

# 南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量

刘晓收<sup>1</sup>, 许嫚<sup>1</sup>, 张敬怀<sup>2</sup>, 牟刚<sup>3</sup>, 刘丹<sup>1</sup>, 李肖<sup>1</sup>

1. 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;

2. 国家海洋局南海环境监测中心, 广东 广州 510300;

3. 国家海洋局大连海洋环境监测中心站, 辽宁 大连 116015

**摘要:** 2010 年 9 月在南海北部 5 个深海站位和 1 个浅海站位进行了小型底栖动物和环境因子采样, 对小型底栖动物的丰度和生物量进行了定量研究。本次调查中, 共鉴定出 10 个小型底栖动物类群, 分别是线虫、桡足类、多毛类、介形类、甲壳类幼体、异足类、寡毛类、涡虫、无板类和等足类。从丰度来看, 线虫是绝对的优势类群, 占总丰度百分比为 94.72%; 桡足类次之, 占 2.70%; 多毛类再次, 占 1.62%; 其他类群之和仅占 0.96%。从生物量来看, 线虫的生物量最大, 占总生物量的 53.83%; 其次是多毛类, 占 32.17%; 居生物量第三位的是桡足类, 占 7.14%; 其他类群之和占 6.85%。小型底栖动物的丰度和干重生物量分别为  $566.12 \pm 635.61 \text{ 个} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$  和  $398.43 \pm 431.98 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , 线虫的丰度和干重生物量分别为  $536.21 \pm 593.48 \text{ 个} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$  和  $214.48 \pm 237.39 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ 。研究站位线虫、桡足类、多毛类和小型底栖动物丰度, 小型底栖动物生物量与环境因子的相关分析表明, 影响线虫丰度、小型底栖动物丰度、小型底栖生物生物量的主要环境因子包括底层水 pH 值、沉积物粉砂黏土含量和有机质含量。单因素方差分析(One-way ANOVA)结果表明, 线虫丰度、桡足类丰度、小型底栖动物丰度和生物量在不同站位均有显著差异。与渤海、北黄海、南黄海、长江口、芽庄湾(越南)、大亚湾、北部湾、南海近海等海域相比, 本研究海域的小型底栖动物丰度和生物量偏低。

**关键词:** 小型底栖动物; 丰度; 生物量; 南海北部; 深海

中图分类号: Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2014)02-0052-08

## Abundance and biomass of deep-sea meiofauna in the northern South China Sea

LIU Xiao-shou<sup>1</sup>, XU Man<sup>1</sup>, ZHANG Jing-huai<sup>2</sup>, MU Gang<sup>3</sup>, LIU Dan<sup>1</sup>, LI Xiao<sup>1</sup>

1. College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. South China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China;

3. Dalian Marine Environmental Monitoring Central Station, State Oceanic Administration, Dalian 116015, China

**Abstract:** Meiofauna and environmental variables were sampled and analyzed at five deep-sea stations and one shallow-sea station in the northern South China Sea in September 2010. A total of 10 taxa of meiofauna were identified, including Nematoda, Copepoda, Polychaeta, Ostracoda, nauplii, Tanaidacea, Oligochaeta, Turbellaria, Aplacophora, and Isopoda. Nematoda was the most dominant group, accounting for 94.72% of the total meiofauna abundance, followed by Copepoda (2.70%), Polychaeta (1.62%) and other taxa that only account for 0.96%. In terms of biomass, Nematoda accounts for 53.83%, followed by Polychaeta (32.17%), Copepoda (7.14%) and other taxa that account for 6.85%. The average abundance and dry biomass of meiofauna were  $566.12 \pm 635.61 \text{ ind} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$  and  $398.43 \pm 431.98 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , respectively. Those of Nematoda were  $536.21 \pm 593.48 \text{ ind} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$  and  $214.48 \pm 237.39 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , respectively. Results of correlation analysis between abundance of nematode, copepod, polychaete, total meiofauna, biomass of total meiofauna and environmental factors showed that the main factors controlling nematode abundance, meiofaunal abundance and biomass were bottom-water pH, silt-clay percentage

收稿日期: 2013-4-18; 修订日期: 2013-9-22。孙淑杰编辑

基金项目: 国家自然科学基金项目(41006081); 中国海洋大学高校基本科研业务费项目(201013002, 201262010)

作者简介: 刘晓收(1979~), 男, 博士, 副教授, 主要从事生物海洋学与海洋生物生态学研究。E-mail: liuxs@ouc.edu.cn

and sediment organic matter. Results of one-way analysis of variance (ANOVA) showed that there were significant differences for nematode abundance, copepod abundance, total meiofauna abundance, and biomass at different stations. Compared with the Bohai Sea, northern Yellow Sea, southern Yellow Sea, Yangtze River Estuary, Nha Trang Bay (Vietnam), Daya Bay, Beibu Gulf, and the coastal areas of South China Sea, the abundance and biomass of meiofauna in the present study were lower.

