

# 乐清湾大型底栖生物群落特征及其对水产养殖的响应

杨俊毅 ,高爱根 ,宁修仁 \* ,张东声

(国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 杭州 310012)

**摘要** :乐清湾大型底栖生物的四季采样研究 ,发现 124 种大型底栖生物 ,其中多毛类 41 种、软体动物 37 种、甲壳类 22 种、棘皮动物 10 种和其他类 14 种。乐清湾大型底栖生物年均生物量  $41.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  ,年均密度  $85 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$  ,生物量棘皮动物居首 (约占 60% ) ,密度软体动物最大 (约占 35% )。生物量和密度分布春季为最高。对乐清湾大型底栖生物分布现状与以往资料及邻近海湾进行了比较 ,并将大型底栖生物群落对乐清湾牡蛎养殖和网箱养殖的响应做了分析探讨。

**关键词** :大型底栖生物 ;生态 ;水产养殖 ;乐清湾

文章编号 :1000-0933 (2007)01-0034-08 中图分类号 :Q145+.2,Q178 文献标识码 :A

## Characteristics on macrofauna and the responses on aquiculture in Yueqing Bay

Yang Junyi , Gao Aigen , Ning Xiuren \* , Zhang Dongsheng

Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry , SOA , Hangzhou 310012 , China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (1) 0034 ~ 0041.

**Abstract** : Four season investigations on macrofauna were carried out from August 2002 to May 2003 in Yueqing Bay where 18 sampling stations including 14 stations in non-farming area , 2 stations in oyster-farming area and 2 stations in fish-farming were set. 124 species were identified , including 41 species of polychaeta , 37 species of mollusc , 22 species of crustacea , 10 species of echinoderm and 14 of others. There were 5 dominant species which were *Nassarius siquinjorensis* , *Virgularia gustaviana* , *Sternaspis scutata* , *Capitella capitata* , and *Protankyra bidentata*. The average biomass was  $41.95 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  and the average density was  $85 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ . Echinoderm occupied the highest proportion in total biomass (about 60% ) and mollusc occupied the highest proportion in total density (about 35% ). The spatial and temporal distribution of biomass and density was asymmetric in Yueqing Bay. Biomass and density in bay-head area and culture area were higher than other areas in the Bay , and in spring were higher than in other seasons. The characteristics on macrofauna community were different from diverse culture mode and different season. Data of species , quantity , diversity , K-dominant curve were analyzed and resulted in : (1) In fish-farming area , macrofauna community was influenced by organic pollution , especially it was seriously disturbed in summer and autumn. (2) In oyster-farming area , macrofauna was active and excited by lesser oyster metabolic products and it was restricted by more oyster metabolic products , but it was not yet destroyed in the area. In comparison of macrofauna status with history data of the bay and the adjacent bays , its biomass and density were obviously higher than that 20 years ago , which were resulted from the increase of its feed , the particulate organic matter , input from both domestic , industrial and agricultural waste waters and the sunk of aquiculture waste feed and metabolic

基金项目 :国家 973 资助项目 (2006CB400605) ;浙江省海洋开发管理资助项目 (ZJ0201)

收稿日期 :2005-11-29 ;修订日期 :2006-04-29

作者简介 :杨俊毅 (1970 ~ ) ,男 ,浙江长兴人 ,副研究员 ,从事海洋底栖生物生态研究。E-mail :junyiyang@sio.org.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :ning\_xr@126.com

**Foundation item** :The project was financially supported by National 973 program , China (No. 2006CB400605) and Ocean development administration foundation of Zhejiang Province (No. ZJ0201)

**Received date** 2005-11-29 ; **Accepted date** 2006-04-29

**Biography** :Yang Junyi , Associate researcher , mainly engaged in marine benthos ecology. E-mail :junyiyang@sio.org.cn

products , particularly in recent years the water exchanges between inside and outside the bay have been becoming weak , due to the increase in aquaculture. Although macrofauna status in fish-farming area in Yueqing Bay is batter than in Xiangshan Bay because of shorter aquiculture time and more reasonable aquiculture arrangement , problems of environment pollution and ecological disturbance deserve great attention.

