

## 黄河口近岸海域大型底栖动物群落特征\*

闫朗<sup>1</sup>, 陈琳琳<sup>2</sup>, 吕卷章<sup>3</sup>, 姜少玉<sup>2,4</sup>, 刘春云<sup>1</sup>, 李晓静<sup>2,4</sup>, 宋博<sup>2</sup>, 李宝泉<sup>2\*\*</sup>

(1. 浙江海洋大学, 浙江舟山 316000; 2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 3. 山东黄河三角洲国家级自然保护区管理委员会, 山东东营 257091; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为了解黄河口近岸海域大型底栖生物资源的现状和变化, 本研究于2016年8月、11月和2017年5月、8月、11月进行拖网调查。对拖网获得的生物样品进行鉴定, 并称量和计数, 以获取物种组成、优势物种、生物量和丰度等指标数据。使用优势度计算方法和PRIMER 6.0统计软件对群落特征进行分析。结果共获得大型底栖动物109种, 其中甲壳动物37种, 鱼类35种, 软体动物34种, 棘皮动物2种, 其他动物(海葵 *Actiniaria* sp.) 1种。在该区域发现优势种19种, 其中甲壳动物11种, 软体动物4种, 鱼类4种。黄河口近海大型底栖动物总平均丰度和总平均生物量分别为0.48 ind./m<sup>2</sup>、1.44 g/m<sup>2</sup>, 均是软体动物贡献率最高。丰富度指数(*D*)、均匀度指数(*J'*)和Shannon-Wiener多样性指数(*H'*)平均值分别为2.44±0.33、0.88±0.03、3.64±0.08。CLUSTER聚类分析和MDS标序分析表明, 在40%相似性水平上, 每次调查结果可以分为3—5组, 各组之间差异显著。黄河口近海大型底栖动物以小个体的甲壳动物、软体动物及低经济价值的鱼类为主, 底栖物种有小型化趋势。黄河口近海底栖群落结构差异较大, 总体受污染扰动情况明显。

**关键词:** 大型底栖动物 群落特征 黄河口 底拖网 多样性

中图分类号: Q145 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)03-0231-10

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20200707.003

### 0 引言

黄河口近岸海域是黄河与渤海交汇的区域, 该区域环境复杂, 生态系统独特。入海径流所带来的营养盐和有机碎屑, 有助于河口区域形成较高的生产力, 因此黄河口近岸海域成为许多海洋物种的重要繁育场所<sup>[1]</sup>。底栖动物是生态系统的重要组成部分, 它们

对环境变化较敏感, 因此可以作为生态与环境变化的指示<sup>[2-3]</sup>, 也可以用作水质的生物评价指标<sup>[4-5]</sup>。国外学者通过对溢油事故和复杂环境污染影响的研究, 证实大型底栖动物对污染物暴露和环境污染具有重要的指示作用<sup>[6-7]</sup>, 因此许多学者通过研究大型底栖动物来揭示河口生态环境变化<sup>[8-9]</sup>。对河口大型底栖动物的研究, 既有关于河口环境污染对底栖动物的影响<sup>[10-12]</sup>, 也有对河口群落结构特征的研究<sup>[13-16]</sup>。对

\* 美丽中国生态文明建设科技工程专项(XDA23050304, XDA23050202)和中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC041)资助。

#### 【作者简介】

闫朗(1992—), 男, 在读硕士研究生, 主要从事底栖动物生态学研究。

#### 【\*\*通信作者】

李宝泉(1972—), 男, 研究员, 主要从事海洋生物多样性、底栖动物生态学和生态健康评价研究, E-mail: bql@yic.ac.cn。

#### 【引用本文】

闫朗, 陈琳琳, 吕卷章, 等. 黄河口近岸海域大型底栖动物群落特征[J]. 广西科学, 2020, 27(3): 231-240.

YAN L, CHEN L L, LV J Z, et al. Community Characteristics of Macrobenthos in the Coastal Waters of the Yellow River Estuary [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(3): 231-240.

于黄河口近岸海域底栖生物,我国学者的研究由来已久<sup>[17-18]</sup>,在 20 世纪 80 年代,黄河口近岸海域拥有较高的生物量,还具有明显的区系特征<sup>[1]</sup>;到 21 世纪,黄河口近岸海域的生态环境状况已经恶化<sup>[19]</sup>。而前人对黄河口近岸海域底栖动物的研究,多是采用采泥器定量取样调查,使用底拖网定量取样的研究较少。相较于采泥器,底拖网更容易采集反应较为敏捷和游泳能力较强的大型底栖动物,其研究结果可与采泥器调查结果互补。因此,本研究在 2016 年 8 月和 11 月,2017 年 5 月、8 月和 11 月对黄河口近岸海域大型底栖动物进行底拖网调查,并对该区域大型底栖动物群落进行分析,以了解黄河口近岸海域底栖生物资源的现状和变化,为黄河口近岸海域生态保护与管理提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 取样站位、时间和样品处理

2016 年 8 月(夏季)和 11 月(秋季),2017 年 5 月(春季)、8 月(夏季)和 11 月(秋季)每月在黄河口近岸海域设置 11 个底拖网采样站位,分别为 T1—T11(图 1),采用阿式拖网进行取样,每次拖网要求船速不大于 3 节,拖网 30 min,具体以拖网沉底和起网为起止时间。获得的样品用 75% 酒精现场固定,带回实验室后进行种类鉴定、个体计数、称重(湿重,0.001 g 精度电子秤)。肢体残缺的样品按头部计数,软体动物和甲壳动物的死壳不计数、不称重,双壳纲动物不去贝壳称重,寄居蟹去螺壳称重。

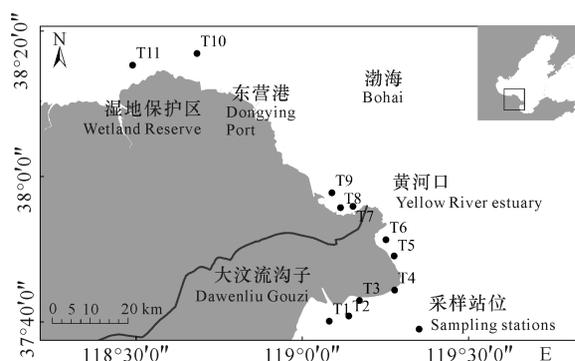


图 1 黄河口近岸海域底拖网站位

Fig. 1 Sampling stations of bottom trawl in the coastal waters of the Yellow River estuary