**Key words:** meiofauna; abundance; biomass; northern South China Sea; deep-sea

小型底栖动物数量大, 种类多, 分布广, 不仅从陆地、淡水到海洋的最深处, 而且从高度缺氧或无氧的地表深处到两极以及海洋几百度高温的热泉生物群落都有它们的分布。小型底栖动物由于其细小的个体和比较高的周转率, 在底栖生态系统小食物网的能量研究中一直被认为是一个十分重要的环节, 也是仔、稚、幼鱼和虾蟹等经济动物的重要饵料(Gerlach, 1971; Montagna, 1995)。McIntyre(1969)、Tenore 等(1977)、Montagna 等(1995)的研究认为它有刺激微生物生产、加速有机物降解、促进营养物质再循环以及补充新生生产力对氮的要求等多方面的作用。小型底栖动物的群落结构、多样性格局和生物量变动直接控制着大型经济无脊椎动物幼体的补充(Gerlach, 1971)。虽然小型底栖动物的生物量一般不到大型底栖动物的 20%, 但在近岸、河口、海湾和深海, 其生产量大体与大型动物相当, 因而在全球生物地球化学循环中占有重要位置(Platt, 1980), 在刺激和加速微生物的生产、代谢和对异养微生物的摄食、胁迫和调控过程方面具有全球性的重要效应(Montagna, 1995)。对小型底栖动物的深入研究不仅为海洋生物资源的持续利用、为海洋农牧化生产提供基本依据, 而且可为沉积物-海水界面的物质通量和生态动力学模拟提供基本参量。

进入 21 世纪, 国际小型底栖动物研究的时、空尺度已扩大到全球, 并以年际和 10 年际的时间系列为重点联系全球变化, 特别是以气候异常和人类活动的影响为切入点, 研究小型底栖生物的功能响应。深海生态和极端条件下生境小型底栖生物的研究成为另一个热点。科学家们更多地使用高新技术, 包括 3S 技术、深潜和分子生物学手段探讨底栖生态过程在全球生物地化过程中的作用, 揭示化能合成的能量通道以及小型底栖动物和微生物相互作用的分子机制(张志南 等, 2004; 蔡立哲, 2006)。

国际上有关河口、陆架小型底栖动物的生态学研究已有较为详细的报道(Higgins, et al, 1988)。在我国, 对渤海、黄海、东海、台湾海峡等海域的小型底栖动物生态学研究较多(Liu, et al, 2005; 慕芳红 等, 2001; 陈海燕 等, 2009; 王小谷 等, 2010; 方少华

等, 2000), 而对南海的研究较少。杜永芬等(2011)、王家栋等(2009)对南海近海小型底栖动物的生态特点进行了研究, Cai 等(2012)对北部湾小型底栖动物的丰度和生物量进行了研究, 唐玲等(2012)对大亚湾小型底栖动物的丰度和生物量进行了研究。根据海水的不同深度, 海洋环境可划分为浅海带(水深小于 200m)和深海带(水深大于 200m) (李冠国 等, 2010; Leduc, et al, 2012)。以上研究扩大到南海, 完善了南海小型底栖动物研究的基础资料, 但是其采样点均属于浅海。本文将研究领域扩大到深海, 能够较为全面地展示南海北部深海区小型底栖动物丰度和生物量的现状。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究海域与野外采样

2010 年 9 月, 在南海北部 5 个深海站位和 1 个浅海站位(图 1)进行了沉积环境和小型底栖动物现场采样。在每个站位使用  $0.1\text{m}^2$  的大洋型采泥器采样, 并用内径为 3.63cm 的取样管(有机塑料注射器改装)在每个站位取 3 个长度为 10cm 的分样。取出后分别装入塑料瓶中, 立即用 5% 的甲醛溶液固定; 同时取一定量的表层沉积物用于沉积物粒度、有机质等环境因子的分析(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2008)。以上用于测定非生物环境因子的样品立即放入  $-20^\circ\text{C}$  低温冰柜冷冻保存。

