

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20181104001

http://www.yykxjz.cn/

丁敬坤, 张雯雯, 李阳, 薛素燕, 李加琦, 蒋增杰, 方建光, 毛玉泽. 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. 渔业科学进展, 2020, 41(2): 20–26

Ding JK, Zhang WW, Li Y, Xue SY, Li JQ, Jiang ZJ, Fang JG, Mao YZ. Health assessment of the benthic ecosystem in Jiaozhou Bay: Ecological characteristics of the macrobenthos. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(2): 20–26

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*

丁敬坤^{1,2,3} 张雯雯^{1,2,3} 李 阳^{1,2} 薛素燕^{1,2}
李加琦^{1,2} 蒋增杰¹ 方建光¹ 毛玉泽^{1,2①}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业农村部海洋渔业可持续发展重点实验室 山东省渔业资源与生态环境重点实验室 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266237; 3. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 根据 2017 年 7 月山东省胶州湾海域的大型底栖动物调查数据, 应用聚类分析、生物多样性和 Multivariate-AZTI's Marine Biotic Index (M-AMBI) 等方法分析了大型底栖动物的生态学特征, 评估了胶州湾底栖生态系统的健康状况。结果显示, 调查海域共采集到大型底栖动物 64 种, 其中, 多毛类 25 种, 甲壳动物 23 种, 软体动物 9 种, 棘皮动物和其他类群共 7 种。该海域大型底栖动物生物量和丰度的平均值分别为 70.0 g/m² 和 132 ind./m², 菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)和纽虫(*Nemertinea*)是优势种。物种多样性指数(H')为 0.69~3.77, 平均值为 2.35, 丰富度指数(d)为 0.67~3.12, 平均值为 1.56, Pielou 均匀度指数(J)为 0.25~1.00, 平均值为 0.81。多样性 AMBI 指数(M-AMBI)为 0.26~0.60, 平均值为 0.44。根据 CLUSTER 分析结果, 在 15%相似水平上可将研究站位划分为 3 个群落, 菲律宾蛤仔养殖密度较大的站位群落结构较为相似, 被划分在同一个群落中, 聚类结果与菲律宾蛤仔养殖密切相关。大型底栖动物群落的多样性指数和 M-AMBI 指数分析显示, 胶州湾海域底栖生态系统受到中等程度的干扰。

关键词 胶州湾; 大型底栖动物; 海洋生态系统健康; 生物多样性; M-AMBI 指数

中图分类号 S917 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2020)02-0020-07

海洋生态系统健康(MEH)是指海洋生态系统的综合特征用以描述海洋的状态或状况。Epstein 等

* 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室创新团队项目(LMEES-CTSP-2018-4)、国家基金委-山东省联合基金项目(U1606404)、中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费项目(20603022017002)、政府间国际科技创新合作重点专项(2016YFE0112600)和现代农业产业技术体系(CARS-49)共同资助[This work was supported by Creative Team Project of the Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (LMEES-CTSP-2018-4), the NSFC-Shandong Joint Fund for Marine Ecology and Environmental Sciences (U1606404), Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, YSFRI, CAFS (20603022017002), International Science and Technology Cooperation Program of China (2016YFE0112600), and China Aquaculture Research System (CARS-49)]. 丁敬坤, E-mail: 913292967@qq.com

① 通讯作者: 毛玉泽, 研究员, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2018-11-04, 收修改稿日期: 2018-12-05

(1994)对海洋生态系统健康的定义是为了保持海洋的健康和可持续发展,海洋生态系统必须维持其一定的代谢活动水平、内部结构和组织,并且必须能够抵抗各种时空尺度上的压力(Wells, 2003)。基于底栖生物群落的生物指数已经成为生态系统健康评估和相关决策的有效工具(Pinto *et al*, 2009),包括传统的生物指标,如物种丰度,多样性指数(Shannon *et al*, 1949)和优势度,以及新开发的生物指数,如海洋生物指数(BI)(Grall *et al*, 1997)、AZTI海洋生物指数(AMBI)(Borja *et al*, 2000)、多变量AMBI (M-AMBI) (Muxika *et al*, 2007)和底栖质量指数(BQI) (Rosenberg *et al*, 2004),特别是Shannon-Wienerindex (H'), AMBI和M-AMBI指数已广泛应用于河口和沿海水域。

