

夏季庙岛群岛大型底栖动物群落特征

张悦^{1,2}, 于国旭³, 徐勇^{1,4,5}, 李新正^{1,2,4,5}, 王金宝^{1,4,5}, 隋吉星^{1,4,5}

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 长岛国家海洋公园管理中心, 山东 烟台, 265800; 4. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071; 5. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生物与生物技术功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 根据 2022 年 8 月大潮期间庙岛群岛岛屿的潮间带和潮下带大型底栖动物的调查结果, 对其种类组成、数量分布、优势种、多样性以及群落结构特点进行了研究。结果表明: 本次潮间带定量调查共鉴定大型底栖动物 52 种, 其中甲壳动物最多(17 种); 定性调查共鉴定 42 种, 软体动物最多(30 种)。潮下带定量调查共鉴定大型底栖动物 39 种, 低于潮间带定量调查, 其中软体动物最多(26 种)。潮间带大型底栖动物平均丰度为 234 个/m², 平均生物量为 82.82 g/m²。潮下带平均丰度为 180.2 个/m², 平均生物量为 708.02 g/m²。潮间带大型底栖动物多样性指数(*H'*)、丰富度指数(*D*)和均匀度指数(*J'*)平均值分别为 1.187、1.723 和 0.540; 潮下带 *H'*、*D* 和 *J'* 平均值均高于潮间带, 分别为 1.301、2.204 和 0.669。在本次潮间带定量调查中, 大型底栖动物优势种为施氏玻璃钩虾(*Hyale schmidtii*)、平背蜆(*Gaetice depressus*)、潮间海钩虾(*Pontogeneia littorea*)等。潮下带优势种与潮间带不同, 为紫贻贝(*Mytilus galloprovincialis*)、东方缝栖蛤(*Hiatella orientalis*)、锈凹螺(*Chlorostoma rustica*)等。聚类分析和 nMDS 分析表明, 在 20% 的相似性水平上, 庙岛群岛潮间带和潮下带大型底栖动物分别可划分为 4 个和 3 个群落。与周边海域潮间带历史资料相比, 调查区域的大型底栖动物在物种数量、平均丰度和平均生物量方面处于中等水平。

关键词: 庙岛群岛; 大型底栖动物; 生物多样性; 群落结构

中图分类号: P735; P717 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)7-0096-15

DOI: 10.11759/hyxx20230111001

庙岛群岛位于黄渤海交汇处, 连接山东半岛和辽东半岛。庙岛群岛由 32 个岛屿、25 个岛礁组成, 岛陆面积 56 km², 海岸线长 146.41 km, 群岛南北纵列于渤海海峡。岛屿是兼具海陆双重性质的脆弱生态系统, 近年来, 水产养殖、海上运输、海岛旅游等产业快速发展, 日益频繁的人类活动对海岛生态系统的影响愈加强烈^[1-3]。大型底栖动物在海洋生态系统中能量流动和物质循环等环节起着重要作用, 其多种类活动能力有限, 区域性强, 对不利环境条件的趋避能力差, 因此大型底栖动物的物种组成、数量变动以及群落结构等能够较准确地反映其栖息环境的长期变化, 常被作为海洋底质环境的生物监测指标^[4-7]。因此, 监测和评估日益频繁的人类活动对大型底栖动物群落的影响就显得尤为重要。

潮间带地处海陆相接处, 陆地与海洋的理化因子交替影响, 环境变化剧烈^[8]。近年来, 中国潮间带大型底栖动物的研究有了较大的发展, 其中针对山东半岛

潮间带的调查较为全面, 包括胶州湾沿岸潮间带^[9-12]和烟台、威海沿岸潮间带^[8, 13], 针对庙岛群岛的潮间带及附近潮下带海域也进行了调查^[1-2, 14-16]。为了使调

收稿日期: 2023-01-11; 修回日期: 2023-04-10

基金项目: 近海与海岸带信息集成与演示项目(XDA19060201); 国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室资助(202312); 国家自然科学基金资助项目(42006078); 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA23050304); 国家自然科学基金资助项目(41876178); 国家海洋公益项目(201505004-1)

[Foundation: Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No. XDA19060201; State Environmental Protection Key Laboratory of Coastal Ecosystem, No. 202312; National Natural Science Foundation of China, No. 42006078; Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No. XDA23050304; National Scientific Foundation of China, No. 41876178; the Ocean Public Welfare Scientific Research Project, State Oceanic Administration of the PRC, No. 201505004-1]

作者简介: 张悦(1998—), 女, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事大型底栖动物生态学研究, E-mail: zhangyue1@qdio.ac.cn; 于国旭(1970—), 男, 山东烟台人, 通信作者, 高级工程师, 主要从事海洋生物多样性研究和海洋保护地管理工作, E-mail: ygx3215088@126.com; 徐勇(1989—), 男, 山东青岛人, 通信作者, 助理研究员, 博士, 主要从事大型底栖动物生态学研究, E-mail: xuyong@qdio.ac.cn

查结果具有全面性和代表性,本研究根据庙岛群岛的地理分布情况,由南向北设置站点,对潮间带和潮下带大型底栖动物进行调查研究。本研究旨在了解庙岛群岛大型底栖动物的物种组成、多样性、群落结构等生态特征现状,为研究该区域潮间带和潮下带底栖生物的演变规律以及人类活动的影响提供资料参考。

1 材料和方法

1.1 调查站位

本研究根据庙岛群岛的地理特点,对 10 个岛屿的潮间带大型底栖动物进行定性和定量调查,包括南长山岛、庙岛、大黑山岛、钓鱼岛、高山岛、车由岛、砣矶岛、大钦岛、南隍城岛和北隍城岛(图 1);对 7 个岛屿的潮下带大型底栖动物进行定量调查,由南向北分别为南长山岛、大黑山岛、车由岛、高山岛、砣矶岛、小钦岛和南隍城岛。

1.2 样品采集和处理方法

潮间带定量采集方法如下:用 0.25 m²的采样框

确定采样范围,拣取样框内所有大型底栖动物,然后挖取框内底泥(深度约 30 cm),用孔径 0.5 mm 的筛网筛选,将获得的大型底栖动物用 75%酒精溶液固定和保存。庙岛群岛各潮间带较窄,故本调查的采样点设置未区分高、中、低潮带,在每个站点选择 3 个有代表性的采样点,获得样品合并为 1 个,作为该站样品。潮下带定量采集方法如下:潜水(Scuba diving)采集,在各潮下带调查站点(平均水深 25 m,平均离岸距离 120 m)下潜至海底,用 0.25 m²采样框确定采样范围,拣取样框表面的动物放入孔径 0.5 mm 的筛绢袋内带出水面,在每个站点进行 4 至 5 次采集,获得样品合并为一个,作为该站样品。定量采集的同时在该站点附近采集定性样品。在实验室内对所获得样品在体视解剖镜下(OLYMPUS SZX2,日本东京)进行鉴定、计数、湿重称质量(HANGPING 牌 JA2003,精度为 1 mg 的电子天平,中国上海),计算物种数、丰度和生物量。样品的采集和处理等均按照《海洋调查规范》^[17](GB/T12763.6—2007)进行。

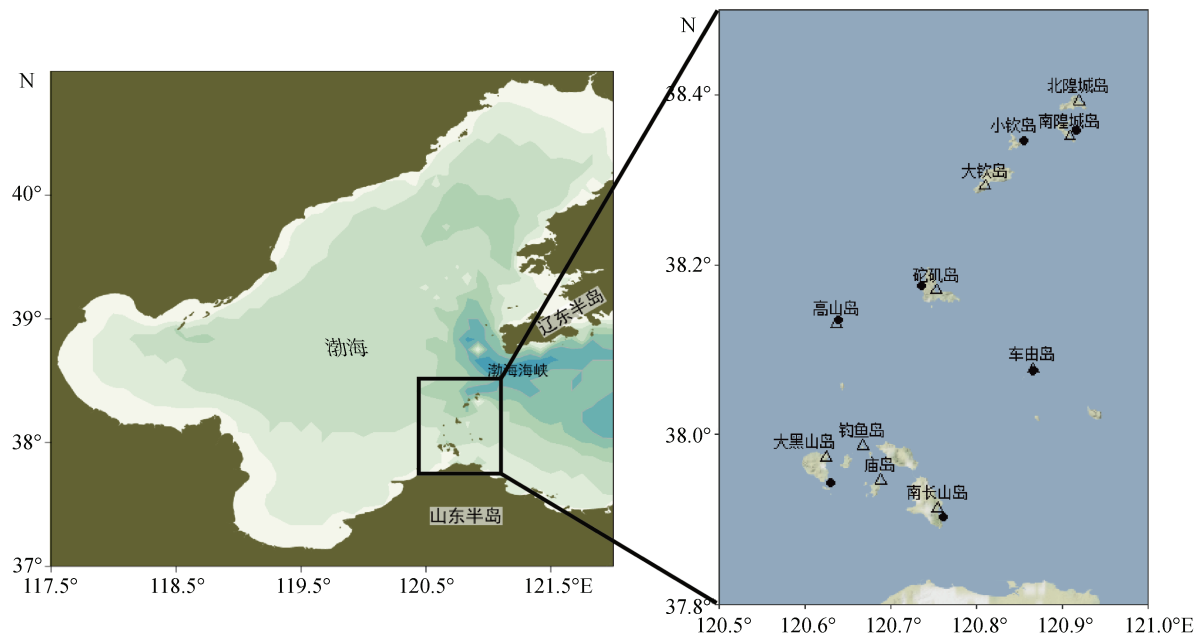


图 1 庙岛群岛采样站位图

Fig. 1 Sampling sites for macrozoobenthos in the Miaodao Archipelago

●表示潮下带调查, △表示潮间带调查
● indicates the subtidal survey, △ indicates the intertidal survey

