

湛江硇洲岛潮间带大型底栖生物的群落结构分析

周伟男^{1,2}, 孙省利¹, 杨国欢^{1*}

¹广东海洋大学分析测试中心, 广东 湛江

²芜湖中一检测技术研究院有限公司, 安徽 芜湖

收稿日期: 2023年9月23日; 录用日期: 2023年10月24日; 发布日期: 2023年10月31日

摘要

本研究于2011年6月至2012年3月对湛江硇洲岛潮间带大型底栖生物进行采样调查分析。结果表明, 硇洲岛潮间带大型底栖生物共有406种, 其中节肢动物门、软体动物门、环节动物门和大型海藻共占总种类数的88.7%, 共同构成了潮间带大型底栖生物的主要类群。5个断面栖息密度呈现出夏季大于其他季节的趋势, 生物量呈现出春季大于其他季节的趋势, 季节差异显著。本次调查共出现11种优势种, 绝大多数为软体动物和节肢动物, 其中粒结节滨螺在四个季节都为优势种。硇洲岛潮间带大型底栖生物群落的丰富度指数为18.04, 均匀度指数为0.56, Shannon-Wiener指数为3.05。群落种群组成丰富, 均匀度中等, 优势种较少, 物种结构较稳定。按照相似性系数聚类和多维尺度排序(MDS), 并综合考虑优势种、主要种的数量和出现频率等因素, 可将硇洲岛潮间带大型海藻底栖生物划分为廉形叶钩虾-施氏玻璃钩虾-塔结节滨螺群落和越南花群海葵-粒结节滨螺-施氏玻璃钩虾群落两个生物群落。两个群落的种类组成都很丰富, 均匀度适中, 优势种不明显, 物种结构较稳定。

关键词

硇洲岛, 潮间带, 大型底栖生物, 群落结构, 多样性

Community Analysis of Intertidal Benthic Macrofauna in Naozhou Island, Zhanjiang

Weinan Zhou^{1,2}, Xingli Sun¹, Guohuan Yang^{1*}

¹Monitoring Centre for Marine Resources and Environments of Guangdong Ocean University, Zhanjiang Guangdong

²Wuhu Zhongyi Testing Technology Research Institute Co., Ltd., Wuhu Anhui

Received: Sep. 23rd, 2023; accepted: Oct. 24th, 2023; published: Oct. 31st, 2023

*通讯作者。

Abstract

The intertidal macrobenthos community structure and diversity in Naozhou Island were studied in June 2011 to March 2012. The results showed that there were 406 large benthic organisms living in Naozhou Island, arthropoda, mollusks door, annelida and large seaweed accounted for 88.7% of the total number of species, which constituted the benthic main groups. Abundance in summer was higher than in other seasons, Biomass in spring was higher than in other seasons in every section. In research to 11 kinds of dominant species, the logarithm of mollusks and arthropods, the grain of nodules periwinkle were dominant species for every season. The benthic community richness index was 18.04 and evenness index was 0.56. Shannon Wiener index was 3.05, which showed community species composition was rich, uniformity of medium, less dominant species. The community boasts a rich species composition with moderate evenness, few dominant species, and a stable species structure. Through clustering based on similarity coefficients and Multidimensional Scaling (MDS), and by considering factors such as the number and occurrence frequency of dominant and major species, the intertidal benthic macroalgae fauna of Naozhou Island can be categorized into two biotic communities: the community of *Jassa falcate-Hyale schmidtii-Nodilittorina* and the community of *Zoanthus viet-namensis-Echinolittorina radiata-Hyale schmidtii*. Both communities exhibit a rich species composition, moderate evenness, no pronounced dominant species, and a stable species structure.

Keywords

Naozhou Island, Intertidal Zone, Macrobenthos, Community Structure, Diversity

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

构成海洋生物重要组成部分的海洋底栖生物, 在海洋生物食物链中也占据着重要的位置, 对海洋生态系统的物质循环和能量流动发挥着巨大的作用。对于潮间带来说, 大型底栖生物是最重要的消费者之一, 承载着潮间带的物质交换和能量流动, 其种类的组成和数量特征常常被用来衡量该生态系统的环境质量[1] [2] [3]。近年来, 人类活动对生态环境的影响越来越大, 潮间带大型底栖生物群落的结构也发生了巨大的变化。因此, 研究潮间带底栖生物生态系统的群落结构对环境保护、渔业资源持续利用等有积极的意义, 可为以后更好地保护、开发和利用潮间带海洋生物资源提供依据。

硃洲岛位于广东湛江市东南面, 由海底火山喷发形成, 是中国第一大火山岛, 面积约为 56 km², 海岸线全长 36 km, 岛岸除了南部淡水镇至南港是砂岸之外, 其余几乎全部是岩礁。硃洲岛海水盐度稳定, 水色清晰, 阳光充足, 对海藻等潮间带大型底栖生物的生长十分有利, 因此蕴藏着丰富的亚热带、热带海洋生物资源。目前对硃洲岛潮间带海洋生物的研究还不多见, 赵素芬等[4]对硃洲岛春季底栖海藻资源进行了调查分析; 林炜等[5]对硃洲岛三个不同生境下的底栖软体动物进行了多样性研究; 陈道海[6]对硃洲岛滩涂腹足类进行了初步调查; 肖汉洪[7]的研究较为详细地分析了硃洲岛潮间带蟹类的组成及生态分布。然而, 对生物群落结构特征的系统研究尚未见报道。本研究对硃洲岛潮间带大型底栖生物群落结构进行了初步研究, 为深入了解海洋底栖生态系统的结构和功能, 建立生态动力学模型和讨论水层-底栖耦合机制, 开展海洋生物监测, 进而对实现海洋生物资源的可持续发展和利用提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 样品采集与处理

