

钦州湾外湾东北部近岸区域大型底栖动物群落特征*

Characteristics of Macrobenthic Animal Communities in Northeastern Nearshore Area of Outside Bay of Qinzhou

许铭本,姜发军,赖俊翔,张荣灿,雷 富

XU Ming-ben,JIANG Fa-jun,LAI Jun-xiang,ZHANG Rong-can,LEI Fu

(广西科学院 广西近海海洋环境科学重点实验室,广西南宁 530007)

(Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Science, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:【目的】研究钦州湾外湾东北部近岸区域大型底栖动物群落结构,判断其受环境干扰的程度,并分析其多样性指数与环境因子之间的相关性。【方法】2010年6月和12月,采用拖网法进行底栖生物样品采集。使用PRIMER和SPSS软件对调查所得数据进行分析。【结果】共采集到大型底栖动物种类148种,其中软体动物57种,节肢动物42种,底栖鱼类20种,其他动物共29种。【结论】调查区域大型底栖动物夏季可划分为3个群落,冬季可划分为2个群落。夏季多样性好于冬季,但冬季各站之间多样性变化范围较小。有少数站位受到中度干扰,个别站位受到稍微干扰。夏季大型底栖动物种类数与悬浮物含量呈显著负相关,生物量、丰度、种类数均与沉积物中的油类含量呈显著负相关,均匀度与沉积物中值粒径呈显著负相关,丰度与沉积物的中值粒径呈显著正相关,Shannon-Wiener指数与沉积物中的粘土含量呈显著正相关;冬季种类数与水体中的盐度、pH值、溶解氧呈显著正相关,与水质中的油类含量呈显著负相关,丰富度指数与溶解氧呈显著正相关。

关键词:钦州湾 大型底栖动物 群落结构 ABC曲线 多样性

中图分类号:Q178.532 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2014)04-0389-07

Abstract:【Objective】The community structure on macrobenthic animals was analyzed, in northeastern nearshore area of outside bay of Qinzhou, in order to determine whether the communities were affected, and to find out the relationship between diversity indices of macrobenthos and environmental factors. 【Methods】Trawl surveys were carried out in Jun. and Dec. 2010. The survey data were analyzed by using the PIMER and SPSS software. 【Results】148 species were collected altogether, including 57 species of Mollusca, 42 species of Arthropod and 20 species of demersal fishes. 【Conclusion】The analysis showed that the macrobenthic communities can be divided into three groups in summer, and two groups in winter. The bio-diversity was better in summer than in winter. The abundance-biomass curve analysis showed that a few of the station's macrobenthos were affected modestly, and few was affected seriously. Pearson correlation analysis showed that biomass, abundance and number of species all had significant negative correlation with oil concentration in sediment in summer; the abundance also had significant

positive correlation with the median diameter of sediment; Shannon-Wiener index had significant positive correlation with the percentage of clay in sediment. In winter, number of species had significant positive correlation with salinity, pH and DO, and also had significant negative correlation with oil concentration in water. The abundance

收稿日期:2014-03-15

修回日期:2014-04-05

作者简介:许铭本(1983-),男,工程师,主要从事海洋环境研究。

*广西科技攻关项目(桂科攻1355007-12),广西科学院基本业务费项目(编号:11YJ24HY02),广西科学院科技创新项目(编号:2010HY001)资助。

index had significant positive correlation with DO in water.

Key words: Qinzhou Bay, macrobenthos, community structure, ABC curve, diversity

【研究意义】近年来,随着广西北部湾经济区建设的推进,钦州市加大了海洋的开发利用力度,在金鼓沙—大榄坪—三墩海域进行了大面积的填海,以确保钦州保税港区、钦州港大榄坪物流加工区等区域建设。海洋开发特别是填海过程难免会对海洋生态环境产生影响,而底栖动物作为重要的环境指示生物,在海洋生态系统的能量流动和物质循环中起着很重要的作用^[1]。对大型底栖动物群落的研究,是海洋生态环境的研究重要部分,对于环境资源和合理开发具有重要的指导意义^[2]。**【前人研究进展】**王宗兴等^[3]发现,钦州湾底栖动物群落处于较稳定状态,但局部受到轻微程度污染扰动,并认为这种趋势说明对该海域还需要长期的动态观测和深入研究,并采取必要的措施才能使该海域的底栖动物生态系统得以持续健康的发展。王迪等^[4]则认为,由于生态环境变化引起该海域大型底栖动物种类更替和群落趋于简单化。**【本研究切入点】**目前对于钦州湾海域的大型底栖动物研究较少,或者研究区域距离围填海工程区较远,而且集中关注的是底栖动物的生物量、丰度和生物多样性,缺乏对群落结构方面的研究。**【拟解决的关键问题】**本文根据2010年在钦州湾围填海工程区附近的调查结果研究该区域大型底栖动物的群落结构特征,并结合相关的水质、沉积物调查结果,探讨大型底栖动物与环境因子之间的关联性。为掌握该海域的生态概况提供基础资料,同时也为海洋开发过程中的环境保护提供参考。

