

◆特邀栏目◆

胶州湾女姑口海域大型底栖动物群落特征与生态健康评价^{*}

刘欣禹^{1,2,3}, 齐衍萍^{1,2,3}, 沙婧婧^{1,2,3}, 徐子钧^{1,2,3}, 菅潇扬^{1,2,3}, 杜小媛^{1,2,3}, 温国义^{1,2,3},
周瑞佳^{1,2,3*}

(1. 国家海洋局北海环境监测中心, 山东青岛 266000; 2. 自然资源部渤海生态预警与保护修复重点实验室, 山东青岛 266000;
3. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室, 山东青岛 266000)

摘要:为探究青岛胶州湾女姑口海域大型底栖动物群落特征, 并对该海域进行底栖生态评价, 2018年11月与2019年4月于胶州湾女姑口潮下带海域设置12个调查站位, 开展大型底栖动物与环境要素调查。秋、春两个航次共检出大型底栖动物82种, 其中环节动物多毛类29种、节肢动物甲壳类29种、软体动物18种, 这3个门类种类数占总种类数的92.68%; 大型底栖动物平均生物密度665.83 ind./m², 平均生物量358.65 g/m², 平均Shannon-Wiener多样性指数为2.77。两个航次均表现出明显优势的种为寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、寡节甘吻沙蚕(*Glycinde gurjanovae*)和菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*), 其次为小型贝类及多毛类, 优势物种表现出小型化趋势。基于栖息密度进行典范对应分析(CCA)表明, 盐度、水温是影响大型底栖动物分布特征的主要因子。大型底栖动物群落的Shannon-Wiener多样性指数、AZTI海洋生物指数(AMBI)及多变量AMBI(M-AMBI)分析显示, 胶州湾女姑口海域底栖生态系统受到一定程度的干扰。

关键词:大型底栖动物 海洋生态健康 AMBI 相关性分析 胶州湾女姑口

中图分类号: Q145 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2022)06-1197-09

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20230110.020

大型底栖动物作为海洋生态结构的重要组成部分, 通过摄食、掘穴等活动参与碳、氮、磷、硫等元素的循环, 有助于加快底层生态系统的物质循环和能量传递^[1,2]。由于活动能力弱、栖息地相对稳定和对海洋环境反应敏感等特点, 所以大型底栖动物群落的物种

组成通常会随着非生物条件和人类干扰的变化而变化, 这使得大型底栖动物经常被用作评价底栖生境健康状况的生物指标^[2,3], 对海洋生态环境研究具有积极意义。

将底栖生物作为海洋生态环境监测和生态系统

收稿日期: 2022-02-18

修回日期: 2022-03-14

* 国际项目(UNDP/GEF YSLME II), 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室开放基金项目(202001)和自然资源部北海局科技项目(202201)资助。

【作者简介】

刘欣禹(1988-)女, 工程师, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: liuliu.xinyu@163.com。

【**通信作者】

周瑞佳(1989-)男, 工程师, 主要从事海洋生态学研究, E-mail: zhou_zrj@163.com。

【引用本文】

刘欣禹, 齐衍萍, 沙婧婧, 等. 胶州湾女姑口海域大型底栖动物群落特征与生态健康评价[J]. 广西科学, 2022, 29(6): 1197-1205.

LIU X Y, QI Y P, SHA J J, et al. Community Characteristics and Ecological Health Assessment of Macrobenthos in Nügukou of Jiaozhou Bay [J]. Guangxi Sciences, 2022, 29(6): 1197-1205.

健康评价的生物指标已得到国内外科学家的广泛认可^[4]。多样性指数、AZTI 海洋生物指数(AMBI)、多变量 AMBI (M-AMBI) 均能在一定程度上反映底栖动物受扰动状态, 可用于评价底栖环境状态^[5]。其中, AMBI 和 M-AMBI 是 Borja 等^[6] 在海洋生物指数的基础上创建的。在我国及欧洲沿海, 这 3 种指数已被用于港湾、近岸海域以及河口区的底栖生态环境质量评价^[7-10]。

胶州湾位于山东半岛南部, 属于相对独立的半封闭海湾, 女姑口海域位于青岛市城阳区, 在胶州湾的东北部, 具有典型的泥质底质。20 世纪 80 年代开始, 胶州湾东部浅海海域的养殖业迅速崛起, 90 年代周边城区工业和旅游业等繁荣发展, 近岸海域资源被快速开发利用^[11]。胶州湾环海高速公路从女姑口上通过, 附近滩涂上主要开展底栖型贝类如菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*)、缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 的养殖^[12, 13]。麻骛等^[14] 研究胶州湾养殖水域和自然水域的底栖状况发现, 菲律宾蛤仔养殖活动压力已造成养殖区域及其邻近自然海域的大型底栖群落结构发生改变。崔正国等^[15] 对胶州湾底播菲律宾蛤仔的质量安全风险进行了评价。其他研究主要基于胶州湾大型底栖动物进行海洋健康状况评估^[16], 针对胶州湾女姑口附近海域调查相对较少。

