

北部湾北岸近海大型底栖动物群落结构与生态质量评价

曾鸿滨¹, 董建宇¹, 刘伟豪¹, 李北兴¹, 王学锋^{1,2}

(1.广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088; 2.广东省南海深远海渔业管理与捕捞工程技术研究中心, 广东 湛江 524088)

摘要:为探究中国北部湾北岸近海大型底栖动物群落特征, 评估其生态质量, 并为北部湾生态保护和管

理提供科学依据, 本研究于 2022 年秋季 (11 月) 在北部湾北岸近海布设 12 个站位进行大型底栖动物调查。本次调查共鉴定出大型底栖动物 30 种, 其中, 多毛类种类最多, 为 12 种, 其次为软体动物 (8 种) 和甲壳类 (6 种), 棘皮动物和其他类群种类较少。大型底栖动物的平均丰度和生物量分别为 148 ind./m² 和 135.04 g/m²。丰度组成以多毛类和软体动物占优势, 生物量以软体动物占绝对优势。总体上近岸的丰度和生物量均大于远岸。优势种为粗帝汶蛤 (*Timoclea scabra*)、奇异稚齿虫 (*Paraprionospio pinnata*) 和双鳃内卷齿蚕 (*Aglaophamus dibranchis*)。非度量多维度尺度分析 (nMDS) 与群落聚类分析结果一致显示, 研究区域内大型底栖动物群落可划分为 3 个亚群。丰度/生物量比较曲线 (abundance-biomass comparison curves, ABC 曲线) 分析结果显示, 北部湾北岸近海大型底栖动物群落未受到扰动。海洋生物指数 (AZTI's marine biotic index, AMBI) 与多变量海洋生物指数 (multivariate AMBI, M-AMBI) 评估结果显示, 北部湾北岸近海整体底栖生态质量状况良好, 仅个别站点显示轻度扰动。本文初步研究了北部湾北岸近海大型底栖动物群落特征及其生态质量, 结果表明, 北部湾北岸近海大型底栖动物群落受扰动程度较低, 底栖生态质量整体处于良好状态。

关键词:大型底栖动物; 群落结构; AMBI 指数; ABC 曲线; 生态质量评价; 北部湾

中图分类号: Q958.8; X17 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2025)01-0026-09

Community structure of macrobenthos and ecological quality evaluation in the northern coastal areas of the Beibu Gulf

ZENG Hongbin¹, DONG Jianyu¹, LIU Weihao¹, LI Beixing¹, WANG Xuefeng^{1,2}

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Guangdong Provincial Far Sea Fisheries Management and Fishing Engineering Technical Research Center, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: The aim of this study is to explore the current structure of macrobenthos communities in the northern Beibu Gulf, evaluate the benthic ecological quality status of the northern Beibu Gulf, and provide scientific insights for the ecological conservation and management of the Beibu Gulf. In this study, the macrobenthos was sampled at 12 sites in the northern Beibu Gulf, in the autumn (November) of 2022. The species composition, abundance, biomass, and diversity indices of macrobenthos were analyzed. To assess ecological quality comprehensively and reveal the disturbance in the northern Beibu Gulf, three methods

收稿日期: 2023-09-27, 修订日期: 2024-01-08

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2022A1515110957); 国家自然科学基金项目 (42306159); 广东海洋大学科研启动经费资助项目 (060302022302); 中国-东盟海上合作基金项目 (12500101200021002); 广东海洋大学大学生创新训练项目 (CXXL2023001); 广东海洋大学本科生创新团队项目 (CCTD201803)

作者简介: 曾鸿滨 (2000-), 男, 广东惠州人, 硕士, 主要研究方向为海洋底栖生态学, E-mail: zenghongbin2000@126.com

通信作者: 董建宇, 讲师, 博士, 主要研究方向为海洋底栖生态学与生态健康评估, E-mail: dongjianyu@gdou.edu.cn

were used, including AZTI's marine biotic index (*AMBI*) and multivariate *AMBI* (*M-AMBI*) index, as well as the abundance-biomass comparison (ABC) curve analysis. A total of 30 species of macrobenthos were identified in the northern Beibu Gulf, primarily composed of annelids with 12 species, followed by mollusks (8 species) and arthropods (6 species), and fewer echinoderms and other species. The average abundance and biomass of macrobenthos were 148 ind./m² and 135.04 g/m², respectively. The abundance of macrobenthos was dominated by polychaetes and mollusks, while the biomass was overwhelmingly dominated by mollusks. Overall, both the abundance and biomass in the inshore areas were greater than those in the offshore areas. The dominant species were *Timoclea scabra*, *Paraprionospio pinnata*, and *Aglaophamus dibranchis*. The results of Cluster analysis and non-metric multidimensional scaling (nMDS) indicated that the macrobenthos communities could be divided into three sub-communities. The result of ABC curve analysis indicated that the macrobenthic community has not been disturbed. The results of the *AMBI* and *M-AMBI* indicated that almost all sites, except for one moderately disturbed site, have been slightly disturbed or undisturbed, suggesting that the benthic habitat quality status is good or high. In summary, the preliminary results of this study indicate the macrobenthos communities in the northern Beibu Gulf received relatively lower disturbances, and the overall ecological quality status in this area was good.