1.3 数据处理

本文通过计算优势度^[18]来划分优势种,大型底栖动物优势度的计算公式如下:

$$Y = (n_i / N) \times f_i, \quad (1)$$

式中 N 为样品中所有物种的总个体数, n_i 为第 i 种的个体数, f_i 为该种在所有站点出现的频率,当优势度 $Y > 0.02$ 时,该种即为优势种。

采用 Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef 丰富度

指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J')对大型底栖动物群落多样性进行分析^[19-21], 计算公式如下:

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i, \quad (2)$$

Margalef 丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \log_2 N, \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / \log_2 S, \quad (4)$$

公式(2)~(4)中, S 为样品中总物种数, N 为样品中总个体数, P_i 为第 i 种的个体数与该样品中底栖动物总个体数的比值。

构建物种-站位丰度矩阵, 首先对定量调查数据矩阵进行平方根转换, 然后计算 Bray-Curtis 相似性矩阵, 采用等级聚类分析(CLUSTER)和非参数多维标度排序(nMDS)进行群落结构分析, 使用相似性百

分比 SIMPER 分析群落相似性和不相似性的主要贡献种^[22]。

本文中, 优势度的计算使用 Microsoft EXCEL 2013 软件完成, 多样性指数的计算和群落结构分析使用 PRIMER 6.0 软件完成。

2 结果

2.1 种类组成

2022年8月在10个站位进行潮间带定量样品采集, 共鉴定大型底栖动物 52 种(表 1)。其中甲壳动物最多(17 种), 占总物种数的 32.69%; 多毛类动物和软体动物次之(分别为 16 和 15 种), 分别占 30.76%和 28.84%; 其他类群动物(4 种)占 7.55%。同时进行的潮间带定性样品采集, 共鉴定得到大型底栖动物 43 种(表 1)。

表 1 潮间带采集大型底栖动物物种名录

Tab. 1 Species checklist of macrozoobenthos in the intertidal zone of the Miaodao Archipelago

类群	科	物种	采集方式
刺胞动物	海葵科(Actiniidae)	黄海葵(<i>Anthopleura xanthogrammica</i>)	定性
		海葵目 (Actiniaria)	定量
扁形动物		扁形动物 (Platyhelminthes)	定量
纽形动物		纽形动物 (Nemertinea)	定量
多毛类动物	多鳞虫科(Polynoidae)	细毛背鳞虫 (<i>Lepidanotus tenuisetosus</i>)	定量
	裂虫科 (Syllidae)	粗毛裂虫 (<i>Syllis amica</i>)	定量
	裂虫科 (Syllidae)	红色齿裂虫 (<i>Odontosyllis rubens</i>)	定性
	沙蚕科 (Nereididae)	独齿围沙蚕 (<i>Perinereis cultrifera</i>)	定性
	沙蚕科 (Nereididae)	多齿沙蚕 (<i>Nereis multignatha</i>)	定量、定性
	沙蚕科 (Nereididae)	多齿围沙蚕 (<i>Perinereis nuntia</i>)	定量、定性
	沙蚕科 (Nereididae)	红角沙蚕 (<i>Ceratonereis erythraeensis</i>)	定量
	丝鳃虫科 (Cirratulidae)	毛须鳃虫 (<i>Cirriformia filigera</i>)	定量、定性
	丝鳃虫科 (Cirratulidae)	丝鳃虫科一种 (Cirratulidae indet.)	定量
	丝鳃虫科 (Cirratulidae)	须鳃虫 (<i>Cirriformia tentaculata</i>)	定量
	索沙蚕科 (Lumbrineridae)	异足索沙蚕 (<i>Lumbrineris heteropoda</i>)	定量
	索沙蚕科 (Lumbrineridae)	长叶索沙蚕 (<i>Lumbrineris longifolia</i>)	定量
	吻沙蚕科 (Glyceridae)	锥唇吻沙蚕 (<i>Glycera onomichiensis</i>)	定量
	小头虫科 (Capitellidae)	典型小头虫 (<i>Capitella capitata</i>)	定量
叶须虫科 (Phyllodoceidae)	乳突半突虫 (<i>Phyllodoce papillosa</i>)	定量	
蛭龙介科 (Terebellidae)	侧口乳蛭虫 (<i>Thelepus plagiostoma</i>)	定量	
锥头虫科 (Orbiniidae)	仙居虫 (<i>Naineris laevigata</i>)	定量	
星虫动物	(Sipuncula)	星虫一种 (Sipuncula)	定量
软体动物	(Batillariidae)	纵带滩栖螺 (<i>Batillaria zonalis</i>)	定量
	襞蛤科 (Plicatulidae)	覆瓦襞蛤 (<i>Plicatula imbricata</i>)	定性

续表

类群	科	物种	采集方式
	滨螺科 (Littorinidae)	短滨螺 (<i>Littorina brevicula</i>)	定量、定性
	滨螺科 (Littorinidae)	小结节滨螺 (<i>Nodilittorina exigua</i>)	定性
	蛾螺科 (Buccinidae)	甲虫螺 (<i>Cantharus cecillei</i>)	定性
	骨螺科 (Muricidae)	黄口荔枝螺 (<i>Thais luteostoma</i>)	定量、定性
	骨螺科 (Muricidae)	角口螺一种 (<i>Ceratostoma</i> sp.)	定性
	骨螺科 (Muricidae)	润泽角口螺 (<i>Ceratostoma rorifluum</i>)	定性
	骨螺科 (Muricidae)	疣荔枝螺 (<i>Thais clavigera</i>)	定性
	核螺科 (Pyrenidae)	布尔小笔螺 (<i>Mitrella burchardi</i>)	定性
	汇螺科 (Batillariidae)	古氏滩栖螺 (<i>Batillaria cumingii</i>)	定性
	菊花螺科 (Siphonariidae)	日本菊花螺 (<i>Siphonaria japonica</i>)	定性
	笠贝科 (Lottiidae)	矮拟帽贝 (<i>Patelloida pygmaea</i>)	定性
	笠贝科 (Lottiidae)	白笠贝 (<i>Acmaea pallida</i>)	定性
	笠贝科 (Lottiidae)	花边拟帽贝 (<i>Patelloida heroldi</i>)	定性
	笠贝科 (Lottiidae)	史氏背尖贝 (<i>Notoacmea schrenckii</i>)	定量、定性
	笠贝科 (Lottiidae)	圆锥拟帽贝 (<i>Patelloida conulus</i>)	定性
	帘蛤科 (Veneridae)	菲律宾蛤仔 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	定量、定性
	帘蛤科 (Veneridae)	江户布目蛤 (<i>Clausinella jedoensis</i>)	定量、定性
	马蹄螺科 (Trochidae)	单齿螺 (<i>Monodonta labio</i>)	定量、定性
	马蹄螺科 (Trochidae)	锈凹螺 (<i>Chlorostoma rustica</i>)	定量、定性
	毛肤石鳖科 (Acanthochitonidae)	红条毛肤石鳖 (<i>Acanthochiton rubrolineatus</i>)	定性
	帽贝科 (Patellidae)	嫁虫戚 (<i>Cellana toreuma</i>)	定量、定性
	牡蛎科 (Ostreidae)	猫爪牡蛎 (<i>Talonostrea talonostrea</i>)	定量
	牡蛎科 (Ostreidae)	日本巨牡蛎 (<i>Crassostrea nippona</i>)	定量、定性
	牡蛎科 (Ostreidae)	长牡蛎 (<i>Crassostrea gigas</i>)	定量、定性
	扇贝科 (Pectinidae)	栉孔扇贝 (<i>Chlamys farreri</i>)	定量
	无壳侧鳃科 (Pleurobranchaeidae)	斑纹无壳侧鳃 (<i>Pleurobranchaea maculata</i>)	定性
	贻贝科 (Mytilidae)	紫贻贝 (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	定量、定性
	缘螺科 (Marginidae)	白带三角口螺 (<i>Trigonaphera bocageana</i>)	定性
	织纹螺科 (Nassariidae)	黑线织纹螺 (<i>Nassarius fratercula</i>)	定性
	织纹螺科 (Nassariidae)	黄织纹螺 (<i>Nassarius hiradoensis</i>)	定量、定性
	织纹螺科 (Nassariidae)	群栖织纹螺 (<i>Nassarius pauperus</i>)	定量
	织纹螺科 (Nassariidae)	秀丽织纹螺 (<i>Nassarius festivus</i>)	定性
甲壳动物	玻璃钩虾科 (Hyalidae)	施氏玻璃钩虾 (<i>Hyale schmidti</i>)	定量
	玻璃钩虾科 (Hyalidae)	窄异跳钩虾 (<i>Allorchestes angustus</i>)	定量
	方蟹科 (Grapsidae)	平背蜞 (<i>Gaetice depressus</i>)	定量、定性
	方蟹科 (Grapsidae)	绒毛近方蟹 (<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)	定量、定性
	方蟹科 (Grapsidae)	肉球近方蟹 (<i>Hemigrapsus sanguineus</i>)	定量、定性
	光洁钩虾科 (Lysianassidae)	小头弹钩虾 (<i>Orchomene breviceps</i>)	定量
	螺赢蜚科 (Corophiidae)	日本大螯蜚 (<i>Grandidierella japonica</i>)	定量
	螺赢蜚科 (Corophiidae)	日本拟钩虾 (<i>Gammaropsis japonicus</i>)	定量