2011年6月至2012年3月按季度对硃洲岛潮间带大型底栖生物进行采样调查。根据硃洲岛海岸带的地形地貌和人类的活动情况以及潮间带调查断面的选择原则,在硃洲岛潮间带及博贺兰岛礁共布设5条采样断面(图1,表1),S5断面因远离硃洲岛,受人类活动干扰最少,作为对照断面。每条断面设置6个采样站:高潮区1个、中潮区3个(中上、中中、中下)、低潮区2个(低上、低下),每个采样站取2个平行样,定量样品分别在每个断面选取2个25 cm × 25 cm的样方取样,确定样方位置应在宏观观察基础上选取能代表该潮区生物分布特点。若生物栖息密度很高且分布均匀,可采用10 cm * 10 cm的定量框;取样时,先将框内的易碎生物(如牡蛎、藤壶等)进行计数,并观察记录优势种的覆盖面积;然后用小铁铲、凿子或刀将框内的所有生物刮取干净,底栖动物用500 mL广口塑料瓶装,大型海藻用封口袋装,写好标签做好记录,用5%甲醛溶液固定。定性样品在每个断面不同潮区进行种类收集,装瓶后写好标签最好记录,用5%甲醛溶液固定。

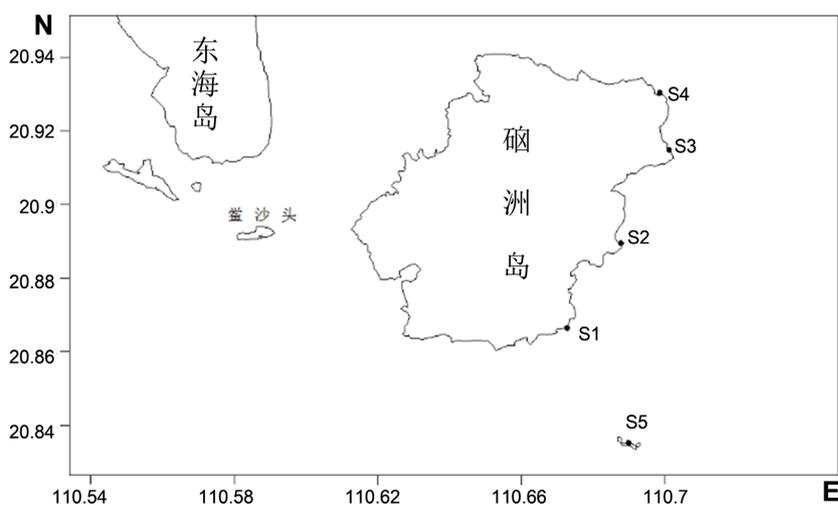


Figure 1. Intertidal macrobenthos sampling section in Naozhou Island
图1. 硃洲岛潮间带大型底栖生物采样断面

Table 1. Geographic coordinates of intertidal macrobenthos sampling in Naozhou Island
表1. 硃洲岛潮间带大型底栖生物采样断面(高潮带)地理座标

断面	地名	经度	纬度
S1	存亮湾	110°36'28.92"E	20°52'10.56"N
S2	那宴湾	110°36'37.66"E	20°53'18.84"N
S3	东海头	110°38'08.87"E	20°55'04.67"N
S4	海头公	110°38'22.15"E	20°55'51.36"N
S5	博贺兰	110°37'08.71"E	20°50'10.51"N

2.2. 样品分析方法

样品的采集、保存、分离、鉴定等按《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)、《海洋监测规范》(GB17378-2007)进行。易断的纽虫和多毛类按头部计数,软体动物的死壳不计数,群体标本不计算个数;

分类计数后的标本用滤纸吸干,用精度为 1 mg 的电子天平称重;管栖动物剥去管子,寄居蟹去螺壳称重,软体动物不去贝壳。

数据处理分析采用 PRIMER 5.0 统计软件包。

生物样品经统计换算为标准单位的生物量(g/m^2)及栖息密度(ind/m^2)。运用物种多样性指数、均匀度指数、丰富度指数和优势度对底栖动物的多样性特征进行分析,具体公式如下:

$$\text{多样性指数 } H' = -\sum(\mu_i/N)\log(\mu_i/N) \quad (1) [8]$$

$$\text{优势度 } Y = (n_i/N) \times f_i \quad (2) [9]$$

$$\text{物种丰富度指数 } d = (S-1)/\ln N \quad (3) [10]$$

$$\text{均匀度指数 } J = H'/\ln S \quad (4) [11]$$

式中: S 为表示样品中的种类总数; μ_i 为表示样品中的第 i 种生物的生物量, N 为表示样品中总的生物量, n_i 为群落中第 i 种的丰度, f_i 为该种在各站位出现的频率。

大型底栖生物群落划分采用 Bray-Curtis 相似系数聚类分析(CLUSTER)与多维尺度排序(MDS)分析相结合[12]。群落分析应用丰度生物量(即 ABC 曲线法)比较法,即将生物量和栖息密度的 K-优势度曲线绘入同一图中,通过比较栖息密度和生物量这两个指标分析底栖生物群落受扰动的状况[13]。