### 1.2 数据分析

#### 1.2.1 物种优势度

计算各月大型底栖动物优势度以确定优势种,优势度计算公式为

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

式中:  $n_i$  为某月中第  $i$  种大型底栖动物的丰度,  $N$  为某月大型底栖动物总丰度,  $f_i$  为在某月中该物种的站位出现频率。当  $Y > 0.02$  时,认为该物种为优势种。

#### 1.2.2 群落多样性分析

生物多样性指数用于指示生物群落结构组成,反映生态状况变化,其中 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、Margalef 物种丰富度指数 ( $D$ ) 和 Pielou 均匀度指数 ( $J'$ ) 应用较为广泛。利用这 3 个多样性指数反映黄河口近岸海域的大型底栖动物群落结构及其生态状况的时空变化,计算公式如下:

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

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

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

其中,  $N$  为所有站位采集的大型底栖动物总个体数,  $S$  为拖网调查样品中的种类总数,  $P_i$  为第  $i$  种的个体数与样品中总个体数的比值 ( $n_i/N$ )。

#### 1.2.3 群落结构分析

为减少机会种对群落结构分析的影响,需要对原始数据进行优化,即去除相对丰度低于 1% 的物种,但保留在任一站位相对丰度高于 3% 的物种,从而得到用于群落结构分析的物种。该分析利用 PRIMER6.0 软件中的等级聚类分析 (CLUSTER) 和非度量 MDS 标序分析进行<sup>[20]</sup>。

#### 1.2.4 丰度/生物量比较曲线

丰度/生物量比较曲线 (Abundance Biomass Curves, ABC 曲线) 能够对任何物理性、生物性以及污染扰动引起的大型底栖动物群落变化做出灵敏反应。根据 ABC 曲线中生物量和丰度的 K-优势度曲线的波动,可以分析黄河口大型底栖动物群落受到污染和扰动情况<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种组成

经 2016—2017 年 5 次底拖网调查采集并鉴定后,黄河口近岸海域共获得 109 种大型底栖动物,隶属于 8 个动物门 12 纲 35 目 68 科 93 属。其中,鱼类 35 种,占总物种数的 32.11%; 软体动物 34 种,占 31.19%; 甲壳动物 37 种,占 33.94%; 棘皮动物 2 种,占 1.83%; 其他动物 (海葵) 1 种,占 0.92% (图 2)。

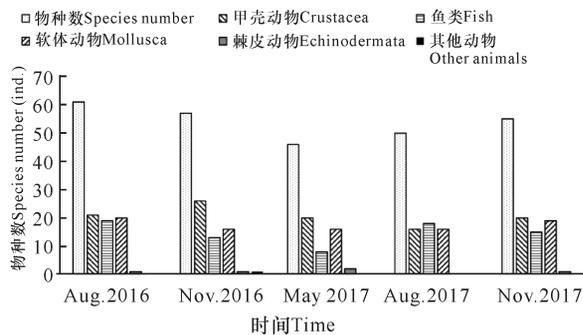


图2 黄河口近岸海域大型底栖动物物种数

Fig. 2 Species numbers of macrobenthos in the coastal waters of the Yellow River estuary

物种组成中以甲壳动物为优势类群,其次为软体动物和鱼类,棘皮动物和其他动物较少或偶尔出现。物种数和优势类群随调查月份不同而存在差异,具体情况如下:2016年8月共采到大型底栖动物61种,其中甲壳动物21种、鱼类19种、软体动物20种、棘皮动物1种;2016年11月共采到57种,其中甲壳动物26种、鱼类13种、软体动物16种、棘皮动物1种、

表1 黄河口近岸海域优势种及优势度

Table 1 Dominant species and their dominant values of the Yellow River estuary

类别 Class	物种 Species	拉丁文名 Latin name	优势度 Dominant values				
			Aug. 2016	Nov. 2016	May 2017	Aug. 2017	Nov. 2017
软体动物 Mollusca	纵肋织纹螺	<i>Nassarius succinctus</i>	0.419 6	0.031 9	0.057 9	0.812 8	0.124 1
	中国蛤蜊	<i>Mactra chinensis</i>	0.115 2		0.062 6		
	四角蛤蜊	<i>Mactra quadrangularis</i>	0.025 4				
	扁玉螺	<i>Neverita didyma</i>			0.025 8		0.066 4
甲壳动物 Crustacea	中国毛虾	<i>Acetes chinensis</i>	0.201 1				
	黄海褐虾	<i>Crangon uritai</i>	0.127 0	0.241 1			
	葛氏长臂虾	<i>Palaemon gravieri</i>	0.126 0	0.027 8	0.044 0	0.022 4	0.063 4
	脊尾白虾	<i>Palaemon weber</i>	0.098 8	0.331 1	0.063 6		
	口虾蛄	<i>Oratosquilla oratoria</i>	0.040 1				0.051 8
	日本拟平家蟹	<i>Heikeopsis japonica</i>	0.023 5				
	日本鲟	<i>Charybdis japonica</i>			0.026 5		0.024 5
	寄居蟹	<i>Pagurus minutus</i>			0.261 4		
	豆形拳蟹	<i>Pyrhila pisum</i>			0.098 3	0.041 5	
	日本褐虾	<i>Crangon hakodatei</i>					0.077 2
鱼类 Fish	狭顎绒螯蟹	<i>Neoeriocheir leptognathus</i>		0.028 2			
	矛尾虾虎鱼	<i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.088 2	0.058 8	0.021 0	0.031 6	0.082 8
	单鳍鲻	<i>Draculo mirabilis</i>	0.041 9				
	鯷	<i>Engraulis japonicus</i>	0.030 5				
	青鳞小沙丁鱼	<i>Sardinella zunasi</i>	0.026 9				

其他动物1种;2017年5月共采到46种,其中甲壳动物20种、鱼类8种、软体动物16种、棘皮动物2种;2017年8月共采到50种,其中包括甲壳动物16种、鱼类18种、软体动物16种;2017年11月共采到55种,其中甲壳动物20种、鱼类15种、软体动物19种、棘皮动物1种。