续表

类群	科	物种	采集方式
	海蟑螂科 (Ligiidae)	海蟑螂 (<i>Ligia exotica</i>)	定量、定性
	合眼钩虾科 (Oedicerotidae)	朝鲜独眼钩虾 (<i>Monoculode koreanus</i>)	定量
	活额寄居蟹科 (Diogenidae)	闪光活额寄居蟹 (<i>Diogenes nitidimanus</i>)	定量
	寄居蟹科 (Paguridae)	寄居蟹 (<i>Pagurus</i> sp.)	定量
	浪漂水虱科 (Cirolanidae)	日本游泳水虱 (<i>Natatolana japonicus</i>)	定量
	马尔他钩虾科 (Melitidae)	朝鲜马耳他钩虾 (<i>Melita koreana</i>)	定量
	马尔他钩虾科 (Melitidae)	卢氏马耳他钩虾 (<i>Melita rylovae</i>)	定量
	美钩虾科 (Eusiridae)	潮间海钩虾 (<i>Pontogeneia littorea</i>)	定量
	梭子蟹科 (Portunidae)	日本罍 (<i>Charybdis japonica</i>)	定性
	藤壶科 (Balanidae)	纹藤壶 (<i>Amphibalanus amphitrite</i>)	定性
	藻钩虾科 (Ampithoidae)	强壮藻钩虾 (<i>Ampithoe valida</i>)	定量
鱼类	虾虎鱼科 (Gobiidae)	竿虾虎鱼 (<i>Luciogobius guttatus</i>)	定量

在 7 个潮下带站位进行潜水采集, 共鉴定大型底栖动物 39 种(表 2)。其中软体动物最多(26 种), 占总物种数的 66.67%; 甲壳动物次之(6 种), 占 15.38%; 棘皮动物(4 种)、多毛类动物(1 种)和其他类群动物(2 种)分别占 10.26%、2.56%和 5.13%。

表 2 潮下带定量采集大型底栖动物种名录

Tab. 2 Species checklist of macrozoobenthos in the subtidal zone of the Miaodao Archipelago (quantitative sampling)

类群	科	物种
多孔动物		海绵(Porifera)
多毛类动物	多鳞虫科 (Polynoidae)	多鳞虫科一种 (Polynoidae indet.)
软体动物	笠贝科 (Lottiidae)	矮拟帽贝 (<i>Patelloida pygmaea</i>)
	笠贝科 (Lottiidae)	白笠贝 (<i>Acmaea pallida</i>)
	蚶科 (Arcidae)	布氏蚶 (<i>Arca boucardi</i>)
	铗石鳖科 (Ischnochitonidae)	朝鲜鳞带石鳖 (<i>Lepidozona coreanica</i>)
	马蹄螺科 (Trochidae)	单齿螺 (<i>Monodonta labio</i>)
	马蹄螺科 (Trochidae)	单一丽口螺 (<i>Calliostoma unicum</i>)
	缝栖蛤科 (Hiatellidae)	东方缝栖蛤 (<i>Hiatella orientalis</i>)
	帘蛤科 (Veneridae)	菲律宾蛤仔 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)
	毛肤石鳖科 (Acanthochitonidae)	红条毛肤石鳖 (<i>Acanthochiton rubrolineatus</i>)
	贻贝科 (Mytilidae)	紫贻贝 (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)
	骨螺科 (Muricidae)	黄口荔枝螺 (<i>Thais luteostoma</i>)
	帽贝科 (Patellidae)	嫁虫戚 (<i>Cellana toreuma</i>)
	帘蛤科 (Veneridae)	江户布目蛤 (<i>Clausinella jedoensis</i>)
	骨螺科 (Muricidae)	脉红螺 (<i>Rapana venosa</i>)
	牡蛎科 (Ostreidae)	牡蛎一种 (Ostreidae indet.)
	蝶螺科 (Trubinidae)	平厝螺属一种 (<i>Homalopoma</i> sp.)
	笠贝科 (Acmaeidae)	史氏背尖贝 (<i>Notoacmea schrenckii</i>)
	扇贝科 (Pectinidae)	虾夷盘扇贝 (<i>Patinopecten yessoensis</i>)
	马蹄螺科 (Trochidae)	锈凹螺 (<i>Chlorostoma rustica</i>)

续表

类群	科	物种
甲壳动物	毛肤石鳖科 (Acanthochitonidae)	异毛肤石鳖 (<i>Acanthochiton dissimilis</i>)
	骨螺科 (Muricidae)	疣荔枝螺 (<i>Thais clavigera</i>)
	笠贝科 (Lottiidae)	圆锥拟帽贝 (<i>Patelloida conulus</i>)
	贻贝科 (Mytilidae)	云石肌蛤 (<i>Musculus cupreus</i>)
	牡蛎科 (Ostreidae)	长牡蛎 (<i>Crassostrea gigas</i>)
	扇贝科 (Pectinidae)	栉孔扇贝 (<i>Chlamys farreri</i>)
	鲍科 (Haliotidae)	皱纹盘鲍 (<i>Haliotis discus</i>)
	贻贝科 (Mytilidae) (Rafinesque)	紫贻贝 (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)
	扇蟹科 (Xanthidae)	颗粒仿权位蟹 (<i>Medaeops granulosis</i>)
	马尔他钩虾科 (Melitidae)	卢氏马耳他钩虾 (<i>Melita rylovae</i>)
	梭子蟹科 (Portunidae)	日本螯 (<i>Charybdis japonica</i>)
	扇蟹科 (Xanthidae)	贪精武蟹 (<i>Parapanope euagora</i>)
棘皮动物	藻虾科 (Hippolytidae)	中华安乐虾 (<i>Eualus sinensis</i>)
	利尔钩虾科 (Liljeborgiidae)	中华利尔钩虾 (<i>Liljeborgia sinica</i>)
	刺参科 (Stichopodidae)	仿刺参(刺参) (<i>Apostichopus japonicus</i>)
	长海胆科 (Echinometridae)	光棘球海胆 (<i>Strongylocentrotus nuda</i>)
	海燕科 (Asterinidae)	海燕 (<i>Asterina pectinifera</i>)
尾索动物	刺蛇尾科 (Ophiotrichidae)	马氏刺蛇尾 (<i>Ophiotrix marenzelleri</i>)
	柄海鞘科 (Styelidae)	柄海鞘一种 (<i>Styelidae indet.</i>)

2.2 优势种

潮间带及潮下带的大型底栖动物优势种及优势度见表 3。本次潮间带定量采集的优势种包括施氏玻璃钩虾、平背螯、潮间海钩虾、单齿螺和仙居虫，其

中施氏玻璃钩虾的优势度最高($Y=0.071$)。潮下带潜水定量采集的优势种包括紫贻贝、东方缝栖蛤、锈凹螺和海燕，其中紫贻贝的优势度($Y=0.384$)远高于其他优势物种，为绝对优势种。

表 3 夏季庙岛群岛潮间带及潮下带大型底栖动物优势种及其优势度

Tab. 3 Dominant macrozoobenthos and their dominance in the intertidal and subtidal zones of the Miaodao Archipelago in summer

采集方式	排名	物种名	优势度
潮间带定量采集	1	施氏玻璃钩虾(<i>Hyale schmidtii</i>)	0.071
	2	平背螯(<i>Gaetice depressus</i>)	0.066
	3	潮间海钩虾(<i>Pontogeneia littorea</i>)	0.057
	4	单齿螺(<i>Monodonta labio</i>)	0.029
	5	仙居虫(<i>Naineris laevigata</i>)	0.027
潮下带定量采集	1	紫贻贝(<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	0.384
	2	东方缝栖蛤(<i>Hiatella orientalis</i>)	0.059
	3	锈凹螺(<i>Chlorostoma rustica</i>)	0.048
	4	海燕(<i>Asterina pectinifera</i>)	0.023

2.3 丰度与生物量

潮间带及潮下带调查中各站点大型底栖动物的丰度和生物量见表 4。

2022 年 8 月，潮间带大型底栖动物定量采集样品中，丰度平均值为 234 个/m²(图 2a)，最高值(441 个/m²)出现在庙岛站，最低值(57 个/m²)出现在大钦

表 4 夏季庙岛群岛潮间带及潮下带大型底栖动物丰度和生物量分布

Tab. 4 Abundance and biomass of macrozoobenthos in the intertidal and subtidal zones of the Miaodao Archipelago in summer

