

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00491

## 三都澳大型底栖动物群落结构及其对水产养殖的响应

纪炜炜, 周进

中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090

**摘要:** 三都澳是中国沿海典型海水养殖海湾。本研究依据 2009 年 5 月至 2010 年 2 月共 9 个航次采样结果, 分析该海域大型底栖动物群落结构特点及其对养殖活动的响应。结果显示, 三都澳大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数均值为 2.40, 变化范围为 1.45~3.22; Margalef 物种丰富度指数均值为 1.68, 变化范围为 0.99~2.41; Pielou 物种均匀度指数均值为 0.88, 变化范围为 0.76~0.94。多样性指数和丰富度指数空间分布规律明显, 湾口区站位、海带养殖区和对照站位数值较高, 网箱养殖站点数值较低。均匀度指数未有明显空间分布差异。多样性指数、丰富度指数和均匀度指数都未见明显时间分布规律。在养殖高峰季节, 以 30% 的相似性程度划分, 三都澳水域大型底栖动物可被划分为 5 个群落。站位间相似性指数总体较低, 但位置较为接近的或养殖方式相同的站位间群落结构较为相似。ABC 曲线分析显示, 2 月和 11 月大型底栖动物生物量曲线位于丰度曲线之上, 表明群落结构未受到显著干扰; 5 月和 8 月生物量曲线与丰度曲线相互交叉或非常接近, 说明此期间群落结构受到一定干扰。相关性分析表明, 水体溶解氧、沉积物硫化物含量以及氧化还原电位这 3 个环境因子与三都澳水域大型底栖动物群落结构相关性较强( $P < 0.01$ )。

**关键词:** 大型底栖动物; 群落结构; 水产养殖; 生物量/丰度曲线; 三都澳

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)03-0491-09

三都澳位于福建省东北部沿海, 北纬  $26^{\circ}30'$ – $26^{\circ}58'$ , 东经  $119^{\circ}26'$ – $120^{\circ}10'$ , 是中国最大的大黄鱼网箱养殖基地, 此外还有一定规模海带、鲍等其他经济品种养殖。此水域水产养殖业的健康发展与当地经济发展密切相关。近年来, 该水域数次发生大规模鱼类流行病, 如 2009 和 2010 年夏季暴发的“白点病”, 造成大量大黄鱼死亡, 带来严重经济损失。这些疾病的暴发很有可能由于三都澳养殖密度过高导致水域环境恶化所致, 而目前关于三都澳水域环境的理论研究却略显滞后, 仅有少数学者根据水体和沉积物中营养盐含量, 报道此水域内存在一定程度富营养化<sup>[1-2]</sup>。

海洋大型底栖动物是生活史中全部或大部分时间生活于水体底部、体径大于  $500\ \mu\text{m}$  水生动物

的总称。由于底栖生境高度多样化, 大型底栖动物物种多样性非常高, 是海洋生态系统的重要组成部分<sup>[3]</sup>。大多数大型底栖动物活动能力弱、区域性强, 回避环境恶化能力不及浮游动物和游泳动物, 且不同种类对环境胁迫承受能力具有差异性, 其种群数量变化是环境变化的表征之一。在群落水平, 大型底栖动物物种多样性降低、大个体种类或棘皮动物种类消失, 均说明底栖环境遭受了一定程度扰动<sup>[4]</sup>。因此, 研究大型底栖动物多样性特征和群落结构特点是了解底栖环境变化的有效途径。

中国海域面积巨大, 具有 18 400 km 海岸线, 覆盖温带和亚热带水域, 其中约有  $100\ \text{km}^2$  为水产养殖水域<sup>[5-6]</sup>, 然而仅在象山港<sup>[7-9]</sup>、乐清湾<sup>[10]</sup>和

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-11-17.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40906084); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2008M16).

作者简介: 纪炜炜(1981-), 女, 博士, 主要从事海洋生态学和渔业资源研究. E-mail: jiww@eastfishery.ac.cn

通信作者: 周进, 副研究员. E-mail: zhouj@eastfishery.ac.cn

大亚湾<sup>[11]</sup>进行过海水养殖对大型底栖动物群落结构影响的研究。上述研究表明, 养殖活动已对大型底栖动物多样性和群落结构造成一定影响, 但此类影响情况复杂, 其程度与养殖区域水动力交换水平、沉积物地球化学特点、养殖种类、养殖总量和饲喂方式等因素密切相关<sup>[12-14]</sup>。例如, 养殖产生的有机颗粒沉淀如能被溶解氧完全分解, 可以作为大型底栖动物营养源, 有助于提高群落物种多样性; 但如果存在过量有机物沉淀, 则会造成无氧底栖环境, 进而降低物种多样性<sup>[13, 15-16]</sup>。

目前对三都澳大型底栖动物多样性和群落结构特征知之甚少, 相关内容仅在 20 世纪 80 年代开展的海湾调查中<sup>[17]</sup>有过报道。另外, 伴随着水域环境的显著改变, 特别是沉积物和底层水体性质改变, 大型底栖动物群落特征可能随之发生变化。因此, 三都澳水域大型底栖动物多样性和群落结构研究亟待开展。

