

山东南部沿海冬季小型底栖生物的初步研究*

吴绍渊^{1,2} 慕芳红²

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室 上海 200062; 2. 中国海洋大学海洋生命学院 青岛 266003)

摘要 利用统计法、经验模型和多元聚类分析法和数学分析软件对 2006 年 12 月 908 项目冬季航次山东南部海域(36°15'—36°45'N, 120°45'—122°00'E)小型底栖生物调查所获得的数据进行分析, 获得该调查海域冬季小型底栖生物的平均丰度为(657.43±214.60) ind/10 cm², 平均生物量为(847.15±427.63) μgdwt/10 cm², 平均生产量为(7624.32±3848.64)μgdwt/(10 cm²·a⁻¹); 还对 N/C、Simpson 优势度指数、Margalef 多样性指数、Pielou 均匀度指数和香农-威纳指数进行了计算。与 2006 年 8 月 908 项目夏季航次同一海域调查数据进行了比较, 得到小型底栖生物的平均丰度及其优势类群线虫丰度冬季明显低于夏季, 而生物量和类群多样性与夏季相当。同时, 依据丰度指标对山东南部研究海域进行了初步的生态学划分, 呈现出较明显的地域性。

关键词 山东南部沿海, 小型底栖生物, 生态学指标

中图分类号 Q178.53

小型底栖生物具有个体小、生活周期短、生长快、极大的物种丰富度、生活史中无浮游阶段、幼虫营底栖生活以及野外取样简便等特点, 是评价环境健康状况、进行环境监测、追踪海洋变化以及验证各种生态假说的有力工具(Coull *et al*, 1992; Tietjen *et al*, 1977; Huling *et al*, 1971), 此外, 小型底栖生物是底栖食物网的关键中间环节, 它作为一个独立的功能单位, 在海洋生态系统中发挥着极其重要的作用。

山东南部沿海包括青岛市周边海区有着极其复杂的水文和环境条件, 其外源水质往往通过环流的卷挟携带直接或间接地影响到青岛沿海及其周边海域的水质(山东环境监测中心站, 2001)¹, 进而引发底栖生物的生境改变, 影响到小型底栖生物的分布, 导致各项生物指标的改变。

通过对 2006 年 12 月 908 冬季航次山东南部海域(36°15'—36°45'N; 120°45'—122°00'E)小型底栖生物调查数据进行整理与分析, 计算得到了该海域冬季小型底栖生物的 8 项生态学指标: 丰度、生物量、生产量、N/C(线虫与桡足类数量之比)、Simpson 优势

度指数(Simpson index)、Margalef 多样性指数(Margalef index)、Pielou 均匀度指数(Pielou evenness index)以及香农-威纳指数(Shannon-Weiner index), 并依据丰度指标对该海域进行了初步的生态学划分, 旨在为未来该海域建立生态动力学模型提供必要的基础性生态学数据, 为全面监测并控制青岛市区及其周边沿海的水质提供有力的理论支撑。

1 取样海域

本次 908 冬季航次海洋调查于 2006 年 12 月进行, 小型底栖生物的调查海域及研究站位见图 1。

2 材料与方法

2.1 取样与分选方法

海上取样, 使用内径为 2.9 cm 的小型底栖生物取样管, 从由 QNC1-3 抓斗式采泥器获取的样品中取 2 个重复样, 每个芯样长 10 cm。取出后, 立即按 0—2 cm、2—5 cm 和 5—10 cm 分三层装瓶, 加入 10% 甲醛溶液进行固定、记录并保存样品(张志南, 1991)。

*908 专项资助, SD-908-01-01-05、06 号; 国家自然科学基金资助项目, 60578060 号。吴绍渊, E-mail: sywuqd@hotmail.com

通讯作者: 慕芳红, E-mail: fanghongmu@ouc.edu.cn

1) 山东环境监测中心站, 2001. 山东省环境质量报告书(1996—2000). 山东省环境保护局

收稿日期: 2008-12-05, 收修改稿日期: 2009-10-14

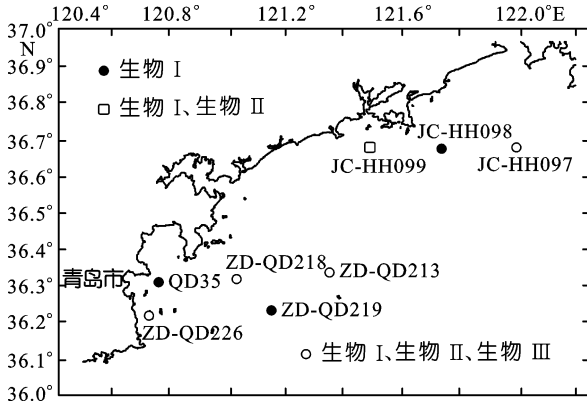


图 1 山东南部沿海冬季海域调查取样站位

Fig.1 Sampling stations along the southern coast of Shandong Province during the winter cruise

实验室分选采用快速离心分离法, 即先用 1% 的虎红染液(Tetrachlorotetraiodo)对样品染色, 摇匀后, 静置 24 h 以上, 然后用比重为 1.15Ludox-TM 悬浮离心机(1800 r/min)离心 10 min, 最后使用 0.061 mm 孔径网筛对样品进行过滤, 并在解剖镜下按类群进行分类并计数。

2.2 数据处理与分析

通过使用 MATLAB7.0 以及 PRIMER 等数学分析软件, 分别对 908 冬季航次山东南部沿海海域调查室内分选所获得的数据加以整理、计算和分析, 获得了各站位小型底栖生物的以下 8 项生态学指标的数据: 丰度、生物量、生产量、N/C、Simpson 优势度指数、Margalef 多样性指数、香农-威纳指数以及 Pielou 均匀度指数, 并通过运用多元聚类分析的方法对各站位的相似性进行了计算。本研究使用的各参数、指数计算式如下:

Simpson 优势度指数(C)(Ma, 1994; Simpson, 1949):

$$C = \sum(n_i / N)^2 \tag{1}$$

其中 n_i 为类群的个体数; N 为总个体数。

Margalef 多样性指数(d)(Margalef, 1958; 陈国通等, 1992):

$$d = (S - 1) \log^{-1} N \tag{2}$$

其中 S 为类群数; N 为个体数。

Pielou 均匀度指数(J)(陈国通等, 1992; Pielou, 1969):

$$J = H / H_{\max} \tag{3}$$

其中 H_{\max} 为给定物种数 S 下完全均匀群落的多样性:

$$H_{\max} = \log S \tag{4}$$

香农-威纳指数(洪伟, 1999):

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \tag{5}$$

其中 S 为种类数; n_i 为样品中第 i 种生物个体数; N 为样品中生物个体总数。其它参数如: 丰度、生物量、生产量、 N/C 按照常规计算方法进行。

3 初步分析结果

3.1 小型底栖生物类群与丰度

3.1.1 小型底栖生物类群 分选的小型底栖生物类群共计 16 个, 包括线虫、桡足类、水螅类、动物类、涟虫类、寡毛类、介形类、涡虫类、温泉虾目、多毛类、双壳类、海螵类、异足类、蠕虫类、端足类和腹毛类。进一步分析发现, 本航次各站位小型底栖生物主要类群中线虫占绝对优势。除 ZD-QD213 站位和 ZD-QD219 站位外(此二站位, 多毛类丰度位居第二), 其他各站位的桡足类丰度居第二位。线虫与桡足类类群总和占小型底栖生物总丰度的 85.28%—96.53%, 其次是多毛类、双壳类以及其余各类群(表 1)。

3.1.2 小型底栖生物的丰度 小型底栖生物主要类群的丰度见图 2。其中, 调查海区中 8 个站位的平

表 1 小型底栖生物丰度
Tab.1 The Abundance of meiobenthos

站位	深度(m)	底质	平均丰度 (ind/10 cm ²)	线虫百分比(%)	桡足百分比(%)
QD35	10	软泥	946.81±418.01	81.64	11.66
JC-HH097	12	软泥	760.05±257.24	89.32	4.38
JC-HH098	14	软泥	396.26±144.69	86.68	7.99
JC-HH099	14	软泥	760.87±35.60	92.31	2.99
ZD-QD213	30	软泥	630.93±152.74	84.43	3.99
ZD-QD218	17	软泥	701.58±186.04	82.29	10.88
ZD-QD219	31	泥	535.12±357.14	79.51	5.77
ZD-QD226	20	软泥	527.81±165.36	90.77	6.61

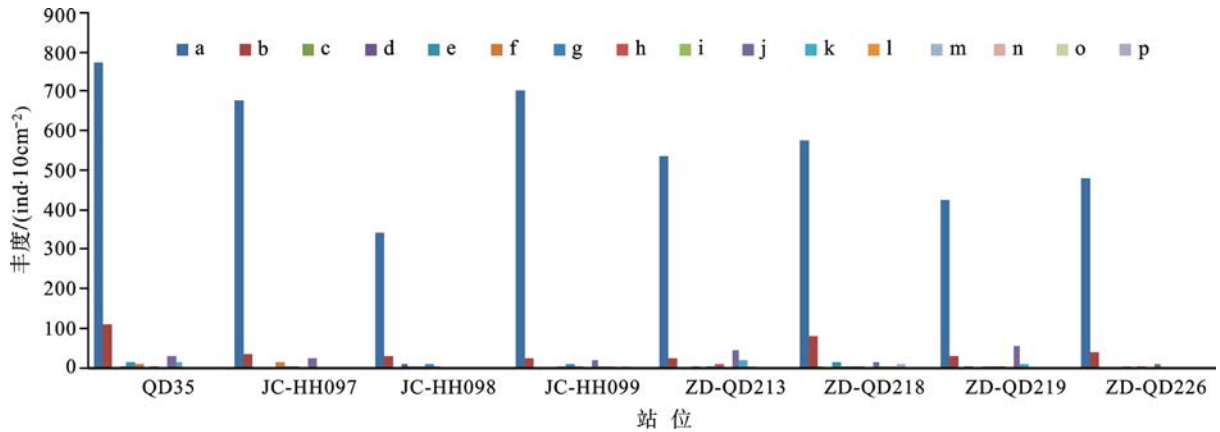


图2 小型底栖生物主要类群的丰度

Fig.2 The abundance of Meiofaunal taxa

a. 线虫 Nematoda b. 桡足类 Copepoda; c. 水螅类 Cmodaroa; d. 动物类 Kinorhyncha; e. 涟虫类 Cumacea; f. 寡毛类 Oligochaeta; g. 介形类 Ostracoda; h. 涡虫类 Turbellaria; i. 温泉虾目 Thermosbaenaces; j. 多毛类 Polychaeta; k. 双壳类 Bivalvia; l. 海螨类 Halacaroida; m. 异足类 Tanaidacea; n. 蠕虫类 Worm; o. 端足类 Amphipoda; p. 腹毛类 Gastrotrich

均丰度最高值出现在 QD35 站位, 最低值出现在 JC-HH098 站位, 平均丰度值分别为(657.43±214.60) ind/10cm² 和(946.81±418.01) ind/10cm²; 线虫为最优势的类群, 分布趋势与小型底栖生物基本相同。桡足类丰度最高值却出现在 QD35 站位, 而最低值出现在 JC-HH099 站位, 其丰度值分别为(110.43±27.56) ind/10cm² 和(22.74±4.59) ind/10cm²。多毛类丰度在 8 个站位间变化较大, 其中, QD35 站最高, 而 JC-HH099 站位最低, 其丰度值分别为(26.797±26.412) ind/10cm² 和(17.86±2.30) ind/10cm²。双壳类丰度在 ZD-QD213 和 QD35 站位较高, 而在 JC-HH099、ZD-QD219 和 ZD-QD226 站位三个站位的丰度最低。