胶州湾位于我国黄海中部,是一个自然条件相对独立的半封闭型海湾,生态系统受人类活动和自然变化的双重影响,是我国北方重要的滩涂贝类养殖海域(过锋等, 2012)。贝类养殖面积占水产养殖总面积的71.6%,菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是主要养殖种类,养殖面积占贝类养殖面积的93.2%(范颖等, 2016)。王洪法等(2011)自1998年起对胶州湾大型底栖动物进行了连续观察和研究,并对胶州湾常见的底栖类群进行了分析与研究。麻鹭等(2014)对胶州湾养殖水域和自然水域的底栖状况研究发现,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(2014)对胶州湾底播菲律宾蛤仔的质量安全风险进行了评价,而基于大型底栖动物进行海洋健康状况评估的研究相对较少。本研究根据2017年夏季的调查资料,对山东省胶州湾海域大型底栖动物的种类、丰度、生物量、物种多样性和群落结构等进行分析,探讨了胶州湾大型底栖动物的生态学特征,分析了人工养殖对大型底栖动物的影响,并综合评价了调查海域的生态状况,为该海域的生态系统研究提供基础资料。

1 调查海域与分析方法

1.1 站位设置

2017年7月调查了胶州湾海域大型底栖生物分布规律,共设置20个站位(图1),其中,7、17、18和20号站位采集到养殖的菲律宾蛤仔,1、3、9、12和13号站位由于底质和水深等原因没有采集到沉积物。

1.2 样品采集、处理与分析

采用中华人民共和国质量监督检验检疫总局(2007)《海洋调查规范》(GBT12763.1)方法进行样品

采集。用抓斗采泥器采集沉积物样品,使用0.5 mm的套筛现场冲洗,保留大型底栖生物样品,以5%的甲醛溶液固定,样品带回实验室,更换固定液,对样品进行鉴定分类。样品的处理、保存、计数和称量等均按照《海洋调查规范》(GBT12763.1)方法进行。

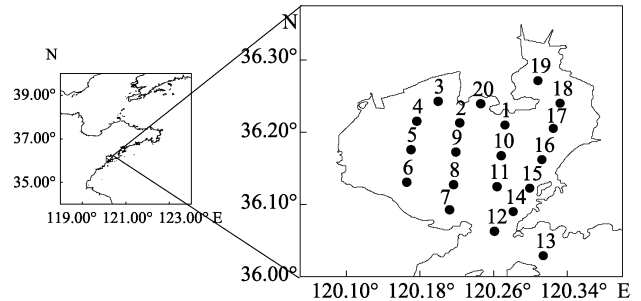


图1 胶州湾大型底栖生物采样站位

Fig.1 The sampling stations in the Jiaozhou Bay

1.3 数据处理

1.3.1 优势种的确定 Mcnaughton 物种优势度指数(Y)公式如下:

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

式中, n_i 为第*i*种的个体数, N 为总个体数, f_i 为第*i*种在各个站位出现的频率;当 $Y > 0.02$ 时,该种为优势种。

1.3.2 多样性指数计算 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(d)和 Pielou's 均匀度指数(J)进行多样性分析,公式如下:

$$H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \times \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

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

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

式中, S 为样品的总种数, N 为样品的总个体数, n_i 为第*i*种的个体数。

1.3.3 群落结构分析 运用非参数多变量分析群落结构,对各站位大型底栖动物的丰度进行2次方根转换。根据群落 Bray-Curtis 相似性系数,采用等级聚类的方法对各站位大型底栖动物结构特征进行分析。

1.3.4 M-AMBI 指数分析 采用 AMBI V 5.0 软件对 M-AMBI 值进行计算。根据 AMBI 指数分析,AMBI 的值在 0~7 之间,值越低,生态健康状况越好;M-AMBI 的值在 0~1 之间,值越高,生态健康状况越好。使用 M-AMBI 指数评估水体的生态健康时,参考条件至关重要。根据这一标准和 AMBI 的结果,可以很好的定义生态环境的健康状况(Li *et al*, 2017)。为