本研究基于 2018 年 11 月和 2019 年 4 月两个航次胶州湾女姑口邻近海域的大型底栖动物调查和环境要素调查数据, 对胶州湾女姑口邻近海域生物种类组成和生物群落结构进行研究, 探讨群落结构与环境因子的相互关系, 并对该海域进行生态系统健康评价, 以了解胶州湾女姑口近海底栖生物资源现状及生态健康状况, 为胶州湾整体生态保护与管理提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

2018 年 11 月、2019 年 4 月在胶州湾女姑口近海设置 12 个站位进行采样监测, 站位布设见图 1。

大型底栖动物用 0.1 m² 抓斗式采泥器采集, 每站采样 4 次, 样品用网目为 0.5 mm 的过筛器分选, 用 5% 福尔马林溶液固定后, 带回实验室进行定量定性分析, 物种鉴定及名录登记均通过 WoRMS 网站进行校对和复核。站位布设、生物密度及生物量分布图由 ArcGIS 10.6 软件绘制。

测定的环境参数包括海水水深(D)、水温(WT)、

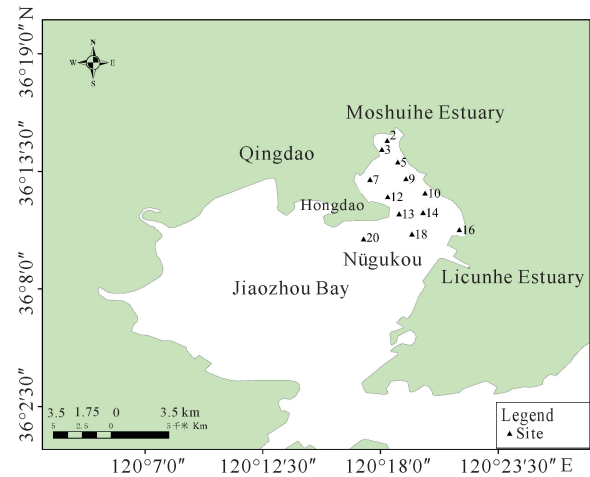


图 1 胶州湾女姑口邻近海域调查站位

Fig. 1 Sample stations in adjacent sea area of Nügukou of Jiaozhou Bay

盐度(S)、pH 值、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、磷酸盐(DIP)、无机氮(DIN)、悬浮物(SS)、表层沉积物底质类型及中值粒径(MD)。

1.2 数据处理

1.2.1 群落结构及优势种计算

使用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')^[17]、Pielous 均匀度指数 (J)^[17] 和 Margalef 物种丰富度指数 (d)^[17] 分析生物群落结构。使用物种优势度指数 (Dominance index, Y) 判定优势种^[18]。计算公式如下:

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

$$J = \frac{H'}{\log_2 P_i}, \quad (2)$$

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

$$Y = P_i \times F, \quad (4)$$

式中, $P_i = n_i / N$ (n_i 是第 i 个物种的个体数, N 是全部物种的个体数); S 为种类数; F 为该种的出现频率, 当 $Y > 0.02$ 时^[19], 即为该海域底栖动物优势种。 H' 值等于 0, 说明无底栖生物, 即严重污染; 0-1 为重污染; 1-2 为中度污染; 2-3 为轻度污染; 大于 3 为清洁^[17]。

1.2.2 环境因子相关分析

使用 SPSS 18.0 软件, 进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 分析各季节环境要素的差异性; 采用 Canoco 5.0 软件对大型底栖动物优势种生物密度和环境因子进行典范对应分析 (CCA), 物种矩阵经 $\lg(x+1)$ 转换^[20], 探究环境因子对大型底栖动物优势种生物密度变化的影响。

1.2.3 底栖生境质量评价

AMBI 和 M-AMBI 采用 AMBI V5.0 软件计算, 先除去非大型底栖无脊椎动物的种类, 其余大型底栖动物的生态分组根据文献[10,21]规定执行。AMBI

值为 0.0-7.0, 数值越低表示生态健康状况越好; M-AMBI 值为 0.00-1.00, 数值越高表示生态健康状况越好。AMBI 和 M-AMBI 的评价标准^[10,22] 详见表 1。

表 1 AMBI 和 M-AMBI 扰动等级、生态环境质量状况标准

Table 1 Disturbance classification and ecological environment quality status standard of AMBI and M-AMBI

AMBI	扰动等级 Disturbance classification	M-AMBI	生态环境质量状况 Quality status of ecological environment
0.0 < AMBI ≤ 1.2	Undisturbed	0.77 < M-AMBI ≤ 1.00	High
1.2 < AMBI ≤ 3.3	Slightly disturbed	0.53 < M-AMBI ≤ 0.77	Good
3.3 < AMBI ≤ 5.0	Moderately disturbed	0.38 < M-AMBI ≤ 0.53	Moderate
5.0 < AMBI ≤ 6.0	Heavily disturbed	0.20 < M-AMBI ≤ 0.38	Poor
6.0 < AMBI ≤ 7.0	Extremely disturbed	0.00 < M-AMBI ≤ 0.20	Bad