Key words: macrobenthos; community structure; *AMBI* index; ABC curve; ecological quality assessment; Beibu Gulf

近岸海域是海洋生物的重要栖息地, 具有极高的生态价值^[1], 并且其离岸较近, 易受到人类活动的干扰, 因此, 近岸海域也是脆弱的生态系统之一^[2]。北部湾位于我国南海的西北部, 是典型的半封闭式亚热带海湾^[3]。北部湾资源丰富, 环境容量较大, 区位优势明显, 经济地位十分重要^[4]。随着环北部湾周边城市的经济发展, 航运、捕捞、海上油气田开发等人类活动日益增强, 其海洋生态系统受到的扰动也在逐渐增加, 这可能会造成海洋生态质量的下降。大型底栖动物是海洋生物的重要组成部分, 对海洋生态系统物质循环、能量流动有积极作用, 在海洋生态系统中扮演着非常重要的角色^[5]。同时, 大部分大型底栖动物生活在海洋底部的沉积物中, 活动范围较小, 并且对周围环境的扰动较为敏感, 能够对多种胁迫条件产生快速响应, 因此, 大型底栖动物及其群落演变被广泛认为是反映环境变化和指示底栖生态质量状况的良好生物指标^[6-7]。

目前基于大型底栖动物已经建立了多种评估底栖生态质量及其群落受扰动程度的方法, 如海洋生物指数(AZTI's marine biotic index, *AMBI*)、多变量海洋生物指数(multivariate *AMBI*, *M-AMBI*)以及丰度/生物量比较曲线(abundance-biomass comparison curves, ABC曲线)等, 这些方法已经成为评估和监测海洋污染对生态环境影响的重

要工具^[8-9]。*AMBI*与*M-AMBI*作为评估生态质量的指数已被广泛应用于我国海域, 并取得了不错的结果, 如长江口海域^[10]、黄河三角洲^[11]、莱州湾等^[12-13]。*M-AMBI*指数是*AMBI*指数的多变量扩展, 它可以结合多样性指数、丰富度以及*AMBI*指数, 并将其整合, 通过多变量因子的分析方法来对生态质量状况进行评估^[14]。ABC曲线能有效反映底栖动物群落受扰动程度。当生物量优势度累计百分比曲线位于丰度优势度累计百分比曲线之上时, 表明群落未受干扰或受轻微干扰; 当两条曲线出现相交时, 表明群落受到中等程度干扰; 当生物量优势度累计百分比曲线位于丰度优势度累计百分比曲线之下时, 表明群落受到严重干扰^[15]。

目前, 国内对于北部湾大型底栖动物研究报道较少, 仅限于特定范围(如北仑河口^[16])或单一底栖动物类群(如贝类^[17]和多毛类^[18]等)以及潮间带或红树林区域^[19-21]。因此, 在较大范围内对北部湾北部近海大型底栖动物进行调查, 分析其多样性、群落结构特征、生境状况显得尤为重要。本研究聚焦北部湾北部海域大型底栖动物, 旨在揭示其群落组成、结构和多样性, 并运用3种不同的评估方法综合评估其生态质量状况和受扰动程度, 以为北部湾海洋生态保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

北部湾(105°40'E—110°00'E, 17°00'N—21°30'N)位于南海西北部,东临雷州半岛和海南岛,北为广西壮族自治区,西为越南,南边以海南岛莺歌嘴与越南来角之间连线海域为界。本研究区域位于北部湾东北部近岸海域(图1),研究区域内水深范围为5.7~25.0 m,共设12个站位。

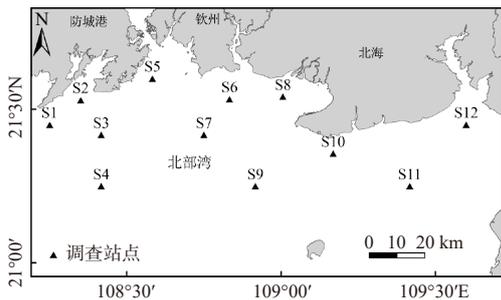


图1 北部湾大型底栖动物采样站位

Fig. 1 Sampling sites of macrobenthos in the Beibu Gulf

1.2 样品采集与处理

2022年秋季(11月),于北部湾北部近岸海域布设12个站位,根据《海洋调查规范》(GB/T 12763.6—2007)执行,使用抓斗式采泥器采集海底沉积物,每个站位采样两次,采样面积共为0.1 m²。将生物样品淘洗后使用0.5 mm孔径的圆形网筛进行过滤挑选,挑拣全部生物个体作为1个定量样品,用75%酒精溶液固定保存,采样结束后在实验室内对其进行分类鉴定、计数与称重。

1.3 物种多样性与优势种

大型底栖动物物种多样性以Shannon-Wiener多样性指数(H')、Simpson丰富度指数(D)和Pielou均匀度指数(J)表示,具体计算公式如下。

Shannon-Wiener多样性指数(H'):