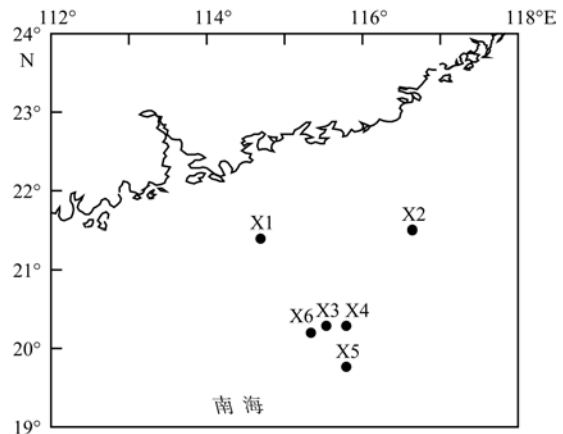


图 1 南海北部调查站位图

Fig. 1 Map of the sampling stations in the Northern South China Sea

## 1.2 样品分析

### 1.2.1 环境因子的测定

沉积物粒度分析使用激光粒度分析仪(Laser 2000)进行。有机质测定参照《海洋监测规范》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2008)中的重铬酸钾氧化-还原容量法进行。其他环境资料(水深, 底层水盐度、温度、溶解氧、pH 值等)用随船温盐深测定仪(CTD)现场测定。

### 1.2.2 小型底栖动物的分选计数

分选前首先在每瓶样品中加入 3~5mL 虎红染液(0.1g 虎红染料溶于 100mL 5%的海水甲醛溶液), 混合均匀, 染色 24h, 之后把样品倒在 0.5mm (小型底栖动物的上限)和 0.031mm (小型底栖动物的下限)两层网筛上用自来水冲洗, 以除去样品中的黏土和粉砂。将 0.031mm 网筛上残留的沉积物样品用比重为  $1.15\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  的 Ludox-TM 溶液转移至 100mL 离心管中, 搅拌均匀, 以  $1800\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$  的转速离心 10min,

将上清液倒出, 重复离心 3 次, 将 3 次离心所得的上清液合并后, 再通过 0.031mm 的网筛, 过滤掉 Ludox 溶液, 然后用自来水把样品转移到带平行线的培养皿中(刘晓收, 2005)。在解剖镜下将所有的后生小型底栖动物挑出, 按线虫、桡足类和其他类分开并计数, 分别用 5% 的甲醛溶液保存于 10mL 玻璃样品瓶中。

## 1.3 数据处理与分析

### 1.3.1 丰度和生物量的计算方法

丰度和生物量的测定是研究生态系统结构中最基本的两个参数。根据取样管的内径(3.63cm), 将每个站位的小型底栖动物丰度换算为每  $10\text{cm}^2$  的个体数[个·( $10\text{cm}^2$ ) $^{-1}$ ]。

小型底栖生物的生物量测定方法采用换算法。利用小型底栖动物各个类群的丰度值, 乘以相对应类群的平均干重得到小型底栖动物各个类群的生物量(Liu, et al, 2005)。小型底栖动物各个主要类群的平均个体干重见表 1。

表 1 小型底栖动物各类群的个体平均干重

Tab. 1 Individual average dry weight of meiofauna taxa

类 群	个体干重/ $\mu\text{g}$	类群	个体干重/ $\mu\text{g}$
线虫 Nematoda	0.40	涡虫类 Tubellaria	3.50
桡足类 Copepoda	1.86	缓步动物 Tardigrada	3.50
多毛类 Polychaeta	14.00	寡毛类 Oligochaeta	3.50
双壳类 Bivalvia	4.20	甲壳类幼体	0.11
介形类 Ostracoda	26.00	其他类	3.50

注: 参照 Widbom(1984)和 Liu 等(2005)。

### 1.3.2 统计检验

使用 SPSS16.0 软件对小型底栖动物各类群丰度和生物量进行单因素方差分析(One-way ANOVA)差异检验, 分析不同站位之间的差异。同时应用 Spearman 相关分析(Spearman correlation analysis)对各种环境因子与小型底栖动物数量的相关性进行分析。利用主成分分析(principal component analysis, PCA)对各个站位进行分组, 以了解站位中起主要作用的环境因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子

#### 2.1.1 水层环境因子

随着调查海域水深的增加, 底层水温出现下降的趋势, X1 站位(深度为 87m)底层水温最高, 为  $21.53^{\circ}\text{C}$ , X4 站位(深度为 650m)和 X5 站位(深度为 1600m)底层水温均低于  $7^{\circ}\text{C}$ ; 随着调查海域水深的增加, 溶解氧表现出与水深相同的变化趋势, X1 站

位(深度为 87m)底层水溶解氧较高, 为  $4.63\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , X4 站位(深度为 650m)和 X5 站位(深度为 1600m)底层溶解氧都较低; 而底层水盐度和底层水 pH 值较稳定, 其中底层水盐度波动为  $(34.57\pm 0.23)\%$ , 底层水 pH 波动为  $8.10\pm 0.06$ 。

