

福建兴化湾大型底栖动物种类组成和生物多样性

邓玉娟^{1,2}, 董树刚¹, 刘晓收¹

(1. 中国海洋大学 海洋生命学院, 山东 青岛 266003; 2. 青岛海洋技师学院, 山东 青岛 266001)

摘要: 为摸清福建兴化湾大型底栖动物的种类组成、生物多样性分布格局以及受扰动情况, 于 2013 年 7 月、9 月以及 2014 年 2 月、4 月共四个航次进行了大型底栖动物调查。采用优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef's 丰富度指数和 Pielou's 均匀度指数等方法, 分析了该海域大型底栖动物的种类组成和生物多样性分布。结果表明, 研究海域共鉴定出大型底栖动物 132 种, 包括多毛类 58 种, 甲壳类 27 种, 软体动物 33 种, 其他门类 14 种。四个季节的共同优势种均为多毛类, 包括多鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys polybranchia*), 寡鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys oligobranchia*), 中蚓虫 (*Mediomastus californiensis*) 和异足索沙蚕 (*Lumbrineris heteropoda*)。研究海域大型底栖动物的平均生物量为 39.42g/m²; 平均栖息密度为 311.67 个/m²; 栖息密度和生物量平均值 2014 年 4 月最高 (398 个/m², 63.23g/m²), 2013 年 7 月航次最低 (252 个/m², 7.77g/m²)。不同站位, 栖息密度和生物量不同。栖息密度最大值出现在 1 号站位 (738 个/m²), 最低值为 12 号站位 (90 个/m²)。而生物量平均最大值出现在 15 号站位 (108.17g/m²), 最低值出现在 22 号站位 (8.72g/m²)。丰富度指数、均匀度指数、Shannon-Wiener 多样性指数的平均值分别为 2.81、0.87 和 2.73, 这三个指数, 9 月份均为最大, 分别为 3.20、0.93、3.12, 4 月份最小, 分别为 2.09、0.78、2.05。生物多样性指数和丰富度指数均表明福建兴化湾大型底栖动物群落受到一定的扰动。

关键词: 大型底栖动物; 种类组成; 生物多样性; 兴化湾

中图分类号: Q958.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)01-0054-10

doi: 10.11759/hyxx20150316005

底栖动物是指全部或者大部分时间生活在水体底部的水生动物群, 是生态系统的重要组成部分^[1]。底栖动物活动能力较弱、生活区域较小, 容易采集、物种易鉴定、生境高度多样化等特点^[2], 在水生生态系统研究中越来越受到重视^[3], 经常被研究者作为水质变化指示种^[4]。研究者通常将不能通过 500 μm 筛孔的底栖动物定为大型底栖动物^[5]。大型底栖动物是海洋生态系统物质循环和能量流动中积极的参与者^[6], 因此关于大型底栖动物的生态研究屡见报道, 近几年的有王宝强等^[7]关于洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性的研究, 焦海峰等^[8]关于渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位的研究, 仇建标等^[9]分析研究洞头列岛潮间带大型底栖生物的时空分布及其多样性, 廖一波等^[10]对象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究等等。

兴化湾位于福建省沿海中段 (25°14'N~25°37'N, 119°00'E~119°37'E)。该湾略呈长方形, 由西北向东南扩展。受气候因素影响, 兴化湾水层的表层温度呈现季节性变化^[11]。冬季平均温度最低, 然后气温开始

上升, 夏季上升到最高值^[12]。温度分布表层高于底层, 湾内高于湾口^[13]。由于径流输入量不大, 本湾海水盐度很高, 且年变化范围小, 春季达到最高值是 32.1, 夏季为最低值达到 30.71^[11]。兴化湾属淤积型构造基岩海湾, 海湾滩涂宽阔, 滩涂面积达 250 平方公里, 是福建省最大的港湾和重要的水产养殖基地^[14], 湾内的表层沉积物种类较多, 有粉砂、细砂、中砂、砂, 以及它们其中几种的混合^[13]。

福建兴化湾突出的地理位置及丰富多产的资源使得对兴化湾的研究具有重要的意义。蔡玉婷等对福建兴化湾进行了环境质量评价与分析研究^[11], 闫新兴等^[15]分析了福建兴化湾近岸地貌特征与泥沙来源, 马

收稿日期: 2015-03-16; 修回日期: 2015-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41576135); 中国海洋大学中央高校基本科研业务费专项项目 (201462008)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41576135; the Fundamental Research Funds for Central Universities of the Ministry of Education of China (Ocean University of China), No.201462008]

作者简介: 邓玉娟 (1971-), 女, 山东青岛人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事大型底栖动物研究, 电话: 0532-82688736, Email: dengyujuan_1971@126.com; 刘晓收, 通信作者, 电话: 0532-82031735, Email: liuxs@ouc.edu.cn

致远等^[16]对福建兴化湾围填海湿地景观生态影响进行了研究, 阮金山等^[17]对福建兴化湾海水、沉积物及水生物体内重金属含量进行了分析与评价。但是, 对兴化湾的大型底栖动物生态的研究报道的比较少, 仅有 1984 年 4 月到 1985 年 2 月期间, 李荣冠等^[13]对兴化湾大型底栖动物进行的生态调查, 结果表明兴化湾大型底栖动物的主要类群由多毛类、软体动物和甲壳动物三者构成。本文对兴化湾大型底栖动物的种类、分布及多样性指数进行研究, 对于兴化湾开展海洋生物监测, 进而对实现海洋生物资源的持续利用和海洋农牧化生产, 保护兴化湾生态环境提供数据补充。

