

烟台牟平海洋牧场夏季大型底栖动物群落特征

杨东¹, 周政权^{2,3}, 张建设¹, 刘甜甜¹, 李晓静^{2,3}, 艾冰花³, 李宝泉³, 陈琳琳³

(1. 浙江海洋大学 国家海洋设施养殖工程技术研究中心, 浙江 舟山 316000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 为明确烟台牟平海洋牧场大型底栖动物群落特征、影响因子及低氧对该区域底栖动物群落特征的影响, 于 2015 年 6 月和 8 月分两个航次在该区域分别设置相同的 18 个采样点进行大型底栖动物群落特征调查和分析。对采集的生物样品进行群落特征分析, 使用生物统计软件 PRIMER 计算优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J), 并进行等级聚类(CLUSTER)和非度量多维标度法(MDS)分析以及 azti's marine biotic index (AMBI)和 multivariate-AMBI (m-AMBI)分析。其中 6 月航次共采集和鉴定大型底栖动物 97 种, 优势类群为多毛类。总平均生物量达到 10.64 g/m^2 , 甲壳类贡献率最高; 8 月航次共采集和鉴定大型底栖动物 78 种, 多毛类是优势类群。总平均生物量达到 9.28 g/m^2 , 多毛类贡献率最高。6 月份的 H' , D , J 分别为 3.071 ± 0.773 , 2.782 ± 0.778 和 0.622 ± 0.143 ; 8 月份分别为 3.192 ± 0.369 , 2.730 ± 0.510 和 0.751 ± 0.076 。通过 CLUSTER 聚类和 MDS 标序发现, 6 月份和 8 月份底栖动物物种组成之间存在显著差异。环境因子与大型底栖动物丰度和生物量关系较大, 其中最能解释该群落丰度和生物量的环境因子为水深、水温、浊度, 而溶解氧是造成 6 月份与 8 月份丰度和生物量较大差异的主要因素。AMBI 和 m-AMBI 分析表明该区域部分采样点大型底栖动物物种组成以污染耐受种为主, 底栖生态健康不佳。烟台牟平海洋牧场 8 月份季节性的缺氧环境, 已在短期内影响了底栖动物的物种组成。

关键词: 烟台牟平海洋牧场; 大型底栖动物; 低氧; 群落结构; 环境因子

中图分类号: Q933 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)05-0134-10

DOI: 10.11759/hyhx 20170315002

海洋牧场是一种先进的基于生态学原理和现代海洋工程技术的养殖模式, 该模式充分利用原有海区的自然生产力, 在满足特定环境和生态条件的海域进行科学培育和管理渔业资源而形成的人工渔场。与传统意义上的海洋捕捞、海水养殖及人工放流不同, 海洋牧场是以环境和生态和谐为目的导向, 集环境保护、资源养护、高效生产以及休闲渔业为一体的海洋经济新业态, 是解决我国近海环境保护和渔业资源可持续利用的重要途径^[1]。1965 年, 曾呈奎先生原创性地提出建设“牧场”的理念, 在海洋中人工控制种植或养殖海洋生物^[2]。1977 年日本曾建成世界上第一个海洋牧场^[3], 之后海洋牧场的建设迅速在各国开展, 极大地促进了海洋渔业可持续发展和海洋环境保护。然而, 海洋牧场因对周围环境极其敏感, 被污染的水体及其他不良的生态环境对其发展存在致命影响^[4]。

烟台牟平海洋牧场地处烟台市牟平区姜格庄镇云溪村。云溪海洋牧场面积 12 km^2 , 人工鱼礁投放

0.58 km^2 , 总投资 1.6 亿元, 主要增养殖刺参、梭子蟹、鱼类等海产品。该海洋牧场所在海域平均年产海参苗种 2.5 万 kg, 商品参 400 t。作为重要的海水养殖基地, 该海域由于养殖密度超过近海生态系统的环境容量, 加之由养殖带来的污染和多条河流带来的陆源污染较为严重, 致使近岸水域环境污染逐渐加剧。我们开展现状调查观测发现, 2013—2014 年夏季, 海洋牧场所处海域曾连续出现底层缺氧现象。

收稿日期: 2017-03-15; 修回日期: 2017-04-07

基金项目: 中国科学院院重点部署项目(KZZD-EW-14); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020403, XDA11020702)

[Foundation: Key Program of the Chinese Academy of Sciences, No.KZZD-EW-14; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11020403, No.XDA11020702]

作者简介: 杨东(1995-), 男, 安徽芜湖人, 硕士, 主要从事底栖动物生态学研究, 电话: 18857087817, E-mail: 1581100508@qq.com; 李宝泉, 通信作者, 副研究员, 硕士生导师, 电话: 13695358760, E-mail: bqli@yic.ac.cn

海洋中的溶解氧是海水重要的生源参数,也是海洋生态系统得以维持发展的关键因子^[5]。通常情况下,当溶解氧含量低于 4 mg/L 时,养殖鱼类就会受到有害影响;而当溶解氧含量低于 2 mg/L,即出现低氧事件^[6]。当低氧事件长时间持续时,海洋生态系统中的各种动物,特别是运动能力较弱的底栖动物群落就会受到严重损害,对海洋牧场的生产力和底栖动物的生态环境产生危害^[6]。

本文的目的是通过现状调查并结合历史资料,分析烟台牟平海洋牧场大型底栖动物群落特征及其差异性,计算该区域底栖生态健康状况,掌握低氧对底栖动物群落结构的影响。以期明确牟平海洋牧场大型底栖动物群落特征以及低氧后群落特征的变化,并开展基于底栖动物群落生物指数的海洋牧场

区域底栖生态健康评价。

1 材料与方法

1.1 站位布设和样品采集

采样地点位于烟台牟平海洋牧场,在该区域海洋牧场共设置 18 个站位(图 1),分别于 2015 年 6 月与 8 月进行两个航次的调查。采用 0.05 m² 箱式采泥器定量采泥,每个站位成功采样 3 次,使用 0.5 mm 孔径的网筛分选后用 75% 的乙醇现场固定,带回实验室进行种类鉴定、个体计数和称量质量。样品的处理、保存、称量质量均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.6-2007)进行。研究站位底层水的温度(*T*)、盐度(*S*)和散射浊度(*Turb*)为 CTD 现场测定,溶解氧(*DO*)为现场采用电化学探头法测定^[7]。