3. 结果

3.1. 碓洲岛潮间带大型底栖生物的种类组成及其分布

3.1.1. 大型底栖生物的种类组成

经鉴定碓洲岛潮间带马尾藻场大型底栖生物共有 406 种(表 2)。其中大型海藻 63 种,占总种类数的 15.52%,被子植物门 1 种,占总种类数的 0.25%,节肢动物 123 门,占总种类数的 30.30%,软体动物门 107 种,占总种类数的 26.35%,环节动物门 67 种,占总种类数的 16.50%,腔肠动物门 15 种,占总种类数的 3.69%,海绵动物门 8 种,占总种类数的 1.97%,棘皮动物门 14 种,占总种类数的 3.45%,脊索动物门 4 种,占总种类数的 0.99%,昆虫动物门 1 种,占总种类数的 0.25%,星虫动物门 1 种,占总种类数的 0.25%,尾索动物门 2 种,占总种类数的 0.50%(图 2)。节肢动物门、软体动物门、环节动物门和大型海藻共占总种类数的 88.7%,构成了潮间带马尾藻场底栖生物的主要类群。在统计过程中,将被子植物门、海绵动物门、棘皮动物门、脊索动物门、昆虫动物门、星虫动物门及尾索动物门归为其他类进行统计。

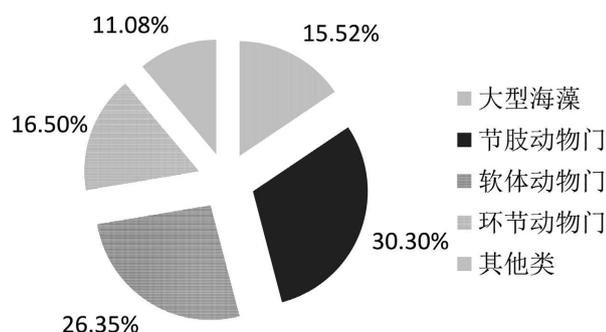


Figure 2. Intertidal macrobenthos composition

图 2. 大型底栖生物的种类组成

春季种类最多的是大型海藻,有 47 种,其次是软体动物门,有 39 种,夏季种类最多的是软体动物门和甲壳动物门,分别有 51 种和 50 种,秋季种类最多的是软体动物门,有 60 种,其次是甲壳动物门,

有 43 种, 冬季种类最多的是软体动物门, 有 57 种, 其次为甲壳动物门, 有 48 种(图 3)。

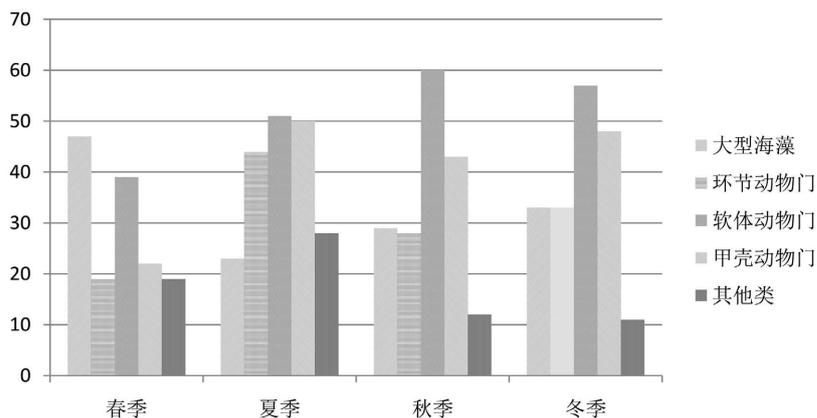


Figure 3. Intertidal macrobenthos species composition of 4 seasons
图 3. 各季节大型底栖生物的种类组成

3.1.2. 大型底栖生物种类分布

调查海域大型底栖生物种类分布不均匀(表 2)。在定量调查的 5 个断面中, 种类数达到 180 种以上的有一个, 160 至 180 种的有一个, 150~160 种的有一个, 还有两个断面的种类数在 150 种以下(图 4)。

Table 2. Intertidal macrobenthos species composition from 5 sections

表 2. 各断面大型底栖生物种类组成

断面	大型海藻	环节动物门	节肢动物门	软体动物门	其他类	合计
1	18	39	34	64	26	181
2	14	24	41	50	14	143
3	28	18	48	57	9	160
4	26	28	40	49	13	156
5	32	30	30	30	22	144

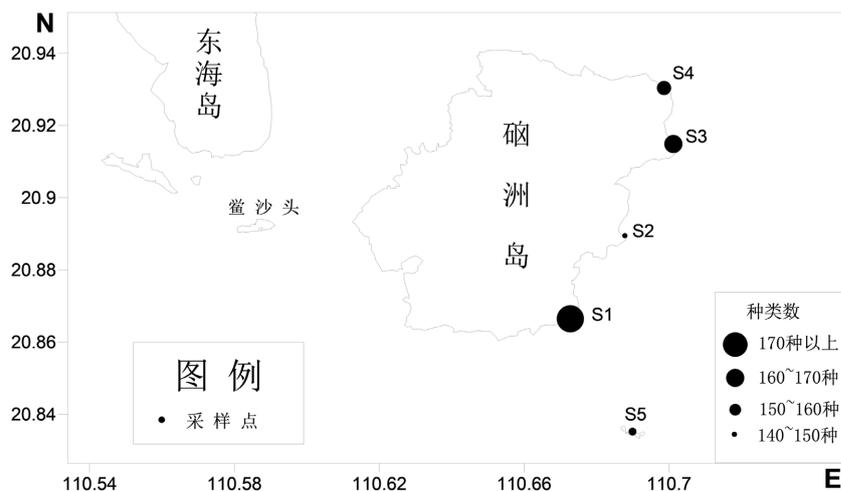


Figure 4. Intertidal macrobenthos composition from 5 sections
图 4. 断面大型底栖生物种类组成

S1 断面的软体动物门的种类数最多, 达 64 种, 其次为环节动物门, 为 39 种。S2 断面软体动物门的种类数最多, 达 50 种, 其次为节肢动物门, 为 41 种。S3 断面的软体动物门种类数最多, 为 57 种, 其次为节肢动物门为 48 种。S4 断面的软体动物门种类数最多, 为 49 种, 其次为节肢动物门, 为 40 种。S5 断面的大型海藻种类数最多, 为 32 种。在五个断面中, 除了 S5 断面, 另外四个断面都以软体动物门的种类数最多。

