

底质类型对三亚湾潮间带大型底栖动物生态功能的影响

李亚芳^{1,2,3}, 杜飞雁^{1,2,3*}, 王亮根^{1,2,3}, 王雪辉^{1,2,3}, 宁加佳^{1,2,3}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东广州 510300;

2. 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300;

3. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东广州 510300)

摘要: 根据2014年3月在海南三亚湾及湾内东、西瑁洲岛获取的9条潮间带断面(3条砂质和6条岩礁)中潮区生物调查数据, 分析底质类型对潮间带大型底栖动物生态功能的影响。结果显示, ①移动能力弱、掘洞型和滤食性的底栖动物在砂质海滩有较多分布, 而不移动、移动能力强、固着型、爬行型以及植食性和捕食性的底栖动物在岩礁海岸分布较多; ②主坐标典型性分析(CAP)显示, 9条潮间带断面大型底栖动物可明显分为岩礁和砂质2群, 不同底质的潮间带断面大型底栖动物具有不同的性状模式, 其中迁移能力、栖息方式和食性是造成其差异的主要原因; ③大型底栖动物的香农多样性指数(H')和功能多样性指数(FD)均呈岩礁潮间带断面高于砂质潮间带断面; ④2种底质海滩的大型底栖动物均具有较高的功能冗余, 但砂质海滩略高于岩礁海滩。

关键词: 大型底栖动物; 底质类型; 生态功能; 主坐标典型性分析; 三亚湾

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

潮间带处于陆地和海洋生态系统的交界处, 属海洋中最敏感的生态系统之一^[1]。大型底栖动物作为潮间带生态系统中重要的组成部分, 在其结构和功能中占据极为重要的地位^[2]。底栖动物直接栖息的沉积环境, 提供了可供底栖动物附着、捕食及生存的平台和空间, 对底栖动物产卵、繁殖等生活史的重要阶段均起关键作用, 同时也是底栖动物应对外来扰动的避难所^[3]。每种底质都支持着特定的底栖动物群落, 底栖动物的生态功能与底质类型密切相关^[4-8]。然而, 关于底栖动物生态功能的研究以往多集中于物种组成、丰度以及相关多样性指数和一些简单性状分析(例如摄食和粒径分布)等^[9-11], 提供的信息有限, 不足以全面了解底栖动物的生态功能^[10, 12]。此外, 行为特征以及繁殖方式等一些在生态功能中起重要作用的性状也未引起足够重视^[13]。为此, 基于物种生物性状的功能多

样性指数越来越多地被用来评价生态系统功能^[14]。另外, 不同物种在群落中可具相似甚至同等的生态功能, 某一物种的消失和替代不一定会引起生态功能的改变^[15]。因此, 功能冗余可用于检测生态系统的功能稳定性^[16], 但和功能多样性一样, 其仅作为一种重要的指标, 并不能完全解决生态系统功能与扰动或者环境因素的相关机制问题^[17]。鉴于此, 一种基于多种生物性状的分析方法(生物性状分析BTA)被大量应用于陆地和水生生态系统^[17]。Bremner等^[13]和Neumann等^[18]运用此方法研究了捕鱼和气候变化对海洋底栖动物的影响。基于此方法研究底质类型对潮间带大型底栖动物生态功能的影响, 目前国内还未见相关报道。本实验以三亚湾为例, 运用传统方法和生物性状分析法(BTA)综合分析底质类型对潮间带大型底栖动物生态功能的影响。

收稿日期: 2017-08-23 修回日期: 2018-01-08

资助项目: 科技部基础资源调查专项(2017FY201405); 国家科技支撑计划(2013BAD13B06)

通信作者: 杜飞雁, E-mail: feiyanegg@163.com

1 材料与方 法

1.1 研究区域

研究区域包括三亚湾和湾内的东、西瑁洲岛以及鹿回头湾潮间带区域,属典型的热带季风气候作用区,受东北季风和西南季风的交替影响,年均气温25.5℃、年均降雨量1 279 mm。其中三亚湾海滩滩面底质为细砂质,其底质类型为砂相。位于三亚国家级珊瑚礁自然保护区内的东、西瑁洲岛以及鹿回头湾海滩,其潮间带底质为发育于基岩和珊瑚礁平台后侧的岩礁海岸海滩^[19]。

1.2 样品采集

根据底质类型的不同,本实验于2014年3月选择了3条砂质断面(D1~D3)和6条岩礁断面(D4~D9)(图1)。为排除潮汐等影响,每条断面只选取中潮区大型底栖动物。砂质断面使用面积为50 cm×50 cm的正方形样框,随机采样4个框

块,用孔径为1 mm的筛子,分离出其中的埋栖生物;岩礁断面则使用面积为25 cm×25 cm的正方形样框,随机采样4个,收集样方内所有大型底栖动物个体。所有样品的采集、处理、保存、计数和称重均参照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)进行^[20]。

1.3 生物性状类型的选取

考虑到大型底栖动物营养动态、能量流动、生化循环和潜在恢复力生态功能,本实验参照相关文献^[16, 21],选取移动能力、个体大小、栖息方式、生命力、繁殖方式、繁殖周期、幼虫发育方式和摄食方式等8种生物性状,其中包括30种性状类型(表1,表S1)。每一物种的相关生物性状数据通过各种公开发表的书籍、论文、报告以及在线数据库获取(例如:e.g. MarLIN BIOTIC:www.marlin.ac.uk/biotic and Marine Species Identification Portal: www.species-identification.org)。

