

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14296

## 柘林湾附近海域大型底栖动物物种多样性

舒黎明, 陈丕茂, 黎小国, 秦传新, 于杰, 周艳波, 袁华荣

中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站, 中国水产科学研究院海洋牧场技术重点实验室, 广东 广州 510300

摘要: 依据柘林湾附近海域 2013 年 2 月、5 月、8 月和 12 月的大型底栖动物的定量采样数据, 对该海域的大型底栖动物物种多样性进行研究。结果表明, 全年共出现大型底栖动物 89 种, 全年平均 Margalef 丰富度指数为 1.73, Shannon-Wiener 多样性指数为 1.84, Pielou 均匀度指数为 0.88; 单因素方差分析表明, 4 个季度的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数均不存在显著性差异; 丰度的  $k$ -优势度曲线表明, 4 个季度的多样性水平为冬>春≈秋>夏。R 型聚类结果表明, 丰富度指数、多样性指数和均匀度指数可以归为一类群; 曲线拟合表明多样性指数与丰富度指数之间、多样性指数与种类数之间、丰富度指数与种类数之间的相关性相对较高。Q 型聚类结果表明, 大致可将 28 个站位分成 3 类群或者 5 类群。

关键词: 物种多样性; 大型底栖动物; 聚类分析; 方差分析; 柘林湾

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0501-16

大型底栖动物是海洋生态系统的重要组成部分, 对海洋生态系统的物质循环和能量流动有着重要作用<sup>[1]</sup>。多数底栖生物长期生活在底泥中, 具有区域性强、迁移能力弱、回避污染能力差等特点, 因而对环境变化较为敏感, 常用于监测生态环境的变化<sup>[2]</sup>。应用大型底栖动物监测生物群落和生态环境的研究, 国外有较多的报道<sup>[3-5]</sup>, 国内也有较多的运用<sup>[6-8]</sup>, 大型底栖动物已成为群落和生态研究的重要组成部分。多样性指数能很好地反映底栖生物群落的变化, 在国内外被广泛地应用于监测海洋生物群落的变化<sup>[9-10]</sup>。

柘林湾为三面环山、一面环岛的半封闭海湾, 位于饶平县南部, 北靠黄冈河平原, 东倚柘林半岛, 南有海山岛、汛洲岛、西澳岛, 是广东省 12 个重要海湾之一, 水域面积 68 平方公里, 素有

“东方夏威夷”之称, 也是我国沿海 18 个重点海水养殖区之一。关于该海域的生物和生态已开展了较多研究, 有水质<sup>[11]</sup>、营养盐<sup>[12-14]</sup>、浮游动植物<sup>[15-17]</sup>和表层沉积物<sup>[18-19]</sup>等, 但关于柘林湾附近海域大型底栖动物知之甚少, 未见相关报道。为了更好地掌握柘林湾附近海域的生物群落和生态环境状况, 该海域大型底栖动物多样性和群落结构研究亟待开展。

本研究依据柘林湾附近海域 2013 年 4 季度的大型底栖动物调查资料, 开展该海域的大型底栖动物多样性研究, 采用方差分析对季节差异进行比较, 运用多层次聚类分析对多参数和多站位进行分类, 通过曲线拟合研究各参数相关性, 以期掌握柘林湾附近海域的生物群落和生态环境的变化, 为海湾生物多样性和生物群落的动态变化及演替研究提供基础数据。

收稿日期: 2014-07-12; 修订日期: 2014-09-30.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD18B02, 2012BAD18B01-2); 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 农业部南海渔业资源环境科学观测实验站开放课题(SSCS-201107, SSCS-201213).

作者简介: 舒黎明(1979-), 男, 硕士, 主要从事海洋渔业资源增殖与海洋牧场建设研究. Tel: 020-89103365; E-mail: shulim@scsfri.ac.cn

通信作者: 陈丕茂, 研究员. E-mail: cpmgd@scsfri.ac.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

在柘林湾附近海域设立 28 个站位(图 1), 分别在 2013 年 2 月 27 日至 3 月 1 日(冬季)、5 月 4—6 日(春季)、8 月 26—28 日(夏季)和 12 月 4—6 日(秋季)对这 28 个站位进行大型底栖动物定量采样, 单季度每个站位采集两次, 合并成 1 个样品, 4 季度共采集 112 个样品。底栖生物的采集、保存和分析按照《海洋调查规范——海洋生物调查》<sup>[20]</sup>执行。

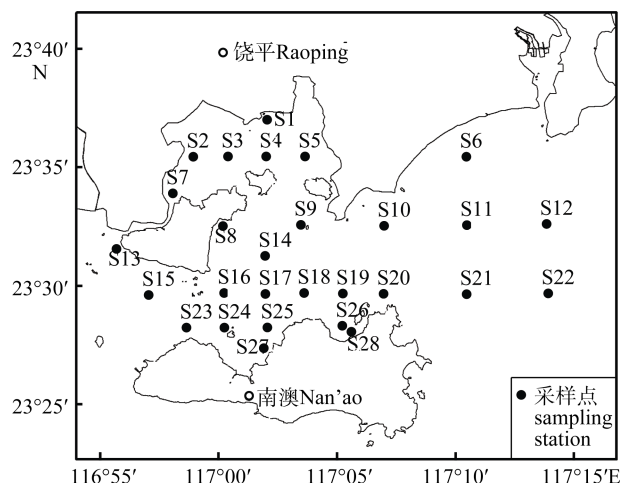


图 1 采样点示意图

Fig.1 Sketch map of sampling stations

### 1.2 数据处理及方法

在 Microsoft Excel 输入原始数据, 并在此基础上进行数据的转换, 输入 PRIME v5 中进行多样性参数的计算。采用 IBM SPSS Statistics V19 软件进行方差分析、聚类分析。具体计算和分析如下:

(1) 生物种类组成: 在鉴定种类的基础上, 按站次进行种数和个体数的统计, 并分别计算各站位和各季度的平均种类数和个体数。

(2) 优势种: 以相对重要性指数<sup>[21]</sup>(IRI)进行度量, 采用如下公式计算:

$$IRI = (f \cdot n / N + f \cdot w / W) \times 10000$$

式中,  $n$  为该种的个体数,  $w$  为该种的质量数,  $N$  为总个体数,  $W$  为总质量数,  $f$  为该种在各采样站出现的频率。

(3) 丰富度指数: 采用 Margalef 丰富度指数<sup>[22]</sup>:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

式中,  $D$  为丰富度指数,  $S$  为样品中的种类总数,  $N$  为生物个体数。

(4) 多样性指数: 采用 Shannon-Wiener 多样性指数<sup>[23]</sup>:

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

式中,  $H'$  为种类多样性指数,  $S$  为样品中的种类总数,  $P_i$  为第  $i$  种的个体数与总个体数的比值。

(5) 均匀度指数: 采用 Pielou 均匀度指数<sup>[24]</sup>:

$$J = H' / \log_2 S$$

式中,  $J$  为均匀度指数,  $H'$  为种类多样性指数,  $S$  为样品中的种类总数。

(6) 聚类分析: 采用层次聚类分析方法<sup>[25]</sup>, 对样本进行 Q 型聚类, 对变量进行 R 型聚类。

## 2 结果与分析

### 2.1 概况

**2.1.1 种类组成** 4 季度 112 站次调查, 共鉴定出大型底栖动物 9 门 56 科 89 种(附录 1), 其中软体动物 41 种, 占种类总数的 46.07%; 环节动物 26 种, 占种类总数的 29.21%; 棘皮动物和节肢动物各 7 种, 各占种类总数的 7.87%; 脊索动物 4 种, 占种类总数的 4.49%; 腔肠动物、纽形动物、线虫动物、蠕虫动物各 1 种, 各占种类总数的 1.12%。种类数排序为: 软体动物>环节动物>节肢动物=棘皮动物>脊索动物>腔肠动物=纽形动物=线虫动物=蠕虫动物。

**2.1.2 种类数** 种类数范围为 1~11 种, 种类数最多的出现在夏季 12 号站位和冬季 6 号站位, 较多站次只出现 1 种生物, 分别为夏季 9 号站位和秋季 22、24、26 号站位以及冬季 9、10、16 号站位(表 1)。