**Key words :** macrofauna ; ecology ; aquiculture ; Yueqing Bay

乐清湾是我国主要的内湾养殖区之一 ,随近年来养殖面积的不断扩大 ,对水交换能力较弱的湾内环境产生了一定的影响 ,尤其是某些养殖区内的底质环境可能已被造成不同程度污染 ,直接影响到生活在底层的大型底栖生物 ,导致其种类和数量的异常分布<sup>[1]</sup>。过去对乐清湾大型底栖生物研究较少<sup>[2~8]</sup> ,开展乐清湾大型底栖生物的种类组成 ,数量分布和群落结构变动的现状研究 ,可为管理部门及时掌握养殖区底质环境及日后合理开发提供基础资料。

1 材料与方法

对乐清湾进行了夏 (2002 年 8 月 )、秋 (2002 年 11 月 )、冬 (2003 年 2 月 )、春 (2003 年 5 月 )四个季节的大型底栖生物采样 ,研究区域共设 18 个站位 ,其中非养殖区 14 个测站 (Y 系列站位 )、牡蛎养殖区 2 个测站 (O1 ,O2 站 )、网箱养殖区 2 测站 (因网箱养殖区两个测站比较接近 ,在图上用一个站位表示 ,即 F 站 ) ,调查站位见图 1 ,此外 ,春季在网箱养殖区周围海域增加了 6 个测站 ,以加强网箱养殖区的对比研究。

海上取样 ,室内样品分析、称重、计算和资料整理均按《海洋监测规范 (GB17378.7-1998)》进行<sup>[9]</sup>。各生态学参数分别由公式计算<sup>[4]</sup>得到。

种类优势度 :  $Y = \frac{N_i}{N} \cdot f_i$

式中  $N_i$  为第  $i$  个种的个体数 ,  $N$  为总个体数 ,  $f_i$  为第  $i$  个种的出现频率。

香农威弗多样性指数 :  $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 (P_i)$

式中  $S$  为物种数目 ,  $P_i$  为第  $i$  种的个数与样方总个数之比值。

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

式中  $S$  为总种数 ,  $N$  为观察到的个体总数。

辛普森多样性指数 (Simpson's diversity index) :

$$D = 1 - \sum_{j=1}^S (P_i)^2$$

式中  $S$  为物种数目 ,  $P_i$  为第  $i$  种的个数与样方总个数之比值。

均匀度 ( $J$ ) 采用 Pielou 公式 :  $J = H' / \log_2 S$

$H'$  为多样性指数 ,  $S$  为物种数。

ABC 曲线 (Abundance-Biomass Comparison curve )

作图方法 :以  $X$  轴为种的对数序列 ,按丰度或生物量由大到小顺序排列 , $Y$  轴每种对应的累积丰度 (优势度 )作图 ,得  $K$ -优势曲线 ,将丰度和生物量曲线绘于同一张图上 ,得 ABC 曲线。ABC 曲线通常能反映大型底栖生物群落的稳定性 ,一般认为正常稳定的群落 ,其生物量曲线始终位于丰度曲线的上方 ,丰度比生物量具有更高的多样性 ;一旦两条曲线相互交叉或重叠 ,说明群落受到扰动 ,群落稳定性下降<sup>[5~7]</sup>。

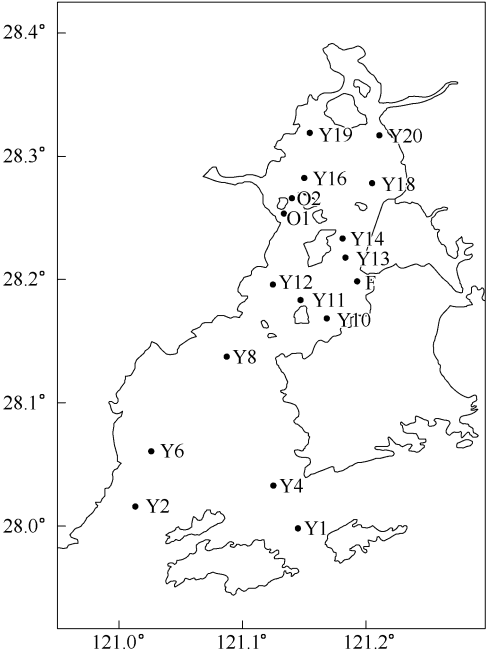


图 1 乐清湾底栖生物采样站位图  
Fig. 1 Sampling station of macrofauna in Yueqing Bay

数据分析及图件绘制采用 primer V5 ,surfer8.0 ,excel 等软件。

2 结果

2.1 种类组成与分布

经分析,鉴定了大型底栖生物 124 种,其中多毛类 41 种、软体动物 37 种,甲壳类 22 种、棘皮动物 10 种、其他动物 14 种;其中以多毛类和软体动物居多,两者占总种数的 63 % ,其他 3 类生物的种类比例较低,多毛类和软体动物是构成乐清湾大型底栖生物的主要类群(图 2)。

乐清湾各站位的大型底栖生物种类数分布都在 15 种以内,其中 Y13 站种类分布最多,达 15 种(春季),大多数站在 10 种以内。种类季节分布变化为春、夏大于秋、冬(图 3)。表 1 显示了乐清湾大型底栖生物主要种类的优势度,通常认为某个种优势度  $Y>0.02$  时,该种可以被认为是优势种<sup>[4]</sup>,因此,乐清湾的优势种有 5 种,分别是西格织纹螺、白沙簪、不倒翁虫、小头虫、棘刺锚参。