本研究于 2009 年 5 月至 2010 年 2 月期间, 通过 9 个航次在三都澳水域采集大型底栖动物定量样品, 分析该水域内大型底栖动物多样性特点及群落结构特征, 及其对不同养殖类型(对照站、网

箱养殖区、海带养殖区)的响应状况。以期探讨健康、高效、可持续发展的海水养殖模式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与计数

2009 年 5 月至 2010 年 2 月期间在三都澳开展 9 个航次野外采样, 采样时间分别为 2009 年 5 月、2009 年 6 月、2009 年 7 月、2009 年 8 月、2009 年 9 月、2009 年 10 月、2009 年 11 月、2009 年 12 月和 2010 年 2 月。共设立 20 个考察站位(图 1), 站位基本覆盖整个三都澳水域, 不同站位养殖类型存在一定差异(表 1)。

使用面积为 0.1 m<sup>2</sup> 的抓斗式采泥器, 重复取样 2 次合并为 1 个样品。具体操作方法参照《国家海洋监测规范(2007)》。样品按每航次每站粗分至生物大类后再鉴定至种。然后进行个体计数、称重(湿重, 精度为 0.001 g 天平), 再与同步获取的温度、盐度、pH 值等环境参数进行相关性分析。

各采集站位经纬度、水深、表底层水体温度和 pH 值、养殖模式见表 1。

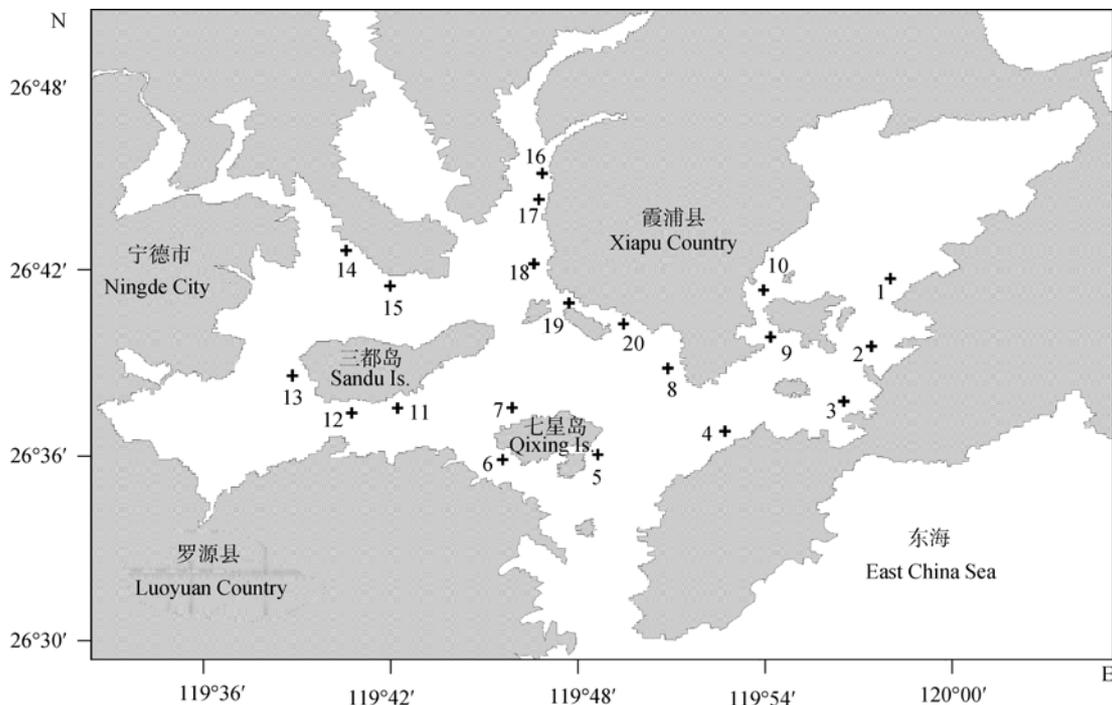


图 1 三都澳采集站位图

Fig. 1 Location of sampling stations in Sandu Bay

表 1 采集站位经纬度、水深、表底层水体温度和 pH 值、养殖品种

Tab. 1 Localities of sampling stations in Sandu Bay, with their depth, temperature, pH value and cultured species