**2.1.3 个体数** 个体数范围为 1~77 个, 最多在春季 1 号站位, 最少在秋季 22、24 号站位和冬季 9 号站位(表 1)。

**2.1.4 丰富度指数** 丰富度指数范围为 0.25~3.79, 丰富度指数最高在夏季 12 号站位, 最低在夏季 5 号站位(表 1)。

表 1 柘林湾大型底栖动物群落相关参数  
Tab.1 Diversity parameters of macrobenthos in surrounding waters of Zhelin Bay

| 站位 station | 种类数<br>species number |               | 个体数<br>individual number |               | 丰富度指数<br>richness index |               | 多样性指数<br>diversity index |               | 均匀度指数<br>evenness index |               |
|------------|-----------------------|---------------|--------------------------|---------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
|            | 范围<br>range           | 平均<br>average | 范围<br>range              | 平均<br>average | 范围<br>range             | 平均<br>average | 范围<br>range              | 平均<br>average | 范围<br>range             | 平均<br>average |
| S1         | 3-7                   | 4.75          | 5-77                     | 24.25         | 1.12-2.28               | 1.50          | 1.07-2.50                | 1.64          | 0.38-0.97               | 0.81          |
| S2         | 4-4                   | 4.00          | 6-10                     | 8.00          | 1.30-1.67               | 1.47          | 1.76-1.92                | 1.84          | 0.88-0.96               | 0.92          |
| S3         | 2-3                   | 2.50          | 4-7                      | 5.25          | 0.51-1.44               | 0.99          | 0.59-1.50                | 1.13          | 0.59-0.95               | 0.85          |
| S4         | 3-6                   | 4.50          | 4-10                     | 6.50          | 1.44-2.17               | 1.88          | 1.50-2.37                | 2.01          | 0.92-0.96               | 0.95          |
| S5         | 2-6                   | 4.00          | 5-52                     | 19.75         | 0.25-2.09               | 1.31          | 0.52-2.19                | 1.53          | 0.52-0.94               | 0.78          |
| S6         | 3-11                  | 7.00          | 5-36                     | 19.00         | 1.24-3.69               | 2.14          | 1.37-3.32                | 2.32          | 0.81-0.96               | 0.87          |
| S7         | 2-6                   | 4.25          | 4-11                     | 8.50          | 0.72-2.09               | 1.48          | 0.81-2.48                | 1.86          | 0.81-0.96               | 0.92          |
| S8         | 2-8                   | 5.75          | 3-69                     | 22.50         | 0.91-3.08               | 2.02          | 0.92-2.85                | 1.91          | 0.42-1.00               | 0.82          |
| S9         | 1-4                   | 2.25          | 1-27                     | 12.75         | 0.91-1.82               | 1.37          | 1.09-1.59                | 1.34          | 0.54-1.00               | 0.77          |
| S10        | 1-6                   | 3.75          | 3-16                     | 7.50          | 0.91-2.40               | 1.71          | 0.92-2.50                | 1.68          | 0.63-0.97               | 0.84          |
| S11        | 2-9                   | 4.75          | 2-10                     | 5.25          | 1.44-3.47               | 2.21          | 1.00-3.12                | 1.99          | 0.95-1.00               | 0.98          |
| S12        | 6-11                  | 8.25          | 6-14                     | 9.75          | 2.79-3.79               | 3.20          | 2.59-3.32                | 2.94          | 0.96-1.00               | 0.98          |
| S13        | 2-4                   | 3.25          | 3-11                     | 6.00          | 0.83-2.16               | 1.40          | 0.92-2.00                | 1.48          | 0.69-1.00               | 0.89          |
| S14        | 5-7                   | 6.00          | 8-15                     | 12.25         | 1.48-2.89               | 2.07          | 1.56-2.75                | 2.26          | 0.67-0.98               | 0.87          |
| S15        | 2-6                   | 3.75          | 2-9                      | 6.25          | 0.46-2.57               | 1.63          | 0.50-2.52                | 1.57          | 0.50-1.00               | 0.86          |
| S16        | 1-4                   | 2.50          | 2-17                     | 6.50          | 1.06-1.44               | 1.25          | 1.00-1.52                | 1.22          | 0.57-1.00               | 0.84          |
| S17        | 2-4                   | 3.50          | 3-13                     | 7.25          | 0.91-1.67               | 1.32          | 0.92-1.92                | 1.63          | 0.92-0.96               | 0.93          |
| S18        | 4-5                   | 4.25          | 4-9                      | 5.50          | 1.37-2.49               | 2.04          | 1.66-2.32                | 1.99          | 0.83-1.00               | 0.96          |
| S19        | 5-7                   | 5.75          | 6-18                     | 11.25         | 1.89-2.23               | 2.06          | 2.24-2.40                | 2.31          | 0.85-0.97               | 0.92          |
| S20        | 4-7                   | 5.50          | 5-13                     | 9.00          | 1.86-2.50               | 2.09          | 1.92-2.66                | 2.32          | 0.92-0.99               | 0.95          |
| S21        | 2-7                   | 5.00          | 4-13                     | 8.75          | 0.72-2.34               | 1.79          | 0.81-2.60                | 1.93          | 0.81-0.94               | 0.87          |
| S22        | 1-8                   | 4.25          | 1-47                     | 14.75         | 1.44-2.06               | 1.77          | 1.50-2.28                | 2.00          | 0.76-0.96               | 0.89          |
| S23        | 3-5                   | 4.00          | 5-42                     | 20.50         | 0.54-1.86               | 1.22          | 0.32-1.92                | 1.36          | 0.20-0.96               | 0.66          |
| S24        | 1-5                   | 3.75          | 1-7                      | 5.00          | 1.86-2.06               | 1.99          | 1.92-2.24                | 2.13          | 0.96-0.96               | 0.96          |
| S25        | 2-6                   | 4.00          | 3-30                     | 11.00         | 0.91-2.40               | 1.58          | 0.92-2.41                | 1.60          | 0.65-1.00               | 0.87          |
| S26        | 1-6                   | 4.00          | 2-11                     | 6.00          | 1.82-2.40               | 2.10          | 1.59-2.50                | 2.15          | 0.92-1.00               | 0.96          |
| S27        | 2-4                   | 3.25          | 5-20                     | 14.00         | 0.33-1.86               | 1.01          | 0.47-1.92                | 1.35          | 0.47-0.96               | 0.78          |
| S28        | 3-6                   | 4.25          | 5-9                      | 6.50          | 1.24-2.28               | 1.73          | 1.37-2.50                | 1.91          | 0.87-0.97               | 0.93          |
| 平均 average | 3.79-4.96             | 4.38          | 7.36-16.18               | 10.70         | 1.60-1.89               | 1.73          | 1.69-1.95                | 1.84          | 0.85-0.92               | 0.88          |

**2.1.5 多样性指数** 多样性指数范围为 0.32~3.32, 最高在夏季 12 号站位, 最低在秋季 23 号站位(表 1)。

**2.1.6 均匀度指数** 均匀度指数范围为 0.20~1.00, 较多站次均匀度指数达到最大值 1, 分别为春季 8、9、12、16 号站位, 夏季的 13、18 号站位, 秋季 11、15、18、25 号站位以及冬季 11、18、26 号站位, 均匀度指数最低在秋季 23 号站位(表 1)。

**2.2 季节变化**

**2.2.1 种类数** 单季度出现的总种类数分别为:

春 46 种、夏 52 种、秋 48 种、冬 42 种, 由高到低依次为夏、秋、春、冬, 年度平均总种类数为 47 种。单季度单站位的平均种类数范围为 3.79~4.96 种, 由高到低依次为夏、春、冬、秋, 年度单站位平均种类数为 4.38 种。

**2.2.2 个体数** 单季度平均个体数范围为 7.36~16.18 个, 由高到低依次为夏、春、秋、冬, 年度平均个体数为 10.70 个。

**2.2.3 丰富度指数** 单季度平均丰富度指数范围

为 1.60~1.89, 由高到低依次为冬、春、夏、秋, 年度平均丰富度指数为 1.73。

**2.2.4 多样性指数** 单季度平均多样性指数范围为 1.69~1.95, 由高到低依次为冬、夏、春、秋, 年度平均多样性指数为 1.84。

**2.2.5 均匀度指数** 单季度平均均匀度指数范围为 0.85~0.92, 由高到低依次为冬、春、秋、夏, 年度平均均匀度指数为 0.88。

**2.2.6 季度差异性和多样性水平变化** 比较 4 个季度的多样性参数, 丰富度指数和多样性指数均为冬季最大, 秋季最小; 均匀度指数冬季最大, 表现出一定的季节性差异。分别对 4 个季度的丰富度指数、多样性指数、均匀度指数进行了差异性分析(单因素方差分析<sup>[25-26]</sup>), 方差分析检验的相伴概率分别为 0.56、0.33 和 0.43, 均大于显著性水平 0.05, 表明 4 个季度的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数没有显著性差异。