## 2.2 优势种

黄河口近岸海域5次调查共发现优势种19种,其中甲壳动物11种,软体动物4种,鱼类4种。各优势种优势度相差较大,其值为0.021 0—0.812 8,最大值为2017年8月的纵肋织纹螺 *Nassarius succinctus* (0.812 8);最小值为2017年5月的矛尾虾虎鱼 *Chaeturichthys stigmatias* (0.021 0)。其中,在5次调查中,软体动物、甲壳动物和鱼类各有1种均为优势种,而其他优势种在不同调查月份出现的次数不一,如其中1种软体动物、5种甲壳动物和3种鱼类占优势种总数的一半,但仅在1次调查中出现(表1)。

### 2.3 丰度和生物量

黄河口近岸海域大型底栖动物 5 次调查的平均丰度为  $0.48 \text{ ind./m}^2$ , 其中, 2016 年 11 月平均丰度最低, 为  $0.13 \text{ ind./m}^2$ ; 2017 年 8 月平均丰度最高, 为  $1.15 \text{ ind./m}^2$ 。各主要类群对平均丰度的贡献不同, 占主体地位的类群包括软体动物和甲壳动物, 平均丰度分别为  $0.25 \text{ ind./m}^2$  和  $0.19 \text{ ind./m}^2$ , 对应的占比分别为 52.78% 和 39.15%; 鱼类 ( $0.04 \text{ ind./m}^2$ ) 占比 7.98%, 棘皮动物和其他动物平均丰度总占比不到 0.10%。主要优势类群软体动物和甲壳动物在各月间的变化较大, 其中软体动物在 2017 年 8 月平均丰度最高, 达  $0.95 \text{ ind./m}^2$ , 2016 年 11 月最低, 仅为  $0.01 \text{ ind./m}^2$ ; 甲壳动物在 2017 年 5 月平均丰度最高, 为  $0.41 \text{ ind./m}^2$ , 2017 年 11 月最低, 为  $0.08 \text{ ind./m}^2$ 。其他类群动物的平均丰度也表现出月份间的波动 (图 3)。

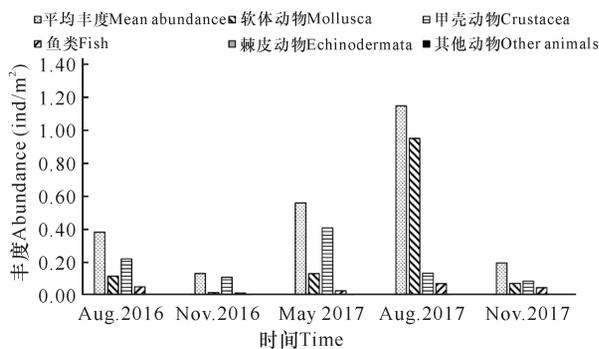


图 3 黄河口近岸海域大型底栖动物平均丰度变化

Fig. 3 Variation of species abundance in the coastal waters of the Yellow River estuary

黄河口近岸海域大型底栖动物 5 次调查的平均生物量为  $1.44 \text{ g/m}^2$  (图 4), 最高平均生物量出现在 2017 年 8 月, 为  $2.90 \text{ g/m}^2$ ; 最低平均生物量出现在 2016 年 8 月, 为  $0.32 \text{ g/m}^2$ 。分析发现, 各类群对平均生物量的贡献相差较大, 其中软体动物、甲壳动物和鱼类占主体地位, 它们的平均生物量分别为  $0.52$ ,  $0.45$ ,  $0.47 \text{ g/m}^2$ , 对应的占比依次为 36.03%、31.13% 和 32.78%; 而棘皮动物和其他动物平均生物量总占比不到 0.05%。各类动物的平均生物量在各月间变化较大, 而且不与丰度变化一一对应。软体动物在 2017 年 11 月的平均生物量最高, 达  $1.10 \text{ g/m}^2$ , 在 2016 年 8 月最低, 仅为  $0.07 \text{ g/m}^2$ ; 鱼类在 2017 年 8 月最高, 达  $1.29 \text{ g/m}^2$ , 在 2016 年 11 月最低, 为  $0.06 \text{ g/m}^2$ ; 甲壳动物在 2017 年 5 月的平均生物量最高, 达  $0.72 \text{ g/m}^2$ , 在 2016 年 8 月最低, 为  $0.15 \text{ g/m}^2$ 。其他类群在各月份间的波动相差较小。

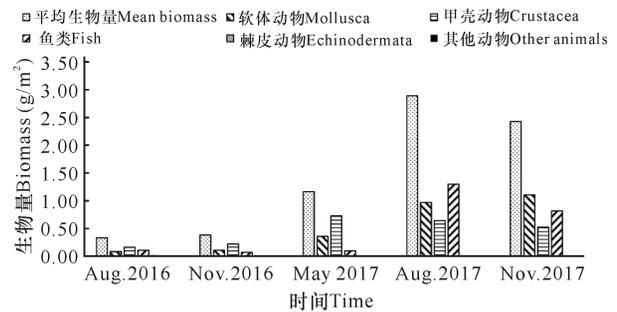


图 4 黄河口近岸海域大型底栖动物平均生物量变化

Fig. 4 Variation of mean biomass in the coastal waters of the Yellow River estuary

### 2.4 物种多样性

黄河口近岸海域大型底栖动物多样性指数在不同月份或不同站点之间相差较大 (表 2)。2017 年 8 月的 T10 站丰富度指数最大 (4.45), 2016 年 8 月的 T3 站最小 (0.75); 2016 年 8 月的 T2 站均匀度指数最大 (0.98), 2017 年 8 月的 T3 站最小 (0.58); 2017 年 11 月 T3 站多样性指数最大 (4.25), 2016 年 8 月的 T3 站最小 (2.20)。

### 2.5 群落结构聚类分析和群落 MDS 排序分析

各月的聚类结果表明, 各站位群落物种组成相差较大 (图 5)。2016 年 8 月各站相似性程度超过 70% 的有 3 组 6 站, 分别为 T8-T9、T1-T2 和 T5-T10, 这 3 组被首先聚合; 其余站相似性程度最高仅有 50.11%, T3 站与其他各站相似性低于 20%, 被最后聚合。2016 年 11 月只有 T2 和 T3 站相似性程度超过 70%, 而且这两站与 T4、T5 站相似性程度接近或达到 60%; 其他站只有 T6 和 T7 站相似性程度超过 50%。2017 年 5 月首先被聚合的为 T6 和 T10 站, 相似性程度超过 70%, 但这两站与其他站相似性程度低于 40%, 其余各站相似性程度都低于 60%。2017 年 8 月只有 T1 和 T2 站相似性程度超过 60%, 首先被聚合; T10 站与其他站相似性程度低于 10%, 被最后聚合, 其他站相似性程度为 30%—60%。2017 年 11 月有 4 组 9 站的相似性程度都超过 50%, 分别是 T1、T2-T3、T10-T11、T4-T5、T6-T7。其余站相似性都低于 50%。

