

南海东北部夏季小型底栖生物研究*

贾素素 乔春艳 黄 勇^①

(聊城大学生命科学学院 聊城 252000)

摘要 采用现场调查和实验室分选的方法,对在南海东北部海域(2017 年 8 月)采集的 7 个站位点的小型底栖生物沉积物样品进行了分选分析研究。通过对样品的类群组成、丰度、生物量以及空间分布等方面的分析结果表明,南海东北部海域 7 个站位点小型底栖动物的平均丰度为 $(224.3 \pm 52) \text{ ind./10 cm}^2$, 分选出小型底栖动物三个大类群,其中线虫占整个小型底栖生物总丰度的 95.7%,其次为底栖桡足类(4.1%),多毛类(0.2%)。本次研究中线虫的平均个体干质量为 $0.15 \mu\text{g/个}$;在生物量上,线虫为 $(32.2 \pm 12.96) \mu\text{g/10 cm}^2$,占小型底栖生物总生物量的 58.7%。垂直分布上 65.7%的小型底栖动物以及其中最优势的线虫(64.8%)都分布在沉积物表层 0—2 cm 处。本航次样品中共鉴定出海洋线虫 293 种或分类实体,隶属于 105 属,26 科,4 目,其中发现并描述了 2 个新种和 5 个新纪录。主要优势属有 *Halalaimus*、*Sabatieria*、*Cervonema*、*Molgolaimus* 和 *Acantholaimus* 等。在摄食类型上,沉积食性者(1A+1B)占优势(物种数占 70.3%,个体数占 72%);雌雄比例为 1:0.45,幼龄个体占线虫群落个体总数的 32.5%。通过分析研究小型底栖动物各个类群的丰度和生物量以及与其他海域相关研究进行对比,结果显示,南海相较其他海域整体丰度偏低。就目前已有的南海相关研究资料中,本文研究的南海东北部海域的丰度也偏低;南海东北部海域的研究为南海小型底栖生态学研究补充数据,为以后我国线虫的研究提供基础资料。

关键词 小型底栖动物;自由生活海洋线虫;底栖生态学;南海东北部

中图分类号 Q19 **doi:** 10.11693/hyhz20191100216

南海是我国三大边缘海域之一,位于太平洋西部海域。南海平均水深为 1212 m,海水表层水温 25—28℃ 左右,年温差 3—4℃。南海地处低纬度热带、亚热带地区,独特的气候和水文环境造就海域物种丰富,生物多样性高。小型底栖动物是一群数量大、种类多、分布广的生物。由于小型底栖的个体小、生活周期短、繁殖率高,因此周转率较高;小型底栖既能作为更高营养级的食物又能调节微生物的生产,因此小型底栖动物在底栖生态系统的能量流动和物质循环中起着承上启下的重要作用(Gerlach, 1971; Montagna, 1995)。小型底栖生物作为更高营养级的食物,其数量及多样性的变动会对大型底栖生物的数量造成直接影响(Gerlach, 1971)。在海洋沉积物中,自由生活的线虫和底栖桡足类是小型底栖生物中的两

大优势类群,其丰度、生物量直接决定小型底栖动物的丰度和生物量;而线虫作为海洋沉积物中最优势的类群,其丰度可达小型底栖生物总丰度的 70%—90%,部分研究区域丰度占比高达 95%以上,生物量也基本居首位。

国际上对小型底栖生物的生态学和对自由生活的海洋线虫的分类研究较早,尤其是对于河口以及陆架区域的研究早在 1988 年就有相关生态方面的详细报道(Coull, 1988; Higgins *et al.*, 1988)。我国对于小型底栖生物的研究不管是从生态方面还是分类方面都起步较晚。目前我国四大海域方面,渤海先开启了小型底栖生物的生态学研究,随后黄海、东海及台湾海峡都相继开展了此类生态研究(方少华等, 2000; 慕芳红等, 2001; Liu *et al.*, 2005; 陈海燕等, 2009; 王小

* 国家自然科学基金资助项目, 41676146 号。贾素素, 硕士研究生, E-mail: 2252015974@qq.com

^① 通信作者: 黄 勇, 教授, E-mail: huangy@lccu.edu.cn

收稿日期: 2019-11-18, 收修改稿日期: 2020-02-25

谷等, 2010), 对于自由生活线虫的分类研究, 黄海是研究最为详实的海域, 其次为东海, 而渤海和南海对于线虫的分类研究涉及较少。综上, 对南海的研究无论是小型底栖生态学还是自由生活线虫的分类研究都相对薄弱。目前对南海的研究包括王家栋等(2009)、杜永芬等(2010)、Cai 等(2012)、唐玲等(2012)、刘晓收等(2014)对南海部分区域进行了小型底栖丰度和生物量的研究。南海面积广阔, 除刘晓收等(2014)对南海北部深海区的研究以外, 其他都是对近海和浅海区域的研究。以上的研究海域只占南海面积的一小部分, 还有大面积的海域急需调查研究。南海除小型底栖生物生态学的研究外, 分类方面的研究尤其是海洋线虫的分类研究也相对较少。

