

枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化*

汪振华 王凯 赵静 章守宇**

(上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要 为了解岛礁水域沙地生境的鱼类群落结构特征, 评估该生境对鱼类资源养护的潜在作用, 于2009年采用多网目组合刺网对枸杞岛潮下带沙质区域进行了逐月采样, 同步设置岩礁为对照生境. 应用 α 和 β 多样性指数结合相对重要性指数、相对渔获率、ABC曲线和聚类排序方法对两种生境中的鱼类组成、多样性变化和群落格局与变化进行了全面探讨. 全年在沙地和岩礁生境共采集鱼类63种, 隶属11目38科56属, 2种生境各自出现的鱼类皆为46种. 受暖水种频繁出现在沙地生境的影响, 潮下带沙质区域鱼类区系比岩礁生境略显丰富, 且春夏季的渔获量普遍高于岩礁生境; 由于种类组成均匀度较低, 沙地生境各季节的 α 多样性普遍较低, 夏季显著低于岩礁生境. 日本须鲷是沙地生境的指示种, 为早春、夏末和秋冬季沙地底层优势鱼种. 5—7月鳀、多数月份鲷和10月份鳊等种类对沙地生境的阶段性利用, 使其形成了区别于以趋礁性鱼类为优势类群的岩礁生境的群落格局和季节动态. 沙地是多种鱼类幼鱼阶段的庇护所和饵料场, 是鲆鲽类的良好栖息地. 沙地生境在维持鱼类区系和养护鱼类资源方面具有重要作用.

关键词 沙地 岩礁 鱼类群落结构 ABC曲线 枸杞岛

文章编号 1001-9332(2011)05-1332-11 **中图分类号** Q178.531 **文献标识码** A

Fish community structure and its seasonal change in subtidal sandy beach habitat off southern Gouqi Island. WANG Zhen-hua, WANG Kai, ZHAO Jing, ZHANG Shou-yu (College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(5): 1332-1342.

Abstract: To understand the characteristics of fish community structure in sandy beach habitats of island reef water areas, and to evaluate the potential capacity of these habitats in local fish stock maintenance, fishes were monthly collected with multi-mesh trammel nets in 2009 from the subtidal sandy beach habitat off southern Gouqi Island, taking the adjacent rocky reef habitat as the control. α and β species diversity indices, index of relative importance (IRI), relative catch rate, and dominance curve for abundance and biomass (ABC curve) were adopted to compare the fish species composition, diversity, and community pattern between the two habitats, and multivariate statistical analyses such as non-metric multidimensional scaling (nMDS) and cluster were conducted to discuss the fish assemblage patterns. A total of 63 fish species belonging to 11 orders, 38 families, and 56 genera were collected, of which, 46 fish species were appeared in the two habitats. Due to the appearance of more warm water species in sandy bottom, the fishes in subtidal sandy beach habitat showed much higher richness, and the abundance catch rate (ACR) from May to July was higher than that in rocky reef habitat. In most rest months, the ACR in subtidal sandy beach habitat also showed the similar trend. However, the species richness and diversity in spring and summer were significantly lower in subtidal sandy beach habitat than in rocky reef habitat, because of the high species dominance and low evenness in the sandy beach habitat. Japanese tonguefish (*Parapl-agusia japonica*) was the indicator species in the sandy beach habitat, and dominated in early spring, later summer, autumn, and winter when the fishing pressure was not strong. In sandy bottom, a unique community structure was formed and kept in dynamic, due to the nursery use of

* 国家高技术研究发展计划项目(2006AA100303)、国家科技支撑计划项目(2007BAD43B03)、国家自然科学基金项目(30471332, 30871924)和海洋公益专项(2010418013-03)资助.

** 通讯作者. E-mail: syzhang@shou.edu.cn

2010-10-12 收稿, 2011-03-04 接受.

sandy beach by Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) from May to July, the gathering of gray mullet (*Mugil cephalus*) in most months for feeding, and the large quantity appearance of plotosid catfish (*Plotosus anguillaris*) in early Autumn, which was quite different from the community structure pattern dominated by reef fishes in rocky-algae habitat. The subtidal sandy bottom off Gouqi Island was serving as both nursery and feeding grounds for many fish species, being a suitable habitat for flatfishes. It was concluded that the sandy beaches around Gouqi Island could be a very important habitat for economic fish species, especially as a nursery ground for juvenile fishes, contributing to the fish stock maintenance in specific area.

Key words: sandy beach; rocky reef; fish community structure; ABC curve; Gouqi Island.

河口及近岸潮下带浅水区域是许多鱼类的重要栖息地^[1-2],根据底质类型和植被组成可将其划分为泥地、沙地、岩礁、海草床、红树林和海藻场等诸多典型生境^[3].沙地生境是其中相当重要且分布十分广泛的一种.据统计,世界陆架面积的70%是沙质沉积,我国已知的沙质海岸线至少长3000 km,面积超过3500 km²^[4-5].沙质沉积区往往地形平坦、坡度较小,具有高度的生境同质性和较低的空间异质性^[6];另一方面,由于波浪和风的不断影响以及潮汐的周期性运动,沙地生境又是环境变化较为剧烈的区域^[7],因此相对周边结构复杂的岩礁、海草床及海藻场等生境,其鱼类多样性往往较低^[8-9].但是,经过长期的演化,一些鱼类适应了沙地的独特环境,成为该生境的特征种或指示种^[6-7,10-12].有些鱼类在其幼体阶段季节性利用沙地生境作为其饵料场和庇护所^[2,6,12-14],与此同时吸引了其他捕食性鱼类的进入,从而在该生境形成阶段性的高鱼类丰富度和多样性^[13,15],在维持特定种群生物量和一些地方经济种类的渔业产出方面发挥着重要的生态作用^[2,6,9].国外在鱼类基本生境(essential fish habitats, EFH)的研究中,对沙地生境的鱼类作了较多试验性的探讨^[2,6-18],但在时间尺度上对其进行鱼类区系季节性变化的研究依然很少^[13].我国有着大面积的沙质海岸带,在各个鱼类群落研究案例中必然有涉及沙质区域的部分,但针对潮下带鱼类区系的研究却尚未有报道.本文拟对马鞍列岛有限区域的沙地生境中的鱼类群落及其季节变化进行初步探讨,通过与周边岩礁生境的比较,揭示岛礁海域沙地生境独特的鱼类区系和动态变化,检验其作为鱼类基础生境的生态地位,丰富沙地生境鱼类生态学内容.

1 材料与方法

1.1 研究区域与站点选择

采样站点主要分布在枸杞岛的东南部近岸水域

(图1),底质以细沙、中细沙和含砾细沙为主(中值粒径0.7~3 mm,平均1.3 mm).该区域位于舟山群岛马鞍列岛特别保护区的东南部海域,地处著名的嵊山渔场西部,是当地刺网、蟹笼作业的集中地之一,尤其是每年5—7月的海蜒(鳀幼鱼)双拖作业,成为沙地生境中高强度的人类干扰活动.水域常年受外海水系影响,而沿岸流系和长江、钱塘江口的径流季节性影响本岛的周围水域.

在小于1 km²的潮下带沙地生境(SB)中设置2个采样带:庙干(MG)和大王(DW),面积分别约为22540 m²和16400 m².于2009年每月随机在2个样带进行昼夜刺网采样,同时在离沙地1 km左右的岩礁生境(RR)设置对照点小石浦(SP),其水文、潮汐等环境因子和沙地生境极为相似,该样带宽约30 m,长250 m左右,面积约7500 m².庙干、大王和小石浦3个站点的平均水深分别为(4.58±1.18) m、(4.42±0.59) m和(6.51±1.55) m.