1 材料与方法

2013 年 7 月、9 月和 2014 年 2 月、4 月, 分四个航次对兴化湾潮下带进行了大型底栖动物采样。

采样共设 15 个站位(图 1), 分别为 1、3、5、6、8、10、11、12、14、15、17、20、22、23、25, 覆盖整个兴化湾。每站使用 0.05 m² 抓斗式采泥器采集 4 个平行样, 所采泥样使用孔径为 0.5 mm 的网筛冲洗, 将生物及残渣装入样品瓶中, 现场使用终浓度为 5% 的福尔马林溶液固定。样品带回实验室在体视显微镜下进行分类、鉴定、计数, 使用感量为 0.0001g 的电子天平进行称重, 软体动物带壳称重, 寄居蟹去壳称重。最后换算成单位面积的生物量(g/m²)和栖息密度(个/m²)。以上野外采样、室内处理和数据分析均按照《海洋调查规范》(GB/T12763.6-2007)进行。

本文采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef's 丰富度指数(d)、Pielou's 均匀度指数(J')和优势度指数(Y)分析福建兴化湾海域大型底栖动物的多样性和优势种, 计算公式如下:

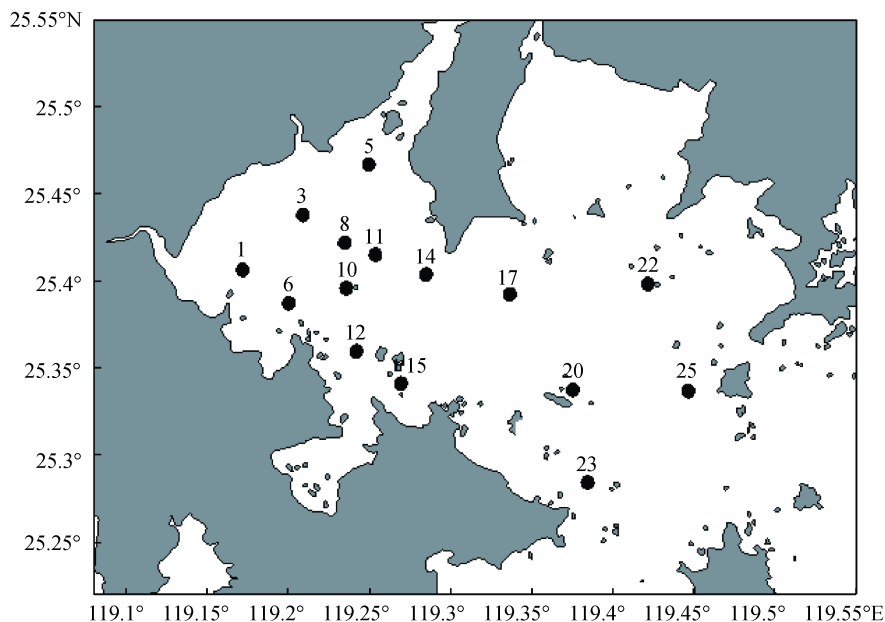


图 1 福建兴化湾大型底栖动物采样站位图

Fig. 1 Map of Xinghua Bay, Fujian, showing the sampling stations

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i \text{ (Shannon-Weaver, 1963);}$$

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

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \text{ (Pielou's, 1969);}$$

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

式中 S 为样品中的种类数; P_i 为第 i 种的个体数与样品总个体数的比值; n_i 为第 i 种的个体数; N 为每个种出现的个体数的总和; f_i 为第 i 种的测站出现率。

2 结果与分析

2.1 物种种类与分布

福建兴化湾四个航次共鉴定大型底栖动物 132 种, 包括多毛类、软体动物、甲壳类、棘皮动物、腔肠动物等。其中多毛类 58 种, 占总数的 43.94%, 软体动物 32 种, 占总数的 24.24%, 甲壳类 27 种, 占总数的 20.45%, 棘皮动物 7 种, 占总数的 5.30%, 腔肠动物 3 种, 占总数的 2.27%, 其他门类动物有 4 种,

占总数的 3.30%。

四个航次中, 获得的大型底栖动物生物种类有较大差别(表 1)。其中 2014 年 2 月航次物种种类最多, 共 73 种, 占总数的 58.33%, 2013 年 7 月航次种类最少, 共 44 种, 占总数的 33.33%。2013 年 9 月航次种类为 49 种, 占总数的 37.12%, 2014 年 4 月航

次种类为 53 种, 占总数的 40.15%。

2.2 优势种

根据种类优势度指数公式计算出各物种的 Y 值, 当该指数 $Y > 0.02$ 时^[18], 该物种定义为本群落中的优势种(表 2)。兴化湾大型底栖动物优势种主要为多毛

表 1 福建兴化湾大型底栖动物物种种类组成

Tab. 1 Species composition of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

| 类群 | 四航次汇总 | | 2013 年 7 月 | | 2013 年 9 月 | | 2014 年 2 月 | | 2014 年 4 月 | |
|------|-------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | 数量(种) | 百分比(%) | 数量(种) | 百分比(%) | 数量(种) | 百分比(%) | 数量(种) | 百分比(%) | 数量(种) | 百分比(%) |
| 多毛类 | 58 | 43.94 | 25 | 56.81 | 24 | 48.98 | 39 | 53.42 | 23 | 43.40 |
| 软体动物 | 32 | 24.24 | 8 | 18.18 | 7 | 14.29 | 13 | 17.81 | 15 | 28.30 |
| 甲壳类 | 27 | 20.45 | 6 | 13.64 | 9 | 18.37 | 16 | 21.92 | 11 | 20.75 |
| 棘皮动物 | 7 | 5.30 | 3 | 6.82 | 6 | 12.24 | 2 | 2.74 | 1 | 1.89 |
| 腔肠动物 | 3 | 2.27 | 0 | 0 | 1 | 2.04 | 2 | 2.74 | 1 | 1.89 |
| 其他 | 4 | 3.03 | 3 | 4.55 | 2 | 4.08 | 1 | 1.37 | 2 | 3.77 |