本文研究样品采自南海东北部吕宋海峡附近 7 个站位点, 通过分析研究小型底栖动物各个类群的丰度、生物量、雌雄比例、摄食类型等方面来反映其群落结构, 通过对线虫的观察鉴定来分析南海东北部海域自由生活线虫的种类组成和多样性特征, 通过对南海东北部海域的研究补充南海海域小型底栖动物生态学数据及为我国自由生活海洋线虫的研究积累基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

利用由医用注射器改造的取样管(管径 2.6cm), 在 0.1m² Gray-O'Hara 箱式采泥器所采集的未收扰动的沉积物样品中插管取样, 同一站位取 4 个平行样, 样芯 8cm, 按照 0—2、2—5、5—8cm 分成 3 层分别装入取样瓶, 然后加等体积的 10%海水福尔马林溶液固定, 用于小型底栖动物的研究(黄勇等, 2007; Jia *et al*, 2019)。

2017 年 8 月搭载国家自然科学基金委南海综合考察共享航次“东方红 2 号”考察船对南海东北部海域(19°40'—22°6'N, 114°26'—118°15'E)的 12 个站位(图 1)进行了小型底栖动物群落的调查研究, 利用 0.1m² Gray-O'Hara 箱式采泥器, 在 12 个站位进行了沉积物样品的采集, 其中只有 7 个站位采集到了不受扰动的定量样品(表 1), 并对这 7 个站位进行了小型底栖动物生态学研究。

1.2 数据处理与统计分析

数据的处理及分析主要利用 Excel 和 PRIMER 6.0 进行, 对各个类群的小型底栖动物进行统计, 通过相应公式计算得到小型底栖动物各个类群的丰度

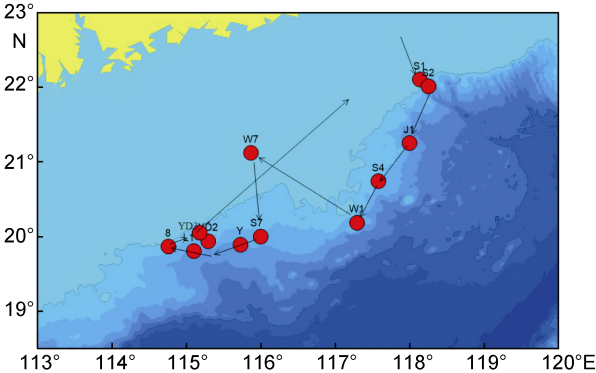


图 1 南海东北部采样站位图
Fig.1 Sampling station in the northeastern South China Sea

表 1 南海东北部采样站位表
Tab.1 Information of the sampling stations in the northeastern South China Sea

站位	经度°E	纬度°N	水深(m)	沉积物类型
S2	118.253	22.011	1240	砂质粉砂
W7	115.87	21.12	273	粉砂质砂
S7	115.995	20	1181	黏土质粉砂
8	114.758	19.862	795	砂质粉砂+黏土质粉砂
L1-1	115.097	19.802	800	黏土质粉砂
YD2	115.295	19.939	1417	黏土质粉砂
YD3	115.177	20.051	714	砂质粉砂

(ind./10cm²)、生物量(μg/10cm²), 生产量[μg/(10cm·a)]以及对海洋线虫的雌雄比例和摄食结构统计分析。B(生物量)=丰度×各类群的个体干质量; P(生产量)=9B (张志南等, 2004; 蒋维军等, 2016)。

1.3 线虫的个体干质量的计算

在光学显微镜下, 利用 NIS-Elements 图像分析软件, 随机测量 200 条线虫的体长 *L* 和体宽 *W*, 通过公式: 个体的平均干质量=530×*L*×*W*²×1.13×0.25 (Platt, 1985; Jensen *et al*, 1992), 获得这 200 条海洋线虫每个个体的平均干质量, 然后计算得出本次样品海洋线虫个体干质量的平均值(刘梦迪等, 2018)。因个体干质量乘以海洋线虫丰度值等于生物量, 所以个体干质量的估算或测量对海洋线虫生物量正确估算具有决定作用。

2 结果与分析

2.1 小型底栖动物的类群组成与丰度

在 2017 年 8 月在南海东北部海域采集的 7 个站位的沉积物样品中只分选出了海洋线虫、底栖桡足类、多毛类三种小型底栖动物类群。综合图 2 和表 2

可知, 在丰度上, 小型底栖生物的平均丰度为 $(224.3 \pm 52) \text{ ind./10cm}^2$, 其中丰度最高值出现在 S2 站位, 为 $(390.1 \pm 75.2) \text{ ind./10cm}^2$; 其次为 8 站位 $(311.3 \pm 119.2) \text{ ind./10cm}^2$; 最低值出现在 W7 站 $(96.1 \pm 46.4) \text{ ind./10cm}^2$ 。在小型底栖动物类群中, 线虫占据绝对的优势, 约 95.7%; 其他类群分别是底栖桡足类占 4.1%, 多毛类占 0.2%。从生物量上看, 线虫的生物量最大, 为 $(32.2 \pm 12.96) \mu\text{g}/10\text{cm}^2$, 占总数的 58.7%; 其次为桡足类 $(17.4 \pm 17.4) \mu\text{g}/10\text{cm}^2$, 占总数的 31.7%; 多毛类 $(5.3 \pm 10.2) \mu\text{g}/10\text{cm}^2$, 占 9.6% (见表 2)。