1.4 生物性状分析方法

根据性状类型与物种的相符度,采用模糊赋值法(范围从0~3)对其赋值,其中0表示不相符,3代表高度相符。由于某些物种具有多种行为特征,所以需针对某一特殊的生物性状,对多种性状类型进行赋值。例如,某一物种可能具有2种摄食方式且二者所占比重相同,该物种所具有的这2种摄食方式均可赋值为2。如果无法获取物种的某些生物性状信息,则该性状类型为0。生物性状分析(BTA)需要3个不同的数据矩阵:①每一样点的物种丰度矩阵;②每一物种的生物性状矩阵;③前两个矩阵的结合,即每一样点的生物性状矩阵^[17]。为降低优势物种丰度对结果的影响,在获得生物性状矩阵前,对矩阵①进行 $\ln(1+x)$ 转换。

1.5 数据处理与统计分析

Shannon-Wiener物种多样性指数计算公式:

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

式中, S 为群落中的总种类数, N 为观察到的个体总数, P_i 为第*i*种底栖动物丰度占总底栖动物总丰度的比例,即 $P_i = n_i / N$ ^[22]。

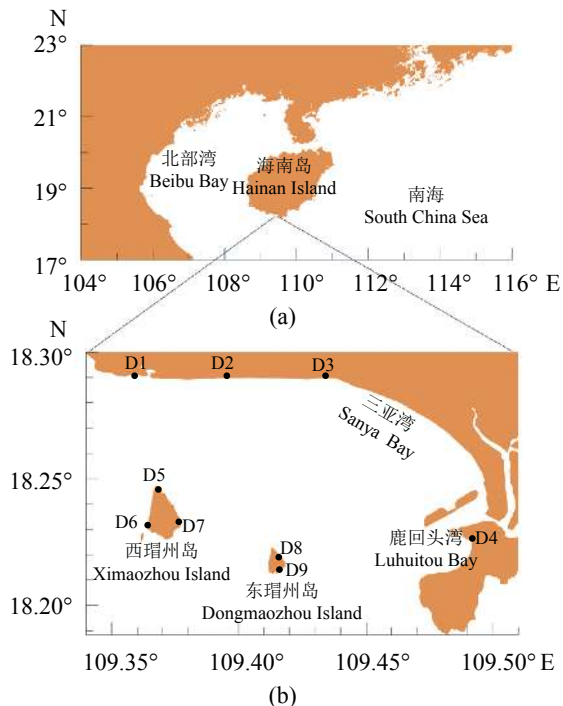


图1 三亚湾和湾内的东、西瑁洲岛以及鹿回头湾潮间带采样站点

(a)海南岛所在位置图;(b)采样点位于海南岛海域

Fig. 1 Intertidal sampling stations of Sanya Bay, Dongmaozhou and Ximaozhou Island, Luhuitou Bay

(a)vicinity map showing the locations of Hainan Island; (b)sampling stations in the sea area of Hainan Island

表 1 生物性状和性状类型

Tab. 1 Biological traits and trait categories

生物性状 biological traits	性状类型 trait categories	缩写 lables
迁移能力 mobility	不移动 none	M-N
	低 low	M-L
	中 medium	M-M
	高 high	M-H
	栖息方式 habitat	固着 sessile
	永久管栖 tube (permanent)	H-TP
	半管栖 tube (semi-permanent)	H-TSP
	掘洞 burrower	H-B
	爬行/游泳 surface crawler/swimmer	H-CR/SW
成年个体大小 maximum adult size or body size	非常小 <1 cm very small < 1 cm	B-VS
	小 1~3 cm small 1~3 cm	B-S
	中等 3~10 cm medium 3~10 cm	B-M
	大 >10 cm large >10 cm	B-L
	生命力 life span	短 <1年 short <1 year
中等 1~5年 medium 1~5 years		LS-M
长 >5年 long >5 years		LS-L
繁殖方式 reproduction technique		雌雄异体 gonochoristic
	雌雄同体 hermaphrodite	RT-H
繁殖周期 reproduction frequency	1年2次 twice every year	RF-2perY
	1年1次(持续期长) once per year (extended period)	RF-E-1perY
	1年1次(持续期短) once per year (distinctive period)	RF-D-1perY
	2年1次(持续期长) once per 2 years (extended period)	RF-E-1per2Y
	终生1胎 semelparous	RF-Semel
幼虫发育方式 larval development	以浮游生物为食 planktotrophic	L-P
	以卵黄为食 lecitotrophic	L-L
	直接发育 direct development	L-D
摄食方式 feeding mode	捕食性 predator	F-P
	植食性 herbivore	F-H
	食沉积物 deposit-feeder	F-D
	滤食性 filter-feeder	F-F

