of four type habitats

表4 4种栖息地基于丰度数据的鱼类群落和环境因子的 BIOENV 相关分析

Tab. 4 The BIOENV analysis of fish abundance with environmental factors in four type habitats

栖息地类型 habitat type	单因子值/(对应因子) value of single factor (corresponding factor)	双因子值/(对应因子) value of double factors (corresponding factors)	三因子值/(对应因子) value of triangle factors (corresponding factors)
a	0.522/(T)	0.620/(T, Chl. a)	0.658/(T, Chl. a, DO)
b	0.568/(T)	0.601/(T, SS)	0.658/(T, SS, DO)
c	0.385/(T)	0.463/(T, S)	0.513/(T, S, Chl. a)
d	0.778/(D)	0.845/(D, T)	0.541/(D, T, S)

注:T. 温度; S. 盐度; Chl. a 叶绿素 a; SS. 浊度; DO. 溶氧; D. 水深。

Notes: T. Temperature; S. Salinity; Chl. a. Chlorophy-a; SS. Turbidity; DO. Dissolved oxygen; D. Water depth.

将 HTW1 处大型底栖海藻优势种铜藻跟踪观测的各阶段生长高度、个体密度和生物量分别与环境因子中的水温、盐度、海水浊度、溶氧和叶绿素 a 浓度进行相关性分析,除生物量与浊度呈现显著负相关( $R^2 = -0.669, P = 0.049$ )外,其他均无显著性相关。但是根据已有的研究结果,铜藻的生长发育跟水温有很密切的关系,其繁殖时间和衰退时间均受到当年水温的影响<sup>[32-33]</sup>。

### 3 讨论

#### 3.1 枸杞岛近岸 3 种生境鱼类群落组成差异成因

枸杞岛周围的岩相底质上生长着不同种类、生物量丰富的底栖海藻,与周围沙砾底质的沙地生境和泥质底质的贻贝筏式养殖区生境相比,有底栖海藻生长的岩礁生境鱼类群落有着较高的种类丰富度和多样性,全年 12 个月中有 10 个月丰富度最高,9 个月 Shannon-wiener 指数最高(图 2)。相比于其他两类生境岩礁生境对枸杞岛近岸海域的鱼类有很好的集聚效应。枸杞岛近岸鱼

类组成中,褐菖鲉、斑头鱼和黄姑鱼为主要的优势种,这 3 种鱼同时也是岩礁生境的优势种,除黄姑鱼为洄游性鱼类外,其他两种均为地方性物种;而沙地和贻贝养殖区的优势种日本须鲷、小黄鱼和鳎、蓝圆鲈中只有日本须鲷为地方种,其他 3 种皆为洄游性鱼类,说明岩礁生境是地方种的主要栖息区域。根据全年的捕获量统计,褐菖鲉和斑头鱼两者的个体数量和重量均远高于其他洄游性鱼种,占到总个体数和总重的 35.67% 和 20.76%,因此岩礁区域对该海域的鱼类群落就显得尤为重要。

枸杞岛海域沿岸近 87% 为岩礁生境,而这种类型栖息地中的鱼类群落结构以底层和中下层鱼类较多,占该海域总鱼种的 63%。优势种鱼类均在中下层水域活动,以底栖无脊椎动物为第一大摄食对象,而底栖海藻的存在恰好为各种底栖动物提供了有利的生存和繁殖条件,BLOOMFIELD 等<sup>[37]</sup>比较了几种近岸栖息地发现植物生长的栖息地底栖无脊椎动物集群的种类和丰富度偏高,JOHAN 等<sup>[38]</sup>的研究也发现岩礁—海藻生境

