

文章编号: 1000-0615(2018)06-0922-10

DOI: 10.11964/jfc.20170710905

桑沟湾不同养殖区大型底栖动物的群落结构特征

杨艳云^{1,2}, 张继红^{2,3*}, 吴文广², 杨凤¹,
刘毅², 王巍², 蔺凡², 马莎²

(1. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁大连 116023;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东青岛 266071;

3. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东青岛 266200)

摘要: 于2016年9月和11月对我国北方典型筏式养殖海湾——桑沟湾的筏式贝藻养殖区和网箱养殖区的大型底栖动物进行调查, 研究了桑沟湾不同养殖区大型底栖动物的种类组成、数量分布、群落结构及生物多样性等群落特征, 分析了底栖动物与海洋环境因子的关系, 以了解养殖活动对大型底栖动物的影响。结果显示, 调查共鉴定出大型底栖动物67种, 其中, 环节动物多毛类36种, 软体动物12种, 节肢动物门甲壳类和全足类16种, 棘皮动物3种。桑沟湾大型底栖动物的优势种主要为多毛类, 贝藻区的绝对优势种为刚鳃虫和长叶索沙蚕, 网箱区的绝对优势种为异足索沙蚕和多丝独毛虫。生物量和丰度的特性为9月网箱区>11月网箱区>9月贝藻区, 多样性指数的趋势相反。研究表明, 底栖动物群落特征与底质有机碳、总磷、硫化物和氧化还原电位等因素有关, 桑沟湾大规模养殖活动对底栖动物群落组成和分布产生了一定的影响。

关键词: 贝藻养殖区; 网箱养殖区; 大型底栖动物; 群落特征; 多样性; 桑沟湾

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

大型底栖动物作为海洋生态系统的重要组成部分, 是海洋生物中种类最多、生态关系最为复杂的类群, 在海洋生态系统物质循环和能量流动中起着举足轻重的作用^[1]。由于其生活相对稳定(固定底部或短距离移动), 区域性强, 回避环境恶化的能力较弱, 且不同种类对环境胁迫承受能力具有差异性, 其种群数量变化对环境污染的指示作用具有综合性和持续性^[2-4]。目前, 国外对大型底栖动物群落的研究也多用来反映海洋底质环境的变化^[5-7]。因此, 对大型底栖动物群落特征的研究不仅可以为海湾渔业资源变化提供基础资料, 也可以反映海洋生态环境质量状况。

我国对海洋大型底栖动物的研究始于20世纪50年代的全国海洋调查^[8], 而与养殖活动有关

的大型底栖动物群落特征研究较少, 主要在象山港、乐清湾、大亚湾和福建三都澳有过研究报道^[4, 9-10]。桑沟湾是我国北方海水养殖的典型海湾, 养殖规模大, 养殖面积达到全湾的70%, 自湾口向湾内依次为海带养殖区、贝藻混养区、贝类养殖区, 养殖面积大, 在湾内的西南角有小范围的网箱养殖^[11]。然而, 关于桑沟湾大型底栖动物的研究极为匮乏^[8]。本实验通过对桑沟湾不同养殖区(贝藻养殖区和网箱养殖区)大型底栖动物的种类组成、数量分布、群落结构及生物多样性等群落特征的调查研究, 分析底栖动物与海洋环境因子的关系, 了解养殖活动对大型底栖动物的影响, 以为桑沟湾健康、高效的海水养殖提供理论依据。

收稿日期: 2017-07-17 修回日期: 2017-10-23

资助项目: 国家自然科学基金(41776155); 中国水产科学研究院基本科研业务费(2016HY-JC0101); 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划(2016ASKJ02-3)

通信作者: 张继红, E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 调查航次与站位布 设

本次调查于2016年9月1日—2日在桑沟湾大规模筏式贝藻养殖区进行1个航次的采样, 调查站位覆盖藻类养殖区(Y3)、贝藻混养区(Y5、Y8、Y10、Y12)及贝类养殖区(Y13、Y14、Y16、Y18、Y19), 站位设置见图1-a。贝类养殖周期在4—11月, 藻类养殖周期在6—10月。于2016年9月2日和11月16日在网箱养殖区围绕3组网箱(每组20个网箱)周边分别进行2个航次的采样, 采样站位分布见图1-b, 分别在网箱养殖周边(W1、W2、W3、W4、W7、W8、W9、W10)、网箱与牡蛎筏架之间(W6)及靠近牡蛎筏架处(W5)。网箱养殖周期为5月初到11月初。

1.2 样品采集与处理

每个调查站位分别用抓斗式采泥器(型号为 van Veen grab)采集表层泥样(2~3个平行), 样品经孔径为0.5 mm的筛网过滤、冲洗后, 保存于75%的酒精溶液中, 带回实验室进行种类鉴定、个体计数和称重(湿重, 精度为0.001), 计算丰度和生物量。