	丰度 (个/m ²)					生物量 (g/m ²)				
	多毛类	甲壳动物	软体动物	其他	合计	多毛类	甲壳动物	软体动物	其他	合计
潮间带定量采集										
南长山岛	38.66	30.67	0.00	1.33	70.66	0.77	8.48	0.00	0.00	9.25
庙岛	97.33	8.00	336.00	0.00	441.33	20.01	3.97	305.27	0.00	329.25
大黑山岛	107.99	52.00	1.33	1.33	162.65	0.94	11.05	0.60	0.25	12.84
钓鱼岛	28.00	34.66	70.67	0.00	133.33	1.81	16.24	13.61	0.00	31.66
车由岛	74.66	73.33	152	1.33	301.32	0.27	89.03	203.59	0.01	292.90
砣矶岛	317.33	36.00	1.33	0.00	354.66	10.77	6.42	0.77	0.00	17.96
大钦岛	2.67	54.67	0.00	0.00	57.34	0.00	0.16	0.00	0.00	0.16
南隍城岛	5.34	313.34	41.33	1.33	361.34	0.14	12.66	7.31	0.08	20.19
北隍城岛	0.00	220.00	0.00	1.33	221.33	0.00	31.05	0.00	0.18	31.23
潮下带定量采集										
南长山岛	0.00	0.00	21.00	10.00	31.00	0.00	0.00	90.20	253.77	343.97
大黑山岛	0.00	0.00	34.40	4.00	38.40	0.00	0.00	75.20	9.006	171.20
车由岛	0.00	0.80	25.60	13.60	40.00	0.00	0.0024	306.22	357.58	663.80
高山岛	3.00	5.00	283.00	19.00	310.00	0.01	1.50	2702.89	466.71	3171.11
砣矶岛	0.00	3.00	803.00	1.00	807.00	0.00	0.65	254.27	11.26	266.18
小钦岛	0.00	3.00	24.00	6.00	33.00	0.00	0.04	87.11	179.33	266.47
南隍城岛	0.00	0.00	1.00	1.00	2.00	0.00	0.00	13.44	60.00	73.44

岛站。整体而言, 庙岛、南隍城岛、砣矶岛、车由岛站丰度较高(301~441 个/m²), 大钦岛、南长山岛站丰度较低, 其余各站位(北隍城岛、大黑山岛、钓鱼岛)丰度相近(表 2)。以各站位类群的丰度占比来看(图 2c), 有 3 个站位(大钦岛、南隍城岛、北隍城岛)甲壳动物丰度占比最大, 原因是大钦岛、北隍城岛有较多的潮间海钩虾, 南隍城岛有较多的施氏玻璃钩虾; 有 3 个站位(砣矶岛、南长山岛、大黑山岛)多毛类动物丰度占比最大, 因砣矶岛采集到了较多的多齿沙蚕(*Nereis multignatha*), 南长山岛和大黑山岛采集到了较多的仙居虫; 庙岛、钓鱼岛、车由岛软体动物丰度占比最大, 因庙岛采集到了大量的纵带滩栖螺(*Batillaria zonalis*), 钓鱼岛、车由岛采集到了较多的单齿螺和短滨螺(*Littorina brevicula*)。

潮间带生物量平均为 82.82 g/m², 最高值出现在庙岛站(329.25 g/m²), 其次为车由岛(292.9 g/m²), 最低值出现在大钦岛站(0.16 g/m²)(图 2b)。整体而言, 除庙岛因采集到大量的纵带滩栖螺和车由岛采集到较多的单齿螺和平背蜆而有较高的生物量外, 其余各站位的生物量介于 0.16~31.66 g/m²。以各站位类

群生物量占比分布来看(图 2d), 2022 年 8 月潮间带定量采集样品中, 有 6 个站位(南长山岛、大黑山岛、钓鱼岛、大钦岛、北隍城岛、南隍城岛)甲壳动物生物量占比最大, 庙岛站位软体动物生物量占比最大, 砣矶岛站位多毛类动物生物量占比最大。

2022 年 8 月, 潮下带大型底栖动物定量采集样品中, 丰度平均值为 180.2 个/m²(图 3a), 最高值(807 个/m²)出现在砣矶岛, 因在此站采集到了较多的紫贻贝和东方缝栖蛤; 高山岛次之(310 个/m²); 其余各站位丰度较低, 最低值(2 个/m²)出现在南隍城岛。以各站位类群的丰度占比分布来看, 南隍城岛软体动物和其他类群动物的丰度占比相当, 其余 7 个潜水采样站位, 软体动物丰度占比最大(图 3c)。

潮下带生物量平均值为 708.02 g/m²(图 3b), 范围介于 73.44~3 171.11g/m², 最高值出现在高山岛站(3 171.11 g/m²), 其中长牡蛎(*Crassostrea gigas*)贡献了较高的生物量。其余各站位的生物量介于 73.44~663.80 g/m²。以各站位类群的生物量占比分布来看, 除高山岛和砣矶岛软体动物的生物量占比最高外, 其余潜水采样站位其他类群动物的生物量占比高(图 3d)。

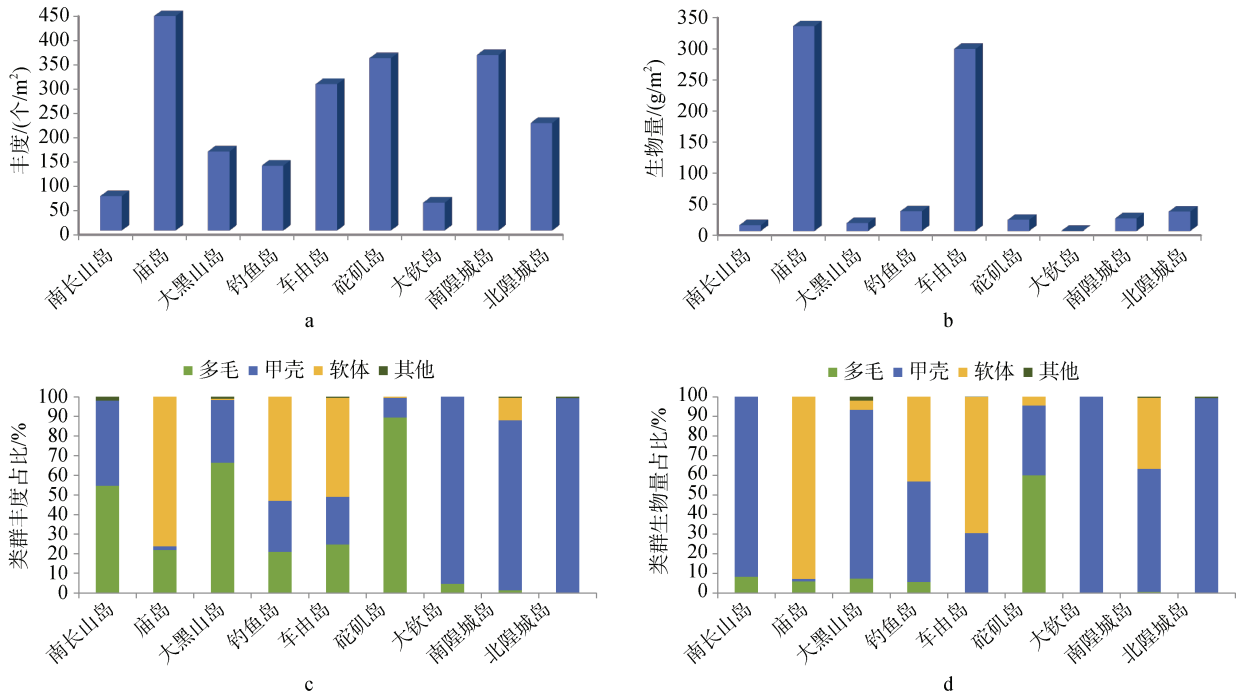


图 2 夏季庙岛群岛潮间带大型底栖动物丰度和生物量分布

Fig. 2 Macrozoobenthos abundance and biomass in the intertidal zones of the Miaodao Archipelago in summer
a. 丰度/(个/m²); b. 生物量/(g/m²); c. 类群丰度占比; d. 类群生物量占比