1 研究区域和方法

研究区域为钦州湾外湾,保税港区以及大榄坪至三墩公路附近。共进行了2个航次的调查,调查时间分别为2010年夏季(6月27日)和冬季(12月12日)。其中夏季航次设6个调查站位(A1~A6),冬季航次在夏季的基础上增加了簕沟口(A7)金鼓江口(A8)两个站位(图1,表1)。采用拖网法进行样品采样,采样工具为阿氏拖网,所采得样品经底层筛为0.5mm网目的套筛冲洗,再用5%福尔马林溶液固定,带回实验室后进行种类鉴定、个体计数和生物量计算。样品的采集、处理、保存、计数、称重等均按GB/T12763.6—2007海洋调查规范^[5]的海洋生物调查方法进行。

采用统计软件PRIMER v5对大型底栖动物群落结构进行分析^[6,7]。群落的划分采用Bray-Curtis

相似性系数聚类分析和多维排序尺度(MDS)分析相结合,聚类分析和多维排序尺度分析均在对种类丰度数据进行平方根转换以后进行。采用丰度-生物量比较法(ABC曲线法)分析群落的稳定性,探讨其受干扰程度^[8]。

采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener)(H')、种类均匀度指数(J')和种类的丰富度指数(D)进行生物多样性分析,并利用优势度指数(Y)判断群落的优势种。其中

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

$$J' = H' / \log_2 S,$$

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

$$Y = f_i(n_i / N).$$

式中: P_i 为测站第*i*种的丰度与样品丰度的比值, S 为测站样品的总种类数, N 样品的总个体数, n_i 为第*i*种的个体数, f_i 是该种在各站中出现的频率。

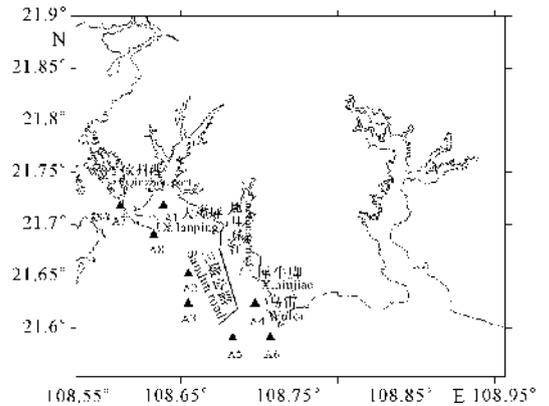


图1 采样站位

Fig. 1 Sampling stations

表1 各调查站水深

Table 1 Depth of stations

站号 Station	水深 Depth(m)	
	夏季 Summer	冬季 Winter
A1	3.0	6.0
A2	11.2	14.0
A3	11.0	13.5
A4	5.1	7.0
A5	5.2	10.0
A6	5.0	9.0
A7	—	9.0
A8	—	11.0

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物种类组成

夏季航次共采集到大型底栖动物 106 种。软体动物种类最多,达 40 种,其次为节肢动物,34 种,底栖鱼类 12 种,环节动物 10 种,其他动物 10 种。冬季航次共采集到大型底栖动物 70 种,软体动物种类最多,达 30 种,其次为节肢动物,14 种,底栖鱼类 10 种,多毛类 7 种,其他种类共 9 种。综合分析,两个航次共采集到大型底栖动物种类 148 种,其中软体动物 57 种,节肢动物 42 种,底栖鱼类 20 种,其他动物共 29 种。可见软体动物、节肢动物和底栖鱼类为该海域的主要组成类群。

根据 1983~1984 年钦州湾底栖动物调查资料^[9],钦州湾共有大型底栖动物 250 余种,其中甲壳类 76 种,软体动物 60 种,多毛类 35 种,棘皮动物 12 种,底栖鱼类 65 种。王迪等^[4]在该海域共采集到底栖动物 94 种,软体动物种类最多,其次为多毛类。王宗兴等^[3]2008 年秋季在该海域采集到底栖动物 58 种,多毛类种类最多,其次为软体动物。而本次调查共采集到大型底栖动物 148 种,种类数较 1983~1984 年调查有所减少。种类组成方面也有所变化,软体动物种类最多,其次为节肢动物(甲壳类),底栖鱼类位居第 3。种类数多于文献^[3,4]的调查结果,可能是由于采样方法不同所致,因本研究采用拖网法采样,而后者采用采泥器采样。

2.2 大型底栖动物数量

夏季航次大型底栖动物平均生物量为 1.76g/m²,平均丰度为 15.09 个/m²。软体动物生物量最高,占 48.1%;其次为节肢动物类,占 36.8%。节肢动物丰度最高,占 49.1%;其次为软体动物,占 27.5%。冬季航次大型底栖动物平均生物量为 0.41g/m²,平均丰度为 0.10 个/m²。棘皮动物生物量最高,占 43.8%;其次为软体动物,占 26.2%。棘皮动物丰度同样为最高,占 39.3%;其次为甲壳类,占 27.9%。

