#### DOI: 10.5846/stxb201408031545

毛硕乾,林霞,罗杨,朱艺峰,严小军.象山港小型底栖动物群落结构及其与环境因子的相关性.生态学报,2016,36(5): - . Mao S Q, Lin X, Luo Y, Zhu Y F, Yan X J.Communitystructure of meiofauna and its correlation with environmental factors in Xiangshan Bay. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): - .

# 象山港小型底栖动物群落结构及其与环境因子的相 关性

毛硕乾1,林 霞1,2,罗 杨1,朱艺峰1,2,\*,严小军1,2

1 宁波大学海洋学院, 宁波 315211

2 宁波大学应用海洋生物技术教育部重点实验室, 宁波 315211

摘要:为阐明象山港小型底栖动物群落的结构和组成,于2011年10月(秋)、2012年2月(冬)、5月(春)和8月(夏),对小型底 栖动物进行 12 个站位的取样分析,结果表明:共鉴定出 12 个类群,包括线虫、介形类、双壳类、腹足类、寡毛类、多毛类、涡虫类、 桡足类、端足类、涟虫类、水螅幼体和其他类。春、夏、秋、冬各季节的小型底栖动物平均丰度分别为(22.3±34.4) ind/10 cm<sup>2</sup>、 (74.8±140.8) ind/10 cm<sup>2</sup>、(31.4±64.5) ind/10 cm<sup>2</sup>和(97.4±206.5) ind/10 cm<sup>2</sup>,且以线虫和介形类为主要优势类群;相应季节的 平均生物量分别为(73.0±144.4) µg/10 cm<sup>2</sup>、(1261.7±2244.1) µg/10 cm<sup>2</sup>、(440.7±1003.7) µg/10 cm<sup>2</sup>和(1010.5±2365.6) µg/10 cm<sup>2</sup>,介形类为主要贡献类群。相似性分析(ANOSIM)显示,各季节间小型底栖动物群落结构差异显著(R=0.085, P=0.001)。 据小型底栖动物全年平均丰度的 MDS 分析,在空间上将 12 个站位分成 3 组,其中,港底区组分别与其他 2 组群落结构差异显 著,这些组间的主要类群差异是介形类、线虫、腹足类和多毛类。同时,对相应样品的14个沉积环境因子(水深、温度、盐度、水 份、有机碳、叶绿素 a、pH 值、氧化还原电位、电导率、溶解固体,以及沉积物的砂、粉砂、粘土含量和中值粒径)进行了监测,结果 发现,象山港沉积物以粘土和粉砂为主,中值粒径在港口区较高。沉积物中,有机碳季节间差异明显,春、夏有机碳含量高于秋、 冬季节;而叶绿素 a 含量在春季和港底区较高。据生物—环境(BIOENV)分析,小型底栖动物与环境因子间相关系数仅为 0.270,筛选的变量子集为砂含量、含水率、水深和中值粒径。进一步的 spearman 相关分析显示,小型底栖动物丰度与叶绿素 a 和砂含量呈显著正相关,与水深、盐度呈显著负相关;小型底栖动物生物量与砂含量呈显著正相关,分别与盐度、粉砂含量呈显 著负相关。主要类群线虫丰度与叶绿素 a 呈显著正相关,而介形类丰度与砂含量呈显著正相关,分别与氧化还原电位、盐度呈 显著负相关。寡毛类、桡足类与环境因子间均未检出显著相关性。 关键词:象山港;小型底栖动物;群落结构;环境因子;介形类

# Communitystructure of meiofauna and its correlation with environmental factors in Xiangshan Bay

MAO Shuoqian<sup>1</sup>, LIN Xia<sup>1, 2</sup>, LUO Yang<sup>1</sup>, ZHU Yifeng<sup>1, 2, \*</sup>, YAN Xiaojun<sup>1, 2</sup>
1 School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China
2 Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, the Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China

Abstract: In order to clarify the composition and structure of meiofauna communities, we collected and analyzed sediment samples from 12 stations in October (autumn) 2011, February (winter), May (spring), and August 2012 (summer) in Xiangshan Bay. The results showed that 12 meiofauna taxa were identified, which included nematodes, ostracods, bivalves, gastropods, oligochaetes, polychaetes, turbellarians, copepods, amphipods, cumaceans, hydra larvae, and others. Average

**基金项目:**海洋公益性行业科研专项经费资助项目(201105009-3);国家科技支撑项目(2011BAD13B08);浙江省自然科学基金(Y5100369);宁 波市自然科学基金(2011A610015)

收稿日期:2014-08-03; 网络出版日期:2015---

\* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhuyifeng@ nbu.edu.cn

http://www.ecologica.cn

abundance of meiofauna in spring, summer, autumn, and winter was  $22.3 \pm 34.4$ ,  $74.8 \pm 140.8$ ,  $31.4 \pm 64.5$ , and  $97.4 \pm 140.8$ 206.5 individuals per 10  $\text{cm}^2(\text{ind}/10 \text{ cm}^2)$ , respectively, and nematodes and ostracods were the dominant groups. The average biomass for the corresponding season was  $73.0 \pm 144.4$ ,  $1261.7 \pm 2244.1$ ,  $440.7 \pm 1003.7$ , and  $1010.5 \pm 2365.6$ μg/10 cm<sup>2</sup>, respectively, and ostracods were the main contributing group. Analysis of similarity (ANOSIM) indicated that meiofauna community structures between different seasons were all significantly different (R = 0.137, P = 0.001). According to Multi-Dimensional Scaling (MDS) of annual mean abundance, 12 stations were subdivided into three groups, and the bottom group in Xiangshan bay was significantly different from the other two groups. Among these groups, the main discrimination taxa were ostracods, nematodes, gastropods, and polychaetes. Meanwhile, 14 sediment environmental factors were also monitored, including depth, temperature, salinity, moisture content, organic carbon, chlorophyll a, pH, the oxidation reduction potential (ORP), conductivity, dissolved solids, sand content, silt content, clay content and median size. The results showed that clay and silt were the main ingredients in the surface sediments of Xiangshan Bay, and the median particle size was located at a higher level in the mouth of the bay. In sediments, organic carbon content changed significantly in different seasons, and was higher in the spring and summer than in autumn and winter. Moreover, the concentration of chlorophyll a was higher in the spring and at the bottom of the bay. According to the Biotic-Environmental (BIOENV) analysis, the correlation coefficient between meiofauna and environmental factors was 0.270. The selected variable subsets were sand content, moisture content, depth, and median size. Further analyses of Spearman's correlation were also carried out, and the results indicated that the abundance of meiofauna positively correlated with the level of chlorophyll a and sand but correlated negatively with depth and salinity. The biomass of meiofauna positively correlated with sand content but correlated negatively with salinity and silt content. Moreover, among meiofauna taxa, the abundance of nematodes positively correlated with chlorophyll a levels, while the abundance of ostracods positively correlated with sand content and negatively correlated with ORP and salinity. Nonetheless, no significant correlations were observed between environmental factors and oligochaetes and copepods.