1.2 采样方法与样品处理

为保证可比性,选用灵活性较高的刺网为采样工具.租用当地小型刺网生产渔船为辅助调查船只,并请经验丰富的渔民协助采样.于2009年1—12月

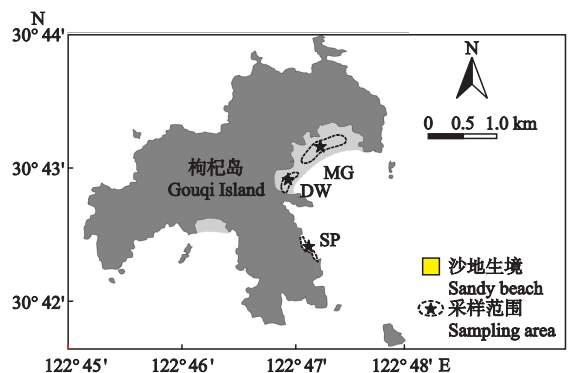


图1 研究区和采样点分布

Fig. 1 Location of study area and distribution of sampling sites.

MG: 庙干 Miaoogan; DW: 大王 Dawang; SP: 小石浦 Xiaoshipu. 下同 The same below.

逐月对所选站点进行同步昼夜鱼类采集,刺网每次放置总时间在 24 h 左右,受天气和海况影响,少数采样时间波动较大,其中沙地生境的刺网放置时间范围为 16.5 ~ 24.0 h,平均为(20.6±3.3) h,岩礁生境时间范围为 16.5 ~ 29.0 h,平均(20.6±3.7) h. 调查所用网具属定置底层刺网,在每一站点随机放置 2 组于各生境的采样带中. 其中一组由网高 1.5 m,单片网衣长 15 m,网目大小为 25 ~ 58 mm 的小网目刺网随机连接而成(1—8 月仅由 25 mm 网片组成,9 月以后在维持总长度不变的基础上加入 34、43 和 58 mm 小网目网片),总长度 60 m;另一组由网高 2.4 m,单片网衣长 30 m,网目大小分别为 50、60、70 和 80 mm 的中大型网目刺网随机连接而成. 站点样带长度大于 200 m,2 组刺网通常延伸放置;而在样带小于 200 m 的站点,如大王沙滩,2 组网则分开平行放置. 进行鱼类样品采集的同时利用 CTD 仪进行水温等环境因子测量.

对所得鱼类样品进行全部取样,种类鉴别至其分类地位最低单元,并于取样当天完成基本的生物学测量(包括体长、体质量、性腺成熟度、摄食等级等). 各项测定皆依据《海洋生物生态调查技术规程》^[19]进行.

1.3 数据处理

所有鱼类按适温性分为暖水种、暖温种和冷温种^[20];根据鱼类喜好的活动水层将其分为中上层、近底层和底层鱼类^[21]. 鱼类丰度和生物量数据统一换算成每小时的渔获量,即丰度渔获率(abundance catch rate, ACR)和生物量渔获率(biomass catch rate, BCR). 采用 Margalef 种类丰富度指数 R 、Willm 改进型种类多样性指数 H' 、Jaccard 相似性系数 I 以及 Pinkas 相对重要性指数 IRI 对鱼类的多样性特征和优势种组成进行分析^[22]. 沙地生境 2 个站点的各指数均取平均数.

本文尝试用丰度生物量比较曲线(abundance biomass comparison curve,简称 ABC 曲线)结合种类组成的聚类和排序,综合分析 2 种生境中鱼类的群落格局及其季节变化. 用 W 值表示 ABC 曲线中生物量和丰度曲线的相对关系统计量^[23]:

$$W = \sum_{i=1}^s \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)}$$

式中, B_i 和 A_i 为 ABC 曲线中第 i 种鱼类对应的生物量和丰度的累积百分比, S 为采集到的鱼类种数. 当生物量优势曲线在丰度优势度曲线之上时, W 为正;反之 W 为负.

建立“种类×站点”生物量矩阵(使用原始生物量数据,为保证采样信息的真实性,不作任何转化),计算各站点间的 Bray-Curtis 相似性系数以形成相似性矩阵,在此基础上采用等级聚类(UPGMA)和非度量多维标度(nMDS)作为鱼类群聚的分类和排序方法,结合两者分析两生境的鱼类群落格局. 上述过程都在 PRIMER 5.0 软件中实现. 利用 SPSS 15.0 软件,采用方差分析对不同时段和不同生境类型的种类组成、渔获率和多样性进行差异检验,显著性水平为 $\alpha=0.05$.

2 结果与分析

2.1 鱼类种类组成和渔获率变化特征

全年在 2 种生境共采集鱼类 63 种,隶属 11 目 38 科 56 属. 其中沙地生境采集鱼类 46 种,隶属 11 目 32 科 42 属;岩礁生境采集鱼类亦为 46 种,隶属 9 目 28 科 41 属. 从种类区系上看,沙地生境比岩礁生境略显丰富. 不同生态类型种类数组成上(表 1),沙地生境的暖水种数比暖温种多 4 种,而岩礁生境的暖水种数少于暖温种,且出现了一例冷温种. 沙地生境的暖水种独有种数为 14,明显多于暖温种的独有种数 3. 两生境间暖水性和暖温性鱼类的 Jaccard 相

表 1 沙地和岩礁生境不同生态类型鱼类的种类数组成

Table 1 Fish species number of different ecological types in sandy beach and rocky reef habitats

生态类型 Ecological type	所有种 For all species		独有种 Unique species		共有种 Mutual species	总计 Total
	SB	RR	SB	RR		
暖水种 Warm water fishes	25	21	14	10	11	35
暖温种 Warm temperature fishes	21	24	3	6	18	27
冷温种 Cold temperature fishes	0	1	0	1	0	1
底层 Ground fishes	14	12	5	3	9	17
近底层 Near-ground fishes	20	24	7	11	13	31
中上层 Pelagic fishes	12	10	5	3	7	15
总计 Total	46	46	17	17	29	63

SB: 沙地 Sandy beach; RR: 岩礁 Rocky reef. 下同 The same below.

似性值分别为 0.333 和 0.654, 相差近 2 倍. 3 个分布水层的鱼类中, 无论沙地还是岩礁, 都呈现“表底少、中间多”的纺锤形模式, 不同的是岩礁的近底层鱼类数比沙地生境要更显著地多于底层和中上层.