3.1.3 小型底栖生物类群的垂直分布 通过分析冬季山东南部沿海小型底栖生物类群的垂直分布(图 3, 图 4, 图 5)可以看出, 在研究的 8 个站位中, 有 66.82% 的小型底栖生物分布于表层 0—5 cm 间。从类群上看, 线虫基本均匀分布于 0—2 cm、2—5 cm 和 5—10 cm 三个垂直层面上, 其中, 分布于 0—5 cm 垂直层面内的线虫数量占该类总量的 66.01%; 桡足类大多数集中于表层的 0—5 cm 间, 占该类总量的 73.32%; 其它类集中于表层 0—2 cm 的数量所占比例为 71.10%, 与线虫和桡足类基本相当。此外, 在 JC-HH098 站位处, 线虫、桡足类和其他类的丰度变动较大, ZD-QD218 站位桡足类和其他类的丰度变动较大。这二个站位与其他站位相比, 存在较大差异性的可能原因将在讨论中加以分析。

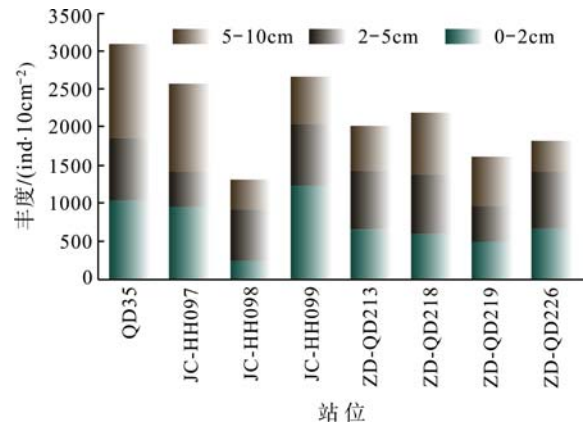


图3 线虫垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of Nematodes

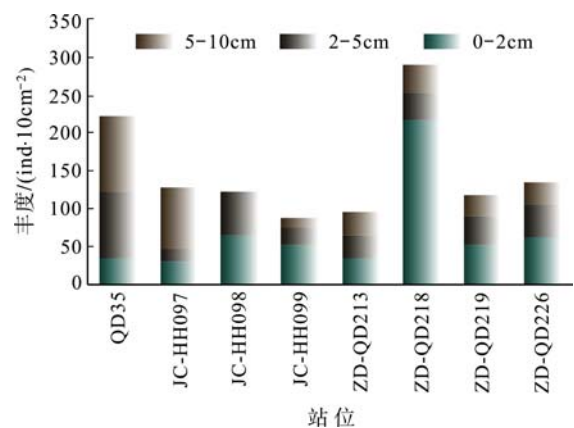


图4 桡足类垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of benthic copepods

3.1.4 小型底栖生物类群丰度聚类 通过对小型底栖生物平均丰度分析可以得出, JC-HH097 与 JC-HH099

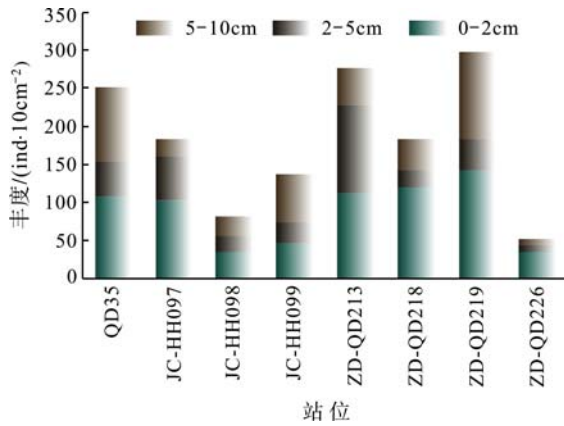


图 5 小型底栖生物其它类群的垂直分布

Fig.5 Vertical distribution of other meiofaunal taxa

站位之间、ZD-QD219 和 ZD-QD226 站位之间的相似性较高，而站位 QD35 与其他各站位之间的相似性较低(图 6)。相对而言，根据小型底栖生物平均丰度将研究海域的 8 个站位划分为以下 4 个生态区域，即：

- (1) JC-HH097 和 JC-HH099 站位为贫丰度区；
- (2) ZD-QD213、ZD-QD219、ZD-QD218 与 ZD-QD226 站位为中丰度区；
- (3) JC-HH098 站位为较高丰度区；
- (4) QD35 站位为最高丰度区。

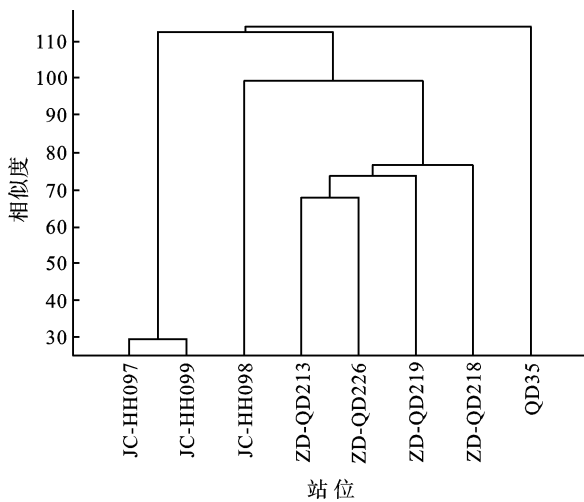


图 6 聚类分析结果

Fig.6 Result of cluster analysis

3.2 小型底栖生物的生物量

按照类群的个体平均干重乘以各类群的丰度的方法对生物量进行估算，其中，各类群分别采用的个体平均干重标准分别参照文献(Jario, 1975; Widbom,1984; 张志南等, 2001)研究结果(表 2)。

表 2 小型底栖生物主要类群个体平均干重
Tab.2 The average Individual dry weight of main meiofaunal taxa