站位 station	经度/(°) longitude	纬度/(°) latitude	水深/m depth	温度 temperature		pH		养殖品种 cultured species
				表层 surface	底层 bottom	表层 surface	底层 bottom	
1	119.97	26.7	16.61	22.86	22.66	8.36	8.42	大黄鱼 <i>Pseudosciaena crocea</i>
2	119.96	26.66	9.06	22.92	22.46	8.43	8.44	海带 <i>Laminaria japonica</i>
3	119.94	26.63	8.06	22.81	22.62	8.44	8.44	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
4	119.88	26.61	9.89	22.34	22.34	8.43	8.35	无养殖 nothing
5	119.808	26.61	14.89	22.6	22.52	8.42	8.43	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
6	119.77	26.61	5.83	22.71	22.72	8.42	8.37	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
7	119.77	26.63	8.06	22.46	22.41	8.36	8.38	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
8	119.86	26.65	4.72	22.6	22.5	8.41	8.41	无养殖 nothing
9	119.9	26.67	14.72	22.64	22.64	8.37	8.38	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
10	119.9	26.68	11.5	22.74	22.72	8.33	8.35	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
11	119.67	26.64	12.11	22.48	21.71	8.33	8.33	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
12	119.68	26.64	5.22	22.74	22.86	8.32	8.3	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
13	119.66	26.64	4.17	23.13	22.78	8.28	8.28	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
14	119.68	26.73	14.11	23.3	22.83	8.28	8.14	无养殖 nothing
15	119.708	26.71	6.44	23.06	22.6	8.25	8.27	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
16	119.78	26.74	7.22	23.36	23.09	8.27	8.24	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
17	119.78	26.75	13.94	23.53	22.81	8.28	8.31	大黄鱼 <i>P. crocea</i>
18	119.79	26.7	15.28	22.96	22.49	8.33	8.39	海带 <i>L. japonica</i>
19	119.8	26.69	6.83	22.58	22.47	8.38	8.38	海带 <i>L. japonica</i>
20	119.83	26.69	21.33	22.38	22.13	8.42	8.41	海带 <i>L. japonica</i>

## 1.2 数据处理

**1.2.1 多样性指数计算** 计算各采样站位 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Margalef 丰富度指数( $d$ )和 Pielou 均匀度指数( $J'$ ), 其公式分别为:

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

式中,  $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数,  $P_i$  为第  $i$  种的个数与该样方总个数之比值,  $S$  为样方种数。

$$d = \frac{S-1}{\ln N}$$

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

式中,  $S$  为种类数,  $N$  为总丰度,  $H'$  为实测 Shannon-Wiener 多样性指数,  $H'_{\max} = \log_2 S$ 。

**1.2.2 群落结构分析** 为减少机会种对大型底栖动物群落结构的干扰, 数据分析时不包括总体样品中相对丰度小于 1% 且在每个站位样品中相对丰度均小于 3% 的物种。

由于本研究旨在探讨三都澳大型底栖动物群落结构对水产养殖活动的响应, 因此选取养殖活动高峰季节 8 月采集的样品作为分析对象。利用 PRIMER6.0 软件包对群落结构进行分析。在对丰度数据进行 4 次方根转换后, 根据 Bray-Curtis 相似性系数构建相似性矩阵, 采用类平均法进行等级聚类分析和非参数多维排序(nMDS), 并使用 SIMPER 分析研究各群落中关键种类及其贡献率。

**1.2.3 丰度/生物量比较曲线** 根据 ABC 曲线中生物量和丰度优势度曲线的波动, 分析三都澳海域海水养殖活动对大型底栖动物群落扰动情况。为对比不同养殖强度对大型底栖动物群落扰动状况, 本研究选取 2 月、5 月、8 月和 11 月的数据进行分析, 分别代表春夏秋冬 4 个季节。

**1.2.4 环境因子及其与群落特征相关性分析** 本研究测定的环境因子包括沉积物氧化还原电位(ORP)、沉积物硫化物水平(AVS)、沉积物粒径(grain size)、沉积物总氮(TN)和沉积物总磷(TP)、

底层水体化学需氧量(COD)、表层水体溶解氧(SDO)、底层水体溶解氧(BDO)和底层水体叶绿素a(chla), 相关测定方法依据《海洋监测规范(2007)》。利用 SPSS16.0 进行群落多样性指数和环境因子之间的相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 大型底栖动物群落多样性特征

三都澳大型底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数均值为 2.40, 变化范围为 1.45~3.22; Margalef 物种丰富度指数均值为 1.68, 变化范围为 0.99~2.41; Pielou 物种均匀度指数均值为 0.88, 变化范围为 0.76~0.94(图 2)。多样性指数空间差异明显, 最高值出现在 4 号站( $H'=3.22$ ), 此外, 2 号站和 8 号站也具较高多样性; 丰富度指数空间差异也较为明显, 最高值出现在 4 号站( $d=2.41$ ); 均匀度指数未表现出明显空间差异。

多样性指数和物种丰富度指数在 2 月和 6 月较高, 均匀度指数在不同月份间变化不明显(图 3)。

### 2.2 大型底栖动物群落结构特征

三都澳不同站位间种类组成相似性较低, 若以 30%相似性程度划分, 整个水域内大型底栖动物可被划分为 5 个群落(图 4、5)。位置上较为靠近(如 1-5 号站)或养殖类型相同的站位(如 18-20 号站)种类组成较为相似。SIMPER 分析表明群落

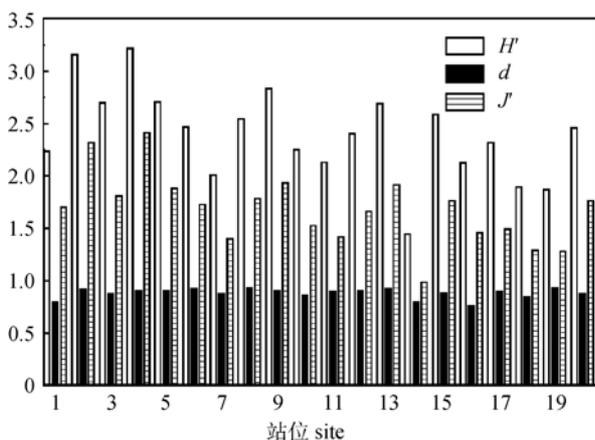


图 2 三都澳水域大型底栖动物群落多样性指数( $H'$ )、丰富度指数( $d$ )和均匀度指数( $J'$ )的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution characteristic of indices of diversity ( $H'$ ), richness ( $d$ ) and evenness ( $J'$ ) of macrobenthos in Sandu Bay