2 结果与分析

2.1 群落结构

2.1.1 种类组成与优势种

调查共发现 82 种底栖生物, 包括扁形动物、刺胞动物、纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物、半索动物和脊索动物 9 个门类, 其中环节动物多毛类 29 种、节肢动物甲壳类 29 种、软体动物 18 种, 以上 3 个门类种数占总种数的 92.68%, 是女姑口邻近海域主要的大型底栖动物类群, 其他各门类均 1 种。春季(4 月)采集到的大型底栖动物种类较多, 为 67 种, 其中环节动物 27 种, 软体动物 15 种, 节肢动物 21 种, 扁形动物、刺胞动物、纽形动物、棘皮动物各 1 种。秋季(11 月)采集到大型底栖动物 46 种, 其中环节动物 21 种, 软体动物 7 种, 节肢动物 15 种, 纽形动物、尾索动物、脊索动物各 1 种。

优势种主要为环节动物多毛类和软体动物, 两个季节均表现出明显优势的种为寡鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys oligobranchia*)、寡节甘吻沙蚕 (*Glycinde gurjanovae*) 和菲律宾蛤仔。其他优势种均为环节动物多毛类及小型贝类, 胶州湾女姑口邻近海域大型底栖动物有小型化趋势。节肢动物甲壳类在本调查中共发现 29 种, 其中秋季 15 种, 其密度占秋季总密度的 12.03%, 密度占比最高的种为长尾亮钩虾 (*Photis longicaudata*) 和极地蚤钩虾 (*Pontocrates altamarinus*), 两种密度占比均为 2.95%, 站位出现率均为 41.67%; 春季 21 种, 其密度占春季总密度的 13.78%, 密度占比最高的种类为东方长眼虾 (*Ogyrides orientalis*) (密度占比 2.23%, 站位出现

率 33.33%)。虽然甲壳类是种类组成的主要类群, 但是密度占比未超过 14%, 站位出现率未超过 45%, 优势度较低, 并没有出现甲壳类优势种。调查海域大型底栖动物优势种及优势度指数见表 2。

表 2 秋季和春季调查海域大型底栖动物优势种及优势度指数

Table 2 Dominant species and dominant degree index of macrobenthos in the investigated sea area in autumn and spring

优势种 Dominant species	秋季 Autumn	春季 Spring
<i>Nephtys oligobranchia</i>	0.11	0.03
<i>Glycinde gurjanovae</i>	0.06	0.08
<i>Ruditapes philippinarum</i>	0.05	0.04
<i>Heteromastus filiformis</i>	0.05	/
<i>Sternaspis scutata</i>	0.03	/
<i>Tharyx multifilis</i>	0.02	/
<i>Lagis neapolitana</i>	/	0.10
<i>Theora lata</i>	/	0.04

Note: "/" represents this species is not found in this season

2.1.2 生物密度与生物量分布

调查海域大型底栖动物平均生物密度为 665.83 ind./m², 平均生物量为 358.65 g/m²。调查海域 2018 年秋季平均生物密度为 485.00 ind./m², 平均生物量为 235.80 g/m²; 2019 年春季平均生物密度为 846.67 ind./m², 平均生物量为 481.60 g/m²。由图 2 可知, 秋季生物密度高值区主要位于红岛滩涂附近海域, 生物量高值区位于红岛外侧海域; 春季生物密度及生物量的高值区主要集中在墨水河口附近海域, 墨水河口 2 号站春季调查发现大量菲律宾蛤仔, 因此