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

Simpson丰富度指数(D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2)$$

Pielou均匀度指数(J):

$$J = H' / \log_2 S \quad (3)$$

式中: S 为总种类数; P_i 为第*i*个种的个体数占样品总个体数的比例。

大型底栖动物的优势度以优度指数(Y)衡量,将 $Y > 0.02$ 的种类定义为优势种,计算公式如下:

$$Y = (n_i / N) \times f_i \quad (4)$$

式中: n_i 为第*i*种的个体数; f_i 为该物种出现的频率; N 为所有种类的个体数。

1.4 AMBI指数与M-AMBI指数

根据大型底栖动物对于环境响应的不同敏感性,可以将其分为5个不同的生态类群^[12-13,22]。

AMBI指数的计算公式如下:

$$AMBI = (0 \times EG_i) + (1.5 \times EG_{ii}) + (3 \times EG_{iii}) + (4.5 \times EG_{iv}) + (6 \times EG_v) \quad (5)$$

式中: EG_i (sensitive species)、 EG_{ii} (indifferent species)、 EG_{iii} (tolerant species)、 EG_{iv} (second-order opportunistic species)、 EG_v (first-order opportunistic species)为某一群落中第*i*个AMBI组的比例。

参照欧盟对生态环境质量的规定,AMBI指数范围为0~7,当AMBI为0~1.2时,表明其未受扰动,生态质量状况优良;当AMBI指数为1.2~3.3时,表示受轻微扰动,生态质量状况良好;当AMBI为3.3~4.3时,表示受中度扰动,生态质量状况中等;当AMBI为4.3~5.5时,表示受严重扰动,生态质量状况较差;当AMBI为5.5~7.0时,表示受极度扰动,生态质量状况差^[23]。

构建M-AMBI指数需要设置底栖生态质量的参考条件,考虑到采样站位离岸较近且北部湾受人类活动等的扰动较为频繁,现有采样站位可能受到了不同程度的扰动,并不适合作为参考点。因此,本研究参考先前研究中将研究区域多样性指数和丰富度指数的最大值增加15%作为参考条件的方法一般做法^[12-13,24]。M-AMBI指数范围为0~1,当M-AMBI指数为0.77~1.00时,表示其生境状况优良;当M-AMBI指数为0.53~0.77时,表示其生境状况良好;当M-AMBI指数为0.39~0.53时,表示其生境状况中等;当M-AMBI指数为0.20~0.39时,表示其生境状况较差;当M-AMBI指数为0~0.20时,表示其生境状况差^[25]。

1.5 ABC 曲线分析

利用 ABC 曲线法对北部湾北岸近海大型底栖动物群落受扰动情况进行分析。ABC 曲线中的 W 值 (W -statistic) 可以作为统计量, 范围为 $-1 \sim 1$; 当 W 值大于 0 时, 表明大型底栖动物的丰度均匀但生物量由单一物种占优势; 当 W 值小于 0 时则结果相反^[22]。 W 统计量公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)} \quad (6)$$

式中: S 为出现的种类数; B_i 和 A_i 分别为第 i 种对应的生物量和丰度^[26-27]。

1.6 聚类分析与 nMDS 分析

采用 PRIMER7 软件对大型底栖动物群落基于 Bray-Curtis 距离进行相似性聚类分析和非度量多维尺度(nMDS)分析, 为了降低个别种类在生物量上权重过高, 对原始数据作平方根转换。

1.7 数据统计

使用 ArcMap 10.8 软件制作站位图。使用 AMBI (ver.6.0) 软件(<http://ambi.azti.es/>)计算 AMBI 指数与 M -AMBI 指数, 底栖生物生态组划分参照 AMBI 软件 2022 年 6 月最新发布的物种名录。其他图形使用 R 4.2.1 中的“ggplot2”包绘制。

2 结果与讨论

2.1 种类组成、丰度与生物量

本次调查共记录大型底栖动物 30 种, 隶属于 6 门 8 纲 14 目 26 科, 其中多毛类最多, 共 13 种 (占 43.3%), 其次为软体动物 8 种 (占 26.7%), 甲壳类 6 种 (占 20.0%), 棘皮动物 1 种 (占 3.33%), 其他类 2 种 (占 6.67%)。本次调查各站位大型底栖动物种类偏少, 平均为 3 种, 各站位大型底栖动物种类组成如图 2 所示。

北部湾北部海域大型底栖动物平均丰度为 148 ind./m^2 , 丰度组成以多毛类和软体动物共占优势; 平均生物量为 135.04 g/m^2 , 生物量组成以软体动物占绝对优势。各站位中丰度最高的为 S6 站位 (510 ind./m^2), 最低的为 S9 站位 (30 ind./m^2)。S7 站位的生物量最高, 为 1009.34 g/m^2 ; 最低的为 S9 站位, 仅 1.96 g/m^2 。总体上, 近岸丰度和生物量明显高于远岸 (图 3 和图 4)。

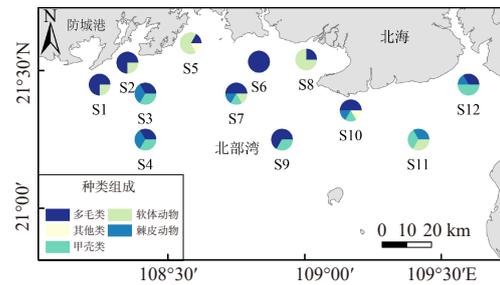


图 2 北部湾北岸近海大型底栖动物种类组成分布

Fig. 2 Species composition and distribution of macrobenthos in north coastal area of the Beibu Gulf