1.3 环境因子

采用美国YSI-6600多参数水质分析仪同步测定底层水体的温度、盐度、溶解氧、pH等环境参数, 同时再用采泥器采集一个表层沉积物

样, 将0~2 cm表层沉积物分离出来, 密封低温带回实验室冰冻保存。湿泥样用来测定硫化物含量和粒径分析。硫化物含量用微电极法测定; 粒径组成用英国的Malvern Marstersizer 3000激光粒度仪测定。干泥样用来测定有机质、有机碳、总氮、总磷含量。有机质含量通过灰化法测定^[12]; 有机碳、总氮通过将干泥样酸化并洗涤后用Isoprime-100同位素质谱仪测定^[13]; 总磷用灰化法测定^[14]。

1.4 数据处理与分析

底栖动物群落数据经标准化后进行底栖动物群落特征分析。

McNaughton物种优势度指数(Y)

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

式中, Y 为底栖动物优势度指数; n_i 为第*i*种的总个体数; N 为所有站位采集的底栖动物总个体数; f_i 为该物种在各调查站位出现的频率。通常将 $Y > 0.02$ 时的种定为优势种。

物种多样性指数 物种多样性包括种丰富性和群落异质性。种丰富性是指群落中物种数目的大小, 群落异质性指群落中各个种的相对密度(与均匀性呈正比)。

Shannon-Wiener多样性指数(H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2 p_i$$

Margalef丰富度指数(d)

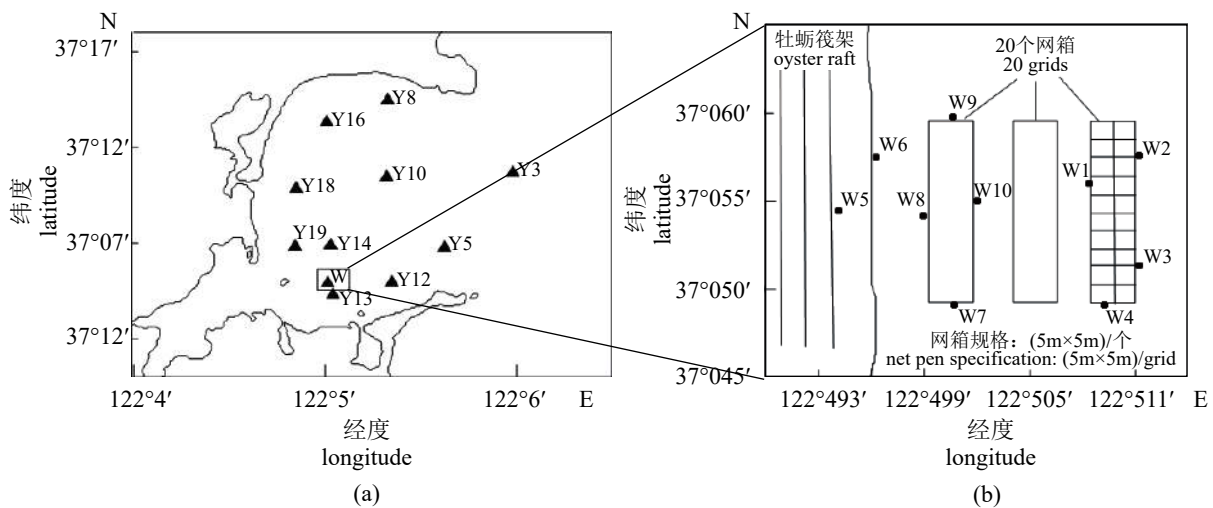


图 1 桑沟湾采样调查站位示意图

(a) Y. 贝藻养殖区采样站位; (b) W. 网箱养殖区采样站位

Fig. 1 Sampling stations in Sanggou Bay

(a) Y. sampling stations in bivalve-seaweed integrated area; (b) W. sampling stations in fish cage area

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

Pielou均匀性指数(J)

$$J = H' / H_{\max}$$

式中, H' 为多样性指数, 通常在0~4; S 为总种数; p_i 为第*i*种的个体数与群落总个体数的比值; d 为丰富度指数; N 为群落总个体数; J 为均匀性指数; H_{\max} 为理论最大多样性, 即 $H_{\max} = \log_2 S$ 。

统计分析 采用SPSS 17.0中的Correlate (Pearson相关分析)进行各环境因子与底栖生物群落特征相关性分析; 采用独立样本*t*检验检验各航次各区域间底栖动物群落特征及环境因子的差异显著性。 $P < 0.05$ 视为显著性差异, $P < 0.01$

视为极显著性差异。用PRIMER 5.0软件进行群落结构的CLUSTER等级聚类分析和NMDS非度量多维标度分析, Stress<0.2时结果可靠。

2 结果

2.1 各区域表层沉积物的理化特征

同一季节, pH和Eh均在贝藻区较网箱区高, 总有机碳、硫化物、总磷均在贝藻区较网箱区低; 同一区域, 与9月相比, Eh在11月(养殖鱼类收获后)有所回升, 而有机质及总磷的积累量均随养殖时间的增加而增加(表1)。底质中值

表1 各区域表层沉积物理化特征

Tab. 1 Physicochemical features of surface sediment in different mariculture areas (mean±SD)