生物量生物密度高。在季节变化方面, 春季生物密度、生物量较高, 而且种类组成分析发现, 春季软体动

物和节肢动物种类数量明显增多。

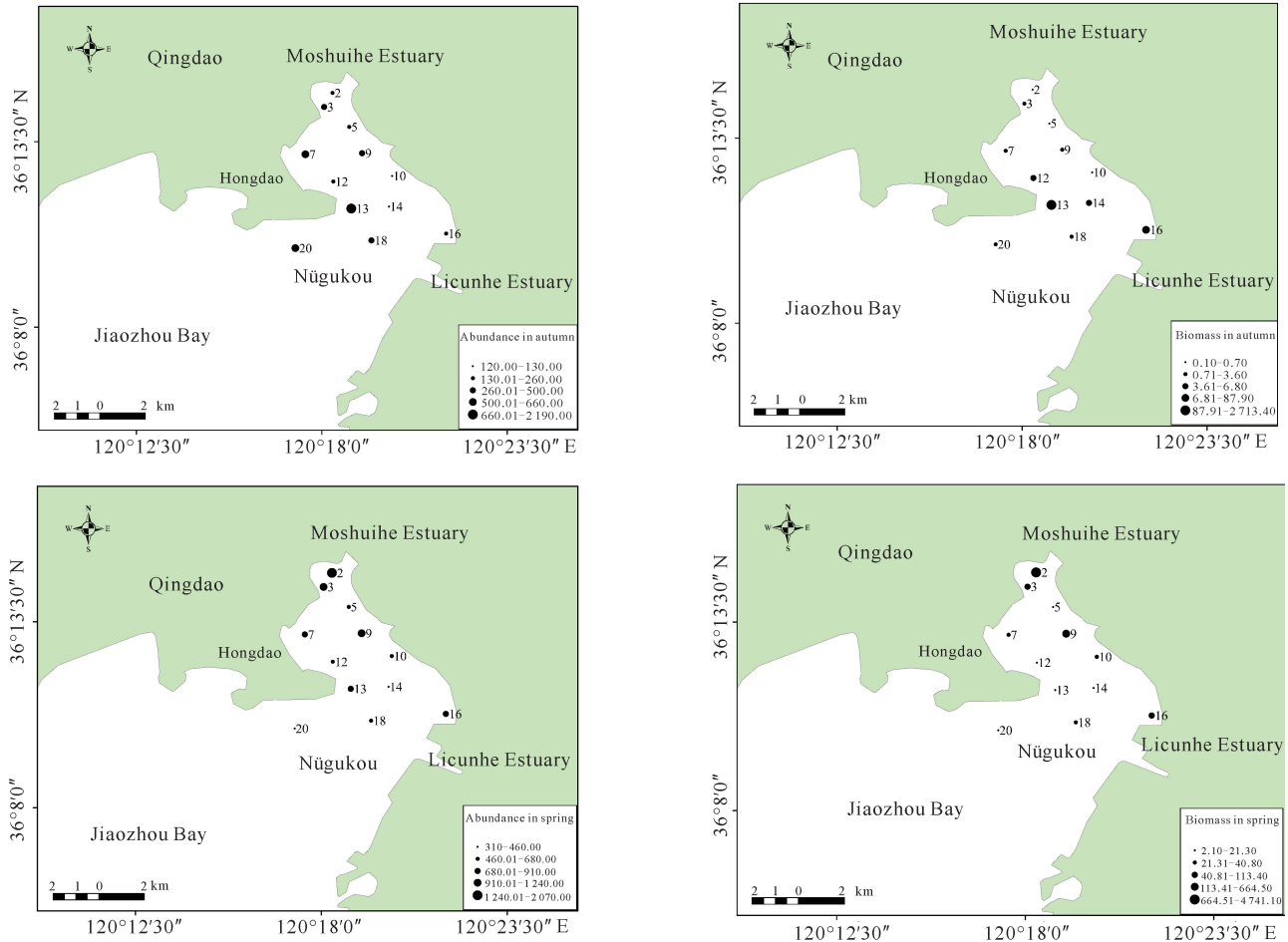


图2 秋季和春季调查海域大型底栖动物生物密度、生物量分布

Fig. 2 Bio-density and biomass distribution map of macrobenthos in the investigated sea area in autumn and spring

2.1.3 群落多样性特征

由表3可知, 调查海域大型底栖动物春季 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 平均值高于秋季, 两季节的平均多样性指数为 2.77, 说明调查海域大型底栖动物受到轻度污染; Pielous 均匀度指数 (J) 略低于秋季, Margalef 丰富度指数 (d) 高于秋季。

表3 秋季和春季调查海域大型底栖动物群落多样性指数

Table 3 Diversity index of macrobenthos community in the investigated sea area in autumn and spring

调查季节 Investigation seasons	H'	J	d
Spring	3.01	0.75	2.51
Autumn	2.53	0.77	1.08
Average	2.77	0.76	1.80

2.2 大型底栖动物与环境因子的相关性分析

调查海域水深为 2.0–7.5 m, 平均水深为 4.17 m, 呈现梯度递增趋势; 12 个调查站位的底质为黏土质粉砂; 水温 (WT)、盐度 (S)、溶解氧 (DO)、化学需氧量 (COD)、磷酸盐 (DIP)、悬浮物 (SS) 季节间呈极显著差异 ($P < 0.01$); 无机氮 (DIN) 季节间呈显著差异 ($P < 0.05$); 季节间 pH 值与中值粒径 (MD) 无显著差异。

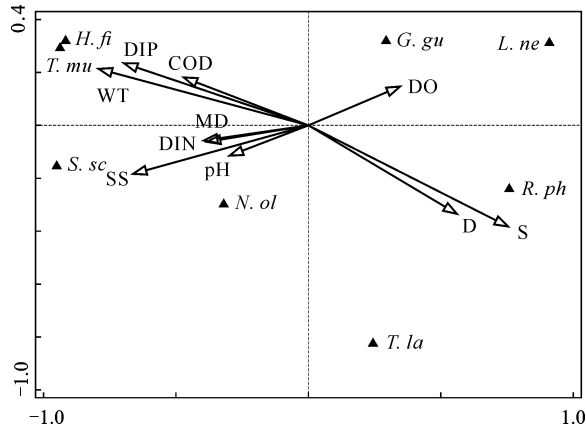
采用《海水水质标准》^[23] 对调查海域水质进行评价。调查海域秋季和春季海水中 pH 值、溶解氧均满足一类海水水质标准要求, 化学需氧量、磷酸盐、无机氮均超一类海水水质标准要求。其中, 秋季和春季海水化学需氧量全部符合二类水质标准; 秋季调查发现磷酸盐和无机氮都超四类水质标准, 超标率均为 75.0%; 春季调查发现磷酸盐和无机氮都超四类水质标准, 超标率分别为 20.0% 和 50.0%。