Key Words: Xiangshan Bay; meiofauna; community structure; environmental factor; ostracods

小型底栖动物是指分选时可通过 0.5 mm 孔径、又被 0.042 mm (深海通常以 0.031 mm 为下限)孔径网筛 截留的底栖动物,主要是多细胞后生动物<sup>[1-2]</sup>。小型底栖动物在海洋底栖食物链中有重要作用,与大型底栖 动物群落相比,它们的生态特性具诸多优势,如个体小、丰度高、繁殖快<sup>[3]</sup>,尤其是线虫,已作为潜在的生态干 扰指标<sup>[4]</sup>。国外有关小型底栖动物研究较早且较系统,国内也开展了包括港湾、河口等海域的系列研究,如 胶州湾<sup>[5-6]</sup>、洋山港<sup>[7]</sup>、珠江口<sup>[8]</sup>、长江口与东海区<sup>[9-12]</sup>、黄渤海<sup>[13-16]</sup>、南海<sup>[17]</sup>等。

象山港位于浙江东北部沿海(121°25′—122°00′ E,29°05′—29°46′ N),是一个狭长的半封闭港湾,纵深约 60 km,海域面积近 400 km<sup>2</sup>。象山港是多种经济鱼类洄游、索饵及繁殖的场所,也是各种经济贝类幼苗的产 区,且具悠久海水养殖历史。然而,象山港近年来的生态环境遭受不同来源影响,如沿湾工农业陆源污染、海 水养殖业污染、电厂温排水热污染、以及多年围填海工程的累积影响等<sup>[18-20]</sup>。以往有关象山港底栖生物生态 调查,大多针对大型底栖动物,小型底栖动物只涉及潮间带<sup>[21]</sup>,未有较系统的整片海域调查和研究。为此,我 们于 2011—2012 年进行了季节性取样,一方面,分析了小型底栖动物的群落结构及其与环境因子的相关性, 并探讨人类活动对象山港小型底栖动物的影响;另一方面,也是完善象山港底栖生态调查,为今后象山港生态 保护和海洋生物监测提供基础数据。

#### 1 材料与方法

# 1.1 采样时间与站位设置

采样时间为 2011 年 10 月 22 日、2012 年 2 月 25 日、5 月 22 日和 8 月 19 日。在象山港海域设置 12 个站

位(图1),现场用 0.045 m<sup>2</sup>的挖泥斗采集底泥,用内径 2.9 cm 塑料取样管,取表层 5 cm 深的底泥 5 重复置于 塑料瓶中,5%福尔马林固定,用于小型底栖动物分析。另取 3 管,冰上运输,室内于-20 ℃保存,用于环境因 子分析。



Fig. 1 Sampling stations in Xiangshan Bay

#### 1.2 小型底栖动物类群分析

小型底栖生物按照套筛分离法,室内样品倾倒至套筛(上层筛 500 µm、底层筛 31 µm),用洗瓶反复冲洗 底泥,最后用洗瓶小心反冲底层网筛上的残留物至培养皿,再置于解剖镜下按类群挑选并计数。各类群干重 通过换算:水螅类(16 µg/ind)、涡虫类(3.5 µg/ind)、线虫(0.39 µg/ind)、多毛类(14 µg/ind)、介形类(26 µg/ ind)、双壳类(4.1 µg/ind)<sup>[22]</sup>;桡足类(1.9 µg/ind)、寡毛类(14 µg/ind)、腹足类(4.2 µg/ind)、涟虫类(3.5 µg/ind)、其他类(3.5 µg/ind)<sup>[23]</sup>;端足类(15 µg/ind)<sup>[24]</sup>。

1.3 环境因子监测

底层水质参数测定与生物取样同步进行,用多功能水质仪(U-5000,日本)测定近底层 50 cm 处水温、pH 值、氧化还原电位、盐度、电导率和溶解固体。底泥含水率通过 105 ℃烘干恒重法测定(GB 17378.5-2007);有 机碳通过重铬酸钾法测定(GB 17378.5-2007);叶绿素 a 按照荧光法测定(GB/T 12763.6-2007),用 90%丙酮 在 4℃下黑暗提取 24 h,离心 15 min,取上清液,用 F95 荧光光度计在 670 nm 波长下测定上清液荧光度,根据 叶绿素荧光标准曲线计算样品的叶绿素 a 含量;粒度用 LS 200 型激光粒度仪测定。

#### 1.4 数据分析

小型底栖动物各类群丰度数据经4次方根转换,再构建 Bray-Curtis 相似性矩阵。群落排序用多维尺度分析(MDS),不同时空组间的群落差异经单向相似性分析(One-way ANOSIM),各类群对群落的贡献按相似性百分比(SIMPER)分析,生物矩阵和环境关系以及环境因子最优子集筛选经 BIOENV/BVSTEP 分析。上述所有分析采用 Primer 5.2.8 软件<sup>[25]</sup>。各类群生物和环境因子间的 Spearman 相关性经 SPSS 分析。

#### 2 结果与分析

#### 2.1 底质环境

#### 2.1.1 底层水质

环境因子监测结果见表 1。各调查站位平均水深为 13.4 m,X15 站位最深,为 18.9 m,X05 站位最浅,为 6.6 m。春、夏、秋、冬平均水温分别为 20.2 ℃、28.7 ℃、22.3 ℃和 7.8 ℃,年平均温度 19.7 ℃。盐度总体变化 不大,年平均盐度为 25.1,港口区盐度明显高于港底区。

#### 2.1.2 底泥含水率、有机碳和叶绿素

各站位底泥平均含水率为 37.8%(表1),有机碳季节间差异明显,其中,春、夏有机碳含量分别为 0.8 % 和 0.9 %,高于秋、冬含量(均为 0.6 %)。叶绿素 a 含量以春季最高,为 2.0 μg/g,其他季节相近;空间上,港底的叶绿素明显高于港中部和港口区,各站位中,X06站位年平均叶绿素为 3.2 μg/g,远高于其他站位,而含量最低在 X09站位,为 0.8 μg/g。