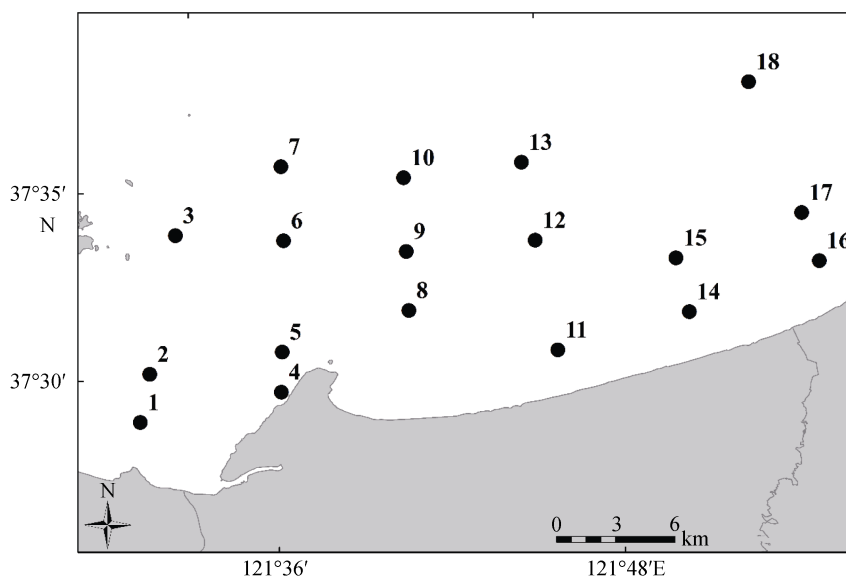


图 1 烟台牟平海洋牧场大型底栖动物调查站位

Fig. 1 Macrobenthos sampling stations at the Muping marine ranch of Yantai

1.2 群落多样性分析

采用以下指数计算并分析大型底栖动物群落优势度和多样性:优势度指数(*Y*), Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*), Margalef 物种丰富度指数(*D*), Pielou 物种均匀度指数(*J*)。

根据陈亚瞿等^[8]的优势度标准,当 $Y > 0.02$ 时,即该种为优势种。

1.3 数据分析方法

使用生物统计软件 PRIMER 7.0 进行群落结构的分析。为了平衡优势种和稀有种在群落中的影响,数据需经平方根转换后计算 Bray-Curtis 相似性系数,

构建相似性矩阵^[9]。采用等级聚类(CLUSTER)和非度量多维标度法(MDS)分析群落结构的异质性。通过相似性百分比(SIMPER)方法计算分析不同物种对组内相似性以及组间差异性的平均贡献率。利用生物环境(BIOENV)相关性分析环境因子与底栖动物群落结构的相关系数;利用 SPSS 18.0 软件方差(ANOVA)分析 6 月份与 8 月份环境因子的差异;使用 azti's marine biotic index (AMBI)和 multivariate-AMBI (m-AMBI)方法分析大型底栖动物群落受干扰状况。

AMBI 和 M-AMBI 值均用 AMBI v5.0 软件进行计算,去除非大型底栖无脊椎动物和个体数低于 3 个的种类,其余物种的生态分组按照 AZTI 中心网站

(<http://www.azti.es>)公布的最新种类名录数据(2014年11月)进行,对于未包含的物种均归为“未分组类(not assigned)”(Angel Borja等,2005)。各生态分组中,EG I表示干扰敏感种(disturbance-sensitive species),EG II表示干扰不敏感种(disturbance-indifferent species),EG III表示干扰耐受种(disturbance-tolerant species),EG IV表示二阶机会种(the second-order opportunistic species),EG V表示一阶机会种(the first-order opportunistic species)。

2 结果

2.1 海洋牧场环境因子现状

烟台牟平海洋牧场6月份与8月份两次调查的水体环境因子如表1所示。两个月份各站位盐度相差不大,水深、水温和散射浊度各站位相差较大;8月份水深和水温较6月份明显上升。8月份所有调查站位水体中溶解氧含量明显低于6月份。

表1 烟台牟平海洋牧场环境因子数据

Tab. 1 Environmental data at the Muping marine ranch of Yantai

站位	水深(m)		水温(°C)		散射浊度(度)		溶解氧(mg/L)		盐度	
	6月	8月	6月	8月	6月	8月	6月	8月	6月	8月
1	11	10	18.45	23.44	11.12	10.73	4.56	3.18	31.29	31.01
2	12	11	18.25	22.93	15.61	11.67	4.18	2.46	31.30	31.12
3	16	17	16.71	21.57	16.24	25.03	4.86	4.27	31.38	31.26
4	16	15	17.86	22.41	9.00	8.60	3.37	2.06	31.33	31.17
5	16	17	17.46	21.87	9.11	10.89	3.06	2.02	31.33	31.23
6	17	17	16.09	21.74	27.44	15.12	4.75	2.68	31.46	31.23
7	17	18	14.83	20.66	13.84	21.31	5.58	3.78	31.53	31.34
8	17	17	16.81	20.82	9.68	13.70	3.53	1.79	31.38	31.28
9	17	18	16.72	20.76	13.43	13.11	3.54	1.81	31.37	31.29
10	17	18	15.60	21.22	15.38	24.61	4.99	2.22	31.45	31.27
11	17	17	16.89	20.95	62.00	6.79	3.23	1.82	31.36	31.31
12	17	18	16.48	20.57	7.84	13.45	4.14	2.85	31.40	31.33
13	18	19	15.97	20.84	13.53	98.04	4.72	3.24	31.43	31.31
14	19	19	16.58	20.55	4.56	9.17	3.30	2.13	31.39	31.34
15	19	18	16.38	20.51	9.87	24.58	3.71	2.90	31.42	31.34
16	12	19	17.39	20.68	2.88	12.91	5.20	2.27	31.43	31.31
17	18	19	14.86	20.61	6.10	12.14	5.52	2.58	31.48	31.31
18	18	20	14.11	19.78	6.08	24.18	5.64	3.96	31.57	31.43