环境因子 environmental parameters	9月贝藻区 bivalve-seaweed integrated area in Sep.	<i>N</i>	9月网箱区 fish cage area in Sep.	<i>N</i>	11月网箱区 fish cage area in Nov.	<i>N</i>
温度/°C temperature	23.28±0.21	10	23.87±0.56	10	11.21±0.16	9
pH	7.92±0.16	10	7.76±0.13	10	7.74±0.06	9
氧化还原电位 Eh	130.12±39.31**	10	69.31±30.83	10	131.22±39.69**	9
有机质/% organic material	3.76±1.42	10	3.37±0.82	10	4.08±1.43	9
硫化物/ $\times 10^{-6}$ sulfide	16.52±24.05**	10	99.06±97.13	10	83.05±81.43	9
总有机碳/% total organic carbon	0.35±0.16	10	0.40±0.13	10	0.64±0.20	9
总磷/(mg/kg) total phosphorus	483.01±55.20**	10	555.07±48.29	10	594.56±35.90*	9
中值粒径 Φ medium diameter	22.87±14.11	10	26.41±10.86	10	28.20±11.21	9

注: **表示差异极显著($P < 0.01$); *表示差异显著($P < 0.05$), 下同

Notes: ** means highly significant difference ($P < 0.01$); * means significant difference ($P < 0.05$), the same below

粒径 Φ 均为中粉砂。

2.2 大型底栖动物种类组成及优势种

种类数量和组成 本实验共鉴定出大型底栖动物67种, 种类最多的是环节动物门多毛类, 共36种, 占总数的54%; 其次为节肢动物门甲壳类15种和全足类1种, 占24%; 软体动物门12种, 占18%; 种类最少的是棘皮动物门, 仅出现3种, 占4%。贝藻养殖区共鉴定出41种, 9月和11月网箱区分别鉴定出43种和33种。各个门类种数分布见图2, 不同养殖区大型底栖动物种数分布差异较小。

9月, 在种类数量上, 筏式贝藻养殖区和网箱区各站位的总种数及各门类种数基本一致。在种类组成上, 大型底栖动物存在区域差异,

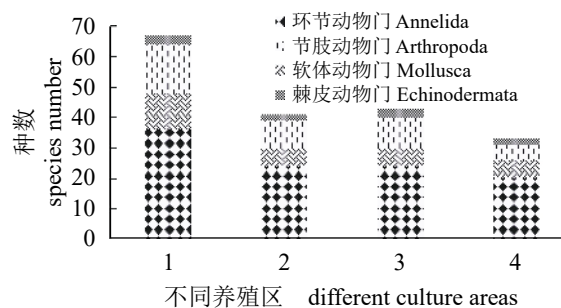


图2 不同养殖区各门类大型底栖动物种数分布

1. 所有航次的总和; 2. 9月份贝藻养殖区; 3. 9月份网箱养殖区; 4. 11月份网箱养殖区; 下同

Fig. 2 The distribution of species number in different culture areas

1. the sum of all cruises; 2. bivalve-seaweed integrated area in September; 3. fish cage area in September; 4. fish cage area in November; the same below

贝藻区和网箱区各站位共有种共26种, 分别占各养殖区总种数的63%和60%; 从群落组成的CLUSTER等级聚类分析图(图3-a)和NMDS标序图(图3-b)中可以看出, Stress=0.11, 显示这是一个

好的排序。桑沟湾大型底栖动物群落大致分为3类, 位于湾口海带养殖区的Y3站位单独聚为一支, 贝藻区和网箱区除个别站位(W2、W5、W7)外, 大型底栖动物很明显地聚为两类。