采用Rao's Q指数来表示大型底栖动物的功能多样性:

$$FD_Q = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_{ij} P_i P_j$$

式中, FD_Q 表示群落中两个随机物种的平均差异; d_{ij} 表示物种*i*和物种*j*的差异($d_{ij}=d_{ji}$ 和 $d_{ii}=0$), P_i 为第*i*种生物的丰度占总丰度的比例, P_j 为第*j*种生物的丰度占总丰度的比例。

$$d_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |X_{ik} - X_{jk}|$$

式中, n 为功能特征总数, X_{ik} 和 X_{jk} 分别为物种*i*和*j*的功能特征*k*的指数值^[23]。

采用 FD/H' 来表示功能冗余, FD/H' 值越大, 功能冗余越低^[17]。

利用PERMANOVA软件中的主坐标典型性分析(CAP)来分析不同样点生物性状的分布, 并估算具有主要作用的生物性状类型。采用Golden Software Surfer 13.0软件绘制调查站位图。

2 结果

2.1 大型底栖动物生物性状

各迁移能力的大型底栖动物均出现于岩礁海滩, 总体而言, 岩礁海滩底栖动物的迁移能力较高于砂质海滩(图2-a)。砂质海滩出现掘洞型和爬行/游泳型2种栖息方式, 以掘洞型为主; 而岩礁海滩则出现多种栖息方式, 爬行/游泳型所占比例最高, 其次为固着型(图2-b)。岩礁海滩大型底栖动物的个体较砂质海滩大(图2-c)。栖息于2种沉积相类型的大型底栖动物生命力均以1~5 a为主, 繁殖方式均以雌雄异体为主(图2-d, 图2-e)。2种沉积相类型大型底栖动物的繁殖周期存在一定差异, 岩礁海滩大型底栖动物的繁殖周期较为多样, 以1年1次且繁殖期持续较短为主, 但1年2次以及1年1次且繁殖期持续较长的也占有一定的比例; 而砂质海滩大型底栖动物的繁殖期仅出现1年1次且持续期较短(图2-f)。幼虫发育在砂质海滩和岩礁海滩均为营浮游生活并以浮游生物为饵的幼虫为主(图2-g)。砂质海滩大型底栖动物食性以滤食性为主, 而岩礁海滩则以捕食性为主, 且岩礁海滩食性类型较砂质海滩复杂多样(图2-h)。