5 次调查的 MDS 排序图点阵显示 (图 6), 排序结果与群落分布聚类结果一致, 进一步验证聚类分析的结果。其中, 2017 年 8 月 T10 站与其他站相似性程度只有 9.94%; 其他站相似性程度相对较高, 最低也有 33.57%, 导致 2017 年 8 月 MDS 排序图出现重叠现象。

表 2 黄河口近岸海域大型底栖动物多样性指数

Table 2 Diversity indices of macrobenthos in the coastal waters of the Yellow River estuary

Sample	D					J'					H'				
	2016.08	2016.11	2017.05	2017.08	2017.11	2016.08	2016.11	2017.05	2017.08	2017.11	2016.08	2016.11	2017.05	2017.08	2017.11
T1	2.44	—	2.45	3.09	2.50	0.94	—	0.92	0.89	0.93	3.92	—	3.90	4.12	3.93
T2	1.70	2.98	2.15	2.69	2.41	0.98	0.89	0.84	0.79	0.90	3.50	3.96	3.57	3.56	3.88
T3	0.75	3.34	2.46	2.42	2.80	0.95	0.89	0.88	0.58	0.94	2.20	4.14	3.80	2.54	4.25
T4	3.02	3.22	1.61	2.67	1.54	0.88	0.89	0.91	0.88	0.96	4.03	4.04	3.38	3.88	3.18
T5	2.98	2.36	2.06	2.30	1.91	0.85	0.87	0.86	0.85	0.94	3.82	3.62	3.60	3.54	3.47
T6	3.28	2.06	1.37	2.18	2.30	0.87	0.76	0.92	0.90	0.95	4.20	3.05	3.05	3.61	3.79
T7	3.27	2.70	2.19	2.36	1.96	0.86	0.85	0.90	0.94	0.92	4.03	3.67	3.66	3.94	3.52
T8	2.96	2.48	1.52	—	2.73	0.80	0.89	0.87	—	0.84	3.60	3.62	3.12	—	3.62
T9	2.59	—	3.09	—	1.14	0.75	—	0.90	—	0.89	3.27	—	4.15	—	2.68
T10	2.20	2.57	1.80	4.45	2.68	0.88	0.89	0.94	0.90	0.91	3.68	3.65	3.57	4.11	4.06
T11	2.69	2.53	1.21	—	2.35	0.92	0.90	0.90	—	0.92	3.98	3.76	2.84	—	3.85

注：“—”为无调查数据

Note: "—" means no survey data

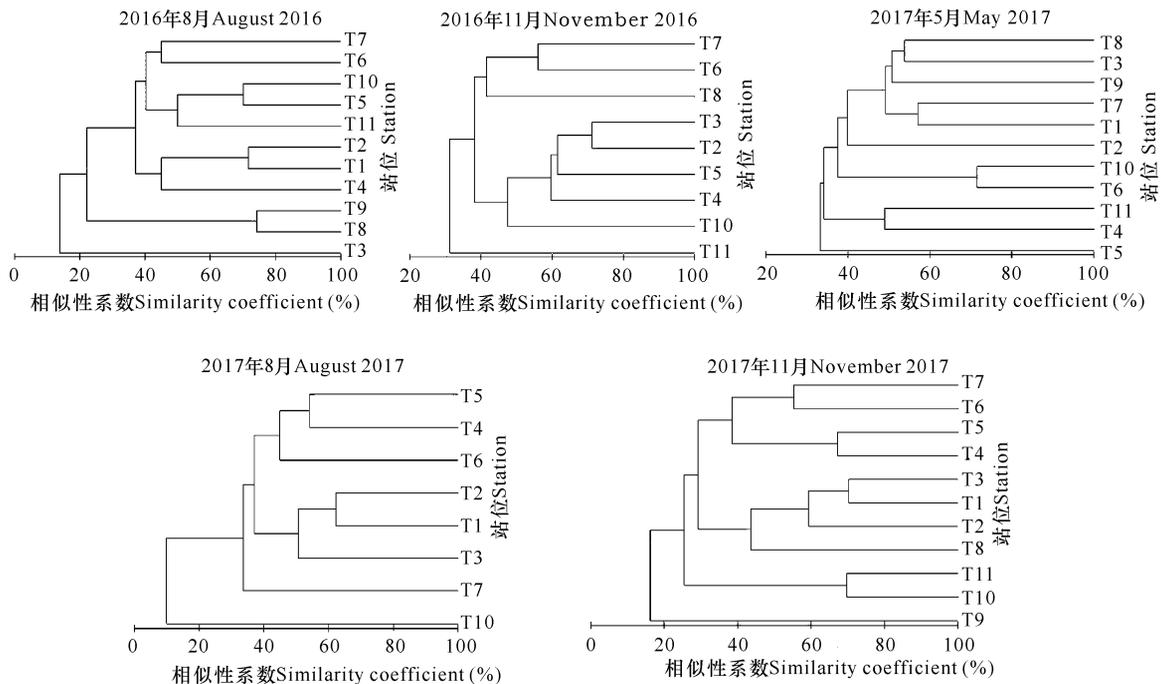


图 5 黄河口近岸海域大型底栖动物聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of macrobenthos in the coastal waters of the Yellow River estuary

### 2.6 丰度/生物量比较曲线

如图 7 所示, 2016 年 8 月和 2016 年 11 月的生物量曲线与丰度曲线出现接近重合或交叉情况, 说明大型底栖动物群落受到中等程度的污染扰动; 2017

年 5 月和 2017 年 8 月的生物量曲线明显低于丰度曲线, 说明底栖群落受到严重的污染扰动; 2017 年 11 月的生物量曲线虽然高于丰度曲线, 但与丰度曲线相距较近, 说明底栖群落受到一定程度的轻微扰动。