3.2. 硃洲岛潮间带大型底栖生物的栖息密度和生物量

3.2.1. 大型底栖生物群落组成的平面分布(表 3, 表 4)

春季调查结果显示, 各断面栖息密度变化范围为 0.69~1956.8 ind/m², 其中最大的是 S5 环节动物门, 达 1956.80 ind/m², 其次为 S5 其他类, 为 1907.52 ind/m²。各断面生物量变化范围为 0.60~1446.31 g/m², 其中最大的是 S5 软体动物门, 达 1446.31 g/m², 其次为 S1 大型海藻, 为 785.68 g/m²。

夏季调查结果显示, 各断面栖息密度变化范围为 16.00~11920 ind/m², 其中最大的是 S5 其他类, 达 11920 ind/m², 其次为 S2 软体动物门, 为 661.71 ind/m²。各断面生物量变化范围为 0.26~610.27 g/m², 其中最大的是 S4 大型海藻, 达 610.27 g/m², 其次为 S2 软体动物门, 为 394.13 g/m²。

秋季调查结果显示, 各断面栖息密度变化范围为 4.00~2502.15 ind/m², 其中最大的是 S3 节肢动物门, 达 2502.15 ind/m², 其次为 S4 软体动物门, 为 274.70 ind/m²。各断面生物量变化范围为 0.18~1062.29 g/m², 其中最大的是 S3 大型海藻, 达 1062.29 g/m², 其次为 S5 软体动物门, 为 594.83 g/m²。

冬季调查结果显示, 各断面栖息密度变化范围为 30.77~461.47 ind/m², 其中最大的是 S2 节肢动物门, 达 461.47 ind/m², 其次为 S4 节肢动物门, 为 392.73 ind/m²。各断面生物量变化范围为 0.32~501.64 g/m², 其中最大的是 S2 大型海藻, 达 501.64 g/m², 其次为 S2 软体动物门, 为 392.32 g/m²。

Table 3. Planar distribution and seasonal variation of the population density

表 3. 栖息密度的平面分布和季节变化(单位: ind/m²)

季节	断面	环节动物门	软体动物门	节肢动物门	其他类	合计
春季	1	32.00	408.78	64.00	0.69	505.47
	2	28.80	536.00	152.00	224.00	940.80
	3	32.00	364.00	75.08	48.00	519.08
	4	15.00	161.07	105.33	0	281.40
	5	1956.80	208.00	221.71	1907.52	4294.03
夏季	1	40.00	98.29	206.12	64.00	408.40
	2	16.00	661.71	136.00	72.00	885.71
	3	22.86	244.57	512.00	352.00	1131.43
	4	24.89	127.55	216.73	48.00	417.16
	5	67.37	101.39	212.36	11920	12301.12
秋季	1	23.47	86.64	73.85	264.00	447.95
	2	4.00	31.27	27.02	44.00	106.29
	3	64.00	207.16	2502.15	0	2773.31
	4	125.54	274.70	139.21	37.33	576.79
	5	27.43	226.29	456.00	480.00	1189.71

Continued

	1	30.77	122.18	76.00	520.00	748.95
	2	39.11	158.77	461.47	56.00	715.35
冬季	3	20.00	139.14	50.91	124.00	334.05
	4	43.43	88.73	392.73	0	524.88
	5	34.67	120.00	86.40	176.00	417.07

Table 4. The planar distribution and seasonal variation of the biomass**表 4.** 生物量的平面分布和季节变化(单位: g/m^2)

季节	断面	大型海藻	环节动物门	软体动物门	节肢动物门	其他类	合计
春季	1	785.68	9.64	89.14	10.29	8.69	903.45
	2	1646.00	2.27	373.95	17.20	146.88	2186.30
	3	452.23	0.60	596.40	28.60	56.48	1134.31
	4	344.9	2.01	19.96	1.97	87.76	456.61
	5	617.93	378.03	1446.31	28.05	315.89	2786.21
夏季	1	218.17	1.78	236.05	8.38	0.32	464.69
	2	25.12	0.16	394.13	30.40	17.44	467.25
	3	160.28	0.30	340.99	7.49	246.56	755.62
	4	610.27	0.50	73.08	0.26	12.40	696.5
	5	360.74	2.08	117.77	0.96	258.96	740.50
秋季	1	1.39	0.26	47.47	30.67	63.28	143.07
	2	112.4	0.18	50.82	1.53	3.92	168.84
	3	1062.29	0.40	191.13	37.40	0	1291.23
	4	254.54	0.55	32.56	0.45	2.19	290.28
	5	316.69	0.21	594.83	0.43	172.32	1084.47
冬季	1	198.88	0.57	177.08	20.48	154.08	551.08
	2	501.64	0.50	392.32	0.96	11.15	906.56
	3	202.00	1.71	369.54	29.63	165.36	768.25
	4	337.61	0.43	27.20	0.32	30.88	396.44
	5	251.01	0.27	348.99	1.71	34.93	636.91