2 种生境的优势种组成随水层的不同而变化, 全年出现的优势种数为 22 种, 其中底层 6 种, 近底层 9 种, 中上层 7 种. 其中, 沙地 1—7 月的底层优势种为日本须鲷 (*Paraplagusia japonica*), 8—9 月被褐牙鲷 (*Paralichthya olivaceus*) 替代, 10 月鳗鲡 (*Plotosus anguillaris*) 成为该生境的绝对优势种, 进入年末的 11 月至翌年 2 月, 日本须鲷又重新成为沙地优势种, 全年共出现 3 种优势种, 呈现单一的优势种组成特点. 褐菖鲉 (*Sebastes marmoratus*) 是岩礁底层鱼类的周年绝对优势种, 冬季和春夏季的大部分时间, 斑头鱼 (*Agrammus agrammus*) 亦为底层优势种, 而其他种类如大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 和鳗鲡分别只在 6 月和 10 月数量较多, 全年出现的优势种数为 4 种. 沙地和岩礁全年出现的近底层优势种数分别为 7 种和 5 种, 石首鱼科种类是近底层鱼类的绝对优势类群, 其中小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 是 2 种生境的全年优势种, 相同月份在沙地捕获的数量皆多于岩礁, 比同期在岩礁生境出现的小黄鱼有着更高的优势度. 沙地生境春季出现的近底层优势种是星点东方鲀 (*Takifugu niphobles*), 夏季为东海带鱼 (*Trichiurus haumela*) 和龙头鱼 (*Harpodon nehereus*), 秋季为黑鲷 (*Acanthopagrus schlegeli*), 而岩礁生境只有细刺鱼 (*Microcanthus strigatus*) 和细棘海猪鱼 (*Halichoeres tenuispinis*) 成为夏季优势种, 两生境间的季节性优势种组成明显不同, 沙地比岩礁更为丰富. 沙地生境出现的中上层优势鱼类有 4 种: 赤鼻棱鳀 (*Thryssa kammalensis*)、鲮 (*Mugil cephalus*)、鳀 (*Engraulis japonicus*) 和蓝圆鲈 (*Decapterus maruadsi*); 岩礁生境为 5 种, 即赤鼻棱鳀、蓝圆鲈、日本鳀 (*Hyporhamphus sajori*)、银鲳 (*Pampus argenteus*) 和康氏小公鱼 (*Anchoviella commersoni*), 鲮和鳀

更多地聚集于沙地生境, 而银鲳等则较多地出现在岩礁生境. 多数鱼类对这 2 种生境的利用程度存在明显的时空差异.

全年在 2 种生境共采集鱼类 1716 尾, 68807.1 g. 其中沙地采集 1183 尾, 46910.8 g; 岩礁采集 533 尾, 21896.3 g. 从全年和各季度的变化上看 (图 2 和表 2), 沙地生境夏季的 ACR 显著高于冬、春季. 而在岩礁生境, 夏季的 ACR 不仅显著高于冬、春季, 也明显高于秋季. 沙地生境的 ACR 除了冬季小于岩礁外, 其他季节均高于岩礁, 但差异不显著. 如单从鳀鱼生产旺季 (5—7 月) 来看, 沙地的 ACR 显著高于岩礁. 低温期的年初和年末 (1 月和 12 月), 岩礁的 ACR 显著高于沙地. 沙地生境的 BCR, 秋季远高于其他季节, 存在显著的季节差异. 而岩礁生境的 BCR 季节变化不显著. 两生境间各季节同期相比, 除秋季沙地的平均生物量渔获率略高于岩礁外, 其他季节均无显著差异. 变化趋势方面, 5—11 月波动较大, 尤其是 8 月, 岩礁生境的丰度和生物量渔获率均达到最大值, 而沙地生境的相应值则在该月出现骤降 (图 2).

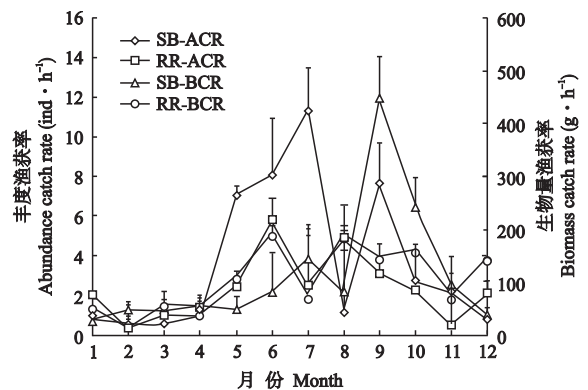


图 2 沙地和岩礁生境渔获率的月变化

Fig. 2 Monthly variations of catch rates in sandy beach and rocky reef habitats.

SB: 沙地 Sandy beach; RR: 岩礁 Rocky reef; BCR: 生物量渔获率 Biomass catch rate; ACR: 丰度渔获率 Abundance catch rate. 下同 The same below.

表 2 沙地和岩礁生境各季度和全年渔获率均值

Table 2 Seasonal and annual average catch rates in sandy beach and rocky reef habitats (mean±SD)

渔获率 Catch rate	生境 Habitat	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年均值 Annual average
ACR	SB	2.8±2.3	6.8±5.2	4.2±3.0	0.6±0.1	3.1±3.7
(ind · h ⁻¹)	RR	1.5±0.8	4.7±2.2	1.9±1.4	1.4±1.0	2.4±1.9
BCR	SB	58.5±4.4	101.7±36.4	261.1±178.0	36.6±9.9	111.8±121.6
(g · h ⁻¹)	RR	66.6±30.9	145.7±67.8	121.5±47.3	62.8±68.1	99.1±60.3

ACR: 丰度渔获率 Abundance catch rate; BCR: 生物量渔获率 Biomass catch rate. 下同 The same below.

2.2 鱼类多样性指数的变化

从图3可以看出,沙地鱼类 Margalef 丰富度值最大为 2.820(9月),最小为 0.728(7月),全年平均 1.895 ± 0.667 ,年变化呈 M 型;对照生境岩礁的最大值为 4.834(8月),最小值为 0.514(2月),年均 2.454 ± 1.062 ,年变化近似“W”型. 2 种生境中的丰富度均值除了夏季岩礁显著高于沙地外 ($F_{1,4} = 9.350, P < 0.05$),其他季节间并无明显差异(春: $F_{1,4} = 0.256, P > 0.05$; 秋: $F_{1,4} = 2.603, P > 0.05$; 冬: $F_{1,4} = 0.188, P > 0.05$). 沙地鱼类的 Willm 多样性值最大为 1.897(9月),最小为 1.032(7月),年均 1.399 ± 0.336 . 对照生境岩礁的多样性最大值是 2.569(8月),最小值为 0.679(2月),年均 1.788 ± 0.565 ,全年亦呈“W”型变化. 两种生境各季度的多样性均值相比较,春夏季岩礁的多样性显著高于沙地生境(春: $F_{1,4} = 28.351, P < 0.05$; 夏: $F_{1,4} = 7.455, P > 0.05$),而秋冬季则并无显著差异(秋: $F_{1,4} =$

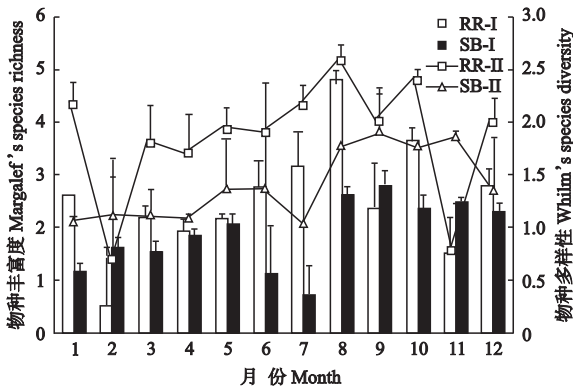


图3 沙地和岩礁生境鱼类丰富度和多样性月变化
Fig. 3 Monthly variations of species richness and diversity in sandy beach and rocky reef habitats.

I: 种类丰富度 Species richness; II: 种类多样性 Species diversity.

0.062, $P > 0.05$; 冬: $F_{1,4} = 0.842, P > 0.05$).