### 2.2 底质类型

象山港沉积物以粘土和粉砂为主(表1),2者总含量超过80%。中值粒径在冬季略大,其他3个季节相近;空间上,X01、X09和X10站位的中值粒径在各季内均较低,而港口站位的年平均中值粒径较其他站位高。 2.3 小型底栖动物类群组成、丰度与生物量

4个航次共鉴定出小型底栖动物 12个类群(表 2),包括线虫、介形类、双壳类、腹足类、寡毛类、多毛类、 涡虫类、桡足类、端足类、水螅幼体、涟虫类和其他类。以线虫和介形类占绝对优势,年平均丰度分别为 47.6%、44.8%。其中春季和冬季线虫占优,而夏季和秋季介形类占优,其他各类群丰度很低,合计只占总丰度 7.6%。

各季节小型底栖动物平均丰度从高到低是:冬季((97.4±206.5) ind/10 cm<sup>2</sup>)、夏季((74.8±140.8) ind/10 cm<sup>2</sup>)、秋季((31.4±64.5) ind/10 cm<sup>2</sup>)和春季((22.3±34.4) ind/10 cm<sup>2</sup>),相应季节最高丰度站位分别在 X01、X05、X01 和 X11(图 2),最低站位分别为 X18、X15 和 X10。总体上看,港口区丰度较低,港底区较高。

各季节生物量中,以夏季最高((1261.7±2244.1) μg/10 cm<sup>2</sup>),其次是冬季((1010.5±2365.6) μg/10 cm<sup>2</sup>),秋季次之((440.7±1003.7) μg/10 cm<sup>2</sup>),春季最低((73.0±144.4) μg/10 cm<sup>2</sup>,见表 2)。各站位中,秋季 和冬季生物量最高值都位于 X01,春季和夏季生物量最高值分别位于 X11 和 X05;春、夏、秋、冬生物量最低值 站位分别发生在 X16、X18、X02 和 X15(图 3)。不难看出,港口区生物量明显低于港底区。从各类群对生物 量贡献上看,春季介形类比例最低,只占 56.7%,主要是其他类群所占比例相对较高,如多毛类占到 23.7%,而 在其他季节里多毛类仅占 1%左右;除春季外,其他季节介形类的贡献占绝对优势,均高于 90%。

#### 2.4 小型底栖动物群落 MDS 分析

对象山港 12 个站位小型底栖动物的年平均丰度进行了 MDS 排序,结果显示(图 4), MDS 排序图的压力 系数(Stress) < 0.1,表明该图的排序良好,无需进一步聚类分析确认<sup>[25]</sup>。12 个站位可划分为 3 个组, A 组仅有 X15 站位(港口与狭湾交接区), B 组包括 X01、X02、X04、X05 和 X06 站位(港底区), C 组包括 X09、X10、X11、X13、X16、X18 站位(其余海区)。

### 2.5 群落相似性分析

不同时空的 ANOSIM 和 SIMPER 分析结果见表 3。各季节间的群落结构差异极显著(P<0.01),主要判别 类群为介形类、线虫、多毛类和双壳类。空间上,B 组分别与 A 组和 C 组存在显著差异(P<0.05),主要判别类 群为介形类、线虫、腹足类和多毛类。A 组的 X15 站位很特殊,该站位各个类群的丰度很低,且寡毛类、多毛 类在 4 季中均未检出。B、C 组的区别在于 B 组介形类丰度高于线虫,而 C 组线虫丰度高于介形类;此外,B 组 的双壳类和腹足类丰度也较 C 组要高。很明显,港底区类群更丰富。