获得一个好的参考条件,采用以下方法:根据王振钟等(2012) 2011年7月胶州湾海域大型底栖动物调查状况设定“Good”状态参考值,即:AMBI=0, $H'=4.83$, $S=61$;对于“Bad”状态,其参考值依赖于无大型底栖动物状态,即:AMBI=6, $H'=0$, $S=0$ 。

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物种类组成

经过分析鉴定,调查海域共采集到大型底栖动物64种。其中,多毛类种数最多(25种),占39.1%;甲壳动物23种,占35.9%;软体动物9种,占14.1%;棘皮动物和其他类群共7种,占10.9%。该海域生物量和丰度的平均值分别为 70.00 g/m^2 和 132 ind./m^2 。

表1列出了优势度排名前10位的物种,包括多毛类7种,软体动物1种,棘皮动物1种,纽形动物1种。

表1 胶州湾底栖动物优势种或常见种名录
Tab.1 Dominant species of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

种类 Species	优势度 Y
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	0.1124
寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>	0.0294
纽虫 Nemertinea	0.0252
强壮藻钩虾 <i>Ampithoe valita</i>	0.0140
不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i>	0.0111
短叶索沙蚕 <i>Lumbrinereis latreilli</i>	0.0081
棘刺锚参 <i>Protankyra bidentate</i>	0.0052
丝异须虫 <i>Heteromastus filiformis</i>	0.0049
背褶沙蚕 <i>Tambalagamia fauveli</i>	0.0049
巴氏钩毛虫 <i>Sigambra bassi</i>	0.0032

2.2 大型底栖动物丰度、生物量及空间分布

胶州湾海域大型底栖动物的总平均丰度为 132 ind./m^2 ,软体动物和多毛类占绝对优势,软体动物平均丰度为 54 ind./m^2 ,占41%;多毛类平均丰度为 40 ind./m^2 ,占30%;甲壳类动物平均丰度为 26 ind./m^2 ,占20%;棘皮动物平均丰度为 6 ind./m^2 ,占4.5%;其他类群平均丰度为 6 ind./m^2 ,占4.5%。

该海域大型底栖动物总平均生物量为 70 g/m^2 。软体动物占绝对优势,其平均生物量为 53.29 g/m^2 ,占76%;棘皮动物平均生物量为 11.88 g/m^2 ,占17%;甲壳类和多毛类比重最小,分别为 1.78 和 0.54 g/m^2 ,分别占2.5%和0.5%;其他类群平均生物量为 2.50 g/m^2 ,占4%(表2)。

表2 胶州湾海域大型底栖动物各类群生物量和丰度
Tab.2 Biomass and abundance of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

类群 Groups	生物量 Biomass (g/m^2)	丰度 Abundance (ind./m^2)
多毛类 Polychaetes	0.54	40
软体动物 Mollusca	53.29	54
甲壳类 Crustacea	1.78	26
棘皮动物 Echinodermata	11.88	6
其他类 Others	2.50	6

从丰度的空间分布来看(图2a),最高值出现在距离湾口较近的7号站位,其丰度高达 305 ind./m^2 ,原因是采集到大量的菲律宾蛤仔。丰度高值区主要集中在湾顶部附近和湾口西部。从大型底栖动物生物量的空间分布看(图2b),最高值出现在靠近湾顶的18号站位,其生物量达 333.28 g/m^2 ,其主要原因是采集了大量的菲律宾蛤仔。最低值出现在2号站位,其生物量仅为 0.46 g/m^2 。