3.2.2. 大型底栖生物群落组成的垂直分布

调查结果显示(图 5), 高潮带的平均栖息密度在夏季和秋季达到最大值, 分别为 $1628.80 \text{ ind}/\text{m}^2$ 和 $1665.60 \text{ ind}/\text{m}^2$, 在冬季最小, 为 $652.80 \text{ ind}/\text{m}^2$ 。中上潮带的平均栖息密度在冬季达到最大值, 为 $915.20 \text{ ind}/\text{m}^2$, 其次为夏季, 在春季最小。中中潮带的平均栖息密度在秋季达到最大值, 为 $4749.70 \text{ ind}/\text{m}^2$, 其次为夏季, 在春季最小。中下潮带的平均栖息密度在冬季达到最大, 为 $1241.60 \text{ ind}/\text{m}^2$, 其次为夏季, 秋季和秋季相差不大, 分别为 $564.00 \text{ ind}/\text{m}^2$ 和 $544.00 \text{ ind}/\text{m}^2$ 。低上潮带的平均栖息密度在秋季达到最大值,

为 1585.20 ind/m², 其次为春季, 在冬季最小。低下潮带的平均栖息密度在夏季达到最大值, 为 11129.60 ind/m², 远高于其他季节, 其次为春季, 在冬季最小。

调查结果显示(图 6), 各潮带的平均生物量都在春季达到最大值。高潮带春季的平均生物量为 302.08 g/m², 其次为秋季, 在冬季最小。中上潮带春季的平均生物量为 2244.25 g/m², 其次为冬季, 在秋季最小。中中潮带春季的平均生物量为 1000.00 g/m², 其次为冬季, 在夏季最小。中下潮带春季的平均生物量为 3157.88 g/m², 其次为冬季, 在夏季最小。低上潮带春季的平均生物量为 3030.74 g/m², 其次为夏季, 在冬季最低。低下潮带春季的平均生物量为 3090.08 g/m², 其次为夏季, 在秋季最小。

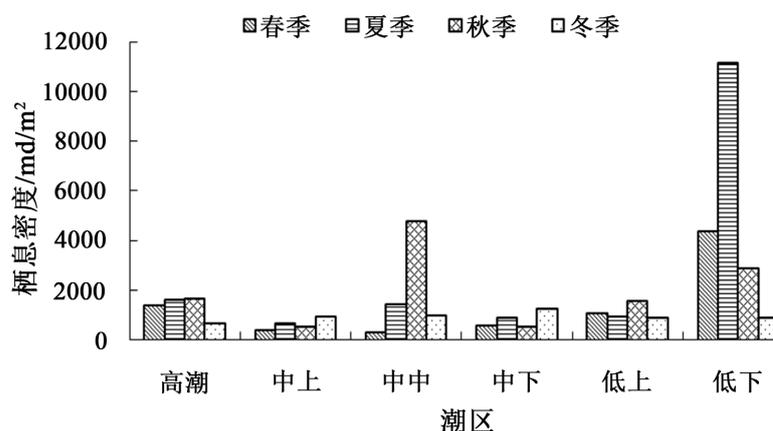


Figure 5. Vertical distribution and seasonal variation of the population density
图 5. 栖息密度的垂直分布和季节变化

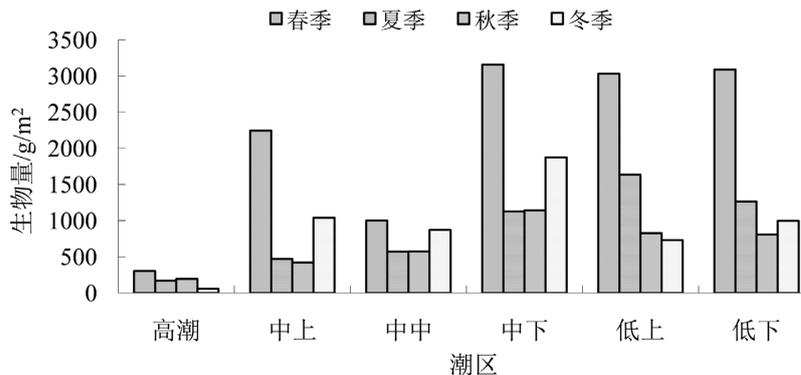


Figure 6. Vertical distribution and seasonal variation of the biomass
图 6. 生物量的垂直分布和季节变化

3.3. 优势种群和季节演替

本次调查共采到 11 种优势种(表 5), 其中春季 2 种, 夏季 7 种, 秋季和冬季各 6 种。优势种绝大多数为软体动物和节肢动物。由于调查范围广, 各区域生态环境差异较大, 四季的优势种和常见种都有所不同, 存在一定的季节更替现象。其中优势度最高的是冬季的施氏玻璃钩虾, 优势度为 0.223。其次为秋季的廉形叶钩虾优势度为 0.221。秋冬两季优势种优势度明显, 群落结构不稳定。

硃洲岛潮间带底栖生物群落季节性演替较复杂, 优势种由春季的粒结节滨螺和越南花群海葵演替成夏季的施氏玻璃钩虾、鳞笠藤壶、梳肢片钩虾、环眼拟钩虾、塔结节滨螺、粒结节滨螺、施氏玻璃钩虾和越南花群海葵, 再演替成秋季的地钩虾、鳞笠藤壶、塔结节滨螺、粒结节滨螺、施氏玻璃钩虾和廉