#### 2.1.2 沉积物环境因子

根据采样站位各粒度成分组成, 6 个站位可分为 3 种沉积物类型, 即粉砂(X1、X3、X4、X5)、砂(X2)、粉砂质黏土(X6)。中值粒径最大的为 X2 站位, 为 0.38mm, 其他站位的中值粒径均为 0.01mm。X3、X4、X5 和 X6 站位沉积物有机质含量较高, 相差不大; 其次是 X2 站位; X1 站位的沉积物有机质含量最低。

#### 2.1.3 PCA 分析

根据本次调查获得的 8 个环境因子(表 2)所做的 PCA 分析结果见图 2, 主成分轴 1(PC1)可解释环境变异度的 54.5%, 主成分轴 2(PC2)和主成分轴 1(PC1)累积可解释环境变异度的 78.4%。调查站位

表 2 南海北部调查站位环境因子

Tab. 2 Environmental variables at the sampling stations in the Northern South China Sea

	站位					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
东经	114°41.516′	116°38.470′	115°32.171′	115°47.569′	115°47.570′	115°20.320′
北纬	21°23.886′	21°30.240′	20°17.287′	20°17.271′	19°45.981′	20°11.950′
水深/m	87	313	550	650	1600	520
底层水温/℃	21.53	11.55	7.72	6.46	6.8	8.64
底层水盐度/‰	34.70	34.56	34.67	34.34	34.88	34.28
底层水 pH 值	8.15	8.19	8.09	8.11	8.07	8.01
底层水溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> )	4.63	4.19	3.41	3.08	3.23	3.5
粉砂+黏土含量/%	83	0	85.4	80.2	93	95.1
沉积物类型	粉砂	砂	粉砂	粉砂	粉砂	粉砂质黏土
中值粒径/mm	0.01	0.38	0.01	0.01	0.01	0.01
有机质/%	0.86	1.31	1.52	1.50	1.55	1.53

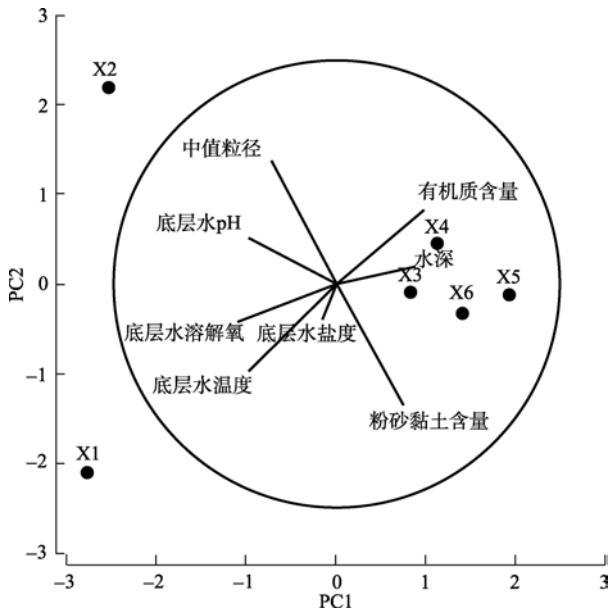


图 2 南海北部调查站位环境因子主成分分析结果  
Fig. 2 PCA plot of the sampling stations in the Northern South China Sea

的环境可分为 4 组：组 1 包括站位 X1，组 2 包括站位 X2，组 3 包括站位 X3、X4、X6，组 4 包括站位 X5。组 1 水深浅(87m)，沉积物中值粒径小，有机质含量较低；组 2 水深较深(313m)，沉积物中值粒径小，有机质含量较高；组 3 水深最深(550~1600m)，沉积物中值粒径小，有机质含量高；组 4 水深较深(520m)，沉积物中值粒径大，有机质含量较高。

2.2 南海小型底栖动物的丰度和生物量

2.2.1 南海小型底栖动物的类群组成

在本次调查中，共鉴定出 10 个小型底栖动物类群，分别是线虫 Nematoda、桡足类 Copepoda、多毛类 Polychaeta、介形类 Ostracoda、甲壳类幼体 nauplii、异足类 Tanaidacea、寡毛类 Oligochaeta、涡虫 Turbellaria、无板类 Aplacophora 和等足类 Isopoda。各类群丰度生物量及其所占百分比如表 3 所示。

由表 3 可知，线虫是绝对的优势类群，占小型底栖动物丰度的 94.72%；桡足类次之，占 2.70%；多

表 3 南海北部各类群小型底栖动物的丰度和生物量

Tab. 3 Abundance and biomass of each meiofaunal taxon in the Northern South China Sea