2.2 物种组成与优势种

2015年6月航次共发现和鉴定大型底栖动物97种,其中优势类群为多毛类44种,占总物种数的45.36%;其次是甲壳类29种,占总物种数的29.90%;软体动物共19种,占总物种数的19.59%;棘皮类3种,占总物种数的3.09%;其他动物2种,占总物种数的2.06%。优势种组成包括短叶索沙蚕(*Lumbrineris latreilli*)、不倒翁虫(*Sternaspis scutata*)、微小海螂(*Leptomya minuta*)、尖叶长手沙蚕(*Magelona cincta*)、深钩毛虫(*Sigambra bassi*)、丝异须虫(*Heteromastus filiformis*)。其Y分别为0.24、0.12、0.09、0.03、0.02、0.02。

2015年8月航次共发现和鉴定大型底栖动物78

种,其中优势类群为多毛类40种,占总物种数的51.28%;其次是甲壳类24种,占总物种数的30.77%;软体动物10种,占总物种数的12.82%;棘皮类2种,占总物种数的2.56%;其他动物2种,占总物种数的2.56%。优势种组成与6月份航次差别不大,其中有5种重复,即:不倒翁虫、短叶索沙蚕、丝异须虫、深钩毛虫、尖叶长手沙蚕;两种为新出现的优势种,即:寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)、内肋蛤(*Endopleura lubrica*)。其Y分别为0.24、0.13、0.12、0.06、0.06、0.04、0.03。

2.3 生物量和丰度

2015年6月航次底栖动物总平均生物量为

10.64 g/m²。其中甲壳类最高, 为 4.66 g/m² (占总平均生物量的 43.78%); 其后依次为多毛类(3.61 g/m², 占 33.98%)、软体动物(1.53 g/m², 占 14.37%)、棘皮类(0.68 g/m², 占 6.39%)和其他动物(0.15 g/m², 占 1.46%); 2015年8月航次所调查的底栖动物总平均生物量低于6月份, 为 9.28 g/m²。各主要类群所占比例也发生变化, 其中多毛类最高, 为 3.00 g/m² (占总平

均生物量的 32.35%); 其后依次为甲壳类(2.69 g/m², 占 29.06%)、软体动物(2.19 g/m², 占 23.59%)、其他动物(0.97 g/m², 占 10.48%)和棘皮类(0.42 g/m², 占 4.50%)。其中6月和8月生物量在各采样点的空间分布不均, 6月高值区位于12号站, 达到 89.56 g/m², 且大大高于6月所有站点生物量平均值; 8月高值区位于6号站, 达到 22.37 g/m²(图2)。

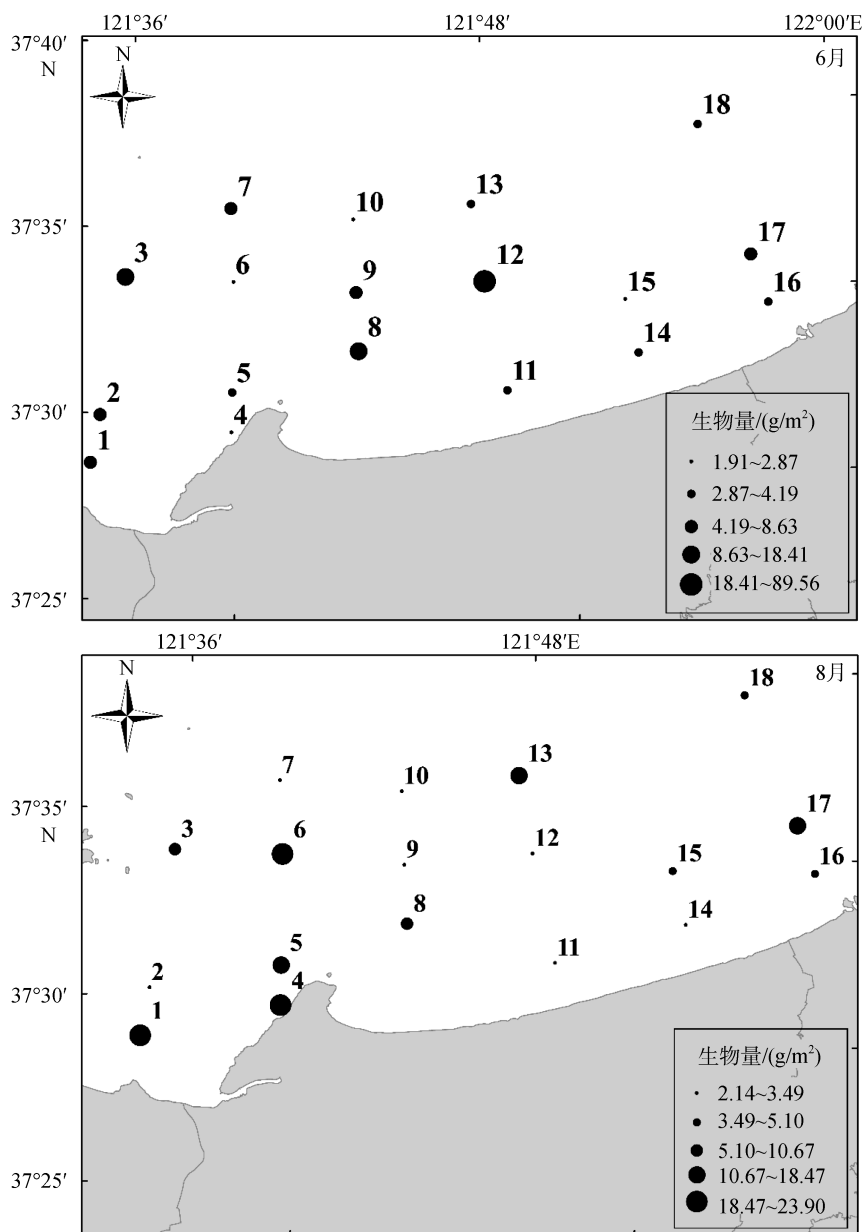


图2 烟台牟平海洋牧场6月份与8月份底栖动物的生物量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of macrobenthos biomass at the Muping marine ranch of Yantai during June and August

