

# 南海北部潮间带自由生活线虫的生物量 及生物多样性初步研究

乔春艳,郝映东,陆 洋,黄 勇

(聊城大学 生命科学学院,山东 聊城 252059)

**摘 要** 采集了南海北部沿岸潮间带冬季(2019年1月)4个典型站位沉积物样品,对自由生活线虫的丰度、生物量和生产量等进行了研究,并对线虫的分类鉴定和群落多样性进行了初步分析。结果表明,南海北部潮间带4个站位线虫的平均丰度为 $1217 \pm 479(\text{ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2})$ ,平均生物量和生产量分别为 $487 \pm 192(\mu\text{gdwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2})$ 和 $4379.6 \pm 1725.2(\mu\text{g} \cdot 10 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ 。从丰度上看,自由生活线虫为最优势类群,其优势度为96.6%。在摄食类型上,沉积食性者(1A+1B)无论是在物种数(64.9%)还是个体数(64.8%)上均最占优势。4个站位线虫群落中雌雄比例平均为1.42:1,幼体占线虫群落个体总数的平均值为20.2%。4个站位共鉴定出自由生活海洋线虫57种,隶属于34个属,19科,3目,主要优势种为*Steineria ampullacea* Wieser & Hopper,1967、*Theristus pertenuis* Bresslau & Schuurmans Stekhoven,1935和*Pseudolella major* Wang & Huang,2016等。海洋线虫丰度的CLUSTER等级聚类分析显示,在40%相似性水平上可分为3组,线虫的非度量多维标度(MDS)分析结果与CLUSTER等级聚类分析结果一致,线虫群落的多样性分析显示南海北部潮间带自由生活线虫群落具有低优势度和较高多样性的特点。

**关键词** 南海北部潮间带;自由生活海洋线虫;丰度;生物量;生物多样性

中图分类号 Q19

文献标识码 A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



## Preliminary study on biomass and biodiversity of free-living nematodes in intertidal zone of northern South China Sea

QIAO Chunyan,HAO Yingdong,LU Yang,HUANG Yong

(School of Life Sciences,Liaocheng University,Liaocheng 252059,China)

**Abstract** Samples of sediments from 4 typical stations in the intertidal zone of the northern South China Sea in winter(January 2019) were collected.The abundance,biomass and production of free-living nematodes were studied,and the nematodes were classified identification and diversity of nematode communities were preliminarily analyzed.The results showed that the average abundance of nematodes at 4 stations in the intertidal zone of the northern South China Sea was  $1217 \pm 479(\text{ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2})$ ,and the average biomass and production were  $487 \pm 192(\mu\text{gdwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2})$  and  $4379.6 \pm 1725.2(\mu\text{g} \cdot 10 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ ,respectively.

收稿日期:2020-05-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41676146)资助

通信作者:黄勇,男,汉族,教授,硕士生导师,研究方向:生态学与生物多样性研究,E-mail:huangy@lcu.edu.cn.

In terms of abundance, free-living nematodes are the most dominant group with a dominance of 96.6%. In terms of feeding type, the deposit feeders (1A+1B) are the most dominant no matter in the number of species (64.9%) or the number of individuals (64.8%); the average ratio of male to female in the nematode community at the four stations is 1.42:1. The larvae accounted for 20.2% of the total number of individuals in the nematode community. A total of 57 species of free-living marine nematodes were identified in 4 stations, belonging to 34 genera, 19 families and 3 orders. The main dominant species are *Steineria ampullacea* Wieser & Hopper, 1967, *Theristus pertenuis* Bresslau & Schuurmans Stekhoven, 1935 and *Pseudolella major* Wang & Huang, 2016 etc. The CLUSTER analysis of the abundance of free-living nematodes shows that they can be divided into 3 groups at a similar level of 40%. The results of the non-metric multidimensional scale (MDS) analysis of the nematodes are consistent with the results of the cluster analysis of the CLUSTER level. Diversity analysis of nematode communities shows that free-living nematode communities in the intertidal zone of the northern South China Sea have the characteristics of low dominance and higher diversity.