表 2 兴化湾大型底栖动物优势种

Tab. 2 The dominant species of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

| 航次 | 优势物种种类 | 优势度指数(Y) |
|------------|--|--------------|
| 四航次综合 | 寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>) | 0.0446 |
| | 异足索沙蚕(<i>Lumbrineris heteropoda</i>) | 0.0257 |
| | 中蚓虫(<i>Mediomastus californiensis</i>) | 0.0241 |
| | 多鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys polybranchia</i>) | 0.0207 |
| 2013 年 7 月 | 中蚓虫(<i>Mediomastus californiensis</i>) | 0.1422 |
| | 持真节虫(<i>Euclymene annandalei</i>) | 0.0847 |
| | 异足索沙蚕(<i>Lumbrineris heteropoda</i>) | 0.0734 |
| | 背蚓虫(<i>Notomastus latericeus</i>) | 0.0651 |
| | 寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>) | 0.0529 |
| | 多鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys polybranchia</i>) | 0.0222 |
| | 小头虫(<i>Capitella capitata</i>) | 0.0222 |
| 2013 年 9 月 | 背蚓虫(<i>Notomastus latericeus</i>) | 0.1601 |
| | 异足索沙蚕(<i>Lumbrineris heteropoda</i>) | 0.0759 |
| | 多鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys polybranchia</i>) | 0.0596 |
| | 中蚓虫(<i>Mediomastus californiensis</i>) | 0.0473 |
| | 寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>) | 0.0443 |
| | 狭细蛇潜虫(<i>Ophicromus angustifrons</i>) | 0.0264 |
| | 持真节虫(<i>Euclymene annandalei</i>) | 0.0236 |
| 2014 年 2 月 | 寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>) | 0.0871 |
| | 不倒翁虫(<i>Sternaspis scutata</i>) | 0.0206 |
| | 仿樱蛤(<i>Tellinides timorensis</i>) | 0.0378 |
| | 黑龙江河蓝蛤(<i>Potamocorbula amurensis</i>) | 0.0295 |
| | 棘刺锚参(<i>Protankyra bidentata</i>) | 0.0297 |
| | 纽虫(<i>Nemertinea</i>) | 0.0282 |
| 2014 年 4 月 | 寡鳃齿吻沙蚕(<i>Nephtys oligobranchia</i>) | 0.0245 |
| | 叉毛矛毛虫(<i>Phylo ornatus</i>) | 0.0218 |
| | 凸壳肌蛤(<i>Musculus senhousia</i>) | 0.0576 |
| | 光滑河蓝蛤(<i>Potamocorbula laevis</i>) | 0.0206 |

类, 包括多鳃齿吻沙蚕(*Nephtys polybranchia*), 寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*), 中蚓虫(*Mediomastus californiensis*)和异足索沙蚕(*Lumbrineris heteropoda*)。

在 2013 年 7 月和 9 月航次中兴化湾大型底栖动物优势种主要是多毛类, 包括异足索沙蚕(*Lumbrineris heteropoda*), 多鳃齿吻沙蚕(*Nephtys polybranchia*), 中蚓虫(*Mediomastus californiensis*), 寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*), 2014 年 2 月航次的优势种除了多毛类外, 还有软体动物仿樱蛤(*Tellinides timorensis*)、黑龙江河蓝蛤(*Potamocorbula amurensis*)和棘皮动物类棘刺锚参(*Protankyra bidentata*)以及纽虫(Nemertinea)。2014 年 4 月航次取样获得的优势种除了多毛类外, 还有软体动物凸壳肌蛤(*Musculus senhousia*)和光滑河蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)。

2.3 生物量和栖息密度

福建兴化湾大型底栖动物平均栖息密度和平均生物量分别为 311.67 个/m² 和 39.42 g/m²。栖息密度最大值出现在 1 号站位(738 个/m²), 最低栖息密度为 12 号站位(90 个/m²)。生物量最大值出现在 15 号站位(108.17g/m²), 最低值出现在 22 号站位(8.72 g/m²)。

在四个取样航次中, 兴化湾大型底栖动物平均栖息密度和生物量有较大变化(图 2), 平均栖息密度

变化规律是 4 月>2 月>9 月>7 月, 平均生物量 4 月>2 月>9 月>7 月。

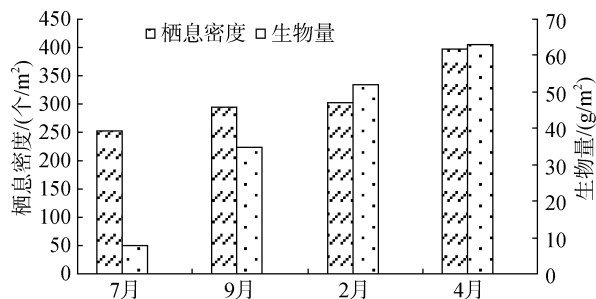


图 2 福建兴化湾四航次平均栖息密度和生物量
Fig. 2 The average density and biomass of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