丰度的  $k$ -优势度曲线<sup>[27-28]</sup>(图 2)表明, 各季度种类的丰度组成变化情况基本一致, 夏季处于最高位, 春秋两季大致相当, 处于中间位置, 冬季处于最低位置。4 个季度各站位的第一优势种所占比率由高到低依次为夏(30.46%)、秋(21.18%)、春(21.12%)、冬(12.14%)。前 4 个种类累计优势度由高到低依次为夏(60.26%)、春(54.13%)、秋(52.54%)、冬(38.83%), 累计优势度达到 50% 的种类数由高到低分别为冬(7 种)、秋(4 种)、春(4 种)、夏(3 种)。单一种的优势种地位越突出、主导群落的

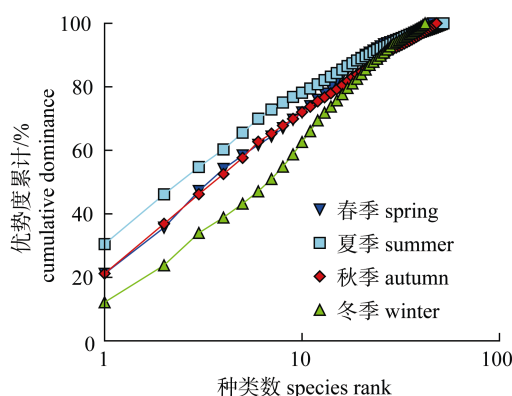


图 2 各季度物种丰度的  $k$ -优势度曲线

Fig. 2  $k$ -dominance curves of abundance in four seasons

种类越少, 则群落的多样性水平越低<sup>[29]</sup>, 根据丰度的  $k$ -优势度曲线判断, 4 季度的多样性水平为: 冬 > 春 ≈ 秋 > 夏。

## 2.3 站位变化

**2.3.1 种类数** 对 28 个站位的调查中, 单站位出现的种类总数范围为 7~24 种, 最高出现在 12 号站位, 最低出现在 27 号站位; 单站位出现种类总数平均为 13.46 种。

单站位平均种类数范围为 2.25~8.25 种, 最高出现在 12 号站, 最低出现在 9 号站位; 单站位平均种类数为 4.38 种。

28 站位 4 季度总种类数和单季度平均种类数呈现相一致的趋势, 即总种类数多的站位其平均种类数也较多; 但总种类数并不等于平均种类数与采样次数的乘积, 而是线性相关(图 3), 主要是因为统计总种类数时对多次(多季度)出现的种类按照一种计数, 因而总种类数小于平均种类数和采样次数的乘积。

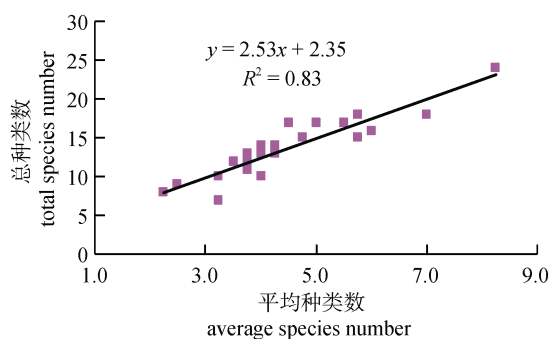


图 3 各站位总种类数和平均种类数的关系

Fig. 3 Relationship between average species number and total species number in each station

**2.3.2 丰富度指数** 平均丰富度指数变动范围为 0.99~3.23, 平均为 1.73, 最大出现在 S12 号站位, 最小出现在 S3 号站位。

**2.3.3 多样性指数** 平均多样性指数变动幅度较大, 在 1.13~2.94, 平均为 1.84, 最大出现在 S12 号站位, 最小出现在 S3 号站位;

**2.3.4 均匀度指数** 均匀度指数分布范围也较大, 在 0.66~0.98, 平均为 0.88, 最大出现在 S11 号站位, 最低出现在 S23 号站位。

## 2.4 参数相关性

根据 28 站位 4 个季度各参数的平均值进行曲线拟合(图 4), 得到拟合度较高的有多样性指数与丰富度指数之间的关系( $R^2=0.88$ , 图 4C)、多样性指数与种类数之间的关系( $R^2=0.76$ , 图 4A)、丰富度指数与种类数之间的关系( $R^2=0.70$ , 图 4A)。拟合度处

于中间水平的有均匀度指数与多样性指数之间的关系( $R^2=0.45$ , 图 4D)、均匀度指数与个体数之间关系( $R^2=0.45$ , 图 4B)、均匀度指数与丰富度指数之间关系( $R^2=0.41$ , 图 4c); 其他曲线(个体数与种类数、均匀度指数与种类数、丰富度指数与个体数、多样性指数与个体数)拟合度较低( $R^2<0.20$ )。

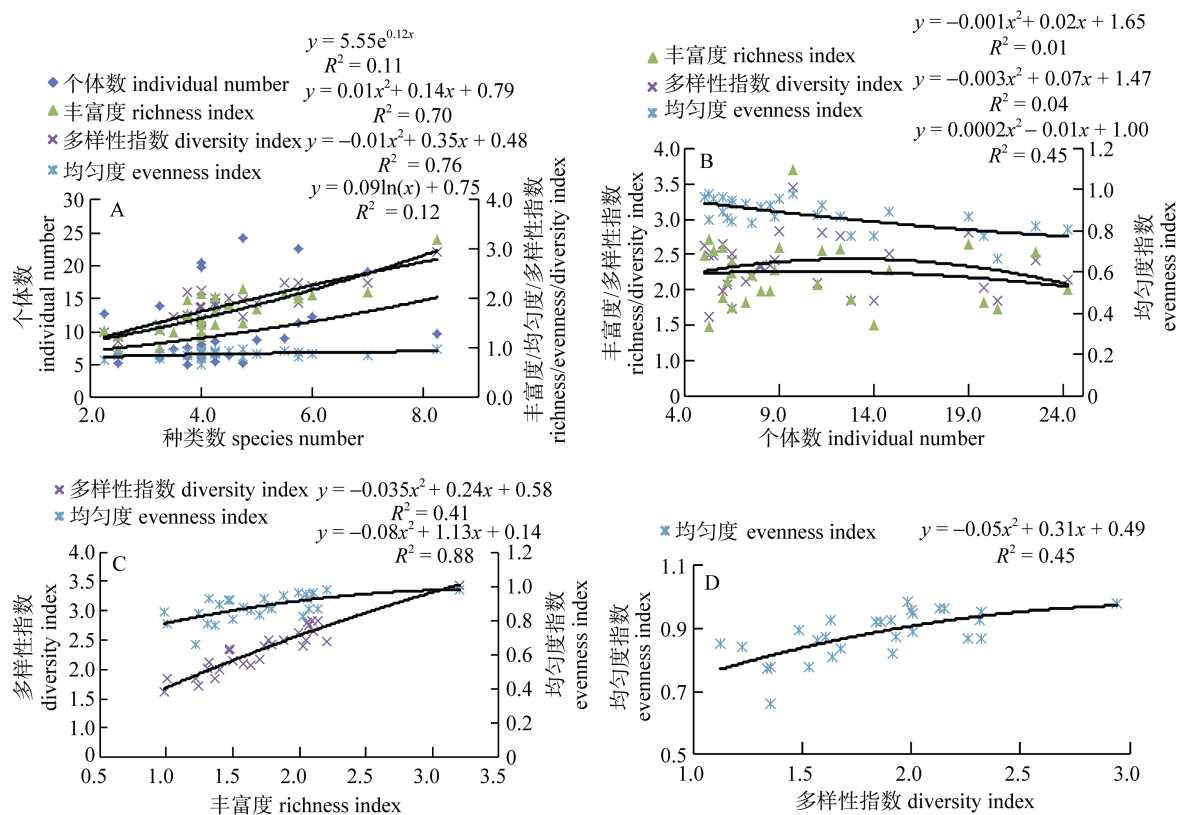


图 4 28 站位 5 个物种多样性参数的相关性

Fig.4 Correlation of 5 diversity parameters at 28 stations

## 2.5 参数聚类

为了研究各参数之间的相关性和类别, 对各参数进行系统 R 型聚类分析。聚类方法是组间联接方法, 以其中的平方欧氏距离(Euclidean distance)计算各变量之间的距离, 各参数根据站位的平均值分别计算距离。聚类结果如图 5 和表 2 所示, 丰富度指数、多样性指数、均匀度指数距离最近, 其次是种类数, 最后是个体数。5 参数可以从 2 类群细分到 4 类群: 2 类群(表 2 中的 2 群集)分别是丰富度指数-多样性指数-均匀度指数-种类数为一类群, 个体数为一类群; 3 类群(表 2 中

的 3 群集)分别是丰富度指数-多样性指数-均匀度指数为一类群, 种类数为一类群, 个体数为一类群; 4 类群(表 2 中的 4 群集)分别是丰富度指数-多样性指数为一类群, 均匀度指数为一类群, 种类数为一类群, 个体数为一类群。