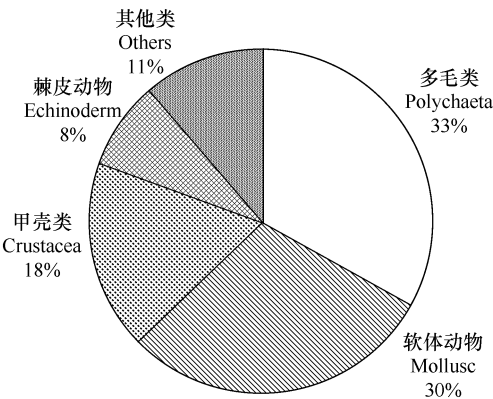


图 2 乐清湾大型底栖生物类群组成

Fig. 2 Species composition of macrofauna in Yuqing Bay

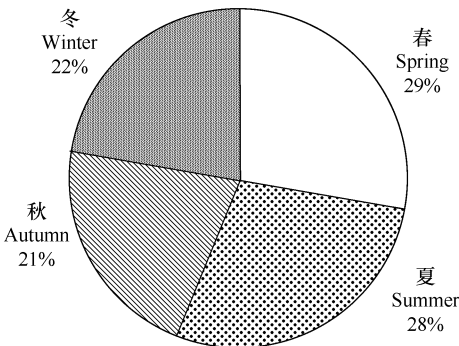


图 3 乐清湾大型底栖生物季节百分比

Fig. 3 Seasonal species distribution of macrofauna in Yuqing Bay

表 1 乐清湾大型底栖生物主要种类及优势度

Table 1 Primary and dominant species of Macrofauna in Yueqing Bay

种 名 Species	优势度 Dominance
西格织纹螺 <i>Nassarius siquinjorensis</i> (A. Adams )	0.039
白沙簪 <i>Virgularia gustaviana</i> (Herclots )	0.036
不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i> (Renier )	0.032
小头虫 <i>Capitella capitata</i> (Fabricius )	0.025
棘刺锚参 <i>Protankyra bidentata</i> (Woodward et Barrett )	0.024
多鳃卷吻沙蚕 <i>Nephtys polybranchia</i> Southern	0.016
光滑蓆棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i> Lyman. [A. parestans ]	0.008
须鳃虫 <i>Cirrifomia filigera</i> (Delle Chiaje )	0.008
绯拟招螺 <i>Assiminea latericea</i> H. et A. Adams	0.007
薄云母蛤 <i>Yoldia similis</i> Kuroda et Habe	0.007
红带织纹螺 <i>Nassarius (Zeuxis) succinctus</i> (A. Adams )	0.006
秀丽织纹螺 <i>assarius (Reticunassa) festinus</i> (Powys ) [N. dealbatus ]	0.006
彩虹明樱蛤 <i>oerella iridescens</i> (Benson )	0.006
西奈索沙蚕 <i>Lumbrineris shiinoi</i> Gallardo	0.005
纵沟纽虫 <i>Lienus fuscoviridis</i> Takakura	0.005
脆壳理蛤 <i>Theora fragilis</i> (A. Adams )	0.005
洼颚蓆棘蛇尾 <i>Amphiura depressus</i> (Ljungman )	0.003
厚鳃蚕 <i>Dasybranchus caducus</i> (Grube )	0.003
缩头节节虫 <i>Maldane sarsi</i> Malmgren	0.003
东方长眼虾 <i>Ogyrides orientalis</i> (Stimpson )	0.003

2.2 数量组成与分布

乐清湾大型底栖生物平均生物量为  $41.95\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ,类群生物量组成中 ,棘皮动物居首位 ,约占 60% ;其次为软体动物 ,约占 26% ;多毛类、甲壳类和其他类的生物量很低 ,三者约占 14% 。乐清湾大型底栖生物平均密度  $85\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  ,其中软体动物占居首位 ,约占总种数的 35% ;多毛类居第 2 ,占 33% ,甲壳类、棘皮动物和其他类的密度接近 ,三者约占 32% (表 2)。

乐清湾大型底栖生物数量总体分布不均匀 (图 4) ,高生物量出现在湾中部以内 ,其中牡蛎 1 站最高 ,达  $164.42\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  , (主要构成者为棘皮动物 ,其中春季滩栖阳遂足 (*Amphiura vadicola*) 和紫纹芋参 (*Molpadia roretzii*) 二者高达  $375.50\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ) ,其次是 Y18 站为  $95.94\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ,Y 20 站和分水网箱养殖区可达  $50\sim 60\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  。此外 ,离岸边较近站位其生物量分布也较高 ,如 Y2、Y13 站分别可达  $29.62\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  和  $25.59\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  ,其它站的生物量分布相对较低 ,生物量的主要组成类群为棘皮动物和软体动物。