2015年6月航次底栖动物总平均丰度1 084.44 个/m²。其中多毛类最高, 为 809.25 个/m², 占总平均丰度的

74.62%; 其后依次是软体动物(183.33 个/m², 占 16.90%)、甲壳类(82.59 个/m², 占 7.61%)、其他动物

(5.55 个/m², 占 0.51%)、棘皮类(3.70 个/m², 占 0.34%); 2015 年 8 月调查的底栖动物总平均丰度数值明显较低至 154.81 个/m²。其中软体动物最高, 为 90.37 个/m², 占总平均丰度的 58.37%; 其后依次是甲壳类(60.37 个/m², 占 38.99%)、多毛类(1.48 个/m²,

占 0.96%)、棘皮类 (1.48 个/m², 占 0.96%)、其他动物(1.11 个/m², 占 0.72%)。其中, 丰度在各采样点的分布不均, 6 月高值区位于 5 号站, 达到 1 806.67 个/m²; 8 月高值区位于 17 号站, 达到 2 786.67 个/m², 大大高于 8 月所有站位丰度平均值(图 3)。

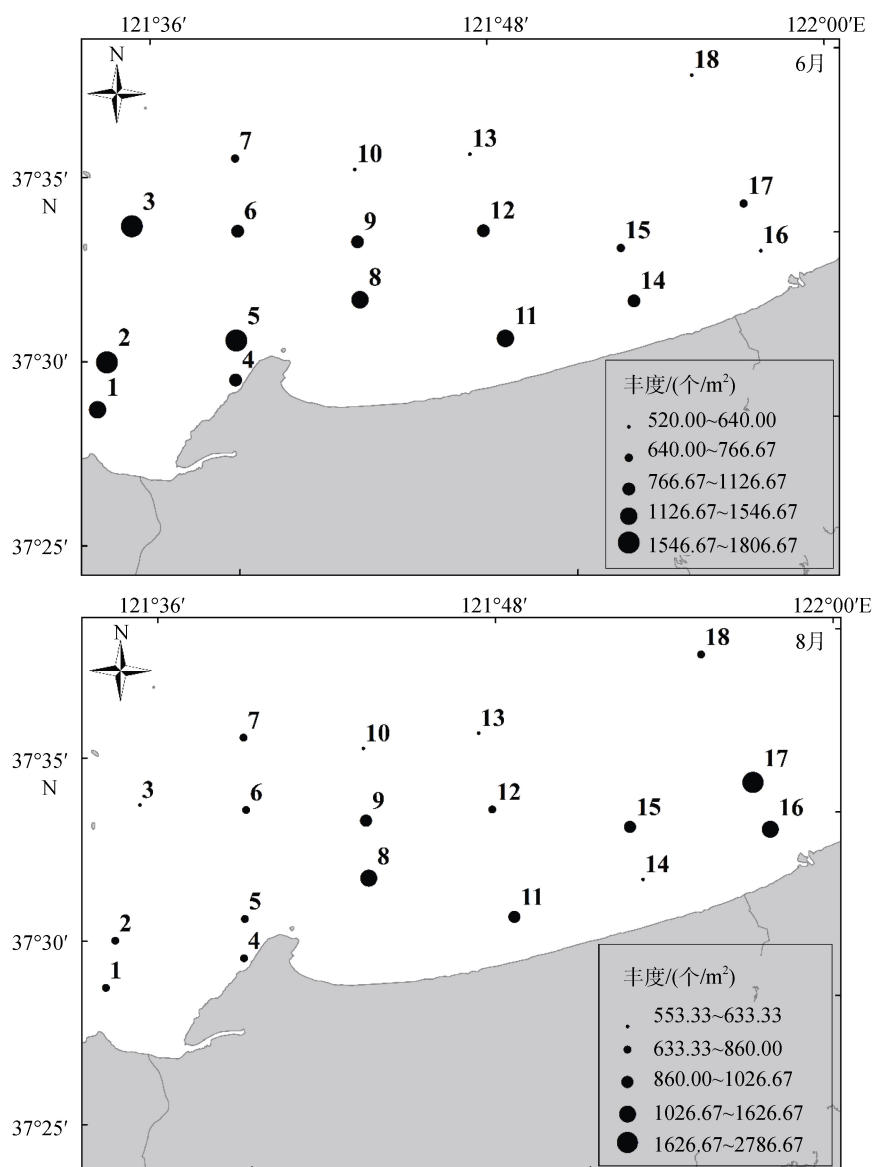


图 3 烟台牟平海洋牧场 6 月份与 8 月份底栖动物的丰度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of macrobenthos abundance at the Muping marine ranch of Yantai in June and August

2.4 群落多样性

2015 年 6 月份航次调查各站位的 D 平均为 2.78 ± 0.78 , 12 号站最高(3.99), 5 号站最低(1.60); J 平均为 0.62 ± 0.14 , 18 号站最高(0.86), 1 号站最低(0.27); H' 平均为 3.07 ± 0.77 , 12 号站最高(4.0), 1 号站最低(1.01)。

2015 年 8 月份航次调查各站位的 D 平均为 2.73 ± 0.51 , 16 号站最高(3.89), 2 号站最低(1.80); J 平均为

0.75 ± 0.08 , 12 号站最高(0.85), 12 号站最低(0.57); H' 平均为 3.19 ± 0.37 , 13 号站最高(3.80), 8 号站最低(2.62)。

2.5 群落结构分析

将 6 月份和 8 月份的大型底栖动物丰度合在一起, 对其进行聚类分析和非参数性多维标度排序, CLUSTER 聚类(图 4a)和 MDS 排序(图 4b)的分析结

果一致。CLUSTER 显示 6 月份和 8 月份底栖动物群落物种组成可明显区分开, MDS 也可看到两个月份的站位也有明显不同的标序。按照群落物种组成的相似性程度, 6 月与 8 月均可归为两组。6 月份两组的平均相似性为 38.79%, 贡献率大于 10% 的有 3 种, 以贡献率大小依次为短叶索沙蚕 19.29%, 微小海螂