				Ta	ible 1 Mo	mitoring re	sults of sec	liment env	ironmental	factors in	Xiangshar	Bay (Me	an±SD)					
	東位						± ₩ 3	市平均 sal mean							1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	市平均 <sup>mean</sup>		年平均
Environmental	± ∏nii						00000							#	「 「 」 「 」	1101 III.0	¥	– Annual
factor		X01	X02	X04	X05	X06	X09	X10	X11	X13	X15	X16	X18	Tring	Summer	Autumn	Winter	mean
水深 Depth	в	13.6±5.2	$11.8 \pm 1.1$	$11.8\pm 2.0$	$6.6 \pm 1.3$	14.2±3.5	$15.1\pm 2.0$	18.6±1.7	9.1±4.3	17.5±1.9	$18.9\pm 3.3$	$8.9 \pm 1.1$	$15.1 \pm 3.3$	13.6±4.4	14.5±5.7	$13.2\pm 3.8$	12.4±4.4	$13.4\pm0.9$
水温 Temperature	ပ္	$20.1 \pm 8.9$	$20.3\pm 8.9$	$20.3\pm 8.9$	$20.1 \pm 8.9$	$20.5\pm 8.9$	$20.3\pm9.0$	$19.8\pm 8.9$	$20.1 \pm 9.0$	$18.9\pm 8.3$	18.6±8.3	$18.8 \pm 8.2$	$19.1\pm8.6$	$20.2\pm1.1$	$28.7 \pm 1.0$	22.3±0.6	$7.8 \pm 0.4$	$19.7 \pm 8.7$
盐度 Salinity	I	$23.9\pm1.5$	$24.2\pm1.3$	$22.9\pm 1.7$	$23.3 \pm 1.3$	24.2±1.1	$24.9\pm0.6$	$25.5\pm0.3$	$24.7\pm0.8$	$26.8 \pm 1.9$	27.2±1.7	$26.6 \pm 1.5$	$27.1 \pm 1.3$	25.1±1.8	$25.1 \pm 3.2$	$24.8 \pm 0.5$	$25.4 \pm 1.2$	$25.1 \pm 0.2$
含水率 Moisture content	%	29.3±9.8	38.8±5.8	33.2±2.2	28.2±7.3	43.5±6.1	40.0±1.7	48.4±10.3	41.3±2.1	37.3±0.7	40.2±4.1	40.2±0.7	33.5±1.6	37.1±7.6	38.7±10.9	37.9±4.4	37.7±6.1	37.8±0.7
有机碳 Organic carbon	%	$0.63\pm0.10$	0.73±0.26	$0.65\pm0.33$	0.73±0.29	$0.90 \pm 0.28$	$0.78 \pm 0.10$	0.85±0.19	0.75±0.19	0.73±0.26	0.68±0.24	0.65±0.19	0.65±0.10	$0.84 \pm 0.19$	$0.91 \pm 0.18$	$0.58 \pm 0.11$	$0.58\pm0.11$	0.73±0.18
叶绿素 a Chlorophyll a	β∕8π	$1.5\pm0.2$	2.7±1.1	2.2±0.6	2.1±1.4	3.2±1.6	$0.8 \pm 0.1$	$0.9 \pm 0.2$	$1.3 \pm 0.4$	$0.9 \pm 0.1$	$0.8 \pm 0.2$	1.1±0.1	$0.8 \pm 0.3$	2.0±1.5	$1.4 \pm 1.1$	$1.4 \pm 0.7$	1.3±0.6	$1.5 \pm 0.3$
砂 Sand	%	$3.3 \pm 3.7$	$2.3\pm 2.4$	$9.2\pm 8.8$	4.7±5.4	$0.6 \pm 0.6$	0	0	$0.6 \pm 0.7$	$0.1 \pm 0.3$	$0.3 \pm 0.4$	$0.7 \pm 1.1$	$1.2 \pm 0.9$	$0.4{\pm}0.5$	$3.4{\pm}5.7$	$1.8 \pm 3.6$	$2.1 \pm 3.6$	$1.9 \pm 1.2$
粉砂 Silt	$_{0}^{\prime \prime \prime }$	$36.1\pm3.1$	42.2±4.9	$37.2\pm6.0$	$46.8 \pm 10.9$	47.9±3.4	$36.4\pm6.0$	$36.7\pm6.1$	49.3±3.5	49.8±6.5	52.4±3.9	$61.0 \pm 4.1$	57.9±7.7	45.6±11.2	43.6±10.1	45.2±8.6	$50.2\pm 8.8$	$46.1\pm 2.8$
粘土 Clay	%	60.7±3.2	55.6±6.8	$53.6\pm10.2$	48.5±11.4	$51.5 \pm 4.1$	$63.6\pm6.0$	$63.3\pm6.1$	50.2±3.8	$50.1 {\pm} 6.7$	47.4±4.1	38.4±3.5	$40.9\pm8.2$	54.1±11.4	$53.1 \pm 9.4$	53.1±8.6	47.7±9.0	52.0±2.9
中值粒径 Median size	m	$5.8\pm0.5$	7.0±1.2	7.5±2.0	9.0±3.0	7.7±0.9	5.4±1.0	5.4±1.1	8.1±1.1	8.2±1.9	8.8±1.2	12.0±1.6	12.3±5.0	7.6±2.7	7.6±2.2	7.6±2.0	9.2±3.9	$8.0{\pm}0.8$
μd	I	$8.4{\pm}0.1$	$8.4{\pm}0.1$	$8.4{\pm}0.1$	$8.3 \pm 0.1$	$8.5 \pm 0.1$	$8.4{\pm}0.2$	$8.4 \pm 0.2$	$8.4{\pm}0.2$	$8.3 \pm 0.2$	$8.3 \pm 0.2$	$8.0 {\pm} 0.4$	$8.3 {\pm} 0.2$	$8.3{\pm}0.3$	$8.5 \pm 0.1$	$8.4{\pm}0.05$	$8.2 \pm 0.2$	8.3±0.2
氧化还原 电位 Oxidation reduction potential	MV	178.0±30.4	181.3±24.8	185.5±17.2	185.3±17.4	181.3±21.2	185.8±24.9	188.8±31.0	189.3±34.4	199.5±27.5 2	03.3±33.3	254.8±56.7	225.5±31.7.	202.1±26.9	185.7±19.4	166.6±20.3	231.7±33.8	196.5±27.6
电导率 Conductivity	mS/cm	38.1±2.4	38.5±2.3	36.6±3.0	37.2±2.0	38.3±2.0	39.5±1.4	40.3±1.0	39.1±0.8	42.4±3.0	42.7±2.4	42.0±2.0	42.7±1.9	39.6±2.6	39.4±4.6	39.0±0.7	41.0±1.8	39.8±0.9
溶解固体 Dissolved solid	g/L	23.2±1.4	23.5±1.4	22.3±1.8	22.7±1.2	23.4±1.2	24.1±0.8	24.6±0.7	$23.9 \pm 0.5$	25.8±1.8	26.1±1.5	25.6±1.2	25.9±1.3	24.1±1.6	24.0±2.8	23.8±0.4	25.0±1.1	24.2±0.5

http://www.ecologica.cn

5 期

5

表 2	小型底栖动物类群丰度和生物量(	(平均值±标准差	)
-----	-----------------	----------	---

Table 2 Group abundance and biomass of meiofauna (Mean±SD)

				•						
		丰度 A	bundance /	$(ind/10 \text{ cm}^2)$			生物量	Biomass ∕(µg⁄	(10 cm <sup>2</sup> )	
类群 Group	春季	夏季	秋季	冬季	年平均	春季	夏季	秋季	冬季	年平均
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual mean	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual mean
线虫 Nematoda	18.5±25.8	$20.5 \pm 40.3$	11.8±16.2	56.9±110.3	$26.9 \pm 62.8$	7.2±10.1	8.0±15.7	4.6±6.3	22.2±43.0	$10.5 \pm 24.5$
介形类 Ostracoda	1.6±3.0	46.6±81.8	15.9±35.4	37.0±86.8	25.3±64.3	41.4±78.3	1212.7±2126.9	413.6±921.0	962.5±2256.5	$657.6 \pm 1672.0$
双壳类 Bivalvia	0.03±0.2	1.9±3.8	0.8±1.9	0.9±2.6	$0.9 \pm 2.6$	0.1±0.8	7.9±15.7	3.4±7.9	3.7±10.5	3.78±10.5
腹足类 Gastropoda	0	4.7±11.9	0.4±1.0	0.9±1.9	1.5±6.3	0	19.8±49.9	1.5±4.3	3.8±8.0	6.3±26.4
寡毛类 Oligochaeta	0.3±0.8	$0.08 \pm 0.3$	0.5±1.7	0.4±1.1	0.3±1.1	4.6±11.8	1.1±4.7	6.7±23.9	5.0±15.3	4.3±15.6
多毛类 Polychaeta	1.2±2.4	0.8±1.9	0.4±1.0	0.9±1.9	0.8±1.9	17.3±34.2	11.7±26.9	5.3±13.9	12.0±27.2	11.6±26.7
涡虫 Turbellaria	0.5±1.2	$0.05 \pm 0.3$	1.3±6.3	0.2±0.9	$0.5 \pm 3.2$	1.7±4.3	0.2±1.0	4.6±21.9	0.7±3.0	1.8±11.3
桡足类 Copepoda	0.05±0.3	$0.05 \pm 0.3$	0.3±0.9	0.3±1.1	0.2±0.7	0.1±0.5	0.1±0.5	0.6±1.7	0.6±2.1	$0.3 \pm 1.4$
端足类 Amphipoda	0	$0.03 \pm 0.2$	$0.03 \pm 0.2$	0	$0.01 \pm 0.1$	0	0.4±2.9	0.4±2.9	0	0.2±2.1
水螅幼体 Hydrozoa	0.03±0.2	0	0	0	$0.01 \pm 0.1$	0.4±3.1	0	0	0	0.1±1.6
涟虫 Cumacea	0.03±0.2	0	0	0	$0.01 \pm 0.1$	0.1±0.7	0	0	0	0.02±0.3
其他类 Other	0.03±0.2	0	0	0	0.01±0.1	0.1±0.7	0	0	0	0.02±0.3
总计 Total	22.3±34.4	74.8±140.8	31.4±64.5	97.4±206.5	56.5±143.4	73.0±144.4	1261.7±2244.1	440.7±1003.7	1010.5±2365.6	696.5±1792.8