类 群	丰度/[个·(10cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	丰度百分比/%	生物量/[μg·(10cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	生物量百分比/%
线虫	536.21±593.48	94.72	214.48±237.39	53.83
桡足类	15.30±26.62	2.70	28.45±49.52	7.14
多毛类	9.16±10.90	1.62	128.18±152.61	32.17
介形类	0.85±1.93	0.15	22.18±50.18	5.57
甲壳幼	3.24±10.48	0.57	0.36±1.15	0.09
异足类	0.51±1.88	0.09	1.79±6.57	0.45
寡毛类	0.23±0.54	0.04	0.80±1.90	0.20
涡虫	0.40±0.84	0.07	1.39±2.94	0.35
无板类	0.17±0.51	0.03	0.60±1.79	0.15
等足类	0.06±0.23	0.01	0.20±0.82	0.05
总计	566.12±635.61	100	398.43±431.98	100

毛类再次, 占 1.62%。线虫、桡足类和多毛类的数目之和为 99.04%, 其余类之和仅为 0.96%。从生物量来看, 线虫的干重生物量最大, 为  $214.48 \pm 237.39 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , 占小型底栖动物总生物量的 53.83%; 其次是多毛类, 为  $128.18 \pm 152.61 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , 占总数的 32.17%; 居生物量第三的是桡足类, 其干重生物量为  $28.45 \pm 49.52 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ , 占总数的 7.14%; 其他类的生物量较小, 其总和为 6.85。和多毛类相比, 桡足类的丰度较大, 但是多毛类的生物量较桡足类大, 其原因是多毛类的个体平均干重为  $14.00 \mu\text{g}$ , 而桡足类的个体平均干重为  $1.86 \mu\text{g}$ 。

### 2.2.2 各站位丰度和生物量的分布

线虫丰度在各个站位分布不一, 线虫平均丰度在 X6 站位达到最大, 为  $1996.35 \pm 366.41$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X1 站位最小, 为  $223.97 \pm 73.97$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 另外, 线虫在 X5 站位丰度也较高, 在 X2、X3、X4 站位丰度差异不大。各站位线虫丰度的单因素方差分析结果表明, X1、X2、X3、X4 站位均和 X5、X6 站位存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

桡足类的丰度在 X2、X5 站位差异不大, 在 X1、X3 站位也相近。桡足类丰度在 X6 站位达到最大, 为  $84.59 \pm 6.15$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X4 站位最低, 为  $0.32 \pm 0.56$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ 。用 One-way ANOVA 分析各站位桡足类的丰度, X1 站位和 X6 站位差异显著 ( $p < 0.05$ ), X2 和 X4、X6 站位之间均存在显著差异, X3 和 X6 站位之

间存在显著差异, X4、X5、X6 站位两两之间均存在显著差异, 其他各站位之间桡足类丰度不存在显著差异。

多毛类在各站位的分布不均, 其丰度在 X6 站位达到最大, 为  $24.65 \pm 4.79$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X4 站位丰度最低, 为  $1.29 \pm 0.56$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 另外, 在 X3 站位和 X2 站位多毛类丰度也较多。用 One-way ANOVA 分析各站位多毛类的丰度, X1、X4、X5 站位均和 X6 站位存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 其他站位两两之间均无显著差异。

小型底栖动物丰度在 X6 站位达到最大, 为  $2140.88 \pm 417.68$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X1 站位达到最低, 为  $234.28 \pm 84.28$  个  $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ 。另外, 小型底栖动物的丰度在 X5 站位和 X3 站位较高, 在 X2、X4 站位较低。用 One-way ANOVA 对各站位小型底栖动物丰度的差异性检验表明, X1、X2、X3、X4 站位均和 X5、X6 站位存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

由表 4 可知, 小型底栖生物的生物量在各站位分布不一, 其中小型底栖生物量在 X6 站位达到最大, 为  $1471.46 \pm 306.55 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X4 站位最低, 为  $128.86 \pm 51.40 \mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ; 在 X3 站位较高, 在 X1 站位较低, X2、X5 站位小型底栖生物的生物量相差不大。用 One-way ANOVA 分析各站位小型底栖生物生物量的分布, 结果表明, X1、X2、X3、X4、X5 站位均和 X6 存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

表 4 南海北部各站位小型底栖动物丰度和生物量的分布

Tab. 4 Distribution of abundance and biomass of meiofauna at each station in the Northern South China Sea