14.60%(表 2)。8 月份两组的平均相似性 52.36%, 贡献率大于 10% 的有 4 种, 其中贡献率最大的是不倒翁虫, 贡献率为 15.46%, 其次是短叶索沙蚕, 贡献率为 14.06%(表 2)。6 月与 8 月两组的平均差异性 61.89%, 贡献率最大的是微小海螂, 贡献率为 5.71%, 是丝异须虫, 贡献率为 5.66%。

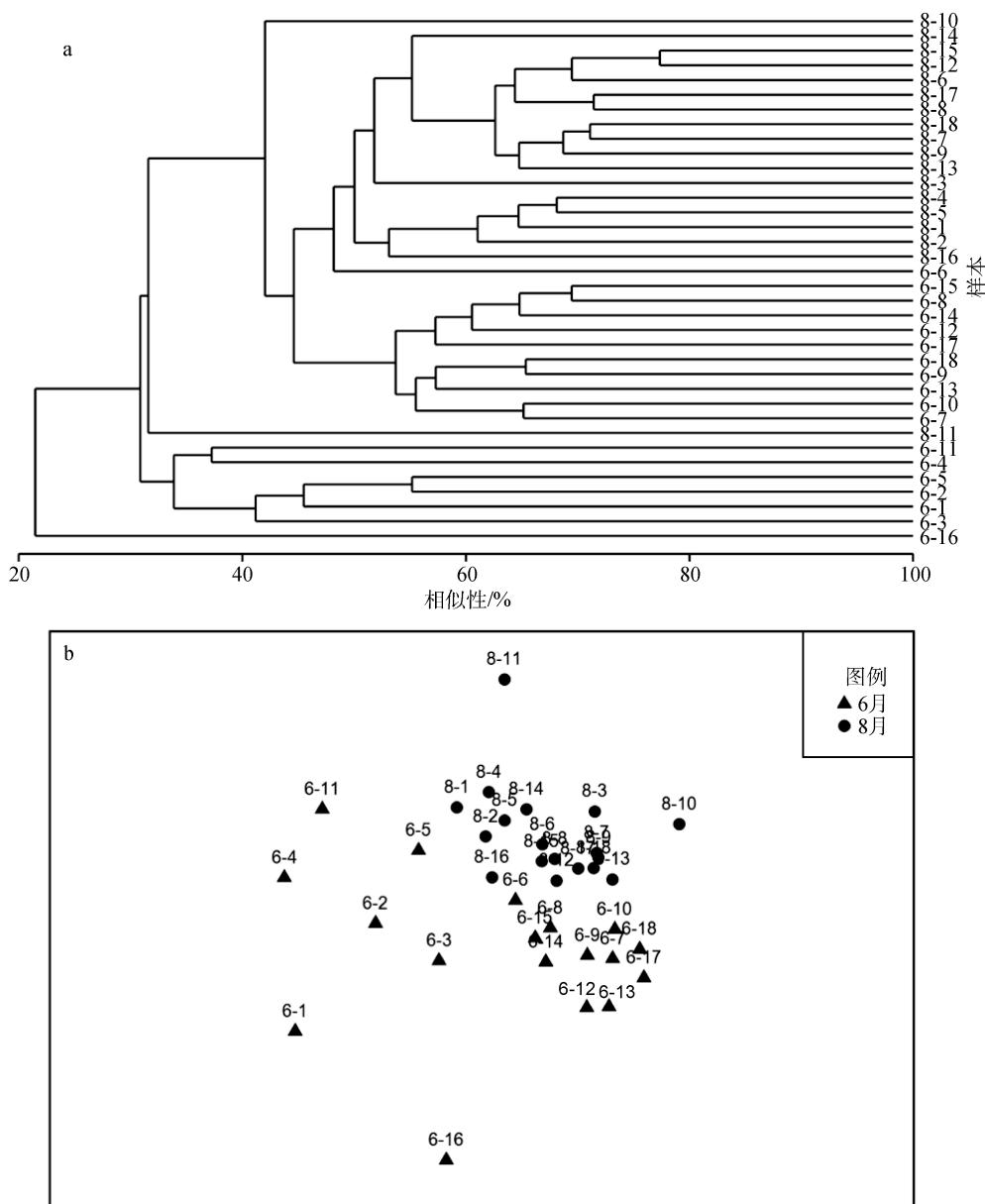


图 4 烟台牟平海洋牧场大型底栖动物群落的 CLUSTER 聚类分析(a)与 MDS 标序结果(b)
Fig. 4 CLUSTER analysis (a) and MDS (b) plots of macrobenthos at Muping marine ranch of Yantai

“ 6-1 ” 表示 6 月份的 1 号站位, 以此类推

“ 6-1 ” represents for the first sampling station in June, the others are likewise

2.6 群落与环境因子的相关性

通过 BIOENV 分析得出, 6 月份的底栖动物物种

丰度与水深、水温、浊度 3 个环境因子有很大关系, 相关系数为 0.619; 8 月份的丰度受环境因子影响最大的因子是浊度, 相关系数为 0.374。

表 2 烟台牟平海洋牧场 6 月份与 8 月份物种贡献率

Tab. 2 Species contribution rate at the Muping marine ranch of Yantai in June and August

物种	平均丰度(个/m ²)		贡献率(%)		累积贡献率(%)	
	6月	8月	6月	8月	6月	8月
短叶索沙蚕	2.43	2.48	19.29	14.06	19.29	14.06
微小海螂	2.14	0	14.60	0	33.89	14.06
不倒翁虫	2.27	2.67	14.03	15.46	47.92	29.52
尖叶长手沙蚕	1.42	1.86	9.91	11.11	57.83	40.63
深钩毛虫	1.04	1.73	4.65	8.55	62.48	49.18
寡鳃齿吻沙蚕	1.04	1.47	4.45	7.33	66.94	56.51
丝异须虫	0	2.37	0	13.98	66.94	63.84