2.3 种类组成相似性变化和群落聚类、排序结果

沙地两站点种类组成相似性月均值为 0.553 ± 0.089 ,两沙地与岩礁生境相似性月均值分别为 0.229 ± 0.064 和 0.195 ± 0.094 ,明显小于两沙地站点的相似性值 ($F_{1,22} = 104.755$ 和 $F_{1,22} = 91.138, P < 0.05$),显示出两种截然不同的鱼类区系和生境模式(图4). 2 种生境全年的鱼类组成格局可以分为三大类及由鳗鲡主导的一个特殊群落. 这三大类分别为以鳗为绝对优势种的沙地鱼类群落(I),以恋礁和趋礁性鱼类为优势类群的岩礁鱼类群落(II),以沙地生境特征种日本须鳎和石首鱼科为优势类群,并以季节性暖水种为适温性鱼类主体的沙地鱼类群落(III). 10月在沙地生境出现了大群的产卵群体鳗鲡,可归为特殊的季节性群落(图5和图6).

2.4 群落结构的季节变化

沙地生境春季的鱼类群落受数量上占绝对优势、但生物量百分比相对较低的鳗所主导,形成了丰

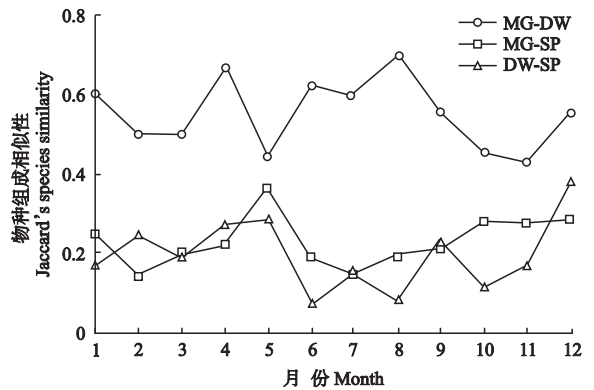


图4 不同站点的种类组成相似性月变化
Fig. 4 Monthly variations of Jaccard's species similarity among different sampling sites.

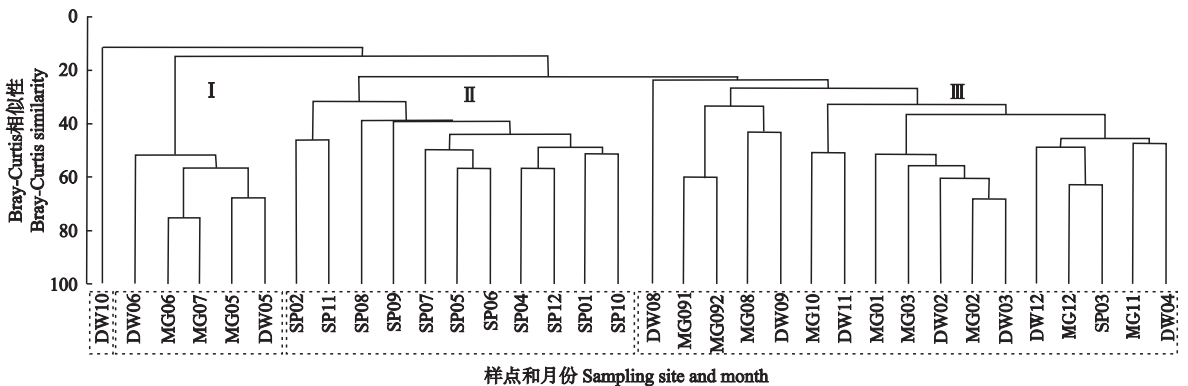


图5 基于鱼类丰度数据的沙地和岩礁生境各采样月份的聚类图
Fig. 5 Dendrogram of monthly collections of fishes in sandy beach and rocky reef habitats.

横坐标数字表示采样月份,其中庙干9月采样2网次,分别用091和092表示 Numbers in horizontal ordinate represented sampling month. 2 samples were collected at site MG in September which were indicated by 091 and 092, respectively.

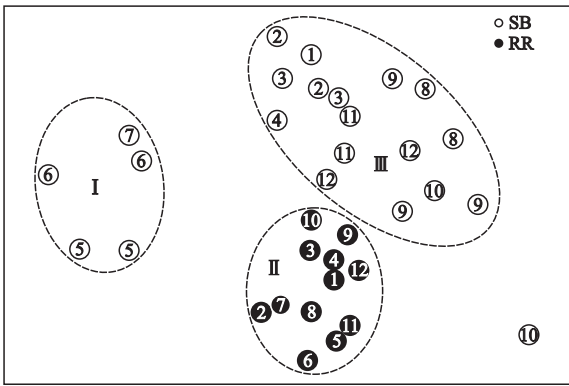


图 6 沙地和岩礁生境鱼类组成非度量多维标度排序
 Fig. 6 nMDS plot for fish assemblage from sandy beach and rocky reef habitats.

数字为采样月份 Numbers in each circle represented sampling month.

度曲线高高在上的 ABC 模式;同期的岩礁生境受恋礁型鱼类褐菖鲈和斑头鱼及趋礁鱼类黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) 及细棘海猪鱼共同主导的群落, 由于优势种的数量优势度更明显, 形成了先有丰度曲线在上、后逐渐交汇并由生物量曲线取代顶部位置的 ABC 模式(表 3 和图 7). 到了夏季, 沙地生境中鳀的数量优势逐渐下降, 但仍然占据主要地位, 而小黄鱼和东海带鱼补充群体的加入, 使得夏季整个鱼类群落仍呈现由小个体鱼类为主导的群落结构, 形成丰度在上、生物量在下并逐渐交汇的 ABC 模式; 同期岩礁

生境仍由褐菖鲈和斑头鱼为主要优势种, 加上补充群体小黄鱼和皮氏叫姑鱼 (*Johnius belangerii*), 同样形成了一个以数量特征优先、并逐渐转换成生物量优势占据主导的曲线模式. 进入秋季, 沙地生境的鱼类群落主要受产卵群体鳀和生长到更大规格的小黄鱼、日本须鲷和黄姑鱼等补充群体的共同主导, 其生物量优势逐渐取代数量优势, 形成了与夏季截然相反的 ABC 模式; 而在岩礁生境, 虽然褐菖鲈、斑头鱼等恋礁鱼类仍占据数量优势, 但生物量优势已经被黄姑鱼、星康吉鳗 (*Conger myriaster*) 和皮氏叫姑鱼所取代, 且双方的优势不相上下, 形成初始出现交汇变化、继而逐渐转化为数量优先的 ABC 模式. 冬季开始后, 沙地生境只被少数常见种如小黄鱼和鳀以及沙地特征种日本须鲷所利用, 且各种类出现的数量优势依然低于生物量优势, 形成了和秋季较为相似的 ABC 模式; 岩礁生境的鱼类群落在数量和生物量上重新由恋礁和趋礁性鱼类主导, 但群落更多地由个体小且数量占优的褐菖鲈所控制, 因此形成了更明显的 A 上 B 下曲线模式.