表 4 秋季与春季调查海域各环境因子平均值

Table 4 Average value of environmental factors in the investigated sea area in autumn and spring

季节 Seasons	WT (°C)	S	pH 值 pH value	DO (mg/L)	COD (mg/L)	DIP ($\mu\text{g/L}$)	DIN ($\mu\text{g/L}$)	SS (mg/L)	MD (Φ)
Autumn	12.97	27.95	7.93	7.87	1.58	52.99	607.19	36.56	6.28
Spring	11.99	30.02	7.92	8.73	1.11	28.91	476.15	26.18	5.39
P	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.20

由图 3 可知,两个排序轴的特征值分别为 0.58 和 0.17,种类与环境因子排序轴的相关系数为 0.952 和 0.754,排序可以较好地反映底栖动物与环境因子间的关系。盐度(S)与第一排序轴呈最大正相关(0.717),水深(CD)与第一排序轴呈第二正相关(0.534),水温(WT)与第一排序轴呈最大负相关(-0.754)。说明影响胶州湾女姑口大型底栖动物分布的主要驱动因子有盐度、水温。



N. ol: *Nephtys oligobranchia*; *G. gu*: *Glycinde gurjanovae*; *R. ph*: *Ruditapes philippinarum*; *H. fi*: *Heteromastus filiformis*; *S. sc*: *Sternaspis sculata*; *T. mu*: *Tharyx multifilis*; *L. ne*: *Lagis neapolitana*; *T. la*: *Theora lata*

图 3 胶州湾女姑口大型底栖动物与环境因子的 CCA 排序

Fig. 3 CCA ordination of macrobenthos and environmental factors in Nügukou of Jiaozhou Bay

2.3 AMBI 及 M-AMBI 结果

2018 年秋季 12 个调查站位 AMBI 为 1.41 - 3.16,均为轻度扰动;M-AMBI 为 0.46 - 0.92,站位 13 生态环境质量处于中等级,其他站位为优或者良(表 5)。2019 年春季 12 个调查站位 AMBI 为 1.58 - 3.70,10 个调查站位为轻度扰动,2 个站位(站位 14、站位 3)为中度扰动(表 5)。站位 14 第二机会种(EG IV)占比为 77.8%,站位 3 第二机会种(EG IV)占比为 62.3%。M-AMBI 为 0.50 - 0.91,站位 14 底栖生态环境质量处于中等级,其他站位属于良

或者优(表 5)。

表 5 秋季与春季调查海域 AMBI 及 M-AMBI

Table 5 AMBI and M-AMBI in the investigated sea area in autumn and spring

站位 Stations	秋季 Autumn		春季 Spring	
	AMBI	M-AMBI	AMBI	M-AMBI
2	3.16	0.71	2.78	0.59
3	1.99	0.74	3.48	0.63
5	1.41	0.59	2.49	0.77
7	2.48	0.92	2.11	0.85
9	2.10	0.82	2.60	0.90
10	1.91	0.73	3.19	0.73
12	1.80	0.88	2.42	0.76
13	2.99	0.46	1.58	0.91
14	1.77	0.83	3.70	0.50
16	2.65	0.80	1.88	0.89
18	2.09	0.88	2.26	0.84
20	1.64	0.88	1.65	0.66

3 讨论

3.1 大型底栖动物与环境要素的关系

本研究结果表明,对胶州湾女姑口附近海域大型底栖动物分布特征造成影响的主要环境因子为盐度和水温。这与陈晓娟等^[24]和毕洪生^[25]对胶州湾大型底栖动物的研究结论相似,即水温与盐度影响胶州湾大型底栖动物的生物密度分布。崔雯瑶等^[26]对胶州湾 2018 年春季数据进行分析,其调查时间与本研究调查时间相近,同样发现水温与盐度会影响胶州湾大型底栖动物生物密度分布,而其他环境因子无显著相关关系。胶州湾属于暖温带水域,水深较浅,水温变化剧烈,水温影响底栖动物的生长和发育^[27],从而影响生物的种类数量、生物量和分布范围^[28]。以往调查中发现,盐度对底栖生物的影响主要集中在河口附近区域,该处因河流淡水的注入,尤其是在雨季,大