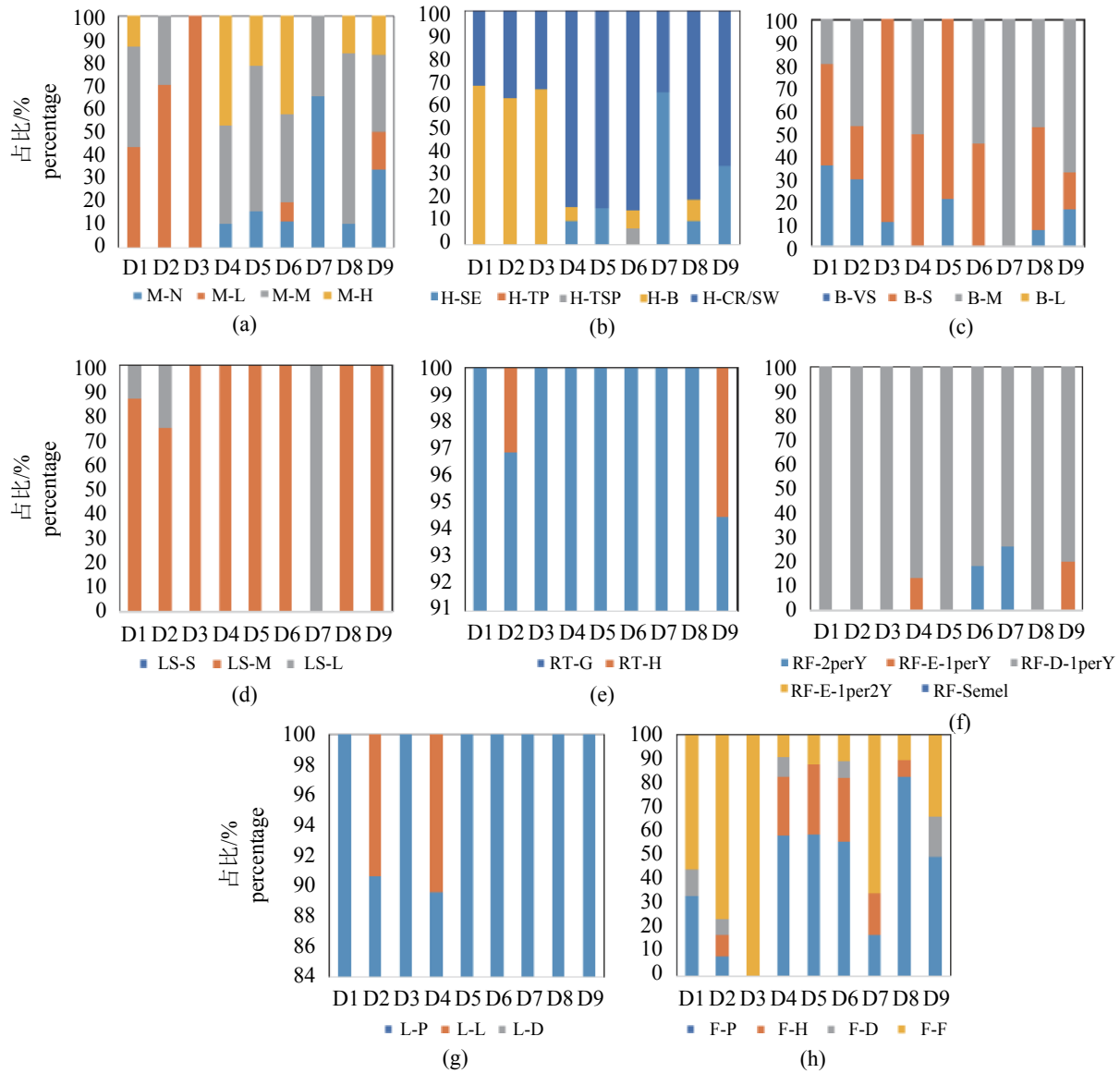


图 2 不同采样点大型底栖动物各性状类型所占比例

(a)迁移能力; (b)栖息方式; (c)个体大小; (d)生命力; (e)繁殖方式; (f)繁殖周期; (g)幼虫发育方式; (h)摄食方式; M-N为迁移能力(不移动); M-L为迁移能力(低); M-M为迁移能力(中等); M-H为迁移能力(高); H-SE为栖息方式(固着); H-TP为栖息方式(永久管栖); H-TSP为栖息方式(半管栖); H-B为栖息方式(掘洞); H-CR/SW为栖息方式(爬行/游泳); B-VS为个体大小(非常小); B-S为个体大小(小); B-M为个体大小(中等); B-L为个体大小(大); LS-S为生命力(短); LS-M为生命力(中等); LS-L为生命力(长); RT-G为繁殖方式(雌雄异体); RT-H为繁殖方式(雌雄同体); RF-2perY为繁殖周期(1年2次); RF-E-1perY为繁殖周期(1年1次且持续期长); RF-D-1perY为繁殖周期(1年1次且持续期短); RF-E-1per2Y为繁殖周期(2年1次且持续期长); RF-Semel为繁殖周期(终生一胎); L-P为幼虫发育方式(以浮游生物为食); L-L为幼虫发育方式(以卵黄为食); L-D为幼虫发育方式(直接发育); F-P为摄食方式(捕食性); F-H为摄食方式(植食性); F-D为摄食方式(食沉积物); F-F为摄食方式(滤食性), 下同

Fig. 2 Percentage of a given trait category at a given site

(a)mobility; (b)habitat; (c)body size; (d)life span; (e)reproduction technique; (f)reproduction frequency; (g)larval development; (h)feeding mode; M-N=mobility (none); M-L=mobility (low); M-M=mobility (medium); M-H=mobility (high); H-SE=habitat (sessile); H-TP=habitat (tube (permanent)); H-TSP=habitat (tube (semi-permanent)); H-B=habitat (burrower); H-CR/SW=habitat surface (crawler/swimmer); B-VS=body size (very small); B-S=body size (small); B-M=body size (medium); B-L=body size (large); LS-S=life span (short); LS-M=life span (medium); LS-L=life span (long); RT-G=reproduction technique (gonochoristic); RT-H=reproduction (technique hermaphrodite); RF-2perY=reproduction frequency (twice every year); RF-E-1perY=reproduction frequency (once per year (extended period)); RF-D-1perY=reproduction frequency (once per year(distinctive period)); RF-E-1per2Y=reproduction frequency (once per 2years (extended period)); RF-Semel=(semelparous); L-P=larval development (planktotrophic); L-L=larval development (lecitotrophic); L-D=larval development (direct development); F-P=feeding mode (predator); F-H=feeding mode (herbivore); F-D=feeding mode (deposit-feeder); F-F=feeding mode (filter-feeder), the same below

2.2 主坐标典型性分析(CAP)

利用CAP分析不同采样点生物性状的分布模式, 其中CAP1和CAP2共解释了62.7%的变化, 砂质海滩样地与岩礁海滩样地区分明显(图3)。M-L、H-B和F-F的物种在砂质海滩有较多分布, 而M-H、H-CR/SW和H-SE以及F-P和F-H物种则在岩礁海滩分布较多(图3, 表S2)。迁移能力、栖息方式和食性这3种生物性状是造成砂质海滩和岩礁海滩差异的主要原因。

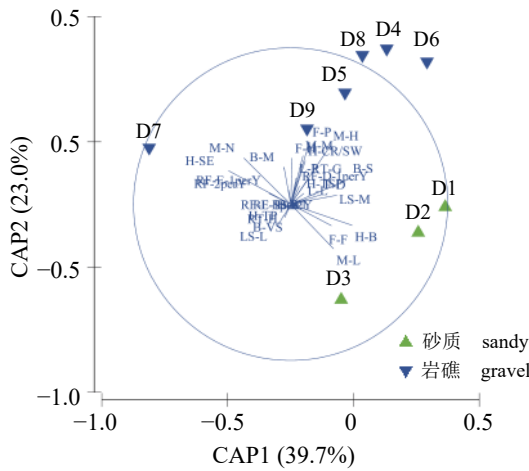


图3 不同样点生物性状分布模式

Fig. 3 The trait pattern among different sites

2.3 物种多样性指数、功能多样性指数和功能冗余

三亚湾各断面潮间带大型底栖动物物种多样性指数 H' 、功能多样性指数FD和功能冗余 FD/H' 的变化范围分别为1.37~3.08、0.03~0.54和0.02~0.26。其中, 岩礁海滩的D6样点物种多样性 H' 最高, 岩礁海滩的D9样点最低; 功能多样性FD仍以D6样点最高, 砂质海滩的D1样点最低; 功能冗余 FD/H' 值越大, 功能冗余则越低。因此, 砂质海滩的D1样点功能冗余最高, 岩礁