在 15 个取样站位中, 栖息密度最大的出现在 2014 年 4 月份航次的 1 号站位(196 个/m²), 最小值出现在 2013 年 7 月份航次的 14 号、2013 年 9 月份航次的 22 号和 2014 年 4 月份航次的 12 号站位(30 个/m²)。生物量最大值出现在 2014 年 4 月份航次的 15 号站位(361.7g/m²), 最小值出现在 2013 年 9 月份航次的 22 号站位(0.33 g/m²)。

福建兴化湾大型底栖动物各航次栖息密度和生物量分布图分别见图 3 和图 4。

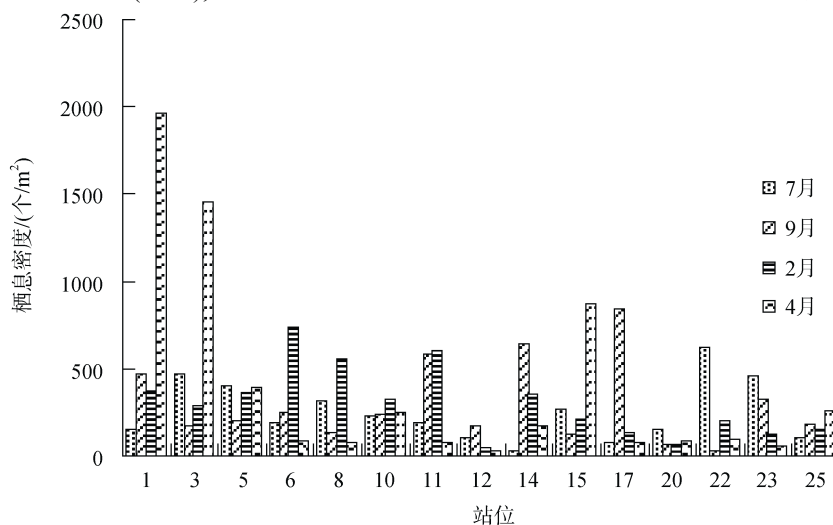


图 3 福建兴化湾大型底栖动物四航次栖息密度
Fig. 3 The density of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

2.4 物种多样性指数

香农-威纳多样性指数可以反映海域水质污染程度。当 $H' < 1.0$ 时, 水质为重度污染; 当 H' 为 1~2 时, 水质为中度污染; 当 H' 为 2~3 时, 水质为轻度污染;

当 $H' > 3$ 时, 水质为清洁。可见 H' 数值越大, 海洋水环境质量越好^[19]。

兴化湾大型底栖动物的香农-威纳多样性指数平均值为 2.73, 根据上述判定依据, 初步可以确定福建兴化湾海域处于轻度污染状态。

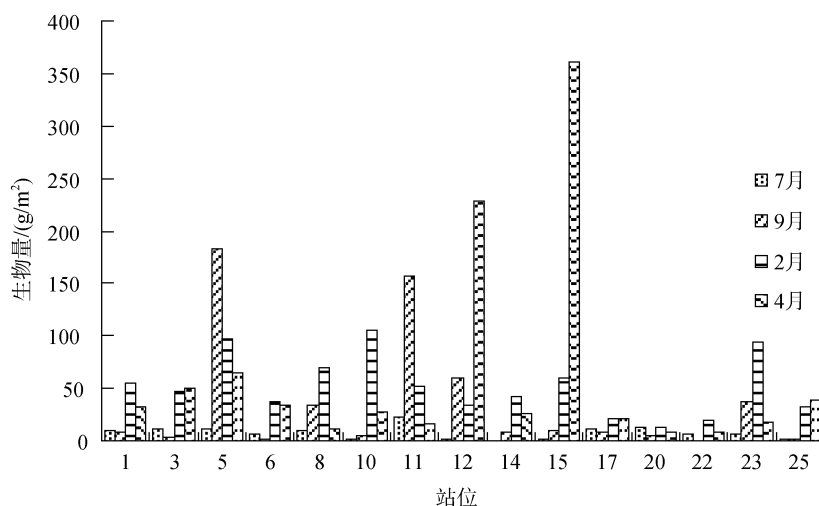


图 4 福建兴化湾大型底栖动物四航次生物量
Fig. 4 The biomass of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

在调查的 15 个站位中, 香农-威纳多样性指数最大值出现在 5 号站位, 其值为 3.52, 属于清洁水质, 最小值出现在 20 号站位, 其值为 1.97, 属于中度污染。其中有 4 个站位 H' 值大于 3, 为清洁水质区域, 而 H' 指数值在 2~3 之间的有 10 个站位, 为轻度污染区域。

从香农-威纳多样性指数来看, 9 月份福建兴化湾水质最好(3.12), 达到清洁水质标准, 4 月份福建兴

化湾水质最差(2.05), 为轻度污染, 接近中度污染。7 月份和 2 月份香农-威纳多样性指数平均值分别为 2.90 和 2.84, 水质处于轻度状态。四个航次取样进行平行比较分析, 水质较差的站位出现在 12、20、22 号三个站位, 这三个站位附近有岛屿存在。全年平均, 香农-威纳多样性指数反映出福建兴化湾水质属于轻度污染。福建兴化湾大型底栖动物香农-威纳多样性指数见表 3。