**Keywords** intertidal zone in northern South China Sea; free-living marine nematodes; abundance; biomass; biodiversity

## 0 引言

南海,国际上称南中国海,是位于中国大陆南部与菲律宾群岛、加里曼丹岛、苏门答腊岛、马来半岛和南半岛之间的太平洋边缘海,由广东南澳岛至台湾岛南端鹅銮鼻的连线使其与东海分界。南海为世界第三大陆缘海,仅次于南太平洋的珊瑚海和印度洋的阿拉伯海,面积约 356 万  $\text{km}^2$ ,约等于渤海、黄海和东海总面积的 3 倍,其中属于中国管辖范围的是九段线之内的 210 万  $\text{km}^2$  左右的海域。地处热带和亚热带地区,海域广阔,生物多样性丰富。小型底栖动物是海洋碎屑食物链中重要的中间环节,不仅是幼年鱼、虾和蟹的饵料<sup>[1]</sup>,调节着微生物的生产过程,同时还是有机碎屑和初级生产力以及水底-耦合的重要环节。近年来小型底栖动物作为海洋生态环境监测和生态系统健康评价的一个重要指标,已被普遍运用于海洋环境监测中<sup>[2]</sup>。

自由生活海洋线虫是海洋中种类多、数量大、分布广,分类较为困难的小型底栖动物中最优势的类群。世界上估计的海洋线虫超过 2 万余种,目前报道的种类只有 7000 种,而我国海域鉴定到种的只有 500 种。自由生活海洋线虫耐污染、耐低氧、适应性强,在大多数生境,它们是底栖环境中数量最丰富的类群,占后生动物数量的 70%-90%,在某些生境中可达到 90%以上<sup>[3]</sup>。通常每平方米的软底沉积物中含有上百万条的线虫,有时高达四百多万条。它们以其特有的生殖对策,在水层-底栖生态系统的能量转换中,在摄食和刺激微生物的生产方面具有全球性的效应<sup>[4]</sup>;是国际底栖生态学家重点研究的对象之一,也是当今世界深海和极端环境生命过程研究的热点类群。其多样性指数和群落分布格局可作为监测底栖环境的工具<sup>[5]</sup>。由于种种原因,我国有关海洋线虫方面的研究相对滞后,至今还缺乏我国海洋线虫的基本数据,不清楚我国海洋线虫的种类资源和多样性情况,特别是有关南海线虫的分类学研究更是薄弱。同时对南海北部潮间带小型底栖动物多样性和自由生活海洋线虫的分类鉴定缺少系统整体的研究。

本研究选取南海北部潮间带 4 个典型站位作为研究样点,初步分析了南海潮间带自由生活线虫的种类组成和多样性特征。随着海洋强国和二十一世纪海上丝绸之路战略的实施,海洋战略地位更加突出,海洋经济地位加速提升。加强海洋科学研究,查清海洋生物资源底数,提高保护开发和利用海洋的能力,对建设海洋强国具有重大的战略意义和现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查海域

2019 年 1 月在南海北部沿岸潮间带(北纬  $22^{\circ}2'$  至  $22^{\circ}23'$ ,东经  $113^{\circ}24'$  至  $113^{\circ}59'$ )选取 4 个典型站位

(泥质、砂质、泥沙质、红树林),采集未受扰动的沉积物样品(图1)。使用改造后的内径为2.6 cm的注射器取样,取样深度为8 cm,每个样芯按0-2 cm、2-5 cm、5-8 cm(或0-2 cm、2-8 cm)分层装入100 mL已编号的采样瓶,加入等量的10%海水福尔马林溶液以固定样品<sup>[6-9]</sup>,在每一个站位采集3-5个平行样品。另外,刮取表层沉积物,标记后装瓶存放,作为该站位的补充。



图1 南海北部潮间带4个典型站位图

## 1.2 研究方法

在实验室,将样品用0.1%虎红溶液染色24 h,倒入500  $\mu\text{m}$ 和42  $\mu\text{m}$ 叠加放置的网筛内,用自来水反复冲洗。用比重为1.15的Ludox-TM对截留的沉积物样品进行离心<sup>[10]</sup>。将上清液冲去Ludox-TM后转移到培养皿上,重复操作三次,解剖镜下分选<sup>[11,12]</sup>,将小型底栖生物各类群分别保存在盛有5%福尔马林溶液的青霉素瓶中。将线虫置于盛有5%甘油,5%纯乙醇,90%纯水<sup>[13]</sup>的细胞培养皿中放在干燥箱两周,制成永久装片,观察、测量和绘图在微分干涉显微镜下进行<sup>[14]</sup>。根据Lorenzen(1981)<sup>[15]</sup>建立的线虫的分类系统和相关文献,进行线虫的分类鉴定至分类实体或种的水平<sup>[5,16,17]</sup>。