丰富度指数、多样性指数和均匀度指数三者的距离相同(图 5), 同时, 个体数与种类数为直接测得的参数, 丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均由个体数与种类数计算得到, 将这 3 个指数归为一类群较为合适, 因而, 将 5 个参数分成 3 类群较为合理, 若要对丰富度指数、多样性指数、

均匀度指数继续细分, 则丰富度指数-多样性指数为一类群, 均匀度指数为一类群。

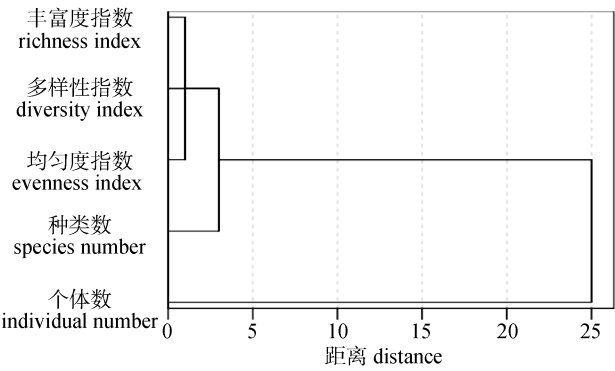


图 5 5 个多样性参数聚类树状图  
Fig.5 Clustering dendrogram of 5 diversity parameters

2.6 降价站位聚类

对各站位的 4 季度平均参数(根据参数聚类分析结果分成 3 类群, 选择了 3 类群的代表参数种类数、个体数和多样性指数)进行系统 Q 型聚类分析, 聚类前对数据进行标准化处理(标准化到全距从 0 到 1)。结果如图 6, 28 站位根据计算的距离可以有多种分类, 比较 2~6 类群的结果, 分成 3 个或 5 个类群较合理(图 7 中距离为 15 和 8 这两处的分类, 距离差异较明显)。

按照 3 类群分类, 第 3 类群各参数的平均值与第 1 类群和第 2 类群各参数平均值相差均很大, 第 1 类群和第 2 类群的平均参数中, 种类数、个体数、均匀度指数差别较大, 但丰富度指数和多

表 2 5 个多样性参数聚类结果  
Tab.2 Cluster memberships of 5 diversity parameters

| 集群 cluster      | 种类数<br>species number | 个体数<br>individual number | 丰富度指数<br>richness index | 多样性指数<br>diversity index | 均匀度指数<br>evenness index |
|-----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 4 群集 4 clusters | 1                     | 2                        | 3                       | 3                        | 4                       |
| 3 群集 3 clusters | 1                     | 2                        | 3                       | 3                        | 3                       |
| 2 群集 2 clusters | 1                     | 2                        | 1                       | 1                        | 1                       |

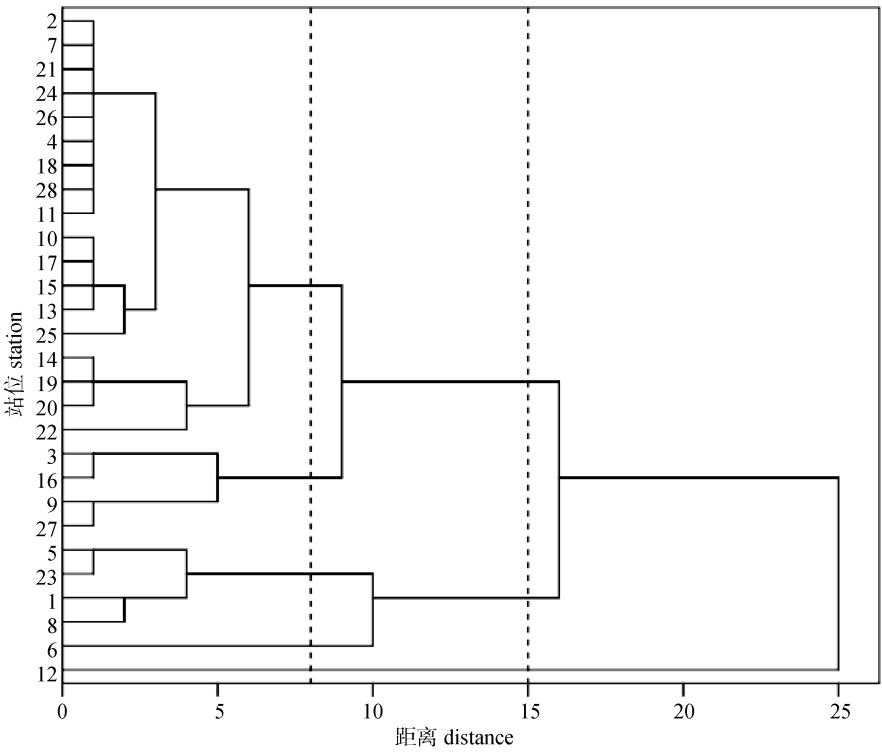


图 6 各站位聚类树状图  
Fig.6 Clustering dendrogram of 28 stations

样性指数相差不大; 3 类群的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数高低排序相一致, 均为 3 类群>2 类群>1 类群(表 3)。按照 5 类群分类, 第 3 类群和第 2 类群(这两类群合并即为 3 类群里的第 2 类群)的差别主要体现在种类数、丰富度指数、多样性指数; 第 1 类群和第 4 类群(这两类群合并即为 3 类群里的第 1 类群)的差别也主要体现在种类数、丰富度指数和多样性指数, 5 类群的多样性指数和丰富度指数高低排序相一致, 为 5 类群>4 类群>2 类群>1 类群>3 类群, 均匀度指数高低排序为 5 类群>2 类群>4 类群>3 类群>1 类群(表 4)。

按 3 类群分析, 3 类群属于较高多样性水平, 1 类群属于较低多样性水平, 2 类群属于中间水

平, 且 1 类群和 2 类群多样性水平差距相对较小。按 5 类群分析, 4 和 5 类群属于较高多样性水平, 1 和 3 类群属于较低多样性水平, 2 类群属于中间水平。

2.7 优势种

表 5 是 4 个季度的优势种( $IRI \geq 100$ ), 各季度出现的优势种类数分别为春季(5 种)、夏季(6 种)、秋季(5 种)、冬季(4 种), 平均优势种类数为 5 种, 出现优势种类数最多的为夏季。4 季度调查共有 8 种生物成为不同航次的优势种, 两季度以上均为优势种的种类有 6 种, 占全年优势种的 75%, 且春、秋、冬 3 季度的第一优势种均为同一种类, 这表明柘林湾附近海域的优势种组成较为稳定。

表 3 28 个站位分成 3 类群的多样性参数  
Tab.3 Average diversity parameters of 3 clusters from 28 stations

| 群集<br>cluster | 包含站位<br>station included | 种类数<br>species number | 个体数<br>individual number | 丰富度<br>richness index | 多样性指数<br>diversity index | 均匀度<br>evenness index |
|---------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1             | 1, 5, 8, 6, 23           | 5.10                  | 21.20                    | 1.64                  | 1.75                     | 0.79                  |
| 2             | 其他 others                | 4.05                  | 8.35                     | 1.68                  | 1.80                     | 0.90                  |
| 3             | 12                       | 8.25                  | 9.75                     | 3.20                  | 2.94                     | 0.98                  |

表 4 28 个站位分成 5 类群的多样性参数  
Tab.4 Average diversity parameters of 5 clusters from 28 stations

| 集群<br>cluster | 包含站位<br>station included | 种类数<br>species number | 个体数<br>individual number | 丰富度<br>richness index | 多样性指数<br>diversity index | 均匀度<br>evenness index |
|---------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1             | 1, 5, 8, 23              | 4.63                  | 21.75                    | 1.51                  | 1.61                     | 0.77                  |
| 2             | 其他 others                | 4.36                  | 8.07                     | 1.80                  | 1.93                     | 0.92                  |
| 3             | 3, 9, 16, 27             | 2.63                  | 9.63                     | 1.15                  | 1.26                     | 0.81                  |
| 4             | 6                        | 7.00                  | 19.00                    | 2.14                  | 2.32                     | 0.87                  |
| 5             | 12                       | 8.25                  | 9.75                     | 3.20                  | 2.94                     | 0.98                  |