乐清湾大型底栖生物的密度空间分布差异也较大 (图 5) ,高密度区一个分布在网箱养殖区一侧和湾顶 ,其中 Y13 站均值高达  $270\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  ,该站春季最高达  $810\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  ,主要为贝类的脆壳理蛤 ,密度高达  $570\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  (占该站 70% ) ;湾顶 Y18 和 Y20 站分别达  $145\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  和  $140\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  ;另一个相对较高的密度区分布在湾口乐清一侧的 Y2 站 ,可达  $105\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  ,其余站位都在  $100\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  。全区密度统计显示 ,超过  $250\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  以上为 1 个站 , $250\sim 100\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  为 4 个站位 , $100\sim 50\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  为 9 个站 ,低于  $50\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$  为 3 个站。

表 2 乐清湾大型底栖生物量和密度组成

Table 2 Biomass and density composition of macrofauna in Yueqing Bay						
项目 Item	多毛类 Polychaeta	软体动物 Mollusc	甲壳类 Crustacea	棘皮动物 Echinoderm	其他类 Others	合计 Total
生物量 Biomass ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )	1.13	10.76	3.78	25.09	1.18	41.94
密度 Density ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ )	28	30	8	10	9	85

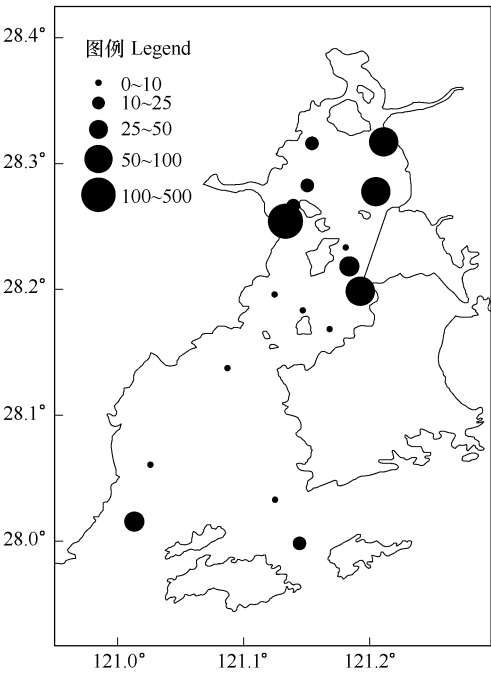


图 4 乐清湾底栖生物生物量分布图 ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Fig. 4 Biomass distribution of macrofauna in YueqingBay

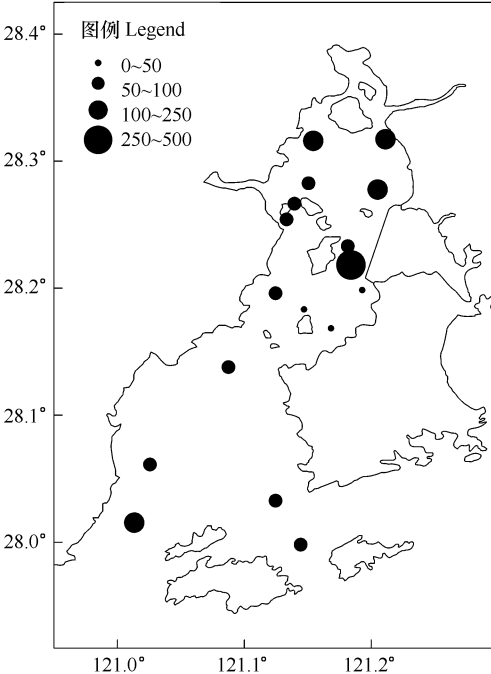


图 5 乐清湾底栖生物密度分布图 ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Fig.5 Density distribution of macrofauna in Yueqing Bay

乐清湾大型底栖生物数量呈现块状分布特征 ,这与其他海湾大型底栖生物分布特征较吻合<sup>[5]</sup>。

乐清湾四个季节大型底栖生物生物量分布为 :春季 > 夏季 ≈ 秋季 > 冬季 ;密度季节分布为 :春季 > 夏季 ≈ 秋季 ≈ 冬季 (表 3 )。数量季节分布显示 ,除春季分布较高 ,其它季节变化不甚明显 ,这是由于春季水温的回升 ,生物进入繁殖旺季 ,出现了较多占比重大的蛇尾、海参、腹足类和双壳类 ,从而该季数量呈现较高的分布特征。

表 3 乐清湾大型底栖生物数量季节分布  
Table 3 Seasonal Biomass and density distribution of macrofauna in Yueqing Bay

项目 Item	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	平均 Average
生物量 Biomass (g·m <sup>-2</sup> )	92.58	30.38	30.24	14.60	41.95
密度 Density (ind·m <sup>-2</sup> )	111	86	67	77	85