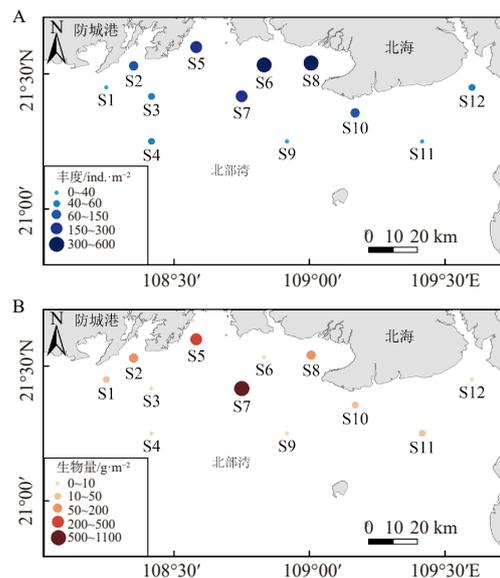


图 3 北部湾大型底栖动物丰度(A)和生物量(B)

Fig. 3 Abundance (A) and biomass (B) of macrobenthos in the Beibu Gulf

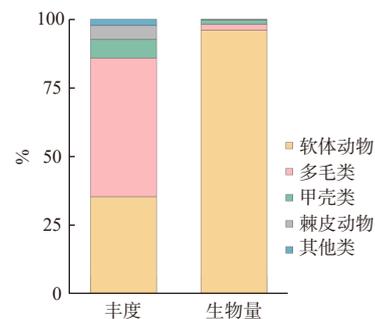


图 4 北部湾大型底栖动物不同生物类群丰度及生物量组成

Fig. 4 Abundance and biomass of different groups of macrobenthos in the Beibu Gulf

2.2 物种多样性与优势种

北部湾秋季(11月)12个站位的多样性指数(H')区间为0.63~2.58,均值为 1.67 ± 0.57 ,其中站点S12的多样性指数最高(2.58),站点S8的多样性指数最低(0.63)。均匀度指数(J)区间为0.27~1.00,均值为 0.80 ± 0.23 。丰富度指数(D)区间为0.18~0.83,均值为 0.60 ± 0.19 。

优势度指数 Y 值大于0.02的优势种见表1。本研究中北部湾北岸近海大型底栖动物优势种有3种,分别是粗帝汶蛤(*Timoclea scabra*)、奇异稚齿虫(*Paraprionospio pinnata*)和双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*),其生态分组分别为 EG_i 、 EG_{iv} 和 EG_i 。在优势种中环节动物占比为66.67%,环节动物相较于软体动物和节肢动物一般表现出更高的耐受性^[22],它们在污染程度较高的区域仍能保持较高的丰度和丰富度,且多毛类对于有机质富集和重金属污染等负面影响具有一定的抵抗能力^[28-30]。3种优势物种中两种属于敏感种,且敏感种——双鳃内卷齿蚕的出现频率为50%,这暗示着该海域受到扰动较小,生态质量处于较稳定状态。本研究中的另一优势物种——奇异稚齿虫属于二阶机会种,喜栖于有机质含量较高区域^[31],这暗示北部湾北部近岸海域可能面临沉积物有机质含量升高风险。人类活动加剧导致的有机质不断输入,可能会给以奇异稚齿虫为代表的机会种创造适宜的生存环境,促使其大量繁殖,并进一步影响该海域的生态质量状况^[32]。在历史调查中,奇异稚齿虫并未成为优势种^[18],如今成为优势种,表明北部湾北部海域大型底栖动物群落种类组成和结构发生了一定程度的变化,而这种变化主要与北部湾北部海域受到的外源扰动有关。双鳃内卷齿蚕在北部湾北部海域生态系统中仍保持着优势地位,表明北

表1 北部湾大型底栖动物优势种

Tab.1 Dominant species of macrobenthos in the Beibu Gulf

优势种	优势度(Y)	出现频率/(%)	生态分组
粗帝汶蛤 <i>Timoclea scabra</i>	0.0345	16.7	EG_i
奇异稚齿虫 <i>Paraprionospio pinnata</i>	0.0447	16.7	EG_{iv}
双鳃内卷齿蚕 <i>Aglaophamus dibranchis</i>	0.0531	50.0	EG_i

部湾北部海域的生境状况虽可能有所变化,但北部湾北部海域的整体生态状况仍保持在一个相对良好的状态。

2.3 群落结构

基于Bray-Curtis距离的大型底栖动物群落均值法聚类分析及nMDS排序分析发现,北部湾北岸近海的大型底栖动物群落可以分为3个亚群落(图5)。聚类结果显示(图5A),当相似度大于9.96%时,这些群落开始分离。其中在相似度大于13.23%时,S1—S6站点聚为一支(A群);当相似度大于15.53%时,S7、S9—S12聚为一支(B群),而S8站点则为独立的一支(C群)。