与以往调查结果对比发现,本次调查底栖动物的生物量和丰度值均较低。原因可能有以下 3 个方面:(1)调查方法不同,以往调查采用的是采泥器采样法进行生物量和丰度计算,而本次调查采用拖网法进行样品采集。而两种方法采集底栖动物各有利弊:采泥器采样面积精确,计算得出的生物量和丰度的数据相对接近真实值,但是采样面积小,所采得样品种类数较少,不能很好地反映海区的生物种类。拖网法采样过程中,由于拖网触底的时间、船速以及拖网的状态

不容易控制,而导致拖网的有效扫海面积与计算结果不一致,但是采样面积大于使用采泥器的采样面积,所得种类数较多。(2)采样的站位不同。本次调查主要目的是了解围填海工程区附近海域大型底栖动物群落结构,调查站位多分布于围填海工程区附近,受围填海工程影响相对较大。(3)钦州湾近年来的开发活动有加剧的趋势。海洋工程的施工,特别是填海施工,产生的悬浮泥沙以及船舶机舱污水中的油类对底栖动物的生存产生了影响,这在文后底栖动物多样性特征指数与环境因子的相关分析中也得到了证实。

2.3 大型底栖动物优势种、常见种和经济种

根据所采样品中各种类的丰度和出现频率,将优势度指数 $Y > 0.02$ 的列为优势种,将 $Y < 0.02$ 同时在该航次所有调查站位中出现频率 $\geq 50.0\%$ 的列为常见种。

由表 2 可知,夏季出现的优势种有棒锥螺 (*Turritella bacillum*)、鳞片帝汶蛤 (*Timoclea imbricata*)、狼牙鰕虎鱼 (*Odontamblyopus rubicundus*)、亚洲侧花海葵 (*Anthopleura nigrescens*) 和细雕刻肋海胆 (*Temnopleurus toreamaticus*),常见种有艾氏活额寄居蟹 (*Diogenes edwardsii*)、宽突赤虾 (*Metapenaeopsis palmensis*)、日本鼓虾 (*Alpheus japonicus*)、日本螯 (*Charybdis japonica*)、伪装关公蟹 (*Dorippe facchino*)、须赤虾 (*Metapenaeopsis barbata*)、远海梭子蟹 (*Portunus pelagicus*)、美女白樱蛤 (*Macoma candida*)、浅缝骨螺 (*Murex trapa*)、小荚蛭 (*Siliqua minima*)、宽体舌鳎 (*Cynoglossus robustus*)、鳎鱼 (*Ilisha elongata*)、方格星虫 (*Sipunculus nudus*) 和智利巢沙蚕 (*Diopatra chiliensis*)。优势种中以鳞片帝汶蛤优势度最高,达 0.119,但出现频率并不高,仅 33.3%。出现频率最高的种类为狼牙鰕虎鱼和鳎鱼,均为 83.3%。优势种或常见种中具有较高经济价值的有棒锥螺、宽突赤虾、日本螯、须赤虾、远海梭子蟹、浅缝骨螺、小荚蛭、宽体舌鳎、鳎鱼和方格星虫。

冬季的优势种和常见种均较少,优势种有亨氏仿对虾 (*Parapenaeopsis hungerfordi*)、小头栉孔鰕虎鱼 (*Ctenotrypauchen Microcephalu*) 和细雕刻肋海胆,常见种有伪装关公蟹、鹰爪虾 (*Trachypenaeus curvirostris*)、截形白樱蛤 (*Macoma praeurpta*) 和亚洲侧花海葵 (*Anthopleura nigrescens*)。优势度最高的种类为细雕刻肋海胆,该种也是夏季的优势种之一。优势种或常见种中具有较高经济价值的有亨氏仿对虾和鹰爪虾。

1983~1984年调查的优势种为棒锥螺、毛蚶、花指栉孔扇贝、长额仿对虾、角额仿对虾、环纹蜆、细雕引协海胆^[9]。其中棒锥螺在本研究的夏季优势种中出现,另细雕引协海胆与本研究中的细雕刻肋海胆疑为同一种。

王迪等^[4]的调查显示:夏季优势种为方格皱纹蛤(*Periglypta lacerat*)、刺足掘沙蟹(*Scalopidia spinosipes*)和持真节虫(*Euclymene annandalei*),常见种有西格织纹螺(*Nassarius siquinjorensis*)、美叶雪蛤(*Chione calophylla*)、欧文虫(*Owenia fusiformis*)和棒锥螺;冬季优势种为肋蜆螺(*Umbonium costatum*)和方格皱纹蛤,常见种有刺足掘沙蟹、环肋胡桃蛤(*Nucula cyrenoides*)、双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)和中国毛虾(*Acetes chinensis*)。该研究的优势种和