的D4样点功能冗余最低(表2)。总体上, 三亚湾潮间带大型底栖动物的物种多样性和功能多样性呈岩礁海滩高于砂质海滩的趋势, 而功能冗余则呈砂质海滩高于岩礁海滩的趋势。

3 讨论

3.1 底质类型对生物性状分布模式的影响

利用生物性状分析方法发现, 三亚湾潮间带大型底栖动物在不同底质类型具有不同的性状分布模式。主坐标典型性分析(CAP)表明, 迁移能力、栖息方式和食性是造成砂质海滩和岩礁海滩差异的主要原因。Bremner等^[13]研究发现, 砂质海滩以移动能力低和掘洞型生活的软体动物虫昌螺(*Unbonium vestiarium*)和斧蛤(*Donax* sp.)为主, 本实验结果与此类似。基于基岩和珊瑚礁的岩礁质硬孔多, 非常适合软体动物的附着, 并为部分活动能力强、营穴居生活的甲壳动物提供庇护所和繁殖场所^[24], 如细肋钳蛤(*Isognomon perna*)、咬齿牡蛎(*Ostrea mordax*)、刺毛壳蟹(*Pilodius pugil*)和绣花脊熟若蟹(*Lophozozymus pictor*)等。因此, 岩礁海滩以固着型、移动能力强和爬行/游泳型物种为主。另外, 砂质海滩除本身有机质较低外, 当机械清理人造垃圾和海藻的同时也清除了有机碎屑, 从而导致其有机质含量更低, 营养物质贫乏^[25]。因此, 砂质海滩大型底栖动物通过滤食海水中的浮游生物和有机质颗粒获取主要营养物。岩礁海滩生境复杂, 有机质含量高, 既有直接以藻类为食的植食性种类白纹方蟹(*Gapsus albolineatus*)、阿文绀贝(*Mauritia arabica asiatica*)、细焦掌贝(*Palmadusta gracilis*)、小楯桑葚螺(*Clypeomorus humilis*)和大量的捕食性动物(骨螺科和蛙螺科种类), 也有滤食性的秀丽节蛇尾(*Ophiarthrum elegans*)、细肋钳蛤和咬齿牡蛎以及沉积物食性的脆沙鸡子(*Phyllophorus fragilis*)等。相对砂质海滩, 岩礁海滩大型底栖动物摄食方式更具多样性。

表2 各样点香农多样性指数、功能多样性指数和功能冗余

Tab. 2 Shannon-Wiener diversity, functional diversity and functional redundancy of macrobenthic communities in different sites

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
香农多样性指数 Shannon-Wiener diversity (H')	1.58	2.29	1.78	1.40	2.06	3.08	2.73	1.77	1.37
功能多样性 functional diversity (FD)	0.03	0.34	0.34	0.37	0.41	0.54	0.33	0.32	0.31
功能冗余 functional redundancy (FD/ H')	0.02	0.15	0.19	0.26	0.20	0.18	0.12	0.18	0.22

3.2 底质类型对物种多样性、功能多样性以及功能冗余的影响

底质类型是影响底栖动物群落的重要因素之一,潮间带大型底栖动物的分布与底质环境密切相关^[26]。砂质海滩沉积物典型特点为沙粒在波浪作用下可以移动,稳定性弱,不利于固着生活在此的大型底栖动物^[25]。相较而言,岩礁质硬孔多且具各种藻类形成的藻丛,生境多样,可为较多底栖动物提供适宜的生存场所^[27]。然而,生物群落的多样性指数除受物种数影响外,各物种间个体数量的均匀程度也是影响其大小的重要因素^[22]。岩礁海滩虽生境多样,但固着生活的种类(如细肋钳蛤和咬齿牡蛎)群居性较强呈斑块分布,造成物种间丰度降低,进而导致多样性指数下降。本实验中,岩礁海滩D9样地中单一物种咬齿牡蛎的丰度占该样点总丰度的73.3%,因此D9样地具最低的物种多样性。

关于底质类型与大型底栖动物功能多样性的关系,多数研究发现,生境复杂性与大型底栖动物功能多样性呈正相关^[28-29]。本实验中具复杂生境的岩礁海滩D4、D5和D6采样点功能多样性高于生境较为单一的砂质海滩,而同样具复杂生境的D7、D8和D9采样点的功能多样性则略低于砂质海滩的D2和D3采样点。Botta-Dukat^[23]研究发现,功能多样性与物种数、各物种间个体数量的均匀程度及性状差异程度呈正相关。本实验中,岩礁海滩D7采样点虽基于物种数及个体数量的 H' 远高于砂质海滩,然而其功能多样性略低。究其原因,岩礁海滩多个物种的相关重要生物性状(如生命力和繁殖周期)无法获知,其均被赋值为0,造成物种间生物性状差异度降低,进而可能导致其功能多样性被低估,该结果与Van der Linden等^[17]研究一致。D8和D9采样点功能多样性略低,除与物种间生物性状差异度被低估有关外,还与单个物种丰度占绝对优势有关。从整体分析,具有复杂生境的岩礁海滩功能多样性高于砂质海滩。