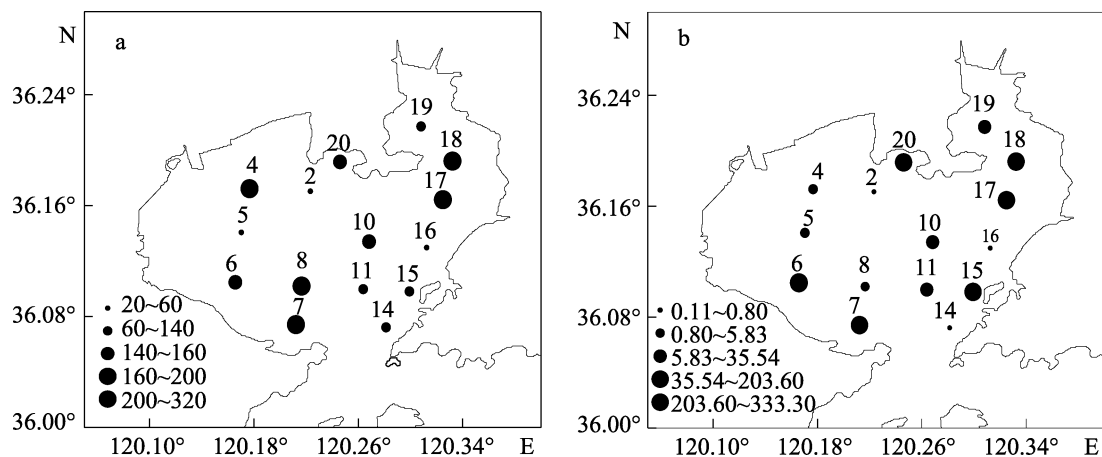


图2 胶州湾大型底栖动物丰度(ind./m^2)(a)与生物量(g/m^2)(b)平面分布

Fig.2 The distribution of the abundance (ind./m^2) (a) and biomass (g/m^2) (b) of macrobenthos

2.3 大型底栖动物多样性指数分析

大型底栖动物多样性指数及物种数分布见图3。胶州湾海域的种类丰富度指数(d)平均值为1.56, 最高值出现在4号站位, 最低值出现在5号站位; 物种多样性指数(H')平均值为2.35, 以11号站位最高, 17号站位最低; 物种均匀度指数(J)平均值为0.81, 16号站位最高, 17号站位最低(表3)。

2.4 大型底栖动物群落结构

对各站位大型底栖动物群落结构进行聚类分析(图4)。从图4可以看出, 在15%的相似水平上可将15个站位分为3组(14号单个站位不构成群落), 其中, 7、17、18和20号站位为I组; 4、6、8、10、11和15号站为II组; 2、5、16和19号站位为III组。ANOSIM分析显示, 3个群落之间差异极显著($P < 0.01$, $r = 0.79$)。

SIMPER 分析表明, I、II和III 3个群落的非相似性为 89.31%, 造成群落差异的主要物种为菲律宾蛤仔、寡鳃齿吻沙蚕、强壮藻钩虾、短叶索沙蚕、纽虫、不倒翁虫、棘刺锚参、凸壳肌蛤、丝异须虫和背褶沙蚕, 这些物种的累积贡献率为 42.85%。

表 3 胶州湾海域大型底栖动物多样性指数

Tab.3 Diversity indices of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

站位 Station	丰度 Abundance (ind./m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	丰富度指 数 d	多样性 指数 H'	均匀度 指数 J	物种 数 S
2	33	0.46	0.86	1.92	0.96	4
4	170	0.80	3.12	3.71	0.91	17
5	20	4.49	0.67	1.50	0.95	3
6	147	62.85	2.61	3.52	0.92	14
7	305	284.88	1.22	1.87	0.62	8
8	160	2.27	1.97	3.25	0.94	11
10	147	5.83	1.40	1.95	0.65	8
11	100	12.47	2.82	3.77	0.99	14
14	60	0.69	0.98	2.35	0.97	5
15	60	35.54	1.71	2.95	0.98	8
16	20	0.11	0.67	1.59	1.00	3
17	320	203.60	1.04	0.69	0.25	7
18	200	333.28	1.70	2.00	0.60	10
19	100	11.62	0.85	1.67	0.72	5
20	140	91.08	1.82	2.49	0.75	10