量注入的淡水引起盐度发生较大的变化, 从而影响该处的群落组成和生物密度^[29,30]。

3.2 胶州湾女姑口附近海域底栖生态环境健康状况

胶州湾女姑口附近海域大型底栖动物秋季 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.53, 春季 Shannon-Wiener 多样性指数为 3.01。李新正等^[31] 2001 年调查发现, 胶州湾底栖动物的物种多样性指数春季、秋季平均值分别为 4.59 和 4.76; 王金宝等^[32] 2005 - 2009 年胶州湾调查, 春季 Shannon-Wiener 多样性指数为 0.46 - 3.66, 秋季 Shannon-Wiener 多样性指数 0.86 - 3.61; 隋吉星等^[33] 2010 年对胶州湾中部海域调查显示, 胶州湾大型底栖动物春季和秋季 Shannon-Wiener 多样性指数较低, 平均值分别为 2.59 和 2.50; 全秋梅等^[11] 2016 - 2017 年调查胶州湾大型底栖动物春季和秋季 Shannon-Wiener 多样性指数分别为 2.61 和 2.34; 丁敬坤等^[16] 2020 年调查胶州湾发现, 女姑口附近站位 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.67; 近 20 年调查显示, 胶州湾大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数逐渐降低, 从侧面说明该区域大型底栖动物受到轻度污染。

本次调查结果显示, 胶州湾女姑口附近海域 12 个站位 AMBI 秋季为 1.41 - 3.16, 春季为 1.58 - 3.70, 说明调查海域皆受到不同程度的干扰, 所有站位均处于轻度扰动以上; M-AMBI 秋季为 0.46 - 0.92, 春季为 0.50 - 0.91, 说明调查海域部分站位的生态环境健康状况处于中等状态; Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、AMBI 及 M-AMBI 评价结果基本一致。本调查结果与丁敬坤等^[16] 评价结果相似, 即胶州湾海域底栖生态系统受到中等程度的干扰。

菲律宾蛤仔是胶州湾养殖的主要种类, 在菲律宾蛤仔较多的站位, 群落 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielous 均匀度指数降低, 小个体的多毛类, 如那不勒斯膜帽虫 (*L. neapolitana*)、多丝独毛虫 (*T. multifilis*) 等, 生物密度升高, 此类生物多为机会种, 因此导致 AMBI 变大、M-AMBI 变小, 王振钟^[34] 调查也得出相似结论。养殖过程中的营养盐排放、养殖生物的逃逸、疾病的传播等给海洋生态系统带来较大影响^[35]。菲律宾蛤仔自身觅食及挖掘活动对养殖海域的环境造成一定的扰动, 同时其捕获过程对表层的沉积环境造成剧烈的物理扰动, 对大型底栖动物的生活环境造成一定的破坏^[16]。本次调查受中度扰动的站位位于菲律宾蛤仔养殖用海附近, 该海域的大型底栖动物的健康状况可能受到养殖活动干扰。

当群落受到中等程度的污染扰动时, 个体较大的种的优势度被削弱, 生物量占优势的大个体消失, 因此在数量上占优势的种是个体较小的种^[35], 胶州湾历史调查中已发现存在大型底栖动物小型化现象^[36-38], 毕洪生等^[36] 曾在 1991 - 1995 年对胶州湾的底栖动物进行连续监测, 发现 20 世纪 90 年代与 80 年代相比, 小型底泥食性种类丰度上升, 主要种类为丝异须虫 (*H. filiformis*) 和方格独鳃虫 (*Tharyx tessellata*); 王洪法等^[37] 2009 年在胶州湾调查发现优势种为多毛类动物的不倒翁虫 (*S. scutata*) 和软体动物菲律宾蛤仔; 全秋梅等^[11] 在胶州湾调查中发现优势种以多毛类为主, 如丝异须虫、索沙蚕科 (*Lumbrineriidae*) 等。在渤海大型底栖动物调查中也发现小型化现象, 莱州湾自 20 世纪 90 年代以来大型底栖动物群落结构已发生变化, 总体呈现小型化趋势, 主要是小型多毛类动物和甲壳类动物取代大个体的棘皮动物和软体动物^[39]。本次胶州湾女姑口调查中, 环节动物多毛类种类共 29 种, 在秋季总密度中占比 49.65%, 在春季占比 50.29%, 优势种为菲律宾蛤仔、寡鳃齿吻沙蚕和寡节甘吻沙蚕, 其他优势种均为环节动物多毛类及小型贝类, 与历史调查结果相近, 胶州湾女姑口附近种类组成与优势种呈小型化现象。