2.3 网箱养殖区数量分布

春季网箱养殖区周边区域 (6 站 ) 共见 14 种大型底栖生物 ,平均生物量为 230.22 g·m<sup>-2</sup> ,平均密度 68 个·m<sup>-2</sup>。高生物量主要分布在网箱养殖外边南侧 ,高达 1212.93 g·m<sup>-2</sup> ,其中紫纹芋参生物量达 1190.75 g·m<sup>-2</sup> ,可占该站 98% ;其它周边站位一般在 50 g·m<sup>-2</sup> 以下。网箱养殖区的最外侧密度较高 ,其范围在 100 ~ 180 个·m<sup>-2</sup>。主要分布种有须鳃虫、日本强鳞虫 (*Sthenolepis japonica*)、异足索沙蚕 (*Lumbrineris heteropoda*)、红带织纹螺、西格织纹螺、滩栖阳遂足、紫纹芋参等种类。

网箱养殖区中间区域 (2 个站 ) 大型底栖生物仅见 7 种 ,生物量明显低于网箱养殖周边区域 ,平均为 18.66 g·m<sup>-2</sup> ;密度则比网箱养殖周边区域高出一倍 ,达 140 个·m<sup>-2</sup>。网箱养殖中间靠近内侧站的生物量和密度 (26.14 g·m<sup>-2</sup>、200 个·m<sup>-2</sup>) 明显高于中间区域的外侧 (11.18 g·m<sup>-2</sup>、80 个·m<sup>-2</sup>) ,构成网箱养殖中间区域密度的主要为须鳃虫 ,其中在内侧站位高达 150 个·m<sup>-2</sup> ,其它种类有奇异稚齿虫 (*Paraprionospio pinnata*)、红带织纹螺和西格织纹螺等种类。

网箱养殖区调查显示 ,生物量网箱养殖周边高于网箱养殖中间区域 ,密度网箱养殖中间区域大于网箱养殖周边 (表 4 )。

表 4 春季分水网箱养鱼区大型底栖生物数量分布  
Table 4 Biomass and density distribution in fish-culture in spring

项目 Item	网箱养殖周边区域 (6 站 ) Around fish-culture area (6 st. )	网箱养殖中间区域 (2 站 ) Inside fish-culture area (2 st. )
生物量 Biomass (g·m <sup>-2</sup> )	230.22	18.66
密度 Density (ind·m <sup>-2</sup> )	68	140

2.4 乐清湾各区域多样性指数及 K 优势曲线

表 5 显示了乐清湾各区域的大型底栖生物各季节的平均多样性指数。在非养殖区 4 种指数四季的数值都比较接近 ,其中秋季略低于其他季节 ,在牡蛎养殖区 ,香农威弗指数、Margalef 指数、和辛普森指数均是春、冬季高于夏、秋季 ,并且春、冬季的数值分别高于同季的非养殖区 ,而均匀度指数四季则比较接近 ,在鱼类养殖区 ,多样性指数的变化趋势与牡蛎养殖区相同 ,不同的是除均匀度指数以外 ,其他 3 种指数各季节的数值均低于非养殖区 ,特别是夏季 ,数值最低。

图 6 则显示了乐清湾各区域大型底栖生物各区域各季节的 ABC 曲线。非养殖区及牡蛎养殖区生物量曲线始终位于丰度曲线的上方 ,两条线没有进行交叉或重叠 ,说明这两个群落比较稳定 ,而鱼类养殖区春季的生物量曲线与丰度曲线发生了交叉 ,可以认为该群落受到了扰动 ,夏秋两季的曲线尽管没有相交 ,但是这两季种类数急剧减少 ,仅存 4 种 ,多样性指数也显著降低 ,因此 ,认为这两季大型底栖生物群落受到的较严重的扰动 ,并且可能已经失衡。

表 5 乐清湾各区域大型底栖生物多样性指数

Table 5 Diversity indices of macrofauna in different area in Yueqing Bay

多样性指数 Diversity index	区域 Area	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autume	冬季 Winter
香农威弗多样性指数 Shannon-Weaver index	非养殖区 Non-culture area	1.98	1.98	1.71	1.96
	牡蛎养殖区 Oyster-culture area	2.18	1.75	1.58	2.37
	鱼类养殖区 Fish-culture area	1.90	0.27	0.75	1.58
Margalef 指数 Margalef index	非养殖区 Non-culture area	0.67	0.67	0.54	0.59
	牡蛎养殖区 Oyster-culture area	0.69	0.49	0.43	0.78
	鱼类养殖区 Fish-culture area	0.66	0.06	0.19	0.43
辛普森多样性指数 Simpson's index	非养殖区 Non-culture area	0.69	0.65	0.60	0.70
	牡蛎养殖区 Oyster-culture area	0.74	0.65	0.63	0.76
	鱼类养殖区 Fish-culture area	0.62	0.13	0.31	0.63
均匀度 Eveness	非养殖区 Non-culture area	0.90	0.90	0.91	0.93
	牡蛎养殖区 Oyster-culture area	0.95	0.88	0.96	0.91
	鱼类养殖区 Fish-culture area	0.76	0.94	0.97	0.96