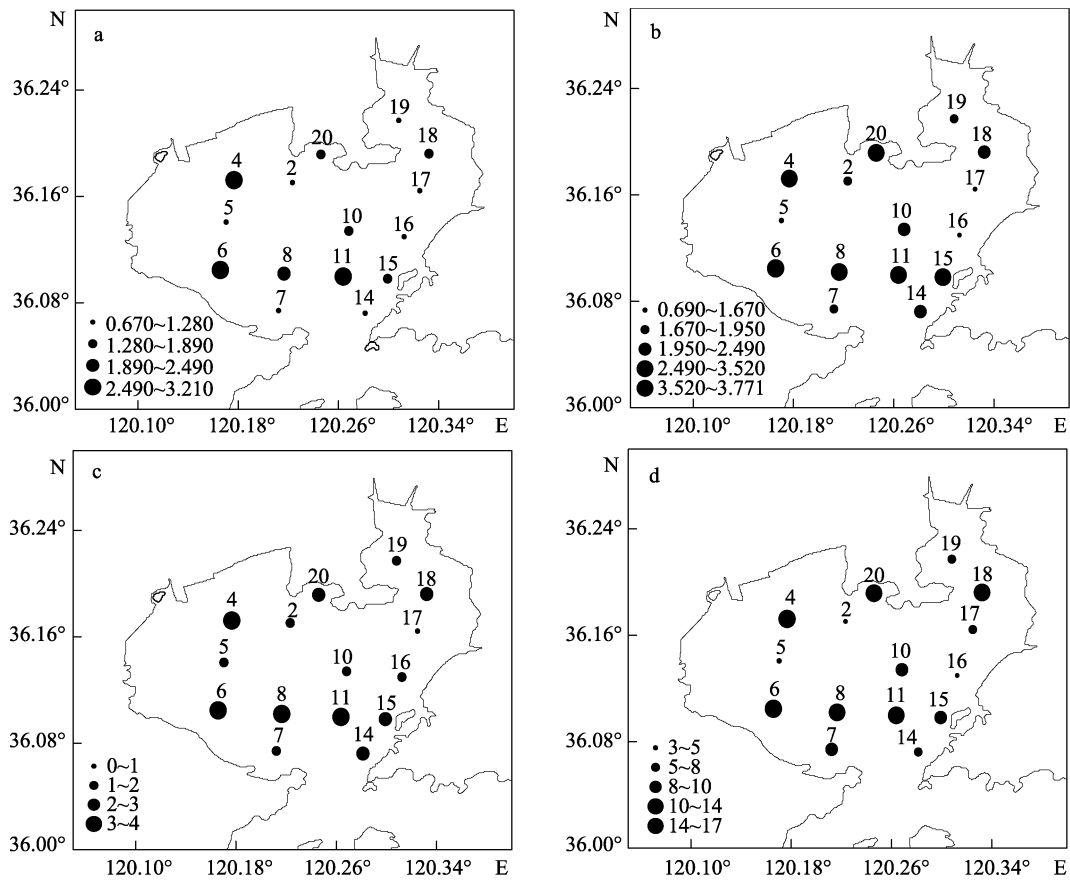


图 3 大型底栖动物多样性指数及物种数分布

Fig.3 The spatial distribution of diversity indices of macrobenthos and species

A: 丰富度指数; b: 均匀度指数; c: 多样性指数; d: 物种数
a: d ; b: J ; c: H' ; d: S

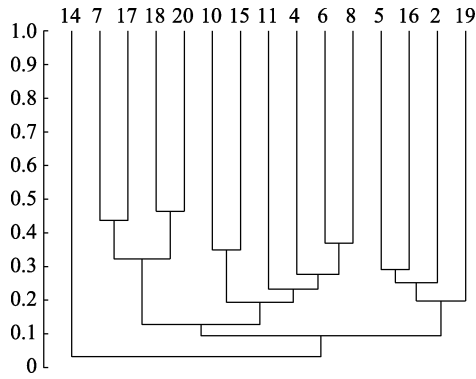


图4 胶州湾海域大型底栖动物聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of macrobenthic fauna in Jiaozhou Bay