表 2 7 个站位小型底栖动物的平均丰度、生物量及生产力
Tab.2 Abundance, biomass and production of main meiofaunal groups in seven stations

类群	丰度		生物量		生产量
	(ind./10cm ²)	(%)	(μg/10cm ²)	(%)	[μg/(10cm ² ·a)]
线虫	214.6	95.7	32.2	58.7	289.7
桡足类	9.3	4.1	17.4	31.7	181.2
多毛类	0.4	0.2	5.3	9.6	47.5
总数	224.3	100.0	54.8	100.0	518.4

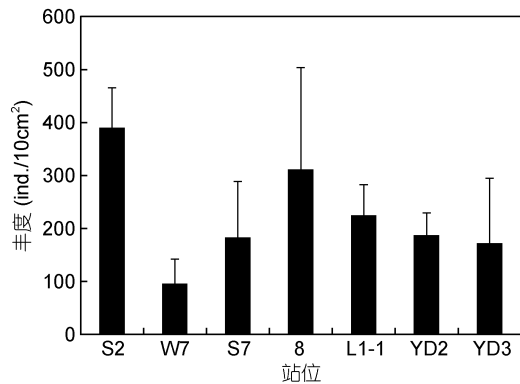


图 2 7 个站位小型底栖动物的丰度柱状图
Fig.2 Histogram of abundance of meiofauna in the seven stations

2.2 小型底栖生物的垂直分布

对本次研究的 7 个站位进行小型底栖生物垂直分布统计分析(图 3), 分析数据显示小型底栖生物在沉积物 0—2cm 层占 65.74%, 在 2—5cm 层占 23.15%, 在 5—8cm 层占 11.11%。结果表明 0—5cm 层沉积物中的取样效率高达 88.89%。

3 线虫的种类组成和多样性

3.1 线虫的丰度

本次研究的南海东北部海域 7 个站位线虫的平

均丰度是 $(214.6 \pm 54.1) \text{ ind./10cm}^2$, 占小型底栖动物总丰度的 95.7%, 线虫丰度最高值在 S2 站位, 为 $(378.8 \pm 76.7) \text{ ind./10cm}^2$; 其次是 8 站位, 为 $(306.4 \pm 188.3) \text{ ind./10cm}^2$, 而最低值出现在 W7 站位, 丰度仅为 $(89.1 \pm 46.1) \text{ ind./10cm}^2$, 其他 4 个站位的丰度值相差不大(见图 4)。在垂直分布上, 64.82% 的线虫主要分布于沉积物表层 0—2cm。线虫作为小型底栖动物中的优势类群, 线虫丰度变化以及空间分布情况都与小型底栖动物丰度和空间分布趋于一致。

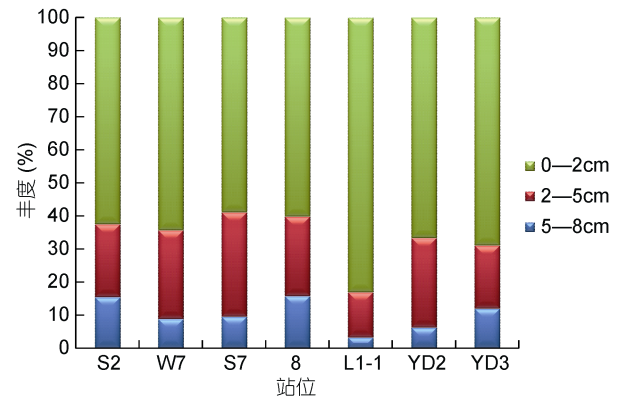


图 3 7 个站位的小型底栖动物垂直分布图
Fig.3 Vertical distribution of meiofauna in the seven stations

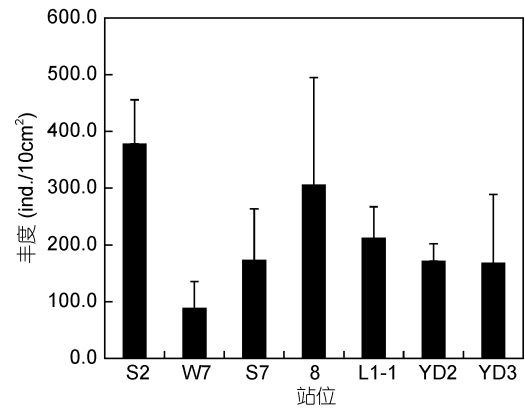


图 4 7 个站位的线虫丰度柱状图
Fig.4 A histogram of nematodes abundance in the seven stations

3.2 线虫的个体干质量和生物量

3.2.1 线虫个体干质量 通过公式计算, 本次研究样品中线虫的平均个体干质量为 $0.15 \mu\text{g}/\text{个}$, 根据以往的研究数据, 经验系数是 $0.4 \mu\text{g}/\text{个}$, 而采集于北黄海冬季沉积物(于婷婷等, 2015), 长江口及东海海域沉积物(史本泽等, 2015), 南黄海冬季沉积物(黄勇