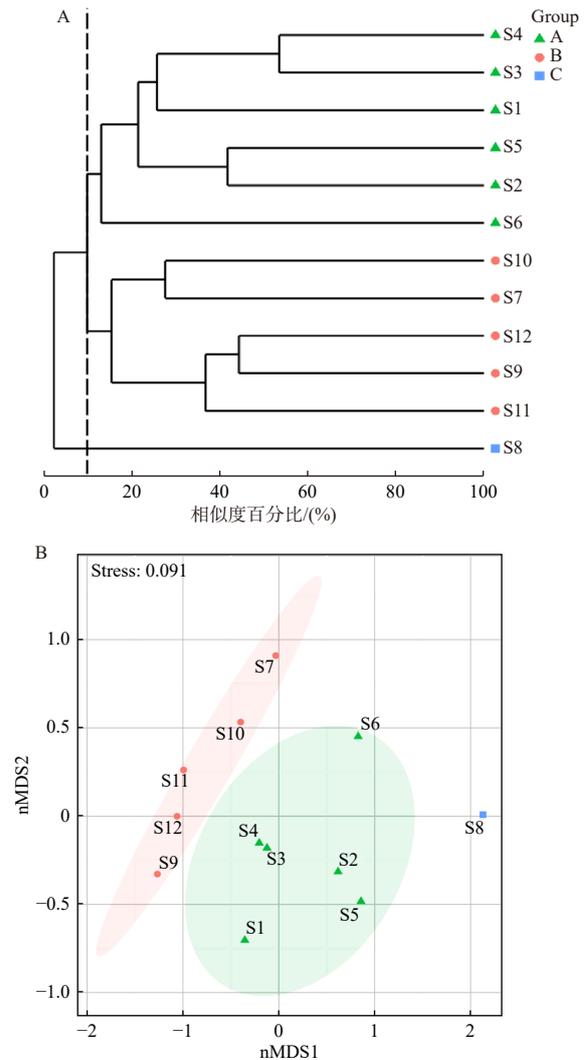


图5 北部湾大型底栖动物群落 Bray-Curtis 聚类(A)和 nMDS 排序分析(B)

Fig. 5 Bray-Curtis clusters (A) and nMDS (B) of macrobenthos communities in Beibu Gulf

nMDS 排序分析的 stress 值为 0.091, 低于 0.2 的标准, 表明这一分类结果拥有很好的拟合度 (图 5B)。

群落 A 主要分布在靠近防城港市和钦州市的区域, 物种丰度以多毛类占主导; 群落 B 位于靠近北海市的区域, 各种类的丰度较为均匀; 而群落 C 主要由软体动物构成, 独立分布在廉州湾内的 S8 站位。这些群落的形成和分布特征可能与各自所处的地理位置和环境条件相关。例如, 群落 A 和 B 所处的海域平均水深超过 12 m, 而群落 C 所处的海域水深仅为 5.7 m, 这种水深变化可能直接影响底层水体的水温、光照和溶氧等条件, 进而影响大型底栖动物的分布和多样性。群落 A 所处的海域由于靠近港口区域, 频繁的船只来往可能对其生态环境造成较大影响; 而群落 B 和 C 所处的海域临近北海市的滨海旅游区, 受到的人类旅游活动影响也相对较大。这些外源压力扰动可能是导致北部湾北部近岸海域大型底栖动物群落结构差异的重要原因。

2.4 ABC 曲线结果

大型底栖动物丰度和生物量之间的关系可以在一定程度上反映环境质量^[33]。本次研究的 ABC 曲线趋势如图 6 所示, 丰度曲线一直位于生物量曲线之下并且远离, 这表明总体上大型底栖动物群落未受到扰动, 且 W 值 (0.257) 大于 0 也支持这一结果。

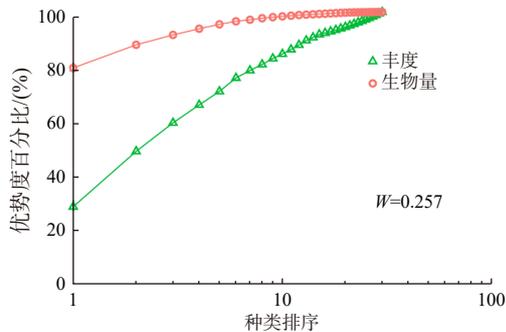


图 6 北部湾秋季大型底栖动物的 ABC 曲线

Fig. 6 ABC curves of macrobenthos in autumn in the Beibu Gulf

2.5 AMBI 与 M-AMBI 指数

在本研究采集到的大型底栖动物中, 除了中国小铃螺 (*Minolia chinensis*) 未分配生态组外, 其余物种 (占总物种数 96.67%) 均具有明确的生态

组归属。在 AMBI 丰富度生态组占比与丰度生态组占比中, S3 与 S11 站位的物种生态分组 EG_i 占比为 100% (图 7A)。在 AMBI 丰富度生态组占比中, 具有 3 个生态分组的站位占比为 58.33%, 仅具有两个生态分组的站位占比为 16.67%, 而具有 4 个生态分组的仅为一个站位 (8.33%)。就丰富度而言, 除 S6、S7、S12 站位外, 其余站位大型底栖动物均以生态分组 EG_i 占优势, 而站位 S6 和 S7 则以生态分组 EG_{iii} 占主要优势 (占比均为 50.00%)。在 AMBI 丰度生态组占比中, 站位 S6 以生态分组 EG_{iv} 占比最大 (90.20%), 站位 S7 以生态分组 EG_{iii} 占比最大 (72.22%), 站位 S10 和 S12 以生态分组 EG_{ii} 占比最大, 占比分别为 45.46% 与 50.00%, 而其余 8 个站位均以生态分组 EG_i 占比最大 (图 7B)。