表2 底栖动物优势种和常见种

Table 2 Dominant species and common species

种类 Species	夏季 Summer		冬季 Winter	
	优势度指数 Dominance index	出现频率 Frequency of occurrence(%)	优势度指数 Dominance index	出现频率 Frequency of occurrence(%)
节肢动物 Arthropoda				
豆形短眼蟹 <i>Xenophthalmus pinnotheroides</i>	0.011*	50.0	—	—
亨氏仿对虾 <i>Parapenaeopsis hungerfordi</i>	—	—	0.023**	75.0
艾氏活额寄居蟹 <i>Diogenes edwardsii</i>	0.003*	50.0	—	—
宽突赤虾 <i>Metapenaeopsis palmensis</i>	0.003*	50.0	—	—
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.004*	50.0	—	—
日本蜆 <i>Charybdis japonica</i>	0.011*	66.7	—	—
伪装关公蟹 <i>Dorippe facchino</i>	0.005*	50.0	0.017*	50.0
须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i>	0.003*	50.0	—	—
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	—	—	0.019*	50.0
远海梭子蟹 <i>Portunus pelagicus</i>	0.001*	50.0	—	—
软体动物 Mollusca				
棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i>	0.048**	33.3	—	—
截形白樱蛤 <i>Macoma praeurupta</i>	—	—	0.007*	62.5
鳞片帝汶蛤 <i>Timoclea imbricata</i>	0.119**	33.3	—	—
美女白樱蛤 <i>Macoma candida</i>	0.009*	50.0	—	—
浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i>	0.002*	50.0	—	—
小菱蚌 <i>Siliqua minima</i>	0.008*	50.0	—	—
鱼类 Pisces				
宽体舌鳎 <i>Cynoglossus robustus</i>	0.002*	50.0	—	—
狼牙鰕虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	0.025**	83.3	—	—
鳊鱼 <i>Ilisha elongata</i>	0.002*	83.3	—	—
小头栉孔鰕虎鱼 <i>Ctenotrypauchen Microcephalu</i>	—	—	0.028**	75.0
星虫动物 Sipuncula				
方格星虫 <i>Sipunculus nudus</i>	0.004*	66.7	—	—
腔肠动物 Coelenterata				
亚洲侧花海葵 <i>Anthopleura nigrescens</i>	0.033**	66.7	0.004*	50.0
棘皮动物 Echinodermata				
细雕刻肋海胆 <i>Temnopleurus toreumaticus</i>	0.023**	50.0	0.185**	50.0
多毛类 Polychaeta				
智利巢沙蚕 <i>Diopatra chiliensis</i>	0.004*	50.0	—	—

* * 为优势种; * 为常见种; —非优势种或常见种。

** Dominant species; * Commonspecies; —Not dominant species or common species.

常见种与本研究的有较大不同,只有夏季常见种棒锥螺在本研究的优势种中出现,另外方格皱纹蛤与本研究中的鳞片帝汶蛤在外观上具有一定的相似性,是否为同一物种则难以考证。

2.4 大型底栖动物群落结构划分

由图2结果可知,夏季大型底栖动物可划分为3个群落。群落I:美女白樱蛤-细雕刻肋海胆群落,该群落分布在金鼓江口(A1)和鹿耳环江口(A4)。群落II:鳞片帝汶蛤-棒锥螺群落,该群落主要分布钦州港东航道两侧(A3和A6)。群落III:豆形短眼蟹-日本蜆群落,该群落分布在钦州港东航道内(A2和A5),该区域水深较大,张落潮流速较急。

冬季大型底栖动物可划分为2个群落。群落I:细雕刻肋海胆-鹰爪虾群落,该群落分布在调查区域

的南部,三墩岛附近(A3、A4、A5和A6)。群落II:智利巢沙蚕-小头栉孔鰕虎鱼群落,该群落分布于调查区域的北部,金鼓江口附近(A1、A2和A8)。

夏季的底栖动物群落分布斑块在空间上不连续。钦州湾属亚热带季风气候区,夏季多雨,入海河水量较大,同时夏季的潮汐较强,潮流流速较大。A1和A4号站最接近河口,受咸淡水剧烈变换的影响较大,形成了美女白樱蛤-细雕刻肋海胆群落,群落中的生物种类主要以近岸广盐河口种为主。A2和A5分布于潮流流速较大的潮汐通道上,形成豆形短眼蟹-日本蟳群落。而潮汐通道两侧的A3和A6则形成了鳞片帝汶蛤-棒锥螺群落。虽然在空间上不连续,但同一群落的站位之间都具有较相似的生境。