造成大型底栖动物小型化的原因主要有水体富营养化、过度捕捞及大型底拖网使用等^[40,41]。由于近岸水域通常受到较严重的环境胁迫, 近海污染、径流携带大量的有机质, 以及水流和波浪对海底沉积物和底栖生物群落的影响较大, 导致近岸的群落主要由一些小型多毛类耐受种组成, 这些种多为机会种^[27]。本次调查区域位于胶州湾东北部, 常年平均水深 4 m, 水动力交换较弱, 墨水河、白沙河及李村河入海口在本调查区域附近, 调查发现重金属高值区主要位于东部李村河口^[42,43]。青岛市生态环境状况公报显示, 2018 年青岛市胶州湾优良水质面积比例为 73.7%, 李村河、墨水河和大沽河入海口附近海域水质较差^[44]。2019 年胶州湾东北部海域水质较差, 主要污染物为无机氮^[45]。本次调查秋季磷酸盐和无机氮都超四类水质标准, 超标率均为 75.0%; 春季磷酸盐和无机氮都超四类水质标准, 超标率分别为 20.0% 和 50.0%。磷酸盐和无机氮超标易导致水体富营养化, 水体富营养化对大型底栖动物多样性产生显著的负面影响^[11], 富营养化加速大型底栖动物的种类更新频率, 导致群落组成变化以及群落功能多样性降低^[46]。本次调查优势种多丝独毛虫、丝异须虫、

那不勒斯膜帽虫在 AMBI 生态组中为第二级机会种 (EG IV), 机会种的高生物密度和高出现率导致部分站位生态环境质量评价较差。大型底栖动物群落结构发生变动, 出现小型化, 在一定程度上反映了近年调查海域受到污染和扰动^[39]。

综上所述, 养殖和污染可能导致胶州湾女姑口附近海域大型底栖动物小型化, 该海域的底栖生态环境健康状况受到一定扰动。对此, 建议加强对胶州湾东北部近岸海域环境管理, 探索有效的综合治理措施, 使胶州湾海洋生态系统得以持续健康地发展。

4 结论

本次胶州湾女姑口邻近海域调查共获得大型底栖动物 82 种, 以环节动物、软体动物、甲壳动物为主, 棘皮动物等其他动物占比很小。两个调查季节中均表现出明显优势的种为寡鳃齿吻沙蚕、寡节甘吻沙蚕和菲律宾蛤仔, 但是其他优势种均为环节动物多毛类及小型贝类, 说明胶州湾女姑口邻近海域大型底栖动物有小型化趋势, 高经济价值种在生物密度和生物量上也有一定程度的下降。典范对应分析的结果显示, 盐度、水温是影响大型底栖动物分布特征的主要因子。综合大型底栖动物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、AMBI 及 M-AMBI 分析结果, 胶州湾女姑口邻近海域底栖生态系统受到轻度干扰, 红岛滩涂附近海洋生态环境质量状况处于一般水平, 其他地区处于优良或高等水平, 养殖和污染可能导致胶州湾女姑口附近海域大型底栖动物群落结构呈小型化趋势, 并导致该海域的底栖生态环境健康状况受到扰动。胶州湾东北部女姑口海域是人类活动及工业生活密集区域, 加强该海域的生态环境保护具有重要意义。

参考文献

- [1] 周红, 华尔, 张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, 40(8): 80-87.
- [2] 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): 676-684.
- [3] DOLBETH M, RAFFAELLI D, PARDAL M Å. Patterns in estuarine macrofauna body size distributions: the role of habitat and disturbance impact [J]. Journal of Sea Research, 2014, 85: 404-412.
- [4] BIRK S, BONNE W, BORJA A, et al. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive [J]. Ecological Indicators, 2012, 18: 31-41.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] BORJA A, RODRÍGUEZ J G, BLACK K, et al. Assessing the suitability of a range of benthic indices in the evaluation of environmental impact of fin and shellfish aquaculture located in sites across Europe [J]. Aquaculture, 2009, 293(3/4): 231-240.
- [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] 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.
- [10] 梁森, 姜倩, 李德鹏, 等. 曹妃甸近岸海域大型底栖动物群落特征[J]. 水产科学, 2019, 38(4): 479-491.
- [11] 全秋梅, 肖雅元, 徐姗姗, 等. 胶州湾大型底栖动物群落结构季节变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4110-4120.
- [12] 过锋, 赵俊, 陈聚法, 等. 胶州湾贝类养殖区氮、磷污染现状及动态变化[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(5): 116-122.
- [13] 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.
- [14] 麻鹭, 刘晓收, 李梁, 等. 胶州湾菲律宾蛤仔养殖水域内外大型底栖动物群落特征的比较研究[J]. 海洋湖沼通报, 2014(1): 122-128.
- [15] 崔正国, 陈碧鹃, 曲克明, 等. 底播菲律宾蛤仔养殖区的质量安全环境风险评估——以胶州湾为例[J]. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(6): 42-49.
- [16] 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, 2020, 41(2): 20-26.
- [17] 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.
- [18] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 I 生物量及优势种的平面分布[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 49-58.