等, 2005)中的海洋线虫所实测的个体干质量分别为 0.196、0.214、0.261 μg , 实测结果远小于普遍使用的经验系数; 采集于东寨港红树林湿地冬季沉积物(刘均玲等, 2013), 福建九龙江口和洛阳江口红树林湿地沉积物(刘梦迪等, 2018)中的线虫实测的个体干质量分别为 0.6 μg 和 0.826 μg , 其结果大于经验系数 0.4 μg /个。通过对比以往研究结果推断可能受幼体所占比例和群落结构种类组成等因素的影响, 不同海域所采集的线虫, 其个体干质量存在较大的差别。从而计算生物量时不推荐统一使用经验系数 0.4 μg /个, 应该使用本次所研究沉积物中所实测的线虫的个体干质量, 从而减少计算生物量及生产量时的误差。

3.2.2 线虫的生物量 按实测的线虫个体干质量计算, 7 个站位线虫的平均生物量仅为(32.2 $\pm$ 12.9) $\mu\text{g}/10\text{cm}^2$; 按经验系数计算则平均生物量为(85.4 $\pm$ 34.5) $\mu\text{g}/10\text{cm}^2$, 实测值和预估值相差较大, 图 5 折线图中, 系列 1 表示在实际计算所得系数 0.15 μg /个下所求的生物量, 系列 2 表示在经验系数 0.4 μg /个的情况下所求的生物量, 图中可以直观地可以看出各个站位的实测值与预估值的差距较大。

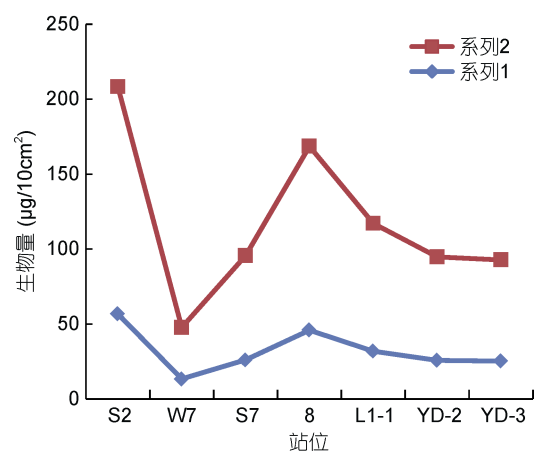


图 5 线虫不同个体干质量下 7 个站位线虫的生物量

Fig.5 Biomass of the seven sites under different individual average dry weight of nematodes

注: 系列 1: 在实际计算所得系数 0.15 μg /个下所求的生物量; 系列 2: 在经验系数 0.4 μg /个的情况下所求的生物量

3.3 线虫群落的营养结构

线虫虽然整体结构相似, 但因口腔类型不同, 因此摄食结构不同, 在底栖生态系统中占不同的营养级。它们取食一般来自细菌、微藻以及有机碎屑, 有些种类的线虫能捕食其他小型线虫作为食物。线虫的

摄食机制与其口腔类型密切相关。Platt 和 Warwick 把自由生活海洋线虫的口腔类型划分为 4 种类型, 分别为选择性沉积食性者(1A)、非选择性沉积食性者(1B)、刮食者(2A)以及捕食者(2B) (Platt *et al*, 1983)。本研究所鉴定的线虫所有物种中, 选择性沉积食性者(1A)最占优势, 有 112 种, 占总物种数 38.2%; 其次为非选择性沉积食性者(1B), 占总物种数 32.1%; 捕食者(2B)最少, 占 9.2%; 刮食者(2A)则占总物种数的 20.5%。按个体数量统计, 选择性沉积食性者(1A)优势度最高, 占线虫总数的 42%; 捕食者(2B)最低, 占总数的 8%; 其他两种类型 1B 和 2A 分别占总数的 30%和 20%。按照总体统计数据可以看出, 四种摄食类型的线虫比例高低顺序一致, 为 1A 型>1B 型>2A 型>2B 型, 而选择性沉积食性者与非选择性沉积食性者所占比例接近。总之, 沉积食性者(1A+1B)无论是从数量上(72%)还是种类上(70.3%)均优势度最高。线虫的营养结构与沉积物里食物类型密切相关。沉积食性者主要以细菌大小的有机颗粒和腐烂的有机碎屑为食, 由此推测本研究样品的南海东北部海域的线虫的主要食物来源是有机碎屑。

3.4 线虫的年龄结构和性别比例

海洋线虫分为成体和幼体, 成体又包含雌体和雄体。通过对南海东北部海域 7 个站位线虫性别比例进行统计(表 3), 结果显示幼体在线虫群落中所占比例为 22.0%—44.3%, 平均比例为 30.8%; 雌雄比例为 1:0.30—1:0.58。在总体数量上, 雌体>幼体>雄体, 只有个别站位中雄体数量多于幼体。

表 3 7 个站位雌雄个体数、幼龄个体数及雌雄比
Tab.3 The ratios of female to male and juvenile to adult of the nematode community

