

# 胶州湾春季大型底栖生物多样性及群落结构特征

崔雯瑶<sup>1</sup>, 杨湘君<sup>1</sup>, 张蒙生<sup>2</sup>, 陈晨<sup>1</sup>, 于子山<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 上海勘测设计研究院, 上海 200050)

**摘要:** 基于 2018 年 5 月胶州湾海域共计 20 个站位所获取的生物及环境数据, 研究胶州湾大型底栖生物多样性以及群落结构特征。调查海域共发现大型底栖生物 208 种, 大型底栖生物总平均丰度和生物量分别为 2 654.38 ind./m<sup>2</sup> 和 1 024.512 2 g/m<sup>2</sup>, 大型底栖生物物种数、丰度和生物量均呈现北部高、南部低的分布趋势; 调查海域优势种以多毛类为主,  $I_{RI}$  值最高的物种为菲律宾蛤仔 *Ruditapes philippinarum*; 香农维纳指数与 ABC 曲线均表明调查海域底栖生态环境整体清洁; 在 40% 相似性水平上, 可将调查海域大型底栖生物划分为 4 个群落; 底温和底盐影响调查海域大型底栖生物丰度分布。

**关键词:** 胶州湾; 大型底栖生物; 生物多样性; 群落结构

中图分类号: Q958.8 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2020)06-0101-09

DOI: 10.11759/hyxx20191118001

胶州湾位于山东半岛南部, 是一个自然条件相对独立的半封闭式中型海湾。海域环境特殊, 底栖生物复杂多样<sup>[1]</sup>, 是我国最早开展海湾生态研究的典型海域之一<sup>[2]</sup>。早在 20 世纪 30 年代, 张玺教授等开始对胶州湾软体动物进行了全面调查<sup>[3]</sup>。50 年代中国科学院海洋研究所与苏联科学院动物研究所合作, 对胶州湾潮间带底栖生物做了比较详细的调查, 并根据底质对底栖生物群落进行了初步划分<sup>[4]</sup>。80—90 年代刘瑞玉教授等对胶州湾进行了长期连续的综合调查, 对胶州湾底栖生物群落划分做了更详细的论述<sup>[5]</sup>。90 年代起, 对胶州湾大型底栖生物的研究开始增多<sup>[6-8]</sup>。21 世纪后, 人们对胶州湾大型底栖生物的研究更加详尽, 研究涉及大型底栖生物的种类组成、群落结构、生物多样性、次级生产力、功能群划分以及与环境因子间的关系等方面<sup>[9-15]</sup>。这些研究或局限于胶州湾的局部海域<sup>[1, 10]</sup>, 或设置的站位较少<sup>[11, 15]</sup>, 难以反映胶州湾大型底栖生物的全貌。本研究在胶州湾共均匀设置 20 个站位, 展开了对胶州湾大型底栖生物的研究, 以期对胶州湾底栖生态系统及生物资源持续利用的深入研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位布设和样品处理

于 2018 年 5 月 4 日和 5 日对胶州湾大型底栖生物进行了调查取样, 共设置 20 个站位(图 1), 调查船为“天使一号”。使用 0.05 m<sup>2</sup> 箱式采泥器采集沉积

物样品, 每站连续采样 3 次合并为一个样品, 使用孔径为 0.5 mm 的网筛对沉积物样品进行分选, 分选后

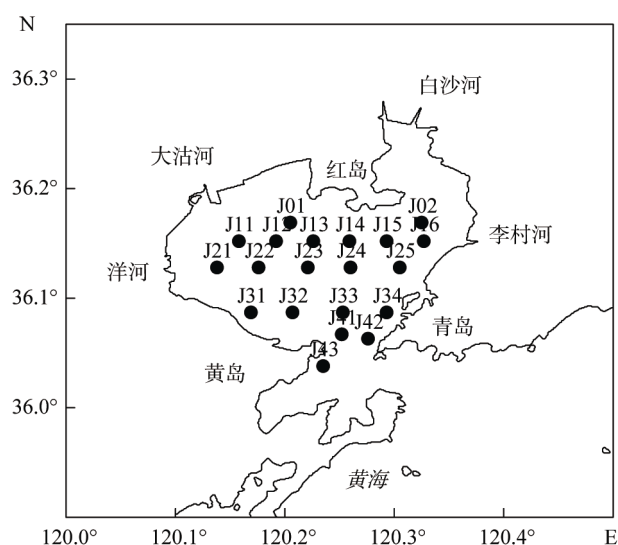


图 1 调查海域大型底栖生物取样站位图

Fig. 1 Map of the sampling stations of macrobenthos in the survey area

收稿日期: 2019-11-18; 修回日期: 2020-01-07

基金项目: 胶州湾海洋生物多样性普查及信息库构建项目; 国家自然科学基金项目(41576153)

[Foundation: Jiaozhou Bay Marine Biodiversity census and information database construction project; The National Natural Science Foundation of China, No.41576153]

作者简介: 崔雯瑶(1995-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士生, 研究方向为海洋底栖生物生态学, E-mail: 1042650492@qq.com; 于子山(1963-), 通信作者, 男, 山东青岛人, 副教授, 研究方向为海洋底栖生物生态学, 电话: 0532-82031938, E-mail: yu\_zishan@ouc.edu.cn.