形叶钩虾, 最后演替呈冬季的廉形叶钩虾、夏威夷亮钩虾、鳞笠藤壶、粒结节滨螺、大角玻璃钩虾和施氏玻璃钩虾。其中粒结节滨螺在四个季节都为优势种。

Table 5. Advantages in each season

表 5. 各季节优势种

季节	种类	优势度
春季	越南花群海葵 <i>Zoanthus vietnamensis</i> Pax & Müller	0.025
	粒结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>radiata</i> (Eydoux et Souleyet)	0.090
	鳞笠藤壶 <i>Tetraclita squamosa</i> (Bruguiere)	0.020
	梳枝片钩虾 <i>Elasmopus pectenclus</i> (Bate)	0.023
夏季	环眼拟钩虾 <i>Gammaropsis</i> sp.	0.027
	塔结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>trochoides</i> (Gray)	0.035
	粒结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>radiata</i> (Eydoux et Souleyet)	0.036
	施氏玻璃钩虾 <i>Hyale schmidtii</i> (Heller)	0.038
	越南花群海葵 <i>Zoanthus vietnamensis</i> Pax & Müller	0.112
秋季	地钩虾 <i>Podocerus</i> sp.	0.022
	鳞笠藤壶 <i>Tetraclita squamosa</i> (Bruguiere)	0.027
	塔结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>trochoides</i> (Gray)	0.035
	粒结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>radiata</i> (Eydoux et Souleyet)	0.054
	施氏玻璃钩虾 <i>Hyale schmidtii</i> (Heller)	0.134
	廉形叶钩虾 <i>Jassafalacata</i> (Montagu)	0.221
冬季	廉形叶钩虾 <i>Jassafalacata</i> (Montagu)	0.023
	夏威夷亮钩虾 <i>Photis hawaiiensis</i> Barnard	0.025
	鳞笠藤壶 <i>Tetradita squamosa squamosa</i> (Bruguiere)	0.060
	粒结节滨螺 <i>Nodilittorina</i> (N.) <i>radiata</i> (Eydoux et Souleyet)	0.100
	大角玻璃钩虾 <i>Hyale grandicornis</i> (Kröyer)	0.101
	施氏玻璃钩虾 <i>Hyale schmidtii</i> (Heller)	0.223

3.4. 大型底栖生物的多样性

本次调查结果显示, 碓洲岛潮间带底栖生物群落的丰富度指数为 18.04, 均匀度指数为 0.56, Shannon-Wiener 指数为 3.05。该群落种类组成丰富, 均匀度中等, 优势种较少, 物种结构较稳定。多样性指数在国内外普遍被用来描述生物群落的生态学特征, 被认为是较好评价污染程度的工具。多样性指数污染评价范围分为 5 级。评价标准为 H' 值小于 1, 重度污染, H' 值在 1~2 之间, 中度污染, H' 在 2~3 之间, 轻度污染, H' 值大于 3, 清洁。从研究结果可以看出, 碓洲岛潮间带的 Shannon-Wiener 指数为 3.05, 处于清洁状态。这说明碓洲岛的污染不严重。其中春季的 Shannon-Wiener 指数为 1.72, 属于中度污染, 其余季节的污染都比较小。

3.5. 大型底栖动物的群落划分

根据相似性系数聚类和多维尺度排序(MDS)结果(图 7), 并综合考虑优势种、主要种的数量和出现频率等因素, 可将调查海域大型底栖动物划分为 2 个生物群落。

群落 I: 廉形叶钩虾 - 施氏玻璃钩虾 - 塔结节滨螺群落, 该群落主要在硃洲岛的东北岸, 包括站 2, 站 3 和站 4。优势种为廉形叶钩虾 *Jassafalacata* (Montagu)、施氏玻璃钩虾 *Hyaleschmidti* (Heller)、塔结节滨螺 *Nodilittorina* (N.) *trochoides* (Gray)、粒结节滨螺 *Nodilittorina* (N.) *radiata* (Eydoux et Souleyet)、鳞笠藤壶 *Tetraditasquamosasquamosa* (Bruguere)、大角玻璃钩虾 *Hyalegrandicornis* (Kröyer)、地钩虾 *Podocerus* sp. 群落 I 的丰富度指数为 7.589, 均匀度指数为 0.59, Shannon-Wiener 指数为 2.58, 该群落的各项指数都比较高, 种类组成丰富, 优势种不明显, 物种结构较稳定。

群落 II: 越南花群海葵 - 粒结节滨螺 - 施氏玻璃钩虾群落, 该群落是存亮湾及与存亮湾隔海相望的博贺兰, 为站 1 和站 5。优势种为越南花群海葵 *Zoanthusviet-nanmensis* Pax & Müller 粒结节滨螺 *Nodilittorina* (N.) *radiata* (Eydoux et Souleyet)、梳枝片钩虾(*Elasmopuspecteniclus*(Bate))、施氏玻璃钩虾(*Hyaleschmidti* (Heller))。群落 II 的丰富度指数为 9.51, 均匀度指数为 0.52, Shannon-Wiener 指数为 2.44。该群落种类组成丰富, 均匀度中等, 优势种较少, 物种结构较稳定。