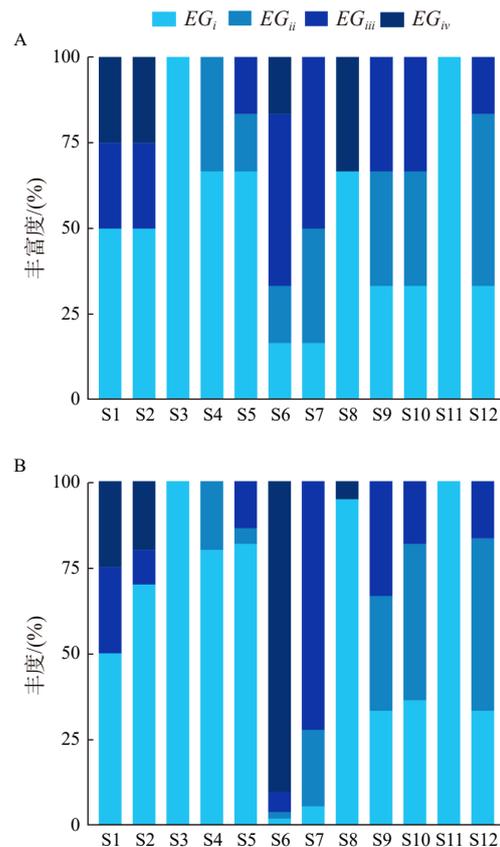


图 7 北部湾大型底栖动物生态功能组丰富度 (A) 和丰度 (B) 占比

Fig. 7 The richness (A) and abundance (B) of ecological functional groups of macrobenthos in Beibu Gulf

北部湾北部海域各站位 AMBI 指数为 0 ~ 4.26 (图 8A), 其中 6 个站位 (占总站位 50%) 的

AMBI 值小于 1.2, 表明其底栖生态质量状况处于未受到扰动状态; 5 个站位 (41.67%) 的 *AMBI* 值为 1.2 ~ 3.3, 表明底栖生态质量处于轻度扰动状态; 仅 1 个站位 (8.33%) 的 *AMBI* 值为 3.3 ~ 5.0, 表明其底栖生态质量处于中度扰动状态 (图 8A)。北部湾北部海域各站位 *M-AMBI* 指数为 0.49 ~ 0.89 (图 8B), 其中 S6 站位的 *M-AMBI* 指数最低 (0.49), 为 0.39 ~ 0.53, 表明其底栖生境处于中等状态; 其余 11 个站位 (91.67%) 皆大于 0.53, 表明其生态质量良好或优良 (表 2)。

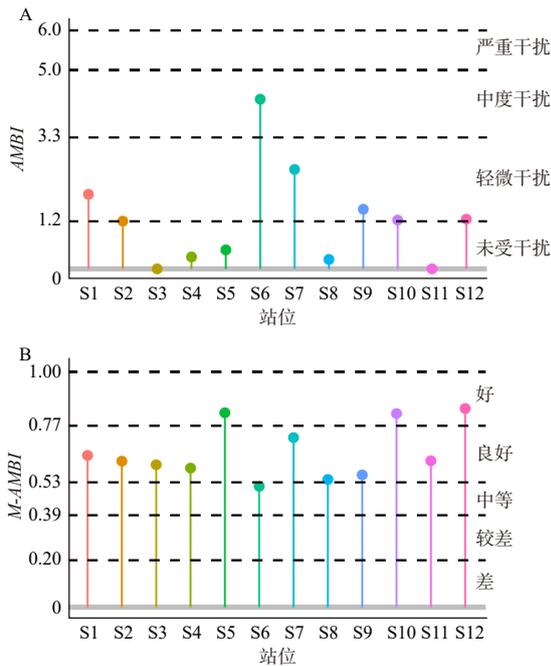


图 8 北部湾不同站位 *AMBI* 和 *M-AMBI* 指数

Fig. 8 *AMBI* and *M-AMBI* indices of different stations in Beibu Gulf

当前对于北部湾环境状况的调查研究已有许多, 例如, 李萍等^[34]利用海水水质监测数据, 应用单因子法、有机污染指数和富营养化指数法对其研究海域海水质量进行评价分析, 该文中提及北部湾近岸海域出现富营养化的站位普遍位于湾内及与江河汇合的入海口附近, 如大江风口等, 表明其受到人类活动扰动的影响, 这与本研究的结果基本一致。然而, 仅依靠环境因子进行评估得到的结果可能会产生一定的偏差, 其中一个重要的原因是环境因子一般只能反映较短一段时间或者瞬时的生态质量; 基于底栖生物群落的生物指数方法则能够反映相对较长时间段

表 2 各站位 *AMBI* 和 *M-AMBI* 指数

Tab.2 Results of *AMBI* and *M-AMBI* for each station

站号	<i>AMBI</i>	受干扰程度	<i>M-AMBI</i>	底栖生态质量
S1	1.88	轻度干扰	0.68	良好
S2	1.20	未受干扰	0.65	良好
S3	0.00	未受干扰	0.63	良好
S4	0.30	未受干扰	0.62	良好
S5	0.48	未受干扰	0.87	好
S6	4.26	中度干扰	0.49	中等
S7	2.50	轻微干扰	0.76	良好
S8	0.24	未受干扰	0.58	良好
S9	1.50	轻微干扰	0.59	良好
S10	1.23	轻微干扰	0.87	好
S11	0.00	未受干扰	0.65	良好
S12	1.25	轻微干扰	0.89	好