站位	总数	雌体 个数	雄体 个数	幼体 个数	雌雄比 (F/M)	幼体比 例(%)
S2	412	194	113	105	1:0.58	25.5
W7	138	63	29	46	1:0.46	33.3
S7	440	158	87	195	1:0.55	44.3
8	706	285	162	259	1:0.57	36.7
L1-1	229	120	46	63	1:0.38	27.5
YD2	286	162	49	75	1:0.30	26.2
YD3	213	127	40	46	1:0.31	22.0

3.5 线虫的种类组成

通过对本次南海东北部海域 7 个站位沉积物样品的鉴定分析, 本次样品共鉴定出自由生活海洋线

虫 293 种或分类实体, 隶属于 105 属, 26 科, 4 目, 其中已描述发表新种 2 个 *Elzalia heterospiculata* Jia, 2019, *Wieseria biceps* Jia, 2019。在总体属的水平上, *Acantholaimus* 的数量约占总数的 9.6%, 为本样品中最优势属; *Halalaimus* 为第二大优势属, 占线虫总数的 8.7%; *Cervonema* 在数量上与 *Halalaimus* 相差不大, 约占总数的 8.4%; 其他相对优势的属分别为 *Thalassmonhystera* (5.9%)、*Molgolaimus* (4.4%)、*Sphaerolaimus* (4.3%)、*Sabatieria* (3.4%)。在不同站位之间线虫的种类组成也有明显的差别, 其中优势属 *Acantholaimus*、*Halalaimus*、*Cervonema*、*Thalassmonhystera*、*Molgolaimus*、*Sphaerolaimus*、*Sabatieria* 等, 不仅数量多, 而且在 7 个站位中均有分布; 部分属仅在某个站位存在, 如 *Cricohalalaimus*、*Rhynchonema*、*Manganonema*、*Cinctonema*, 这些属数量少, 而且在以往的自由生活线虫分类研究中也不常见。属 *Acantholaimus* 是本次研究中最优势的属, 该属分布很广, 是种类丰富的深海自由生活线虫, 分布在世界各地, 迄今为止此属已描述 51 个种 (Miljutin *et al.*, 2016)。该属在本次研究的海域物种多样性很高, 而且数量多, 目前已经鉴定出了 10 种, 还有部分待鉴定中。

4 讨论

4.1 小型底栖动物丰度、种类组成

由表 4 可知, 各个研究海域的小型底栖动物丰度均有差别, 与其他研究海域相比, 本研究海域小型底栖生物丰度均低于其他海域, 各研究海域出现差别可能由两个大方面引起: 其一, 与筛选时所选择的网筛孔径大小有关; 其二, 与采样地的沉积物类型有关 (表 1)。从总体中国的四大海区来看 (忽略网筛孔径大小的影响), 除个别研究海域外, 南海的小型底栖动物丰度普遍低于渤海、黄海和东海。就南海海域看, 不同研究区域丰度也有差别, 目前在南海已研究的海域中, 丰度最高的为南海芽庄湾 (Pavlyuk *et al.*, 2006), 为 $(1034.6 \pm 450) \text{ ind./10cm}^2$, 筛选所用网筛孔径为 $63 \mu\text{m}$; 最低值则是王家栋等 (2009) 所统计的南海近海小型底栖动物的平均丰度为 $(156 \pm 56) \text{ ind./10cm}^2$, 所用网筛孔径为 $31 \mu\text{m}$ 。我国目前对于深海区小型底栖生物的研究较为薄弱, 杨俊毅等 (2005) 对热带北太平洋深海区小型底栖生物的空间分布进行了研究, 其所统计的小型底栖动物的平均丰度为 34.1 ind./10cm^2 ; 王小谷等 (2013) 统计了东太平洋中国多金属

结核东、西两个小区域, 发现东小区小型底栖动物丰度为 $(104.4 \pm 20.48) \text{ ind./10cm}^2$, 线虫的平均丰度为 $(97.23 \pm 19.51) \text{ ind./10cm}^2$, 西小区小型底栖动物丰度为 $(40.26 \pm 25.84) \text{ ind./10cm}^2$, 线虫平均丰度为 $(36.78 \pm 25.08) \text{ ind./10cm}^2$; 史本泽 (2016) 统计了西太两个深海区, 西太冲绳海槽深海区小型底栖动物丰度为 $303.7 \text{ ind./10cm}^2$, 线虫丰度为 $209.8 \text{ ind./10cm}^2$, 西太雅浦海山区小型底栖动物丰度为 $216.1 \text{ ind./10cm}^2$, 线虫丰度为 $199.8 \text{ ind./10cm}^2$ 。以上研究海域的水深大都在 3000—5500m, 其中只有热带北太平洋深海区两个站位水深较浅, 为 1906m 和 2405m。但无论是水深方面还是沉积物类型方面, 与本研究最为相似的为刘晓收等 (2014) 所统计的南海北部深海海域, 其小型底栖动物丰度为 $(566.12 \pm 635.61) \text{ ind./10cm}^2$, 线虫的平均丰度为 $(536.21 \pm 593.48) \text{ ind./10cm}^2$, 高于本研究小型底栖动物的平均丰度 $(224.3 \pm 52) \text{ ind./10cm}^2$ 。前者研究海域水深 87—1600m, 沉积物类型为砂、粉砂、粉砂质黏土, 所用网筛孔径为 $31 \mu\text{m}$; 本研究水深 273—1417m, 沉积物类型为砂质粉砂、黏土质粉砂, 所用网筛孔径为 $42 \mu\text{m}$ 。由此初步推测, 两研究海域丰度值差较大的原因与水深关系不大, 而与所选用的不同大小网筛及沉积物类型有关。本研究样品在分选的过程中发现南海深海的线虫以及其他小型底栖动物个体较小, 从线虫的个体干质量也可以看出线虫体型偏小, 因此选择网筛孔径比较大时可能造成了不必要的流失。建议在分选深海区域的样品时选用 $31 \mu\text{m}$ 孔径的网筛。