另外,功能冗余反映了物种间功能生态位的重叠程度,较低的功能冗余表明物种间功能生态位的重叠程度较低,某一物种的消失或替代会引起生态系统功能的改变。反之,功能冗余越高,不同的物种在群落中可能具有相似甚至是同等的生态功能,某一物种的消失和替代

并非会引起生态系统功能的改变^[15]。本实验中,岩礁海滩具相对较低的功能冗余,意味着当环境发生变化时,岩礁海滩生态功能相对更易随之改变。然而,本实验2种沉积相类型海滩功能冗余(0.02~0.26)均高于具有较高功能冗余的香港大澳红树林(0.23~0.30)^[16]。潮间带处于陆地和海洋生态系统的交界处,属海洋中最敏感的生态系统之一,同时又是人类活动扰动最为严重的区域,潮间带生物对其复杂多变的环境已具有高度的适应性^[1]。因此,2种底质类型海滩均具较高的功能冗余,但砂质海滩略高于岩礁海滩。

3.3 物种多样性与功能多样性的关系

尽管物种多样性与功能多样性存在直接的内在联系^[30],然而二者的关系除受功能冗余影响外,不同栖息环境二者关系也有所不同。因此,物种多样性不能直接代替功能多样性,物种多样性也不能有效的反映生态系统功能。物种多样性高并不意味着生态功能稳定,特别是砂质底质生物多样性本身就较低。汤雁滨等^[27]通过对南麂列岛潮间带底栖动物多样性分析,得出4个季节中潮区物种多样性指数 H' 均大于5.88,但功能多样性指数最大值仅为0.18,远低于本实验中的砂质海滩。Munari^[31]也发现,砂质海滩大型底栖动物在应对自然环境的变化上,相较物种组成,其性状组成具有更高的稳定性。因此相较物种多样性,功能多样性更适合作为制定相关管理保护策略的依据。

中国水产科学研究院南海水产研究所吴进锋研究员、谷阳光副研究员、钟智辉高级工程师、许友伟助理研究员、于紫玲、郭伟龙协助外业调查,特致谢忱。

参考文献:

- [1] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2002: 310-313.
Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2002: 310-313(in Chinese).
- [2] Rhoads D C, Young D K. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure[J]. Journal of Marine Research, 1970, 28: 150-178.
- [3] 孙刚, 房岩. 底栖动物的生物扰动效应[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 310-313.

- 出版社, 2013: 23-24.
- Sun G, Fang Y. Bioturbation Effects of Benthic Animals[M]. Beijing: Science Press, 2013: 23-24(in Chinese).
- [4] Sanders H L. Benthic studies in buzzards bay. I. Animal-sediment relationships[J]. *Limnology and Oceanography*, 1958, 3(3): 245-258.
- [5] Mucha A P, Teresa M, Vasconcelos S D, *et al.* Macrobenthic community in the Douro estuary: relations with trace metals and natural sediment characteristics[J]. *Environmental Pollution*, 2003, 121(2): 169-180.
- [6] Graça M A S, Pinto P, Cortes R, *et al.* Factors affecting macroinvertebrate richness and diversity in Portuguese streams: a two-scale analysis[J]. *International Review of Hydrobiology*, 2004, 89(2): 151-164.
- [7] 杜飞雁, 王雪辉, 李纯厚, 等. 大亚湾大型底栖动物物种多样性现状[J]. *南方水产*, 2008, 4(6): 33-41.
- Du F Y, Wang X H, Li C H, *et al.* Study on species diversity of macrobenthos in Daya Bay, South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(6): 33-41(in Chinese).
- [8] Ryu J, Khim J S, Kang S G, *et al.* The impact of heavy metal pollution gradients in sediments on benthic macrofauna at population and community levels[J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159(10): 2622-2629.
- [9] Fano E A, Mistri M, Rossi R. The ecofunctional quality index (EQI): a new tool for assessing lagoonal ecosystem impairment[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 56(3-4): 709-716.
- [10] Mouillot D, Spatharis S, Reizopoulou S, *et al.* Alternatives to taxonomic-based approaches to assess changes in transitional water communities[J]. *Aquatic Conservation*, 2006, 16(5): 469-482.
- [11] Reizopoulou S, Nicolaidou A. Index of size distribution (ISD): a method of quality assessment for coastal lagoons[J]. *Hydrobiologia*, 2007, 577(1): 141-149.
- [12] Elliott M, Quintino V. The Estuarine Quality Paradox, environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 54(6): 640-645.
- [13] Bremner J, Rogers S I, Frid C L J. Assessing functional diversity in marine benthic ecosystems: a comparison of approaches[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, 254: 11-25.
- [14] Cadotte M W, Carscadden K, Mirochnick N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2011, 48(5): 1079-1087.
- [15] Petchey O L, Gaston K J. Functional diversity: back to basics and looking forward[J]. *Ecology Letters*, 2006, 9(6): 741-758.
- [16] Leung J Y S. Habitat heterogeneity affects ecological functions of macrobenthic communities in a mangrove: implication for the impact of restoration and afforestation[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2015, 4: 423-433.
- [17] Van Der Linden P, Patricio J, Marchini A, *et al.* A biological trait approach to assess the functional composition of subtidal benthic communities in an estuarine ecosystem[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 20: 121-133.
- [18] Neumann H, Kröncke I. The effect of temperature variability on ecological functioning of epifauna in the German Bight[J]. *Marine Ecology*, 2011, 32(S1): 49-57.
- [19] 毛龙江, 张永战, 魏灵, 等. 海南岛三亚湾海滩研究[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(3): 477-484.
- Mao L J, Zhang Y Z, Wei L, *et al.* Study on beach characteristics in Sanya area of Hainan Island[J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(3): 477-484(in Chinese).
- [20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 12763.6-2007海洋调查规范第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 48-49.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 48-49(in Chinese).
- [21] Fleddum A, Cheung S G, Hodgson P, *et al.* Impact of hypoxia on the structure and function of benthic epifauna in Tolo Harbour, Hong Kong[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 63(5-12): 221-229.
- [22] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation[M]. 2nd ed. Plymouth, UK: Primer-E Ltd, 2001.
- [23] Botta-Dukát Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16(5): 533-540.