的样品及残渣全部收集装瓶,用 10%福尔马林溶液固定。样品的处理、保存、计数、称重等均按照《海洋调查规范》要求进行<sup>[16]</sup>。

## 1.2 环境因子的测定

每站分别取一定量的沉积物表层样品装入密封袋中, -20℃保存<sup>[17]</sup>,用于叶绿素(Chl *a*)、有机碳与沉积物粒度的测定。

叶绿素的测定采用荧光分光光度法。有机碳含量按照《海洋调查规范》中重铬酸钾-硫酸氧化法进行测定<sup>[16]</sup>。沉积物粒度利用激光粒度分析仪进行测定,依据矩值法计算粒度参数<sup>[18]</sup>,通过 Folk 法分析沉积物类型<sup>[19]</sup>。水深、底温及底盐均由 CTD 探测仪现场测得。

## 1.3 数据处理与分析

### 1.3.1 优势种的确定

相对重要性指数  $I_{RI}$  (Index of Relative Importance)计算公式如下:

$$I_{RI}=(W+N) \times F,$$

其中:  $W$  为每个物种生物量占总生物量的百分比,  $N$  为每个物种丰度占总丰度的百分比,  $F$  为该种出现的频率。

### 1.3.2 多样性指数的计算

Shannon-Wiener 指数( $H'$ )、Margalef 丰富度指数( $D$ )以及 Pielou's 物种均匀度指数( $J'$ )计算公式如下:

$$H'=-\sum(n_i/N) \times \log_2(n_i/N),$$

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

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

其中:  $S$  为总种数,  $N$  为总个体数,  $n_i$  为第  $i$  种的个体数。

### 1.3.3 数据分析

利用大型底栖生物丰度和生物量数据绘制丰度/生物量比较曲线(ABC 曲线);对丰度数据进行 Cluster 分析(划分群落)以及 SIMPER 分析(确定对群落划分起主要作用的种),以上分析均使用 PRIMER 6.0 软件包。

## 2 结果

### 2.1 沉积环境

表 1 为调查海域各环境因子检测结果。调查海域各站位平均水深为 12.6 m。水深最深处位于湾口的 J42 站,为 31.0 m;最浅处位于东北部的 J02 站,仅为 6.0 m。底温平均值为 13.65 °C,分布呈现从北至南递减的趋势;底盐平均值为 31.81,分布趋势与底温分布趋势相反,从北至南递增。调查海域 Chl *a* 分布不均匀,北部海域的 J11、J12、J13、J14、J15、J16 站 Chl *a* 较高,在 0.68 μg/g 以上;大沽河口的 J01 站、李村河口的 J02 站以及湾口处的 J33 站和 J41 站 Chl *a* 较低,低于 0.30 μg/g。有机碳仅东部河口及湾口处含量较高,如湾口处 J43 站位(1.872 mg/g)和李村河口 J16 站(1.612 mg/g),其余站位有机碳含量均在 0.609 至 1.281 mg/g 之间。北部海域沉积物类型以砂质粉砂为主;南部海域近湾口处沉积物颗粒变粗,出现砾石。

表 1 调查海域各站位环境因子

Tab. 1 Environmental factors of each sampling site in the survey area

站号	水深/m	底温/°C	底盐	Chl <i>a</i> /(μg/g)	有机碳/(mg/g)	沉积物类型
J01	8.6	13.73	32.22	0.28	0.609	砂质粉砂
J02	6.0	15.62	31.00	0.21	1.098	粉砂
J11	7.0	13.81	31.78	0.68	0.702	砂质粉砂
J12	10.1	13.63	31.94	0.70	0.865	砂质粉砂
J13	7.1	14.19	31.75	0.80	0.835	砂质粉砂
J14	6.8	14.60	31.88	0.91	1.124	砂质粉砂
J15	6.5	15.33	31.59	0.75	0.953	砂质粉砂
J16	8.0	15.13	30.95	1.23	1.612	砂质粉砂
J21	9.0	14.80	32.05	0.41	0.713	砂质粉砂
J22	8.0	13.71	31.81	0.37	0.864	砂质粉砂
J23	10.8	13.68	31.83	0.34	1.049	砂质粉砂
J24	6.5	13.64	31.74	0.32	0.735	含砾泥质砂
J25	8.6	14.43	31.61	0.50	1.203	砂质粉砂
J31	10.8	13.99	32.19	0.44	0.690	粉砂质砂

续表

站号	水深/m	底温/°C	底盐	Chl <i>a</i> /(μg/g)	有机碳 / (mg/g)	沉积物类型
J32	29.7	12.25	32.04	0.47	1.097	砂质粉砂
J33	21.6	11.90	31.99	0.21	0.949	砾质泥质砂
J34	15.0	12.76	32.09	0.71	1.281	粉砂
J41	31.2	11.95	31.94	0.23	1.082	砾质砂
J42	31.0	11.95	31.87	0.32	0.711	含砾泥质砂
J43	10.0	11.98	31.96	0.59	1.872	砂质粉砂
平均	12.6	13.65	31.81	0.52	1.002	

## 2.2 大型底栖生物种类组成与优势种

本次调查共采集到大型底栖生物 208 种, 分属腔肠动物、扁形动物、纽形动物、多毛类、软体动物、甲壳类、棘皮动物、半索动物和脊索动物九个门类。其中多毛类、软体动物和甲壳类分别出现 76、42 和 72 种, 为主要类群, 其物种数之和占总种数的 92.23%。