- [19] 杨艳云, 张继红, 吴文广, 等. 桑沟湾不同养殖区大型底栖动物的群落结构特征[J]. 水产学报, 2018, 42(6): 922-931.
- [20] 潘玉龙, 刘潇, 沙婧婧, 等. 荣成近岸养殖海域浮游植物群落结构及与环境因子的关系[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(5): 26-33.
- [21] 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.
- [22] 林和山, 俞炜炜, 刘坤, 等. 基于 AMBI 和 M-AMBI 法的底栖生态环境质量评价——以厦门五缘湾海域为例[J]. 海洋学报, 2015, 37(8): 76-87.
- [23] 国家环境保护局. 海水水质标准: GB 3097 - 1997 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 崔雯瑶, 杨湘君, 张蒙生, 等. 胶州湾春季大型底栖生物多样性及群落结构特征[J]. 海洋科学, 2020, 44(6): 101-109.
- [27] 彭松耀. 黄东海大型底栖动物群落结构特征[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2013.
- [28] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 193-198.
- [29] 丁敬坤, 李加琦, 薛素燕, 等. 莱州湾小清河口近岸海域底栖生境健康评价[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4806-4817.
- [30] 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.
- [31] 李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物的物种多样性现状[J]. 生物多样性, 2001, 9(1): 80-84.
- [32] 王金宝, 李新正, 王洪法, 等. 2005 - 2009 年胶州湾大型底栖动物生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 728-737.
- [33] 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.
- [34] 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: 18-19.
- [35] 张莹, 吕振波, 徐宗法, 等. 山东半岛南部海湾底栖动物群落生态特征及其与水环境的关系[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4455-4467.
- [36] 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.
- [37] 王洪法, 李新正, 王金宝. 2000 - 2009 年胶州湾大型底栖动物的种类组成及变化[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(5): 738-752.
- [38] 杨梅, 李新正, 徐勇, 等. 胶州湾潮下带大型底栖动物群落的季节变化[J]. 生物多样性, 2016, 24(7): 820-830.
- [39] 刘晓收, 范颖, 史书杰, 等. 渤海大型底栖动物种类组成与群落结构研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(12): 53-66.
- [40] 纪莹璐, 宿凯, 张海舟, 等. 2015 - 2020 年乳山近岸海域春、夏季大型底栖动物群落结构及变化[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2022, 46(1): 100-108.
- [41] GAO X L, ZHOU F X, CHEN C T A. Pollution status of the Bohai Sea: An overview of the environmental quality assessment related trace metals [J]. Environment International, 2014(62): 12-30.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 青岛市生态环境局. 2018 年青岛市生态环境状况公报 [EB/OL]. (2019-06-03) [2022-01-02]. <http://mbee.qingdao.gov.cn:8082/m2/zwgk/view.aspx?n=2f6bfded-06f4-4595-851b-d1039b325192>.
- [45] 青岛市生态环境局. 2019 年青岛市生态环境状况公报 [EB/OL]. (2020-06-02) [2022-01-02]. <http://mbee.qingdao.gov.cn:8082/m2/zwgk/view.aspx?n=8f55a142-f9be-4e65-be26-b2d75ce6fee9>.
- [46] 廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 等. 三门湾大型底栖动物时空分布及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2424-2430.

Community Characteristics and Ecological Health Assessment of Macrobenthos in Nügukou of Jiaozhou Bay

LIU Xinyu^{1,2,3}, QI Yanping^{1,2,3}, SHA Jingjing^{1,2,3}, XU Zijun^{1,2,3}, JIAN Xiaoyang^{1,2,3},
DU Xiaoyuan^{1,2,3}, WEN Guoyi^{1,2,3}, ZHOU Ruijia^{1,2,3**}

(1. North China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Qingdao, Shandong, 266000, China; 2. Key Laboratory of Ecological Prewarning and Protection of Bohai Sea, Ministry of Natural Resources, Qingdao, Shandong, 266000, China; 3. Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Environment and Disaster Prevention and Mitigation, Qingdao, Shandong, 266000, China)

Abstract: In order to explore the community characteristics of macrobenthos and evaluate the benthic ecology in Nügukou sea area of Qingdao Jiaozhou Bay, 12 survey stations were set up in the subtidal zone of Nügukou in Jiaozhou Bay in November 2018 and April 2019 to investigate the macrobenthos and environmental factors. A total of 82 species of macrobenthos were detected in autumn and spring voyages. There were 29 species of annelid polychaetes, 29 species of arthropod crustaceans and 18 species of mollusks, accounting for 92.68% of the total species. The average biological density of macrobenthos was 665.83 ind./m² and the average biomass was 358.65 g/m², Shannon-Wiener diversity index was 2.77. The dominant species in both voyages were *Nephtys oligobranchia*, *Glycinde gurjanovae* and *Ruditapes philippinarum*, followed by small shellfish and polychaetes. The dominant species showed a trend of miniaturization. Canonical Correlation Analysis (CCA) based on habitat density showed that salinity and water temperature were the main factors affecting the distribution characteristics of macrobenthos. The analysis of Shannon-Wiener diversity index, AZTI Marine Biological Index (AMBI) and multivariate AMBI (M-AMBI) of macrobenthic community showed that the macrobenthic ecosystem in Nügukou area of Jiaozhou Bay was disturbed to some extent.

Key words: macrobenthos; marine ecosystem health; AMBI; correlation analysis; Nügukou of Jiaozhou Bay

责任编辑: 陆雁



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>