表 5 柘林湾附近海域大型底栖动物各季度优势种  
Tab.5 Dominant species of macrobenthos in four seasons in surrounding waters of Zhelin Bay

| 种 species                                             | 春季 spring | 夏季 summer | 秋季 autumn | 冬季 winter |
|-------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 鳞腹沟虫 <i>Scolecopsis squamata</i>                      | 18        | 117       | 92        | 56        |
| 背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i> Sars                 | 5         | 33        | 252       | 123       |
| 梳鳃虫 <i>Terebellides stroemii</i> Sars                 | 110       | 436       | 37        | 82        |
| 棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i> Kiener                 | 462       | 188       | 152       | 455       |
| 波纹巴非蛤 <i>Paphia (Paratapes) undulata</i> (Born)       | 685       | 455       | 1131      | 1571      |
| 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams et Reeve) | 210       | 15        | 421       | 412       |
| 线虫 <i>Enoplus</i> sp.                                 | 602       | 1635      | 421       | 412       |
| 短吻铲英螯 <i>Listriolobus brevirostris</i> Chen et Yeh    | 8         | 1722      | 563       | 21        |

### 3 讨论

#### 3.1 季节差异

单因素方差分析表明,四季度的多样性参数均不存在显著性差异,说明柘林湾大型底栖动物多样性季节变化较小,这与柘林湾三面环山、一面环岛,属于半封闭海域,水动力条件变化不大有关,体现了柘林湾各季生态环境的相对稳定性。

丰富度指数由高到低排序为冬、春、夏、秋,多样性指数由高到低排序为冬、夏、春、秋,均匀度指数由高到低排序为冬、春、秋、夏,3种指数高低排序在春夏秋三季存在差别,但在冬季均处于最高水平;丰度的  $k$ -优势度曲线表明多样性水平为冬>春≈秋>夏,冬季也处于最高水平,这表明柘林湾大型底栖动物的多样性水平在全年相对稳定的状况下存在一定的季节变化,表现为多样性水平冬季较高,其他季节相对较低且春秋两季相差不大的特征。导致多样性水平季节变化的因素有降水的影响<sup>[29]</sup>,也有环境质量和水动力的综合作用<sup>[30]</sup>。柘林湾海域地处亚热带气候地区,季节变化明显,所导致的底温变化较大,同时,年度降雨分布不均,导致的水动力变化较大,因而,柘林湾大型底栖动物的多样性季节变化应是降雨导致水动力变化和气候导致的底温变化共同作用的结果。本研究结果与大亚湾多样性水平季节变化<sup>[29]</sup>(冬<春<夏<秋)存在着明显不同,这种不同是否由不同水域引起有待于进一步研究。

#### 3.2 站位差异

聚类分析结果表明,按多样性水平可以将 28 站位聚类为 3 类群和 5 类群,多样性水平均存在着较为明显的差异,按 3 类群分析,3 类群属于较高多样性水平,1 类群属于较低多样性水平,2 类群属于中间水平,且 1 类群和 2 类群多样性水平差距相对较小。按 5 类群分析,4 和 5 类群属于较高多样性水平,1 和 3 类群属于较低多样性水平,2 类群属于中间水平。综合聚类结果和多样性参数的大小分析表明,6 站位和 12 站位的多样性水平相对较高,1、3、5、8、9、16、23 和 27 站位的多样性水平相对较低,其他站位的多样性处于中

间水平。

6 站位和 12 站位的种类数、丰富度指数、多样性指数相对较高,尤其是 12 站位,丰富度指数、多样性指数和均匀度指数以及种类数均远高于其他站位,大型底栖动物变化的主要影响因子为底质和温度<sup>[31]</sup>,导致 6 站位和 12 站位的多样性水平高于其他站位水平的原因应与这两个站位相对处于水域外部,底质稳定,温度变化较小,水动力学变化较低有关。5 号和 8 号站位捕获较多线虫,9 号站位捕获较多短吻铲荚蛭,16 号站位捕获较多棒锥螺,优势种突出导致多样性水平较低,这几种生物的分布主要与底质和底温(捕获时间主要集中在夏季)有关,因而,这几个站位的多样性水平也主要由底质和底温决定;此外,柘林湾的海域养殖状况也对各站位的多样性水平影响较大,1 号站位捕获较多菲律宾蛤仔,23 和 27 号站位捕获较多波纹巴非蛤,这两种软体动物是柘林湾海域的重要养殖对象,养殖活动导致了这几个站位的优势种突出,多样性水平较低。3 号站位多样性水平较低的原因是各季节捕获种类少和秋季优势种突出,优势种为凸壳肌蛤,也属于该海域的养殖对象,因而,3 号站位多样性水平主要受养殖、底质和底温的共同作用。

#### 3.3 聚类分析

对站位进行 Q 型聚类分析,对参数进行 R 型聚类分析,两种分析均属于层次聚类分析。对站位的 Q 型聚类分析,目的是比较各站位多样性水平的不同,按照多样性水平对站位分类,聚类分析应注意所选择的参数能否反映所要聚类的特征,即选择聚类的参数要求能代表多样性水平,因而对参数进行了 R 型聚类分析,对参数的 R 型聚类分析目的是研究各参数之间的相关性和类别,为站位聚类选取参数提供依据,本研究对参数的 R 型聚类表明将 5 参数分成 3 类群较为合适,因而在对站位进行 Q 型聚类分析时只需选择 3 个参数进行聚类。

聚类分析是一种探索性的分析,在分类的过程中,不必事先给出分类标准,聚类分析能从样本数据出发,自动分类,根据选择的参数、聚类方

法、计算距离方法的不同, 聚类得到的结果也会不同。本研究中, 根据参数的 R 型聚类分析结果, 选择了种类数、个体数和多样性指数这 3 个代表多样性水平的参数进行距离的计算, 聚类方法采用组间联接方法, 计算距离的方法采用平方欧氏距离。聚类分析时应注意所选择的变量是否存在数量级上的差别, 如果一个样本包含不同数量级的变量, 则应对变量进行标准化处理, 然后再进行聚类<sup>[25]</sup>, 考虑到选择参数数量级不同, 在对站位的 Q 型聚类分析中, 聚类前对数据进行标准化到全距从 0 到 1 的处理。

由于聚类分析是一种探索分析, 只要指定聚类的类群数, 均能得到结果, 因而得到类群的个数可以有多个, 这就要求对多个聚类结果进行比较, 结合各类群实际代表的意义以确定分类。本研究对 5 参数分析了 2 类群~4 类群的结果, 认为分成 3 类群较为合适, 对 28 站位分析了 2 类群~6 类群的结果, 认为分成 3 类群或 5 类群较为合适。

### 3.4 参数相关性

在进行曲线拟合时, 本研究选择了指数、线性、对数、多项式、幂等多种参数关系进行拟合, 选择了拟合度最高的一种代表各参数之间的关系, 如多样性指数与丰富度指数为多项式关系, 个体数与种类数之间关系为指数关系, 均匀度与种类数之间为对数关系。对 5 种参数的曲线拟合, 得到拟合度相对较高的有多样性指数与丰富度指数之间的关系、多样性指数与种类数之间的关系、丰富度指数与种类数之间的关系。多样性指数和丰富度指数与种类数的相关性均较大, 受种类数的影响明显, 这与多样性指数和丰富度指数可聚集到同类的聚类结果相一致; 而均匀度指数的变化, 则受到种类数和个体数的共同影响。

### 参考文献:

- [1] Shen G Y, Huang L F, Guo F, et al. Marine Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2010: 40-46. [沈国英, 黄凌风, 郭丰, 等. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社. 2010: 40-46.]
- [2] Kroncke I. Long-term change in North Sea benthos[J]. Sencken Bergiana Marit, 1995, 26(12): 73-80.
- [3] Borja A, Franco J, Perez V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments[J]. Mar Poll Bull, 2000, 40(12): 1100-1114.
- [4] Grall J, Glémarec M. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest[J]. Estuar Coast Shelf Sci, 1997, 44: 43-53.
- [5] Rakocinski C F. Effects of sediment contaminants and environmental gradients on macrobenthic community trophic structure in Gulf of Mexico estuaries[J]. Estuar Coasts, 2012, 23(3): 411-424.
- [6] Huo T B, Cui X W, Jiang Z F, et al. Health assessment of Hailaer River in Northeast China based on the Benthic Index of Biotic Integrity on stream macrozoobenthos[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(9): 2510-2516. [霍堂斌, 崔晓文, 姜作发, 等. 应用大型底栖动物完整性指数评价海拉尔河健康[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2510-2516.]
- [7] Zhou R, Qin X B, Peng S T, et al. Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 50-58. [周然, 覃雪波, 彭士涛, 等. 渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 20-58.]
- [8] 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. [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.]
- [9] Luo X X, Yang J Q. Progress in researches on benthic indices of assessing marine ecosystem health[J]. Marine Science Bulletin, 2009, 28(3): 106-112. [罗先香, 杨建强. 海洋生态系统健康评价的底栖生物指数法研究进展[J]. 海洋通报, 2009, 28(3): 106-112.]
- [10] Cai L Z, Li H M, Lin P, et al. Analysis of environmental effect and polychaete quantitative variations on intertidal mudflat in Shenzhen Estuary[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2001, 40(3): 741-750. [蔡立哲, 厉红梅, 林鹏, 等. 深圳河口潮间带泥滩多毛类的数量变化及环境影响[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 741-750.]
- [11] Lin X P, Huang C J, Du H, et al. Comprehensive assessment model of seawater quality in Zhelin Bay based on Improved Bp Neural Network[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2004, 34(11): 76-83. [林小苹, 黄长江, 杜虹, 等. 基于改进 BP 神经网络的柘林湾水质综合评价模型[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(11): 76-83.]
- [12] Zhou K, Liu Y, Jin X L, et al. The community of phytoplankton and nutrient distribution in Zhelin Bay[J]. Fisheries