类群	个体平均干重(μg)
线虫 Nematoda	0.4
桡足类 Copepoda	1.86
水螅 Cnidaria	3.5
动物类 Kinorhyncha	2.0
涟虫类 Cumacea	3.5
寡毛类 Oligochaeta	14.0
介形类 Ostracoda	26.0
涡虫类 Turbellaria	3.5
温泉虾目 Thermosbaenacea	3.5
多毛类 Polychaeta	14.0
双壳类 Bivalvia	4.2
海螨类 Halacaroidea	1.5
异足类 Tanaidacea	15.0
蠕虫类 Worm	3.5
端足类 Amphipoda	15.0

计算获得小型底栖生物主要类群的生物量见表 3。由表 3 可见，调查海区中 8 个站位的平均生物量为(847.15±427.63) μgdwt/10cm²。多毛类作为最优势类群，其分布趋势与小型底栖生物基本相同(图 7)。线虫生物量表现为：QD35 站位最高，为(309.22±130.46) μgdwt/10cm²，而 JC-HH098 站位最低，为(137.39±47.31) μgdwt/10cm²。桡足类丰度在站位间变化较大，在 QD35 和 ZD-QD218 站位较高，而在 JC-HH098 和 ZD-QD213 站位较低，在 JC-HH099 站位生物量最低，为(42.29±8.54) μgdwt/10cm²。

3.3 小型底栖生物的生产量

采用固定系数法(P/B = 9)(邓可等, 2005; 郭玉清等, 2002; Schwinghamer *et al*, 1986; 于子山等, 2001; 张志南等, 2005)对山东南部各站位冬季沿海小型底栖生物的生产量进行换算。获得调查海区中 8 个站位的平均生产量为(7624.32±3848.64) μgdwt/(10 cm²·a⁻¹) (表 4)。将各站位生产量的值由高到低排列，依次为 ZD-QD219、QD35、ZD-QD213、JC-HH097、ZD-QD218、JC-HH099、JC-HH098 和 ZD-QD226 站位(图 8)。

3.4 小型底栖生物的李/C 值

通过计算山东南部各站位冬季小型底栖生物的李/C 值(表 5)，各站位中，除 ZD-QD219 站底质情况为泥质外，其他各站位底质情况均为软泥质，故可忽略由于各站位间底质存在的差异性而造成 N/C 值的不同(郭玉清等, 2002)。各站位 N/C 值由高到低依次为

表3 小型底栖生物的生物量
Tab.3 The Biomass of meiobenthos

站位	深度(m)	底质	合计 ($\mu\text{gdwt}/10\text{cm}^2$)	线虫百分比(%)	桡足类百分比(%)	多毛类百分比(%)
QD35	10	软泥	1126.15±787.94	27	18	33
JC-HH097	12	软泥	989.98±828.16	27	6	36
JC-HH098	14	软泥	459.8±329.90	30	13	2
JC-HH099	14	软泥	769.53±152.32	37	5	32
ZD-QD213	30	软泥	1003.62±253.52	21	5	59
ZD-QD218	17	软泥	854.35±498.74	27	17	23
ZD-QD219	31	泥	1186.42±447.95	14	5	66
ZD-QD226	20	软泥	387.32±122.48	49	17	23

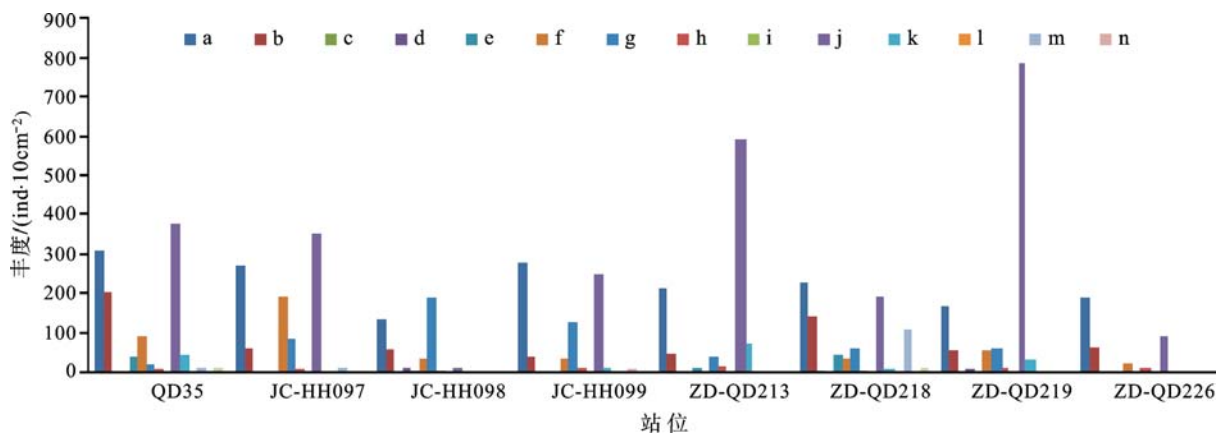


图7 小型底栖生物主要类群的生物量

Fig.7 The biomass of Meiiofaunal taxa

a. 线虫 Nematoda; b. 桡足类 Copepoda; c. 水螅类 Cnidaria; d. 动物类 Kinorhyncha; e. 涟虫类 Cumacea; f. 寡毛类 Oligochaeta; g. 介形类 Ostracoda; h. 涡虫类 Turbellaria; i. 温泉虾目 Thermosbaenaces; j. 多毛类 Polychaeta; k. 双壳类 Bivalvia; l. 海螨类 Halacaroidea; m. 异足类 Tanaidacea; n. 蠕虫类 Worm

表4 小型底栖生物的生产量
Tab.4 The Production of Meiobenthos

站位	小型底栖生物的生产量 ($\mu\text{gdwt}/(10\text{cm}^2\cdot\text{a}^{-1})$)
QD35	10135.35±7091.44
JC-HH097	8909.86±7453.41
JC-HH098	4138.18±2969.14
JC-HH099	6925.78±1370.87
ZD-QD213	9032.57±2281.64
ZD-QD218	7689.17±4488.66
ZD-QD219	10677.81±4031.57
ZD-QD226	3485.84±1102.36