水深、水温和浊度 3 个环境因子的组合与丰度、生物量的相关系数最高,最能解释群落丰度和生物量的空间分布特征。

2.7 AMBI 与 m-AMBI 分析

AMBI 与 m-AMBI 分析表明(表 3),6 月份烟台牟平海洋牧场两个站点 6, 11 号站底栖动物状态受到中

表 3 烟台牟平海洋牧场 6 月份与 8 月份各站点 AMBI 和 m-AMBI 结果

Tab. 3 Results of AMBI and m-AMBI for each station at the Muping marine ranch of Yantai in June and August

站位	物种数在各生态分组中的百分比(%)					未鉴定物种比例(%)	AMBI 值	扰动程度	m-AMBI 值	健康状态
	1	2	3	4	5					
6-1	0.4	96.4	0.4	0.0	2.7	0.0	1.621	轻度	0.42	中等
6-2	5.1	76.5	3.6	9.7	5.1	0.0	1.997	轻度	0.47	中等
6-3	10.3	45.1	28.6	1.4	14.6	0.0	2.472	轻度	0.73	好
6-4	4.5	67.7	6.5	9.7	11.6	0.0	2.342	轻度	0.54	好
6-5	3.8	59.0	3.4	33.8	0.0	0.0	2.509	轻度	0.49	中等
6-6	3.2	16.9	28.2	51.6	0.0	0.8	3.423	中度	0.53	中等
6-7	16.5	37.6	44.7	1.2	0.0	0.0	1.959	轻度	0.59	好
6-8	7.8	25.7	58.7	7.8	0.0	5.6	2.497	轻度	0.63	好
6-9	8.6	34.5	44.8	12.1	0.0	4.1	2.405	轻度	0.68	好
6-10	20.4	51.9	24.1	3.7	0.0	1.8	1.667	轻度	0.66	好
6-11	8.0	10.3	12.9	24.6	44.2	0.0	4.299	中度	0.50	中等
6-12	20.3	36.1	30.1	44.2	10.5	1.5	2.211	轻度	0.79	高
6-13	19.4	45.2	33.9	10.5	0.0	6.1	1.766	轻度	0.75	好
6-14	12.3	26.1	50.7	5.1	5.1	6.1	2.478	轻度	0.64	好
6-15	18.0	52.8	18.0	0.0	0.0	3.3	1.837	轻度	0.76	好
6-16	42.4	22.7	28.8	0.0	0.0	0.0	1.477	轻度	0.70	好
6-17	14.0	12.0	59.0	12.0	12.0	4.8	2.805	轻度	0.49	中等
6-18	20.0	34.3	25.7	0.0	0.0	4.1	2.186	轻度	0.73	好
8-1	7.3	46.8	26.6	19.3	0.0	0.0	2.367	轻度	0.58	好
8-2	12.0	48.1	27.8	12.0	0.0	0.9	2.097	轻度	0.55	好
8-3	2.2	31.9	56.0	9.9	0.0	2.2	2.604	轻度	0.64	好
8-4	13.6	32.0	24.0	30.4	0.0	0.8	2.568	轻度	0.58	好
8-5	11.8	51.8	10.9	25.5	0.0	5.2	2.250	轻度	0.63	好
8-6	16.5	36.9	17.5	29.1	0.0	0.0	2.388	轻度	0.64	好
8-7	5.6	28.0	50.5	15.9	0.0	0.0	2.650	轻度	0.64	好
8-8	6.2	31.2	47.1	15.4	0.0	1.6	2.575	轻度	0.61	好
8-9	5.7	29.8	40.4	24.1	0.0	2.8	2.745	轻度	0.63	好

续表

站位	物种数在各生态分组中的百分比(%)					未鉴定物种比例(%)	AMBI 值	扰动程度	m-AMBI 值	健康状态
	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5					
8-10	23.3	15.6	51.1	10.0	0.0	0.0	2.217	轻度	0.71	好
8-11	4.9	15.3	12.5	67.4	0.0	0.0	3.635	中度	0.52	中等
8-12	16.0	41.2	16.0	26.9	0.0	3.3	2.307	轻度	0.66	好
8-13	26.9	37.2	26.9	9.0	0.0	1.3	1.769	轻度	0.75	好
8-14	27.4	19.0	4.8	48.8	0.0	6.7	2.625	轻度	0.61	好
8-15	30.5	35.1	22.7	11.7	0.0	0.0	1.734	轻度	0.74	好
8-16	23.8	32.1	26.9	17.1	0.0	1.0	2.060	轻度	0.77	高
8-17	6.3	17.3	56.5	19.8	0.0	3.4	2.849	轻度	0.62	好
8-18	9.7	35.5	35.5	19.4	0.0	2.4	2.468	轻度	0.75	好

注: , , , 和 表示生态类群, 6-1 表示 6 月份的 1 号站位, 以此类推; 8-1 表示 8 月份的 1 号站位, 以此类推

度干扰, 1、2、5、6、11 和 17 号站底栖群落健康状况表现为中等; 8 月份 11 号站受到了中度干扰, 11 号站底栖群落健康状况呈中等。

3 讨论

3.1 烟台牟平海洋牧场群落结构特征

调查表明, 海域两个月份底栖动物物种存在较大差异, 8 月份物种数明显少于 6 月份, 物种组成也主要以多毛类和小型甲壳类为主, 棘皮类和其他类群生物较少, 优势种均以耐污种类(如短叶索沙蚕和不倒翁虫等)为主, 说明该海域底栖生物群落结构简单且具有明显小型化特征, 同时人类活动引起的沉积层有机质污染和低氧等现象影响到群落组成和分布特征。此外, 调查表明, 海域中未发现刺参的捕食者类群, 如鱼类和梭子蟹等, 但其食物来源(如小型甲壳类等)的丰度及生物量水平较低, 也说明该牧场内食物网简单, 食物链长度缩短。调查结果与烟台近海近几年的调查结果相差不大, 近些年来烟台近海大型底栖动物群落物种组成相对稳定, 并没有发生太剧烈变化^[9]。