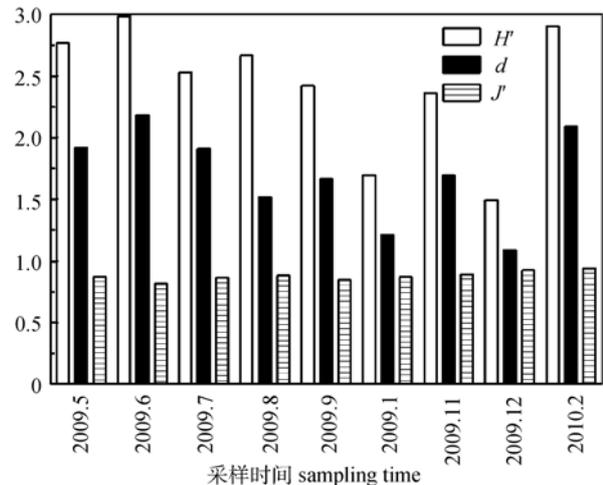


图 3 三都澳大型底栖动物群落多样性指数( $H'$ )、丰富度指数( $d$ )和均匀度指数( $J'$ )的时间分布

Fig. 3 Temporal distribution characteristic of indices of diversity ( $H'$ ), richness ( $d$ ) and evenness ( $J'$ ) of macrobenthos in Sandu Bay

I 包括 3 个站, 站位间平均相似性为 30.55%, 以不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*)、角蛤 (*Angulus lanceolata*)、伪豆维虫 (*Dorvillea pseudorubrovittata*)、异足索沙蚕 (*Lumbrineris heteropoda*) 和光亮倍棘蛇尾 (*Amphioplus lucidus*) 为特征种。群落 II 仅包括 12 号站。群落 III 包括 7 个站, 站位间平均相似性为 30.07%, 以扇稚虫 (*Amphiteis gunneri*)、光亮倍棘蛇尾 (*A. lucidus*)、太平洋稚齿虫 (*Prionospio pacifica*)、角蛤 (*A. lanceolata*)、棘刺锚参 (*Protankyra bidentata*)、薄云母蛤 (*Yoldia similis*)、岩虫 (*Marphysa sanguinea*)、异足索沙蚕 (*L. heteropoda*)、持真节虫 (*Euclymene annandalei*) 和伪豆维虫 (*D. pseudorubrovittata*) 为特征种。群落 IV 包括 7 个站, 站位间平均相似性为 41.57%, 以细丝鳃虫 (*Cirratulus filiformis*)、钩虾属 1 种 (*Gammarus* sp.) 和角蛤 (*A. lanceolata*) 为特征种。群落 V 包括 2 个站, 站位间平均相似性为 83.12%, 以圆筒原盒螺 (*Eocylichna braunsi*)、须鳃虫 (*Cirriformia tentaculata*)、背棘麦秆虫 (*Caprella scaura*)、角蛤 (*A. lanceolata*)、矛毛虫 (*Phylo felix*) 和中华螺赢蜚 (*Sinocorophium sinensis*) 为特征种。