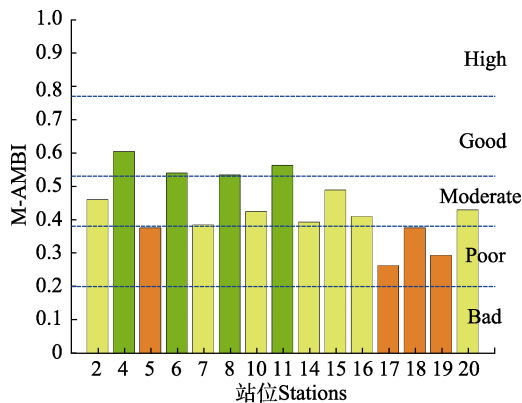


图5 胶州湾海域 M-AMBI 指数

Fig.5 M-AMBI values of Jiaozhou Bay

右轴的“Bad to High”表示采样点的生态状况与观测到的 M-AMBI 值之间的关系
“Bad to High” on the right axis indicates how the ecological status of sampling sites relates to the observed M-AMBI values

2.5 大型底栖动物 M-AMBI 指数分析

对胶州湾大型底栖动物进行M-AMBI指数分析(图5)。其中, 5、17、18和19号站位环境质量状况为差, 4、6、8和11号站位环境质量状况为好, 其他站位环境质量状况为中等。

3 讨论

3.1 影响大型底栖动物种类组成和分布的因素

从空间尺度上看, 调查海域大型底栖动物的生物量和丰度的高值区域都出现在湾顶附近和湾口的西部海域, 而低值区域则出现在湾中部和湾口东部, 与李新正等(2002)的调查结果一致。形成这种分布格局可能是由于胶州湾是一个半封闭海湾, 湾内环境稳定, 海水对海底的冲刷作用逐渐减弱, 底质由湾顶的淤泥到湾中部的泥沙直到湾口的砂石, 湾底淤泥中有

机营养物质丰富, 使得以沉积物中有机质为食物的多毛类等湾顶较为丰富(李新正等, 2005)。而湾口附近, 由于潮流场的水平分布不均匀, 导致湾的西—西南部水体交换能力弱, 环境较为稳定(吕新刚等, 2010)。

另一方面, 胶州湾中部菲律宾蛤仔养殖活动对生态系统有一定的扰动作用, 除了其自身的滤食和挖掘等活动对该海域沉积环境的化学过程的扰动外, 其收获过程(一般是耙式收获)对表层的沉积环境造成了剧烈的物理扰动, 对大型底栖动物的生活环境造成了一定的破坏。物种数的空间分布与生物量和丰度皆不相同, 其高值区主要集中在靠近湾口的站位。通常, 受养殖活动影响的特征之一是底栖动物优势种单一, 即优势度高(Kutti *et al.*, 2007); 而物种的优势度越高, 说明群落内物种的生态地位越不平衡, 生物群落越不稳定(刘录三等, 2008)。最终会导致养殖区及邻近自然海域的大型底栖动物群落特征发生变化, 物种数量的下降(麻鹭等, 2014)。群落聚类分析发现, 菲律宾蛤仔养殖密度较大的站位群落结构较为相似, 被划分在同一个群落中。进一步对采集到菲律宾蛤仔的养殖海域进行分析发现, 随着养殖密度增大, 生物多样性指数呈现下降的趋势, 与 Kaspar 等(1985)研究结果一致, 即养殖活动会改变底栖生物的群落结构, 从而导致大型底栖动物的生物多样性指数下降。由此可见, 胶州湾中部菲律宾蛤仔养殖活动对底栖动物已经造成了一定的影响, 对生态系统有一定的扰动。

3.2 胶州湾生态系统健康状况

海洋中的各类污染物能够以不同的方式进入沉积物中, 引起底质环境的变化, 进而影响底栖生物的结构和组成。 H' 指数通常被认为是一种评价水域有机污染的有效工具, 按照蔡立哲等(2002)对 H' 的污染评价方法进行评价, 对胶州湾生态系统健康状况进行综合评价。评价结果表明, 胶州湾海域多数站位属于中度污染, 其中, 环境质量状况为好的站位主要集中在靠近湾口的附近, 主要原因可能是靠近湾口的水体交换能力强, 有较好的自净能力, 因而提供了比较有利的生存环境(吕新刚等, 2010)。