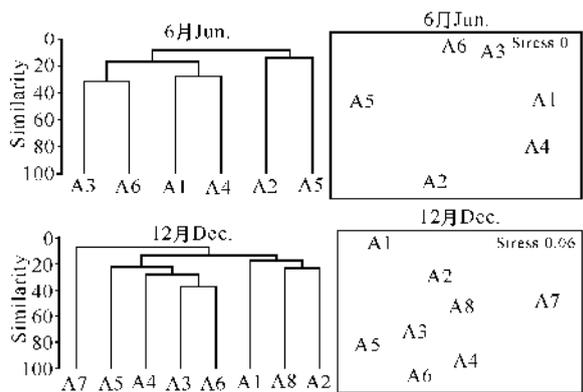


图2 大型底栖动物聚类分析与多维排序尺度分析
Fig. 2 Cluster analysis and multi-dimensional scaling (MDS) analysis

与夏季相比,冬季的底栖动物群落结构发生了变化。北部的金鼓江口附近3个站形成了智利巢沙蚕-小头栉孔鰕虎鱼群落。南部三墩岛附近的4个站位原来分为2个群落,冬季调查时2个群落合并,形成了细雕刻肋海胆-鹰爪虾群落。同时在A3号站发现大量的鳞片帝汶蛤空壳。

表3 不同季节大型底栖动物多样性

Table 3 Macrobenthic diversity in different season

站号 Station	夏季 Summer				冬季 Winter			
	种类数 No. of species	Shannon- Wiener 指数 H'	均匀度 J'	丰富度 D	种类数 No. of species	Shannon- Wiener 指数 H'	均匀度 J'	丰富度 D
A1	41	4.68	0.87	5.11	11	3.24	0.94	2.40
A2	15	2.86	0.73	2.47	16	3.41	0.85	2.88
A3	32	1.55	0.31	2.80	15	2.98	0.76	2.60
A4	37	4.37	0.84	4.63	24	1.78	0.39	2.96
A5	9	3.10	0.98	3.00	20	2.25	0.52	2.57
A6	18	3.69	0.89	3.04	16	3.38	0.85	2.57
A7	—	—	—	—	5	2.06	0.89	1.26
A8	—	—	—	—	15	2.55	0.67	2.18
平均 Average	—	3.38	0.77	3.51	—	2.71	0.73	2.43

2.5 大型底栖动物多样性

由表3结果可知,夏季调查区域大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数 (H') 变化范围为 1.55~4.68,平均为 3.38,最低值出现在 A3 号站,该站的均匀度指数 (J') 以及丰富度指数 (D) 同样为该航次所有站位中最低值,然而该站的种类数却在所有站位中处于中上水平。在该站出现了大量的鳞片帝汶蛤,占该站总丰度的 65.2%,该种的大量出现导致该站的生物多样性水平较低。Shannon-Wiener 指数最高的是金鼓江口附近的 A1 号站,该站的种类数和丰富度指数也为该航次中最高。种类数最少的是 A5 号站,该站位于三墩岛南面附近。

冬季调查区域大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数 (H') 变化范围为 1.78~3.41,平均为 2.71,变化范围较夏季窄。最低值出现在三墩岛东北面的 A4 号站,该站的均匀度指数同为该航次中最低,而种类数和丰富度指数却为该航次中最高。在 A4 号站出现了大量的细雕刻肋海胆,占该站总丰度的 76.8%。种类数最少的为筋沟口的 A7 号站,仅采集到 5 种,该站的丰富度指数也为该航次中最低。

总体而言,夏季的底栖动物种类数、Shannon-Wiener 指数、均匀度指数以及丰富度指数均高于冬季,多样性水平高于冬季。但冬季各站的变化范围小于夏季。

2.6 大型底栖动物丰度-生物量比较曲线(ABC 曲线)

丰度-生物量比较曲线(ABC 曲线)法^[10]将丰度和生物量的 K-优势度曲线绘入同一张图中,通过观察两条曲线的位置关系,判断生物群落是否受干扰以及受干扰的程度。

图3结果显示,夏季的 A2、A4 和 A5 号站的生

物量 K-优势度曲线始终在丰度曲线之上,说明这 3 个站没有受到干扰。A1 和 A6 号站的丰度曲线起点在生物量曲线之上,而后两条曲线有交叉,提示夏季在这两个站可能受到中度干扰。而 A3 号站的生物量起点在丰度起点之上,且距离较远,之后两条曲线迅速靠近,但始终没有交叉,提示该站可能受到了轻微干扰。

冬季航次 A1、A2、A3、A4、A7 和 A8 号站的生物量曲线始终在丰度曲线之上,表明这 6 个站的大型底栖动物群落没有受到干扰。A5 号站生物量曲线大部分均位于丰度曲线之下,在尾部有交叉,提示该站冬季大型底栖动物可能受到了稍微严重的干扰。A6 号站的生物量曲线起点在丰度曲线之上,两条曲线在中部有小范围交叉,很快又分开,两条曲线始终距离很近,提示该站可能受到了中度干扰。