- [24] 王丽荣, 陈锐球, 赵焕庭. 琼州海峡岸礁潮间带生物[J]. 台湾海峡, 2003, 22(3): 286-294.
Wang L R, Chen R Q, Zhao H T. Organism in intertidal zone of fringing reef at Qiongzhou Straits[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2003, 22(3): 286-294(in Chinese).
- [25] 李明峰. 游憩活动对沙滩潮间带大型底栖动物的影响研究——以福建省东山岛为例[D]. 北京: 中南林业科技大学, 2014: 5-6.
Li M F. The research on effects of recreation on macrobenthic community on the intertidal sandflat: A case study of Dongshan island in Fujian province, China[D]. Beijing: Central South University of Forestry and Technology, 2014: 5-6(in Chinese).
- [26] Pearson T H. Studies on the ecology of the macrobenthic fauna of lochs linnhe and Eil, west coast of Scotland: II. Analysis of the Macrobenthic fauna by comparison of feeding groups[J]. Vie Et Milieu, 1971, 22(22): 53-91.
- [27] 汤雁滨, 廖一波, 寿鹿, 等. 珊瑚藻类对南麂列岛潮间带底栖生物群落多样性的影响[J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 640-648.
Tang Y B, Liao Y B, Shou L, *et al.* Influence of coral-line algae on biodiversity of macrobenthic community in intertidal zone of Nanji Islands[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(5): 640-648(in Chinese).
- [28] Dolbeth M, Cardoso P, Grilo T, *et al.* Drivers of estuarine benthic species distribution patterns following a restoration of a seagrass bed: a functional trait analyses[J]. Marine Pollution Bulletin, 2013, 72(1): 47-54.
- [29] Wong M C, Dowd M. Patterns in taxonomic and functional diversity of macrobenthic invertebrates across seagrass habitats: a case study in Atlantic Canada[J]. Estuaries and Coasts, 2015, 38(6): 2323-2336.
- [30] Naeem S, Wright J P. Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem[J]. Ecology Letters, 2003, 6(6): 567-579.
- [31] Munari C. Benthic community and biological trait composition in respect to artificial coastal defence structures: a study case in the northern Adriatic Sea[J]. Marine Environmental Research, 2013, 90: 47-54.

表 S1 三亚湾中潮区大型底栖动物 30 种生物性状值

Tab. S1 Matrix 'taxa by traits'. The macrobenthic fauna are fuzzy coded for the 30 different trait categories in midtidal zone of Sanya Bay (Tables as shown in Tab.1)

物种 species	M-N	M-L	M-M	M-H	H-SE	H-TP	H-TSP	H-B	H-CR/SW	B-VS	B-S	B-M	B-L	L-S	L-M	L-S-L	RT-G	RT-H	RF-2	perY	RF-E-1	perY	RF-D-1	perY	RF-E-1	per2Y	RF-Semel	L-PL-L	L-D	FP-F	H-F	D-F	F-F			
杂色伪沙蚕	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
<i>Pseudonereis variegata</i>	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
脆沙鸡子	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
<i>Phylla fragilis</i>	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
海参	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
Holothuroidea	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
秀丽节蛇尾	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
<i>Ophiarthrum elegans</i>	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
白纹方蟹	0	0	0	3	0	0	1	2	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
<i>Gapsus albolineatus</i>	0	0	0	3	0	0	1	2	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0
短脊鼓虾	0	0	0	3	0	0	3	2	1	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Alpheus brevicristatus</i>	0	0	0	3	0	0	3	2	1	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
厚壳驼背虾	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eugonatonotus crassus</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
琥珀滑面蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Etisus electra</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
少刺短浆蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalamita danae</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
绣花青熟若蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lophozozymus pictor</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
岩瓷蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Petrolistes</i> sp.	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
双扇股窗蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scopimera biaypana</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
寄居蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coenobitoidea	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
刺毛壳蟹	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pilodius pugil</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
波纹甲虫螺	0	0	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cantharus undosun</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
多角荔枝螺	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mancinella aculeate</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