2.5 沙地和岩礁鱼类群落与环境因子的关系

从表 4 可以看出, 沙地鱼类群落和环境因子最大相关系数为 0.346, 对应因子为盐度; 而岩礁生境为 0.425, 对应因子分别为温度及温度与溶解氧的因子组合. 叶绿素 a、溶解氧和透明度在沙地生境表

表 3 两生境各个季度生物量和丰度百分比位于前三位的种类

Table 3 The top three fishes in percentage of biomass and abundance in two habitats during different seasons

生境 Habitat	类型 Type	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
SB	生物量 Biomass	日本须鲷 34 <i>Paraplagusia japonica</i>	褐牙鲆 12 <i>Paralichthya olivaceus</i>	鳀 41	日本须鲷 45
		鳀 17 <i>Engraulis japonicus</i>	高体鲷 11 <i>Seriola dumerili</i>	黄姑鱼 16 <i>Nibea albiflora</i>	小黄鱼 22 <i>Larimichthys polyactis</i>
		星康吉鳗 11 <i>Conger myriaster</i>	鳀 8 <i>Mugil cephalus</i>	小黄鱼 7 <i>Larimichthys polyactis</i>	鳀 21 <i>Mugil cephalus</i>
	丰度 Abundance	鳀 83 <i>Engraulis japonicus</i>	鳀 37 <i>Engraulis japonicus</i>	鳀 25 <i>Plotosus anguillarlis</i>	日本须鲷 34 <i>Paraplagusia japonica</i>
		日本须鲷 5 <i>Paraplagusia japonica</i>	小黄鱼 8 <i>Larimichthys polyactis</i>	黄姑鱼 16 <i>Nibea albiflora</i>	小黄鱼 29 <i>Larimichthys polyactis</i>
		小黄鱼 4 <i>Larimichthys polyactis</i>	带鱼 6 <i>Trichiurus haumela</i>	日本须鲷 14 <i>Paraplagusia japonica</i>	赤鼻棱鳀 15 <i>Thryssa kammalensis</i>
RR	生物量 Biomass	斑头鱼 29 <i>Agrammus agrammus</i>	斑头鱼 15 <i>Agrammus agrammus</i>	黄姑鱼 25 <i>Nibea albiflora</i>	褐菖鲈 19 <i>Sebastes marmoratus</i>
		褐菖鲈 17 <i>Sebastes marmoratus</i>	褐菖鲈 12 <i>Sebastes marmoratus</i>	星康吉鳗 16 <i>Conger myriaster</i>	黄鳍棘鲷 17 <i>Acanthopagrus latus</i>
		黄姑鱼 14 <i>Nibea albiflora</i>	皮氏叫姑鱼 9 <i>Johnius belangerii</i>	皮氏叫姑鱼 8 <i>Johnius belangerii</i>	黄姑鱼 14 <i>Nibea albiflora</i>
	丰度 Abundance	褐菖鲈 33 <i>Sebastes marmoratus</i>	褐菖鲈 26 <i>Sebastes marmoratus</i>	褐菖鲈 25 <i>Sebastes marmoratus</i>	褐菖鲈 52 <i>Sebastes marmoratus</i>
		斑头鱼 30 <i>Agrammus agrammus</i>	斑头鱼 16 <i>Agrammus agrammus</i>	黄姑鱼 16 <i>Nibea albiflora</i>	斑头鱼 10 <i>Agrammus agrammus</i>
		细棘海猪鱼 6 <i>Halichoeres tenuispinis</i>	小黄鱼 12 <i>Larimichthys polyactis</i>	斑头鱼 15 <i>Agrammus agrammus</i>	小黄鱼 8 <i>Larimichthys polyactis</i>

数字为百分比 Number after species was percentage of biomass or abundance.

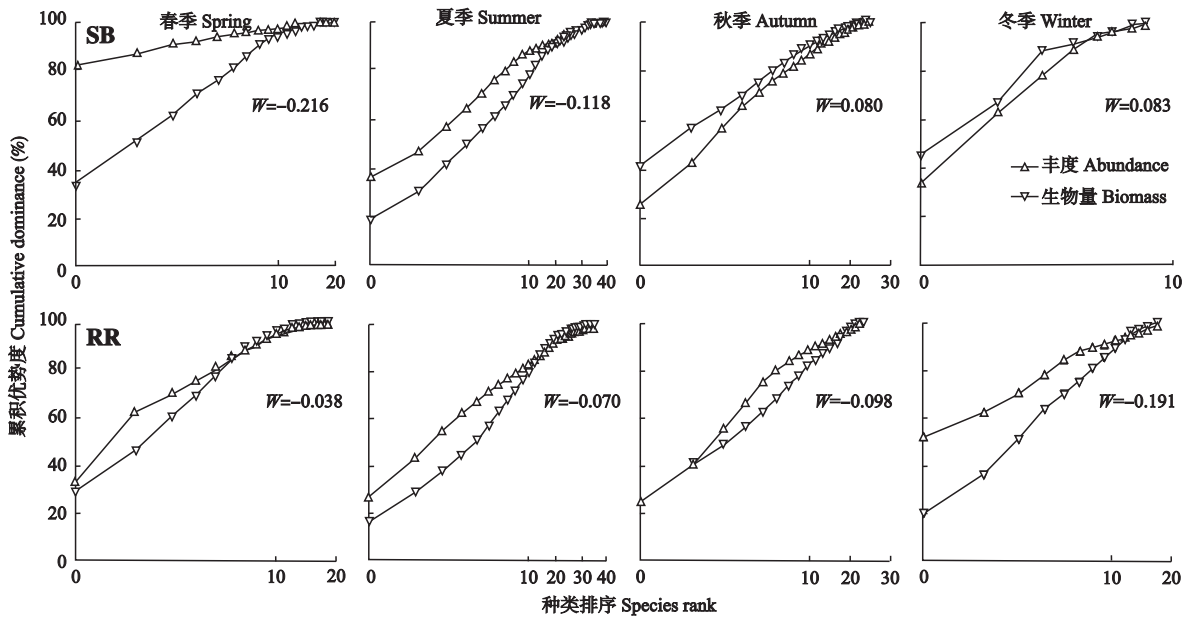


图7 沙地和岩礁生境各季节的ABC曲线

Fig. 7 ABC curves of sandy beach and rocky reef habitats in different seasons.

表4 沙地和岩礁鱼类生物量组成数据和环境因子的BIOENV相关分析

Table 4 BIOENV analyses of fish biomass data with environmental factors in sandy beach and rocky reef habitats

沙地鱼类群落 Fish community in SB				岩礁鱼类群落 Fish community in RR			
单因子 Single factor	对应因子 Related factor	多因子 Multi-factor	因子组合 Factor combination	单因子 Single factor	对应因子 Related factor	多因子 Multi-factor	因子组合 Factor combination
0.346	II	0.286	II, VI	0.425	I	0.425	I, V
0.119	I	0.224	I, II	0.128	VI	0.373	I, V, VI
0.058	IV	0.209	I, II, VI	0.126	III	0.392	I, II, V
-0.007	VI	0.186	I, V	0.104	IV	0.365	I, II
-0.097	III	0.180	I, II, V	0.085	V	0.355	I, III, V
-0.289	V	0.170	II, V, VI	-0.039	II	0.343	I, III

I: 温度 Temperature; II: 盐度 Salinity; III: 叶绿素 a Chlorophyll a; IV: 浊度 Turbidity; V: 溶解氧 Dissolved oxygen; VI: 透明度 Transparency. 因子组合关系值仅列出相关系数最大的6个 Only the largest 6 correlation coefficients were listed on multifactor column.