表 3 福建兴化湾大型底栖动物香农-威纳多样性指数

Tab. 3 The Shannon–Wiener diversity index of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

| 取样站位 | 四航次平均 | 2013 年 7 月 | 2013 年 9 月 | 2014 年 2 月 | 2014 年 4 月 |
|------|-------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 2.619 | 3.374 | 3.626 | 3.011 | 0.464 |
| 3 | 2.678 | 3.581 | 3.175 | 2.904 | 1.052 |
| 5 | 3.517 | 3.659 | 3.684 | 4.197 | 2.529 |
| 6 | 2.831 | 3.366 | 3.463 | 1.546 | 2.948 |
| 8 | 3.083 | 3.441 | 3.027 | 3.863 | 2.000 |
| 10 | 3.053 | 3.295 | 3.403 | 2.967 | 2.548 |
| 11 | 3.369 | 3.116 | 4.074 | 3.786 | 2.500 |
| 12 | 2.024 | 2.482 | 3.175 | 1.522 | 0.918 |
| 14 | 2.651 | 0.918 | 3.474 | 3.109 | 3.102 |
| 15 | 2.430 | 2.985 | 2.855 | 2.734 | 1.145 |
| 17 | 2.797 | 2.500 | 3.064 | 2.873 | 2.750 |
| 20 | 1.965 | 1.370 | 2.522 | 2.522 | 1.447 |
| 22 | 2.195 | 3.382 | 1.585 | 2.326 | 1.485 |
| 23 | 2.907 | 3.430 | 2.985 | 2.626 | 2.585 |
| 25 | 2.792 | 2.664 | 2.663 | 2.600 | 3.240 |
| 平均 | 2.727 | 2.904 | 3.118 | 2.839 | 2.048 |

2.5 丰富度指数

丰富度指数通常被用来反映物种多样性的高低,从而反映出生态环境污染的程度,和水质的污染程度^[20]。本研究丰富度指数(d)评价采用马卡列夫(Margalef, 1958)的公式。

当 $d < 1.0$ 时,水质为重度污染; d 为 1~2 时,水质为中度污染; 当 d 为 2~3 时,水质为轻度污染; $d > 3$ 时,水质为无污染。同样, d 数值越大,水质越好^[21]。

福建兴化湾丰富度指数四航次平均值为 2.807,根据上述评价标准,兴化湾水质为轻度污染。

在四个航次中,其中水质最好的出现在 9 月份

(3.202),属于清洁水质,水质最差的出现在 4 月份(2.089),属于轻度污染。7 月份和 2 月份的丰富度指数(d)平均值分别为 2.95 和 2.986,水质属于轻度污染范围。在调查的 15 个站位中,四航次平均值最大值出现在 5 号站位,其 d 值为 4.111,水质是清洁水质。最小值出现在 12 号站位,其 d 值为 1.854,水质为中度污染。其中 d 值大于 3 的站位有 3 个, d 值在 2~3 之间的站位有 10 个, d 值在 1~2 之间的站位有 2 个, d 值小于 1 的站位没有,水质最差的三个站位是 12、20、22 号站位。这个结果与香农-威纳多样性指数分析的结果相同。福建兴化湾大型底栖动物物种丰富度指数(d)值见表 4。

表 4 福建兴化湾大型底栖动物物种丰富度指数(d)

Tab. 4 Margalef's richness index of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

| 取样站位 | 2013 年 7 月 | 2013 年 9 月 | 2014 年 2 月 | 2014 年 4 月 | 四航次平均 |
|------|------------|------------|------------|------------|-------|
| 1 | 3.693 | 3.896 | 3.323 | 0.7578 | 2.917 |
| 3 | 3.636 | 3.177 | 2.673 | 1.806 | 2.823 |
| 5 | 4.066 | 4.34 | 5.581 | 2.457 | 4.111 |
| 6 | 3.736 | 3.728 | 1.162 | 3.186 | 2.953 |
| 8 | 3.462 | 3.119 | 4.969 | 1.924 | 3.369 |
| 10 | 3.189 | 3.461 | 2.86 | 2.175 | 2.921 |
| 11 | 3.057 | 4.679 | 4.641 | 2.404 | 3.695 |
| 12 | 2.085 | 3.177 | 1.243 | 0.9102 | 1.854 |
| 14 | 0.9102 | 3.607 | 3.403 | 3.177 | 2.774 |
| 15 | 2.731 | 2.817 | 2.628 | 1.567 | 2.436 |
| 17 | 2.404 | 2.708 | 2.729 | 2.885 | 2.682 |
| 20 | 1.477 | 2.569 | 2.569 | 1.365 | 1.995 |
| 22 | 3.634 | 1.82 | 2.003 | 0.8686 | 2.081 |
| 23 | 3.657 | 2.86 | 2.415 | 2.791 | 2.931 |
| 25 | 2.502 | 2.076 | 2.585 | 3.069 | 2.558 |
| 平均 | 2.949 | 3.202 | 2.986 | 2.090 | 2.807 |

2.6 均匀度指数(J')

利用均匀度指数评价水质污染程度,当 $J' > 0.5$ 水质为清洁水质,当 J' 在 0.5~0.3 之间时,水质为中度污染,当 $J' < 0.3$ 时,水质为重度污染^[22]。

福建兴化湾大型底栖动物均匀度指数平均值为 0.873,根据上述评价标准,福建兴化湾水质为清洁水质。其中,最大值出现在 8 号站位(0.948),最小值出现在 1 号站位(0.723),各站位均匀度指数最小值大于 0.5,所以,从均匀度指数来看,福建兴化湾全年水质为清洁水质。

从四个航次平行比较来看,9 月份水质最好(0.934),四月份水质最差(0.783),7 月份和 2 月份分

别为 0.904 和 0.872。各航次的水质变化规律与香农-威纳多样性指数和丰富度指数反应的变化规律相同。由于均匀度指数评价标准采用的是淡水评价标准,在水质反应上与前两者有出入。福建兴化湾大型底栖动物均匀度指数见表 5。