- Science, 2004, 23(10): 27–31. [周凯, 刘悦, 金兴良, 等. 粤东柘林湾浮游植物群落组成及水体营养盐分布特征[J]. 水产科学, 2004, 23(10): 27–31.]
- [13] Huang C J, Du H, Chen S W, et al. The temporal and spatial distribution of the nitrogen, phosphate and silicate in Zhelin Bay: 2001–2002[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, 35(1): 21–29. [黄长江, 杜虹, 陈善文, 等. 2001–2002 年柘林湾大量营养盐的时空分布[J]. 海洋与湖沼, 2004, 35(1): 21–29.]
- [14] Peng X, Ma S W, Chen H G, et al. Spatial distribution and assessment of nutrients in marine ranching in Zhelin Bay-Nanao Island in summer[J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(6): 27–35. [彭璇, 马胜伟, 陈海刚, 等. 夏季柘林湾-南澳岛海洋牧场营养盐的空间分布及其评价[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 27–35.]
- [15] Yao S H, Huang C J. An ecological study on zooplankton in a large-scale mariculture Zhelin Bay, Eastern Guangdong[D]. Shantou: Shantou University, 2005. [姚少慧, 黄长江. 粤东大规模增殖养殖区柘林湾浮游动物生态学的研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2005.]
- [16] Du H, Huang C J, Chen S W, et al. Ecological study on phytoplankton in Zhelin Bay, eastern Guangdong: 2001–2002[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2003, 34(6): 604–615. [杜虹, 黄长江, 陈善文, 等. 2001–2002 年粤东柘林湾浮游植物的生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 604–615.]
- [17] Wang C, Huang C J. A long-term ecological study on phytoplankton in a large-scale mariculture-Zhelin Bay, Eastern Guangdong[D]. Shantou: Shantou University, 2006. [王超, 黄长江. 粤东大规模增殖养殖区柘林湾浮游植物生态学的长期研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2006.]
- [18] Li J, Dong Q X, Du H, et al. Spatial and temporal distributions of nitrogen and phosphorus in surface sediments of Zhelin Bay[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(4): 63–71. [李金, 董巧香, 杜虹, 等. 柘林湾表层沉积物中氮和磷的时空分布[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(4): 63–71.]
- [19] Qiao Y M, Huang C J. A primary study on the distribution and pollution of heavy metals in the surficial sediments of Zhelin Bay[J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(3): 41–45. [乔永民, 黄长江. 柘林湾表层沉积物重金属分布及污染初步评价[J]. 海洋科学, 2006, 30(3): 41–45.]
- [20] State Oceanic Administration. GB/T 12763.6–2007 Specifications for oceanographic survey Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. [国家海洋局. GB/T 12763.6–2007 海洋调查规范 第 6 部分 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [21] Pianka E R. Ecology of the agamid lizard *amphibolus isolepis* in Western Austria[J]. *Copeia*, 1971, 3: 527–536.
- [22] Margalef R. Information theory in ecology[J]. *Gen systemat*, 1958, 3: 36–71.
- [23] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163: 688.
- [24] Pielou E C. Shannon's formula as a measure of species diversity: Its use and misuse[J]. *Am Nat*, 1966, 100: 463–465.
- [25] Yu J Y, He X H. Data statistical analysis and apply of SPSS[M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2003. [余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.]
- [26] Shin P K S, Lam N W Y, Wu R S S, et al. Spatio-temporal changes of marine macrobenthic community in sub-tropical waters upon recovery from eutrophication. I. Sediment quality and community structure[J]. *Mar Poll Bull*, 2008, 56: 282–296.
- [27] Platt H M, Shaw K M, Lamshead P J D. Nematode species abundance patterns and their use in the direction of environmental perturbations[J]. *Hydrobiologia*, 1984, 118: 59–66.
- [28] Tian S Y, Zhang Z N. The ecological study of macrofauna in Jiaozhou Bay [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2003: 50. [田顺艳, 张志南. 胶州湾大型底栖动物的生态学研究 [D]. 青岛, 中国海洋大学, 2003: 50.]
- [29] Du F Y, Wang X H, Li C H, et al. Study on species diversity of macrobenthos in Daya Bay, South China Sea[J]. *South China Fisheries Science*, 2008, 4(6): 33–41. [杜飞雁, 王雪辉, 李纯厚, 等. 大亚湾大型底栖动物物种多样性现状[J]. 南方水产, 2008, 4(6): 33–41.]
- [30] He M H, Cai E X, Wu Q L, et al. Ecology of benthos in west harbour of Xiamen[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 1988, 7(2): 189–194. [何明海, 蔡尔西, 吴启泉, 等. 厦门西港底栖生物的生态[J]. 台湾海峡, 1988, 7(2): 189–194.]
- [31] Li B Q, Li X Z, Yu H Y, et al. Macrobenthic mollusca fauna and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, 36(3): 193–197. [李宝泉, 李新正, 于海燕, 等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 193–197.]

## Macrobenthic species diversity in the waters surrounding Zhelin Bay

SHU Liming, CHEN Pimao, LI Xiaoguo, QIN Chuanxin, YU Jie, ZHOU Yanbo, YUAN Huarong

South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Scientific Observing and Experimental Station of South China Sea Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture of China; Key Laboratory of Marine Ranching Technology, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

**Abstract:** Macrobenthic species diversity in the waters surrounding Zhelin Bay was studied based on the quantitative data of macrobenthos sampled in February, May, August, and December 2013. The results show that 89 macrobenthic species were sampled in 2013. Mean Margalef richness index, Shannon-Wiener index, and Pielou evenness index values were 1.73, 1.84, and 0.88, respectively. One-way analysis of variance showed that the richness, diversity, and evenness indices were not significantly different among seasons. The *k*-dominance curve of abundance showed that the seasonal trend in species diversity was winter > spring  $\approx$  autumn > summer. An R-type cluster analysis showed that the richness, diversity, and evenness indices could be classified as a cluster. The correlations between the diversity index and richness index, the diversity index and species number, and the richness index and species number were relatively high. A Q-type cluster analysis showed that the 28 sampling stations could be classified into three or five clusters.

**Key words:** species diversity; macrobenthos; cluster analysis; analysis of variance; Zhelin Bay

**Corresponding author:** CHEN Pimao. E-mail: cpmgd@scsfri.ac.cn

附录 1 柘林湾附近海域大型底栖动物名录(2013)

App.1 Macrobenthic fauna list in surrounding waters of Zhelin Bay (2013)