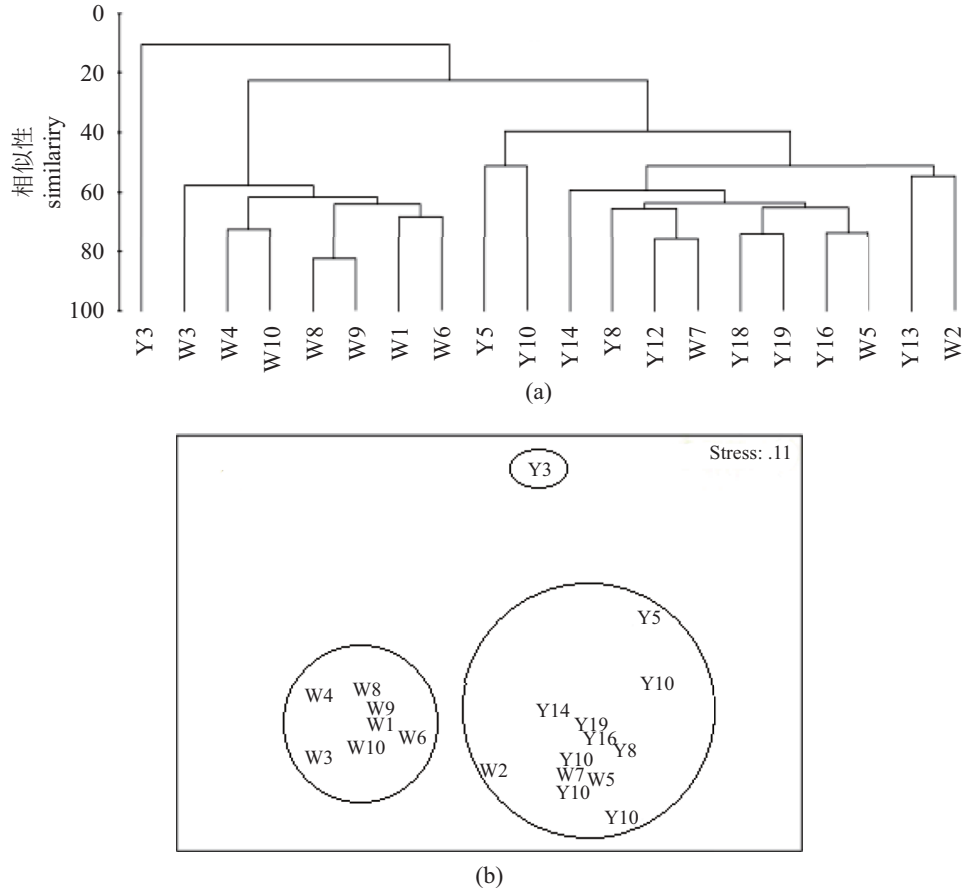


图3 桑沟湾大型底栖动物群落组成的CLUSTER图(a)和NMDS图(b)

Fig. 3 The CLUSTER picture (a) and NMDS picture (b) of macrofauna in Sanggou Bay

网箱养殖区, 在种类数量上, 9月和11月2次调查各站位的总种数及各门类种数差异较小。环节动物多毛类、节肢动物甲壳类及棘皮动物均在9月较11月多。在种类组成上, 相同区域大型底栖动物又存在季节性差异, 9月和11月各站位共有种共23种, 分别占各养殖期总种数的53%和70%; 11月网箱区无特有棘皮动物, 其他各个门类在这两个时间均有独有种出现, 分别占各养殖期总种数的44%和30%。

优势种 9月贝藻区和网箱区及11月网箱区的优势种均为5种(表2)。相同季节, 优势种存在区域上的差异, 贝藻区与网箱区共有优势种只有2种, 分别为刚鳃虫(*Chaetozone setosa*)和长叶索沙蚕(*Lumbrineris longifolia*), 并且, 在贝藻

养殖区刚鳃虫的优势度达0.409, 明显大于其在网箱区的优势度。同为网箱区, 不同季节大型底栖动物的优势种存在差异, 在9月与11月的共有优势种仅有2种, 为异足索沙蚕(*L. heteropoda*)和多丝独毛虫(*Tharyx multifilis*), 这2个种也都是网箱养殖区在这2个月的绝对优势种($Y>0.2$); 但异足索沙蚕在11月的优势度较9月有所增加, 且较多丝独毛虫优势明显。

2.3 大型底栖动物生物量及丰度

从区域分析, 贝藻区大型底栖动物的生物量和丰度均低于网箱区; 从季节分析, 网箱区秋季的生物量和丰度均低于夏季。其中, 丰度的差异达到极显著水平($P<0.01$)。9月贝藻区、网

表 2 桑沟湾大型底栖动物优势种及优势度

Tab. 2 The dominant species and dominant degree of macrofauna in Sanggou Bay

优势种 dominant species	优势度 dominant degree		
	9月贝藻区	9月网箱区	11月网箱区
	bivalve-seaweed integrated area in Sep.	fish cage area in Sep.	fish cage area in Nov.
独指虫 <i>Aricidea fragilis</i>	0.021		
中蚓虫 <i>Mediomastus</i> sp.	0.032		
尖锥虫 <i>Scoloplos armiger</i>	0.099		
刚鳃虫 <i>Chaetozone setosa</i>	0.409	0.026	
长叶索沙蚕 <i>Lumbrineris longifolia</i>	0.106	0.025	
日本拟背尾水虱 <i>Paranthurus japonica</i>		0.022	
异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>		0.254	0.470
多丝独毛虫 <i>Tharyx multifilis</i>		0.230	0.224
寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanovae</i>			0.022
蜈蚣欧努菲虫 <i>Onuphis geophiliformis</i>			0.032
江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i>			0.025

箱区及11月网箱区各站位的平均生物量分别为(14.66±21.21) g/m²、(132.79±210.69) g/m²、(72.30±110.30) g/m²；平均丰度分别为(1 142±372.79)尾/m²、(3 444±911.94)尾/m²、(1 854±1 092.28)尾/m²(图4)。多毛类为贝藻区生物量的主要组成部分；软体动物为网箱区生物量的主要组成部分(表3)，其中起主导作用的是菲律宾

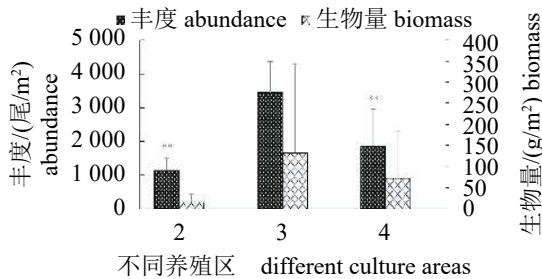


图 4 不同养殖区大型底栖动物平均丰度和生物量

Fig. 4 The average abundance and biomass of macrofauna in different culture areas

蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)和江户明樱蛤。

2.4 大型底栖动物群落多样性特征

对于相同季节，贝藻区的多样性、丰富度和均匀性指数都高于网箱区，其中，均匀性指数差异极显著($P<0.01$)；对于网箱区，不同季节大型底栖动物的群落特性不同，其中，多样性指数和均匀性指数都是11月高于9月，均匀性指数差异显著($P<0.05$)(图5)。

2.5 底栖动物群落特征与环境因子的关系

大型底栖动物生物量与总有机碳(TOC)含量显著正相关($P<0.05$)，与硫化物浓度有极显著的正相关关系($P<0.01$)。丰度与总磷(TP)含量显著正相关($P<0.05$)，与氧化还原电位值(Eh)极显著负相关($P<0.01$)；均匀性指数与硫化物含量极显著负相关($P<0.01$)，与Eh极显著正相关($P<0.01$)(表4)。

表 3 各门类大型底栖动物生物量和丰度比重

Tab. 3 The proportion of different phyla in biomass and abundance

门类 phylum	生物量比重/% biomass percentage			丰度/% abundance percentage		
	9月贝藻区	9月网箱区	11月网箱区	9月贝藻区	9月网箱区	11月网箱区
	多毛类 Polychaetes	65.26	20.81	26.21	89.81	92.97
软体动物 Mollusca	1.66	77.98	72.88	2.81	3.60	5.07
节肢动物 Arthropoda	23.03	0.95	0.50	5.98	3.08	4.64
棘皮动物 Echinodermata	10.04	0.25	0.40	1.41	0.35	0.22

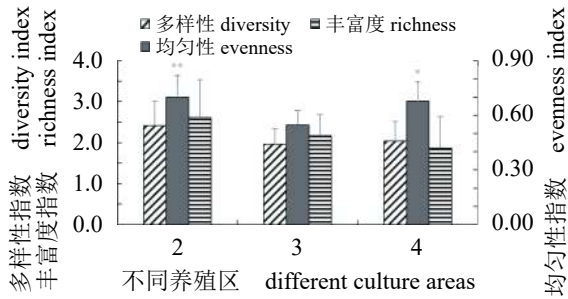


图 5 不同养殖区大型底栖动物群落多样性特征

Fig. 5 The community diversity characteristics of macrofauna in different culture areas

3 讨论

从大型底栖动物的种类分析, 本次调查桑沟湾大型底栖动物共67种, 远低于1983—1984年的调查结果(215种)^[15]。以上结果的差异与取样站位不同有一定的关系。毛兴华等^[15]底栖生物调查的站位较多, 包括116个主站位和56个辅助站位, 调查区域涵盖了潮间带、潮下带以及浅海区域。因此, 分布于潮间带、潮下带的很多经济种类, 诸如泥蚶(*Tegillarca granosa*)、刺参(*Apostichopus japonicus*)、扇贝等, 本研究中并未发现。本实验结果种类数比调查站位相近的王宗兴等^[16]2009年的调查结果略少(83种), 但是, 优势种都是以多毛类为主, 尤其是耐污种索沙蚕、刚鳃虫和独毛虫为主要优势种。从生物量分析, 贝藻区的生物量低于2009年的调查结果, 网箱区的生物量高于2009年的结果, 但是丰度却显著的提高, 主要与多毛类个体的栖息密度大幅度增高有关, 同时, 也反映了桑沟湾大型底栖动物有小型化的趋势。隋吉星等^[17]曾对石岛湾和桑沟湾的大型底栖动物做调查, 也发现石岛湾的大型底栖动物以大个体的保守种占优势,

而桑沟湾的则以小个体的机会种占优势。从物种组成优势度分析, 本次调查桑沟湾优势种多毛类的优势度多在0.2以上(表2), 高于隋吉星等^[17]的调查结果。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^[18]; 而物种优势度越高, 说明群落内物种的生态地位越不平衡, 生物群落越不稳定^[19]。可见, 桑沟湾的养殖活动对底栖动物已经造成一定的影响, 大型底栖动物群落稳定性降低。

桑沟湾大型底栖动物的组成、生物量、丰度及多样性指数分布有明显的区域性和季节性差异。主要表现: 对于种类组成, 贝藻区和网箱区由于养殖模式的不同, 除个别站位外, 大型底栖动物很明显的分为两类。位于湾口海带养殖区的Y3站位由于与外海水交换能力强, 底栖动物与湾内的站位区分度明显; 而位于湾内的贝类养殖区和贝藻混养区由于水体的交换混合, 底栖动物并没有明显的区分为两类。对于生物量和丰度, 9月, 网箱区明显高于贝藻区; 同为网箱区, 养殖季节(9月)高于非养殖季节(11月)。对底栖动物的多样性指数, 9月网箱区最低, 筏式贝藻区最高, 且在11月网箱养殖活动结束后, 网箱区大型底栖动物的多样性和均匀性指数有所提高。认为桑沟湾这种季节性和区域性的差异主要与网箱养殖的残饵、粪便和代谢副产物带入大量的有机质, 为底栖生物提供大量的食物有关。这种趋势与已有的一些研究报道相一致。Bannister等^[20]研究发现挪威大西洋鲑(*Salmo salar*)养殖场在休养期间, 底栖动物的丰度和生物量均下降。Kutti等^[18]的研究也证明, 在大西洋鲑的生产高峰期, 底栖动物的丰度和生物量达到最大。养殖过程产生的有机质为大型底栖动物生长提供了营养来源, 利于其生