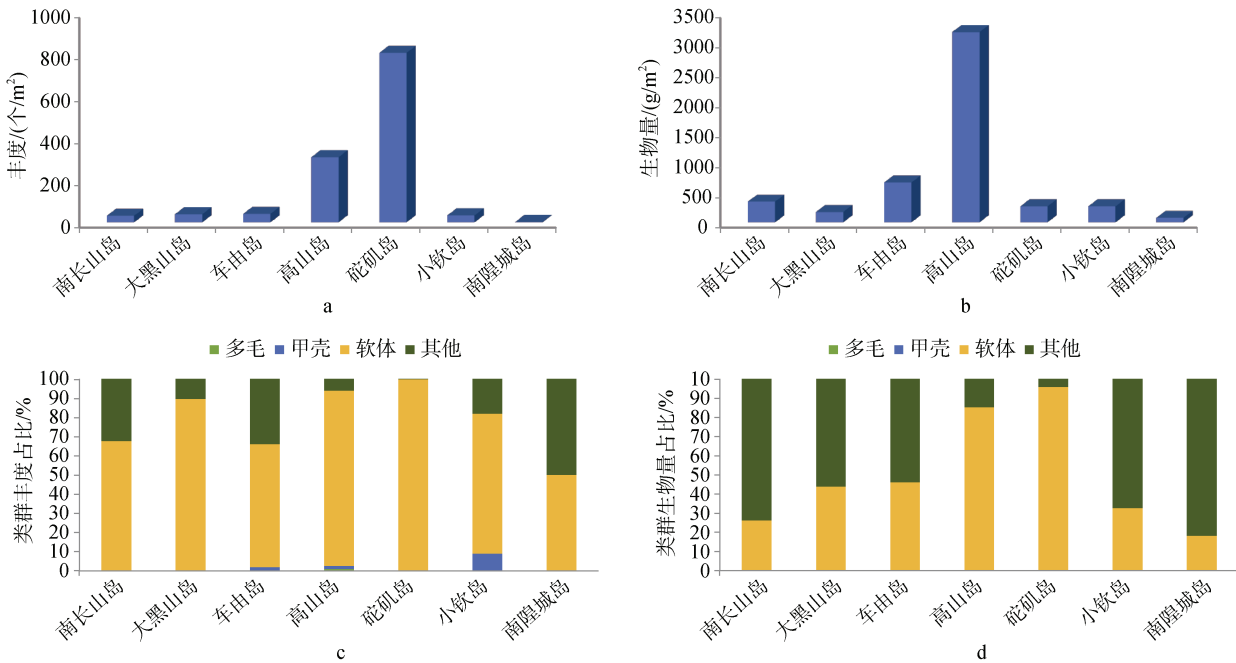


图 3 庙岛群岛夏季潮下带大型底栖动物丰度和生物量分布

Fig. 3 Macrozoobenthos abundance and biomass in the subtidal zone of the Miaodao Archipelago in summer
a. 丰度/(个/m²); b. 生物量/(g/m²); c. 类群丰度占比; d. 类群生物量占比

2.4 多样性

潮间带及潮下带调查中各站点的物种数(S)、

Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J')的具体数值如表 5 所示。

表 5 潮间带及潮下带各站点物种数(*S*)、Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)、Margalef 丰富度指数(*D*)和 Pielou 均匀度指数(*J'*)
 Tab. 5 Indices of species number (*S*), Shannon–Wiener diversity index (*H'*), Margalef richness index (*D*), and Pielou evenness index (*J'*) in the intertidal and subtidal zones

站点	物种数 <i>S</i>	多样性 <i>H'</i>	丰富度 <i>D</i>	均匀度 <i>J'</i>	站点	物种数 <i>S</i>	多样性 <i>H'</i>	丰富度 <i>D</i>	均匀度 <i>J'</i>
潮间带					潮下带				
南长山岛	8	1.618	1.644	0.778	南长山岛	6	1.627	1.456	0.908
庙岛	18	1.392	2.792	0.482	大黑山岛	8	0.920	1.919	0.442
大黑山岛	8	1.098	1.375	0.528	车由岛	12	2.086	2.982	0.840
钓鱼岛	9	1.808	1.635	0.823	高山岛	23	1.431	3.835	0.456
车由岛	20	2.001	3.329	0.668	砣矶岛	8	0.575	1.046	0.277
砣矶岛	13	0.595	2.044	0.232	小钦岛	9	1.685	2.288	0.767
大钦岛	4	1.003	0.741	0.723	南隍城岛	2	0.693	1.443	1.000
南隍城岛	7	0.570	1.019	0.293					
北隍城岛	6	0.602	0.926	0.336					

2022 年 8 月, 潮间带定量采集调查大型底栖动物的物种数、Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数的分布见图 4。各站点物种数介于 4~20 种, 平均为 10 种, 车由岛、庙岛、砣矶岛较多, 分别为 20、18 和 13 种。Shannon-

Wiener 指数介于 0.570~2.001, 平均为 1.187, 最大值位于车由岛; Margalef 丰富度指数的范围是 0.741~3.329, 平均为 1.723, 最大值位于车由岛; Pielou 均匀度指数介于 0.232~0.823, 平均为 0.540, 最大值位于钓鱼岛。

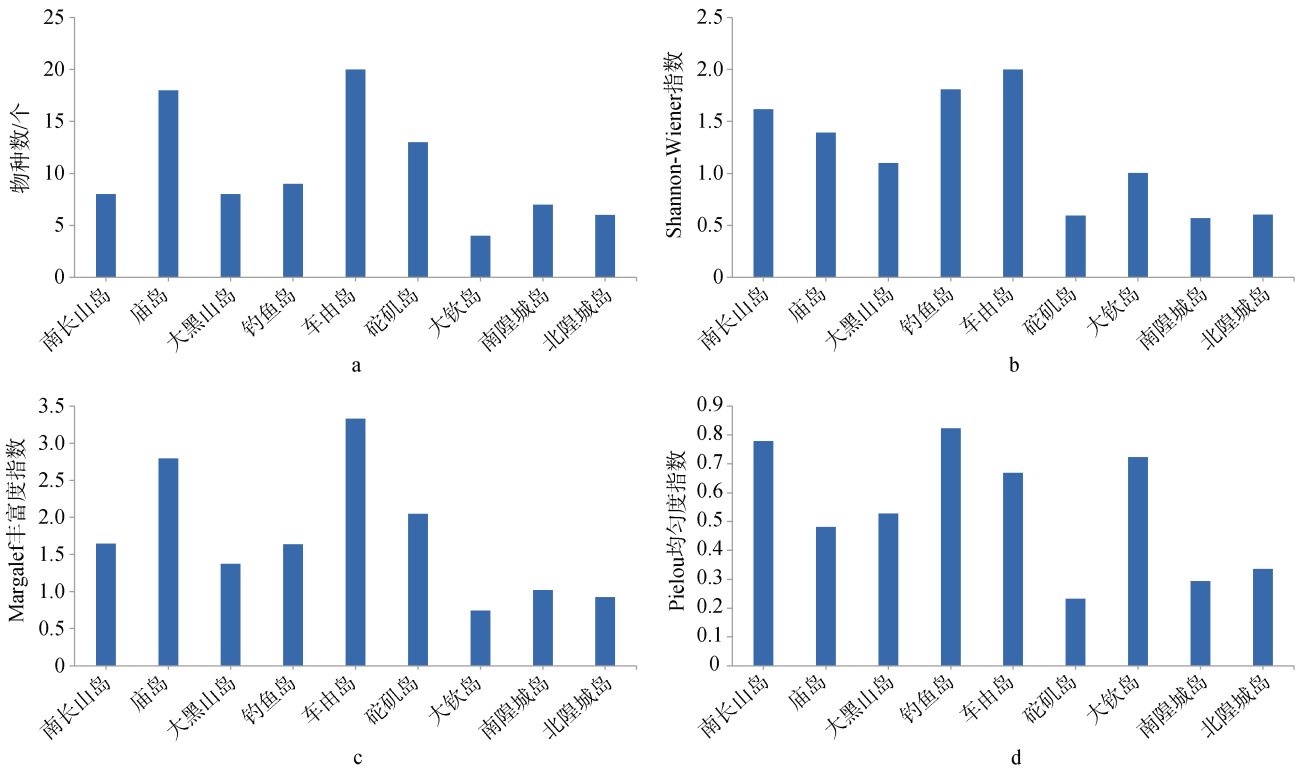


图 4 夏季庙岛群岛潮间带各站点

Fig. 4 The intertidal zone of the Miaodao Archipelago in summer

a. 物种数; b. Shannon-Wiener 指数; c. Margalef 丰富度指数; d. Pielou 均匀度指数

a. Species number; b. Shannon-Wiener biodiversity index; c. Margalef richness index; and d. Pielou evenness index

2022年8月,潮下带定量采集调查底栖动物的物种数、Shannon-Wiener指数、Margalef丰富度和Pielou均匀度指数分布见图5。各站位物种数介于2~23种,高山岛、车由岛、小钦岛物种数较多,分别为23、12、9种,其余站位物种数为2~8种。

Shannon-Wiener指数介于0.575~2.086,平均为1.288,最大值位于车由岛;Margalef丰富度指数的范围是1.046~3.835,平均为2.138,最大值位于高山岛;Pielou均匀度指数介于0.277~1,平均为0.670,最大值位于南隍城岛。