总之, 通过对不同海域研究的比较 (表 4), 发现南海海域较其他海域小型底栖动物丰度较低, 深海海域比近海、浅海的小型底栖动物丰度低。而影响因子不止与所选的网筛孔径有关, 还可能与水深、盐度、温度、沉积物中有机质含量等环境因子有关, 而在深海海域中食物是小型底栖生物分布最大的限制因子 (杨俊毅等, 2005)。这些综合因素造成了本研究海域小型底栖动物管是丰度上还是种类组成上与以往研究数据都相差较大, 要想确定具体与哪些环境因素有关还需要后期进行实验分析对比。

本次研究样品中可获得的小型底栖动物类群只有线虫, 桡足类以及多毛类三大类。其中线虫占小型底栖动物丰度的 95.7%, 其次为桡足类占 4.1%, 多毛类占 0.2%, 相比以往研究中, 无论是南海还是其他海域筛选出的小型底栖动物的种类都多于 3 种, 推测可能与海域环境以及沉积物类型有关。

表 4 南海东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.4 Comparison of abundance of meiofauna and percentage of nematode between the northeastern South China Sea and other areas

研究海域	采样时间	站位数量	站位深度 (m)	网筛孔径 (μm)	小型底栖动物丰度 (ind./10cm ²)	线虫丰度占比 (%)	参考文献
南海东北部	2017.08	7	273—1417	42	224.3±52	95.7	本文
南海北部	2010.09	6	87—1600	31	566.12±635.61	95	刘晓收等(2014)
南海大亚湾	2009.10	9	5.54—16.57	38	593±265	92	唐玲等(2012)
南海	2007.10—11	14	20—159	42	901±913	93	杜永芬等(2010)
南海	2007.09—10	2	1302 和 1394	31	156±56	85	王家栋等(2009)
南海北部湾	2006—2007	27	—	42	529	85	Cai 等(2012)
南海芽庄湾	2003.10	—	—	63	1034.6±450	61	Pavlyuk 等(2006)
北太平洋	2001	17	1906—5595	68	34.1	—	杨俊毅等(2005)
东太平洋(东区)	2005.07	12	5236—5329	38	104.4±20.5	93.13	王小谷等(2013)
东太平洋(西区)	2005.07		5074—5159	38	40.3±25.9	91.36	
西太冲绳海槽	2014.12	2	1527—1590	—	303.73	96	史本泽(2016)
西太雅浦海山区	2014.12	2	4042—4566	—	216.1	92—97	
台湾海峡	1997—1998	16	32—86	63	247	88	方少华等(2000)
	1997.06	5	浅海		2300±1206	93	
渤海	1998.09	20	浅海	48	869±510	87	慕芳红等(2001)
	1999.04	20	浅海		632±400	87	
莱州湾	2011.04	13	潮下带	42	1883±558	94.5	孙燕(2018)
	2016 夏季	10	潮间带	42	789±257	92.6	孙燕(2018)
	2000.10	13	50—100	50	654±441	87	张志南等(2004)
东海	2007.09—10	3	49.6—60	31	1954±2047	89	王家栋等(2009)
	2012.10	18	浅海	42	789± 221	89.5	蒋维军等(2016)
黄海	2007.09—10	5	53.8—79.5	31	2132±946	85	王家栋等(2009)
	2006.07	5	15—73	61	1900±634	42	陈海燕等(2009)
	2007.01	5	15—73	61	664±494	90	
	2007.04	5	15—73	61	1601±836	86	
南黄海	2007.10	5	15—73	61	524±377	75	
	2003.01	22	29—89	31	954±269	87.1	黄勇等(2007)
	2003.06	22	—	31	1584±686	89	Liu 等(2005)
	2004.01	28	20—80	31	1186±486	90	张艳等(2007)

4.2 线虫空间分布及其影响因素

在水平方向上，各个站位线虫的丰度和种类呈不均匀分布，一般与研究海域的环境因子密切相关。本次研究样品来源于南海东北部海域的海底沉积物(表 1)，除 W7 站位是水深较浅外，其他站位水深在 714—1240m，属于深海区域，深海区水温、盐度等受季节变化的影响不大，而且深海区与潮间带相比，虽然不容易遭到海水的冲刷，但深海风暴和悬浮沉降会影响沉积物；排除这些因素，影响最大的因素可能