站位	线虫丰度 /[个 $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ]	桡足类丰度 /[个 $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ]	多毛类丰度 /[个 $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ]	小型底栖生物丰度 /[个 $\cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ]	小型底栖生物生物量 /[ $\mu\text{g} \cdot (10\text{cm}^2)^{-1}$ ]
X1	$223.97 \pm 73.97$	$4.51 \pm 4.57$	$3.54 \pm 2.95$	$234.28 \pm 84.28$	$160.57 \pm 99.87$
X2	$234.60 \pm 80.10$	$9.99 \pm 2.43$	$12.89 \pm 10.60$	$260.70 \pm 95.73$	$301.98 \pm 190.33$
X3	$302.59 \pm 44.44$	$5.16 \pm 4.02$	$15.79 \pm 16.47$	$324.51 \pm 66.61$	$352.89 \pm 257.95$
X4	$233.63 \pm 70.10$	$0.32 \pm 0.56$	$1.29 \pm 0.56$	$235.89 \pm 71.77$	$128.86 \pm 51.40$
X5	$712.82 \pm 226.11$	$10.31 \pm 7.81$	$1.93 \pm 0.97$	$725.39 \pm 236.01$	$332.51 \pm 122.42$
X6	$1996.35 \pm 366.41$	$84.59 \pm 6.15$	$24.65 \pm 4.79$	$2140.88 \pm 417.68$	$1471.46 \pm 306.55$

### 2.2.3 小型底栖动物丰度和生物量与环境因子的相关分析

由表 5 可知, 线虫丰度和粉砂黏土含量呈显著正相关, 和底层水 pH 值呈显著负相关, 而与有机质含量呈极显著正相关; 小型底栖动物的丰度和粉砂黏土含量、有机质含量呈显著正相关, 而与底层水 pH 值呈显著负相关; 小型底栖动物的生物量和粉砂黏土含量呈显著正相关; 桡足类丰度、多毛类丰度与以上 8 个环境因子无显著相关性。

## 3 讨论

### 3.1 南海北部小型底栖动物分布受水深环境的影响

本文首次报道了南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量的研究结果。在本研究中, 随着采样站位水深的增加, 小型底栖动物丰度呈现由低到高的趋势, 但站位 X6 除外, 这可能与南海近海人类活动给海洋资源和生态环境带来不同程度的破坏有关; 海洋污染从滨海向深海有减轻的趋势, 水深越深,

表 5 小型底栖动物丰度及生物量与环境因子的 Spearman 相关分析

Tab. 5 Spearman correlation analysis of meiofaunal abundance, biomass and environmental factors

环境因子	线虫丰度	桡足类丰度	多毛类丰度	小型底栖动物丰度	小型底栖动物生物量
水深	0.429	0.086	-0.429	0.429	0.086
中值粒径/	-0.131	0.131	0.131	-0.131	-0.131
粉砂+黏土含量	0.771*	0.657	0.429	0.771*	0.771*
底层水温	-0.257	0.143	0.486	-0.257	0.086
底层水盐度	-0.200	-0.086	-0.371	-0.200	-0.143
底层水溶解氧	-0.257	0.143	0.486	-0.257	0.086
底层水 pH 值	-0.829*	-0.600	-0.314	-0.829*	-0.714
沉积物有机质	0.886**	0.657	0.143	0.886*	0.657

注: n=6; \*在 0.05 水平上显著相关(单尾); \*\*在 0.01 水平上显著相关(单尾)。

受到的污染影响就越小。本研究海域小型底栖生物丰度均低于渤海、南黄海、北黄海、长江口、芽庄湾、大亚湾等海域, 仅高于台湾海峡, 这可能和本研究站位水深较深、有机质和叶绿素等含量较低、小型底栖动物的食物来源较少有关(Cai, et al, 2012; Liu, et al, 2005)。但是, Soltwedel (2000)指出, 小型底栖动物的丰度往往随初级生产力的增加和有机物质向海底输入的增加而增大, 因此水深可能不是影响小型底栖动物分布的决定因素。

3.2 南海北部与其他海域小型底栖动物的比较

本研究小型底栖动物的主要类群结构与其他海域相似(表 6), 线虫都是最优势的类群。在其他海域的研究中发现, 桡足类通常为第二大优势类群; 但本研究的结果与杜永芬等(2011)和唐玲等(2012)调