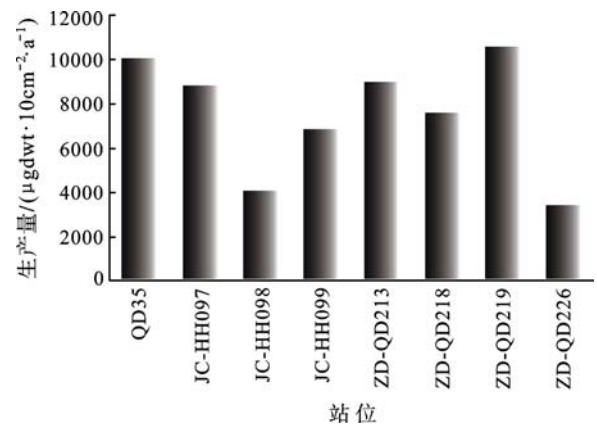


图8 小型底栖生物主要类群的生产量

Fig.8 The production of Meiiofaunal taxa

JC-HH099、ZD-QD213、JC-HH097、ZD-QD219、ZD-QD226、JC-HH098、ZD-QD218 和 QD35(图9)。

3.5 小型底栖生物类群优势度与多样性指数

3.5.1 小型底栖生物类群优势度 Simpson 优势度指数可以较好地反映小型底栖生物各类群的集

中度(Ma, 1994; Simpson, 1949)。利用式(1)计算了山东南部沿海各站位冬季小型底栖生物 Simpson 优势度指数(表6)。由此可以给出各站位由高值到低值的排列顺序, 依次为 JC-HH099、ZD-QD226、JC-HH097、

表 5 各站位 N/C 值
Tab.5 Values of N/C in sampling stations

站位	深度(m)	底质	N/C
QD35	10	软泥	7.00
JC-HH097	12	软泥	20.39
JC-HH098	14	软泥	10.84
JC-HH099	14	软泥	30.89
ZD-QD213	30	软泥	21.16
ZD-QD218	17	软泥	7.56
ZD-QD219	31	泥	13.79
ZD-QD226	20	软泥	13.72

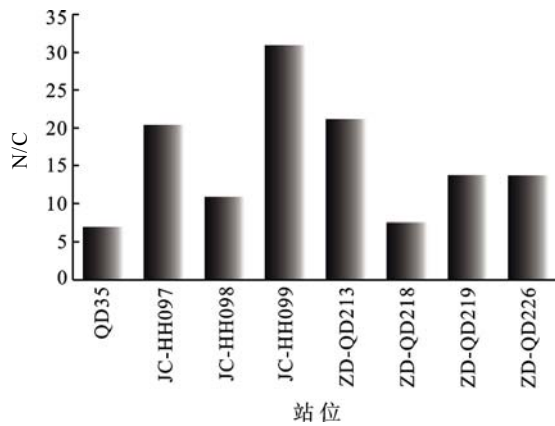


图 9 各站位的 N/C 值

Fig.9 Values of N/C in sampling stations

表 6 小型底栖生物类群优势度指数
Tab.6 The Simpson index of Meiobenthos

站位	深度(m)	底质	类群优势度指数
QD35	10	软泥	0.681357
JC-HH097	12	软泥	0.801117
JC-HH098	14	软泥	0.758311
JC-HH099	14	软泥	0.853763
ZD-QD213	30	软泥	0.719770
ZD-QD218	17	软泥	0.689880
ZD-QD219	31	泥	0.646907
ZD-QD226	20	软泥	0.828487

JC-HH098、ZD-QD213、ZD-QD218、QD35 和 ZD-QD219(图 10)。

3.5.2 小型底栖生物类群多样性指数 同样, Margalef 多样性指数可以较好地表征小型底栖生物各类群的多样性差异(Margalef, 1958; 陈国通等, 1992)。由式(2)计算给出山东南部沿海各站位之间冬季小型底栖生物的 Margalef 类群多样性指数见表 7。各站位指数由高到低顺序依次排列为 ZD-QD218、QD35、JC-HH098、ZD-QD219、ZD-QD213、JC-HH097、JC-HH099 和 ZD-QD226(图 11)。

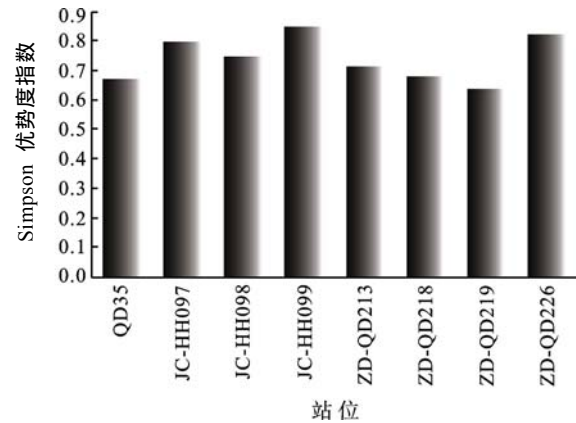


图 10 小型底栖生物的 Simpson 优势度指数

Fig.10 The Simpson index of Meiobenthos

表 7 小型底栖生物类群多样性指数
Tab.7 The Margalef index of Meiobenthos

站位	深度(m)	底质	多样性指数
QD35	10	软泥	4.031904
JC-HH097	12	软泥	3.124085
JC-HH098	14	软泥	3.849142
JC-HH099	14	软泥	3.123581
ZD-QD213	30	软泥	3.214304
ZD-QD218	17	软泥	4.567692
ZD-QD219	31	泥	3.298572
ZD-QD226	20	软泥	2.571186