图 2 各季节不同站位小型底栖动物丰度



# 2.6 小型底栖动物与环境因子相关性

据 BIOENV 分析结果,小型底栖动物与环境因子相关性很低,相关系数 P=0.270,筛选的最优子集为砂含量、含水率、水深和中值粒径。进一步相关分析表明(表4):小型底栖动物总丰度与叶绿素 a 和砂含量呈显著 正相关,分别与水深、盐度呈显著负相关;总生物量与砂含量呈显著正相关,分别与盐度、粉砂含量呈显著负相 关。各类群中,主要类群线虫丰度与叶绿素 a 呈显著正相关;介形类丰度与砂含量呈显著正相关,分别与氧化



图 3 各季节不同站位小型底栖动物生物量 Fig. 3 Meiofauna biomass in different stations for each season

还原电位、盐度呈显著负相关;寡毛类、桡足类与环境因 子间均未检出显著相关性。在所有相关系数中,相关性 都偏弱(|r| < 0.476)。

#### 3 讨论

3.1 象山港小型底栖动物与国内其他海域比较

象山港与其他海域小型底栖动物丰度比较结果列 于表5,总体上,内湾或江口区小型底栖丰度均较低。 象山港种类数处于中下水平,年平均丰度最低,仅为57 ind/10 cm<sup>2</sup>,远低于其他海域平均水平。原因是:作为 其他海域绝对优势类群的线虫数量在象山港只有27 ind/10 cm<sup>2</sup>,比其他海域低1-2个数量级,也远低于象



图 4 小型底栖动物丰度的 MDS 排序分析 Fig. 4 MDS ordination of meiofaunal abundance

山港潮间带调查结果<sup>[21]</sup>。此外,除了线虫和介形类2个主要类群外,象山港其他类群丰度也很低,仅占总丰度的7.6%。

	Table 3 Analysis	of similarity a	nd similarity p	ercentage for	spatiotemporal	community s	tructures	
	相似性分析检验 ANOSIM				相似性百分出 SIMPER	Ś		
组 Group	R值P值 R value P value	非相似性/% Dissimilarity	判别种 1 Discriminating species 1 /%	贡献比/% Contribution	判别种 2/% Discriminating species 2	贡献比/% Contribution	判别种/% Discriminating species 3	贡献比/% Contribution
季节 Season	0.085 0.001							

表 3 不同时空群落结构的相似性和相似性百分比分析

续表									
	相似性分 ANC	♪析检验 )SIM				相似性百分出 SIMPER			
组 Group	R值 R value	P值 Pvalue	非相似性/% Dissimilarity	判别种 1 Discriminating species 1 /%	贡献比/% Contribution	判别种 2/% Discriminating species 2	贡献比/% Contribution	判别种/% Discriminating species 3	贡献比/% Contribution
春—夏 Spring-summer	0.193	0.001	54.88	介形类	28.63	线虫	24.98	多毛类	11.73
夏—秋 Summer-autumn	0.048	0.004	49.31	介形类	25.63	线虫	23.60	双壳类	13.46
秋—冬 Autumn-winter	0.040	0.008	46.58	线虫	27.79	介形类	25.32	双壳类	10.56
冬—春 Winter-spring	0.111	0.001	48.39	线虫	28.94	介形类	28.62	多毛类	12.71
空间 Space	0.129	0.001							
A—B	0.139	0.019	45.55	介形类	32.31	线虫	27.45	腹足类	13.10
В—С	0.141	0.001	44.48	介形类	27.44	线虫	23.95	多毛类	10.93
A—C	0.041	0.268	43.81	线虫	35.90	介形类	20.30	多毛类	14.10

表 4 小型底栖动物丰度、生物量与环境因子的 Spearman 相关系数

1 able 4 Spearman correlation coefficients between meiofauna abundance/ biomass and environmental fa	Table 4	Spearman correlation coeffi	nts between meiofauna	abundance/biomass and	l environmental factors
--	---------	-----------------------------	-----------------------	-----------------------	-------------------------