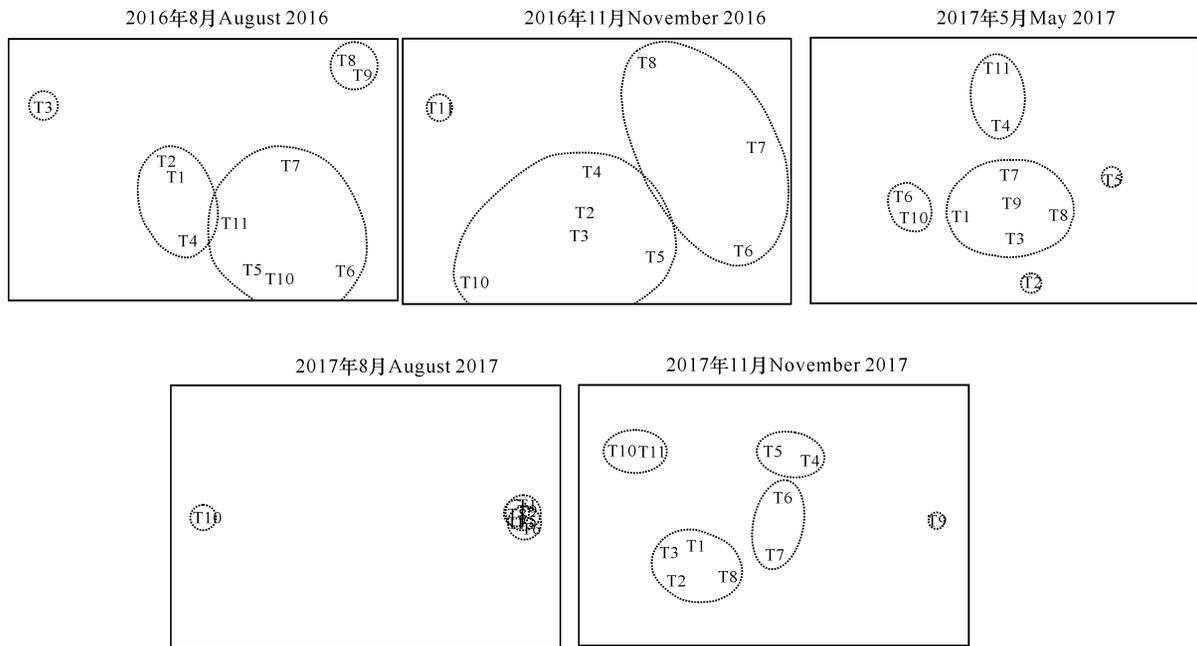


图6 黄河口近岸海域大型底栖动物 MDS 排序分析

Fig. 6 MDS analysis of macrobenthos in the coastal waters of the Yellow River estuary

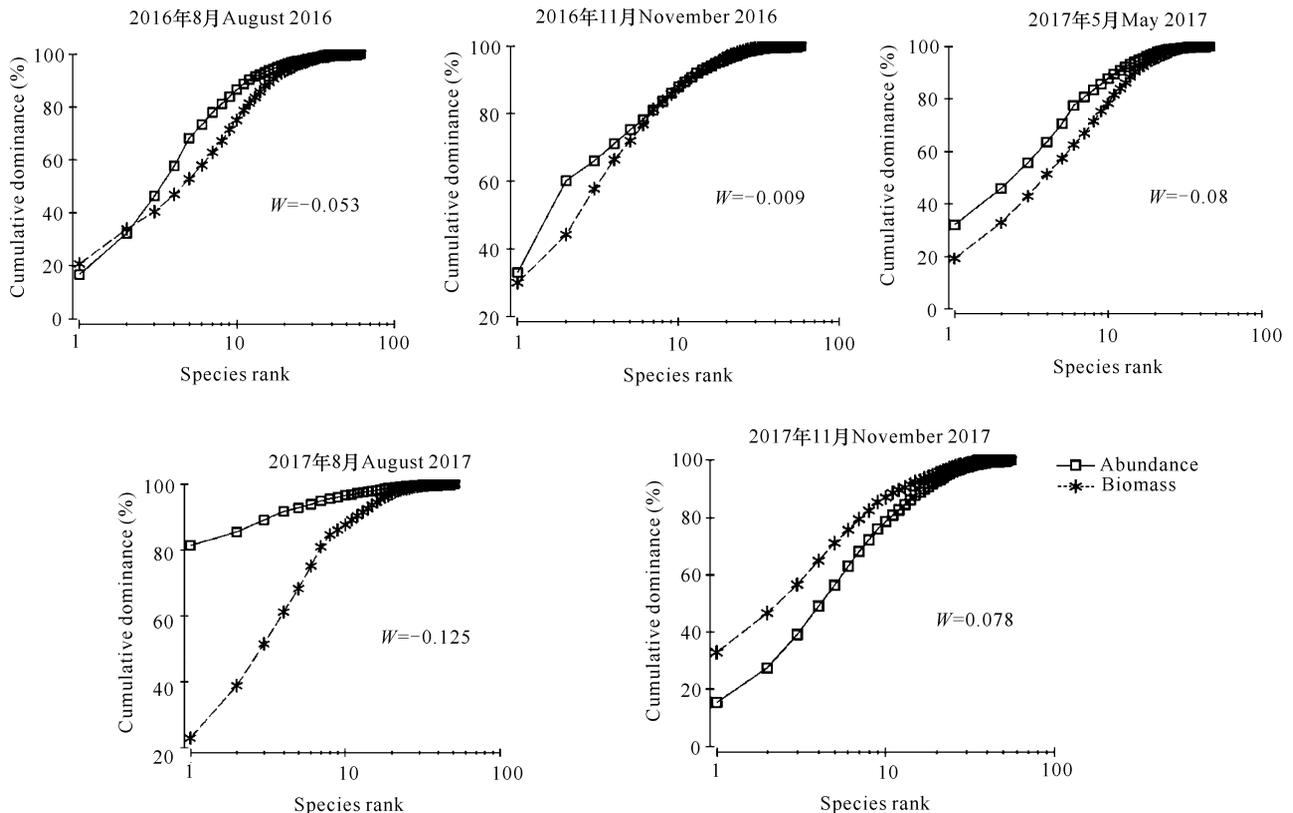


图7 黄河口近岸海域大型底栖动物 ABC 曲线

Fig. 7 ABC plots of macrobenthos in the coastal waters of the Yellow River estuary