| 类别 class                                               | 春 spring | 夏 summer | 秋 autumn | 冬 winter |
|--------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>腔肠动物门 Coelentera</b>                                |          |          |          |          |
| 珊瑚虫纲 Anthozoa                                          |          |          |          |          |
| 海鳃目 Pennatulacea                                       |          |          |          |          |
| 沙簪科 Veretillidae                                       |          |          |          |          |
| 海仙人掌 <i>Cavernularia obesa</i> Milne Edwards et Hailme | +        | +        |          |          |
| <b>纽形动物门 Nemertea</b>                                  |          |          |          |          |
| 有针纲 Epopla                                             |          |          |          |          |
| 针纽虫目 Hoplonemertea                                     |          |          |          |          |
| 无沟科 Baseodiscidae                                      |          |          |          |          |
| 无沟纽虫(未定种) <i>Baseodiscus</i> sp.                       | +        | +        | +        | +        |
| <b>环节动物门 Annelida</b>                                  |          |          |          |          |
| 多毛纲 Polychaeta                                         |          |          |          |          |
| 不倒翁虫目 Sternaspida                                      |          |          |          |          |
| 不倒翁虫科 Sternaspidae                                     |          |          |          |          |
| 不倒翁虫 <i>Sternaspis scutata</i> (Renier)                |          | +        |          |          |
| 海稚虫目 Spionida                                          |          |          |          |          |
| 海稚虫科 Spionidae                                         |          |          |          |          |
| 鳞腹沟虫 <i>Scolecopsis squamata</i> Muller                | +        | +        | +        | +        |
| 膜质伪才女虫 <i>Pseudopolydora kemp</i> (Southern)           | +        | +        | +        | +        |
| 奇异稚齿虫 <i>Paraprionospio pinnata</i> (Ehlers)           |          |          | +        |          |
| 矾沙蚕目 Eunicida                                          |          |          |          |          |
| 欧努菲虫科 Onuphidae                                        |          |          |          |          |
| 铜色巢沙蚕 <i>Diopatra cuprea</i> (Bosc)                    |          | +        | +        |          |
| 索沙蚕科 Lumbrineriidae                                    |          |          |          |          |
| 异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i> (Marenzeller)      | +        | +        | +        | +        |
| 扇毛虫目 Flabelligerida                                    |          |          |          |          |
| 扇毛虫科 Flabelligeridae                                   |          |          |          |          |
| 有盾海扇虫 <i>Phereusa</i> cf. <i>bengalensis</i> (Fauvel)  |          | +        |          |          |
| 仙女虫目 Amphinomida                                       |          |          |          |          |
| 仙女虫科 Amphinomidae                                      |          |          |          |          |
| 海毛虫 <i>Chloeia flava</i> (Pallas)                      | +        | +        | +        | +        |
| 小头虫目 Capitellidae                                      |          |          |          |          |
| 节节虫科 Maldanidae                                        |          |          |          |          |
| 持真节虫 <i>Euclymene annandalei</i> Southern              | +        | +        | +        | +        |
| 小头虫科 Capitellidae                                      |          |          |          |          |
| 背毛背蚓虫 <i>Notomastus</i> cf. <i>aberans</i> Day         |          | +        |          | +        |
| 背蚓虫 <i>Notomastus latericeus</i> Sars                  | +        | +        | +        | +        |
| 厚鳃蚕 <i>Dasybranchus caducus</i> (Grube)                | +        | +        | +        | +        |
| 小头虫 <i>Capitella capitata</i> (Fabricius)              | +        | +        | +        | +        |
| 异蚓虫 <i>Heteromastus fiftiformis</i> (Claparede)        |          |          | +        | +        |
| 叶须虫目 Phyllodocida                                      |          |          |          |          |
| 齿吻沙蚕科 Nephtyidae                                       |          |          |          |          |
| 寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i> Southern           | +        |          |          |          |
| 弦毛内卷齿蚕 <i>Aglaophamus lyrochaeto</i> (Fauvel)          | +        | +        | +        | +        |
| 中华内卷齿蚕 <i>Aglaophamus sinensis</i> Fauvel              | +        | +        | +        | +        |

续附录 1 App.1 continued

| 类别 class                                                  | 春 spring | 夏 summer | 秋 autumn | 冬 winter |
|-----------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>环节动物门 Annelida</b>                                     |          |          |          |          |
| 多毛纲 Polychaeta                                            |          |          |          |          |
| 海女虫科 Hesionidae                                           |          |          |          |          |
| 海女虫 <i>Hesione splendida</i> Savigny                      | +        | +        |          | +        |
| 沙蚕科 Nereidae                                              |          |          |          |          |
| 独齿围沙蚕 <i>Perinereis cultrifera</i> Grube                  | +        | +        |          | +        |
| 多齿围沙蚕 <i>Perinereis nuntia</i> (Savigny)                  | +        | +        | +        | +        |
| 双齿围沙蚕 <i>Perinereis aibuhitensis</i> Grube                | +        | +        | +        | +        |
| 吻沙蚕科 Glyceridae                                           |          |          |          |          |
| 白色吻沙蚕 <i>Glycera alba</i> (Muller)                        | +        | +        | +        | +        |
| 头吻沙蚕 <i>Glycera capitata</i> Oersted                      |          | +        |          |          |
| 长吻沙蚕 <i>Glycere chirori</i> Izuka                         | +        |          | +        | +        |
| 蜚龙介虫目 Terebellida                                         |          |          |          |          |
| 毛鳃虫科 Trichobrachidae                                      |          |          |          |          |
| 梳鳃虫 <i>Terebellides stroemii</i> Sars                     | +        | +        | +        | +        |
| 锥头虫目 Orbinida                                             |          |          |          |          |
| 锥头虫科 Orbiniidae                                           |          |          |          |          |
| 长锥虫 <i>Haploscoloplos elongates</i> (Johnson)             |          |          |          | +        |
| <b>线虫动物门 Nematode</b>                                     |          |          |          |          |
| 无尾感器纲 Aphasmdae                                           |          |          |          |          |
| 嘴刺目 Enoplida                                              |          |          |          |          |
| 嘴刺线虫科 Enoplidae                                           |          |          |          |          |
| 线虫(未定种) <i>Enoplus</i> sp.                                | +        | +        | +        | +        |
| <b>螭虫动物门 Echiura</b>                                      |          |          |          |          |
| 螭纲 Echiurida                                              |          |          |          |          |
| 螭目 Echiuroinea                                            |          |          |          |          |
| 螭科 Echiuridae                                             |          |          |          |          |
| 短吻铲荚螭 <i>Listriolobus brevirostris</i> Chen et Yeh        | +        | +        | +        | +        |
| <b>软体动物门 Mollusca</b>                                     |          |          |          |          |
| 腹足纲 Gastropoda                                            |          |          |          |          |
| 新腹足目 Neogastropoda[狭舌目 Stenoglossa]                       |          |          |          |          |
| 蛾螺科 Buccinidae                                            |          |          |          |          |
| 方斑东风螺 <i>Babylonia areolata</i> (Link)                    |          |          |          | +        |
| 甲虫螺 <i>Cantharus cecillei</i> (Philippi)                  | +        |          |          |          |
| 榧螺科 Olividae                                              |          |          |          |          |
| 彩榧螺 <i>Oliva ispidula</i> (Linnaeus)                      |          |          |          | +        |
| 骨螺科 Muricidae                                             |          |          |          |          |
| 浅缝骨螺 <i>Murex trapa</i> Roding                            |          |          |          | +        |
| 纳螺科 Cancellariidae                                        |          |          |          |          |
| 白带三角口螺 <i>Trigonapherea bocageana</i> (Crosse et Debeaux) | +        |          |          | +        |
| 笋螺科 Terebridae                                            |          |          |          |          |
| 罽纹笋螺 <i>Terebra maculata</i> (Linnaeus)                   |          |          | +        |          |
| 珍笋螺 <i>Terebra pretiosa</i> Reeve                         |          |          | +        |          |

续附录 1 App.1 continued

| 类别 class                                              | 春 spring | 夏 summer | 秋 autumn | 冬 winter |
|-------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>软体动物门 Mollusca</b>                                 |          |          |          |          |
| 腹足纲 Gastropoda                                        |          |          |          |          |
| 塔螺科 Turridae                                          |          |          |          |          |
| 白龙骨乐飞螺 <i>Lophiotoma leucotropis</i> (Adams et Reeve) | +        | +        | +        | +        |
| 假奈拟塔螺 <i>Turricula nelliae spurious</i> (Hedley)      | +        | +        |          | +        |
| 假主棒螺 <i>Clavatula pseudopriciplis</i> Kiener          |          | +        |          |          |
| 织纹螺科 Nassariidae                                      |          |          |          |          |
| 红带织纹螺 <i>Nassarius (Zeuxis) succinctus</i> (A. Adams) | +        |          | +        | +        |
| 纵肋织纹螺 <i>Nassarius variciferus</i> (A. Adams)         | +        |          |          |          |
| 原始腹足目 Archaeogastropoda                               |          |          |          |          |
| 马蹄螺科 Trochidae                                        |          |          |          |          |
| 肋蛸螺 <i>Umbonium coatatum</i> (Kiener)                 | +        | +        | +        | +        |
| 中腹足目 Mesogastropoda                                   |          |          |          |          |
| 凤螺科 Strombidae                                        |          |          |          |          |
| 钻螺 <i>Terebellum terebellum</i> (Linnaeus)            |          |          | +        |          |
| 汇螺科 Potamididae                                       |          |          |          |          |
| 珠带拟蟹守螺 <i>Cerithidea cingulata</i> (Gmelin)           |          | +        |          |          |
| 玉螺科 Naticidae                                         |          |          |          |          |
| 拟褐玉螺 <i>Natica spadicea</i> (Gmelin)                  |          |          |          | +        |
| 锥螺科 Turritellidae                                     |          |          |          |          |
| 棒锥螺 <i>Turritella bacillum</i> Kiener                 | +        | +        | +        | +        |
| 双壳纲 Bivalvia[瓣鳃纲 Lamellibranchia]                     |          |          |          |          |
| 海螂目 Myoida                                            |          |          |          |          |
| 蓝蛤科 Corbulidae                                        |          |          |          |          |
| 红肉河蓝蛤 <i>Potamocorbula rubromuscula</i> Zhuang et Cai |          |          | +        |          |
| 蚌目 Arcoida                                            |          |          |          |          |
| 蚌科 Aacidae                                            |          |          |          |          |
| 毛蚌 <i>Scapharca subcrenata</i> (Lishke)               |          |          | +        |          |
| 胡桃蛤目 Nuculoida                                        |          |          |          |          |
| 胡桃蛤科 Nuculidae                                        |          |          |          |          |
| 橄榄胡桃蛤 <i>Nucula paulula</i> (Montagu)                 |          |          |          | +        |
| 宽壳胡桃蛤 <i>Nucula (Leionucula) convexa</i> (Sowerby)    |          | +        |          |          |
| 帘蛤目 Veneroida                                         |          |          |          |          |
| 斧蛤科 Donacidae                                         |          |          |          |          |
| 楔形斧蛤 <i>Donax (Latona) cuneatus</i> Linnaeus          | +        |          |          |          |
| 帘蛤科 Veneridae                                         |          |          |          |          |
| 波纹巴非蛤 <i>Paphia (Parataptes) undulata</i> (Born)      | +        | +        | +        | +        |
| 锯齿巴非蛤 <i>Paphia (Protapes) gallus</i> (Gmelin)        | +        | +        |          | +        |
| 菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i> (Adams et Reeve) | +        |          |          |          |
| 鳞杓拿蛤 <i>Anomalodiscus squamosa</i> (Linnaeus)         |          | +        | +        |          |
| 日本镜蛤 <i>Dosinia (Phacosoma) japonica</i> (Reeve)      | +        |          | +        |          |
| 双带蛤科 Semelidae                                        |          |          |          |          |
| 理蛤 <i>Theora lata</i> Hinds                           |          | +        |          | +        |