## 1.3 数据分析

通过分选获得4个典型站位小型底栖动物各类群的个体数量,利用Excel对这些数据进行计算分析,得出小型底栖动物各类群的丰度、生物量、生产量等,并作图示意。使用PRIMER 6.0进行海洋线虫丰度的CLUSTER等级聚类分析和MDS分析,并对其进行多样性分析,如物种丰富度指数( $d$ )、香农-威纳多样性指数( $H'$ )、均匀度指数( $J'$ )和优势度指数( $D$ )<sup>[18]</sup>。

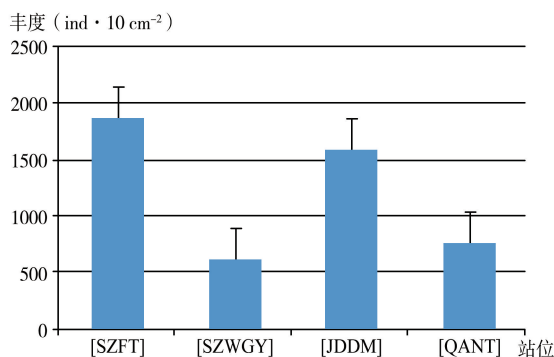


图2 南海北部潮间带4个站位自由生活线虫丰度的柱状图

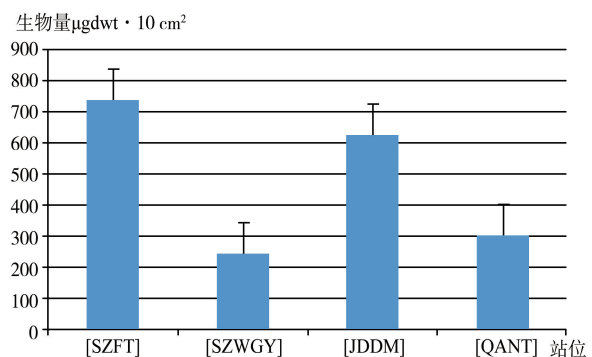


图3 南海北部潮间带4个站位自由生活线虫生物量的柱状图

## 2 研究结果

### 2.1 自由生活线虫的丰度、生物量和生产量

2019年1月南海北部潮间带4个站位的线虫的平均丰度为 $1217 \pm 479$  (ind · 10 cm<sup>-2</sup>),占小型底栖动物总丰度的96.6%。自由生活线虫的丰度在小型底栖动物中占绝对优势,故其分布趋势与小型底栖动物丰度

的分布趋势一致<sup>[9]</sup>。线虫丰度最高值为 SZFT 站,为  $1871 \pm 1079$  (ind · 10 cm<sup>-2</sup>); 丰度最低值在 SZWGY 站,为  $624 \pm 17$  (ind · 10 cm<sup>-2</sup>), JDDM 站和 QANT 站的平均丰度居中,分别为  $1595.7 \pm 726.7$  (ind · 10 cm<sup>-2</sup>) 和  $775.4 \pm 235$  (ind · 10 cm<sup>-2</sup>) (图 2)。4 个站位线虫的平均生物量为  $487 \pm 192$  (μgdwt · 10 cm<sup>-2</sup>), 自由生活线虫的生物量是由其丰度乘以经验系数  $0.4 \text{ g} \cdot \text{ind}$  所得, 因而其分布趋势与丰度完全相同(图 3)。

4 个站位线虫的平均生产量为  $4379.6 \pm 1725.2$  (μg · 10 cm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>)。

## 2.2 线虫群落的营养结构

Wieser(1953)<sup>[19]</sup>将线虫分为四种功能类群,不同的口腔结构代表了不同的摄食机制(图 4)。1A 型代表选择性沉积食性者,1B 型代表非选择性沉积食性者,2A 型代表为刮食者,2B 型代表捕食者。本研究中,以 1B 型优势度最高,有 31 种,占总物种数的 54.4%;2A 型优势度次之,有 18 种,占 31.6%;1A 型 6 种,2B 型 2 种,分别占 10.5% 和 3.5%(图 5)。按个体数量统计,1B 型优势度仍最高,占线虫总数的 63%;2A 型优势度次之,占 34.1%;1A 型和 2B 型最低,分别占 1.8% 和 1.1%。