烟台牟平海洋牧场大型底栖动物群落结构在 6 月份和 8 月份存在显著差异, 且这些差异的主要贡献物种为微小海螂和丝异须虫, 可见这两个优势物种对烟台牟平海洋牧场的环境变化反应较敏感, 可作为烟台牟平海洋牧场环境评价的指示物种。群落特征和环境因子的关系表明, 水深、水温和浊度 3 个环境因子与丰度和生物量的相关系数最高^[10]。

物种多样性指数以及 AMBI 和 m-AMBI 分析结果表明, 调查区域各站位的大型底栖动物受到的扰动程度不一, 局部区域受污染扰动较大, 特别是近岸的 11 号站, 物种组成单一, 说明受污染的环境给

多毛类等小型耐污种提供了更大的生存机会^[9]。耐污指示种小头虫(*Capitella capitata*)出现在此站, 说明该站沉积物已受到较严重的有机质污染。

3.2 影响底栖生物群落特征的因素

许多研究表明, 不同季节影响大型底栖动物群落特征的环境因素存在着较明显的差异^[11]。本次调查研究的结果也发现这一现象。其中影响 6 月份底栖生物群落特征主要环境因子为水深、水温和浊度, 8 月份则为浊度。烟台牟平海洋牧场大型底栖动物的物种特征和群落分布格局与水深有着密切的关系。随着水体深度的不断增加, 该海洋牧场大型底栖动物的密度和种类数通常会随之减少。一般而言, 单位面积内深海大型底栖动物多样性低于浅水区, 而浅海区相对深海具有更高的丰度和生物量。且大型底栖动物种类数、丰度、生物量、多样性指数和种类均匀度与水深呈负相关关系^[12]。而海水的水温与大型底栖动物种类数, 丰度, 生物量存在着正相关关系。随着水温的不断升高, 大型底栖动物开始进行繁殖, 其个体数和生物量也随之增加^[13]。浊度是通过影响光照强度从而影响该海洋牧场浮游植物和着生藻类的生长, 进而影响以取食浮游植物或着生藻类为食的底栖动物^[14]。

6 月份与 8 月份烟台牟平海洋牧场的含氧量差异显著, 且 8 月份含氧量明显低于 6 月份含氧量。8 月份有 3 个站出现低氧情况, 分别为 8 号站 1.79 mg/L, 9 号站 1.81 mg/L, 11 号站 1.82 mg/L, 且 8 月份平均含氧量也较低(表 1)。6 月份 3 站的生物量分别为 15.57、8.19 和 3.35 g/m², 而 8 月份 3 站的生物量分别为生物量 7.45、3.49 和 2.14 g/m²。8 月份处于低氧环境下的 3 站与 6 月份相同站位的生物量明显减少。由此可推论, 含氧量是造成 6 月份与 8 月份生物

量和丰度差异的主要环境因子。

3.3 低氧的影响

底层水中溶解氧含量是影响底栖生物的主要因素^[15]。水体缺氧严重危害河口和近海生态系统,海洋中大多数生物都需要充足的溶解氧来维持生长代谢^[16]。因底栖动物大多移动能力弱或移动范围有限,区域性的缺氧对底栖动物的影响最为显著,当溶解氧质量浓度小于 2 mg/L,且持续时间较长时,海洋中的大多数鱼类、浮游动物,特别是运动能力较弱的物种将面临大规模死亡^[17]。缺氧事件发生还会降低海洋物种多样性,改变海洋生物的群落结构,减少鱼类和底栖动物的丰富度,从而影响渔业生产,带来直接或间接的经济损失^[18]。

低氧环境成因复杂,低氧发生时会对大型底栖动物产生扰动,进而使低氧区内大型底栖动物的栖息密度、生物量和多样性产生较大差异^[19]。许多多毛类物种对环境溶解氧含量的适应性较强,无论在低氧区还是非低氧区常作为调查海域沉积物中优势类群^[20]。同时,我们也发现烟台牟平海洋牧场 8 月份低氧区的存在并没有完全破坏底栖生物群落,只可能在短时间影响底栖动物的种类组成^[21]。

参考文献:

[1] 杨红生, 霍达, 许强, 等. 现代海洋牧场之我见[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(6): 1069-1074.
Yang Hongsheng, Huo Da, Xu Qiang, et al. Views on modern marine ranching[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(6): 1069-1074.

[2] 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1133-1140.
Yang Hongsheng. Construction of marine ranching in China: reviews and prospects[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1133-1140.

[3] 杨金龙, 吴晓郁. 海洋牧场技术的研究现状和发展趋势[J]. 中国渔业经济, 2004, 5: 48-50.
Yang Jinlong, Wu Xiaoyu. Overview of marine ranching Technology[J]. Chinese Fisheries Economics, 2004, 5: 48-50.

[4] 范纯增, 刘玉宝, 姜虹, 等. 山东海洋牧场可持续发展与环境保护[J]. 水产学杂志, 2011, 14(2): 7-11.
Fan Chunzeng, Liu Yubao, Jiang Hong, et al. Marine ranch sustainable development and environment protection in Shandong province, China[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2011, 14(2): 7-11.

[5] 郑静静, 刘桂梅. 海洋缺氧现象的研究进展[J]. 海洋预报, 2016, 33(4): 88-97.
Zheng Jingjing, Liu Guimei. Review on the marine hypoxia[J]. Marine Forecasts, 2016, 33(4): 88-97.

[6] 刘海霞. 长江口夏季低氧区形成及加剧的成因分析[D].

上海: 华东师范大学河口岸学国家重点实验室, 2011.
Liu Haixia. Study on main influencing factors of formation and deterioration of summer hypoxia off the Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research of East China Normal University, 2011.

[7] 王智, 曲方圆. 夏季辽东湾西部海域大型底栖动物群落结构与多样性[J]. 海洋科学, 2016, 40(1): 40-47.
Wang Zhi, Qu Fangyuan. Commructure and diversity of macrobenthos in the western waters of Liaodong Bay during summer[J]. Marine Sciences, 2016, 40(1): 40-47.