### 2.3 ABC 曲线分析结果

ABC 曲线显示三都澳水域中不同季节海水养

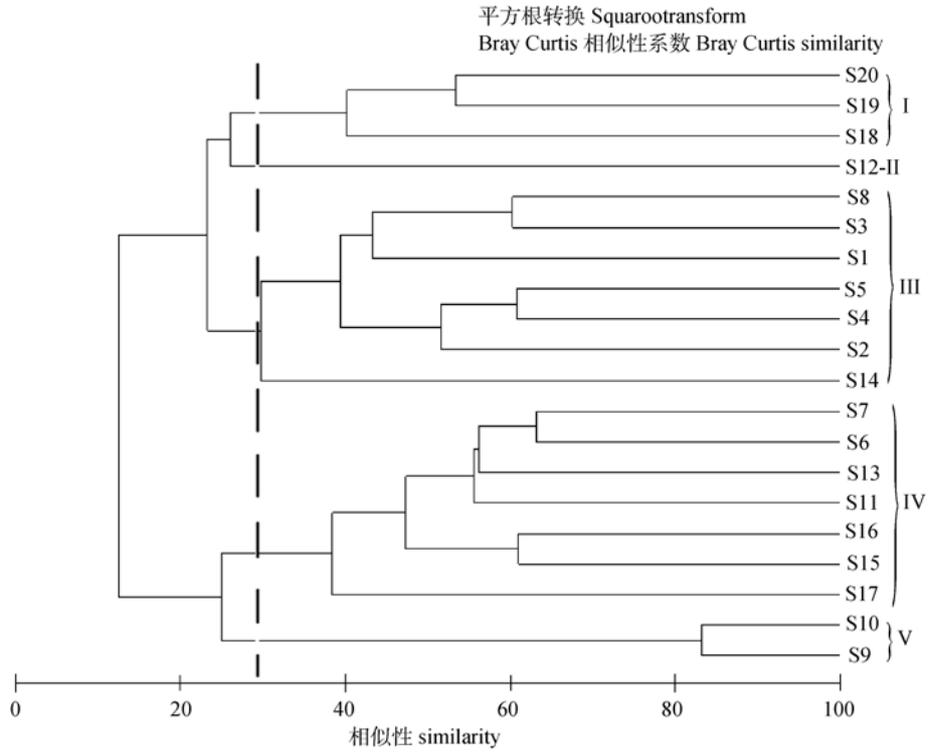


图 4 三都澳大型底栖动物群落的 Cluster 划分结果

Fig. 4 Cluster analysis of macrobenthic community in Sandu Bay

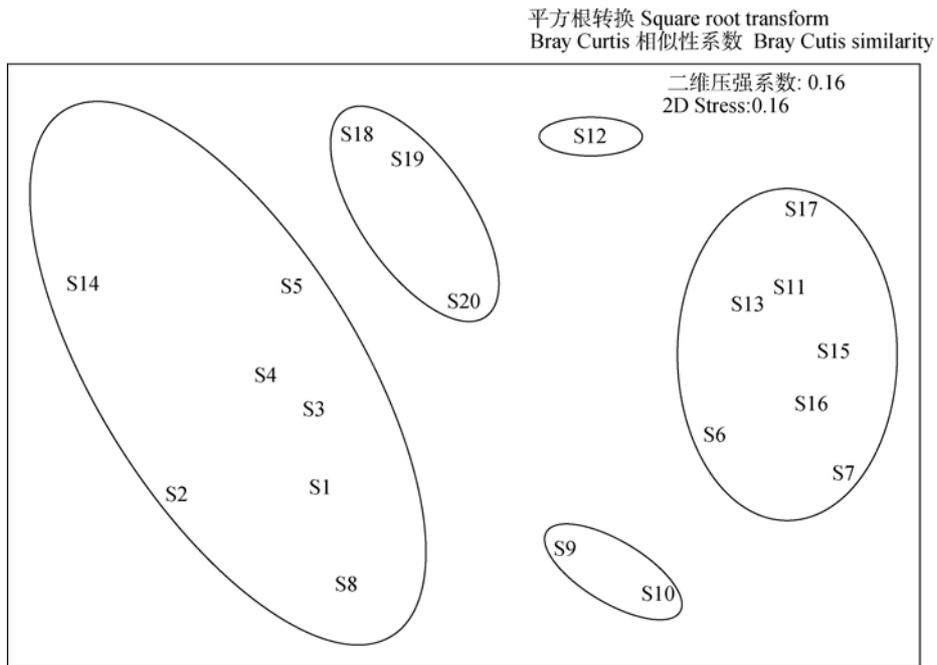


图 5 三都澳大型底栖动物群落 nMDS 分析结果

Fig. 5 nMDS analysis of macrobenthic community in Sandu Bay

殖活动对群落扰动状况差别明显(图 6)。2 月和 11 月生物量曲线始终在丰度曲线之上, 且优势度明显, 表明大型底栖动物群落尚未受干扰。但 5 月

和 8 月 ABC 曲线中生物量曲线与丰度曲线相互交叉或非常接近, 显示大型底栖动物群落已受到一定程度干扰。

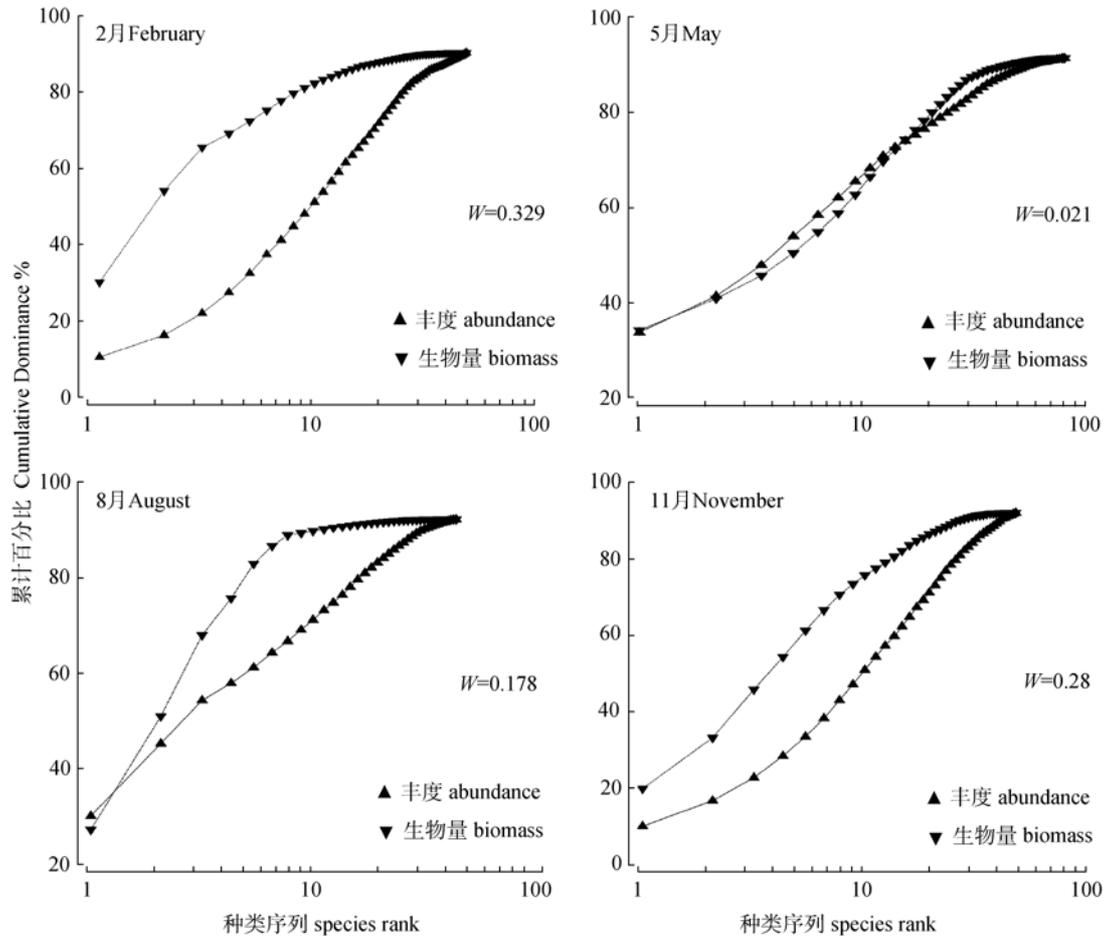


图 6 三都澳大型底栖动物群落 ABC 曲线分析结果

Fig. 6 ABC curve analysis of macrobenthic community in Sandu Bay

## 2.4 大型底栖动物群落特征同环境因子相关性

三都澳环境因子和大型底栖动物群落特征相关性如表 2 所示。在众多环境因子中, 水体溶解氧含量、沉积物硫化物含量、沉积物氧化还原电位和大型底栖动物群落结构之间相关性较强, 部分因子间达到极相关水平( $P < 0.01$ )。此外, 上述 3 个环境因子之间相关性也较强; 而其他环境因子之间相关性较弱, 和群落特征相关性也未达到显著水平( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 三都澳大型底栖动物群落多样性特点

三都澳大型底栖动物多样性指数( $H'$ )空间差异明显。最高值出现在 4 号站, 1-3 号站也具有较高多样性。这些站位在地理位置上较为接近, 均位于湾口区。证明三都澳内良好的水体交换水平对

提高物种多样性具有一定促进作用。另外, 部分站位(如 14 号站和 20 号站)虽然处于湾顶区, 但是同样具有较高的多样性。这些站位表现出远离网箱养殖的共性, 如 14 号站位为空白对照点, 无养殖活动, 20 号站为海带养殖。这种情况表明三都澳水域内网箱养殖对大型底栖动物群落均有明显限制作用, 而海带养殖对大型底栖动物群落没有明显影响。

物种丰富度指数同样显示出湾口区站位(如 4 号站)或海带养殖区站位(如 18 号站)较高的空间分布特点。这种空间分布特征同样说明了三都澳海带养殖对大型底栖动物群落的扰动小于网箱养殖。