中腹足类和片脚类生物丰富度比软相底质生境要高。以枸杞岛特有优势种斑头鱼为例,我们在调查中发现,在大型底栖海藻控制区捕获的斑头鱼个体数量是小型底栖海藻控制区的 2.1 倍,是沙滩区域的近 28 倍。枸杞岛近岸海域优势种斑头鱼在其一生中食性都保持不变,与 SEOK 等<sup>[39]</sup>的研究结果相同。枸杞岛捕获的斑头鱼的胃含物中以端足类为主,底栖无脊椎动物在其胃含物中的比例高达 67.0%。丰富的底栖无脊椎动物是岩礁—海藻生境的特点之一,因此有茂密大型底栖海藻着生的地方对斑头鱼有较高的诱集作用。沙地生境鱼类主要的饵料来源比岩礁生境缺少了腹足类和棘皮类等依托底栖海藻而生存的底栖生物,因此鱼类组成中以中下层鱼类为主,底栖种类数量减少,肉食性种类数量增多,以捕食其他游泳动物为食。贻贝筏式养殖区生境的鱼类调查因天气和现场贻贝养殖筏不利于调查等种种原因只进行了 2—6 月份的采样,但仍然可以看出由于贻贝养殖区分布于近岸较外的区域,采样站点水深较沙地生境和岩礁生境深,鱼类群落种类组成中较其他两种生境多元,底栖类型较少,凶猛的肉食性且活动范围较大的鱼类种类数量增多,代表种为星康吉鳗和海鳗,且群体中个体较大的鱼类数量明显增多。

### 3.2 底栖海藻组成对鱼类群落的影响

根据岩礁生境潮下带底栖海藻的种类组成,将岩礁区分为以直立生长的大型底栖海藻为主要的和以贴地生长的小型底栖海藻为主要的两种栖息地。前者优势种为铜藻;后者分布最广的种为孔石莼,其他种类于礁石上斑块状分布,如珊瑚藻 (*Corallina officinalis*) 等。对这两个区域的多元统计分析发现从较长时间段(至少一年)上看,底栖海藻组成不同的区域鱼类群落结构并无明显差异,但对于较短时间内(以月为单位)的鱼类群落结构还是有影响的,大型底栖海藻为主的 HTW1 和 YGJ 处鱼类群落聚类结果跟大型底栖海藻的生活史规律较为一致(图 3),而 DQ 和 XSP 两处站点鱼类群聚模式则无明显规律。说明大型底栖海藻和小型底栖海藻生长的岩礁生境对鱼类群落的影响是不同的,通过对捕获鱼类的生物学测量和胃含物分析发现,这种影响是通过大型底栖海藻和小型底栖海藻的生活史特征和植物形态学差异直接或间接对鱼类群落施加的。

鱼类由于索饵和繁殖等因素常常跟随海流活动或产生洄游,于一年中的某段时间出现于岛礁近岸,并于完成必要的生命过程后离开,重新返回海洋深处或迁移至其他海域。枸杞岛近岸在 8—10 月间会出现大量洄游性鱼类赤鼻棱鳀和中颌棱鳀,两者均喜欢活动于岩礁区域,尤其是大型海藻生长区捕获率较高,为花鲈提供了充足的饵料(占胃含物的 35.8%),这也是导致大型海藻生长区花鲈 IRI 值(539)远高于小型海藻控制区 IRI 值(194)的原因。上述两种鳀科鱼类的主要摄食对象为浮游动植物,而 8 月份大型海藻生长的岩礁区浮游动植物丰度远高于外部区域<sup>[32]</sup>,两种鱼类因索饵需求而多出现于大型海藻生长区。枸杞岛沿岸海域 4—5 月出现的黄姑鱼 73.7% 的捕获个体性腺成熟度为 III 期和 IV 期,摄食组成中 65.4% 为小型鱼类(鳀类)和鱼类幼体(褐菖鲉等),70.0% 个体捕获于小型海藻生长区,其余多捕获于大型海藻生长区域。自 8 月底开始于岩礁和沙地生境捕获大量性腺成熟度为 I 期的小型黄姑鱼,此时其个体数量最大,其后捕获个体数量明显减少。说明 4—5 月为该海域黄姑鱼的繁殖期,黄姑鱼幼体在成长为一定大小的成体后向外海迁移,3 月底个体数明显回升,说明外海的黄姑鱼于翌年又洄游回岛礁近岸,开始为其产卵繁殖做准备。捕食是影响生物群落结构的重要因素之一。鱼类的摄食对象一定程度上影响了其活动范围,从而对整个群落结构产生影响。而鱼类的食性在整个生活史过程中并不是固定不变的,某些鱼类会因发育阶段不同而引起食性的转换<sup>[40]</sup>,食性的转换很大程度上会引起鱼类对栖息环境的重新选择。结合黄姑鱼的胃含物分析发现,其个体在很小的时候喜欢栖息于沙滩区域,以中国毛虾和钩虾为食,生长一段时间后转为栖息于大型海藻控制的岩礁区域,以蟹类和小型底栖无脊椎动物为食,等生长为较大个体时转而栖息于小型海藻控制的岩礁生境主要以小型鱼类为食。