现出与鱼类群落的负相关关系,而在岩礁生境,只有盐度表现出负相关。2种生境中的多种环境因子组合对鱼类群落表现出更强的正相关。

3 讨 论

3.1 生境的差异对鱼类组成、多样性及渔获率变化的影响

在热带淡水系统的冲击沙床往往具有极高的鱼类丰富度^[15],但同样是沙质生境的河口近岸区域,鱼类区系通常较周边的其他生境低^[8-9]。本研究中,沙地和岩礁采获的鱼类种类数相同(皆为46种),都有着较高的种类区系组成,可见,当面积有限的沙地生境出现在岛礁海域时,它能吸引的鱼类并不比异质性高的岩礁生境少。在地理区系上,2种生境中的鱼类都以河口近岸型为主,且3个水层的鱼类皆

显示出“表、底少,中间多”的模式。但在分类地位上,由于“目”和“科”级别上分别多出2和4类,使得沙地生境的鱼类要比岩礁略显丰富;且在适温性上沙地生境的鱼类以暖水种为主,而岩礁则以暖温种为主。上述差异事实上都是由暖水种组成的变化引起的,2种生境中暖水种独有种之和是共有种的2倍,而暖温种的独有种数只有共有种的1/2,这表明暖水种对生境选择的趋同性比暖温种低,其“挑剔”程度相对较高,相比岩礁生境,更多的暖水种喜欢在水浅且更开阔的沙地生境活动。

沙地生境往往有独特的指示种(或特征种),这些种类在长期的适应性进化后,选择沙地生境作为其阶段性或一生的栖息地^[7,12]。本研究的结果表明,日本须鲷为沙地生境的特征种,在冬春季和夏初成为底层的绝对优势种,但夏末和秋初的3个月则较

为少见。这一方面是由于5—7月连续的鳃双拖作业使得日本须鳎的成体被大量捕获,另一方面其幼鱼(集中产卵期为每年的4—5月)虽依然存在,但网具规格的限制使其很难被试验网采集到,一直到11月,待其生长到一定规格后[平均体长(121.3±9.1)mm,均质量(7.8±2.2)g]才被大量捕获。在日本须鳎成体较少且幼鱼较小的阶段,沙地生境的底层优势鱼类被褐牙鲂替代,10月还有降海产卵型鱼类鳗鲡的大量出现,以这3种鱼类为主,结合其他少数底层种类,共同形成了鱼类对沙地生境底层空间的周年利用模式。在岩礁生境,底层优势种为鲈科鱼类的褐菖鲈、斑头鱼和大泷六线鱼,同样10月也出现了大量的鳗鲡。2种生境的近底层优势鱼类差别不大,皆以石首鱼科种类为主。鳎和鲆是沙地生境最具代表的中上层优势鱼类,5月末至7月,沙地生境分布着大量的鳎鱼幼鱼,从而出现同期高强度的鳎鱼作业。虽然岩礁生境同样有鳎的出现,但其数量和密度皆不及沙地生境。同样,鲆在沙地生境的多数月份为优势群体,但岩礁生境只有少量个体出现。依据幼鱼(大部分为性腺尚未发育的当龄补充群体)比例分析2种生境中的幼鱼集中度(图8),发现沙地生境进入4月以后,其幼鱼比例皆高于同期的岩礁生境。诸多研究表明,沙地生境被多种鱼类的幼鱼作为饵料场和庇护所^[2,6,12-14,24],本文结果亦表明沙地生境是鳎科和石首鱼科等鱼类幼鱼的良好育肥所。受鳎和石首鱼科(主要为小黄鱼、皮氏叫姑鱼和黄姑鱼)幼鱼的影响,沙地生境5—7月的丰度渔获率显著高于同期的岩礁生境,9—10月丰度和生物量渔获率皆高于同期的对照生境,同样表明了枸杞岛沙地生境春末和夏秋季被多种鱼类幼体集中利用的事实。

具有较高空间异质性的海草床和岩礁生境相比

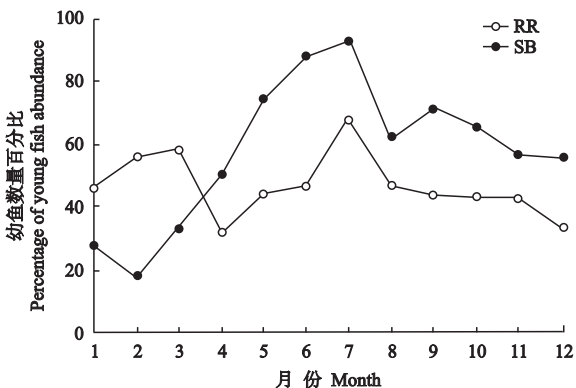


图8 沙地和岩礁生境各月份鱼类样品中幼鱼数量的比例
Fig. 8 Percentage of young fish abundance in sandy beach and rocky reef habitats.

平坦的沙地生境,有着更多的小生境供更多的种类栖息^[2,6,16],因此沙地生境的鱼类丰富度和多样性往往比异质性更高的生境低^[8-9]。根据本文的结果,如单从种类数上看,鱼类对沙地生境的利用率并不亚于岩礁生境;但在结合了丰度和生物量的种类丰富度和多样性以后,两者就存在明显差异,沙地生境的多样性和丰富度普遍低于岩礁生境,尤其是夏季,岩礁生境的鱼类丰富度和多样性显著高于沙地生境,岩礁春季的多样性也显著高于沙地。其他季节虽无显著差异,但平均多样性值沙地仍然小于岩礁。虽然两生境中的总种类数相当,但多数月份岩礁生境出现的种类数多于沙地生境(前者平均每月的鱼类种类数为10,后者为8),且鱼类组成的Pielou均匀度普遍高于沙地生境[沙地生境平均为(0.697±0.163),岩礁为(0.825±0.116)]。

3.2 沙地和岩礁生境鱼类群落格局及其季节变化的内因

种类组成的Jaccard相似性以及聚类和MDS排序显示,岩礁和沙地中的鱼类归属于2种明显不同的群落,其一是由趋礁性鱼类主导的岩礁群落,另一种是由底层鲆鲽类、鳗鲡及中上层的鳎所主导的浅水沙地鱼类群落。不同的是,沙地群落在捕捞干扰下(沙质区域鳎生产旺季不间断的双拖作业),造成5—7月底层优势类群优势度的锐减,加之鳎幼体的大量出现,形成了一个季节性的鳎主导的鱼类群落。此外在沙地生境,随着10月鳗鲡大量聚集(其生物量渔获率是岩礁生境的7.3倍),亦形成了当月独特的群落模式。虽然石首鱼科鱼类在2种生境中频繁出现,但未显示出对某种生境的偏好,对2种生境鱼类群落结构的完整性和稳定性起着极其重要的作用。Gregory等^[8]和Guidetti^[9]在比较沙地和其他生境的鱼类群落时,同样指出了鱼类对沙地生境的独特利用模式,与本文不同的是,其鱼类多样性在多数时间是显著低于其他生境的,形成了沙地生境较低鱼类利用强度模式。

丰度和生物量曲线(ABC曲线)显示出沙地和岩礁鱼类群落各自的季节变化特征及差别:沙地生境鱼类群落虽然在春夏季受到人类活动的高强度干扰,但鱼类群落鲜有突变,只是由春夏的幼小鱼类主导的群落演化为秋冬季成体和大个体鱼类主导的群落,表现出强烈的动态变化过程;但在岩礁生境,受其栖息空间有限及捕捞的双重影响,虽然全年皆呈现丰度优势大于生物量优势的模式,但其突变性一直存在,显示出鱼类在该生境利用上的激烈竞争状

态. 在鱼类群落结构的塑造过程中,起关键作用的2个因素是竞争和捕食^[25-26]. 岩礁生境本身的结构特征加之海藻的生长使其成为鱼类尤其幼鱼的良好庇护所,同时钩虾(*Orchestia* sp.)和麦秆虫(*Caprella* sp.)的大量存在,又形成了幼鱼和端足类(*Amphipoda*)数量丰富的饵料场,因此岩礁生境是竞争和捕食都很激烈的高种类多样性区域,其ABC模式的突变性自然更加显著;但在沙地生境,春夏季大量幼鱼的集群出现,预示着这是一个饵料丰富的生境,但同时亦表明该生境的庇护所功能,从而共同成为幼小鱼类的良好育肥所.