已有研究表明, 沉淀的有机颗粒如能被溶解氧完全分解, 其可以作为大型底栖动物营养源, 从而提高大型底栖动物群落物种多样性, 但如果

表 2 三都澳环境因子和大型底栖动物群落特征相似性系数( $P$  值)Tab. 2 Spearman correlation coefficients ( $P$  values) between environmental factors and community structure of macrobenthos in Sandu Bay

项目 item	ORP	AVS	COD	Chl a	SDO	BDO	Grain size	TN	TP	$H'$	$S$	$N$
ORP		0.062	0.296	0.571	0.560	0.538	0.045*	0.879	0.036	0.005**	0.724	0.664
AVS	0.062		0.244	0.030*	0.000**	0.000**	0.306	0.128	0.077	0.003**	0.026*	0.122
COD	0.296	0.244		0.438	0.584	0.704	0.307	0.124	0.343	0.905	0.856	0.971
Chl a	0.571	0.030*	0.438		0.001**	0.001**	0.380	0.859	0.489	0.776	0.074	0.010*
SDO	0.560	0.001**	0.584	0.001**		0.000**	0.856	0.197	0.555	0.005**	0.003**	0.028
BDO	0.538	0.001**	0.704	0.001**	0.0001**		0.762	0.215	0.590	0.005**	0.003**	0.032
Grain size	0.045*	0.306	0.307	0.380	0.856	0.762		0.583	0.300	0.828	0.168	0.257
TN	0.879	0.128	0.124	0.859	0.197	0.215	0.583		0.069	0.334	0.579	0.668
TP	0.036*	0.077	0.343	0.489	0.555	0.590	0.300	0.069		0.067	0.248	0.292
$H'$	0.005**	0.003**	0.905	0.776	0.005**	0.005**	0.828	0.334	0.067		0.002**	0.473
$S$	0.724	0.026*	0.856	0.074	0.003**	0.003**	0.168	0.579	0.248	0.002**		0.021*
$N$	0.664	0.122	0.971	0.010*	0.028*	0.032*	0.257	0.668	0.292	0.473	0.021*	