物种数最多的站位出现在北部海域的 J14 站, 为 58 种; 其次在西部海域靠近洋河河口的 J21 站, 为 49 种。物种数最少的站出现在湾口附近的 J33 站, 仅 23 种; 湾口处的 J41 和 J43 站出现的物种数也较少, 均是 24 种。调查海域北部站位的物种数相对较多。

表 2 为  $I_{RI}$  排名前 10 位的物种。菲律宾蛤仔 *R. philippinarum* 为本次调查的第一优势种, 主要出现在调查海域的西北部。 $I_{RI}$  排名前 10 位的物种中多毛类共 7 种, 出现频率较高, 几乎遍布整个调查海域, 显示了多毛类在调查海域的优势地位。

表 2 调查海域物相对重要性指数排名前十的物种  
Tab. 2 Top 10 species ranked by  $I_{RI}$  in the survey area

优势种	$I_{RI}$
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	2 092
中华螺赢蜚 <i>Corophium sinense</i>	1 376
寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	569
不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	350
中蚓虫 <i>Mediomastus californiensis</i>	314
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>	301
巴氏钩毛虫 <i>Sigambra bassi</i>	200
多丝独毛虫 <i>Tharyx multifilis</i>	196
短叶索沙蚕 <i>Lumbrinereis latreilli</i>	187
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	154

## 2.3 大型底栖生物丰度与生物量

如表 3 所示, 调查海域大型底栖生物总平均丰

度为 2 654.38 ind./m<sup>2</sup>。丰度最高值出现在李村河口的 J02 站, 丰度高达 9 670.00 ind./m<sup>2</sup>, 该站位出现了丰度很高的中华螺赢蜚 *Corophium sinense* (7 470.00 ind./m<sup>2</sup>); 丰度次高值出现在李村河口的 J16 站, 丰度为 5 933.33 ind./m<sup>2</sup>, 该站同样出现了大量的中华螺赢蜚 *C. sinense* (4 140.00 ind./m<sup>2</sup>)。调查海域西北部的 J01、J11、J12、J13 和 J14 站均出现了菲律宾蛤仔 *R. philippinarum*, 其丰度相对较高, 这可能与该物种在调查海域北部大面积养殖有关。丰度最低值出现在湾口处的 J43 站, 丰度仅为 393.33 ind./m<sup>2</sup>;

表 3 调查海域大型底栖生物的丰度、生物量和多样性指数  
Tab. 3 Abundance, biomass and diversity indices of macrobenthos in the survey area

站位	丰度/(ind./m <sup>2</sup> )	生物量/(g/m <sup>2</sup> )	$H'$	$J'$	$D$
J01	4 340.00	822.334 0	2.147	0.429	3.701
J02	9 670.00	2 515.173 0	1.841	0.344	4.359
J11	4 167.67	324.939 3	2.435	0.467	4.319
J12	4 093.33	866.782 7	3.139	0.565	5.533
J13	2 820.00	111.088 0	3.466	0.670	4.406
J14	4 053.33	3 862.755 3	3.589	0.613	6.861
J15	1 870.00	9 231.552	4.784	0.866	5.973
J16	5 933.33	31.572 7	2.089	0.418	3.570
J21	1 980.00	131.940 0	4.023	0.716	6.323
J22	1 653.33	19.361 3	4.521	0.844	5.398
J23	956.67	9.518 7	4.456	0.862	5.099
J24	1 013.33	14.279 3	4.830	0.890	6.603
J25	853.33	41.181 9	4.633	0.903	5.038
J31	2 060.00	2 235.572 0	3.315	0.623	5.111
J32	1 980.00	58.776 7	4.490	0.844	5.138
J33	980.00	7.624 0	4.260	0.938	3.194
J34	2 360.00	142.534 7	4.745	0.817	7.082
J41	1 280.00	31.372 0	4.194	0.915	3.215
J42	630.00	22.185 0	4.137	0.866	4.034
J43	393.33	9.698 7	4.280	0.934	3.850
平均	2 654.38	1 024.512 1	3.769	0.726	4.940