A1 号站位于金鼓江中游,夏季受地表径流影响较大。A5 和 A6 号站均位于三墩岛南部附近,调查期间三墩岛正进行填海施工。水质调查结果显示,夏季航次 A5 号站的悬浮物含量为该航次所有站位中最高,A6 号站含量位居第 2。冬季的 A5 号站悬浮物

含量为该航次种第 2 位。因此可以初步推断,填海施工产生的悬浮泥沙是对底栖动物产生干扰的主要因素。

2.7 大型底栖动物群落特征与环境因子的相关性

表 4 结果显示,夏季种类数与悬浮物含量呈显著负相关;生物量、丰度、种类数均与沉积物中的油类含量呈显著负相关;均匀度与沉积物中值粒径呈显著负相关;丰度与沉积物的中值粒径呈显著正相关;Shannon-Wiener 指数与沉积物中的粘土含量呈显著正相关。说明夏季底栖动物的种类分布与水体中悬浮物含量有较大关系;悬浮物浓度高的水体不适于底栖生物的生长,只有耐受能力强的底栖动物种类才能在该环境下存活,因此悬浮物浓度高的站位底栖动物种类数较少(显著负相关)。沉积物中的油类含量对底栖生物的影响更大,含量高的站位生物量、丰度和种类数均较低(显著负相关)。同时沉积物的粒度也对底栖动物的分布产生影响,中值粒径越大的地方丰度越低,但均匀度越高,粘土含量比例大的地方 Shannon-Wiener 指数高。

冬季种类数与盐度、pH 值、溶解氧呈显著正相

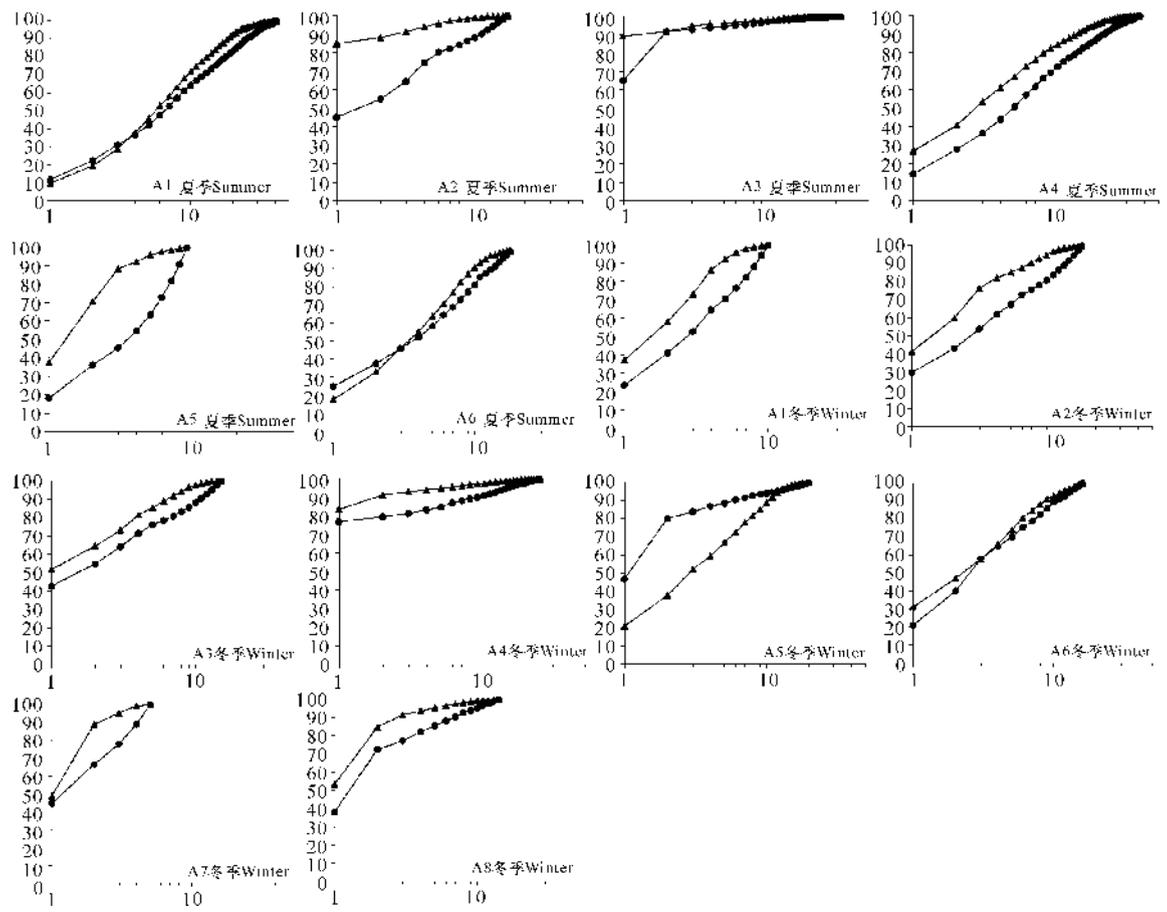


图 3 大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 3 ABC plots of macrobenthos