查的海域相同, 均是以多毛类居次, 这可能与亚热带、热带海区的叶绿素含量较其他海域偏低有关, 藻类量少可能会造成以其为主要食物来源的底栖桡足类的食物限制, 影响小型底栖动物群落结构构成(杜永芬 等, 2011)。另一方面, 与线虫和多毛类相比较, 底栖桡足类对环境污染更为敏感, 污染胁迫可导致其数量偏低(Raffaelli, et al, 1981; Findlay, 1982), 而南海海洋捕捞等人类活动给海洋资源和生态环境带来了不同程度的破坏, 这对水质、沉积物环境都有一定的影响。此外, 桡足类主要分布在表层, 大型底栖动物的选择性捕食可能控制其种群数量。南海属于热带海域, 其物种较温带海域丰富, 这可能也是其小型底栖动物与渤海、南黄海、北黄海有所差异的因素之一。

表 6 南海北部小型底栖动物丰度和线虫丰度百分比与其他海域的比较

Tab. 6 Comparison of abundance of meiofauna and percentage of nematode between the northern South China Sea and other areas

研究海域	采样时间	网筛孔径/ $\mu\text{m}$	小型底栖动物丰度/[个 $\cdot(10\text{cm}^2)^{-1}$ ]	线虫丰度百分比/%	参考文献
南海北部	2010-09	31	566.12 $\pm$ 635.61	95	本文
渤海	1997-06	48	2300 $\pm$ 1206	94	慕芳红 等(2001)
	1998-09		869 $\pm$ 510	87	
	1999-04		632 $\pm$ 400	88	
北黄海	2006-07	61	1900 $\pm$ 634	42	陈海燕 等(2009)
	2007-01		664 $\pm$ 494	90	
	2007-04		1601 $\pm$ 836	86	
	2007-10		524 $\pm$ 377	75	
南黄海	2003-06	31	1584 $\pm$ 686	89	Liu, et al (2005)
长江口	2007-04~05	32	1117.19 $\pm$ 820.36	95	王小谷 等(2010)
南海	2007-10~11	42	901 $\pm$ 913	93	杜永芬 等(2011)
黄海 东海 南海	2007-09~10	31	2132 $\pm$ 946	85	王家栋 等(2009)
			1954 $\pm$ 2047	89	
			156 $\pm$ 56	85	
南海芽庄湾	2003-10	63	1034.6 $\pm$ 450	61	Pavlyuk, et al (2006)
南海大亚湾	2009-10	38	593 $\pm$ 265	92	唐玲 等(2012)
南海北部湾	2006~2007	42	529	85	Cai, et al (2012)
台湾海峡	1997~1998	63	247	88	方少华 等(2000)

小型底栖动物的丰度除与环境因子有关外,沉积物采样深度和过筛冲洗选择的网筛孔径大小也会对结果产生一定影响(杜永芬等, 2011; 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2007)。在近年来的研究中, 浅海域采样深度均不小于 8cm, 分选网筛下限为 31 $\mu$ m, 之前则普遍采用 42~50 $\mu$ m 网筛作为分选下限。据张志南等(1989)对黄河口水下三角洲及其邻近水域小型底栖动物的初步研究, 50 $\mu$ m 网筛对小型底栖动物的分选效率相当于 31 $\mu$ m 网筛的 98% 以上; 而在对南黄海鲎鱼产卵场小型底栖动物生态学的研究中发现, 50 $\mu$ m 网筛分选获得的动物数量除底栖桡足类可接近 100% 外, 总数量仅为 31 $\mu$ m 网筛所获动物数量的 91%, 线虫的分选效率也为 90% 左右(刘晓收, 2005)。在本研究中, 采用 31 $\mu$ m 网筛作为分选下限, 与其他海域关于小型底栖动物的研究有所差异, 这可能也是造成小型底栖动物丰度与其他海域结果不同的原因之一。

### 3.3 影响小型底栖动物丰度和生物量的环境因子

Cai 等(2012)在对南海北部湾小型底栖动物丰度分布与环境因子关系的研究中发现, 小型底栖动物丰度与水深、底层温度、盐度、pH 呈显著负相关, 但与溶解氧、叶绿素 a 及粉砂+黏土的含量呈显著正相关; 在本研究中, 小型底栖动物丰度与粉砂+黏土的含量、有机质含量呈显著正相关, 与底层水 pH 值呈显著负相关。Pavlyuk 等(2006)对南海越南近海芽庄湾小型底栖动物研究的结果表明, 丰度最大 [1031.4 $\pm$ 419.7 个 $\cdot$ (10cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>] 及多样性最高的群落发现于粗糙、异质性高的粉砂类型里, 丰度最小及多样性最低的群落发现于有贝壳碎片及珊瑚的砂类型沉积物中, 小型底栖动物丰度与沉积物中值粒径呈相关性。在本研究中, 小型底栖动物丰度的最高值出现在粉砂+黏土类型的沉积物站位, 最低值同样出现在粉砂类型沉积物中, 影响小型底栖动物的关键环境因子(粉砂+黏土含量、有机质含量、底层水 pH 值)与 Cai 等(2012)的研究相一致。