枸杞岛海域第一大优势种褐菖鲉也存在上述的食性转化。王凯等<sup>[23]</sup>的研究发现体长组为 50.0 ~ 79.9 mm 的褐菖鲉主要摄食端足类,体长组 80.0 ~ 99.9 mm 的褐菖鲉主要摄食蟹类和端足类,而体长大于 100 mm 的褐菖鲉主要摄食鱼类和端足类。由于该海域 94.8% 的褐菖鲉个体栖息于岩礁生境,因此本文将枸杞岛岩礁生境所

捕获的褐菖鲉按照上述体长组划分为 3 组,分别统计各组别在各生境捕获样本中的比例。经统计,褐菖鲉体长小于 80 mm 的体长组,大型底栖海藻控制区和小型底栖海藻控制区分别占据 48.4% 和 42.8%,说明小个体的褐菖鲉更喜栖息于海藻场区域;体长介于 80~100 的褐菖鲉分别占据各自生境个体总数的 30.3% 和 28.7%,两者比较接近;体长大于 100 mm 的褐菖鲉分别占据各自生境个体总数的 21.3% 和 28.5%,个体偏大的褐菖鲉更喜栖息于岩礁区域。从上述结果不难发现,不同个体大小的褐菖鲉栖息场所实际上是由其不同生长阶段的食性转换所引导的,体长小于 80 mm 时摄食对象主要为端足类,其中麦秆虫 (*Caprella* sp.) 和钩虾 (*Orchestia* sp.) 占了 97.0%。钩虾主要是以海藻和碎屑为食<sup>[41]</sup>, GUERRA-GARCAÍA 等<sup>[42]</sup> 观测两年时间发现麦秆虫丰度的最大值发生在大型底栖海藻生长最茂盛的时期,因此大型底栖海藻旺盛生长的时期和区域,是麦秆虫和钩虾大量繁殖的有利条件,同时也为个体较小的褐菖鲉提供了充足的饵料来源。大型底栖海藻生长盛期在 3~5 月,而这段时间恰好是枸杞近岸褐菖鲉的繁殖季节,在这段时间内,充足的饵料来源是褐菖鲉幼体和小型个体生长的基础,同时这一时期栖息于大型底栖海藻控制区的小型褐菖鲉个体又成为大泷六线鱼和星康吉鳗的摄食对象,在两者胃含物中分别占 25.0% 和 20.2%,为这两种鱼类种群提供了多种的食物支持,更有利于鱼类群落的稳定。而对于食性转化前的小型褐菖鲉来说,大型海藻生长的岩礁生境是相对于小型海藻生长的岩礁生境更好的索饵场。

#### 4 结论

枸杞岛海域栖息的鱼类群落以 2 种类型为主,一种为地方性趋礁鱼类,一种为季节性洄游鱼类。前者以底栖和中下层鱼类为主,后者以表层和中上层鱼类为主。岩礁生境、沙地生境和贻贝筏式养殖区生境中鱼类的群落结构存在明显差异,三者中由于岩礁生境底栖海藻的存在,形成了相对较为复杂的生境环境,为各种底栖生物提供栖息场所和饵料,使上层捕食者——鱼类群落结构更为复杂,多样性更高,鱼类群落的均匀度全年较其他两种生境稳定。由于岩礁区域生长的底栖