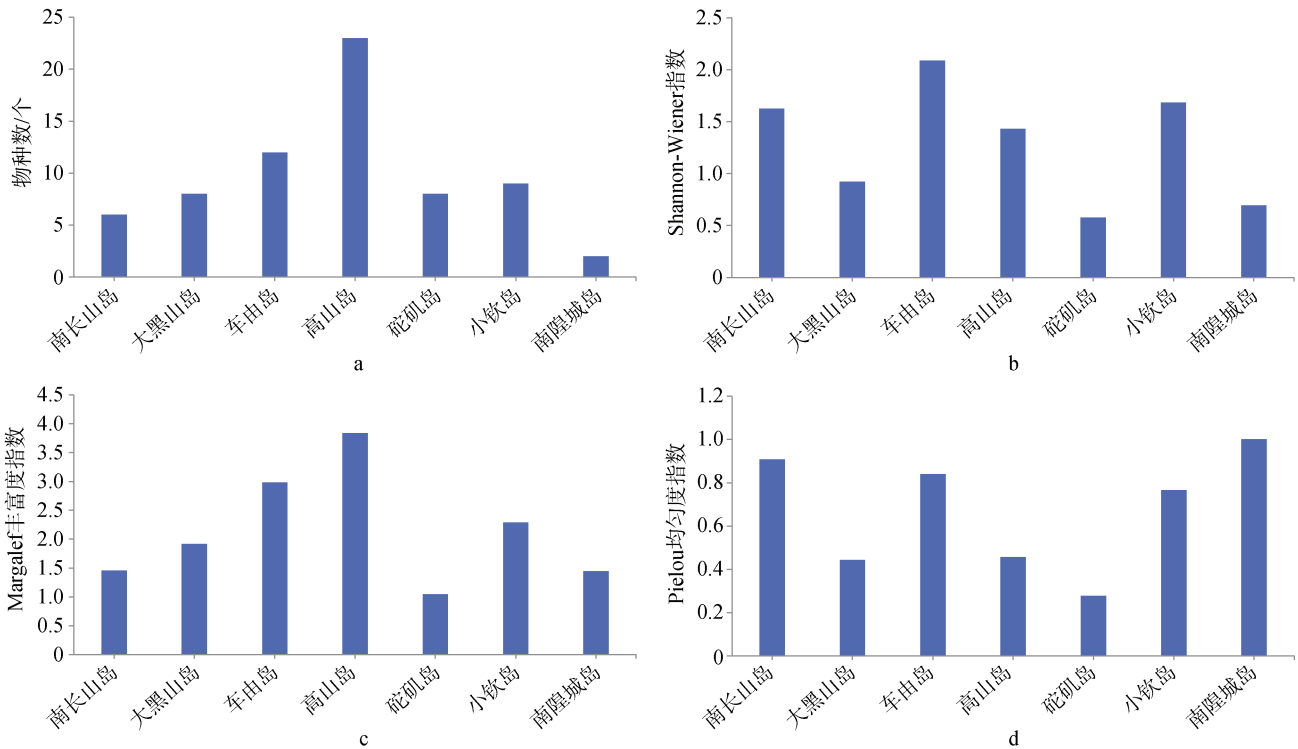


图5 庙岛群岛夏季潮下带各站点

Fig. 5 The subtidal zone of the Miaodao Archipelago in summer

a. 物种数; b. Shannon-Wiener 指数; c. Margalef 丰富度指数; d. Pielou 均匀度指数

a. Species number; b. Shannon-Wiener biodiversity index; c. Margalef richness index; and d. Pielou evenness index

2.5 群落结构分析

潮间带和潮下带群落结构聚类分析和 nMDS 分析结果见图 6 和图 7, nMDS 分析的 stress 值分别为 0.1 和 0.01, 表明样本的排序结果具有很好的代表性。根据 20% 的相似性水平, 潮间带大型底栖动物可划分为 4 个群落。砣矶岛、北隍城岛组成群落 I; 车由岛、钓鱼岛、大黑山岛、南长山岛组成群落 II; 大钦岛、南隍城岛组成群落 III; 庙岛组成群落 IV。One-way ANOSIM 检验表明 4 个群落的总体差异显著(Global $R=0.911$, $P=0.001$)。SIMPER 分析表明, 潮间带群落 I 的主要贡献种为潮间海钩虾(贡献率为 29.47%)、平背蜆(29.47%)和肉球近方蟹(*Hemigrapsus sanguineus*)(24.07%); 群落 II 的主要贡献种为平背蜆(44.21%)、仙居虫(24.28%)和多齿围沙蚕(*Perinereis nuntia*)(17.39%); 群落 III 的主要

贡献种为施氏玻璃钩虾(75.96%)和粗毛裂虫(*Syllis amica*)(24.04%); 群落 IV 只有一个站位, 无法通过 SIMPER 分析来确定贡献种, 该群落数量最多的物种为纵带滩栖螺。

根据 20% 相似性水平, 潮下带大型底栖动物可划分为 3 个群落。南隍城岛组成群落 I; 高山岛、砣矶岛组成群落 II; 小钦岛、车由岛、大黑山岛和南长山岛组成群落 III。One-way ANOSIM 检验表明 3 个群落的总体差异显著(Global $R=1$, $P=0.001$)。SIMPER 分析表明, 潮间带群落 II 的主要贡献种为紫贻贝(贡献率为 69.22%)和东方缝栖蛤(14.40%); 群落 III 的主要贡献种为锈凹螺(43.53%)和海燕(31.87%); 群落 I 只有一个站位, 无法通过 SIMPER 分析来确定贡献种, 该群落数量最多的物种为海燕和虾夷盘扇贝(*Patinopecten yessoensis*)。

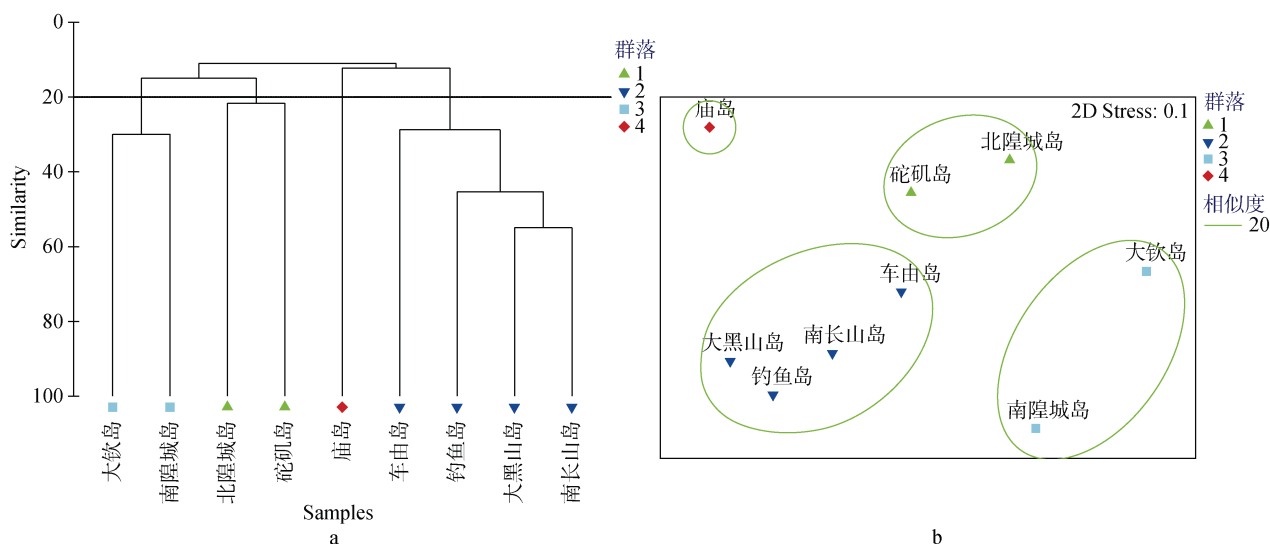


图 6 夏季庙岛群岛潮间带大型底栖动物群落等级聚类(a)和非参数多维标度排序(b)

Fig. 6 Clustering (a) and Non-metric Multidimensional Scaling (b) of the macrozoobenthic community in the intertidal zone of the Miaodao Archipelago in summer

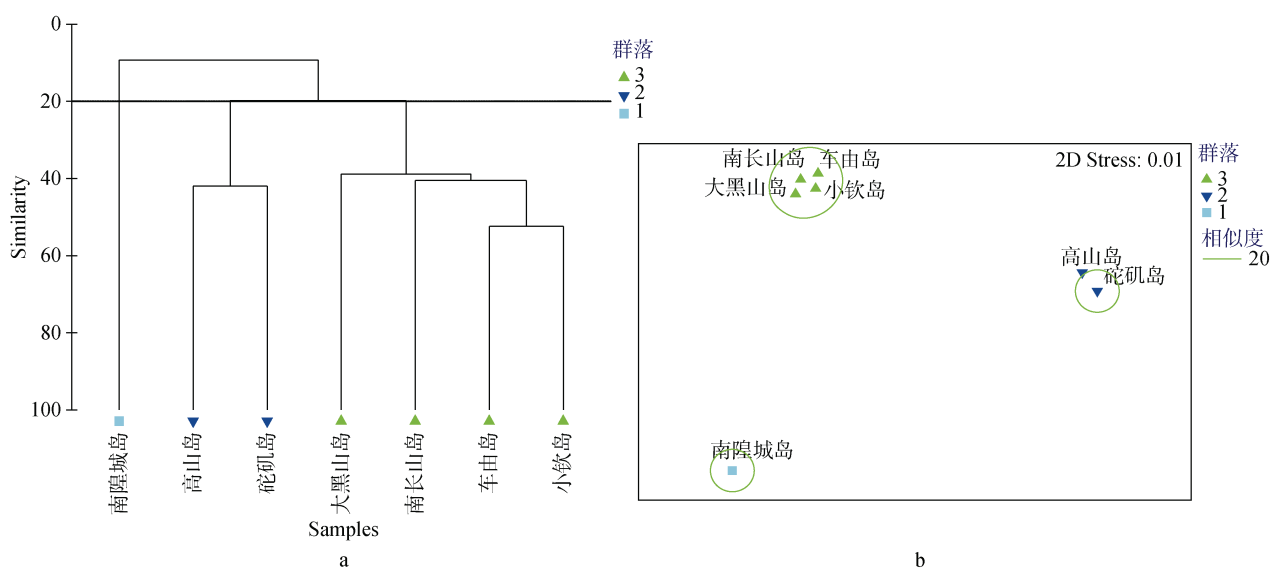


图 7 夏季庙岛群岛潮下带大型底栖动物群落等级聚类(a)和非参数多维标度排序(b)