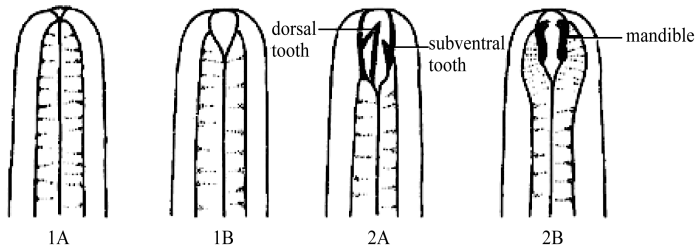


图 4 常见海洋线虫四种摄食类型口腔结构示意图(引自 Warwick et al.1998)

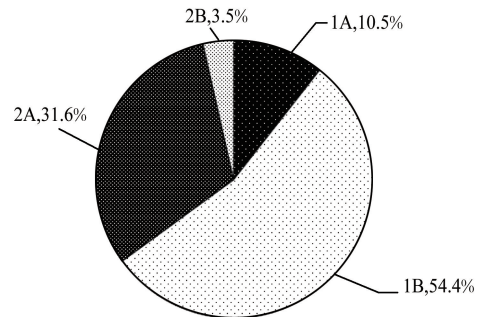


图 5 南海北部潮间带 4 个站位线虫四种摄食类型种类数目百分比

## 2.3 线虫群落的年龄结构和性别比例

成熟雌体具有卵细胞或发育良好的卵巢且雌孔可见,成熟雄体具有交接刺,幼体指无明显雌性和雄性特征的个体。本研究对线虫群落中成熟雌体、成熟雄体和幼体的数目进行统计,得到线虫群落的年龄结构和性别比例。4 个典型站位线虫群落中雌雄比平均为 1.42:1,幼体所占比为 13.3%-30.7%,平均值为 20.2%(表 1)。另外统计了雌体、雄体以及幼体所占比(图 6)。

表 1 南海北部潮间带 4 个站位线虫性别比例表

站位	总数	雌体个数	雄体个数	幼体个数	雌雄比	幼体比/%
SZFT	3425	1501	1467	457	1.02:1	13.3%
SZWGY	749	350	262	137	1.33:1	18.3%
JDDM	2004	832	557	615	1.49:1	30.7%
QANT	1781	941	510	330	1.84:1	18.5%

## 2.4 种类组成

对 4 个站位沉积物样品进行分析,共鉴定出了自由生活线虫 57 种,隶属于 34 个属,19 科,3 目,其中包括 2 个新种(*Leptolaimus holovachovi* Qiao, Jia & Huang, 2020<sup>[20]</sup>, *Daptonema brevicaudatus* sp. Nov.<sup>[21]</sup>)。4 个站位中排名前 8 位的优势种依次为 *Steineria ampullacea* Wieser & Hopper, 1967, *Theristus pertenuis* Bresslau & Schuurmans Stekhoven, 1935, *Pseudolella major* Wang & Huang, 2016, *Parodontophora* sp2, *Daptonema alternum* (Wieser, 1956) Lorenzen, 1977, *Paragnomoxyla macrostoma* (Huang & Xu, 2013) Sun & Huang, 2017, *Parodontophora* sp1, *Pseudolella* sp3, *Theristus* sp3。

属水平上的统计显示, *Steineria* 属是本研究海域最为优势的属,个体数量占 4 个站位线虫总数的 18.18%,其次为 *Daptonema* 属,占线虫总数的 17.33%,其它优势属(个体数量大于线虫总数的 2%)依次为属

*Theristus*、*Parodontophora*、*Pseudolella*、*Paragnomoxyla*、*Oncholaimus*、*Leptolaimus*、*Pseudochromadora*。Xyalidae 和 Axonolaimidae 为第一和第二大科,分别占线虫总数的 57.48% 和 25.71%,其他优势科(个体数量大于线虫总数的 1%)依次为 Oncholaimidae、Leptolaimidae 和 Desmodoridae 等(表 2)。