●: 丰度 Abundance; ▲: 生物量 Biomass

关,与水质中的油类含量呈显著负相关;丰富度指数与溶解氧呈显著正相关。盐度、pH 值与受地表径流的影响程度有关,受地表径流影响越大的地方盐度和 pH 值越低。这说明冬季底栖动物的分布受地表径流和水体中油类的影响较大,地表径流影响较大的地方种类数越多(显著正相关),水质中油类含量越高的地方种类数越少(显著负相关)。

3 结论

两个航次共采集到的大型底栖动物种类为 148 种,软体动物、节肢动物和底栖鱼类为主要组成类群。夏季出现的优势种有棒锥螺、鳞片帝汶蛤、狼牙鰕虎鱼、亚洲侧花海葵和细雕刻肋海胆,冬季出现的优势种亨氏仿对虾、小头栉孔鰕虎鱼和细雕刻肋海胆。夏季钦州湾近岸大型底栖动物可划分为 3 个群落:群落 I:美女白樱蛤-细雕刻肋海胆群落;群落 II:鳞片帝汶蛤-棒锥螺群落;群落 III:豆形短眼蟹-日本罍群落。冬季可划分为 2 个群落:群落 I:细雕刻肋海胆-鹰爪

虾群落;群落 II:智利巢沙蚕-小头栉孔鰕虎鱼群落。夏季调查区域大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')变化范围为 1.55~4.68,平均为 3.38,冬季调查区域大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数(H')变化范围为 1.78~3.41,平均为 2.71。多样性水平相对较高,且夏季高于冬季。

ABC 曲线分析结果显示,夏季航次的 A1 和 A6 均受到了中度干扰。冬季的 A6 号站受到中度干扰,A5 号站受到稍严重的干扰。其余站位均没有受到干扰。夏季大型底栖动物种类数与悬浮物含量呈显著负相关;生物量、丰度、种类数均与沉积物中的油类含量呈显著负相关;均匀度与沉积物中值粒径呈显著负相关;丰度与沉积物的中值粒径呈显著正相关;Shannon-Wiener 指数与沉积物中的粘土含量呈显著正相关。冬季种类数与盐度、pH 值、溶解氧呈显著正相关,与水质中的油类含量呈显著负相关;丰富度指数与溶解氧呈显著正相关。

表 4 大型底栖动物多样性指数与环境因子的相关性系数 (Pearson 相关)

Table 4 Pearson correlation between diversity indices of macrobenthos and environmental factors

季节 Season	环境因子 Environmental factors	生物量 Biomass	丰度 Abundance	种类数 No. of species	Shannon-Wiener 指数 H' Shannon-Wiener index H'	均匀度 J' Evenness J'	丰富度 D Richness D
夏季 Summer	水温 Temperature	-0.349	-0.196	0.445	0.370	0.034	0.431
	悬浮物 SS	-0.395	-0.381	-0.849*	-0.308	0.340	-0.567
	pH 值	0.206	0.106	-0.240	-0.025	0.197	-0.109
	盐度 Salinity	0.074	-0.045	-0.464	-0.131	0.208	-0.339
	溶解氧 Oxygen	0.255	0.234	0.535	0.567	0.337	0.802
	油类(水质)(Water)	0.066	0.193	0.364	-0.027	-0.228	0.288
	油类(沉积物)Oil(Sediment)	-0.820*	-0.827*	-0.914*	-0.080	0.505	-0.595
	有机碳 OC	-0.411	-0.422	-0.484	-0.304	-0.099	-0.576
	硫化物 Sulfide	-0.395	-0.438	-0.360	0.127	0.301	-0.253
	中值粒径 Medium diameter	0.759	0.862*	0.240	-0.792	-0.940**	-0.329
	粘土 Clay	-0.624	-0.652	0.210	0.909*	0.757	0.659
冬季 Winter	粉砂 Silt	0.116	0.024	-0.734	-0.609	-0.113	-0.786
	水温 Temperature	-0.550	-0.632	-0.434	0.454	0.518	-0.116
	悬浮物 SS	0.115	-0.147	0.029	0.482	0.275	0.363
	pH 值	0.220	0.450	0.766*	-0.068	-0.581	0.599
	盐度 Salinity	-0.057	0.446	0.815*	-0.072	-0.582	0.694
	溶解氧 Oxygen	0.238	0.429	0.804*	0.092	-0.546	0.735*
	油类(水质)(Water)	-0.594	-0.621	-0.726*	0.088	0.543	-0.624
	油类(沉积物)Oil(Sediment)	0.288	0.557	0.327	-0.569	-0.499	-0.055
	有机碳(沉积物)OC	0.698	0.495	0.165	-0.630	-0.487	-0.176
	硫化物(沉积物)Sulfide	0.098	0.159	0.261	0.011	-0.102	0.245
	中值粒径 Medium diameter	0.300	-0.098	-0.016	0.170	0.051	0.130
粘土 Clay	-0.293	0.074	-0.070	0.039	0.118	-0.037	
粉砂 Silt	0.127	-0.003	0.150	-0.302	-0.286	-0.107	