表 4 底栖动物群落特征与环境因子的相关关系

Tab. 4 The correlativity of macrobenthic community characteristics with environmental factors

相关系数 R^2	总磷 TP	总有机碳 TOC	硫化物 sulfide	氧化还原电位 Eh
生物量 biomass	0.301	0.436*	0.648**	-0.307
丰度 abundance	0.350*	0.148	0.567**	-0.665**
多样性 diversity	-0.196	-0.317	-0.331	0.340
丰富度 richness	-0.275	-0.185	-0.209	0.006
均匀性 evenness	-0.132	-0.332	-0.463**	0.701**

注: **表示极显著相关($P<0.01$); *表示显著相关($P<0.05$)

Notes: ** means highly significant correlation ($P<0.01$); * means significant correlation ($P<0.05$)

长,但累积的有机物在降解过程中往往会消耗大量的氧气,产生硫化氢等有害物质,从而降低底栖群落的多样性^[4, 21-22]。例如, Bannister等^[20]发现沉积物有机质富集主要导致微生物硫酸盐还原作用的增强,养殖区较对照区微生物硫酸盐还原作用增加了50%~200%。本研究的结果显示,网箱区的硫化物含量显著高于贝藻养殖区,少数机会种、耐污种的生长繁殖机会增加,生物量增大^[18],但多样性和均匀性降低。11月养殖鱼类收获后,有机质来源减少,底质环境的扰动状况得到缓解,因此多样性和均匀性较9月养殖季节有所升高。Bannister等^[20]研究发现,在大西洋鲑养殖的整个生产周期,随着有机负荷的增加,养殖区的底栖动物很明显地向机会种转变;尽管底栖动物的丰富度保持稳定,因为耐污能力较强的种类生物量增加,多样性指数很明显地下降。Tomassetti等^[7]也证明养殖活动造成的有机质富集可导致底栖动物的生物多样性下降,机会种增加。Kutti等^[18]研究证实,在网箱周围的站位,机会种的丰度和生物量高,底栖动物的多样性降低;在距网箱稍远距离的站位,有机质的积累较网箱周围少,物种多样性和丰富度较网箱周围高。

对桑沟湾2个航次30个站位环境因子与大型底栖动物的相关性分析结果显示,底栖动物的生物量和硫化物含量有明显的正相关,多样性与硫化物含量负相关。纪炜炜等^[4]对三都澳网箱

养殖区底栖动物的研究和王宗兴等^[16]2009年对桑沟湾底栖动物的研究也证明底栖动物多样性与硫化物含量负相关。本次调查的桑沟湾沉积环境中有机碳和硫化物含量很低,均低于国家沉积物质量一类标准(有机碳 $\leq 2.0 \times 10^{-2}$,硫化物 $\leq 300.0 \times 10^{-6}$),且丰度与氧化还原电位显著负相关。而黄洪辉等^[10]调查得知大亚湾网箱养殖海域沉积物中有机碳和硫化物的超标率分别为88%和100%。说明桑沟湾养殖区底质中的有机碳和硫化物含量仅对底质中一些敏感种有影响,但对索沙蚕、刚鳃虫、独毛虫等少数优势度明显的耐受种还未能产生负面影响。随着有机质含量的增加,机会种大量繁殖,使得大型底栖动物的生物量和丰度增加,高密度的底栖动物和微生物对有机质的矿化分解作用增强,降低了氧化还原电势,进而引起环境中硫化物含量升高,多样性和均匀性指数降低^[7]。

与同为养殖区的其他海湾相比,本次调查桑沟湾大型底栖动物的生物量、丰度都高于大亚湾、乐清湾、象山港等养殖区^[2, 9-10]。生物多样性较乐清湾、象山港高^[3, 9],但较三都澳养殖区和宁津近岸海域及北黄海自然海域低^[4, 8, 23-24](表5)。虽然桑沟湾已经有30多年的养殖历史,但大型底栖动物群落状况维持较好,可能与海湾的自然条件和水动力状况以及养殖活动的不同有关^[11, 25]。桑沟湾以筏式贝藻养殖为主,而大亚湾、乐清湾、象山港等网箱养殖规模较

表5 桑沟湾大型底栖动物群落特征与其他调查的比较

Tab. 5 The comparisons of macrobenthic community characteristics in different areas