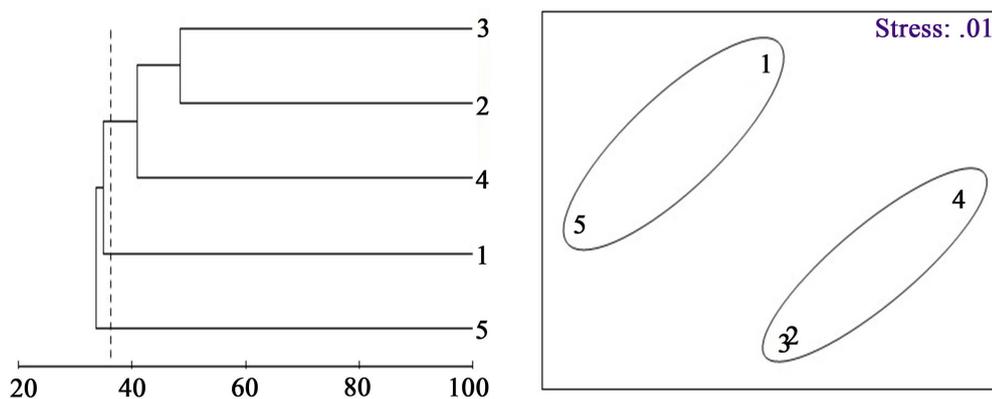


Figure 7. The clustering tree analysis diagram and MDS analysis diagram of macrobenthos from each section in Naozhou Island
图 7. 硃洲岛潮间带各断面聚类树状分析图及 MDS 分析图

4. 讨论

4.1. 硃洲岛潮间带大型底栖生物的群落特征成因探究

实验结果表明, 湛江市硃洲岛潮间带大型底栖生物群落的物种丰富, 种类繁多, 共有 406 种。在调查的 5 个断面中, 种类数最多的为 S1 断面, 达 181 种, 这可能与 S1 断面的潮间带面积广有关。其余四个断面的种类数也很丰富, 说明整个海区潮间带的物种丰富。春季种类最多的是大型海藻, 夏季种类最多的是软体动物门和甲壳动物门, 秋季最多的是软体动物门, 冬季最多的是软体动物门。这可能和各种类底栖生物不同的生活习性有关, 大多数大型海藻到了夏季开始腐烂, 冬季开始快速生长, 春季开始大量出现, 而软体动物门许多种类具有明显的季节性变化, 在春秋两季生长快, 且是其繁殖季节, 在夏冬两季生长较慢。

春季各断面的平均栖息密度为 1308.16 ind/m², 夏季为 3028.76 ind/m², 秋季为 1018.81 ind/m², 冬季为 548.06 ind/m², 春季各断面的平均生物量为 1493.38 g/m², 夏季为 624.91 g/m², 秋季为 595.58 g/m², 冬季为 651.85 g/m²。栖息密度呈现出夏季大于其他季节的趋势, 其中 S5 断面在春夏两季的栖息密度远高

于其它断面,这主要是因为 S5 断面有大量腔肠动物的栖息所致。生物量从各断面都呈现出春季大于秋季的趋势,夏季和冬季处于中间,相差不大,季节差异显著。这表明季节对硃洲岛潮间带大型底栖生物的生物量和丰度影响很大,主要与大型底栖生物繁殖、动物垂直迁移和大型海藻的季节变化有关。春季为繁殖季节,个体较小的生物多,生长也比较快,再加上春季大型海藻的生长,就使得春季的生物量和丰度高于其他季节,夏季温度升高及天气的干旱,致使大量海藻开始衰败腐烂,藻类生物量降低。相对于以往对其它潮间带的研究可以发现,硃洲岛潮间带表现出更高的生物量和丰度,这是因为岩礁带相对于其他潮间带,具有潮带长、透明度高、海藻资源丰富等特点。岩礁带分布着固着生活的藤壶和牡蛎等种类,这些动物常集群分布,形成岩礁海岸特有的生物分布带,在很小范围的空间里聚集大量的底栖生物。在低潮带,有大量的底栖藻类生活,这些都使得底栖生物在单位面积内达到相当高的生物量和栖息密度。此外,通过调查发现硃洲岛潮间带环境状况较好,这也是主要原因之一。

在同一断面中,由于潮间带不同区域受海水淹没时间的不同,生物的带状分布明显。高潮带以软体动物门占优势,中潮带以贝类-螺-藻占优势,低潮带以藻类占优势。高潮带主要分布耐受强光照及涨退潮干湿变化的物种,如优势种粒结节滨螺。高潮区下部开始出现鳞笠藤壶,而中潮区主要物种有鳞笠藤壶、牡蛎等软体动物,并在中下潮区开始出现藻类的少量分布。这些现象决定了潮间带大型底栖生物的分布特征。

调查结果显示,硃洲岛潮间带底栖生物群落的丰富度指数为 18.04,均匀度指数为 0.56, Shannon-Wiener 指数为 3.05,群落种群组成丰富,均匀度中等,优势种较少,说明该群落物种结构较稳定。环境因子的变化影响潮间带的多样性和群落结构,季节变化会使气温、水温、盐度、光照、波浪等环境因子发生变化,底栖生物的群落也随之发生变化,群落中的物种在不同时机迁入或迁出,生存或消亡,以寻找最适合的生长和繁殖条件。一般来说,春季是优势种幼体生长发育期,潮间带生物量丰度高,但丰富度指数低,多样性指数低,冬季软体动物门生物量比例增大,均匀度增加,多样性指数增加。