环境因子	小型/ Meiof	底栖 auna	线虫	介形类	双壳类	腹足类	寡毛类	多毛类	涡虫类	桡足类
Environmentalfactor	丰度 Abundance	生物量 Biomass	Nematoda	Ostracoda	Bivalve	Gastropoda	Oligochaeta	Polychaeta	Turbellaria	Copepoda
含水率 Moisture	-0.080	-0.185	0.177	-0.167	-0.393 **	-0.302*	0.169	0.065	0.102	-0.004
有机碳 Organic carbon	0.007	-0.070	0.007	-0.051	-0.138	-0.083	0.041	0.057	0.033	-0.235
叶绿素 a Chlorophyll a	0.405 **	0.086	0.392 **	-0.013	0.102	0.146	0.089	-0.087	0.202	0.001
水深 Depth	-0.427 **	-0.183	-0.280	-0.097	-0.248	-0.232	-0.129	-0.012	0.076	0.011
水温 Temperature	0.041	0.201	-0.281	0.237	0.319*	0.285 *	-0.091	-0.134	-0.111	-0.153
pН	-0.032	0.173	-0.243	0.242	0.234	0.194	-0.152	-0.147	-0.109	-0.130
氧化还原电位 Oxidation reduction potential	-0.045	-0.253	0.209	-0.330*	-0.261	-0.275	0.101	0.145	-0.117	0.094
盐度 Salinity	-0.334 *	-0.321 *	-0.034	-0.285 *	-0.286*	-0.403 **	0.060	0.145	-0.130	0.044
电导率 Conductivity	-0.251	-0.258	0.051	-0.222	-0.244	-0.337 *	0.040	0.156	-0.130	0.080
溶解固体 Dissolved solid	-0.247	-0.245	0.045	-0.198	-0.250	-0.325 *	0.025	0.151	-0.142	0.067
砂 Sand	0.335 *	0.357 *	0.015	0.406 **	0.474 **	0.476 **	-0.132	-0.346*	-0.304 *	-0.217
粉砂 Silt	-0.268	-0.313 *	-0.010	-0.282	-0.136	-0.285 *	0.060	-0.086	-0.163	-0.134
粘土 Clay	0.136	0.161	0.005	0.120	-0.018	0.087	0.000	0.179	0.290*	0.186
中值粒径 Median size	-0.130	-0.158	-0.001	-0.118	0.010	-0.088	0.004	-0.172	-0.285 *	-0.189

\*\* P < 0.01; \* P < 0.05; 端足类、水螅幼体和涟虫出现次数极少, 未进行 Spearman 相关分析

	1 at	ne 5 Compai	Ison of meloraun	a abunuance for	unierent bay,	estually allu seav	waters	
海域 Sea area	时间 Time	类群数 Group numbers	平均丰度 Average abundance (ind/10 cm <sup>2</sup> )	线虫丰度 Nematoda abundance (ind/10 cm <sup>2</sup> )	线虫丰度 比例 Ratio of nematoda abundance /(%)	介形类 丰度 Ostracoda abundance (ind/10 cm <sup>2</sup> )	介形类 丰度比例 Ratio of ostracoda abundance /(%)	文献 References
胶州湾 Jiaozhou Bay	1995—2004	16 (15—17)	1700 (1510—1889)	1576 (1350—1802)	91.0 (86.6—95.4)	18.6 (4.0—33.2)	1.2 (0.22—2.2)	[5-6]
太平湾 Taiping Bay	2004—2005	13	1025	914	89.2	0.5	0.05	[26]
洋山港 Yangshan Port	2005	10	275	154	56.0	58.4	21.2	[7]
象山港 Xiangshan Bay	2011—2012	12	57	27	47.7	25.3	44.8	本研究
安海湾 Anhai Bay	2007	4	315	309	98.2	—	—	[27]
浔江湾 Xunjiang Bay	1999	8	597	533	89.3	6.4	1.1	[28]
大亚湾 Daya Bay	2009—2010	17 (16—17)	376 (159—593)	351 (155—547)	94.9 (92.2—97.6)	0.6 (0.04—1.2)	0.2 (0.2—0.26)	[29-30]
长江口 Changjiang estuary	2003—2011	14 (10—21)	1614 (1081—1971)	1472 (1021—1785)	92.0 (88.8—95.4)	12.4 (0—56.1)	0.7 (0—2.9)	[9-12, 15]
珠江口 Pearl River estuary	2010	16	183	115	62.6	1.0	0.5	[8]
渤海 Bohai sea	1997	14	2300	2151	93.5	_	_	[13]
黄海 Yellow sea	2000—2008	17 (12—20)	1378 (349—2195)	1179 (272—1930)	83.7 (73.8—89.7)	5.5 (1.5—12)	0.4 (0.1—1.1)	[14-16, 31-34]
南海 South China sea	2007	11.5	529 (156—901)	485 (132—837)	88.9 (84.9—92.9)	0.5	0.1	[15, 17]

表 5	不同港湾、河口与海区小型底栖动物丰度比较	

一:无数据 No data; 括号内数值指示范围

象山港的低小型底栖动物丰度与人类活动极其频繁有关。首先,象山港是重要养殖区,具400多年养殖 历史,尽管养殖污染物对海域造成的负荷大多低于10%,但水交换条件差的局部海域易产生累积污染,而象 山港海水交换能力很差,在主要养殖区的港底区,95%水交换需要4个月<sup>[18]</sup>,这一点在线虫上体现得尤为明 显,两港底的4个站位线虫年平均丰度仅占全港线虫年平均丰度的23.0%。其次,象山港多年的围填海工程 又使水交换率明显降低,这导致海流和沉积物性质进一步发生变化,从而影响小型底栖动物丰度<sup>[20,35]</sup>。最 后,其他人类活动也会影响底栖动物生境。如电厂建设会对底栖动物造成危害,谢礼等<sup>[36]</sup>调查显示,潮间带 小型底栖动物在高自然水温时,温排水会使线虫数量骤减。特别需要指出的是,X15站位处于象山港大桥、轮 渡码头以及象山港陆源排水口附近,受多重人类活动影响,小型底栖动物种类(6种)和丰度(年平均丰度4.2 ind/10 cm<sup>2</sup>)均明显低于其他站位。已有调查指出<sup>[7]</sup>,洋山港工程建设的人类活动会通过直接或间接影响小 型底栖动物的生活环境,从而改变种类组成和群落结构,如沿岸的工农业污染物会导致小型底栖动物组成减 少,丰度和生物量下降。

# 3.2 象山港介形类

象山港小型底栖动物中有高比例的介形类,这与许多海域以线虫为绝对优势类群、且介形类丰度大多小于 10 ind/10 cm<sup>2</sup>不同(表 5)。在国内海域小型底栖动物调查中,胶州湾和洋山港介形类丰度较高,但胶州湾

介形类比例仍低,与象山港较近的洋山港介形类丰度比例较高(21.2%)。从生物量上看,象山港介形类生物量在小型底栖动物里占有绝对优势,除春季较低(56.7%)外,其他季节均高于90%。而且,这种较低线虫、较高介形类比例现象在宁波其他海域,诸如沿海养殖围塘内也经常发现。研究表明,介形类对环境变化敏感,可反映所处水域的环境状况<sup>[37]</sup>。因此,有必要对介形类的分布特征进行探讨。