次低值出现在 J42 站,也是位于湾口海域,丰度为 630.00 ind./m<sup>2</sup>。丰度值总体呈现北高、南低的分布

趋势,丰度高值区位于大沽河口及李村河口附近站位(图 2)。

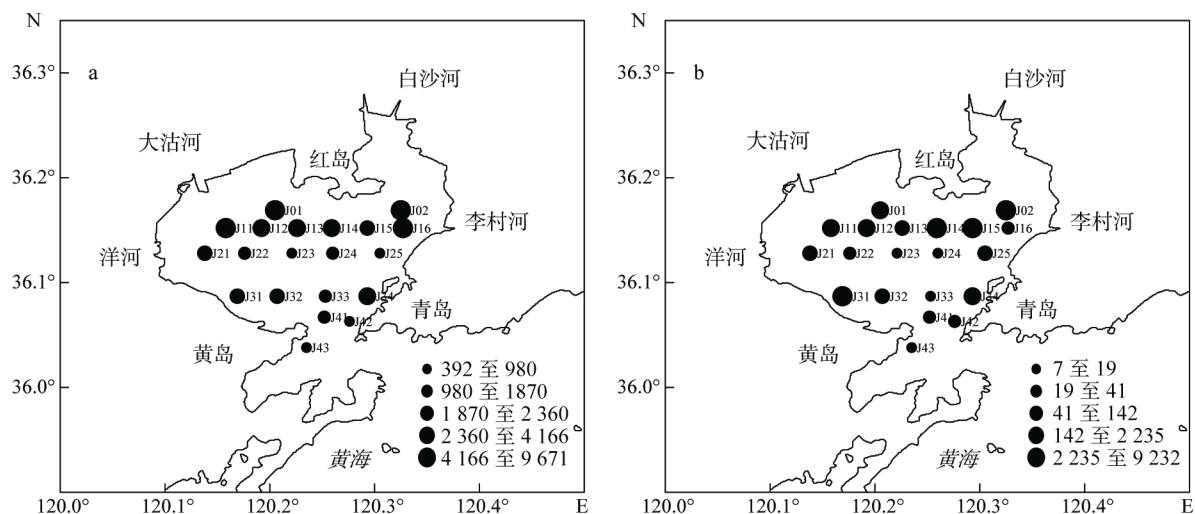


图 2 调查海域大型底栖生物丰度(a)和生物量(b)空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of the (a) abundance and (b) biomass of macrobenthos in the survey area

调查海域大型底栖生物总平均生物量为 1 024.512 2 g/m<sup>2</sup>(表 3)。东北部海域的 J15 站生物量最高,为 9 231.552 0 g/m<sup>2</sup>,该站出现了个体较大的长牡蛎 *Crassostrea gigas*,生物量高达 8 842.276 0 g/m<sup>2</sup>;生物量次高的站点是位于北部海域的 J14 站,生物量为 3 862.755 3 g/m<sup>2</sup>。湾口附近的 J33 站生物量最低,仅为 7.624 g/m<sup>2</sup>;生物量次低值出现在湾口处的 J43 站,为 9.698 7 g/m<sup>2</sup>。生物量与本次调查的丰度和物种数分布趋势相同,呈现北部高、南部低的趋势(图 2)。

## 2.4 大型底栖生物多样性指数

调查海域各站位多样性指数见表 3。调查海域的  $H'$  平均值为 3.769。北部沿岸站位的  $H'$  较低,都在 2 左右。最低值为 1.841,位于 J02 站。而位于中

部的站位  $H'$  值较高,多数大于 4。 $H'$  最高的站位是 J24 站,为 4.830。

调查海域的  $J'$  平均值为 0.726, $J'$  最高值出现在湾口附近的 J33 站,为 0.938, $J'$  最低值出现在东北部海域的 J02 站,为 0.344。 $D$  平均值为 4.940,湾口附近的 J34 站  $D$  值最高,为 7.082,湾口处的 J41 站  $D$  值最低,为 3.215。

## 2.5 大型底栖生物群落

图 3 和图 4 为大型底栖生物聚类分析结果,在 40% 的相似度水平上,可将大型底栖生物划分为 4 个群落。每个群落中选取相似性贡献率最高的三个物种(SIMPER 分析),作为群落的特征种,并以 3 个特征种作为群落名称。

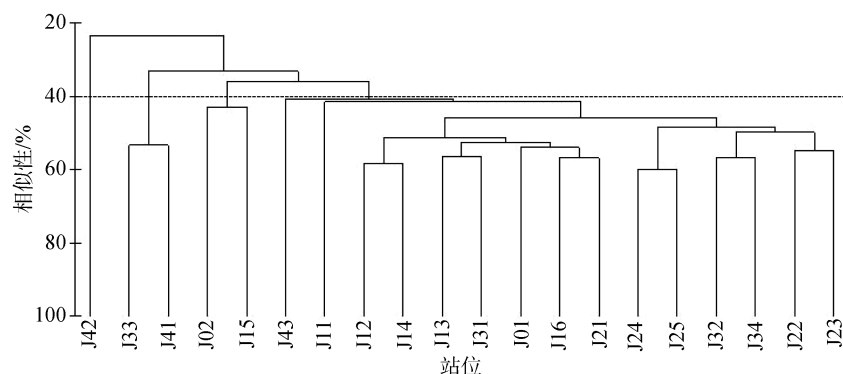


图 3 调查海域大型底栖生物聚类分析图

Fig. 3 Cluster analysis of macrobenthos in the survey area

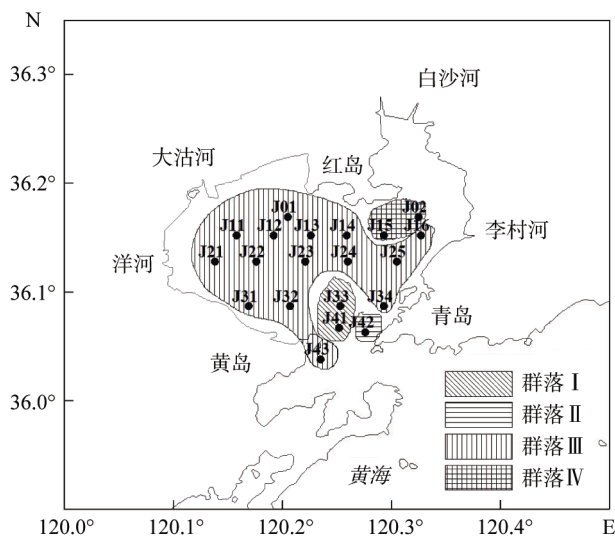


图 4 调查海域大型底栖生物群落空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of macrobenthic community in the survey area