M-AMBI 指数表明, 胶州湾海域皆受到不同程度的干扰, 多数站位的环境健康状况处于中等状态, 与 H' 法只能指示环境污染程度和评价等级少相比, M-AMBI 指数对环境烦扰程度的分级更加细致。另外, M-AMBI 指数不仅可以评价环境的干扰程度, 还可以反应生态环境健康状况, 但与多样性指数相比, M-AMBI 指数评价得出的环境健康状况普遍较高。基于各种底栖动物对环境敏感度不同, 对大型底栖动物

进行分级, 某些情况下, 针对栖息地不同, 污染分级的阈值范围也会有所不同(Borja *et al*, 2005)。总体来说, M-AMBI 指数评价得出的环境健康状况基本能够反应胶州湾海域的生态环境质量状况。M-AMBI 值的优势在于结合了 AMBI、物种多样性指数和丰富度等群落结构参数, 不会受到站位物种数量的限制, 在提供合适的参照状态基础上, 可以更好的反应各站位的环境质量情况(Li *et al*, 2017)。为促进 M-AMBI 指数在我国近岸海域的应用, 在今后的研究中加强关于近岸海域大型底栖动物的基础生物学研究, 合理的设置采样点和采样频率, 提高不同海域和不同时间点研究结果的可比性。

结合多样性指数和 M-AMBI 值的分析, 整体上来讲, 胶州湾海域的扰动等级为中度扰动, 生态环境质量状况介于中等与一般之间。

参 考 文 献

- 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. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40(12): 1100–1114
- Borja A, Muxika I. Guidelines for the use of AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) in the assessment of the benthic ecological quality. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50(7): 787–789
- Cai LZ, Ma L, Gao Y, *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 [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. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641–646]
- Cui ZG, Chen BJ, Qu KM, *et al*. The environmental risk assessment of *Ruditapes philippinarum* food safety—A case study in Jiaozhou Bay. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2014, 4(6): 42–49 [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. 中国渔业质量与标准, 2014, 4(6): 42–49]
- Epstein PR, Ford TE, Puccia C, *et al*. Marine ecosystem health implications for public health. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1994, 740(1): 13–23
- Fan Y, Liu XS. Seasonal distribution and resource assessment of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in Jiaozhou Bay. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, 46(7): 70–74 [范颖, 刘晓收. 胶州湾菲律宾蛤仔的季节分布与资源评估. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, 46(7): 70–74]
- Guo F, Zhao J, Chen JF *et al*. Nitrogen and phosphorous pollution in shellfish culture areas of Jiaozhou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(5): 116–122 [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. 渔业科学进展, 2012, 33(5): 116–122]
- Grall J, and Glémarec M. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 44(S1): 43–53
- Kaspar HF, Gillespie PA, Boyer IC, *et al*. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Marine Biology*, 1985, 85(2): 127–136
- Kutti T, Hansen PK, Ervik A. Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in infauna community composition. *Aquaculture*, 2007, 262(2–4): 355–366
- Li B, Li X, Bouma TJ, *et al*. Analysis of macrobenthic assemblages and ecological health of Yellow River Delta, China, using AMBI & M-AMBI assessment method. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 119(2): 23–32
- Li XZ, Wang HF, Zhang BL. The secondary production of macrobenthos in Jiaozhou Bay, Shandong. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(6): 527–533 [李新正, 王洪法, 张宝琳. 胶州湾大型底栖动物次级生产力初探. 海洋与湖沼, 2005, 36(6): 527–533]
- Li XZ, Yu HY, Wang YQ, *et al*. Study on the quantitative dynamics of macrobenthos in Jiaozhou Bay. *Studia Marina Sinica*, 2002(44): 66–73 [李新正, 于海燕, 王永强, 等. 胶州湾大型底栖动物数量动态的研究. 海洋科学集刊, 2002(44): 66–73]
- Liu LS, Meng W, Zheng BH, *et al*. Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: I. Species composition and number distribution. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(6): 118–123 [刘录三, 孟伟, 郑丙辉, 等. 辽东湾北部海域大型底栖动物研究: I. 种类组成与数量分布. 环境科学研究, 2008, 21(6): 118–123]
- Lü XG, Zhao C, Xia CS, *et al*. Numerical study of water exchange in the Jiaozhou Bay and the tidal residual currents near the bay mouth. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(2), 20–30 [吕新刚, 赵昌, 夏长水, 等. 胶州湾水交换及湾口潮余流特征的数值研究. 海洋学报, 2010, 32(2): 20–30]
- Ma A, Liu XS, Li L, *et al*. A comparative study on community characteristics of macrofauna inside and outside Manila clam culture waters, Jiaozhou Bay. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2014(1): 122–128 [麻骛, 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. 海洋湖沼通报, 2014(1): 122–128]
- Muxika I, Borja A, Bald J. Using historical data, expert judgment and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55(1): 16–29
- Pinto R, Patrício J, Baeta A, *et al*. Review and evaluation of