是食物，即沉积物中的有机质。本次研究的站位中，S2 站位丰度最高，W7 站位丰度最低，S2 站位沉积物类型为灰青色细腻泥质，无杂物；W7 站位的沉积物类型为灰青色泥质、内含砂和结核。沉积物越细则更容易储存营养物质，有利于线虫的生存而含砂量大的沉积物中营养物质容易流失，不利于线虫的生长繁殖。线虫的丰度除了与环境因子有关以外，还有一定的人为因素(即分选时所选用的网筛孔径的大小)，尤其是深海区域，线虫个体较小，如果选用的网筛孔

径比较大,在挑选时容易漏掉较小的个体。该项人为因素只要选用合适的网筛,基本可以减少人为方面的误差。

在垂直分布上,线虫通常分布在沉积物表层 0—8cm 范围内,且主要集中于 0—2cm 沉积物表层(张志南等,2004),本研究中线虫 64.82%都分布在沉积物表层 0—2cm 中,也符合这一研究结果。

4.3 线虫的群落结构和性别比例的分析讨论

本次研究中线虫的群落结构总体上以沉积食性者(1A+1B)为主,侧面反映出本次研究海域的沉积物中有机质以有机碎屑为主。在性别比例上,线虫群落中幼体占比为 32.5%,高于蒋维军等(2016)对东海海域秋季的研究结果(29%),低于长江口及其附近海域夏季(于婷婷,2015; 41.5%)、南黄海冬季(黄勇,2005; 60%)的研究结果,国外研究认为线虫群落年龄结构与季节有关。因受采样条件的局限,未对南海东北部沉积物的线虫进行不同季节的对比,本次研究样品来自深海,季节变化对深海环境影响较小,因此我们推断本次研究样品的群落结构与季节变化关系不大。根据以往研究数据显示,线虫群落的幼体比例一般冬季高于夏季,但这一规律是否普遍存在,线虫年龄结构是否还受其他因素影响,还有待进一步研究。该研究海域线虫群落中雌雄平均比例为 1:0.45,大部分站位雌性个体数远高于雄性个体,这一研究结果与其他海域的研究结果也大致相似。

5 结论

综上,本研究对南海东北部海域 7 个站位点小型底栖动物尤其是对线虫进行研究,包括丰度、生物量、线虫个体干质量、性别比例,营养结构等。小型底栖动物的平均丰度为 $(224.3 \pm 52) \text{ ind./10cm}^2$,且分选出的三大类群中,线虫占总丰度的 95.7%,底栖桡足类占 4.1%,多毛类占 0.2%。在生物量上,线虫占比为 58.7%。垂直分布上 65.7%的小型底栖动物以及其中最优势的线虫(64.8%)都分布在沉积物表层 0—2cm 处。本航次样品中共鉴定出海洋线虫 293 种或分类实体,隶属于 105 属、26 科、4 目,其中已描述发表了 2 个新种和 1 个新纪录。主要优势属有 *Halalaimus*、*Sabatieria*、*Cervonema*、*Molgolaimus* 和 *Acantholaimus* 等。在摄食类型上,沉积食性者(1A+1B)占优势(物种数占 70.3%,个体数占 72%);雌雄比例为 1:0.45,幼龄个体占线虫群落个体总数的 32.5%。通过与以前研究数据对比,南海东北部海域小型底栖动物丰度