群落 I, 中蚓虫 *M. californiensis*、寡鳃齿吻沙蚕 *N. oligobranchia* 和双栉虫 *Ampharete acutifrons* 群落。该群落位于调查海域的湾口附近, 包括 J33 和 J41 站, 平均水深 26.4 m, 沉积物类型分别为砾质泥质砂以及砾质砂。群落 I 组内平均相似性为 53.27%, 三个特征种对组内相似性的累计贡献率高达 28.20%。

群落 II, 双栉虫 *Ampharete acutifrons*、东方缝栖蛤 *Hiatella orientalia* 和豆形短眼蟹 *Xenophthalmus*

*pinnotheroides* 群落。该群落水深 31.0 m, 沉积物类型为含砾泥质砂。该群落仅包含湾口处的 J42 站, 与其他群落相异性最高, 在 70.40%~77.25%之间。

群落 III, 寡鳃齿吻沙蚕 *N. oligobranchia*、不倒翁虫 *S. scutata* 和中蚓虫 *M. californiensis* 群落。该群落包括西部海域以及中部海域站位, 平均水深 13.8 m, 沉积物类型以砂质粉砂为主。组内平均相似性为 46.57%, 三个特征种对组内相似性贡献率累计达 21.22%。

群落 IV, 中蚓虫 *M. californiensis*、丝异须虫 *H. filiformis* 和棒毛拟隐鳞虫 *Hermadionella truncata* 群落。该群落包括东北部海域的 J02 和 J15 站, 平均水深 6.3 m, 沉积物类型分别为粉砂和砂质粉砂。群落 IV 组内平均相似性为 42.88%, 三个特征种对组内相似性累计贡献率为 18.46%。

### 3 讨论

#### 3.1 调查海域大型底栖生物丰度与环境因子关系

诸多研究表明<sup>[20-22]</sup>, 大型底栖生物丰度分布与环境因子存在相关性, 本研究也进行了大型底栖生物丰度与环境因子数据的 Pearson 相关性分析, 环境因子包括水深、底温、底盐、Chl *a*、有机碳、平均粒径和中值粒径, Pearson 相关性分析结果见表 4。

表 4 调查海域大型底栖生物丰度与环境因子的 Pearson 相关性

Tab. 4 Analysis of Pearson correlation between abundance of macrobenthos and environment factors in the survey area

	水深/m	底温/°C	底盐	Chl <i>a</i> /(μg/g)	有机碳/(mg/g)	平均粒径/mm	中值粒径/mm
丰度	-0.387	0.604**	-0.605**	0.236	0.038	-0.324	-0.342

注: \*\*在 0.01 水平上显著相关; \*在 0.05 水平上显著相关

结果表明大型底栖生物丰度与底温呈极显著正相关, 与底盐呈极显著负相关, 与其他环境因子无显著相关关系。陈晓娟等<sup>[23]</sup>和毕洪生<sup>[24]</sup>对胶州湾大型底栖动物的研究也得到了相似结论, 即底温与底盐影响胶州湾大型底栖生物的丰度分布。

#### 3.2 调查海域底栖生态环境质量分析

目前利用大型底栖生物评价生态环境质量的方法有许多, 如 Shannon-Wiener 指数<sup>[25]</sup>、ABC 曲线<sup>[26]</sup>、AMBI<sup>[27]</sup>等, 其中 Shannon-Wiener 指数具有较强的普遍适用性<sup>[28]</sup>。蔡立哲等<sup>[29]</sup>提出, *H'* 分四级来评价环境质量状况: *H'* 值大于 3 为清洁, *H'* 值在 2-3 之间为轻

度污染, *H'* 值在 1~2 之间为中度污染, *H'* 值小于 1 为重度污染。由表 2 可以看出, 除北部海域的 J01、J02 和 J16 站外, 其余站位 *H'* 均大于 3; J01 站与 J16 站 *H'* 在 2~3 之间; J02 站 *H'* 最小, 仅为 1.841。根据 *H'* 值的描述, 可以认为调查海域整体环境清洁, 仅北部海域的 J01、J02 和 J16 站受到扰动, 其中大沽河河口附近的 J01 站受到轻度扰动, 李村河口附近的 J02 和 J16 站分别受到中度扰动与轻度扰动。