ABC曲线在底栖生物群落稳定性的研究中较为常见^[27],一般认为正常稳定的群落,其生物量曲线始终位于丰度曲线的上方,丰度比生物量具有更高的多样性,一旦2条曲线相互交叉或重叠,说明群落受到扰动,其稳定性下降^[28]. 在鱼类群落方面,已有部分研究者尝试使用ABC曲线对其进行个例分析^[29-32]. 如果直接沿用底栖生物研究中ABC曲线的解读模式,很容易得出这样的结论:沙地生境鱼类的稳定性要高于岩礁生境. 这个解读是否正确,需结合优势种的变化进行综合分析后才能做出判断. 鱼类群落的主要特征通常受少数种类控制,这些种类往往是群落中的优势种或关键种^[33]. 当优势种发生变化,一个群落的基本特征随之发生变化;如优势种频繁变更,则这个群落的稳定性就很低. 从2种生境优势种的组成和季节变化情况看,岩礁生境的优势种主要由几种趋礁性鱼类和石首鱼科鱼类所组成,而沙地生境则随季节变化表现出更为丰富的优势种更替现象;此外种类排序结果表明,岩礁生境的聚合度显然高于沙地生境,表明该生境鱼类群落季节波动不如沙地. 可见,沙地生境的鱼类群落并没有岩礁生境的稳定. 另一方面,在利用ABC曲线获取沙地群落受外界干扰的信息上,虽然春季高强度的鲉作业一直存在,但并未使该生境鱼类的ABC曲线发生交叉或突变,这一方面与采样方法有关,也在一定程度上说明利用ABC曲线解读鱼类群落所受干扰的能力是有限的. 鱼类的分布区域涵盖了海底至水表的整个水层,群落中的幼鱼或者小型浮游生物食性鱼类的丰度优势明显大于其生物量优势,一个受幼小鱼类主导的群落,其丰度曲线应该更多地出现在生物量曲线上方. 本文利用ABC曲线探讨不同生境鱼类群落稳定性的同时,结合群落中幼鱼和成鱼、小型鱼类和大型鱼类之间生物量和丰度的变化过程,以及排序和聚类结果,分析了2种生境中鱼类群落

发生变化的内部原因,揭示了沙地生境独特的鱼类群落格局及其动态变化.

群落的稳定性和物种多样性变化呈负相关,一个稳定的群落有助于区域多样性的维持和种类区系的保存,但同时降低了生境的利用率. 而一个不断变化的群落更能显示出一个生境被利用的程度,由此可以看出,虽然沙地生境的鱼类群落稳定性差,但有限空间的利用率明显提高,必将有助于某些资源群体的养护. 沙地和岩礁生境的差别可以形象地比喻成住房和旅馆的关系.

3.3 环境因子对不同生境鱼类群落结构的影响

前面主要基于群落内部原因解释种类组成及群落结构的变化. 而实际环境下,鱼类群落的变化和发展,与外部环境息息相关. 通过2种生境的鱼类生物量组成和温度、盐度等6种环境因子的相关分析,可以看出不同生境的鱼类群落对同一环境因子响应程度并不一致. 就单个环境因子而言,有些因子(如透明度和叶绿素a)对鱼类群落的发展似乎起着抑制作用. 本文所选的研究尺度较小,两生境间6种常见环境因子的月变化几乎同步,同一月份各因子的相似性大多在95%以上(图9). 虽然沙地和岩礁生境对这些环境因子的响应程度不同,也能在一定程度上解释鱼类群落发生变化的原因,但造成2种生境鱼类群落格局截然不同的根本原因,显然无法从这6个环境因子中获取. 不考虑鱼类群落本身的捕食和被捕食现象,参考同期4个季度两种生境中浮游动植物的密度变化情况(图10)可以发现,沙地生境春夏季的浮游动物和夏秋季的浮游植物密度都高于岩礁生境,春夏季鲉等幼鱼在沙地的大量出现,而在岩礁区的量相对要少,很可能是因为沙地生境的浮游动物饵料环境优于岩礁生境的缘故. 秋冬季沙地

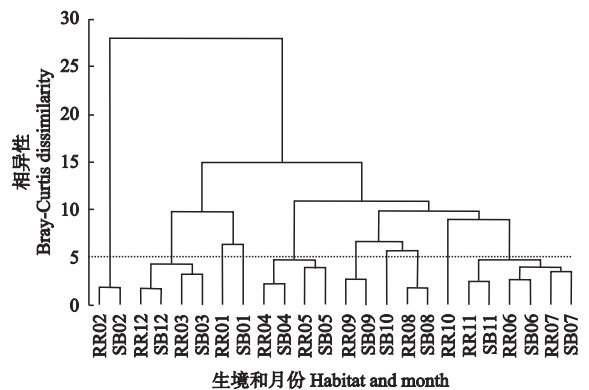


图9 沙地和岩礁生境6种环境因子月变化的聚类
Fig. 9 Dendrogram of monthly variations of 6 environmental factors in sandy beach and rocky reef habitats.

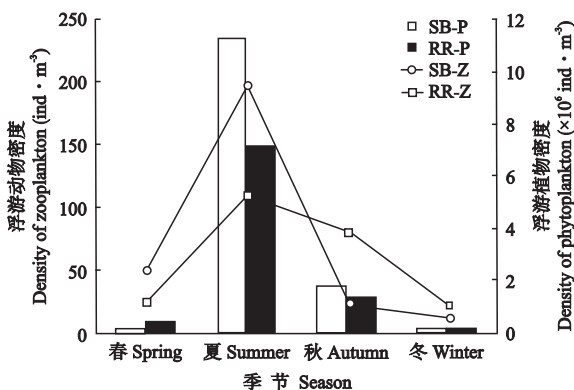


图 10 沙地和岩礁生境浮游生物密度的季节变化

Fig. 10 Seasonal variations of plankton density in sandy beach and rocky reef habitats.

P: 浮游植物密度 Density of phytoplankton; Z: 浮游动物密度 Density of zooplankton.

的浮游动物密度则低于岩礁生境,其饵料场的功能明显降低,随着鱼类个体的增长,其摄食对象的浮游生物成分逐渐减少,转而以捕食小型虾蟹类和其他小型鱼类为主^[34]。因此,秋冬季两生境的群落格局差异就很难从浮游生物量的差异中找寻原因。秋冬季的鱼类群落主要是由优势群体加少量其他种类个体组成,因此可以肯定的是这种格局是生境本身的差异(即栖息地功能的差异,如鲆鲽类喜欢在沙地栖息掩埋,岩礁生境有利于趋礁性鱼类的栖息躲藏等)造成的。综上所述,在饵料环境和栖息地本身结构差异的协同作用下,形成了沙地和岩礁生境截然不同的鱼类群落格局,并在温度、盐度等环境因子的共同作用下进行着各自独特的群落结构演变。

4 结论和展望

通过对 2009 年枸杞岛沙地生境及其对照生境鱼类群落结构的比较研究,我们发现,小尺度沙地生境虽然在种类多样性方面尚不及岩礁生境,但其对特征种日本须鲷和季节性洄游种鳀以及石首鱼科鱼类的养护作用并不亚于近岸岛礁生境。沙地生境对地方鱼类群落的维系和动态变化以及特定资源的养护起着不可忽视的生态作用,因此在近岸和岛礁沙质海岸带进行休闲旅游等活动时,需要处理好生境保护和地方发展的关系。本研究只是针对岛礁海域有限沙地生境鱼类群落特征的一个初步探讨,研究的时空尺度有限,因此笔者期待更多的学者针对我国沙质海岸带鱼类区系进行更全面的研究。

致谢 上海海洋大学许强、陈清满、许敏、刘卫云、童武君、陈明超和尹冰玉等在样品的采集和试验环节做了大量工作,

缅甸大学陈勇教授、张瑞涵博士对论文的修改提出了宝贵意见,在此一并致谢!