3 讨论

3.1 福建兴化湾大型底栖动物的种类组成的变化

历史上对于兴化湾大型底栖动物的研究报道仅见于 1984 年到 1985 年期间,李荣冠等^[13]的生态调查。与李荣冠等研究数据相比较,李荣冠等^[13]研究中平均

表 5 福建兴化湾大型底栖动物均匀度指数

Tab. 5 Pielou's evenness index of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

| 站点号 | 2013年7月 | 2013年9月 | 2014年2月 | 2014年4月 | 四航次平均 |
|-----|---------|---------|---------|---------|-------|
| 1 | 0.9752 | 0.9065 | 0.8136 | 0.1996 | 0.724 |
| 3 | 0.9165 | 0.9558 | 0.8741 | 0.3167 | 0.766 |
| 5 | 0.9147 | 0.9676 | 0.9556 | 0.7614 | 0.900 |
| 6 | 0.9389 | 0.936 | 0.5981 | 0.9826 | 0.864 |
| 8 | 0.93 | 0.9549 | 0.8795 | 0.8614 | 0.906 |
| 10 | 0.9524 | 0.9493 | 0.8577 | 0.8492 | 0.902 |
| 11 | 0.938 | 0.9427 | 0.8759 | 0.9671 | 0.931 |
| 12 | 0.9601 | 0.9558 | 0.9602 | 0.9183 | 0.949 |
| 14 | 0.9183 | 0.8685 | 0.84 | 0.9338 | 0.890 |
| 15 | 0.8987 | 0.9518 | 0.8624 | 0.3818 | 0.774 |
| 17 | 0.9671 | 0.828 | 0.9577 | 0.9796 | 0.933 |
| 20 | 0.59 | 0.9755 | 0.9755 | 0.7233 | 0.816 |
| 22 | 0.8454 | 1 | 0.8286 | 0.9372 | 0.903 |
| 23 | 0.878 | 0.863 | 0.9353 | 1 | 0.919 |
| 25 | 0.9488 | 0.9487 | 0.8665 | 0.9365 | 0.925 |
| 平均 | 0.873 | 0.905 | 0.934 | 0.872 | 0.783 |

栖息密度为 162 个/m², 平均生物量为 36.60 g/m²^[13], 平均栖息密度与本研究(311.67 个/m²)数据相差较大, 平均生物量与本研究(39.42 g/m²)相差较小, 分析认为主要原因是李荣冠等的研究中兴化湾大型底栖生物已鉴定有 314 种, 多毛类有 109 种, 其中多毛类占比例相对较少(34.7%), 本研究多毛类达到 43.9%, 而多毛类相较其他动物门类的个体质量较小。李荣冠等^[13]研究中的优势种为特矾沙蚕(*Euniphysa aculeata*), 双鳃内卷齿蚕(*Aglaophamus dibranchis*), 滑指矾沙蚕(*Eunice indica*), 波纹巴非蛤(*Paphia undulata*), 棒锥螺(*Turritella bacillum*), 弯六足蟹(*Hexapus anfractus*), 幽辟新短眼蟹(*Neoxeaopthalmus obscurus*), 棘刺锚参(*Protankyra bidentata*), 优势种除了多毛类还有软体动物、甲壳类等, 与本研究鉴定的优势种相差较大, 本研究的优势种主要是多毛类, 李荣冠等^[13]研究中的优势种棒锥螺(*Turritella bacillum*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)虽然在本研究中仍然出现, 但不再是优势种。

在与历史数据比较发现, 近 30 年来, 福建兴化湾的大型底栖动物在种类和数量上发生较大变化, 本论文认为可能造成的原因有以下几点: (1) 取样站位不同。李荣冠等^[13]的研究取样站位为 29 个, 在站位断面布局上与本论文取样有较大差别。(2) 生态环境的变化, 这是引起兴化湾大型底栖动物种群变化的主要原因。

福建兴化湾自然景观逐年递减, 兴化湾滩涂面积从 1959 年到 2000 年减少了 20.23%^[16]。在水质上, 兴化湾无机氮、活性磷酸盐等标准均超过二类水质标准, 悬浮物的含量超过其他海湾^[11]。而根据程建新等^[23]采用 PSR 概念模型对兴化湾生态系统退化评价分析, 兴化湾综合指数 2005 年和 2008 年分别为 0.63 和 0.59(0.61~0.80 轻度退化, 0.41~0.60 中度退化), 结果显示兴化湾生态系统退化, 而且 2008 年比 2005 年退化程度大。由于大型底栖动物由于物种的适应性不同, 多毛类的抗干扰能力强^[24], 优势明显, 适应的大型底栖动物大量繁殖成为优势种。

3.2 人类活动对兴化湾大型底栖动物的干扰

通常情况下, 清洁、良好的水域环境比较适合生物的生存, 生物种类数较多, 生存环境恶化或者水体受到污染后, 敏感物种被淘汰, 生存下来的生物个体数量大增, 通过生物多样性指数可在一定程度上反映环境的变化^[25-26]。本研究利用香农-威纳物种多样性指数和丰富度指数对生态环境质量进行了评价。在时间变化上, 香农-威纳多样性指数和丰富度指数均反映出 9 月份平均指数值最高, 4 月份平均指数值最低, 表明兴化湾 9 月份水质最好, 4 月份水质最差。