本文也做了各站位大型底栖生物的丰度/生物量比较曲线, 发现仅李村河口附近的 J16 站的曲线发生交叉重叠, 指示 J16 站受到中度扰动(图 5), 其余站

位的 ABC 曲线均是生物量线位于丰度线之上, 指示并未受到扰动。ABC 曲线与生物多样性指数  $H'$  结果基本一致。

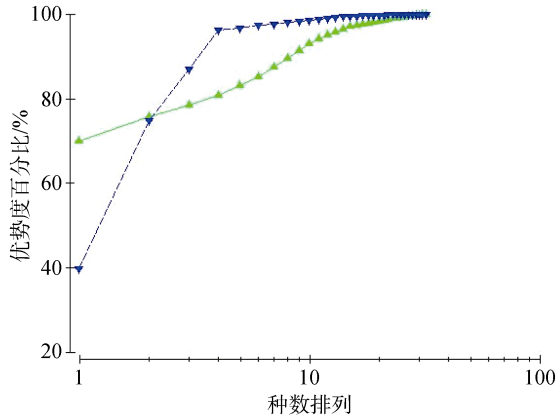


图 5 受扰动的 J16 站 ABC 曲线

Fig. 5 Curve of Abundance and Biomass Comparison of the disturbed site J16

近年来一些学者对胶州湾重金属污染开展了一系列研究<sup>[30-32]</sup>, 研究结果显示重金属高值区主要位于东部李村河口及西部大沽河口附近。2017 年肖彩玲等人<sup>[33]</sup>5 月份的研究结果显示: 李村河口和大沽河口为 Cr、Ni 和 Cu 重金属的富集区, 其中 Cr、Ni 和 Cu 平均值分别达到 62.73 mg/kg、24.62 mg/kg 和 23.44 mg/kg, 与本研究的扰动站位分布情况大致相同。

青岛市海洋环境公报表明, 2017 年胶州湾符合第一、二类海水水质标准的海域所占比例比 2012 年至 2016 年的平均值升高了 14.3%<sup>[34]</sup>。2018 年第一、

二类海水水质标准的海域面积占胶州湾总面积的 73.7%, 同比 2017 年提高了 1.9%, 比 2014 年提高了 10.3%<sup>[35]</sup>, 这与表 5 中  $H'$  呈现的逐年升高的趋势相符合, 可以看出近年胶州湾水质有所改善。

综上所述, 本文初步认为调查海域底栖生态环境整体清洁, 大沽河口和李村河口附近海域存在一定程度的污染。

### 3.3 本研究结果与历史研究资料的对比

表 5 为本研究与近年胶州湾海域历史研究资料<sup>[1, 10-11, 15, 36]</sup>的对比。本研究大型底栖生物的平均丰度、生物量、 $H'$ 和第一优势种与历史研究相差不大。2007 年隋吉星<sup>[1]</sup>的研究中大型底栖生物平均丰度最低, 平均生物量也相对较低, 第一优势种为棘刺锚参 *Protankyra bidentata*, 与本研究以及其他历史研究<sup>[15, 36]</sup>的第一优势种不同, 这可能是由于隋吉星<sup>[1]</sup>的站位设置在胶州湾中央并未涉及北部海域的贝类养殖区<sup>[37]</sup>。本研究与徐兆东<sup>[15]</sup>的研究中群落划分的结果基本一致, 主要划分为胶州湾北部及西部海域、胶州湾的中部海域和湾口附近海域, 但群落的特征种不完全相同, 如本研究中胶州湾北部及西部海域的群落特征种为寡鳃齿吻沙蚕 *N. oligobranchia*、不倒翁虫 *S. scutata* 和中蚓虫 *M. californiensis*, 而徐兆东<sup>[15]</sup>的研究结果中该群落的特征种为寡鳃齿吻沙蚕 *N. oligobranchia*、二齿半尖额涟虫 *Hemileucon bidentatus* 和巴氏钩毛虫 *Sigambra bassi*, 这可能与站位设置、样品采集方法的不同以及人类活动和气候变化可能对区域内底栖生物的影响有关。

表 5 本研究与历史研究资料的对比

Tab. 5 Comparison between the data of this study and those of the historical studies

调查时间	站位数	采泥器类型	采样次数	大型底栖生物的平均丰度/(ind./m <sup>2</sup> )	大型底栖生物的平均生物量/(g/m <sup>2</sup> )	$H'$	第一优势种	参考文献
2018.5	20	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	3	2 654	1 025	3.77	菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	本文
2014.5	13	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	4	2 483	176	3.96	菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	[15]
2011.3	8	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	3	5 223	259	4.01	菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	[36]
2007.4	5	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	3	876	36	2.59	棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i>	[1]
2004.5	5	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	3	3 617	1 094	2.50	—	[10]
2002.6	4	0.05m <sup>2</sup> 箱式采泥器	5	1 371	11	1.75	—	[11]