注: \*表示相关性显著( $P<0.05$ ), \*\*表示相关性极显著( $P<0.01$ ). ORP: 沉积物氧化还原电位, AVS: 沉积物硫化物水平, COD: 底层水体化学需氧量, Chl a: 底层水体叶绿素 a, SDO: 表层水体溶解氧, BDO: 底层水体溶解氧, Grain size: 沉积物粒径, TN: 沉积物总氮, TP: 沉积物总磷,  $H'$ : 多样性指数,  $S$ : 种类数,  $N$ : 个体数。

Note: \* donates significant correlation( $P<0.05$ ), \*\* donates extremely significant correlation( $P<0.01$ ). ORP: oxidizing redox potential in sediment; AVS: acid volatile sulfide in sediment; COD: chemical oxygen demand in bottom water; Chl a: chlorophyll a in bottom water; SDO: dissolved oxygen in surface water; BDO: dissolved oxygen in bottom water; TN: total nitrogen in sediment; TP: total phosphorus in sediment;  $H'$ : Shannon-Wiener diversity index;  $S$ : number of species;  $N$ : number of individuals.

存在过量有机物沉淀, 则会造成无氧底栖环境, 进而降低底栖群落多样性<sup>[13, 15-16]</sup>。三都澳网箱养殖活动明显降低了大型底栖群落的多样性, 这种情况表明此水域内网箱养殖活动已造成沉积物中有机物颗粒过度积累, 影响了沉积物环境, 最终影响到大型底栖动物分布。因此, 本研究结果表明目前三都澳网箱养殖密度已超负荷, 在养殖位置未有改变和养殖方式未有改良情况下, 不宜继续增加养殖数量, 否则可能引起更为严重的环境恶化, 从而造成更大的损失。

### 3.2 大型底栖动物群落结构特征

自然水域大型底栖群落结构特征主要由其所在水深、沉积物类型等自然地理因素决定。尽管本研究采样站位水深差别不大, 且底质均为软泥, 但三都澳 20 个采样站位的大型底栖动物可被清楚地划分为 5 个群落(以 30%相似性程度划分)。群落中站位间相似性呈现出以下两种特点: (1)位置上靠近的站位群落结构较为相似, 如 1-4 号站皆位于湾口区, 站位间种类组成结构相似。(2)相同养殖类型站位间群落结构也较为相似, 如站组

IV 中包括站位较多, 但相似性指数较高, 为 41.57%, 该组内全部为网箱养殖站点, 在位置上并无相似性(如 6 号站和 17 号站)。SIMPER 分析表征各群落的特征种也显示, 不同群落中优势种类存在一定差别, 以站组 IV 为例, 其特征种皆为耐污种类, 如细丝鳃虫(*C. filiformis*)、钩虾属 1 种(*Gammarus* sp.)和角蛤(*A. lanceolata*)。

ABC 曲线分析显示三都澳 5 月和 8 月大型底栖动物群落受养殖活动干扰明显, 而 2 月和 11 月未受显著影响。笔者认为其原因在于三都澳不同季节内海水养殖活动强度存在差异。三都澳网箱养殖高峰季节为 5 月和 8 月, 2 月和 11 月养殖活动较少。Warwick 等<sup>[2]</sup>认为, ABC 曲线的不同特征主要是由于底栖群落中组成种类生物量和数量相对比例变化引起。在网箱养殖影响严重的季节, 生物量较低的多毛类种类和数量较多, 而大个体的甲壳动物和棘皮动物较少。正是基于此原因, 5 月和 8 月 ABC 曲线呈现出扰动状态。

目前, 三都澳水域内大型底栖动物多样性特点研究仅限于此报告, 因此无法和历史资料进行

对比。此水域内群落特征研究可参考 20 世纪 80 年代海湾普查资料<sup>[18]</sup>记录。20 世纪 80 年代三都澳大型底栖动物被划分为 3 个群落: (1)模糊新短眼蟹—双鳃内卷齿委—光亮倍棘蛇尾—不倒翁虫群落; (2)不倒翁虫—梳鳃虫—棘刺锚参—光亮倍棘蛇尾群落; (3)中华蛭蛇尾—紫蛤—无疣齿吻沙蚕群落。其中群落(1)位于东吾洋和官井洋水域, 群落(2)位于三都澳西部, 包括青山岛西北面海域和三都岛周围海域, 群落(3)仅包括 2 个观测站。和本研究结果对比显示, 此水域内大型底栖动物群落结构已发生明显变化, 主要表现为两点: (1)在 20 世纪 80 年代, 位置上较为接近的站位群落结构特征较为相似, 而现在养殖方式相同的站位具有较高的相似性; (2)相同区域的底栖动物群落结构发生了较大的变化, 特别是某些优势种类。