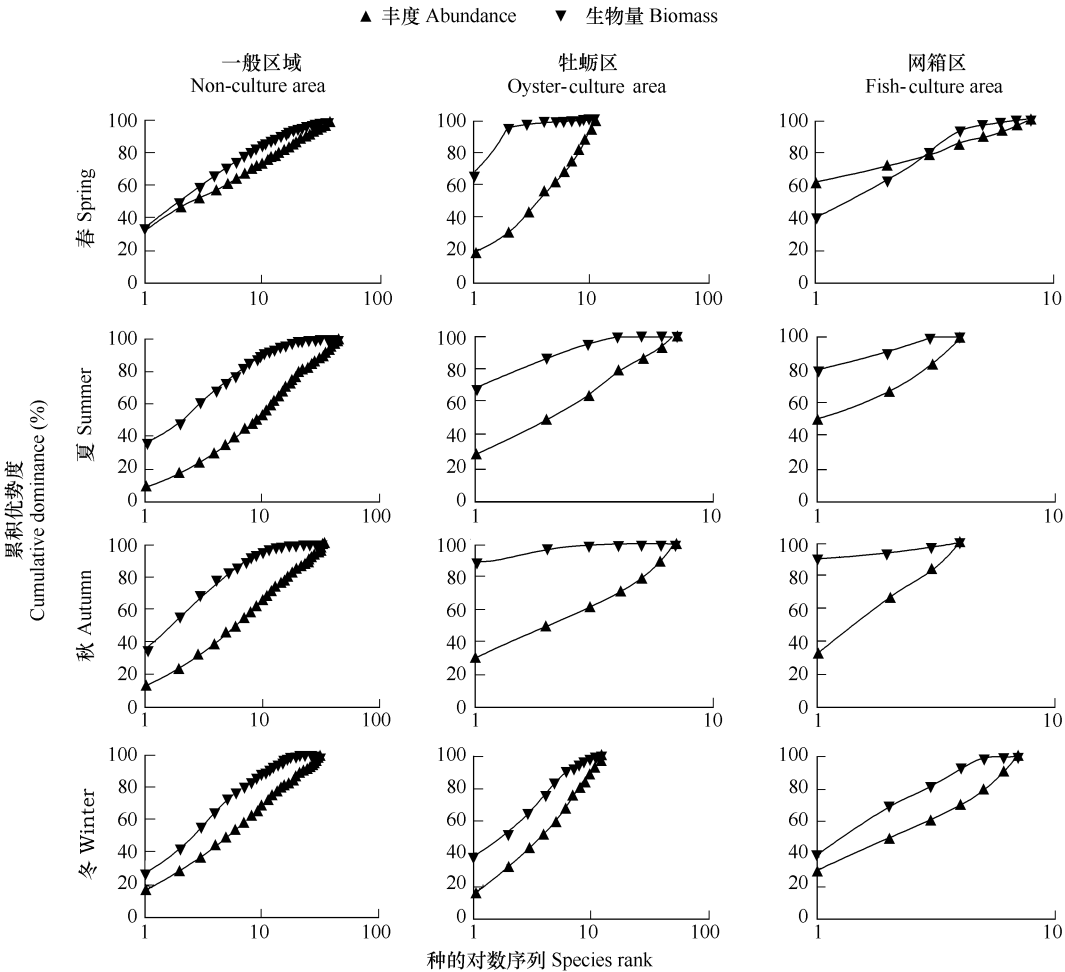


图 6 各区域各季节大型底栖生物群落 ABC 曲线

Fig. 6 ABC curve of macrofauna community in different area and seasons

### 3 讨论

#### 3.1 与历史资料及邻近区域比较

本次调查与浙江海岸带资源调查比较<sup>[2]</sup>,本次乐清湾大型底栖生物生物量和密度明显高于 1982 年的  $3.92\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 和  $34.10\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$ ,表明 20a 间乐清湾大型底栖生物数量呈明显增长趋势,其数量变化的主要因素初步分析为:①随乐清湾沿岸养殖面积不断扩大和周边经济迅速发展,养殖残饵和代谢产物、工业废水以及生活污水的注入,会给海湾增添大量有机营养成份,其中部分沉积海底而被大型底栖生物利用。②乐清湾中部以内大型底栖生物数量的增加可能与海流、潮汐作用小、底层环境相对稳定有关,加之近年来鱼类养殖网箱和贝类养殖筏数量大大增加,使得湾内水交换减弱,更有利于有机物的沉降。