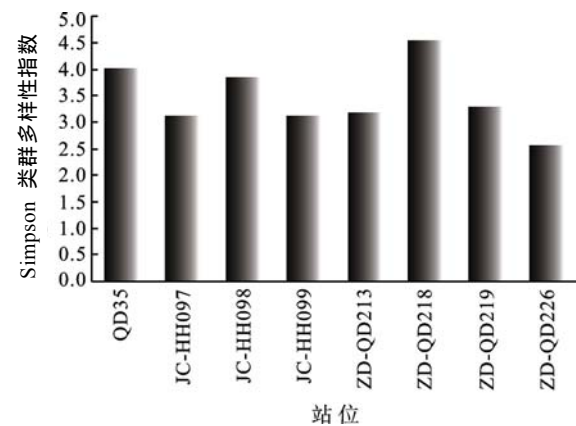


图 11 小型底栖生物类群多样性指数

Fig.11 The Margalef index of Meiobenthos

3.6 小型底栖生物的 Pielou 均匀度指数

利用式(3)计算山东南部沿海各站位冬季小型底栖生物的 Pielou 均匀度指数(表 8)。将均匀度由高到低进行顺序排列, 依次为 ZD-QD218、QD35、JC-HH098、ZD-QD219、ZD-QD213、JC-HH097、JC-HH099 和 ZD-QD226(图 12)。

表 8 小型底栖生物 Pielou 均匀度指数
Tab.8 The Pielou index of Meiobenthos

站位	Pielou 均匀度指数
QD35	0.92511
JC-HH097	0.83048
JC-HH098	0.86486
JC-HH099	0.83048
ZD-QD213	0.83048
ZD-QD218	0.95184
ZD-QD219	0.83048
ZD-QD226	0.75000

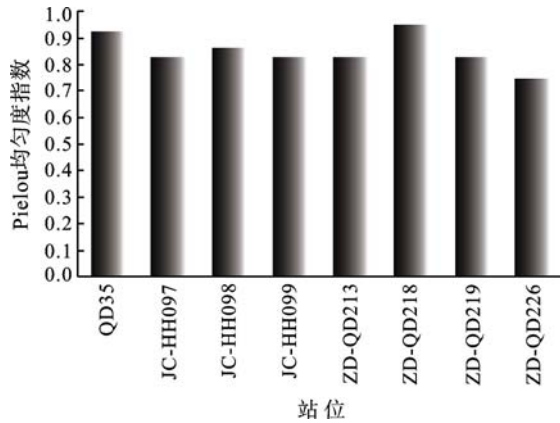


图 12 小型底栖生物的 Pielou 的均匀度指数
Fig.12 The Pielou index of Meiobenthos

3.7 小型底栖生物的香农-威纳指数

利用式(5)计算获得山东南部沿海各站位冬季小型底栖生物的香农-威纳指数(表 9)。获得其值由高到低依次为 JC-HH099、ZD-QD226、JC-HH097、JC-HH098、ZD-QD213、ZD-QD218、QD35 和 ZD-QD219 (图 13)。

表 9 小型底栖生物香农-威纳指数
Tab.9 The Shannon-Wiener index index of Meiobenthos

站位	Shannon-Weiner 指数
QD35	0.681356
JC-HH097	0.801115
JC-HH098	0.758310
JC-HH099	0.853764
ZD-QD213	0.719769
ZD-QD218	0.689884
ZD-QD219	0.646903
ZD-QD226	0.828485

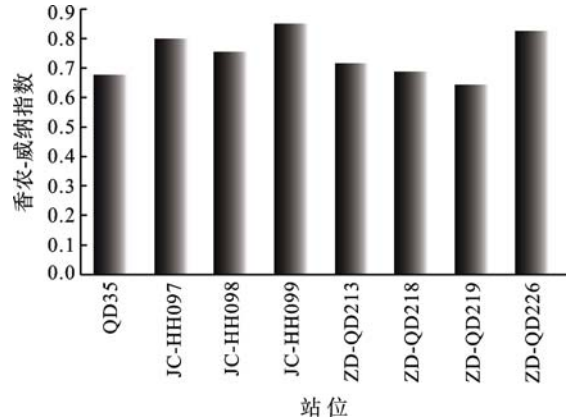


图 13 小型底栖生物的香农-威纳指数
Fig.13 The Shannon-Wiener index of Meiobenthos

4 讨论

对山东南部冬季沿海小型底栖生物类群进行分析发现, 该海域底栖生物分布具有典型特征, 而影响这些特征的因素也较为复杂, 其主要影响要素简要讨论如下。

4.1 黄海冷水团的影响

对于小型底栖生物类群平均丰度数据分析后发现, 在站位 JC-HH098 和 ZD-QD218, 桡足类和其他类的丰度变动较大, 而与其相邻站位如: JC-HH099、JC-HH097 等则有较明显的差异。由于上述三个站位皆离岸较远, 因而, 由沿岸人为污染因素而导致此差异性出现的可能性不大。因此认为, 此结果可能由以下两方面因素造成:

(1) 通常, 12 月至翌年 3 月为黄海冷水团温盐特性的更新形成期, 因此, 黄海冷水团与其环流的存在可能为导致桡足类和其他类丰度产生较大变动和差异的原因(管秉贤等, 1980¹⁾; 刘健等, 1999)。

(2) 冬季, 黄海沿岸流具有低温低盐等特征(申顺喜等, 1993)。在海流的作用下, 将具有相同或相异水文、环境的水体平移或挟挟至此, 进而, 可能成为造成上述两站位与邻近站位之间产生较大的相似性差异的另一原因。

同样, 就该研究海域冬季沿海小型底栖生物类群的垂直分布而言, 站位 JC-HH097 和 JC-HH099 与 JC-HH098 间虽然在地域上相距较近, 但三站之间垂直分布却存在较明显的差异。但不排除由于海洋调查测量本身的系统误差或该海域海流的影响。

1) 管秉贤等, 1980.中国海表层海流图.中国科学院海洋研究所, 95

故假设：

1) 可能存在海流直接通过站位 JC-HH098, 而使其与邻近的站位 JC-HH097 和 JC-HH099 存在差异。

2) 亦或许存在海流绕过站位 JC-HH098 而直接通过站位 JC-HH097 和 JC-HH099, 从而导致此差异的产生。

此假设有待于后续调查与研究所提供的数据进行进一步验证。

4.2 山东南部沿海海域生态学划分

丰度是小型底栖生物的主要生态学指标, 以此作为生态学划分依据, 对山东南部沿海海域所测的 8 个站位进行了生态学划分, 得到：

- (1) JC-HH097 和 JC-HH099 站位为贫丰度区;
- (2) ZD-QD213、ZD-QD219、ZD-QD218 与 ZD-QD226 站位为中丰度区;
- (3) JC-HH098 站位为较高丰度区;
- (4) QD35 站位为最高丰度区。