Fig. 7 Clustering (a) and nMDS plots (b) of the macrozoobenthic communities in the subtidal zone of the Miaodao Archipelago in summer

3 讨论

3.1 与庙岛群岛的历史调查对比

本次潮间带定量调查共鉴定大型底栖动物 52 种, 其中甲壳动物最多(17 种), 多毛类动物和软体动物次之(分别为 16 和 15 种); 大型底栖动物平均丰度为 234 个/m², 平均生物量为 82.82 g/m²。本研究与庙岛群岛的历史调查对比见表 6。WANG 等^[2]于 2007 年 6 月在长岛 14 个潮间带站点进行了大型底栖动物调

查, 共发现大型底栖动物 68 种, 以软体动物(32 种)和甲壳动物(19 种)为主, 平均物种数为 9 种, 平均丰度和生物量分别为 1 383 个/m²和 372.41 g/m²。本研究调查的 10 个岛屿中有 5 个岛屿与 WANG 等^[2]的调查重合。与 WANG 等^[2]的调查结果相比, 本次调查发现的大型底栖动物总物种数、平均丰度和生物量均较少, 但平均物种数(10 种)与 WANG 等^[2]的调查结果相近(14 个站点, 平均物种数 9 种), 且物种数占比较高的均为软体动物和甲壳动物。

表 6 与庙岛群岛的历史调查对比

Tab. 6 Comparison with the historical survey of the Miaodao Archipelago

调查区域	季节	物种数	优势类群	平均丰度 (个/m ²)	平均生物 量(g/m ²)	优势种	文献
南长山岛、北长山岛和 大黑山岛 3 个岛屿潮间带	春季		软体动物 和甲壳动物	—	—	东方小藤壶、 牡蛎和短滨螺等	[15]
大钦岛等 5 个岛屿 共 14 个潮间带	夏季	68	软体动物 32 种, 甲壳动物 19 种	1 383	372.41	—	[2]
南长山岛、北长山岛 共 6 个潮间带	4 个 季度	87	软体动物 35 种, 多毛类动物 28 种, 甲壳动物 20 种	1 499	1.01	主要优势种为 多毛类动物	[16]
南长山岛、北长山岛 共 3 个潮间带	夏季	29	软体动物 11 种, 甲壳动物 9 种	118.97	128.03	绒螯近方蟹、平背蜆、短滨螺、 紫贻贝、肉球近方蟹	[14]
南长山岛、庙岛等 10 个岛屿潮间带	夏季	76	甲壳动物 和软体动物	234	82.82	施氏玻璃钩虾、平背蜆、 潮间海钩虾等	本次 研究
庙岛群岛海域 11 个 潮下带站位(箱式采泥)	4 个 季度	164	多毛类动物 82 种, 甲壳动物 39 种	919	18.01	彩虹明樱蛤(<i>Moerella iridescens</i>)、 梳鳃虫(<i>Terebellides stroemii</i>)等	[1, 16]
7 个岛屿附近 潮下带(潜水采集)	夏季	39	软体动物 26 种	180.2	708.02	紫贻贝、东方缝栖蛤、锈凹螺	本次 研究

王金宝等^[14]在 2015 年—2016 年期间,对庙岛群岛的 3 个潮间带进行了 4 个季度月的底栖生态调查,共采集到 81 种大型底栖动物,其中夏季 29 种,软体动物最多(11 种),甲壳动物次之(9 种),平均丰度为 118.97 ind./m²,平均生物量为 128.03 g/m²,绒螯近方蟹(*Hemigrapsus penicillatus*)、平背蜆、短滨螺、紫贻贝和肉球近方蟹在夏季为优势种。与王金宝^[14]等的调查相比,本研究采集到的物种数较少,但都具有夏季软体动物和甲壳动物种类较多的特点。本研究获得的潮间带大型底栖动物平均丰度较高,但平均生物量较低,推测原因是本次调查在 3 个岛屿(大钦岛、南隍城岛、北隍城岛)的潮间带采集到了较多的钩虾,在 3 个岛屿(砣矶岛、南长山岛、大黑山岛)的潮间带采集到了较多的多毛类动物个体,钩虾和多毛类动物生物量较小,因而造成平均丰度较高而平均生物量较低的特点。

庄树宏等^[15]对 1999 年 4 月南长山岛、北长山岛和大黑山岛 3 个岛屿潮间带调查数据进行分析,发现软体动物和甲壳动物是主要类群,东方小藤壶(*Chthamalus challengenri*)、牡蛎(*Ostrea spp.*)和短滨螺为优势度排名前三的大型底栖动物。甲壳动物和软体动物为主要类群的特点与本研究相同,优势种与本研究不同。

赵瑞^[16]于 2012 年 11 月—2013 年 8 月对南长山岛和北长山岛潮间带和潮下带大型底栖动物进行了 4 次调查,共获得大型底栖动物 87 种(夏季 29 种),软体动物物种数最多(35 种),多毛类动物次之(28 种),甲壳动物 20 种。赵瑞^[16]调查采集到的多毛类动物较多,故其调查所得的平均生物量远低于本研究,仅 1.01 g/m²,而平均丰度远高于本研究,达 1 499 个/m²。

本研究采用潜水采集的方式进行潮下带大型底栖动物的采集,潮下带定量调查共鉴定大型底栖动物 39 种,低于潮间带定量调查,其中软体动物最多(26 种),潮下带平均丰度为 180.2 个/m²,平均生物量为 708.02 g/m²,潮下带优势种为紫贻贝、东方缝栖蛤(*Hiatella orientalis*)、锈凹螺(*Chlorostoma rustica*)等。徐兆东等^[1]通过采泥器采集的方式在 2012 年—2013 年期间,对庙岛群岛南部海域进行了 4 个季度的底栖生态调查,共采集到大型底栖动物 164 种,远高于本研究中潮下带采集到的大型底栖动物物种数;IRI 结果分析表明,主要的优势种是多毛类动物,也不同于本研究中优势种的分析结果。潜水和采泥器采集两种方式涉及的水深、采集位置、采集方法原理等有很大不同,导致采集到的大型底栖动物在物种组成、数量、优势种等方面也有很大差异。

3.2 与邻近海域潮间带调查对比

韩庆喜等^[8]在 2009 年—2010 年对烟台潮间带进行了调查,共采集到大型底栖动物 111 种,多毛类动物(40 种)和甲壳动物(37 种)是主要类群,分别占据了群落总物种数的 36.04%和 33.33%。韩庆喜等^[8]的调查所采集到的物种数远高于本调查,且多毛类动物的物种数较多,其中 6 种多毛类动物为优势种,这与调查区域为泥沙质或泥质的底质条件有关,而本调查底质多为砾石和粗砂。

黄慧等^[13]在山东荣成镆镬岛潮间带进行了 4 个季度月的大型底栖动物调查,共采集到大型底栖动物 92 种,其中甲壳动物最多(33 种),软体动物和多毛类动物次之(28 和 22 种),平均丰度 329.67 个/m²,平均生物量

为 81.74 g/m²。本调查的物种数和平均丰度均低于黄慧等的调查,但平均生物量要高,说明相对于该调查,本调查采集到了较多个体重量较大的物种。甘志彬等^[23]在 2009~2010 年期间的 4 个季度月对山东半岛宁津沿岸潮间带的 6 个站位进行了调查,共采集到大型底栖动物 45 种,其中甲壳动物种类最多(20 种),软体动物次之(14 种);4 个季度的绝对优势种是钩虾类。本次潮间带定量调查的优势种优势度排名前三的是施氏玻璃钩虾、平背蜞和潮间海钩虾,这与宁津沿岸潮间带钩虾类是绝对优势种的特点一致。

与邻近海域潮间带调查的比较中可以看出(表 7),庙岛群岛与周边海域潮间带大型底栖动物在群落种类组成和优势种等方面有较大差别。

表 7 与邻近海域潮间带调查对比

Tab. 7 Comparison with the intertidal zone survey in the adjacent sea area

调查区域	季节	物种数(种)	优势类群	平均丰度(个/m ²)	平均生物量(g/m ²)	优势种	文献
山东荣成 镆镬岛潮间带	4 个 季度	92	甲壳动物 33 种, 软体动物 28 种, 多毛类动物 22 种	329.67	81.74	菲律宾蛤仔、 多齿沙蚕等	[13]
烟台潮间带	夏季	111	多毛类动物 40 种, 甲壳动物 37 种	2 034.44±2 042.58	198.86±191.82	优势种共 15 种, 主要为多毛类动物	[8]
山东半岛宁津沿岸 潮间带的 6 个站位	4 个 季度	45	甲壳动物 20 种, 软体动物 14 种	182.67	45.09	钩虾类	[23]
南长山岛、庙岛等 10 个岛屿潮间带	夏季	76	甲壳动物, 软体动物	234	82.82	施氏玻璃钩虾、平背 蜞、潮间海钩虾等	本次 研究

致谢: 感谢中国科学院海洋研究所的孙忠民、董栋、马林、龚琳、甘志彬、寇琦、房雪枫、王雁、吴怡宏、孔德明、邹文、王来福, 以及刘昕明、徐平忠等参与大型底栖动物野外调查和实验室样品粗分等工作。特别感谢审稿专家提出的宝贵修改意见。

参考文献:

[1] 徐兆东, 石洪华, 李乃成, 等. 庙岛群岛南部海域大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 环境科学研究, 2015, 28(05): 704-712.
XU Zhaodong, SHI Honghua, LI Naicheng, et al. Macrobenthic community structure and its relationship with environmental factors in the southern waters of the Miaodao Archipelago[J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28(5): 704-712.