福建兴化湾大型底栖动物种类从 1984 年-1985 年调查中鉴定的 314 种^[13], 1990 年-1991 年鉴定的

227种^[16], 2005年-2006年鉴定的197种^[23], 到本研究鉴定的132种, 在近30年的经济发展变化过程中, 福建兴化湾大型底栖动物种类数量逐次递减, 本文认为主要原因是人类活动造成生态环境恶化有关。程建新等^[23]在对兴化湾环境评估中提到2008年兴化湾生态环境达到中度退化程度, 比2005年(轻度退化)退化严重, 海洋捕捞、围海造田活动的标准值都在0.5以下, 尤其是富营养化指数为0(0.6轻度退化, 0.4中度退化, 0极度退化)。由于围填海, 兴化湾自然景观在逐年递减。经调查研究发现近几年来, 20世纪50年代后围填海总面积约占整个海湾的19.62%, 自然景观性从1959年-2000年减少了20.23%^[16]。而兴化湾福清核电厂的使用, 导致冷却水进入受纳水体, 原有温度分布被改变, 水体中的生物群落、组成发生了相应的变化^[27]。在重金属污染方面, 福建兴化湾表面沉积物中重金属Pb、Zn、Cd已经超标, 受到污染, 分析污染原因主要是工农业排污^[17]。

参考文献:

- [1] 龚志军, 谢平, 阎云君. 底栖动物次级生产力研究的理论与方法[J]. 湖泊科学, 2001, 13(1): 79-88.
Gong Zhijun, Xie Ping, Yan Yunjun. Theories and Methods of studies on the secondary production of Zoobenthos[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, 13(1): 79-88.
- [2] 蒋万祥, 贾兴焕, 周淑婵, 等. 香溪河大型底栖动物群落结构季节动态[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 923-928.
Jing Wanxiang, Jia Xinghuan, Zhou Shuchan, et al. Seasonal dynamics of macrozoobenthos community structure in Xiangxi River [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 923-928.
- [3] Wang Xiaocheng, Li Xinzheng, Li Baoquan, et al. Summertime community structure of intertidal macrobenthos in Changdao Archipelago, Shandong Province, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2009, 27(3): 425-434.
- [4] Wang J, Lin H, He X, et al. Biodiversity and community structural characteristics of macrobenthos in the Chukchi Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 33(6): 82-89.
- [5] 辛俊宏. 胶州湾潮滩湿地大型底栖动物功能群研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Xin Junhong. Functional groups of macrozoobenthos in the intertidal flat of Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: the Ocean University of China, 2012.
- [6] 马骏, 付荣恕. 大型底栖动物生态学研究进展[J]. 山东农业科学, 2010 (2): 78-81.
Ma Jun, Fu Rongshu. Progress of ecology research on macrobenthos[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2010(2): 78-81.
- [7] 王宝强, 薛俊增, 庄骅, 等. 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5865-5874.
Wang Baoqiang, Xue Junzeng, Zhuang Hua, et al. Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 5865-5874.
- [8] 焦海峰, 施慧雄, 尤仲杰, 等. 渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 3928-3936.
Jiao Haifeng, Shi Huixiong, You Zhongjie, et al. Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3928-3936.
- [9] 仇建标, 彭欣, 谢起浪, 等. 洞头列岛潮间带大型底栖生物的时空分布及其多样性[J]. 水产学报, 2012, 36(4): 608-614.
Qiu Jianbiao, Peng Xin, Xie Qilang, et al. The spatial-temporal distribution and its biodiversity of intertidal macrobenthos in Dongtou Archipelago[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(4): 608-614.
- [10] 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 Yibo, Shou Lu, Zeng Jiangning, 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.
- [11] 蔡玉婷, 蔡建堤, 陈财珍. 福建兴化湾环境质量评价与分析[J]. 海洋开发与管理, 2013, 30(1): 59-62.
Cai Yuting, Cai Jianti, Chen Caizhen. Environmental quality assessment and analysis of Xinghua Bay, Fujian[J]. Marine Development and Management, 2013, 30(1): 59-62.
- [12] 刘育莎. 福建三沙湾、兴化湾饵料浮游动物主要生态特征及次级产量的初步估算[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
Liu Yusha. Studies of ecological characteristics of food zooplankton and estimation of secondary production in Sansha Bay and Xinghua Bay, Fujian Province[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- [13] 李荣冠, 江锦祥, 蔡尔西, 等. 兴化湾大型底栖生物生态研究[J]. 海洋学报, 1999, 21(5): 101-109.
Li Rongguan, Jiang Jinxiang, Cai Erxi, et al. Macrobenthic ecological study in the Xinghua Bay, Fujian[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1999, 21(5): 101-109.
- [14] 徐晓群, 曾江宁, 寿鹿, 等. 兴化湾浮游动物群落季节变化和水平分布[J]. 生态学报, 2010(3): 734-744.
Xu Xiaogun, Zeng Jiangning, Shou Lu, et al. Seasonal variation and horizontal distribution of zooplankton community in Xinghua Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(3): 734-744.
- [15] 闫新兴, 刘国亭. 福建兴化湾近岸地貌特征与泥沙来源分析[J]. 水道港口, 2013, 33(6): 469-474.