其中 JC-HH099, JC-HH097 和 JC-HH098 处于靖海湾附近海域, QD35 处于北湾口, ZD-QD226, ZD-QD218, ZD-QD213 和 ZD-QD219 位于北湾和小岛湾外围海域。

由于本研究涉及的站位有限, 同步环境因子等数据不足, 有关该海域生态学划分只是初步结论, 需要其他相关参量做进一步的研究与验证。

4.3 N/C 值的准确性分析

线虫与桡足类数量之比可反映所在生境中沉积物有机污染状况(Lamshead *et al*, 1983; Rafaellii, 1987; Warwick *et al*, 1998), 但鉴于自由生活海洋线虫和底栖桡足类在数量上的变动同时会受到沉积物类型等环境因素的影响。目前对于使用线虫与桡足类数量之比评价潮下带沉积物环境的有机污染状况的准确性仍存有争议, 但本文仅对于线虫与桡足类数量之比作为沉积物的有机污染状况的指标进行探索性的应用。

结合本次对山东南部各站位冬季和夏季线虫以及桡足类所获得的数据分别进行了方差分析, 所得结果见图 14 和 15。

由计算结果可知, 依据本次山东南部各站位冬季和夏季线虫以及桡足类所获得的数据样本, 给出其各列均值相同的概率分别为冬季：99.71%；夏季：96.78%。由此可见, 山东南部各站位夏季和冬季线虫与桡足类所获得的数据的差异性不明显, 所以, 认为用线虫与桡足类数量之比来表征所在生境中沉积物的有机污染状况的效果不佳。

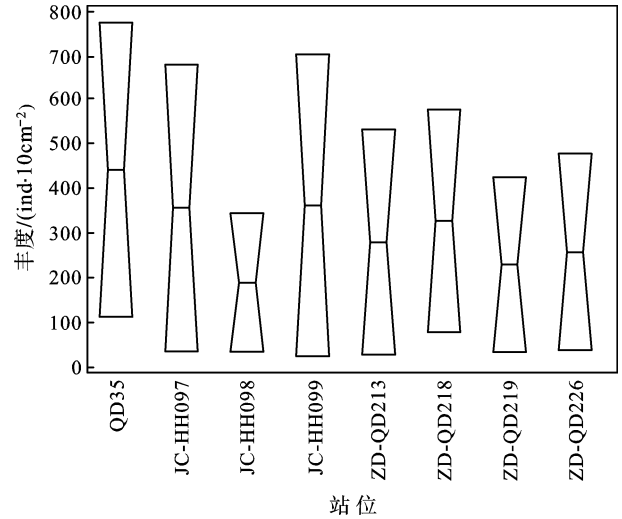


图 14 冬季线虫以及桡足类的方差分析
Fig.14 Variance analysis of Nematoda and Copepoda in winter cruise

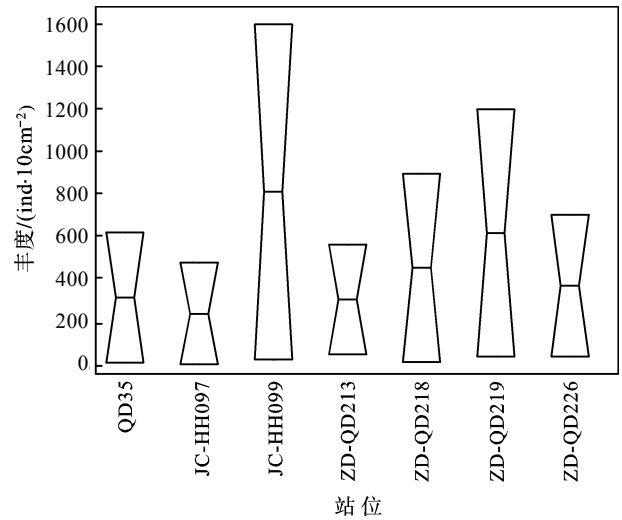


图 15 夏季线虫以及桡足类的方差分析
Fig.15 Variance analysis of Nematoda and Copepoda in summer cruise

4.4 与夏季航次对山东南部海域所获的各项生态学指标的比较

通过与 2006 年 8 月 908 夏季航次对山东南部海域(36°15'—36°45'N, 120°45'—122°00'E)小型底栖生物调查所获得的各项生态学指标进行比较发现：

山东南部海域夏季小型底栖生物的平均丰度为：(926.86±312.56) ind/10cm², 较冬季时小型底栖生物的平均丰度 (657.43±214.60) ind/10cm²高, 而此差异主要是由线虫数量间的差异造成的。冬季, 线虫的平均丰度为 564.05 ind/10cm²; 夏季, 线虫的平均丰度为 862.59 ind/10cm²。此结果说明季节性因素对山东

南部海域小型底栖生物,尤其是线虫的丰度具有一定影响。

(1) 山东南部海域夏季小型底栖生物的平均生物量为 $(868.25 \pm 383.93) \mu\text{gdwt}/10\text{cm}^2$ 与冬季小型底栖生物的平均物量 $(847.15 \pm 427.63) \mu\text{gdwt}/10\text{cm}^2$ 基本相当。

(2) 山东南部海域夏季小型底栖生物的平均 N/C 值为 66.82, 是冬季小型底栖生物的 N/C 值(15.67)的 4 倍。这表明山东南部海域在夏、冬两季 N/C 值存在明显的差异。其原因可能为温带海域春末夏初浮游植物的大量沉降使得沉积物中有机物质含量增高,有机物的分解耗费了大量的氧气,同时夏季温度的升高甚至温跃层的出现也可能造成沉积物中溶氧减少,使得对溶氧下降敏感的底栖桡足类数量下降,而与此同时,对溶氧下降相对不敏感的线虫因为食物的增加而数量上升,造成夏季 N/C 值较冬季高。