续附录 1 App.1 continued

| 类别 class                                             | 春 spring | 夏 summer | 秋 autumn | 冬 winter |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>软体动物门 Mollusca</b>                                |          |          |          |          |
| 双壳纲 Bivalvia[瓣鳃纲 Lamellibranchia]                    |          |          |          |          |
| 樱蛤科 Tellinidae                                       |          |          |          |          |
| 虹光亮樱蛤 <i>Nitidotellina iridella</i> (Martens)        |          | +        |          |          |
| 小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i> (Lischke)           | +        | +        |          | +        |
| 江户明樱蛤 <i>Moerella jedoensis</i> (Lischke)            |          |          | +        |          |
| 美女白樱蛤 <i>Macoma candida</i> (Lamarck)                |          | +        | +        |          |
| 缘角樱蛤 <i>Angulus emarginatus</i> (Sowerby)            | +        |          |          |          |
| 竹蛏科 Solenidae                                        |          |          |          |          |
| 大竹蛏 <i>Solen grandis</i> Dunker                      | +        | +        |          |          |
| 小英蛏 <i>Siliqua minima</i> (Gmelin)                   |          |          | +        |          |
| 贻贝目 Mytiloida                                        |          |          |          |          |
| 贻贝科 Mytilidae                                        |          |          |          |          |
| 翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i> (Linnaeus)                 |          |          | +        |          |
| 凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousei</i> (Benson)              |          |          | +        |          |
| 贻贝 <i>Mytilus edulis</i> Linnaeus                    |          |          | +        |          |
| 珍珠贝目 Pterioidea                                      |          |          |          |          |
| 曲蛎科 Glypheidae                                       |          |          |          |          |
| 覆瓦牡蛎 <i>Parahyotissa imbricate</i> (Lamarck)         |          |          | +        |          |
| 牡蛎科 Ostreidae                                        |          |          |          |          |
| 近江牡蛎 <i>Ostrea (Crassostrea) rivularis</i> Gould     |          |          | +        |          |
| 猫爪牡蛎 <i>Ostrea (Crassostrea) pestigris</i> Hanley    |          |          | +        |          |
| <b>节肢动物门 Arthropoda</b>                              |          |          |          |          |
| 甲壳纲 Crustacea                                        |          |          |          |          |
| 十足目 Stomatopoda                                      |          |          |          |          |
| 虾蛄科 Squillidae                                       |          |          |          |          |
| 口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i> (de Haan)           |          | +        |          |          |
| 十足目 DECAPODA                                         |          |          |          |          |
| 对虾科 Penaeidae                                        |          |          |          |          |
| 须赤虾 <i>Metapenaeopsis barbata</i> (de Haan)          |          | +        |          |          |
| 鼓虾科 Alpheidae                                        |          |          |          |          |
| 贪食鼓虾 <i>Alpheus rapacida</i> de Man                  |          | +        |          | +        |
| 沙蟹科 Ocypodidae                                       |          |          |          |          |
| 明秀大眼蟹 <i>Macrophthalmus definitus</i> Adams et white |          |          | +        |          |
| 梭子蟹科 Portunidae                                      |          |          |          |          |
| 疾进螯 <i>Charybdis (Goniohellenus) vadorum</i> Alcock  |          |          | +        |          |
| 长脚蟹科 Goneplacidae                                    |          |          |          |          |
| 隆线强蟹 <i>Eucreta crenata</i> de Haan                  |          | +        |          |          |
| 裸盲蟹 <i>Typhlocarcinus mudus</i> Stimpson             | +        | +        | +        | +        |
| <b>棘皮动物门 Echinodermata</b>                           |          |          |          |          |
| 海参纲 Holothuroidea                                    |          |          |          |          |
| 楯手目 Aspidochirota                                    |          |          |          |          |
| 海参科 Holothuriidae                                    |          |          |          |          |
| 棘手海参 <i>Holothuria difficilis</i> Semper             | +        |          |          |          |
| 玉足海参 <i>Holothuria leucospilota</i> (Brandt)         |          | +        |          |          |

续附录 1 App.1 continued

| 类别 class                                             | 春 spring | 夏 summer | 秋 autumn | 冬 winter |
|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| <b>棘皮动物门 Echinodermata</b>                           |          |          |          |          |
| 海参纲 Holothuroidea                                    |          |          |          |          |
| 无足目 Apodida                                          |          |          |          |          |
| 锚海参科 Synaptidae                                      |          |          |          |          |
| 伪指刺锚参 <i>Protankyra pseudo digitata</i> (Semper)     | +        | +        | +        |          |
| 蛇尾纲 Ophiuroidea                                      |          |          |          |          |
| 唇蛇尾目 Chilophiurida                                   |          |          |          |          |
| 铠蛇尾科 Ophiochitonidae                                 |          |          |          |          |
| 花艇蛇尾 <i>Ophionereis variegata</i> Duncan             |          | +        | +        |          |
| 颚蛇尾目 Gnathophiurida                                  |          |          |          |          |
| 刺蛇尾科 Ophiactidae                                     |          |          |          |          |
| 条纹板刺蛇尾 <i>Placophithrix striolata</i> (Grube)        | +        |          |          |          |
| 阳遂足科 Amphiuridae                                     |          |          |          |          |
| 光滑倍棘蛇尾 <i>Amphioplus laevis</i> (Lyman)              | +        | +        | +        |          |
| 洼颚倍棘蛇尾 <i>Amphioplus depressus</i> (Ljungman)        | +        | +        |          | +        |
| <b>脊索动物门 Chordata</b>                                |          |          |          |          |
| 文昌鱼纲 Amphioxii                                       |          |          |          |          |
| 文昌鱼目 Amphioxiformes                                  |          |          |          |          |
| 文昌鱼科 Amphioxidae                                     |          |          |          |          |
| 白氏文昌鱼 <i>Branchiostoma belcheri</i> Gray             | +        | +        |          |          |
| 硬骨鱼纲 Osteichthyes                                    |          |          |          |          |
| 鲈形目 Pleuronectiformes                                |          |          |          |          |
| 鲷科 Soleidae                                          |          |          |          |          |
| 黑点圆鳞鲷 <i>Liachirus melanospilus</i> (Bleeker)        |          |          |          | +        |
| 鲈形目 Perciformes                                      |          |          |          |          |
| 弹涂鱼科 Periophthalmidae                                |          |          |          |          |
| 大弹涂鱼 <i>Boleophthalmus pectinirostris</i> (Linnaeus) |          | +        |          |          |
| 鳗鲡目 Anguilliformes                                   |          |          |          |          |
| 海鳗科 Muraenesocidae                                   |          |          |          |          |
| 海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i> (Forskål)              | +        |          |          |          |