[2] WANG X C, LI X Z, LI B Q, et al. Summertime community structure of intertidal macrobenthos in Changdao Archipelago, Shandong Province, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(3): 425-434.

[3] PANDEY V, THIRUCHITRAMBALAM G. Spatial and temporal variability of sandy intertidal macrobenthic communities and their relationship with environmental factors in a tropical island[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2019, 224: 73-83.

[4] 李新正. 我国海洋大型底栖生物多样性研究及展望: 以黄海为例[J]. 生物多样性, 2011, 19(6): 676-84.
LI Xinzheng. An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: principally from the Yellow Sea[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 676-684.

[5] 赖廷和, 何斌源, 黄中坚, 等. 防城河口湾潮间带大型底栖动物群落结构研究[J]. 热带海洋学报, 2019, 38(2): 67-77.
LAI Tinghe, HE Binyuan, HUANG Zhongjian, et al. Study on the macrozoobenthic community structure in intertidal zone of Fangchenghe Estuary of Guangxi, China[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2019, 38(2): 67-77.

[6] XU Y, SUI J X, MA L, et al. Temporal variation of

- macrobenthic community zonation over nearly 60 years and the effects of latitude and depth in the southern Yellow Sea and East China Sea[J]. *Sci Total Environ*, 2020, 739: 139760.
- [7] WANG Z, LEUNG K M Y, LI X, et al. Macrobenthic communities in Hong Kong waters: Comparison between 2001 and 2012 and potential link to pollution control[J]. *Mar Pollut Bull*, 2017, 124(2): 694-700.
- [8] 韩庆喜, 袁泽轶, 陈丙见, 等. 烟台潮间带大型底栖动物群落组成和结构研究[J]. *海洋科学*, 2014, 38(9): 59-68.
HAN Qingxi, YUAN Zeyi, CHEN Bingjian, et al. The community structure and distribution pattern of intertidal macrobenthos in the intertidal zone of Yantai[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(9): 59-68.
- [9] 李宝泉, 张宝琳, 刘丹运, 等. 胶州湾女姑口潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(10): 15-19.
LI Baoquan, ZHANG Baolin, LIU Danyuan, et al. The ecological study of the macrobenthic community in intertidal zone of Nugukou, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(10): 15-19.
- [10] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 胶州湾潮间带大型底栖动物的群落生态[J]. *动物学报*, 2006, 52(3): 612-618.
LI Xinzheng, LI Baoquan, WANG Hongfa, et al. Macrobenthic community of the intertidal zone of Jiaozhou Bay[J]. *Current Zoology*, 2006, 52(3): 612-618.
- [11] 王洪法, 李宝泉, 张宝琳, 等. 胶州湾红石崖潮间带大型底栖动物群落生态学研究[J]. *海洋科学*, 2006, 30(9): 52-57.
WANG Hongfa, LI Baoquan, ZHANG Baolin, et al. The ecological research of the macrobenthic community in intertidal zone of Hongshiya, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(9): 52-57.
- [12] 张宝琳, 王洪法, 李宝泉, 等. 胶州湾辛岛潮间带大型底栖动物生态学调查[J]. *海洋科学*, 2007, 31(1): 60-64.
ZHANG Baolin, WANG Hongfa, LI Baoquan, et al. The ecology of the macrobenthic community in the intertidal zone of Xindao, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2007, 31(1): 60-64.
- [13] 黄慧, 李新正, 王洪法, 等. 山东半岛馍钵岛潮间带大型底栖动物群落特征[J]. *海洋科学*, 2012, 36(11): 90-97.
HUANG Hui, LI Xinzheng, WANG Hongfa, et al. Characteristics of macrobenthos community from the intertidal zones of Moye Island, Shandong Peninsula[J]. *Marine Sciences*, 2012, 36(11): 90-97.
- [14] 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 山东长岛潮间带大型底栖动物生态特征研究[J]. *海洋科学*, 2018, 42(10): 41-52.
WANG Jinbao, LI Xinzheng, WANG Hongfa, et al. Macrobenthic ecology in the intertidal zones of Changdao Islands in Shandong Province[J]. *Marine Sciences*, 2018, 42(10): 41-52.
- [15] 庄树宏, 陈礼学, 王尊清. 长山列岛南部三岛岩相潮间带群落多样性格局[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 747-752.
ZHUANG Shuhong, CHEN Lixue, WANG Zunqing. Diversity patterns in intertidal communities of three southern islands of Changshan archipelago[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 747-752.
- [16] 赵瑞. 长岛海域大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
ZHAO Rui, The ecological study of macrobenthos in the waters around Changdao Islands[D]. Qingdao, Ocean University of China, 2014.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 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, 2007: 1-157.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. The specification for oceanographic survey Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2007: 1-157.
- [18] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲆渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 4: 13-15, 9.
XU Zhaoli, CHEN Yaqu. Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1989, 4: 13-15, 9.
- [19] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1963: 1-117.
- [20] MARGALEF R. Perspectives in ecological theory. Chicago[M]. USA: University of Chicago Press, 1968: 1-111.
- [21] PIELOU E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 10(2): 370-383.
- [22] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 2003, 1: 58-64.
ZHOU Hong, ZHANG Zhinan. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2003, 1: 58-64.
- [23] 甘志彬, 李新正, 王洪法, 等. 山东半岛宁津沿岸潮间带大型底栖动物生态学研究[J]. *海洋科学*, 2016, 40(6): 41-48.
GAN Zhibin, LI Xinzheng, WANG Hongfa, et al. Ecological characteristics of macrobenthos found in the intertidal zone of Ningjin, Shandong[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(6): 41-48.

Community characteristics of macrozoobenthos in the Miaodao Archipelago in summer

ZHANG Yue^{1, 2}, YU Guo-xu³, XU Yong^{1, 4, 5}, LI Xin-zheng^{1, 2, 4, 5}, WANG Jin-bao^{1, 4, 5}, SUI Ji-xing^{1, 4, 5}

(1. Department of Marine Organism Taxonomy and Phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Changdao National Ocean Park Management Center, Yantai 265800, China; 4. China Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 5. Laboratory for Marine Biology and Biotechnology, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Received: Jan. 11, 2023

Key words: Miaodao Archipelago; macrozoobenthos; biodiversity; community structure

Abstract: The macrozoobenthos present in the intertidal and subtidal zones of the islands of the Miaodao Archipelago were investigated in August 2022 to study the composition of species, quantitative distribution, dominant species, biodiversity, and community structure. A total of 52 macrozoobenthic species were identified during the quantitative intertidal survey, and crustaceans were the richest taxon (17 species). A total of 42 species were identified during the qualitative intertidal survey, and mollusks were the richest taxon (30 species). Overall, 39 macrozoobenthos species were identified in the subtidal zone, which was less than the number of species identified in the intertidal zone, and mollusks were the richest taxon (26 species). The average abundance and biomass of macrozoobenthos in the intertidal zone were 234 ind./m² and 82.82 g/m², respectively, and those in the subtidal zone were 180.20 ind./m² and 708.02 g/m², respectively. The average values of the diversity index (H'), richness index (D), and evenness index (J') of the macrozoobenthos in the intertidal zone were 1.187, 1.723, and 0.540, respectively. The mean values of H' , D , and J' in the subtidal zone were 1.301, 2.204, and 0.669, respectively, which were higher than those in the intertidal zone. *Hyale schmidtii*, *Gaetice depressus*, and *Pontogeneia littorea* were the dominant species in the intertidal zone. In contrast, the dominant species in the subtidal zone were *Mytilus coruscus*, *Hiatella orientalis*, and *Chlorostoma rustica*. The results of cluster and nonmetric multidimensional scaling analyses showed that macrozoobenthos could be classified into four and three communities in the intertidal and subtidal zones, respectively. Compared with the previous reports of the adjacent areas, the surveyed area had a moderate species number with average abundance and biomass.

(本文编辑: 谭雪静)