内的生态质量变化, 因此评估结果更接近生态质量的真实状态。*AMBI* 和 *M-AMBI* 指数已经被证明能反映人为压力和环境压力对底栖动物群落的影响, 并且被认为是能够科学评估水域底栖生境健康状况的可靠指标^[35]。长江口及邻近海域的研究结果表明其底栖生境受到轻微扰动, 并且 *M-AMBI* 指数的值呈现近岸低于远岸的趋势, 表明距离河口越近生态质量越低^[10]。本研究中的 *AMBI* 和 *M-AMBI* 指数并未呈现离岸远近的变化趋势, 这可能与长江口整体人类活动压力较大并且受到长江冲淡水影响较大有关。莱州湾三山岛近岸海域研究显示其底栖生境整体受扰动程度轻微, 生态质量整体处于良好状态, *AMBI* 指数范围为 0.50 ~ 3.75, 均值为 1.60, *M-AMBI* 指数范围为 0.42 ~ 0.85, 均值为 0.64^[12]。本研究中的 *AMBI* 指数范围为 0 ~ 4.26, 均值为 1.24, *M-AMBI* 指数范围为 0.49 ~ 0.89, 均值为 0.69, 结果与之相近。这表明本研究海域整体受到的扰动较为轻微, 底栖生态质量良好, 但是有一个站位 (S6) 的评估结果显示其处于中等扰动状态。该站位处于大风江口, 大风江上游以及周边人类活动产生的有机质随大风江流入附近海域, 可能会造成沉积物有机质堆积, 导致该站点机会种增加, 而当机会种以高丰度和高出现率存在时会使该站点的生态质量评价变差^[36]。*M-AMBI* 指数评估结果与 *AMBI* 指数结果一致, 同

样显示该海域的生态质量状况处于良好状态。

评估海洋生态质量状况及其演变往往需要长时间的数据积累, 本研究仅基于一个航次 12 个站位的调查结果, 不排除得出的结论存在些许偏差, 所得结果只是对北部湾北岸近海大型底栖动物群落结构及生态质量的初步评价。为进一步深入研究揭示北部湾北部海域大型底栖动物群落结构特征及其受扰动程度, 更加准确地评估北部湾的生态质量状况, 为北部湾海域生态的保护提供科学决策依据, 需要开展长期的连续观测, 并扩大采样空间范围和加强对外源压力因子的全面调查, 以便可以制定更加有效的保护措施, 促进北部湾海域海洋生态的健康发展。

3 结论

(1) 北部湾北部海域大型底栖动物以多毛类为主, 其次为软体动物和甲壳类等。大型底栖动物的平均丰度为 148 ind./m², 生物量为 135.04 g/m²; 优势种为粗帝汶蛤 (*Timoclea scabra*)、奇异稚齿虫 (*Paraprionospio pinnata*) 和双鳃内卷齿蚕 (*Aglaophamus dibranhis*); 多样性指数 (H') 范围为 0.63 ~ 2.58, 丰富度指数 (D) 范围为 0.18 ~ 0.83, 均匀度指数 (J) 范围为 0.27 ~ 1.00。

(2) 北部湾北部海域大型底栖动物可划分为 3 个亚群落, 分别是以多毛类动物为主的群落、以软体动物为主的群落以及一个没有明显优势类群的群落, 在一定程度上反映了不同外界扰动压力的影响。

(3) *AMBI* 和 *M-AMBI* 指数结果表明, 北部湾北部海域底栖生态质量整体处于良好或优良状态, 仅一个站位受中等程度扰动。

参考文献:

- [1] 蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 等. 长江口海域底栖生态环境质量评价——*AMBI*和*M-AMBI*法[J]. 环境科学, 2013, 34(5): 1725-1734.
- [2] HOSSAIN S, GAIN A K, ROGERS K G. Sustainable coastal social-ecological systems: how do we define “coastal”?[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(7): 577-582.
- [3] 鲍虞园, 李银康, 林吴颖, 等. 中国南海北部近海资源调查及北部湾潮间带中华鲎幼鲎潜在栖息地评估[J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 22407.
- [4] 褚梦迪, 耿春晓, 陆洋, 等. 北部湾冬季潮间带小型底栖动物群落结构和自由生活海洋线虫多样性研究[J]. 聊城大学学报(自然科学版), 2022, 35(2): 89-97.
- [5] 周伟男, 孙省利, 李荣冠, 等. 湛江湾大型底栖动物的群落结构和多样性特征[J]. 广东海洋大学学报, 2013, 33(1): 1-8.
- [6] PANDEY V, JHA D K, KUMAR P S, et al. Effect of multiple stressors on the functional traits of sub-tidal macrobenthic fauna: a case study of the southeast coast of India[J]. Marine Pollution Bulletin, 2022, 175: 113355.
- [7] 唐娅菲, 王金辉, 程宏, 等. 宁德东部海域大型底栖动物生态环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(2): 278-285,302.
- [8] 罗先香, 杨建强. 海洋生态系统健康评价的底栖生物指数法研究进展[J]. 海洋通报, 2009, 28(3): 106-112.
- [9] DONG J Y, WANG X F, ZHANG X M, et al. Integrating multiple indices based on heavy metals and macrobenthos to evaluate the benthic ecological quality status of Laoshan Bay, Shandong Peninsula, China[J]. Ecological Indicators, 2023, 153: 110367.
- [10] YAN J, SUI J X, XU Y, et al. Assessment of the benthic ecological status in adjacent areas of the Yangtze River Estuary, China, using *AMBI*, *M-AMBI* and *BOPA* biotic indices[J]. Marine Pollution Bulletin, 2020, 153: 111020.
- [11] LI B Q, LI X J, BOUMA T J, et al. Analysis of macrobenthic assemblages and ecological health of Yellow River Delta, China, using *AMBI* & *M-AMBI* assessment method[J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 119(2): 23-32.
- [12] DONG J Y, SUN X, ZHANG Y Y, et al. Assessing benthic habitat ecological quality using four benthic indices in the coastal waters of Sanshanda, Laizhou Bay, China[J]. Ecological Indicators, 2021, 129: 107980.
- [13] DONG J Y, WANG X F, BIDEGAIN G, et al. Assessment of the benthic ecological quality status (*EcoQs*) of Laizhou Bay (China) with an integrated *AMBI*, *M-AMBI*, *BENTIX*, *BO2A* and feeding evenness index[J]. Ecological Indicators, 2023, 153: 110456.
- [14] MUXIKA I, BORJA A, BALD J. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive[J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 55(1/2/3/4/5/6): 16-29.
- [15] 田胜艳, 于子山, 刘晓收, 等. 丰度/生物量比较曲线法监测大型底栖动物群落受污染扰动的研究[J]. 海洋通报, 2006, 25(1): 92-96.
- [16] 田伟. 东海中部椒江口海域与北部湾北仑河口海域大型底栖动物群落结构的比较研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.

- [17] 黄雯, 温铮, 胡利莎, 等. 北部湾涠洲岛珊瑚礁底栖贝类的群落特征[J]. 海洋学报, 2020, 42(6): 62-69.
- [18] 王海博. 北部湾底栖多毛类种类组成与分布[D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
- [19] 李永强. 北部湾(广西段)潮间带大型底栖动物的调查研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2011.
- [20] 刘士龙, 秦旭东, 王广军, 等. 2017年夏季北海市冯家江入海口红树林潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[J]. 湿地科学, 2019, 17(3): 352-358.
- [21] 甄文全, 张金凤, 杨明柳, 等. 利用潮间带大型底栖动物群落评估茅尾海生态环境质量[J]. 动物学杂志, 2023, 58(3): 390-401.
- [22] BORJA A, FRANCO J, PÉREZ V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments[J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(12): 1100-1114.
- [23] BORJA A, TUNBERG B G. Assessing benthic health in stressed subtropical estuaries, eastern Florida, USA using AMBI and M-AMBI[J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 295-303.
- [24] 蔡文倩, 刘录三, 孟伟, 等. AMBI方法评价环渤海潮间带底栖生态质量的适用性[J]. 环境科学学报, 2012, 32(4): 992-1000.
- [25] BORJA A, DAUER D M, GRÉMARE A. The importance of setting targets and reference conditions in assessing marine ecosystem quality[J]. Ecological Indicators, 2012, 12(1): 1-7.
- [26] 李北兴, 黎傲雪, 董建宇, 等. 湛江湾潮间带大型底栖动物的群落结构及其受干扰程度[J]. 南方水产科学, 2023, 19(2): 12-20.
- [27] 卢占晖, 朱文斌, 徐开达, 等. 浙江沿岸海域螺贝类群落结构及其季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(1): 276-285.
- [28] DONG J Y, ZHAO L L, SUN X, et al. Response of macrobenthic communities to heavy metal pollution in Laoshan Bay, China: a trait-based method[J]. Marine Pollution Bulletin, 2021, 167: 112292.
- [29] 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.
- [30] HU C Y, DONG J Y, GAO L J, et al. Macrobenthos functional trait responses to heavy metal pollution gradients in a temperate lagoon[J]. Environmental Pollution, 2019, 253: 1107-1116.
- [31] 徐华林, 金亮, 蔡立哲, 等. 深圳湾福田红树林潮滩奇异稚齿虫的富有机质效应[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 437-439, 444.
- [32] 贾海波, 曹柳燕, 柴小平. 2016-2019年夏季长江口海域大型底栖动物群落结构的变化及其原因分析[J]. 海洋环境科学, 2022, 41(2): 180-186.
- [33] 梁静香, 周永东, 王忠明, 等. 三门湾大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2020, 31(9): 3187-3193.
- [34] 李萍, 莫海连, 郭钊. 2016年北部湾近岸海域海水环境质量评价[J]. 海洋湖沼通报, 2019, 41(1): 54-64.
- [35] 纪莹璐, 王尽文, 宿凯, 等. 胶州湾口大型底栖动物群落结构及底栖生境健康状况[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(5): 1-10.
- [36] 刘欣禹, 沙婧婧, 刘一霆, 等. 荣成近海潮下带海域大型底栖动物生态特征[J]. 海洋湖沼通报, 2023, 45(4): 112-121.

(本文编辑: 胡莹莹)