- estuarine biotic indices to assess benthic condition. *Ecological Indicators*, 2009, 9(1): 1–25
- Rosenberg R, Blomqvist M, Nilsson HC, *et al.* Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: A proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(9): 728–739
- Shannon CE, Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949, 60(3): 1–114
- Wang HF, Li XZ, Wang JB. Macrobenthic composition and its changes in the Jiaozhou Bay during 2000–2009. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, 42(5): 738–752 [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. *海洋与湖沼*, 2011, 42(5): 738–752]
- Wang ZZ. The ecological on macrobenthos in the northwest water of Jiaozhou Bay. Master's Thesis of Ocean University of China, 2012, 18–19 [王振钟. 胶州湾西北部海域大型底栖动物生态学研究. 中国海洋大学硕士研究生学位论文, 2012, 18–19]
- Wells PG. Assessing health of the bay of fundy--concepts and framework. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(9): 1059–1077

(编辑 马瑾艳)

Health Assessment of the Benthic Ecosystem in Jiaozhou Bay: Ecological Characteristics of the Macrobenthos

DING Jingkun^{1,2,3}, ZHANG Wenwen^{1,2,3}, LI Yang^{1,2}, XUE Suyan^{1,2}, LI Jiaqi^{1,2},
JIANG Zengjie¹, FANG Jianguang¹, MAO Yuze^{1,2①}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Eco-Environment, Qingdao 266071; 2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237;
3. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract Based on survey data from Jiaozhou Bay in July 2017, the ecological characteristics of macrobenthos were analyzed using cluster analysis, and biodiversity and Multivariate-AZTI's Marine Biotic Index (M-AMBI) methods. A total of 64 species were identified, including 25 species of Polychaeta, 23 species of crustaceans, nine species of mollusks, and seven species belonging to other benthic groups and echinoderms. The average biomass and abundance were 70.0 g/m² and 132 ind./m², respectively. There were three dominant species, including *Ruditapes philippinarum*, *Nephtys oligobranchia*, and *Nemertinea*. The ranges of the Margalef species richness index, Shannon-Wiener diversity index, Pielou's evenness index, and M-AMBI were 0.69~3.77, 0.67~3.12, 0.25~1.00 and 0.26~0.60, respectively. According to the results of the cluster analysis, the macrobenthos at the 15 stations could be clustered into three infaunal communities at 15% similarity. The station communities with higher density of clam larvae were divided into the same community, clustering results were related to Philippine clam farming. The Shannon-Wiener Index (*H'*) and M-AMBI analysis showed that the macrobenthic community tended to be moderately disturbed.

Key words Jiaozhou Bay; Macrobenthos; Marine ecosystem health; Biodiversity; M-AMBI

① Corresponding author: MAO Yuze, E-mail: maoyz@ysfri.ac.cn