参考文献

- [1] Nicolas D, Lobry J, Le Pape O, *et al.* Functional diversity in European estuaries: Relating the composition of fish assemblages to the abiotic environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, **88**: 329–338
- [2] Zhang H (张衡), Zhu G-P (朱国平). Spatiotemporal changes of fish community in Yangtze estuary intertidal zone. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2009, **20**(10): 2519–2526 (in Chinese)
- [3] Fraschetti S, Terlizzi A, Boero F. How many habitats are there in the sea (and where)? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2008, **366**: 109–115
- [4] Zhu Y-R (朱玉荣). A survey on origin of sandy sediments and clayey sediments on the continental shelves of the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. *Marine Sciences (海洋科学)*, 2001, **25**(5): 21–23 (in Chinese)
- [5] Li Z (李震), Lei H-Y (雷怀彦). Distribution and existing problems of sandy coast in China. *Marine Geology Letters (海洋地质动态)*, 2006, **22**(6): 1–4 (in Chinese)
- [6] Aarnio K, Mattila J. Predation by juvenile *Platichthys flesus* (L.) on shelled prey species in a bare sand and a drift algae habitat. *Hydrobiologia*, 2000, **440**: 347–355
- [7] Tsubaki R, Kato M. Intertidal slope of coral sand beach as a unique habitat for fish: Meiobenthic diet of the transparent sand dart, *Kraemeria cunicularia* (Gobiidae). *Marine Biology*, 2009, **156**: 1739–1749
- [8] Jenkins GP, Wheatley MJ. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a southern Australian embayment: Comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand habitats, with emphasis on their importance to recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1998, **221**: 147–172
- [9] Guidetti P. Differences among fish assemblages associated with nearshore *Posidonia oceanica* seagrass beds, rocky-Algal reefs and unvegetated sand habitats in the Adriatic sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, **50**: 515–529
- [10] Tsai CF, Zeisel RB. Natural hybridization of cyprinid fishes in Little Patuxent River, Maryland. *Chesapeake Science*, 1969, **10**: 69–74
- [11] Kaiser MJ, Bergmann M, Hinz H, *et al.* Demersal fish and epifauna associated with sandbank habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, **60**: 445–456
- [12] Gibson RN. The intertidal movements and distribution of young fish on a sandy beach with special reference to the plaice *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1973, **12**: 79–102
- [13] Beyst B, Hostens K, Mees J. Factors influencing fish and macrocrustacean communities in the surf zone of sandy beaches in Belgium-temporal variation. *Journal of*

- Sea Research*, 2001, **46**: 281–294
- [14] Amara R, Paul C. Seasonal patterns in the fish and epibenthic crustaceans community of an intertidal zone with particular reference to the population dynamics of plaice and brown shrimp. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, **56**: 807–818
- [15] Jepsen DB. Fish species diversity in sand bank habitats of a neotropical river. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, **49**: 449–460
- [16] Hindell JS, Enkins GP, Keough MJ. Evaluating the impact of predation by fish on the assemblage structure of fishes associated with seagrass (*Heterozostera tasmanica*) (Martens ex Ascherson) den Hartog, and unvegetated sand habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, **255**: 153–174
- [17] Shields Jr FD, Smith RH. Effects of large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1992, **2**: 145–163
- [18] Shields Jr FD, Knight SS, Morin N, et al. Response of fishes and aquatic habitats to sand-bed stream restoration using large woody debris. *Hydrobiologia*, 2003, **494**: 251–257
- [19] Project 908 Special Office of the State Oceanic Administration (国家海洋局 908 专项办公室). Technical Specification of Marine Bio-ecological Investigation. Beijing: China Standards Press, 2006: 32–48 (in Chinese)
- [20] Zheng Y-J (郑元甲), Chen X-Z (陈雪忠), Cheng J-H (程家华), et al. The Living Resources and Environment in the Continental Shelves of the East China Sea. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 768–782 (in Chinese)
- [21] Lu Z-B (卢振彬), Dai Q-S (戴泉水), Xiao F-S (肖方森), et al. The resources production of fish and its different ecological type in Minnan-Taiwan Bank fishing grounds. *Journal of Fisheries of China (水产学报)*, 2006, **30**(3): 359–366 (in Chinese)
- [22] Wang Z-H (汪振华), Zhang S-Y (章守宇), Wang K (王凯). Fish and macroinvertebrates community structure in artificial habitat around Sanheng Isle, Shengsi, China. *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 2010, **30**(8): 2026–2035 (in Chinese)
- [23] Clarke KR, Warwick RM. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation; 2 Ed. PRIMPER-E; Plymouth, 2001
- [24] Pessanha ALM, Araújo FG. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, **57**: 817–828
- [25] Steele MA. Effects of predators on reef fishes; Separating cage artifacts from effects of predation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1996, **198**: 249–264
- [26] Chen J-Q (陈吉泉), Li B (李博), Ma Z-J (马志军), et al. The Challenges That the Ecologists Are Facing: Problems and Solutions. Beijing: Higher Education Press, 2005 (in Chinese)
- [27] Qu F-Y (曲方圆), Yu Z-S (于子山), Sui J-X (隋吉星), et al. The limitations of abundance biomass comparison method. *Marine Sciences (海洋科学)*, 2009, **33**(6): 118–121 (in Chinese)
- [28] Warwick RM. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 1986, **92**: 557–562
- [29] Coeck J, Vandelanootte A, Yseboodt R, et al. Use of the abundance/biomass method for comparison of fish communities in regulated and unregulated lowland rivers in Belgium. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1993, **8**: 73–82
- [30] Yemane D, Field JG, Leslie RW. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, **62**: 374–379
- [31] Jouffre D, Inejih CA. Assessing the impact of fisheries on demersal fish assemblages of the Mauritanian continental shelf, 1987–1999, using dominance curves. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, **62**: 380–383
- [32] Li S-F (李圣法). Status of fish community in East China Sea using the method of abundance biomass comparison (ABC) curve. *Journal of Fishery Sciences of China (中国水产科学)*, 2008, **15**(1): 136–144 (in Chinese)
- [33] Shen G-Y (沈国英), Shi B-Z (施并章). Marine Ecology. Beijing: Science Press, 2002: 260–262 (in Chinese)
- [34] Yan Y-R (颜云榕), Chen J-L (陈骏岚), Hou G (侯刚), et al. Feeding habits of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf of South China Sea. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, 2010, **21**(3): 749–755 (in Chinese)

作者简介 汪振华,男,1980年生,博士研究生.主要从事海洋生态系统和栖息地生态学研究,发表论文4篇. E-mail: malemantis@163.com

责任编辑 肖红