** : 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * : 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

** : Significant correlation on 0.01 level(two-sided test); * : Significant correlation on 0.05 level(two-sided test).

参考文献:

[1] 沈国英,施并章.海洋生态学[M].第2版.北京:科学出版社,2002.

Shen G Y, Shi B Z. Marine ecology [M]. The Second edition. Beijing: Science Press, 2002.

(下转第 402 页 Continue on page 402)

- ures for the management of offshore environmental function areas[J]. Gazette of the State Council of the people's Republic of China, 2000, 06: 32-34.
- [15] 王丽平, 刘录三, 郑丙辉, 等. 我国入海河口区水质标准制定初探[C]//环境安全与生态学基准/标准国际研讨会、中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会2013年学术研讨会、中国毒理学会环境与生态毒理学专业委员会第三届学术研讨会会议论文集(二). 南京: 中国环境科学学会, 2013: 32-40.
- Wang L P, Liu L S, Zheng B H, et al. Preliminary study on formulating water quality standards for the Chinese estuaries [C]//Environmental Safety and Ecology Benchmark / Standard International Seminar, Professional Committee of Environmental Standards and Benchmarks of China Environmental Science Society 2013 Symposium, Conference proceedings of the Third Seminar on Professional Committee of China Environmental Toxicology and Ecotoxicology (two). Nanjing: Chinese Society for Environmental Sciences, 2013: 32-40.
- [16] 欧阳玉蓉, 王金坑, 傅世锋. 河口区水质标准问题的探讨[J]. 环境保护科学, 2011, 37(5): 53-55.
- OUYang Y R, Wang J K, Fu S F. Discussion on water quality standards of estuary[J]. Environmental Protection Science, 2011, 37(5): 53-55.
- [17] 于健, 吴桑云, 李萍. 我国入海河流河口地区海陆分界线划分方法研究[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 51-59.
- Yu J, Wu S Y, Li P. Study on the method for delimiting sea-land demarcation line in Chinese river estuary area [J]. Coastal Engineering, 2003, 22(2): 51-59.
- [18] 徐双全. 长江河口河海分界的探讨[J]. 中国水利, 2008, 16: 37-40.
- Xu S Q. Discussions on dividing boundary of river and sea in Yangtze River estuary [J]. China Water Resources, 2008, 16: 37-40.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 395 页 Continue from page 395)

- [2] 刘瑞玉, 徐凤山, 崔玉珩. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- Liu R Y, Xu F X, Cui Y H. Ecology and biological resources on Jiaozhou Bay [M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [3] 王宗兴, 孙丕喜, 姜美洁, 等. 钦州湾秋季大型底栖动物多样性研究[J]. 广西科学, 2010, 17(1): 89-92.
- Wang Z X, Xun P X, Jiang M J, et al. Macrobenthic diversity of Qinzhou Bay in autumn [J]. Guangxi Sciences 2010, 17(1): 89-92.
- [4] 王迪, 陈丕茂, 马媛. 钦州湾大型底栖动物生态学研究[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4768-4777.
- Wang D, Chen P M, Ma Y. Ecology study on the benthic animals of Qinzhou Bay [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4768-4777.
- [5] 张玉生, 杨清良, 陈瑞祥, 等. 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, 2007.
- Zhang Y S, Yang Q L, Chen R X, et al. GB/T 12763. 6—2007 The specification for oceanographic survey—Part 6: ocean biological survey [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [6] 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, 2003, 33(1): 058-064.
- Zhou H, Zhang Z N. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 33(1): 058-064.
- [7] 张敬怀, 肖瑜璋, 王华, 等. 大亚湾核电站邻近海域大型底栖动物群落结构分析[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(6): 561-564.
- Zhang J H, Xiao Y Z, Wang H, et al. Using macrozoobenthos pollution index to assess Yueqingwan Bay tide-land environmental quality [J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 26(6): 561-564.
- [8] 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(2): 92-96.
- Tian S Y, Yu Z S, Liu X S, et al. Abundance/biomass curves for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. Marine Science Bulletin, 2006, 25(2): 92-96.
- [9] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第十二分册(广西海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- Compiling Committee of Records of China Bays. Records of China Bays; 7th Fascicule (The bays in Guangxi) [M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.
- [10] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. Mar Biol, 1986, 92: 557-562.

(责任编辑: 尹 闯)