注: —: 未涉及优势种

## 4 结论

1) 调查海域底栖生态环境基本清洁, 大沽河口

及李村河口海域附近站位存在一定程度污染。

2) 底温和底盐是影响调查海域大型底栖生物丰度的主要环境因子。

## 参考文献:

- [1] 隋吉星, 于子山, 曲方圆, 等. 胶州湾中部海域大型底栖生物生态学初步研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(5): 1-6.  
Sui Jixing, Yu Zishan, Qu Fangyuan, et al. Preliminary ecological study of the macrobenthos in the middle part of the Jiaozhou Bay[J]. Marine Sciences, 2010, 34(5): 1-6.
- [2] 杨梅, 李新正, 徐勇, 等. 胶州湾潮下带大型底栖动物群落季节变化的研究[J]. 生物多样性, 2016, 24(7): 820-830.  
Yang Mei, Li Xinzheng, Xu Yong, et al. Seasonal variations in macrobenthic communities in the subtidal zones of Jiaozhou Bay[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(7): 820-830.
- [3] 张玺, 马绣同. 胶州湾海产动物采集团第二期及第三期采集报告[R]. 国立北平研究院动物学研究所中文报告汇刊, 1936, 11: 1-96.  
Zhang Xi, Ma Xiutong. Report on the second and third collections in the Jiaozhou Bay and its vicinity[R]. Bulletin of Institute of Zoology, National Academy of Peking, 1936, 11: 1-96.
- [4] 古丽娅诺娃, 吴宝玲. 胶州湾的底栖生物群落[J]. 海洋科学集刊. 1963, 3: 51-61.  
Gurjanova P V, Wu Baoling. Benthic community from Jiaozhou Bay[J]. Studia Marina Sinica, 1963, 3: 51-61.
- [5] 刘瑞玉. 胶州湾生态学和生物资源[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 229-237.  
Liu Ruiyu. Ecology and Living Resources of Jiaozhou Bay[M]. Beijing: Science Press, 1992: 229-237.
- [6] 毕洪生, 孙松, 孙道元. 胶州湾大型底栖生物群落的变化[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 132-138.  
Bi Hongsheng, Sun Song, Sun Daoyuan. Changes of macrobenthic communities in Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 132-138.
- [7] 孙道元, 张宝琳, 吴耀泉. 胶州湾底栖生物动态的研究[J]. 海洋科学集刊, 1996, 37: 103-114.  
Sun Daoyuan, Zhang Baolin, Wu Yaoquan. A study on macrobenthic infauna in the Jiaozhou Bay[J]. Studia Marina Sinica, 1996, 37: 103-114.
- [8] 毕洪生, 冯卫. 胶州湾底栖生物多样性的初步研究[J]. 海洋科学, 1996, 20(6): 58-62.  
Bi Hongsheng, Feng Wei. The diversity of macrobenthos in Jiaozhou Bay[J]. Marine Sciences, 1996, 20(6): 58-62.
- [9] 李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 49-55.  
Li Xinzheng, Wang Hongfa, Zhang Baolin. The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2005, 36(6): 49-55.
- [10] 袁伟. 胶州湾西部海域大型底栖动物的群落结构和多样性[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.  
Yuan Wei. Community structure and biodiversity of macrofauna in the western part of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao, Shandong Province: Ocean University of China, 2006.
- [11] 田胜艳. 胶州湾大型底栖动物的生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.  
Tian Shengyan. Ecological study of macrobenthos in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao, Shandong Province: Ocean University of China, 2003.
- [12] 钟海霞, 曲方圆, 隋吉星, 等. 山东南部近海春季大型底栖动物丰度、生物量及群落结构研究[J]. 海洋通报, 2018, 37(1): 88-98.  
Zhong Haixia, Qu Fangyuan, Sui Jixing, et al. Abundance, biomass and community structure of macrobenthos in southern coast of Shandong Province in spring[J]. Marine Science Bulletin, 2018, 37(1): 88-98.
- [13] 刘旭东, 于建钊, 张晓红, 等. 胶州湾大型底栖动物的次级生产力[J]. 中国环境监测, 2018, 34(6): 47-61.  
Liu Xudong, Yu Jianzhao, Zhang Xiaohong, et al. The secondary production of macrozoobenthos in Jiaozhou Bay[J]. Environmental Monitoring in China, 2018, 34(6): 47-61.
- [14] 丁敬坤, 张雯雯, 李阳, 等. 胶州湾底栖生态系统健康评价——基于大型底栖动物生态学特征[J]. 渔业科学进展, 2019, 41(2): 1-8.  
Ding Jingkun, Zhang Wenwen, Li Yang, et al. Health assessment of benthic ecosystem in Jiaozhou Bay——based on the ecological characteristics of macrobenthos[J]. Progress in Fishery Sciences, 2019, 41(2): 1-8.
- [15] 徐兆东. 胶州湾大型底栖动物生态学研究及功能群初探[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.  
Xu Zhaodong. Preliminary study of functional groups and ecological study of macrofauna in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao, Shandong Province: Ocean University of China, 2015.
- [16] 中华人民共和国国家技术监督局. GB/T12763. 6-91 海洋调查规范[S]. 北京: 国家标准出版社, 2007.  
National Technical Supervision Bureau of People's Republic of China. GB/T 12763. 6-91 Specifications for oceanographic survey[S]. Beijing: National Standards Press, 2007.
- [17] Holme N A, McIntyre A D. Methods for the Study of Marine Benthos[M]. Oxford: Blackwell Scientific publications, 1984.
- [18] John M M. Grain size determination and interpretation[J]. Technique in Sedimentology, 1988: 63-85.
- [19] 王中波, 杨守业, 张志珣. 两种碎屑沉积物分类方法的比较[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(3): 36-40.  
Wang Zhongbo, Yang Shouye, Zhang Zhixun. Comparison of two classifications of clastic sediments[J]. Marine Geology Letters, 2007, 23(3): 36-40.
- [20] 赵凡淇, 刘卫霞, 隋吉星, 等. 秋季山东南部近岸海