乐清湾大型底栖生物与同期调查的三门湾和 2000 年的象山港比较<sup>[1,9]</sup>,乐清湾大型底栖生物的生物量 ( $41.94\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )高于三门湾 ( $24.69\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ),但低于 2000 年象山港调查 ( $57.24\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ );密度 ( $85\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$ )略高于象山港 ( $68\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$ ),但显著低于同期调查的三门湾 ( $169\text{ 个}\cdot\text{m}^{-2}$ )。

#### 3.2 大型底栖生物对网箱养殖和牡蛎养殖的响应

无论是网箱鱼类养殖还是贝类养殖都会对大型底栖生物群落产生较大的影响<sup>[10~15]</sup>。鱼类养殖区主要表现为大量残饵和鱼类的粪便、排泄物等物质沉降于海底,造成养殖区底质环境有机污染,据 Kapsar 等对鱼类网箱养殖饵料的研究,饵料中有四分之三总氮和总磷排入水域,其中 65% 的总氮和 10% 总磷沉于海底<sup>[12]</sup>,也有报导 20%~30% 未食饲料中大部分会沉至海底<sup>[10]</sup>。有机质的累积使得 BOD 增加,缺氧,氧化还原电位降低,从而直接改变或破坏原有大型底栖生物群落结构,在严重的情况下,可使网箱区底部大型底栖生物消失<sup>[1,9]</sup>。悬浮的贝类(牡蛎)养殖一般不需投饵,但产生的大量生物代谢产物不但对水层起到一定作用,而且对底层也起着较大的影响。Hatcher 等在加拿大 Upper South Cove 海湾贻贝悬浮养殖海区观察到底部沉积物  $\text{NH}_3$  的通量在夏季最高为  $16\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ,平均比非养殖海区高  $10\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ <sup>[14]</sup>;Mazouni 等报道法国 Etang de Thau 泻湖牡蛎养殖区沉积物  $\text{NH}_3$  的通量比非养殖区高 1~5 倍<sup>[15]</sup>。此外,贝类养殖中贝壳的脱落会引起沉积物性质的变化,通常泥沙类型的沉积物会演变成贝壳沙类型,这种环境的变化也会引起群落的演替。

通过对各区域各季节的多个多样性指数和 ABC 曲线的比较分析,发现乐清湾不同的养殖方式和不同的季节对大型底栖生物的影响不同。牡蛎养殖区大型底栖生物的各个参数发生了较大的变化,多样性指数都是春、冬季高于夏、秋季,并且春、冬季高于非养殖区而夏、秋季低于非养殖区(表 5),从种类数上来看,牡蛎养殖区春、冬季多于夏、秋季。这说明在该区域,大型底栖生物的生长在春、冬季受到了刺激,而在夏、秋季受到了抑制,原因可能与春、冬季节水温较低,牡蛎的代谢缓慢,其粪便与代谢产物较少,少量的贝类代谢产物沉积对底栖藻类的生长具有刺激作用,使得该区沉积物中初级生产力增加<sup>[14]</sup>,而夏、秋两季是贝类生长旺盛的季节,大量的代谢产物沉降于底质环境中,可能引起厌氧微生物的大量繁殖,使得沉积物中缺氧等因素有关。其影响机制尚需作进一步研究工作证实。该区域 ABC 曲线分析结果显示大型底栖生物群落尚未受到破坏(图 6)。鱼类网箱养殖区的大型底栖生物群落受污染的情况比较严重,春季在网箱区及其周边区域的调查结果显示,大型底栖生物的生物量网箱区周边高于网箱区中间区域,而密度则相反(表 4),明显表现为受有机污染影响的特征,春季网箱养殖区的 ABC 曲线中丰度和生物量曲线交叉(图 6),也说明了大型底栖生物群落受到了扰动。夏秋两季网箱养殖区的种类数急剧减少,丰度和生物量以及多样性指数也显著降低,说明夏、秋两季网箱养殖区由于大量残饵和鱼类代谢产物的排放,使得沉积物环境恶化,大型底栖生物群落受到的较严重的扰动,并且可能已经失衡。到了冬季,养殖的鱼类大部分已经在市场上出售,网箱区的底质污染情况得以缓和,大型底栖生物群落有所恢复。

#### 3.3 乐清湾分水网箱养殖区大型底栖生物与象山港栖风区比较

乐清湾分水网箱养殖区大型底栖生物与象山港栖风网箱养殖区比较<sup>[1,6]</sup>显示,象山港栖风网箱养殖区的大型底栖生物主要分布在网箱区的周边,中央区域未见大型底栖生物分布,主要因为该区已养殖多年,中央区内沉积物大量堆积,缺氧和高硫化物浓度的底层环境已超出大型底栖生物的忍受度,相比之下,乐清湾分水网