	总种数/尾 number	生物量/(g/m ²) biomass	丰度/(尾/m ²) abundance	多样性 diversity	丰富度 richness	均匀性 evenness	调查时间 survey time	文献 reference
桑沟湾 Sanggo Bay	67	75.89	2 199.78	2.17	2.26	0.64	2016	本文 this paper
桑沟湾 Sanggo Bay	215	105					1983—1984	[15]
桑沟湾 Sanggo Bay	83	20.12	1 162	1.78			2009	[16]
桑沟湾 Sungo Bay		5.92	1 605				2008—2009	[17]
大亚湾 Daya Bay	64	11.8	53				2001—2002	[10]
乐清湾 Yueqing Bay	124	41.95	85	1.55	0.47	0.92	2003—2003	[9]
象山港 Xiangshan Bay	73	62.78	145.33				2009	[2]
象山港 Xiangshan Bay				1.34	0.58	0.86	2006—2008	[3]
三都澳 Sandu Bay				2.4	1.68	0.88	2009—2010	[4]
北黄海 North Yellow Sea		50.6	1 405.75	3.79	4.0	0.75	2006—2007	[23-24]
宁津海域 Ningjin coastal water	243	9.5	219.6	2.95	2.28	0.84	2007	[8]

大。虽然同网箱养殖为主的大亚湾、象山港相比,桑沟湾的养殖模式对底栖环境的影响相对较小,但与自然海域相比,大型底栖动物有小型化倾向,群落稳定性降低,需要予以关注。另外,桑沟湾网箱养殖结束之后,经过生态系统的自我修复和贝藻综合养殖,网箱养殖区底栖动物群落状况有所好转,基于贝藻的综合养殖模式有助于生态环境的改善。

参考文献:

- [1] 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.
Li X Z. An overview of studies on marine macrobenthic biodiversity from Chinese waters: principally from the Yellow Sea[J]. Biodiversity Science, 2011, 19(6): 676-684(in Chinese).
- [2] 廖一波, 寿鹿, 曾江宁, 等. 象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 646-653.
Liao Y B, Shou L, Zeng J N, *et al.* A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 646-653(in Chinese).
- [3] 顾晓英, 陶磊, 尤仲杰, 等. 象山港大型底栖动物群落特征[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(2): 208-213.
Gu X Y, Tao L, You Z J, *et al.* The macrobenthic community of the Xiangshan Bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(2): 208-213(in Chinese).
- [4] 纪炜炜, 周进. 三都澳大型底栖动物群落结构及其对水产养殖的响应[J]. 中国水产科学, 2012, 19(3): 491-499.
Ji W W, Zhou J. Community structure of macrobenthos in response to mariculture practices in Sandu Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(3): 491-499(in Chinese).
- [5] McDonald P S, Galloway A W E, McPeck K C, *et al.* Effects of geoduck (*Panopea generosa* Gould, 1850) aquaculture gear on resident and transient macrofauna communities of Puget Sound, Washington[J]. Journal of Shellfish Research, 2015, 34(1): 189-202.
- [6] Sanz-Lázaro C, Marín A. Diversity patterns of benthic macrofauna caused by marine fish farming[J]. Diversity, 2011, 3(2): 176-199.
- [7] Tomassetti P, Gennaro P, Lattanzi L, *et al.* Benthic community response to sediment organic enrichment by Mediterranean fish farms: case studies[J]. Aquaculture, 2016, 450: 262-272.
- [8] 甘志彬, 李新正, 王洪法, 等. 宁津近岸海域大型底栖动物生态学特征和季节变化[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3123-3132.
Gan Z B, Li X Z, Wang H F, *et al.* Ecological characteristics and seasonal variation of macrobenthos near the Ningjin coastal water of Shandong, East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(11): 3123-3132(in Chinese).
- [9] 杨俊毅, 高爱根, 宁修仁, 等. 乐清湾大型底栖生物群落特征及其对水产养殖的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 34-41.
Yang J Y, Gao A G, Ning X R, *et al.* Characteristics on macrofauna and the responses on aquaculture in Yueqing Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 34-41(in Chinese).
- [10] 黄洪辉, 林钦, 林燕棠, 等. 大亚湾网箱养殖海域大型底栖动物的时空变化[J]. 中国环境科学, 2005, 25(4): 412-416.
Huang H H, Lin Q, Lin Y T, *et al.* Spatial-temporal variation of large macrobenthic animals in cage culture sea area in Daya Bay[J]. China Environmental Science, 2005, 25(4): 412-416(in Chinese).
- [11] 傅明珠, 蒲新明, 王宗灵, 等. 桑沟湾养殖生态系统健康综合评价[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 238-248.
Fu M Z, Pu X M, Wang Z L, *et al.* Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 238-248(in Chinese).
- [12] Holmer M, Wildish D, Hargrave B. Organic enrichment from marine finfish aquaculture and effects on sediment biogeochemical processes[M]//Hargrave B T. Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005: 181-206.
- [13] 白亚之, 刘季花, 张辉, 等. 海洋沉积物有机碳和总氮分析方法[J]. 海洋环境科学, 2013, 32(3): 444-447, 459.
Bai Y Z, Liu J H, Zhang H, *et al.* The analysis of organic carbon and total nitrogen in marine sediments[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(3): 444-447, 459(in Chinese).
- [14] 周毅, 张福绥, 杨红生, 等. 水环境中磷的灰化法提取[J]. 分析化学, 2002, 30(7): 861-864.