· 续表S1 ·

物种 species	M=N	M-L	M-M	H	H-TP	H-TSP	H-B	H-CR/SW	B-VS	B-S	B-M	B-L	L-S	S-M	L-S-L	RT-G	RT-H	RF-2	perY	RF-E-1	perY	RF-D-1	perY	RF-E-1	per2Y	RF-Semel	L-PL-L	L-L-D	F-P	F-H	F-D	F-F		
褐棘螺	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	
<i>Chicoreus bruneus</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0
环珠小核果螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
<i>Druppella rugosa</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
黄斑核果螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
<i>Drupa ricina</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
火红土产螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
<i>Pisania ignea</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0
甲虫螺	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Cantharus cecillei</i>	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
节螺螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>bruneus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
粒结螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Morula granulata</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
希伯来芋螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Conus ebraeus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
细蕉掌贝	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Palmadusta gracilis</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0
棕带蕉掌贝	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0
<i>Palmadusta asellus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0
阿文绶贝	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0
<i>Mauritia arabica asiatica</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0
小帽桑基螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Clypeomorus humilis</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
圆点笔螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Mitra scutulata</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
杂色牙螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Euplica scripta</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
珠母爱尔兰螺	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
<i>Ergalatax margaritcola</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
奥莱彩螺	0	3	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	0
<i>Clithon ovalaniensis</i>	0	3	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	0
棒锥螺	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	2
<i>Turritella bacillum</i>	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	2
虫昌螺	0	3	0	0	0	0	0	2	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
<i>Unbonium vestiarium</i>	0	3	0	0	0	0	0	2	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3

· 续表 S1 ·

物种	species	M-N	M-L	M-M	M-H	H-SE	H-TP	H-TSP	H-B	H-CR/SW	B-VS	B-S	B-M	B-L	LS-S	LS-M	LS-L	RT-G	RT-H	RF-2perY	RF-E-1perY	RF-D-1perY	RF-E-1per2Y	RF-Semel	L-PL-L	L-L	L-D	F-P	F-H	F-D	F-F
隆起隔貽贝	<i>Septifer excisus</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
细肋裙蛤	<i>Isoognomon perna</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
半紫猿头蛤	<i>Chama semipurpurata</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
咬齿牡蛎	<i>Ostrea mordax</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
毛蚶	<i>Scapharca subrenata</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
狭氏斧蛤	<i>Donax dysoni</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
崎美女蛤	<i>Circe scripta</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
球蚶	<i>Potiarca pilula</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	3	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
细结蒂汶蛤	<i>Timoclea subnodulosa</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	1	2	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
楔形斧蛤	<i>Donax cuneatus</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
伊萨伯雪蛤	<i>Clausinella isabellina</i>	0	3	0	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
黑莽麦蛤	<i>Xenostrobus atratus</i>	3	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3

表 S2 不同生物性状与CAP分析前2个排序轴之间的相关系数

Tab. S2 Correlation coefficients among two CAP (Canonical analysis of principal coordinates) axes and different biological traits (Lables as shown in Tab.1)

生物性状 biological traits	CAP1	CAP2
M-N	-0.298	0.296
M-L	0.273	-0.285
M-M	0.078	0.310
M-H	0.253	0.375
H-SE	-0.395	0.215
H-TP	0.000	0.000
H-TSP	0.083	0.070
H-B	0.392	-0.135
H-CR/SW	0.093	0.278
B-VS	0.171	-0.085
B-S	0.378	0.165
B-M	-0.043	0.238
B-L	0.000	0.000
LS-S	0.000	0.000
LS-M	0.057	0.042
LS-L	-0.078	-0.132
RT-G	0.113	0.162
RT-H	-0.004	-0.022
RF-2perY	-0.136	0.069
RF-E-1perY	-0.014	0.091
RF-D-1perY	0.056	0.116
RF-E-1per2Y	0.000	0.000
RF-Semel	0.000	0.000
L-P	0.035	0.167
L-L	0.090	0.025
L-D	0.000	0.000
F-P	0.120	0.398
F-H	0.009	0.295
F-D	0.199	0.063
F-F	-0.039	-0.085

Effects of the sediment type on ecological functions of macrobenthos in the intertidal zones of Sanya Bay

LI Yafang^{1,2,3}, DU Feiyan^{1,2,3*}, WANG Lianggen^{1,2,3}, WANG Xuehui^{1,2,3}, NING Jiajia^{1,2,3}

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangzhou 510300, China;

3. Key Laboratory of South China Sea Fisheries Research Exploitation & Utilization,

Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Based on the macrobenthic samples collected from 9 mid-tidal sites (3 in sandy beaches and 6 in gravel beaches) in Sanya Bay, Dongmaozhou and Ximaozhou Island in March 2014, the influences of the sediment type on ecological functions of macrobenthos were studied. The results showed that ① low mobility, burrower and filter-feeder were more in sandy beaches, however, the none and high mobility, sessile, surface crawler/swimmer, herbivore and predator-feeder were more observed in gravel beaches; ② canonical analysis of principal coordinates (CAP) showed that different sediments had different trait patterns, and mobility, habitat and feeding mode were the main factors for the differences; ③ both Shannon-Wiener index and functional diversity were generally higher in gravel beaches than those in sandy beaches; ④ the functional redundancy was all high, however, it was higher in sandy beaches than in gravel beaches.

Key words: macrobenthos; sediment type; ecological functions; canonical analysis of principal coordinates; Sanya Bay

Corresponding author: DU Feiyan. E-mail: feiyanegg@163.com

Funding projects: Science and Technology Basic Resources Investigation Program of China (2017FY201405); National Science and Technology Support Program (2013BAD13B06)