海藻组成的不同,大型底栖海藻和小型底栖海藻生长的岩礁生境在鱼类对栖息空间、活动时间和食物对象的选择的共同作用下,鱼类群落结构表现出差异性,这种差异性是由于不同类型底栖海藻的生活史和形态差异所造成的。3—8 月两种岩礁区鱼类群落相似性持续降低,6—9 月份多种洄游性鱼类以较高生物量出现于该海域索饵和繁殖,使外来鱼种成为鱼类群落结构改变的主要因素,而生境本身的鱼类群落差异弱化。大型底栖海藻生长的岩礁生境鱼类群落的组成总体情况较小型底栖海藻生长的岩礁区稳定,鱼类群落个体数量和生物量反映了一致的变化趋势,但小型底栖海藻生长的岩礁生境的鱼类群落受外界鱼类种群迁移的影响较大,鱼类群落个体数量和生物量的月间变化差异比较大,受 2—5 月间进入该区域的一些大型个体的鱼类种群影响。有茂密大型底栖海藻着生的岩礁生境为当地的优势种群的繁衍提供了有利条件,对部分种群幼体和小型个体有诱集作用,同时为上层鱼类捕食者提供更为多样化的食物选择,有利于鱼类群落的稳定。

数据采集得到了上海海洋大学的许强,陈清满,许敏,刘卫云,赵静等的大量帮助,在此表示感谢!

#### 参考文献:

- [1] BECK M W, HECK Jr K L, ABLE K W, *et al.* The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates[J]. *Bioscience*, 2001, 51: 633-641.
- [2] GILLANDERS B M, ABLE K W, BROWN J A, *et al.* Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 247: 281-295.
- [3] BENAKA L R. Fish habitat: essential fish habitat and rehabilitation [C]. *American Fisheries Society Symposium*, 1999: 22.
- [4] JENKINS G P, SUTHERLAND C R. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a southern Australian embayment: Colonization and turnover rate of fishes associated with artificial macrophyte beds of varying physical structure [J]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1997, 218: 108-125.

- [ 5 ] JENKINS G P, WHEATLEY M J. The influence of habitat structure on near shore fish assemblages in a southern Australian embayment: comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand habitats, with emphasis on their importance to recruitment [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1998, 221: 147 - 172.
- [ 6 ] GUIDETTI P. Differences among fish assemblages associated with near shore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-algal reefs and unvegetated sand habitats in the Adriatic Sea [ J ]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2000, 50: 515 - 529.
- [ 7 ] LOREAU M, NAEEM S, INCHAUSTI P, *et al.* Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges [ J ]. *Science*, 2004, 294: 804 - 808.
- [ 8 ] JONES G P. Population ecology of the temperate reef fish *Pseudolabrus celidotus* Bloch & Schnelder (Pisces: Labridae) I. Factors influencing recruitment [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1984, 75: 257 - 276.
- [ 9 ] CARR M H. Effects of macroalgal assemblages on the recruitment of temperate zone reef fishes [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1989, 126: 59 - 76.
- [ 10 ] CARR M H. Habitat selection and recruitment of an assemblage of temperate zone reef fishes [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1991, 146: 113 - 137.
- [ 11 ] CARR M H. Predicting the response of recruitment of temperate reef fishes due to changes in macrophyte density caused by disturbance [ C ] // STOUDE R D J, FRESH K. Eds. *Theory and application in the feeding ecology of fishes*. Columbia: Belle Baruch Marine Institute Series, University of South Carolina Press, 1994.
- [ 12 ] CARR M H. Effects of macroalgal dynamics on recruitment of a temperate reef fish [ J ]. *Ecology*, 1994, 75: 1320 - 1333.
- [ 13 ] LEVIN P S. Effects of microhabitat on recruitment variation in a Gulf of Maine reef fish [ J ]. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 75: 183 - 189.
- [ 14 ] LEVIN P S. Habitat structure, conspecific presence and spatial variation in the recruitment of a temperate reef fish [ J ]. *Oecologia*, 1993, 94: 176 - 185.
- [ 15 ] ALAJANDRO P M, JEFFREY S S. Disentangling the effects of macroalgae on the abundance of temperate reef fishes [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 2010, 388: 1 - 10.
- [ 16 ] KEVIN C O C, TODD W A. Consequences of habitat disturbance and recovery to recruitment and the abundance of kelp forest fishes [ J ]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 2010, 386: 1 - 10.
- [ 17 ] EBELLNG A W, LAUR D R. The influence of plant cover on surfperch abundance at an offshore temperate reef [ J ]. *Environmental Biology of Fishes*, 1985, 12: 169 - 179.
- [ 18 ] ANDERSON T W. An evaluation of density dependence in a marine temperate reef fish: competitive and predatory effects [ D ]. Santa Barbara: University of California.
- [ 19 ] EBELLNG A W, HLXON M A. Tropical and temperate reef fishes comparison of community structures [ C ] // SALE P F. Eds. *The ecology of fishes on coral reefs*. San Diego: Academic Press San Diego CA, 1991: 475 - 563.
- [ 20 ] 廖一波, 曾江宁, 陈全震, 等. 嵎泗海岛不同底质潮间带春秋大型底栖动物的群落格局 [ J ]. *动物学报*, 2007, 53(6): 1000 - 1010.
- [ 21 ] 宋翔, 朱四喜, 杨红丽, 等. 浙江岱山岛潮间带大型底栖动物的群落结构 [ J ]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2009, 28(2): 214 - 218.
- [ 22 ] 朱四喜, 郑盼男. 浙江东极岛夏季岩礁潮间带大型底栖动物的群落格局 [ J ]. *安徽农业科学*, 2010, 38(26): 14470 - 14473.
- [ 23 ] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场褐菖鲉的摄食习性 [ J ]. *水产学报*, 2010, 34(2): 227 - 235.
- [ 24 ] 杨万喜, 陈永寿. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 I. 岩相潮间带底栖生物群落组成及季节变化 [ J ]. *应用生态学报*, 1996, 7(3): 305 - 309.
- [ 25 ] 杨万喜, 陈永寿. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 II. 岩相潮间带底栖动物的群落结构 [ J ]. *应用生态学报*, 1998, 9(1): 75 - 78.
- [ 26 ] 杨万喜, 陈永寿. 嵎泗列岛潮间带群落生态学研究 III. 岩相潮间带底栖生物的种类分布 [ J ]. *东海海洋*, 1999, 17(1): 60 - 65.
- [ 27 ] 周宏, 杨万喜. 嵎泗列岛岩相潮间带底栖海藻种类组成及区系特点 [ J ]. *海洋湖沼通报*, 2001, 2: 35 - 40.
- [ 28 ] 章守宇, 汪振华, 林军, 等. 枸杞岛海藻场夏、秋季的渔业资源变化 [ J ]. *海洋水产研究*, 2007, 28(1): 45 - 52.
- [ 29 ] 国家海洋局 908 专项办公室编. *海洋生物生态调查技术规程* [ M ]. 北京: 海洋出版社, 2006: 32 - 48.
- [ 30 ] PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON I L K.

- Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters [J]. California Department of Fish and Game Fish Bulletin, 1971, 152: 1 - 105.
- [31] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. Nature, 1949, 163: 688.
- [32] ZHANG S Y, WANG L, WANG W D. Algal communities at Gouqi Island in the Zhoushan archipelago, China [J]. Journal of Applied Phycology, 2008, 20: 853 - 861.
- [33] 孙建璋, 陈万东, 庄定根, 等. 中国南麂列岛铜藻 *Sargassum horneri* 实地生态学的初步研究 [J]. 南方水产, 2008, 4(3): 58 - 63.
- [34] 汪振华, 章守宇, 王凯. 三横山鱼礁生境鱼类和大型无脊椎动物群落特征 [J]. 生态学报, 2010, 30(8): 2026 - 2035.
- [35] 胡敦欣, 吕良洪, 熊庆成, 等. 关于浙江沿岸上升流的研究 [J]. 科学通报, 1980, 3: 131 - 133.
- [36] 吕新刚, 乔芳利, 夏长水, 等. 长江口外及浙江沿岸夏季上升流的潮生机制 [J]. 地球科学, 2007, 37(1): 133 - 144.
- [37] BLOOMFIELD A L, OILLANDERS B M. Fish and invertebrate assemblages in seagrass, mangrove, saltmarsh and nonvegetated habitats [J]. Estuaries, 2005, 28(1): 63 - 77.
- [38] JOHAN S, LEIF P, HÅKAN W. Food utilisation by coastal fish assemblages in rocky and soft bottoms on the Swedish west coast; Inference for identification of essential fish habitats [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 71: 593 - 607.
- [39] SEOK N K, GUN W B, DAVID W K. Comparative feeding ecology of two sympatric greenling species, *Hexagrammos otakii* and *Hexagrammos agrammus* in eelgrass *Zostera marina* beds [J]. Environmental Biology of Fishes, 2005, 74: 129 - 140.
- [40] 苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 294 - 297.
- [41] 刘艳春, 苑春亭, 蒋万钊, 等. 藻钩虾在池塘生态养虾中的利用 [J]. 齐鲁渔业, 2007, 24(1): 28 - 29.
- [42] GUERRA-GARCAÍA J M, BAEZA-ROJANO E, CABEZAS M P, *et al.* Spatial patterns and seasonal fluctuations of the intertidal Caprellidae (Crustacea: Amphipoda) from Tarifa Island, Southern Spain [J]. Zoologica Baetica, 2009, 20: 59 - 71.