[8] 邓玉娟, 董树刚, 刘晓收. 福建兴化湾大型底栖动物种类组成和生物多样性[J]. 海洋科学, 2016, 40(1): 54-63.
Deng Yujuan, Dong Shugang, Liu Xiaoshou. Species composition and biodiversity of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian[J]. Marine Sciences, 2016, 40(1): 54-63.

[9] 李晓静, 周政权, 陈琳琳, 等. 山东烟台大沽夹河河口及邻近海域大型底栖动物群落特征[J]. 生物多样性, 2016, 24(2): 157-165.
Li Xiaojing, Zhou Zhengquan, Chen Linlin, et al. Characteristics of microbenthic communities in the estuary of Dagujia River and its adjacent water areas in Yantai, Shandong[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(2): 157-165.

[10] 彭松耀. 黄东海大型底栖动物群落结构特征[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2013.
Peng Songyao. Characteristics of macrobenthic community structure in the Yellow Sea and East China Sea[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, 2013.

[11] 李莉, 张建乐. 秦皇岛入海口临近海域夏季大型底栖动物群落结构变化及影响因子研究[J]. 海洋学研究, 2014, 32(4): 83-89.
Li Li, Zhang Jianle. Study on the community structural variation of macrobenthos and impact factors in the adjacent sea area of Qinghuandao Estuary in summer [J]. Journal of Marine Sciences, 2014, 32(4): 83-89.

[12] 张敬怀. 珠江口及邻近海域大型底栖动物多样性随盐度、水深的变化趋势[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 302-310.
Zhang Jinghuai. The variation of biodiversity of macrobenthic fauna with salinity and water depth near the Pearl Estuary of the northern South China Sea [J]. Biodiversity Science, 2014, 22(3): 302-310.

[13] 陆强, 陈慧丽. 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2803-2815.
Lu Qiang, Chen Huili. Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with enviromental factors in Hangzhou Xixi Wetland [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2803-2815.

[14] 邵美玲, 韩新芹. 香溪河流域梯级水库底栖动物群落比较[J]. 生态学报, 2017, 27(12): 4963-4971.
Shao Meiling, Han Xinqin. Comparative on macroin-

- vertebrate communities along a cascade of reservoirs in Xiangxi River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 27(12): 4963-4971.
- [15] 张晓举, 丁龙, 冯春晖. 辽东湾中部海域春季大型底栖生物的群落结构及影响因子[J]. *海洋科学*, 2016, 40(10): 43-48.
Zhang Xiaojun, Ding Long, Feng Chunhui. Macrobenthos community and environmental factors in the middle waters of Liaodong Bay in Spring[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(10): 43-48.
- [16] Gray J S, Wu R S S, Or Y Y. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 238: 249-279.
- [17] Karlson K, Rosenberg R, Bonsdorff E, et al. Temporal and spatial large-scale effects of eutrophication and oxygen deficiency on benthic fauna in Scandinavian and Baltic waters—a review[J]. *Oceanography and Marine Biology*, 2002, 40: 427-489.
- [18] Yin K D, Lin Z F, Ke Z Y. Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters[J]. *Continental Shelf Research*, 2004, 24(16): 1935-1948.
- [19] 袁伟, 金显仕. 低氧环境对大型底栖动物的影响[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(3): 293-296.
Yuan Wei, Jin Xianshi. Influence of hypoxia environment upon macrobenthos[J]. *Marine Environmental Science*, 2010, 29(3): 293-296.
- [20] 刘志国, 许韧. 长江口外低氧区特征及其影响研究[J]. *海洋通报*, 2012, 31(5): 588-593.
Liu Zhiguo, Xu Ren. Characters of hypoxia area off the Yangtze River Estuary and its influence[J]. *Marine Science Bulletin*, 2012, 31(5): 588-593.
- [21] 王延明, 李道季. 长江口及临近海域底栖生物分布及与低氧区的关系研究[J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(2): 139-144.
Wang Yanming, Li Daoji. Study on relation of distribution of benthos and hypoxia in Yangtze River Estuary and adjacent sea [J]. *Marine Environment Science*, 2008, 27(2): 139-144.

Characteristics of macrobenthic communities at the Muping marine ranch of Yantai in summer

YANG Dong¹, ZHOU Zheng-quan^{2, 3}, ZHANG Jian-she¹, LIU Tian-tian¹, LI Xiao-jing^{2, 3}, AI Bing-hua³, LI Bao-quan³, CHEN Lin-lin³

(1. Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316000, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, the Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Received: Mar. 15, 2017

Key words: Muping marine ranch of Yantai; macrobenthos; hypoxia; community structure; environmental factors

Abstract: A survey on the characteristics of macrobenthic communities was carried out at the Muping marine ranch of Yantai during June and August 2015 to clarify the characteristics and factors affecting the macrobenthic communities and to analyze the effects of hypoxia on macrobenthic community characteristics. The PRIMER software package was used to calculate four biodiversity indices and to carry out CLUSTER, MDS ordination analyses, AMBI AZTI's Marine Biotic Index and m-AMBI (multivariate-AMBI) to analyze community structure. A total of 97 macrobenthic species were identified in June, of which the dominant group was polychaetes. The average biomass was 18.02 g/m², of which crustacean species contributed most. A total of 78 macrobenthic species were identified in August, of which the dominant group was polychaetes. The average biomass was 9.28 g/m², of which polychaete species contributed most. Three biodiversity indices, the richness index, the evenness index, and the Shannon–Wiener index were 3.071 ± 0.773, 2.782 ± 0.778, and 0.622 ± 0.143 in June and 3.192 ± 0.369, 2.730 ± 0.510, and 0.751 ± 0.076 in August. The CLUSTER and MDS analyses showed a significant difference between June and August. Environmental factors, including water depth, water temperature, and turbidity were strongly correlated with the abundance and biomass of the macrobenthic communities. Dissolved oxygen was the main cause of the difference between June and August. The AMBI and M-AMBI analysis showed that the macrobenthic species were mostly tolerant and that the area had suffered a moderate disturbance. The seasonal hypoxic environment at the Muping marine ranch of Yantai in August affected species composition of the macrobenthos.

(本文编辑: 刘珊珊)