(3) 在多样性水平方面,山东南部海域夏季与冬季小型底栖生物的多样性相比,其水平基本相当。证明季节性因素对于山东南部海域夏季小型底栖生物的多样性水平不存在较大尺度的影响。

5 结论

对同一研究海域冬、夏两季调查数据进行分析,获得初步结论如下:

(1) 研究站位小型底栖生物的平均丰度为 $(657.43 \pm 214.60) \text{ind}/10\text{cm}^2$, 平均生物量为 $(847.15 \pm 427.63) \mu\text{gdwt}/10\text{cm}^2$, 平均生产量为 $(7624.32 \pm 3848.64) \mu\text{gdwt}/(10 \text{cm}^2 \cdot \text{a}^{-1})$ 。

(2) 两航次数据共鉴定出 16 个小型底栖动物类群。线虫是研究站位小型底栖生物最优势的类群,线虫与桡足类类群总和占小型底栖生物总丰度的 85.28%—96.53%, 其次是多毛类和双壳类以及其余各类群。

(3) 在垂直分布上,小型底栖动物大多数集中于表层。0—5 cm 层内线虫数量占该类总量的 66.01%, 桡足类占该类总量的 73.32%, 其它类小型底栖生物集中于表层 0—2 cm 的数量所占比例为 71.10%。

(4) 根据丰度指标进行的聚类分析结果,研究站位可划分为 4 个站位组,4 个站位组呈现出较明显的地域性,各站位组间的差异可能与各自所在海域的沉积环境差异存在联系,同时可能与黄海沿岸流有关。

(5) 小型底栖生物的平均丰度及其优势类群线虫丰度呈现出明显的季节差异,冬季明显低于夏季,而生物量和类群多样性与夏季相当。

致谢 海上采样中得到于子山教授、隋吉星和李文峰等同志的无私帮助,朱恺同学为本研究提供了 2006 年 8 月 908 项目夏季航次山东省南部海域小型底栖生物的调查数据,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 于子山,张志南,韩洁,2001. 渤海大型底栖动物次级生产力的初步研究. 青岛海洋大学学报, 31(6):867—871
- 邓可,张志南,黄勇等,2005. 南黄海典型站位底栖动物粒径谱及其应用, 中国海洋大学学报, 35(6):1005—1010
- 申顺喜,陈丽蓉,高良等,1993. 南黄海冷涡沉积和通道沉积的发现. 海洋与湖沼, 24(6): 563—570
- 刘健,李绍全,王圣洁等,1999. 末次冰消期以来黄海海平面变化与黄海暖流的形成. 海洋地质与第四纪地质, 19(1): 99
- 陈国通, Vincx M, Heip C, 1992. 小型底栖生物在北海南部湾生态监测中的应用研究. 海洋通报, 11(5): 54—58
- 张志南,1991. 小型底栖生物调查. 海洋调查规范. 北京:国家标准出版社, 37
- 张志南,周红,于子山等,2004. 胶州湾小型底栖生物的丰度和生物量. 海洋与湖沼, 32(2): 139—147
- 张志南,刘晓收, Boucher G *et al*, 2005. 底栖生物生产力现场测试系统(BCsPM)的建立及其初步实验结果. 中国海洋大学学报, 35(2): 277—282
- 洪伟,1999. Shannon-Wiener 指数的改进. 热带亚热带植物学报, 7(2):120—124
- 郭玉清,张志南,慕芳红,2002. 渤海小型底栖生物生物量的初步研究. 海洋学报, 24(6): 76—83
- Coull B C, Chandler G T, 1992. Pollution and meiofauna: field, Laboratory and mesocosm studies. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 30:191—271
- Huling N C, Gray J S A, 1971. A Manual for the Study of Meiofauna. Smithsonian Contribution to Zoology. Washington, D C, 78—83
- Jario J V, 1975. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight. *Verff Inst. Meeresforsch Bremerh*, 34(5): 283—337
- Lamshead P J D, Platt H M, Shaw K M, 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J Nat Hist*, 17: 859—874
- Ma K P, 1994. Measurement of biotic community diversity: a diversity (1). *Chinese Biodiversity*, 2:162—168
- Margalef R, 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst*, 3:36—71
- Pielou E C, 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York, 286
- Rafaellii D, 1987. The behavior of the Nematode / Copepod ratio in organic pollution studies. *Mar Environ Res*, 23: 135—152
- Schwinghamer P, Hargrave B, Peer D *et al*, 1986. Partitioning of

- production and respiration among size groups of organisms in art intertidal benthic community. *Marine Ecology Progress Series*, 31: 131—142
- Simpson E H, 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688
- Tietjen J H, Lee J J, 1977. Feeding behavior of marine nematodes. Columbia: University of South Carolina Press, 21—35
- Widbom B, 1984. Determination of average individual dry weights and ash-free dry weights in different sieve fractions of marine meiofauna. *Marine Biology*, 84 : 101—108
- Warwick R M, Platt H M, Somerfield P J, 1998. Freelifving marine nematodes. Part III. Monhysterids, Synopses of the British Fauna, 53: 687—692

MEIOBENTHOS IN SOUTHERN COAST OF SHANDONG PROVINCE IN WINTER

WU Shao-Yuan^{1,2}, MU Fang-Hong²

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai, 200062;

2. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Abstract Some meiobenthos were obtained from the research region (36°15'—36°45'N, 120°45'—122°00'E) in December of 2006 and examined, from which eight ecological indexes of meiobenthos were set: abundance, biomass, productivity, N/C, Simpson index, Margalef index, Pielou evenness index, and Shannon-Weiner index. Analysis results were compared against the data of August 2006. A preliminary ecological division was made in mainly the abundance of meiofaunal taxa.

Key words The Southern Coast of Shandong Province, Benthic Meiobenthos, Ecological indexes