首先,内湾悬浮物具备较高的沉积速率,能为介形类提供稳定的栖息环境<sup>[38]</sup>。象山港为狭长型半封闭港 湾,纵深长,港底水交换能力弱<sup>[18]</sup>,这恰恰为介形类创造良好的栖息环境。据计算,港底 X01、X02、X04、X05 站位的介形类丰度占总丰度比例高达 87.3%。

其次,不同介形类可栖息于不同类型的底质<sup>[39]</sup>。如 Starek<sup>[38]</sup>指出,泥泞的环境有利于介形类的生存和繁 殖;Ansari 等<sup>[40]</sup>调查了印度 Mandovi 河口的小型底栖动物后认为,介形类更喜欢细粉砂底质;而 Pallo 等<sup>[41]</sup>在 调查了波罗的海东部里加湾的底栖动物后发现,介形类更喜欢粗砂底质;Giere<sup>[2]</sup>研究发现,介形类更偏好生 活于砂质底质的浅水区。就象山港而言,港底的砂含量明显高于其它站位(表1),且与介形类丰度显著正相 关(表4),表明含砂底质是产生象山港港底区介形类高丰度另一个重要条件。

最后,食物也是影响介形类分布的另一重要因素。张锡南<sup>[42]</sup>指出,介形类食物主要为藻类、腐殖质和腐烂的动物,所以介形类富集的地层含有丰富的有机质。Higgins 和 Thiel<sup>[43]</sup>也认为,当海洋线虫和介形类为主要类群时,可推断沉积物中具有高含量的有机质,因这可使小型底栖动物的食物来源更丰富。但据本研究结果(表1),港底区有机质含量并不高于其他海域,这与 Pallo等<sup>[41]</sup>的调查结论,即低有机质站位的介形类丰度显著高于高有机质站位相仿。象山港港底区富营养化严重、水产养殖业兴旺<sup>[18]</sup>,必然产生大量残饵,经微生物分解,会产生大量的腐殖质,腐殖质可被介形类摄食,形成一条腐生食物链。因此,象山港港底区高丰度介形类除摄食藻类引起外(港底区具较高的叶绿素 a 含量,表1),可能还与沉积物中的腐殖质含量有关,如南波罗的海介形类丰度和繁殖率与植物腐殖质具有直接联系<sup>[44]</sup>。通常,微生物快速分解过程以及富营养化水体的沉积物腐殖质中具有高黄腐酸含量,而黄腐酸含量越高,则有机质含量会更低<sup>[45-46]</sup>。因此,港底区有机质含量不高可能由微生物、介形类的高分解速率,或由腐殖质中的高黄腐酸含量引起。

综上所述,更稳定的沉积环境、一定含量的砂质沉积物和丰富饵料的共同作用,使得介形类在象山港港底 富集。

3.3 象山港小型底栖动物与环境因子关系

象山港小型底栖动物与所监测的环境因子间相关性很低(表4),据本研究 BIOENV 分析显示,砂含量、含水率、水深和中值粒径与小型底栖动物丰度相关系数最高,但只有 0.270。孟昭翠等<sup>[12]</sup>于 2011 年调查长江口及东海海域底栖生物,得出的 BIOENV 相关性系数也不高(P=0.381),最优环境子集为叶绿素 a、脱镁叶绿素 a、中值粒径、水深和盐度。

环境因子与小型底栖动物丰度的相关性在许多研究中的结论也很不一致。如沉积物中叶绿素 a,它可体现小型底栖动物食物来源和底质环境质量,因而得到广泛关注。象山港小型底栖动物丰度与叶绿素 a 呈显著正相关(表4),这与国内大多数作者的研究结果一致<sup>[6,11,14,33]</sup>,但王小谷等<sup>[10]</sup>研究发现 2 者无显著相关性,并认为沉积物成份不同会影响小型底栖动物功能群,从而有不同的食物选择,这会影响小型底栖动物和叶绿素 a 间的相关性。此外,小型底栖动物丰度和水深的相关性结论也不具确定性,如 2 者呈显著正相关<sup>[10,13]</sup>、显著负相关<sup>[11,14,17,33,36]</sup>;范士亮等<sup>[35]</sup>调查发现,在黄海水深<45 m 时,2 者呈显著正相关,>45 m 则呈显著负相关;而本研究 2 者为显著负相关,但水深却<45 m。小型底栖动物丰度和盐度的相关性也不一致,2 者呈显著正相关<sup>[8,10]</sup>、显著负相关<sup>[11]</sup>、相关性不显著<sup>[28]</sup>。而对长江口研究发现<sup>[12]</sup>,小型底栖生物未与任何单一环境因子有相关关系,并认为小型底栖生物的数量分布受多个环境因子共同作用。

#### 参考文献(References):

[1] 张志南,周红.自由生活海洋线虫的系统分类学.青岛海洋大学学报,2003,33(6):891-900.

[2] Giere O. Meiobenthology: The Microscopic Motile Fauna of Aquatic Sediments. Germany: Springer Science & Business Media, 2008.