## Constitution of fish assemblages in three nearshore habitats and the effect of benthic macroalgae on fish assemblages in Gouqi Island

WANG Lei, ZHANG Shou-yu\*, WANG Zhen-hua, WANG Kai, LIN Jun

(College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Macroalgae covering on the rocky reef around coast of Gouqi Island were surveyed and sampled through diving during 2005 to 2006 and May to June 2010, in order to find out the distribution, constitution and life history of macroalgae. Two composing patterns of macroalgae were shown in the subtidal zone of rocky reef; one was dominated by standing macroalgae *Sargassum horneri*; another was dominated by smaller macroalgae, such as *Ulva pertusa*, which is widely distributed both in intertidal and subtidal zone. The life history of *S. horneri* showed the four stages of the larger kelp bed: young seedling development period (August to September), slow growth period of seeding (October to February in next year), fast growth and reproduction period (March to May), decomposing and declining period (June to July). The smaller kelp bed exists the whole year, without much difference to outside of the kelp bed. To estimate the composition of fish assemblages in three habitats around Gouqi Island nearshore, i. e. rocky reef, sandy beach and mussel cultivation rafts, we sampled the fish assemblages in three habitats by combined gill nets every month from February 2009 to January 2010. The indexes of Jaccard similarity, Margalef richness and Shannon-wiener diversity were used to compare the variety of fish community structures among habitats, combined with statistical analysis of variance, UPGMA and nMDS. It showed that the differences of fish community

structures among above three habitats were significant. The dominant fish species in rocky reef habitat were *Sebastes marmoratus*, *Agrammus agrammus* and *N. albiflora*. Fish community was mainly based on the demersal omnivorous rocky fishes, which prey mainly on benthic invertebrates living on macroalgae. The dominant fish species in sandy beach habitat were *Paraplagusia japonica* and *Nibeia albiflora*. Fish community was mainly based on the mid-lower migration fishes. For fish assemblages in mussel cultivation raft habitat, which were mainly bigger-size fishes, *Mugil cephalus* and *Decapterus maruadsi* were dominant species. The diversity of fish assemblages in rocky reef habitat was higher than that in the other two habitats, due to the relative complex habitat structure. The dominant fish species in both kinds of kelp beds were the same, i. e. *S. marmoratus*, *A. agrammus* and *N. albiflora*. But the structures of fish community were different, due to the species composition of macroalgae covering on rocky reefs. Fish communities in rocky reef habitat dominated by standing larger macroalgae were more stable than those in areas with smaller macroalgae, varied following the life history of *S. horneri*. The biomass of fishes showed a similar trend to the abundance. But the biomass and abundance of fishes in rocky reef habitat dominated by smaller macroalgae were quite different. Fish assemblages in areas controlled by smaller macroalgae were affected greatly by the external migration fish assemblages. The species diversity based on abundance of the former was smaller than the latter, but the species diversity based on biomass of the former was larger than the latter. The abundance and biomass have a significant monthly variation in rocky reef habitat with smaller macroalgae. This can be due to the fish assemblages, in which fish species were with larger size, which migrated to rocky reef habitat from open sea area during February to May. Rocky areas covered by standing macroalgae provided a more diversified food selection for local dominant fish species. They possessed an attraction for partial group larvae and small-size individuals. Meanwhile, they offered diversified food choices for upper class of fish, which contribute to the stability of fish community.

**Key words:** benthic macroalgae; fish community; temporal and spatial distribution; habitat selection; diet conversion

**Corresponding author:** ZHANG Shou-yu. E-mail: syzhang@shou.edu.cn