- Yan Xinxing, Liu Guoting. Analysis of geomorphic characteristics and sediment source of near-shore area in Xinghua Bay[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2013, 33(6): 469-474.
- [16] 马志远, 陈彬, 俞炜炜, 等. 福建兴化湾围填海湿地景观生态影响研究[J]. 台湾海峡, 2009, 28(2): 169-176.
- Ma Zhiyuan, Chen Bin, Yu Weiwei, et al. Impact of reclamation on wetland landscape ecology in Xinghua Bay[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2009, 28(2): 169-176.
- [17] 阮金山, 许翠娅, 罗冬莲. 福建兴化湾海水沉积物及水产生物体内重金属的分析与评价[J]. 热带海洋, 2000, 19(1): 52-57.
- Ruan Jinshan, Xu Cuiya, Luo Donglian. Assessment of heavy metals in sea water, surface sediments and fishery organisms at Xinghua Bay, Fujian Province [J]. Tropic Oceanology, 2000, 19(1): 52-57.
- [18] 杨青瑞, 陈求稳, 赵丹, 等. 漓江秋季大型底栖动物群落结构特征分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 10(3): 225-230.
- Yang Qingrui, Chen Qiuwen, Zhao Dan, et al. Autumn macroinvertebrate community structure in Lijiang River[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012, 10(3): 225-230.
- [19] 汤宪春. 烟台四十里湾大型底栖动物生态功能研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- Tang Xianchun. Study on Ecological functions of Macrobenthos in Yantai Sishili Bay[D]. The Graduate School of Chinese Agricultural Sciences Academy, 2011.
- [20] 巴桑, 普布, 马正学, 等. 西藏巴嘎雪湿地春季藻类群落特征研究[J]. 西藏大学学报, 2011(5): 1-16.
- Ba Sang, Pu Bu, Ma Zhengxue, et al. Characteristics of algae community of Bagarxue wetland during spring, in Lhasa valley[J]. Journal of Tibet University, 2011, 25(2): 1-16.
- [21] 张洁, 计勇, 麻夏, 等. 抚河干流浮游藻类群落调查及水质评价[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(2), 306-312.
- Zhang Jie, Ji Yong, Ma Xia, et al. Research on floating algae community and water quality assessment in the main stream of the Fu River[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(2): 306-312.
- [22] 吕光俊, 熊邦喜, 刘敏, 等. 不同营养类型水库大型底栖动物的群落结构特征及其水质评价[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5339-5349.
- Lu Guangjun, Xiong Bangxi, Yang Min, et al. The community structure of macrozoobenthos and water quality assessment on different trophic types of reservoirs[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5339-5349.
- [23] 程建新, 肖佳媚, 陈明茹, 等. 兴化湾海湾生态系统退化评价[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2012, 51(5): 944-950.
- Cheng Jianxin, Xiao Jiamei, Chen Mingru, et al. Ecosystem degradation assessment of Xinghua Bay[J]. Journal of Xiamen University (Natural science), 2012, 51(5): 944-950.
- [24] 王全超, 韩庆喜, 李宝泉. 辽宁獐子岛马牙滩潮间带及近岸海区大型底栖动物群落特征[J]. 2013, 21(1): 11-18.
- Wang Quanchao, Han Qingxi, Li Baoquan. Macrobenthic fauna in the intertidal and offshore areas of Zhangzi Island[J]. Biodiversity Science, 2013, 21(1): 11-18.
- [25] Piepenburg D, Ambrose W G, Brandt A, et al. Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water polynya (Greenland)[J]. Journal of Marine Systems, 1997, 10(1): 467-482.
- [26] Hu G K, Zhang Q T. Investigation of Macrobenthos in the Intertidal Zone of Tianjin and Discussion on Bioremediation[J]. Marine Science Bulletin, 2004, 6(2): 66-73.
- [27] 李静晶, 张永兴, 刘永叶, 等. 核电厂温排水混合区边缘的温升限值研究—以某核电厂为例[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(3): 414-417.
- LI Jingjing, Zhang Yongxing, Liu Yongye, et al. Temperature rise limits in the edge of mixing zone for thermal discharged from nuclear power plants—A case of an nuclear power plant[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(3): 414-417.

Species composition and biodiversity of macrofauna in Xinghua Bay, Fujian

DENG Yu-juan^{1, 2}, DONG Shu-gang¹, LIU Xiao-shou¹

(1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Marine Technical College, Qingdao 266001, China)

Received: Mar., 16, 2015

Key words: macrofauna; species composition; biodiversity; Xinghua Bay

Abstract: Species composition, biodiversity distribution pattern, and disturbance status of macrofauna were analyzed by quantitative investigations of macrobenthic community in July–September 2013 and February–April 2014 in Xinghua Bay, Fujian. Dominance index, Shannon–Wiener diversity index, Margalef’s richness index, and Pielou’s evenness index were used to analyze the species composition and biodiversity distribution pattern of macrofauna. In total, 132 species of macrofauna were identified in Xinghua Bay, Fujian, consisting of 58 species of polychaetes, 27 species of crustaceans, 33 species of mollusks, and 14 species of other phyla. The most dominant group was Polychaeta in the four cruises, which included *Nephtys polybranchia*, *N. oligobranchia*, *Mediomastus californiensis*, and *Lumbrineris heteropoda*. The average biomass of macrofauna in Xinghua Bay was 311.67 g/m² and the average density was 39.42 ind/m². The highest values of average biomass and density were observed in April 2014 (398 ind/m² and 63.23 g/m², respectively), while the lowest values were observed in July 2013 (252 ind/m² and 7.77 g/m², respectively). The biomass and density of macrofauna at different stations varied significantly in the studied area. The highest density was observed at Station 1 (738 ind/m²) and the lowest at Station 12 (90 ind/m²). The highest biomass was observed at Station 15 (108.17 g/m²) and the lowest at Station 22 (8.72 g/m²). The average values of the three biodiversity indices were 2.81 (Margalef’s richness index), 0.87 (Pielou’s evenness index), and 2.727 (Shannon–Wiener diversity index) and varied in different seasons. The highest values were observed in September 2013 (3.20, 0.93, and 3.12, respectively) and the lowest values in April 2014 (2.09, 0.78, and 2.05, respectively). The pattern of biodiversity indices indicated that the macrofauna communities were under disturbance in Xinghua Bay, Fujian.

(本文编辑: 康亦兼)