- 域大型底栖动物群落特征[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(1): 117-127.
- Zhao Fanqi, Liu Weixia, Sui Jixing, et al. Preliminary study on the characteristics of macrobenthic community in autumn in the coastal waters of Shandong[J]. *Advances in Marine Science*, 2018, 36(1): 117-127.
- [21] 张蒙生, 曲方圆, 隋吉星, 等. 山东半岛南部近海冬季大型底栖动物多样性及群落结构特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(S1): 58-66.
- Zhang Mengsheng, Qu Fangyuan, Sui Jixing, et al. Diversity and community structure of macrobenthos in southern coast of Shandong Peninsula in winter[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(S1): 58-66.
- [22] 袁涛萍, 李恒翔, 李路, 等. 夏季大亚湾大型底栖动物群落结构[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(1): 41-47.
- Yuan Taoping, Li Hengxiang, Li Lu, et al. Community structure of macrobenthos in summer in Daya Bay[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2017, 36(1): 41-47.
- [23] 陈晓娟, 薛莹, 徐宾铎, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季大型无脊椎动物群落结构及多样性研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(3): 78-84.
- Chen Xiaojuan, Xue Ying, Xu Binduo, et al. Community structure and diversity of macroinvertebrates during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(3): 78-84.
- [24] 毕洪生. 胶州湾环境对底栖生物的影响[J]. 海洋科学, 1997, 21(1): 37-40.
- Bi Hongsheng. The environmental influences on macrobenthos in Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 1997, 21(1): 37-40.
- [25] Shannon C, Weaver W. The mathematical theory of communication (Introductory note)[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [26] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [27] Borja A, Franco J, Perez 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.
- [28] Cai W Q, Meng W, Liu L S, et al. Evaluation of the ecological status with benthic indices in the coastal system: The case of Bohai Bay (China)[J]. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 2014, 8(5): 737-746.
- [29] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646.
- Cai Lizhe, Ma Li, Gao Yang, et al. Analysis on assessing criterion for polluted situation using species diversity index of marine macrofauna. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(5): 641-646.
- [30] 刘飞, 钟少军, 蒲晓强, 等. 胶州湾李村河口沉积物中重金属分布特征及其控制因素[J]. 海洋科学, 2006, 30(4): 31-35.
- Liu Fei, Zhong Shaojun, Pu Xiaoqiang, et al. Distributions of heavy metals in the estuarine sediments of the Licun River, Jiaozhou Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(4): 31-35.
- [31] 陈正新, 王保军, 黄海燕, 等. 胶州湾底质痕量元素污染研究[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(3): 280-288.
- Chen Zhengxin, Wang Baojun, Huang Haiyan, et al. Trace elements pollution in sediment of the Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2006, 37(3): 280-288.
- [32] 董贺平, 邹建军, 李广雪, 等. 胶州湾西北部沉积物中重金属元素分布特征及评价[J]. 海洋地质动态, 2007, 23(8): 4-9.
- Dong Heping, Zou Jianjun, Li Guangxue, et al. Distribution characteristics and evaluation of heavy metal elements in sediments in the northwest of Jiaozhou Bay[J]. *Marine Geology Letters*, 2007, 23(8): 4-9.
- [33] 肖彩玲, 陈路锋, 李雁宾. 胶州湾沉积物重金属分布特征及生态风险评价[J]. 中国科技论文, 2017, 12(9): 1079-1086.
- Xiao Cailing, Chen Lufeng, Li Yanbin. Distribution characteristics and potential risk assessment of heavy metals in the sediment of Jiaozhou Bay[J]. *China Sciencepaper*, 2017, 12(9): 1079-1086.
- [34] 2017年青岛市海洋环境公报[R]. 青岛市海洋与渔业局, 2018.
- Report on marine environmental quality of Qingdao, 2017[R]. Ocean & Fishery Administration of Qingdao, 2018.
- [35] 青岛市2018年水环境质量总体向好[R]. 青岛市生态环境局, 2019.
- Overall water environment quality of Qingdao in 2018 is better[R]. Qingdao Municipal Bureau of Ecology and Environment, 2019.
- [36] 王振钟. 胶州湾西北部海域大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- Wang Zhenzhong. The ecological study on the macrobenthos in the northwest waters of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao, Shandong Province: Ocean University of China, 2012.
- [37] 张明亮. 胶州湾贝类养殖容量研究与分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2008.
- Zhang Mingliang. The research of carrying capacity of shellfish in the Jiaozhou Bay[D]. Qingdao, Shandong Province: The First Institute of Oceanography, 2008.



# Diversity and community structure of the macrobenthos in Jiaozhou Bay in spring

CUI Wen-yao<sup>1</sup>, YANG Xiang-jun<sup>1</sup>, ZHANG Meng-sheng<sup>2</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>,  
YU Zi-shan<sup>1</sup>

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Survey and Design Institute of Shanghai, Shanghai 200050, China)

**Received:** Nov. 18, 2019

**Key words:** Jiaozhou Bay; macrobenthos; biodiversity; community structure

**Abstract:** Biological and environmental data were obtained from 20 stations in Jiaozhou Bay in May 2018 to investigate the diversity and community structure of the macrobenthos. A total of 208 macrobenthic species were found in the survey area, with an average abundance of 2 654.38 individuals/m<sup>2</sup> and an average biomass of 1 024.5122 g/m<sup>2</sup>. The species richness, abundance, and biomass were higher in the northern area than in the southern area. Most of the dominant species were polychaetes, with *Ruditapes philippinarum* being the most dominant. Both the Shannon–Wiener index and the ABC curve showed that the benthic ecological environment in the survey area was undisturbed. At 40% similarity level, 4 communities could be clustered. The abundance of the macrobenthos was influenced by temperature and salt content of the bottom water.

(本文编辑: 赵卫红)