- [3] Trebukhova Y A, Miljutin D M, Pavlyuk O N, Maryash A A, Brenke N. Changes in deep-sea metazoan meiobenthic communities and nematode assemblages along a depth gradient (North-western Sea of Japan, Pacific). Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2013, 86-87: 56-65.
- [4] Alves A S, Adão H, Ferrero T J, Marques J C, Costa M J, Patrício J. Benthic meiofauna as indicator of ecological changes in estuarine ecosystems: The use of nematodes in ecological quality assessment. Ecological Indicators, 2013, 24: 462-475.
- [5] 张志南,周红,于子山,韩洁.胶州湾小型底栖生物的丰度和生物量.海洋与湖沼,2001,32(2);139-147.
- [6] 张艳. 胶州湾典型站位小型底栖生物丰度和生物量的季节变化研究. 中国农学通报, 2009, 25(17): 296-301.
- [7] 禹娜,李云凯,孙新瑾,陈立侨.洋山深水港海域小型底栖动物丰度和生物量分布.华东师范大学学报:自然科学版,2008,2008(2): 22-29.
- [8] 袁俏君, 苗素英, 李恒翔, 于秀娟, 唐玲, 严岩. 珠江口水域夏季小型底栖生物群落结构. 生态学报, 2012, 32(19): 5962-5971.
- [9] 华尔,张志南,张艳.长江口及邻近海域小型底栖生物丰度和生物量.生态学报,2005,25(9):2234-2242.
- [10] 王小谷, 王春生, 张东声, 洪丽莎, 杨丹. 长江口及其陆架春季小型底栖生物丰度和生物量. 生态学报, 2010, 30(17): 4717-4727.
- [11] 于婷婷, 徐奎栋. 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布. 生态学报, 2013, 33(15): 4556-4566.
- [12] 孟昭翠, 徐奎栋. 长江口及东海春季底栖硅藻、原生动物和小型底栖生物的生态特点. 生态学报, 2013, 33(21): 6813-6824.
- [13] 慕芳红, 张志南, 郭玉清. 渤海小型底栖生物的丰度和生物量. 青岛海洋大学学报, 2001, 31(6): 897-905.
- [14] 王家栋, 类彦立, 徐奎栋, 杜永芬. 黄海冷水团及周边海域夏初小型底栖动物现存量及空间分布研究. 海洋与湖沼, 2011, 42(3): 359-366.
- [15] 王家栋, 类彦立, 徐奎栋, 孟昭翠. 中国近海秋季小型底栖动物分布及与环境因子的关系研究. 海洋科学, 2009, 33(9): 62-70.
- [16] 吴秀芹,徐奎栋,于子山,于婷婷,孟昭翠,代仁海,类彦立.2008年浒苔大暴发末期黄海小型底栖动物现存量及空间分布.应用生态学报,2010,21(8):2140-2147.
- [17] 杜永芬,徐奎栋,孟昭翠,王家栋.南海小型底栖动物生态学的初步研究.海洋与湖沼,2010,41(2):199-207.
- [18] 黄秀清,王金辉,蒋晓山.象山港海洋环境容量及污染物总量控制研究.北京:海洋出版社,2008.
- [19] 朱艺峰,施慧雄,金成法,焦海峰,严小军.象山港海域水质时空格局的自组织特征映射神经网络识别.环境科学学报,2012,32(5): 1236-1246.
- [20] 曾相明, 管卫兵, 潘冲. 象山港多年围填海工程对水动力影响的累积效应. 海洋学研究, 2011, 29(1): 73-83.
- [21] 孟翠萍,林霞.象山港桐照滩涂小型底栖动物丰度和生物量的研究.水产科学,2008,27(12):637-640.
- [23] 张敬怀,高阳,方宏达.珠江口伶仃洋海域小型底栖生物丰度和生物量.应用生态学报,2011,22(10):2741-2748.
- [24] Juario V J. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight. Veröffentlichungen des Institutes f
  ür Meeresforschung in Bremerhaven, 1975, 15(4): 283-337.
- [25] Clarke K R, Warwick R M. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. 2nd ed. PRIMER-E: Plymouth, 2001.
- [26] 范士亮,刘海滨,张志南,邓可,袁伟.青岛太平湾砂质潮间带小型底栖生物丰度和生物量的研究.中国海洋大学学报,2006,36(增刊);98-104.
- [27] 张玉红,王彦国,林荣澄,梁君荣,牛文涛,黄丁勇. 厦门东海域和安海湾小型底栖动物的密度和生物量. 台湾海峡, 2009, 28(3): 386-391.
- [28] 方少华, 吕小梅, 张跃平. 厦门浔江湾小型底栖生物数量分布及生态意义. 台湾海峡, 2000, 19(4): 474-477.
- [29] 唐玲,张洪波,李恒翔,严岩.大亚湾秋季小型底栖生物初步研究.热带海洋学报,2012,31(4):104-111.
- [30] 唐玲,李恒翔,严岩.大亚湾春季小型底栖动物初步研究.海洋环境科学,2012,31(3):405-409.
- [31] 张志南,慕芳红,于子山,韩洁,周红.南黄海鳀鱼产卵场小型底栖生物的丰度和生物量.青岛海洋大学学报,2002,32(2):251-258.
- [32] 张艳,张志南,华尔.南黄海小型底栖动物分布及其与环境因子的关系.中国农学通报,2009,25(19):323-329.
- [33] 范士亮,王宗兴,徐宗军,朱明远,王宗灵,刘光兴.南黄海冬季小型底栖生物分布特征.海洋环境科学,2011,30(2):185-188.
- [34] 陈海燕,周红,慕芳红,杨世超.北黄海小型底栖生物丰度和生物量时空分布特征.中国海洋大学学报,2009,39(4):657-663.
- [35] 张青田, 王新华, 房恩军, 马维林, 胡桂坤. 天津近海小型底栖动物丰度研究. 海洋通报, 2009, 28(2): 57-64.
- [36] 谢礼,林霞,朱艺峰.象山港国华宁海电厂附近海域小型底栖动物的群落结构.生态科学,2012,31(2):167-172.
- [37] Hamdi-Hamdi A, Ismail-Lattrache K B, Dhahri F, Saïd-Benzarti R. Middle to Upper Eocene ostracofauna of central Tunisia and Pelagian Shelf: examples of Jebel Bargou and the Gabes Gulf. Arabian Journal of Geosciences, 2014, 7(4): 1587-1603.
- [38] Starek D, Pipik R, Hagarova I. Meiofauna, trace metals, TOC, sedimentology, and oxygen availability in the Late Miocene sublittoral deposits of Lake Pannon. Facies, 2010, 56(3): 369-384.
- [39] Frenzel P, Boomer I. The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2005, 225(1/4): 68-92.
- [40] Ansari Z A, Parulekar A H. Distribution, abundance and ecology of the meiofauna in a tropical estuary along the west coast of India. Hydrobiologia, 1993, 262(2): 115-126.
- [41] Pallo P, Widbom B, Ólafsson E. A quantitative survey of the benthic meiofauna in the Gulf of Riga (eastern Baltic Sea), with special reference to the structure of nematode assemblages. Ophelia, 1998, 49(2): 117-139.
- [42] 张锡南. 介形类概要. 石油实验地质, 1978, (S1): 92-216.
- [43] Hinggins R P, Thiel H. Introduction to the Study of Meiofauna. Washington D C: Smithsonian Institution Press, 1988.
- [44] Rosenfeld A. Seasonal distributions of recent ostracodes from Kiel Bay, Western Baltic Sea. Meyniana, 1979, 31: 59-82.
- [45] Tan KH. 腐殖质的性质和分布. 张彩凤, 闫降凤, 段月娟, 译. 腐植酸, 2010, (2): 28-35.
- [46] Klavins M, Apsite E. Sedimentary humic substances from lakes in Latvia. Environment International, 1997, 23(6): 783-790.