- Zhou Y, Zhang F S, Yang H S, *et al.* Extraction of phosphorus in natural waters and sediments by ignition method[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2002, 30(7): 861-864(in Chinese).
- [15] 国家海洋局第一海洋研究所. 桑沟湾增殖环境综合调查研究[M]. 青岛: 青岛出版社, 1988.
The First Institute of Oceanography, SOA. The Comprehensive Investigation of Culture and Propagation Environment of Songo Bay[M]. Qingdao: Qingdao Publishing House, 1988 (in Chinese).
- [16] 王宗兴, 孙丕喜, 刘彩霞, 等. 桑沟湾大型底栖动物生物多样性研究[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(7-8): 79-84.
Wang Z X, Sun P X, Liu C X, *et al.* The species diversity of macrobenthic fauna in Sanggou Bay, China[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(7-8): 79-84(in Chinese).
- [17] 隋吉星, 李新正, 王洪法, 等. 石岛海域大型底栖生物群落特征[J]. 海洋科学, 2013, 37(3): 17-21.
Sui J X, Li X Z, Wang H F, *et al.* Characters of marine macrobenthic community in Shidao area, Shandong Peninsula[J]. Marine Sciences, 2013, 37(3): 17-21(in Chinese).
- [18] Kutti T, Hansen P K, Ervik A. Effects of organic effluents from a salmon farm on a fjord system. II. Temporal and spatial patterns in fauna community composition[J]. Aquaculture, 2007, 262(2-4): 355-366.
- [19] 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[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 118-123.
Liu L S, Meng W, Zheng B H, *et al.* Studies on macrobenthos in the northern waters of Liaodong Bay: I. Species composition and number distribution[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 118-123(in Chinese).
- [20] Bannister R J, Valdemarsen T, Hansen P K, *et al.* Changes in benthic sediment conditions under an Atlantic salmon farm at a deep, well-flushed coastal site[J]. Aquaculture Environment Interactions, 2014, 5(1): 29-47.
- [21] 高爱根, 陈全震, 胡锡钢, 等. 象山港网箱养鱼区大型底栖生物生态特征[J]. 海洋学报, 2005, 27(4): 108-113.
Gao A G, Chen Q Z, Hu X G, *et al.* Ecological characteristics on macrobenthos of net-cage cultural areas in the Xiangshan Bay[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(4): 108-113(in Chinese).
- [22] 高爱根, 杨俊毅, 陈全震, 等. 象山港养殖区与非养殖区大型底栖生物生态比较研究[J]. 水产学报, 2003, 27(1): 25-31.
Gao A G, Yang J Y, Chen Q Z, *et al.* Comparative studies on macrobenthos between cultured and non-cultured areas in Xiangshan Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(1): 25-31(in Chinese).
- [23] 曲方圆. 北黄海春秋大型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Qu F Y. The ecological study of macrobenthos in North Yellow Sea in spring and Autumn[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010 (in Chinese).
- [24] 刘卫霞. 北黄海夏、冬两季大型底栖生物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
Liu W X. Study on the ecology of macrobenthos in North Yellow Sea in summer and winter[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009 (in Chinese).
- [25] 张继红. 滤食性贝类养殖活动对海域生态系统的影响及生态容量评估[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2008.
Zhang J H. Effect of filter feeding shellfish mariculture on the ecosystem and the evaluation of ecology carrying capacity[D]. Qingdao: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanography), 2008 (in Chinese).

Macrobenthic community characteristics of different culture areas in Sanggou Bay

YANG Yanyun^{1,2}, ZHANG Jihong^{2,3*}, WU Wenguang², YANG Feng¹,
LIU Yi², WANG Wei², LIN Fan², MA Sha²

(1. College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Function Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China)

Abstract: Two surveys were conducted in Sanggou Bay in September and November 2016 to study macrofauna in bivalve-seaweed integrated culture areas and fish cage areas. The community characteristics such as species number, composition, distribution and biodiversity and the relationships between macrofauna and the environmental factors were analyzed to investigate the influence of different aquaculture activities on the macrofauna. A total of 67 species were identified, including 36 Polychaetes, 12 Mollusca, 16 Crustacea and Pycnogonida, and 3 Echinodermata. The dominant macrofauna species in Sanggou Bay are Polychaetes. The absolutely dominant species in bivalve-seaweed integrated culture areas are *Chaetozone setosa* and *Lumbrineris longiforlia*, while in fish cage areas that are *L. heteropoda* and *Tharyx multifilis*. Biomass and abundance were found the higher in fish cage area in September compared to the values in November, and the lowest values were found in the bivalve-seaweed integrated culture area in September. Biodiversity, which showed a reversed trend, was found highest in the integrated culture area in September and followed by the values in the fish cage area in November and September respectively. Correlations were found between macrobenthic community characteristics and sediment parameters (total organic carbon, total phosphorus, sulfide and oxidation-reduction potential). The macrobenthic community was affected by the large-scale aquaculture activities in Sanggou Bay, and the effect of fish cages culture was stronger.

Key words: bivalve-seaweed integrated culture area; fish cage culture area; macrofauna; community characteristics; diversity; Sanggou Bay

Corresponding author: ZHANG Jihong. E-mail: zhangjh@ysfri.ac.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (41776155); Fundamental Research Funds for the Chinese Academy of Fishery Sciences (2016HY-JC0101); Aoshan S & T Innovation Project From Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology (2016ASKJ02-3)