箱养殖中央区域仍有一定数量大型底栖生物分布 (如抗污能力较强的织纹螺等) ,这与该区养殖时间相对短、网箱布局较合理有一定关系 ,例如在相同面积内分水区网箱数量分布少于栖风区 ,并呈长条形排列 ,每组间有几米间隔 ,有利于污染物较快扩散。但是 ,目前乐清湾网箱养殖区的大型底栖生物群落状况已经不容乐观 ,随养殖时间的增加 ,整个网箱养殖区底质也会出现激剧变化 ,致使大型底栖生物种类多样性、数量下降甚至消失 ,因此应引起足够重视。

Reference :

[1 ] Gao A G ,Yang J Y ,Chen Q Z , *et al.* Comparative studies on macrobenthos between cultured and noncultured areas in Xinagshan Bay. *Journal of Fisheries of China* ,2003 ,27 ( 1 ) :25 - 31.

[2 ] The committee of investigation of symposium for coastal and intertidal resources in Zhejiang Province. The report of coastal and intertidal resources of Zhejiang Province , Beijing : Ocean Press ,1985.

[3 ] State Technology Supervision Bureau. The specification for marine monitoring , part7 : ecological survey of offshore pollution and biological monitoring (GB-17378.7-1988 ). Beijing : Standards Press of China ,1998.

[4 ] Shen G Y ,Shi B Z. *Marine Ecology.* Beijing : Science Press ,2002.

[5 ] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology* ,1986 ,92 :557 - 562.

[6 ] Li R G , Jiang J X. Application of abundance-biomass comparative method for detecting effect of benthos community by pollution. *Acta Oceanologica Sinica* ,1992 ,14 ( 1 ) :108 - 114.

[7 ] Yang J Y , Gao A G , Wang C S. Ecological characteristics of macrobenthos in the area near the sewage outfall project of Kanmen. *Marine Environmental Science* ,2003 ,22 ( 3 ) :52 - 55.

[8 ] Liu R Y , Cui Y H. *Marine Oganism in China Coasts.* Beijing : Ocean Press ,1996.

[9 ] Ning X R , Hu X G. Research and assess of aquiculture ecology and cage farming capacity in Xiangshan Bay. Beijing : Ocean Press ,2002.

[10 ] Stenton-dozey J M E , Jackson L F , Busby A J. Impact of mussel culture on macrobenthic community structure in Saldanha Bay , South Africa. *Marine Pollution Bulletin* ,1999 ,39 :357 - 366.

[11 ] Karakassis I , Tsapakis M , Hatziyanni E , *et al.* Impact of cage farming of fish on the seabed in three Mediterranean coastal areas. *ICES Journal of Marine Science* ,2000 ,57 :1462 - 1471.

[12 ] Kapsar H F , Hall G H , Holland A J. Effects of sea cage Salmon farming on sediment nitrification and dissimilatory nitrate reduction. *Aquaculture* ,1988 ,70 :333 - 334.

[13 ] Gowen R J , Bradbury N B. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters : a review. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* ,1987 ,25 :563 - 567.

[14 ] Hatcher A , Grant J , Schofield B. Effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp. ) on sedimentation benthic respiration and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Marine Ecology Progress Series* ,1994 ,115 :219 - 235.

[15 ] Mazouni N , Gaertner J , Deslous-Paoli J , *et al.* Nutrient and oxygen exchanges at water-sediment interface in a shellfish farming lagoon (Thau , France) . *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* ,1996 ,205 :91 - 113.

参考文献 :

[1 ] 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. *水产学报* ,2003 ,27 ( 1 ) :25 ~ 31.

[2 ] 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告编写委员会. 浙江省海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京 :海洋出版社 ,1985.

[3 ] 国家质量技术监督局. 海洋监测规范 第7部分 ,近海污染生态调查和生物监测 (GB-17378.7-1998 ). 北京 :中国标准出版社 ,1998.

[4 ] 沈国英 施并章. *海洋生态学.* 北京 :科学出版社. 2002.

[6 ] 李荣冠 江锦祥. 应用丰度生物量比较法监测海洋污染对底栖生物群落的影响. *海洋学报* ,1992 ,14 ( 1 ) :108 ~ 114.

[7 ] 杨俊毅 高爱根 王春生 ,等. 坎门排污工程邻近海域大型底栖生物生态特征. *海洋环境科学* ,2003 ,22 ( 3 ) :52 ~ 55.

[8 ] 刘瑞玉 崔玉珩 ,等. *中国海岸带生物.* 北京 :海洋出版社 ,1996.

[9 ] 宁修仁 胡锡钢. 象山港养殖生态和网箱养鱼的养殖容量研究与评价. 北京 :海洋出版社 ,2002.