### 3 讨论

#### 3.1 物种组成和优势种

2016年8月至2017年11月,黄河口近岸海域5

次底拖网调查共获得大型底栖动物109种,其中甲壳类(37种)、鱼类(35种)和软体类(34种)占主体地位,而棘皮类(2种)较少,其他类只发现1种并且只在2016年11月的调查中出现。除2017年8月,各

季物种数甲壳动物最多,而甲壳动物又以小型种为主,一定程度上反映该海域底栖动物的小型化趋势。鱼类物种数波动较大,在2017年5月仅有8种,但在2016年8月达19种,说明黄河口海域鱼类群落结构较不稳定。调查发现,5个季节的黄河口近海物种数量分别为61,57,46,50和55种,呈现出先下降后上升的趋势,季节波动明显,与1996年和2007年同样采用底拖网调查方式的研究结果相差较大<sup>[22-23]</sup>。本研究除环节动物以外,物种数和1996年相差较大,但主体类群较为一致<sup>[22]</sup>。2007年5月底拖网获得底栖动物28种,鱼类虽然为第1优势类群,但多为小型种<sup>[23]</sup>。本研究与2007年相比,虽然各类群物种数相对较多,但类群之间相差不大。与历史数据相比,本研究5个季节的物种数明显低于1996年4个季节的物种数;但与只有4个底拖网站数据的2007年相比,本研究任意一季的物种数相对较高。说明与20世纪末相比,近年来黄河口近海大型底栖动物物种数明显下降。

本研究共获得优势种19种,其中甲壳动物11种,占50%以上,软体动物和鱼类各4种。这与1996年在黄河口三角洲附近海域进行的底拖网采样得到的优势种(13种)<sup>[22]</sup>比例相近,但与2007年(4种)<sup>[23]</sup>的比例相差较大。从20世纪末起,黄河口近岸海域大型底栖动物优势种呈现先下降后上升的趋势,这在某种程度上说明黄河口近岸海域底栖生态系统在最近十年得到一定程度的恢复。但对比优势种组成发现,1996年的优势种组成中大型种和经济种较多,而2007年和本研究中的优势种小型种和低经济价值种较多。这从侧面说明黄河口近岸海域底栖生态虽然有一定程度的恢复,但群落组成已经发生明显变化。

### 3.2 丰度和生物量特征

本研究中,黄河口近岸海域大型底栖动物类群包括软体类、鱼类、甲壳类、棘皮类和其他类,平均生物量分别为0.52,0.47,0.45,0.00078和0.0000027 g/m<sup>2</sup>。本研究大型底栖动物平均丰度依次为软体类、甲壳类、鱼类、棘皮类和其他类,平均丰度分别为0.25,0.19,0.04,0.00044,0.0000059 ind./m<sup>2</sup>。在平均丰度上,甲壳类和软体类占比较大,但在生物量上,甲壳类、软体类和鱼类占比相差较为接近,说明该海域以小型的甲壳类和软体类为主,鱼类虽然数量占比较少,但仍占据重要地位。

与历史调查结果相比,本研究底栖动物平均生物量和平均丰度相差较大。例如,使用采泥调查的研究

中,吴斌等<sup>[24]</sup>和李少文等<sup>[25]</sup>发现黄河口近海大型底栖动物中软体类、多毛类、甲壳类在生物量和丰度上占比较大。在同样使用底拖网调查的研究中,张旭<sup>[23]</sup>发现,黄河口海域底栖类群有甲壳类、软体类和鱼类,生物量占比分别为46.10%、30.55%和23.34%;底栖动物平均丰度占比为软体类59.99%、甲壳类25.30%和鱼类14.71%。对比长江口近海域底拖网底栖动物群落的研究,杨金龙等<sup>[15]</sup>发现其主要大型底栖动物包括甲壳类、鱼类、软体类、多毛类,平均生物量分别为19.69,18.31,10.32,0.05 g/m<sup>2</sup>;大型底栖动物平均丰度为甲壳类64.67%和软体类27.68%,其余类群占比较小。

对比发现,底拖网调查的主要类群为软体类、鱼类和甲壳类,而采泥调查的主要类群为多毛类、软体类和甲壳类<sup>[24-25]</sup>。原因可能是多毛类为底内生活型底栖动物,主要活动区域在沉积物内部,底拖网是贴合沉积物表面的调查工具,难以捕获此类底栖动物。鱼类为底游生活型底栖动物,反应能力和移动能力较强,而速度较慢、覆盖面积较小的采泥器难以捕获;软体类为底表生活型底栖动物,反应能力和移动能力较差,采泥器和底拖网都较易捕获此类底栖动物。因此,在底栖动物研究中,采泥调查和底拖网调查的结果可以互补。排除掉多毛类和鱼类,就底栖动物主要类群的占比排序、丰度和生物量而言,本研究与吴斌等<sup>[24]</sup>、李少文等<sup>[25]</sup>的调查一致。

结合以上调查可以发现,黄河口近岸海域大型底栖动物主体类群为多毛类、软体类、甲壳类和鱼类。在张旭<sup>[23]</sup>的调查中,甲壳类在丰度上的占比远小于生物量。而本研究中,甲壳类在丰度上的占比却大于生物量,这说明黄河口近岸海域甲壳类大型底栖动物出现小型化趋势。在软体类方面,本研究和张旭<sup>[23]</sup>的调查中,都是丰度占比远大于生物量,这说明黄河口近岸海域软体类大型底栖动物依旧以小个体为主。在鱼类方面,本研究鱼类的丰度占比与2007年<sup>[23]</sup>相比下降近一半。虽然生物量占比高出2007年近10%,但本研究生物量占比多的鱼类为低经济价值种的虾虎鱼,这说明黄河口近海渔业资源可能存在一定程度的下降。毛婕昕等<sup>[26]</sup>的研究也表明,黄河口近海底栖动物生物量和栖息密度有所下降。对比长江口底栖动物的研究发现,长江口近海的底栖动物群落主要为较大个体的甲壳类和鱼类<sup>[15]</sup>,而本研究黄河口近海底栖动物以小型种的软体类、甲壳类和低经济价值种鱼类为主,因此可以推测出长江口近海底栖动