4.2. 硃洲岛潮间带大型底栖生物群落结构的影响因素

硃洲岛面积不大,但所研究的五个断面的水温、盐度等环境因素不同,导致群落结构存在一定差异。硃洲岛潮间带大型底栖生物群落结构主要受自然变化和人为扰动两种因素的影响。许多研究表明,底栖生物群落受到各种物理环境因子的影响,包括温度、降雨和淡水注入等,这些因素都在影响着底栖生物群落结构的特征。底栖生物群落是海洋生态系统食物链中的重要环节之一,受到许多复杂的生物间的相互作用,底栖生物是许多底层鱼类和海鸟等的主要食物来源,也是许多其他生物的食物,这也会对底栖生物群落造成一定影响[14]。此外,营养结构的改变也是底栖生物群落的影响因素之一。各动物类型的种类组成在不同季节中有较大差异。总体来说,底栖生物在春季的种类数最少,其他季节的种类数都高于春季,这与理论情形是相符合的。底栖生物经过夏季时,温度的升高以及相对丰富的饵料,都使底栖生物的生长和繁殖的速度加快。而在春季,许多底栖生物由于个体小而未能被发现。潮间带作为陆海交互作用的系统单元,其稳定性并不高,容易受人类活动的影响,过度采捕是造成潮间带大型底栖生物群落生态结构变化的首要原因。硃洲岛作为一个海岛,许多村民以渔业为生,对海产品尤为青睐,需求的无限增长带来的利益驱动使得对潮间带大型底栖生物的采捕强度不断增加,对具有经济价值的种类造成了极大的破坏,致使许多种类数量锐减甚至消失。对于非采捕种,其数量就会上升,特别是对于那些迁移能力强、繁殖速度快、生长周期短的种类,就很有可能取代采捕种的位置成为优势种,使群落结构向次生型演替。生境的破坏是另一重要影响因素,近年来,随着硃洲岛经济的不断发展,村民为建造房子,大量采集海沙,渔船不断增加,生活垃圾的随意倾倒很大程度上改变了大型底栖生物的生境,致使生物多样性降低,生物量和丰度减少,群落稳定性变差。通过对硃洲

岛潮间带水域各种环境因素的分析表明, 底栖生物群落变化受到硃洲岛潮间带区域物理因素、化学因素和生物因素的共同影响, 变化特征与环境因素基本吻合。

5. 结论

本文通过 2011 年 6 月至 2012 年 3 月对湛江硃洲岛潮间带大型底栖生物的调查分析, 获得如下结论:

(1) 硃洲岛潮间带大型底栖生物共有 406 种, 其中节肢动物门、软体动物门、环节动物门和大型海藻共占总种类数的 88.7%, 共同构成了潮间带大型底栖生物的主要类群。

(2) 5 个断面栖息密度呈现出夏季大于其他季节的趋势, 生物量呈现出春季大于其他季节的趋势, 季节差异显著。

(3) 本次调查共出现 11 种优势种, 绝大多数为软体动物和节肢动物, 其中粒结节滨螺在四个季节都为优势种。

(5) 硃洲岛潮间带大型底栖生物群落的丰富度指数为 18.04, 均匀度指数为 0.56, Shannon-Wiener 指数为 3.05。群落种群组成丰富, 均匀度中等, 优势种较少, 物种结构较稳定。

(6) 硃洲岛潮间带大型海藻底栖生物可划分为廉形叶钩虾 - 施氏玻璃钩虾 - 塔结节滨螺群落和越南花群海葵 - 粒结节滨螺 - 施氏玻璃钩虾群落两个生物群落。两个群落的种类组成都很丰富, 均匀度适中, 优势种不明显, 物种结构较稳定。

基金项目

国家海洋行业公益性项目资助项目(201105008-E, 201505027); 广东海洋大学创新强校工程科研项目(GDOU2016050212)。

参考文献

- [1] Alkemade, R., Wielemaker, A.P., Herman, M.J., *et al.* (1994) Population Dynamics of *Diplolaimelloidesbrucei*, a Nematode Associated with Salt Marsh Plant *Spartinaanglica*. *Marine Ecology Progress Series*, **105**, 277-287. <https://doi.org/10.3354/meps105277>
- [2] 全为民, 赵云龙, 朱江兴. 上海市潮滩湿地大型底栖动物的空间分布格局[J]. *生态学报*, 2008, 28(10): 5179-5187.
- [3] 彭逸生, 孙红斌, 谢荣如, 等. 海丰鸟类自然保护区大型底栖动物群落特征[J]. *生态环境*, 2008, 17(3): 1163-116.
- [4] 赵素芬, 孙会强, 袁振江, 等. 硃洲岛春季底栖海藻资源[J]. *上海水产大学学报*, 2006, 15(3): 321-327.
- [5] 林炜, 钟海莹, 唐以杰. 硃洲岛潮间带不同生境底栖软体动物物种多样性的研究[J]. *热带海洋学报*, 2002, 21(3): 14-22.
- [6] 陈道海, 王爱兰, 陈青荷. 湛江市硃洲岛滩涂腹足类初步调查[J]. *湛江师范学院学报(自然科学版)*, 2000, 21(1): 25-29.
- [7] 肖汉洪, 李方满. 广东硃洲岛潮间带蟹类的组成及生态分布[J]. *贵州科学*, 2003, 21(4): 59-62.
- [8] 董兆英, 李素琼, 盛晨. 珠江口余流特征[G]//广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组. 珠江口海岸带和海涂资源综合调查研究文集(IV). 广州: 广东科技出版社, 1986: 73-88.
- [9] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性的原理和方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 141-165.
- [10] 李冠国. 多样性指数的应用[J]. *海洋科学*, 1981(2): 4-8.
- [11] Margalef, D.R. (1958) Information Theory in Ecology. *General Systems*, **3**, 36-71.
- [12] 于子山, 张志南, 韩洁. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(6): 867-871.
- [13] 林俊辉. 同安湾春季大型底栖生物的群落结构特征[J]. *厦门大学学报*, 2007, 46(1): 155-160.
- [14] 崔雯瑶, 杨湘君, 张蒙生, 等. 胶州湾春季大型底栖生物多样性及群落结构特征[J]. *海洋科学*, 2020, 44(6): 101-109.