### 参考文献

- 蔡立哲. 2006. 海洋底栖生物生态学和生物多样性研究进展[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 45(2): 84-85.
- 陈海燕, 周红, 慕芳红, 等. 2009. 北黄海小型底栖生物丰度和生物量时空分布特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 39(4): 657-663.
- 杜永芬, 徐奎栋, 孟昭翠, 等. 2011. 南海小型底栖动物生态学的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 41(2): 199-207.
- 方少华, 吕小梅, 张跃平, 等. 2000. 台湾海峡小型底栖生物数量的量分布[J]. 海洋学报, 22(6): 136-140.
- 李冠国, 范振刚. 2010. 海洋生态学[M]. 北京: 高等教育出版社: 17-19.
- 刘晓收. 2005. 南黄海鲎鱼产卵场小型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学: 49-50.
- 慕芳红, 张志南, 郭玉清. 2001. 渤海小型底栖生物的丰度和生物量[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 31(6): 897-905.
- 唐玲, 张洪波, 李恒翔, 等. 2012. 大亚湾秋季小型底栖生物初步研究[J]. 热带海洋学报, 31(4): 104-111.
- 王家栋, 类彦立, 徐奎栋, 等. 2009. 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[J]. 海洋科学, 33(9): 62-70.
- 王小谷, 王春生, 张东声, 等. 2010. 长江口及其陆架春季小型底栖生物丰度和生物量[J]. 生态学报, 30(17): 4717-4727.
- 张志南, 李永贵, 图立红, 等. 1989. 黄河口水下三角洲及其邻近水域小型底栖动物的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 20(3): 197-208.
- 张志南, 周红. 2004. 国际小型底栖生物研究的某些进展[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 34(4): 799-806.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 2008. GB17378.5-2007 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社: 50-55.
- CAI L Z, FU S J, YANG J, et al. 2012. Distribution of meiofaunal abundance in relation to environmental factors in Beibu Gulf, South China Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 31(6): 92-103.
- FINDLAY S E G. 1982. Influence of sampling scale on apparent distribution of meiofauna on a sandflat[J]. Estuaries, 5(4): 322-324.
- GERLACH S A. 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities[J]. Oecologia (Berl.), 6(1): 176-190.
- HIGGINS R P, THIEL H. 1988. Introduction to the Study of Meiofauna[M]. Washington, D C: Smithsonian Press: 1-488.
- LEDUC D, ROWDEN A A, PROBERT P K, et al. 2012. Further evidence for the effect of particle-size diversity on deep-sea benthic biodiversity[J]. Deep-Sea Research, 63: 164-169.
- LIU X S, ZHANG Z N, HUANG Y. 2005. Abundance and biomass of meiobenthos in the spawning ground of anchovy (*Engraulis japonicus*) in the southern Huanghai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 24(3): 94-104.
- MCINTYRE A D. 1969. Ecology of marine meiobenthos[J]. Biol Rev, 44(1): 245-290.
- MONTAGNA P A. 1995. Rates of metazoan meiofaunal

- microbivory: A review[J]. *Vie et Milieu*, 45(1): 1–9.
- MONTAGNA P A, BAUER J E, HARDI N D, et al. 1995. Meiofaunal and microbiol trophic interactions in a natural submarine hydrocarbon seep[J]. *Vie et Milieu*, 45(1): 17–25.
- PAVLYUK O N, TREBUKHOVA J A. 2006. Meiobenthos in Nha Trang Bay of the South China Sea (Vietnam)[J]. *Ocean Sci J*, 41(3): 139–148.
- PLATT H M, WARWICK R M. 1980. The significance of free-living nematodes to the littoral ecosystem[M]//The shore environment and ecosystem. New York: Academic Press: 729–759.
- RAFFAELLI D G, MASON C F. 1981. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods[J]. *Mar Pollut Bull*, 12(5): 158–163.
- SOLTWEDEL T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: A review[J]. *Progress in Oceanography*, 46: 59–84.
- TENORE K R, TIETJEN J H, LEE J J. 1977. Effect of meiofauna on incorporation of aged eelgrass, *Zostera marina*, detritus by the polychaete *Nephtys incisa*[J]. *J Fish Res Board Can*, 34(3): 563–567.
- WIDBOM B. 1984. Determination of average individual dry weights and ash-free dry weights in different sieve fractions of marine meiofauna[J]. *Marine Biology*, 84(1): 101–108.