物群落要优于黄河口近岸海域。

### 3.3 物种多样性指数特征

2016年至2017年在黄河口邻近海域的5次调查显示,多样性指数和均匀度指数最高值都出现在三角洲南部海域的T3站,丰富度指数最高值出现在北部海域的T10站,两站都远离三角洲东部河口,低值区多位于河口附近。对比以往黄河口近海底栖动物的研究,本研究的丰富度指数和多样性指数的平均值与张旭<sup>[23]</sup>、李少文等<sup>[25]</sup>的调查相符,与吴斌等<sup>[24]</sup>的调查相差较大。吴斌等<sup>[24]</sup>认为底栖多样性具有随河口距离增加而增加的趋势,李少文等<sup>[25]</sup>认为离河口较远的海域多样性指数较高。

本研究多样性分析表明,黄河口近海底栖动物靠近河口的海域多样性较低,而远离河口的海域较高。这可能是由于河口邻近海域水深较浅、盐度较低和富营养化程度较高,大型底栖动物适应性较差<sup>[27]</sup>。除少数机会种和污染指示种,多数大型底栖动物与水深、盐度、溶解氧等环境因子呈正相关<sup>[28]</sup>。吴斌等<sup>[24]</sup>的调查中,离河口较远的A1、A7、A12和A13站丰富度指数都在4以上,拉高了平均值;而靠近河口的A3和A5多样性指数都在2以下,A5站甚至接近1,拉低了平均值,这同样说明河口近海离河口较远的海域多样性较低,离河口较远的海域多样性较高。

### 3.4 群落结构特征与受扰动情况

黄河口近海5次调查的群落聚类等级分析和MDS排序分析结果显示,各站相似性程度范围分别为2016年8月13.86%—74.24%、2016年11月31.23%—71.26%、2017年5月33.38%—71.50%、2017年8月9.94%—62.18%和2017年11月16.19%—70.22%。结果显示,黄河口各月各站相似性程度相差较大。除2017年8月,其余月份的调查既有相似性在70%以上的站,也有相似性在40%以下的站,甚至2017年8月的T10站与其他站的相似性只有9.94%。历史调查表明,黄河口近海环境复杂,底栖动物群落结构的差异较大<sup>[24]</sup>,结合拖网站位地图分析发现,本研究相似性较高的站多在距离上较为接近,这说明黄河口的复杂环境产生了多个较小生境,较小生境之间的群落结构差异较大,而在生境内部,群落结构差异较小。

对5个季节黄河口近海大型底栖动物调查数据进行ABC曲线分析,结果显示5个季节受污染扰动程度相差较大,严重程度呈现先上升后下降的趋势。

以往对黄河口近海水质调查也显示,河口近岸海域富营养化程度相对外海较高,受扰动较严重<sup>[29]</sup>。而且浅水、低盐和污染较重的黄河口及近岸区域不利于底栖动物的生存<sup>[27]</sup>。本文调查结果也表明,黄河口邻近海域底栖群落受到明显干扰,说明该区域的生态问题较为严重。黄河口近海底栖动物群落受扰动情况波动较大,而底栖底栖动物研究需要考虑年际动态<sup>[30]</sup>,所以该海域还需要对底栖群落进行长期调查。

## 4 结论

5次黄河口近岸海域底拖网调查共获得大型底栖动物109种,以软体动物、甲壳动物和鱼类为主,棘皮动物和其他动物占比很小。优势种共19种,其中甲壳动物占一半以上。黄河口近岸海域大型底栖动物有小型化趋势,高经济价值种在种群密度和生物量上也有一定程度的下降。黄河口近岸海域底栖群落结构差异较大,总体受扰动情况明显。为了利于底栖动物生态健康恢复,有必要加强黄河口海域生态保护和管理工作。由于各种原因,本研究底拖网站位局限于黄河口及三角洲近岸海域,为了了解黄河口底栖动物更多分布特征和变化动态,今后还需要在时间尺度和空间范围上继续加强调查研究。

### 参考文献

- [1] 张志南,图立红,于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究(一)生物量[J]. 青岛海洋大学学报, 1990,20(1):37-45.
- [2] 章飞军,童春富,张衡,等. 长江口潮下带春季大型底栖动物的群落结构[J]. 动物学研究, 2007,28(1):47-52.
- [3] 刘甜甜,李晓静,周政权,等. 芝罘岛污水排放对大型底栖动物群落的影响[J]. 广西科学, 2016,23(4):346-353.
- [4] BEZMATERNYKH D M, KRYLOVA E N. Macrozoobenthos in the Gilevsk Reservoir and adjacent reaches of the Alei River (Altai krai) [J]. Inland Water Biology, 2016,9(2):160-166.
- [5] KOCHUROVA T I, KANTOR G Y. Macrozoobenthos in the middle course of the Vyatka River in the area of a chemical-weapons destruction facility [J]. Inland Water Biology, 2013,6(4):322-330.
- [6] ZABBEY N, UYI H. Community responses of intertidal soft-bottom macrozoobenthos to oil pollution in a tropical mangrove ecosystem, Niger Delta, Nigeria [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014,82(1/2):167-174.
- [7] LYSENKO L, KANTSEROVA N, KÄIVÄRÄINEN E, et al. Biochemical markers of pollutant responses in macrozoobenthos from the White Sea: Intracellular proteolysis [J]. Marine Environmental Research, 2014, 96(96):38-44.