### 3.3 环境因子对大型底栖动物群落的限制性分析

养殖活动对大型底栖动物群落的影响因所选取研究水域不同而存在差异。本研究结果表明, 在众多环境因子中, 水体溶解氧含量、沉积物硫化物含量、沉积物氧化还原电位和大型底栖动物群落结构之间相关性较强。而沉积物中总氮和总磷和底栖生物群落无显著相关性。但东海区沿岸另一个较为典型的养殖海湾象山港河鲀养殖区的研究表明, 硝酸盐数值同底栖生物多样性指数具有显著相关性<sup>[19]</sup>。

三都澳水产养殖对底栖环境和底栖生物的影响包括如下主要过程: 过量有机物颗粒沉淀导致微生物分解作用旺盛, 造成底泥溶解氧不足, 沉积物因缺氧或无氧而成为还原态; 海水中大量的硫酸盐, 在还原环境下生成硫化氢, 并由于沉积物的吸附作用, 可以渗透、扩散到底层数厘米深的地方。沉积物—底层水体界面扩散问题应是一个关键步骤。在沉积物—底层水体界面, 正常情况下由于沉积物营养盐水平较高, 其会向水体扩散; 但在养殖高峰季节, 水体中营养盐则有向沉积物中扩散的趋势。因此底层水体溶解氧和沉积物硫化物含量是最为直接的限制大型底栖动物群落的环境因素。

### 参考文献:

- [1] 黄标, 钱鲁闽, 刘家富. 福建三都澳水产养殖区水体氮磷含量及潜在性富营养化程度分析[J]. 台湾海峡, 2008, 21(4): 411-415.
- [2] Warwick R M, Clarke K R. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities [J]. Mar Biol, 1994, 118: 739-744.
- [3] 张志南. 生物海洋学导论[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000.
- [4] Yokoyama H. Impact of fish and pearl farming on the benthic environments in Gokasho Bay: Evaluation from seasonal fluctuations of the macrobenthos [J]. Fish Sci, 2002, 68: 258-268.
- [5] 关长涛, 王清印. 我国海水网箱技术的发展与展望[J]. 渔业现代化, 2005(3): 5-7.
- [6] FAO. The role of aquaculture in sustainable development [M]. Rome, 2007.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 王金辉, 杨春旺, 孙亚伟, 等. 象山港大型底栖动物的生物多样性和次级生产力研究[J]. 天津农学院学报, 2006, 13(2): 24-28.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Karakassis I, Tsapakis M, Hatzilyami E. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1998, 162: 243-252.
- [13] Pearson T H, Black K D. The environmental impact of marine fish cage culture[M]//Black K D. Environmental Impacts of Aquaculture. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2001: 1-31.
- [14] Tomassetti P, Persia E, Mercatali I, et al. Effects of mariculture on macrobenthic assemblages in a western mediterranean site [J]. Mar Poll Bull, 2009, 58(4): 533-541.
- [15] Nickell L A, Black K D, Hughes D J, et al. Bioturbation, sediment fluxes and benthic community structure around a salmon cage farm in Loch Creran, Scotland [J]. J Exp Mar

- Biol Ecol, 2003: 285–286, 221–233.
- [16] Pearson T H, Rosenberg R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment [J]. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 1978, 16: 229–311.
- [17] 吴芳, 郭卫东, 郑佩如, 等. 三都澳养殖海域沉积物中 P 的形态分布特征[J]. *海洋环境科学*, 2005, 24 (4): 24–27.
- [18] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第七分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [19] 李聪, 沈新强, 晁敏, 等. 河鲀网箱养殖区大型底栖生物对氮、磷营养盐通量变化的响应[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(22): 10584–10587.

## Community structure of macrobenthos in response to mariculture practices in Sandu Bay

Ji Weiwei, ZHOU Jin

East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai, 200090, China

**Abstract:** We evaluated the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Sandu Bay, China. In addition, we evaluated the response of the macrobenthos to mariculture practices. This bay is typical of many areas of China's coastline, and is characterized by high density mariculture. We collected samples from 20 sites during nine cruises between May 2009 and February 2010. The Shannon-Wiener index of the macrobenthos in Sandu Bay ranged from 1.45 to 3.22 (mean: 2.40). The Margalef richness index varied from 0.99 to 2.41 (mean: 1.68). The Pielou evenness index changed within the variation from 0.76 to 0.93 (mean: 0.88). The Shannon-Wiener index and Margalef richness index were generally much higher at control sites or sites near the mouth of the bay. A total of five macrobenthic groups were identified at an arbitrary similarity level of 30%, based on samples collected in August in Sandu Bay. The community structure was similar at neighboring sites or at sites with similar mariculture operations. ABC curve analysis suggested that the macrofaunal communities were disturbed in May and August, but not in February and November. Of the environmental variables we measured, dissolved oxygen levels at the surface and sea-bed, acid volatile sulfide content, and sediment oxidizing redox potential were most closely related to the structure of the macrobenthic assemblage ( $P < 0.01$ ).

**Key words:** macrobenthos; community structure; mariculture; abundance/biomass curve; Sandu Bay

**Corresponding author:** ZHOU Jin. E-mail: zhouj@eastfishry.ac.cn