偏低,线虫占比与以往大部分研究相同,都是最优势类群,且在小型底栖生物类群中占比例最高;线虫雌雄比例遵循以前研究规律雌体占比多于雄体;线虫物种多样性高。

参 考 文 献

- 于婷婷,徐奎栋,2015. 北黄海冬季沉积物中线虫个体干质量初探. 海洋科学, 39(6): 8—14
- 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. 生态学报, 30(17): 4717—4727
- 王小谷,周亚东,张东声等,2013. 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究. 生态学报, 33(2): 492—500
- 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. 海洋科学, 33(9): 62—70
- 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. 海洋学报, 22(6): 136—140
- 史本泽,2016. 不同生境中海洋线虫分类及小型底栖生物群落结构研究. 青岛:中国科学院研究生院海洋研究所博士学位论文
- 史本泽,于婷婷,徐奎栋,2015. 长江口及东海夏季小型底栖动物丰度和生物量变化. 生态学报, 35(9): 3093—3103
- 刘均玲,黄勃,梁志伟,2013. 东寨港红树林小型底栖动物的密度和生物量研究. 海洋学报, 35(2): 187—192
- 刘晓收,许曼,张敬怀等,2014. 南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量. 热带海洋学报, 33(2): 52—59
- 刘梦迪,陈建春,郭玉清等,2018. 红树林湿地沉积物中海洋线虫个体干质量的研究. 海洋学报, 40(8): 89—96
- 孙燕,2018. 莱州湾小型底栖生物生态和自由生活线虫分类研究. 聊城:聊城大学硕士学位论文
- 杜永芬,徐奎栋,孟昭翠等,2010. 南海小型底栖动物生态学的初步研究. 海洋与湖沼, 41(2): 199—207
- 杨俊毅,王春生,刘镇盛等,2005. 热带北太平洋深海小型底栖生物大尺度空间分布. 海洋学研究, 23(3): 23—29
- 张艳,张志南,黄勇等,2007. 南黄海冬季小型底栖生物丰度和生物量. 应用生态学报, 18(2): 411—419
- 张志南,林焯旋,周红等,2004. 东、黄海春秋小型底栖生物丰度和生物量研究. 生态学报, 24(5): 997—1005
- 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. 中国海洋大学学报, 39(4): 657—663
- 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. 热带海洋学报, 31(4): 104—111
- 黄勇,2005. 南黄海小型底栖生物生态学和海洋线虫分类学研究. 青岛:中国海洋大学博士学位论文
- 黄勇,张志南,刘晓收,2007. 南黄海冬季自由生活海洋线虫群落结构的研究. 海洋与湖沼, 38(3): 199—205
- 蒋维军,高群,王海霞等,2016. 东海秋季小型底栖动物生态学研究. 聊城大学学报(自然科学版), 29(2): 65—74
- 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. 青岛海洋大学学报, 31(6): 897—905
- 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. *Acta Oceanologica Sinica*, 31(6): 92—103
- Coull B C, 1988. Ecology of the marine meiofauna. In: Higgins R P, Thiel H eds. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Washington: Smithsonian Institution Press
- Gerlach S A, 1971. On the importance of marine meiofauna for benthos communities. *Oecologia*, 6(2): 176—190
- Higgins R P, Thiel H, 1988. *Introduction to the Study of Meiofauna*. Washington D C, USA: Smithsonian Institution Press, 1—488
- Jensen P, Nehring S, 1992. Review of *Ptycholaimellus* cobb (nematoda, chromadoridae), with descriptions of three species. *Zoologica Scripta*, 21(3): 239—245
- Jia S S, Huang Y, 2019. *Elzalia heterospiculata* sp. nov. (Nematoda: Monhysterida: Xyalidae) from the South China Sea. *Zootaxa*, 4603(3): 568—574
- 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. *Acta Oceanologica Sinica*, 24(3): 94—104
- Miljutin D M, Miljutina M A, 2016. Review of *Acantholaimus* Allgén, 1933 (Nematoda: Chromadoridae), a genus of marine free-living nematodes, with a tabular key to species. *Nematology*, 18(5): 537—558
- Montagna P A, 1995. Rates of metazoan meiofaunal microbivory: a review. *Vie et Milieu*, 45(1): 1—9
- Pavlyuk O N, Trebukhova J A, 2006. Meiobenthos in Nha Trang Bay of the South China Sea (Vietnam). *Ocean Science Journal*, 41(3): 139—148
- Platt H M, 1985. The freeliving marine nematode genus *sabatieria* (nematoda: comesomatidae). Taxonomic revision and pictorial keys. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 83(1): 27—78
- Platt R M, Warwick R M, 1983. Free-living marine nematodes: I. British Enoplids: pictorial key to world genera and notes for the identification of British species. In: Barnes R S K, Crothers J H eds. *Synopses of the British Fauna*. Cambridge: Cambridge University Press, 5—6

STUDY ON SUMMER MEIOFAUNA IN THE NORTHEASTERN SOUTH CHINA SEA

JIA Su-Su, QIAO Chun-Yan, HUANG Yong

(College of Life Sciences, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

Abstract Meiobenthos were sampled in seven stations in the northeastern part of the South China Sea in August 2017. The group composition, abundance, biomass and spatial distribution were analyzed. Three small benthic groups, i.e., Nematode, Copepod and Polychaete, were selected in the seven stations. Results show that the average abundance of small benthic animals were $(224.3 \pm 52) \text{ ind./}10\text{cm}^2$. Nematode accounted for 95.7% of the total abundance of all meiofauna, followed by Copepod (4.1%) and Polychaete (0.2%). The average individual dry mass of nematode was $0.15\mu\text{g}$. The biomass of Nematode was $(32.2 \pm 12.96) \text{ ind./}10\text{cm}^2$, accounting for 58.7%. About 65.7% of the meiofauna, including dominant nematodes (64.8%), were found in the top 0—2cm sediment. In total, 293 species were identified, belonging to 105 genera, 26 families, and 4 orders, including 2 new species and 5 new records. The major dominant genera were *Halalaimus*, *Sabatieria*, *Cervonema*, *Molgolaimus*, and *Acantholaimus*. In feeding type, the deposit feeders (1A+1B) were the dominants (70.3% of species and 72% of individuals). The average ratio of males to females was 1 : 0.45, and the young individuals accounted for 32.5% of the total population of nematodes. In addition, the abundance and biomass of various groups of meiofauna were analyzed and compared with the cases of other sea areas. It was found that the overall abundance of meiobenthos in the South China Sea was low, and was even lower in the northeastern part of the South China Sea. This study enriched the data of small benthic ecology in the South China Sea for future studies on nematodes in China.

Key words meiofauna; marine nematode; benthic ecology; northeastern South China Sea