- [8] AMARAL M J, COSTA M H. Macrobenthic communities of salt pans from the Sado estuary (Portugal) [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20(4): 327-332.
- [9] DRAKE P, BALDÓ F, SÁENZ V, et al. Macrobenthic community structure in estuarine pollution assessment on the Gulf of Cádiz (SW Spain): Is the phylum-level meta-analysis approach applicable? [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, 38(11): 1038-1047.
- [10] 刘晓收, 史书杰, 周红, 等. 渤海大型底栖动物多样性及其与环境因子的关系[J]. *广西科学*, 2015, 22(5): 540-548.
- [11] 张莹, 吕振波, 徐宗法, 等. 环境污染对小清河口大型底栖动物多样性的影响[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 381-387.
- [12] 张亮, 叶芳, 王尽文, 等. 黄河口埕岛油田周边海域的生态环境特征及变化趋势[J]. *海洋学研究*, 2015, 33(3): 75-83.
- [13] 徐勇, 隋吉星, 李新正, 等. 南黄海大型底栖动物群落划分及变化[J]. *广西科学*, 2016, 23(4): 339-345.
- [14] 李宝泉, 李新正, 王洪法, 等. 长江口附近海域大型底栖动物群落特征[J]. *动物学报*, 2007, 53(1): 76-82.
- [15] 杨金龙, 周轩, 郭行磐, 等. 长江口潮下带大型底栖动物的群落结构特征[J]. *水产科技情报*, 2014, 41(4): 192-198.
- [16] 周细平, 李贞, 吴培芳, 等. 珠江河口区大型底栖动物群落结构[J]. *生物多样性*, 2019, 27(10): 1112-1121.
- [17] 孙道元, 刘银城. 渤海底栖动物种类组成和数量分布[J]. *黄渤海海洋*, 1991, 9(1): 42-50.
- [18] 张志南, 图立红, 于子山. 黄河口及其邻近海域大型底栖动物的初步研究——(二)生物与沉积环境的关系[J]. *青岛海洋大学学报*, 1990, 20(2): 45-52.
- [19] 张芮, 徐宾铎, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 946-952.
- [20] 李新正, 李宝泉, 王洪法, 等. 南沙群岛渚碧礁大型底栖动物群落特征[J]. *动物学报*, 2007, 53(1): 83-94.
- [21] WARWICK R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities [J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [22] 高六礼, 田家怡. 黄河三角洲附近海域底栖动物多样性及其保护措施[J]. *海洋环境科学*, 1999, 18(1): 39-44.
- [23] 张旭. 黄河口海域渔业资源调查及现状评价的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [24] 吴斌, 宋金明, 李学刚. 黄河口大型底栖动物群落结构特征及其与环境因子的耦合分析[J]. *海洋学报: 中文版*, 2014, 36(4): 62-72.
- [25] 李少文, 任中华, 王田田. 黄河口海域夏季大型底栖动物的生态学特征[J]. *渔业科学进展*, 2017, 38(6): 9-17.
- [26] 毛婕昕, 闫启仑, 王立俊. 典型河口底栖动物种类数、生物量及种群密度变化趋势的研究[J]. *海洋环境科学*, 2011, 30(1): 37-40.
- [27] 孙凯静, 罗先香, 张龙军, 等. 黄河口及邻近海域底栖群落健康及生境适宜性评价[J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2015, 45(12): 107-112.
- [28] 李少文, 张莹, 李凡, 等. 调水调沙对黄河口海域大型底栖动物群落的影响[J]. *环境科学研究*, 2015, 28(2): 259-266.
- [29] 刘潇, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 基于主成分分析法的黄河口及其邻近水域水质评价[J]. *中国环境科学*, 2015, 35(10): 3187-3192.
- [30] MAXIMOV A A, BEREZINA N A, PETUKHOV V A. The meio- to macrozoobenthos ratio in a lake benthic community: Dynamic aspect [J]. *Doklady Biological Sciences*, 2017, 473(1): 69-72.

## Community Characteristics of Macrobenthos in the Coastal Waters of the Yellow River Estuary

YAN Lang<sup>1</sup>, CHEN Linlin<sup>2</sup>, LV Juanzhang<sup>3</sup>, JIANG Shaoyu<sup>2,4</sup>, LIU Chunyun<sup>1</sup>, LI Xiaojing<sup>2,4</sup>, SONG Bo<sup>2</sup>, LI Baoquan<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang, 316000, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong, 264003, China; 3. Administration Bureau of the Yellow River Delta National Nature Reserve, Dongying, Shandong, 257091, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

**Abstract:** In order to understand the current status and changes of macro-benthic resources in the coastal waters of the Yellow River estuary, the trawl surveys were carried out in August, November 2016, and May, August, and November 2017. Biological samples obtained from trawl were identified, weighted and counted to get the indicator data such as species composition, dominant species, biomass and abundance. The dominance calculation method and PRIMER 6.0 statistical software were used to analyze the community characteristics.

As a result, a total of 109 species of macrobenthos were obtained, 37 species of crustaceans, 35 species of fishes, 34 species of mollusks, 2 species of echinoderms, and 1 species of other animals (*Actiniaria* sp.). 19 dominant species were discovered in this area, including 11 species of crustaceans, 4 species of mollusks and 4 species of fish. The total average abundance and total average biomass of macrobenthos in the Yellow River estuary were 0.48 ind./m<sup>2</sup> and 1.44 g/m<sup>2</sup>, respectively. The contribution rate of mollusks was the highest. The average of richness index ( $D$ ), evenness index ( $J'$ ) and Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) were  $2.44 \pm 0.33$ ,  $0.88 \pm 0.03$ ,  $3.64 \pm 0.08$ , respectively. CLUSTER and MDS analysis results show that at the 40% similarity level, the results of each survey can be divided into 3–5 groups, and the differences between the groups are important. The macrobenthos off the Yellow River estuary are dominated by small crustaceans, mollusks and low-economic fish, and benthic species tend to be miniaturized. The structure of macrobenthic communities near the Yellow River estuary is quite different, and the overall pollution disturbance is obvious.

**Key words:** macro-benthic, community, Yellow River estuary, bottom trawl, diversity

责任编辑:米慧芝

(上接第 230 页 Continued from page 230)

## Application of Domestic Heat Flow Probe HFP-6000 in the In-situ Detection of Heat Flow in Qiongdongnan Basin

SONG Yongdong, ZHANG Jianxing, LUAN Zhendong, YAN Jun

(Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

**Abstract:** Seafloor heat flow probe is an important geophysical method for studying seafloor tectonic activities. In order to better obtain the heat flow data in the study area, the self-developed of Lister heat flow probe was employed to carry out the in-situ measurement work of seafloor heat flow with the "kexue" survey ship. The heat flow stations in this offshore experiment were located in the northern slope area of the Qiongdongnan basin, with a water depth of 100–1 300 m. 5 heat flow stations were tested, and valid data for 3 stations were obtained. The domestic heat flow probe HFP-6000 has stable working performance, and the measurement accuracy can reach 0.001°C, which meets the requirements of conducting high-precision heat flow large-section surveys. However, the probe is long and heavy, and belongs to large scientific research equipment, which has high requirements on the operating conditions of the scientific research ship's rear deck. The miniaturization, integration, and intelligent optimization of domestic heat flow probe equipment will be the next development direction.

**Key words:** domestication, HFP-6000 heat flow probe, Qiongdongnan basin, in-situ measurement, "kexue" survey ship

责任编辑:陆雁