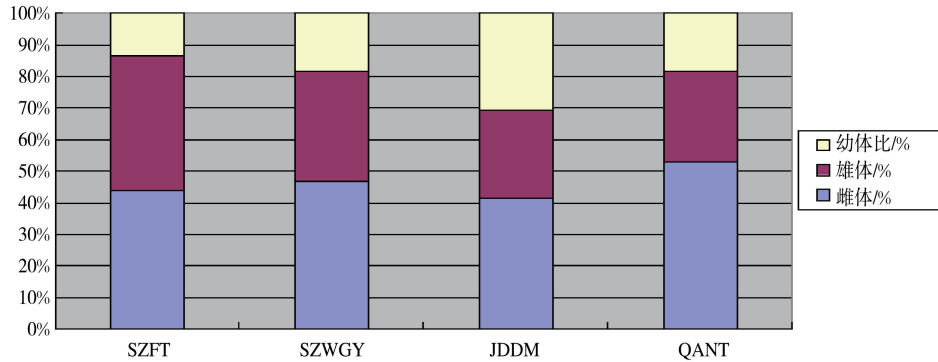


图 6 南海北部潮间带 4 个站位线虫雌雄比和幼体比柱状图

表 2 南海北部潮间带优势属和优势科及其优势度

南海北部潮间带优势属	优势度/%	科	优势度/%
<i>Steineria</i>	18.18	Xyalidae	57.48
<i>Daptonema</i>	17.33	Axonolaimidae	25.71
<i>Theristus</i>	16.33	Oncholaimidae	3.61
<i>Parodontophora</i>	13.67	Leptolaimidae	2.69
<i>Pseudolella</i>	12.02	Desmodoridae	2.55
<i>Paragnomoxyla</i>	5.06	Linhomoeidae	1.83
<i>Oncholaimus</i>	3.17	Anoplostomatidae	1.55
<i>Leptolaimus</i>	2.69	Chromadoridae	1.08
<i>Pseudochromadora</i>	2.53	Comesomatidae	1.04
		Thoracostomopsidae	1.03

### 2.5 自由生活线虫丰度的 CLUSTER 等级聚类分析

利用 PRIMER 6.0 对南海北部潮间带 4 个典型站位进行自由生活线虫丰度的 CLUSTER 等级聚类分析(图 7)。在 40%相似水平上,主要分为三组,组 1 包括 JDDM 站,JDDM 站属于砂质的沉积物类型;组 2 包括 SZWGY 站位于深圳湾公园观鸟亭附近,沉积物类型为泥质;组 3 包括 SZFT 站和 QANT 站,SZFT 站位于深圳福田红树林保护区,红树林生长于陆地与海洋交界滩涂浅滩,是陆地向海洋过度的一种特殊的生态系统,QANT 站位于淇澳岛,属于泥沙质的沉积物类型,且人类活动频繁,有机质污染程度较高。

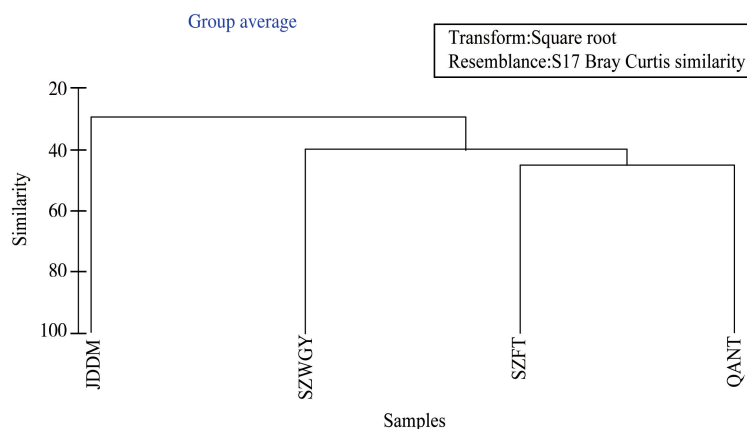


图 7 南海北部潮间带线虫丰度的 CLUSTER 等级聚类分析

## 2.6 线虫的非度量多维标度(non-metric Multi-Dimensional Scaling, MDS)分析

对线虫进行了丰度的 CLUSTER 等级聚类分析后,接着进行了线虫的非度量多维标度(MDS)分析(图 8),结果与 CLUSTER 等级聚类分析结果一致,由图 8 可知,SZFT 站和 QANT 站更相似,SZWGY 站和 JDDM 站与以上两个站位的相似性较低。

## 2.7 自由生活线虫群落多样性分析

通过 PRIMER 6.0 对 4 个站位自由生活线虫群落多样性进行了分析(表 3),结果表明,物种丰富度指数与线虫种类数基本一致,QANT 站物种丰富度指数最高,为 6.819,JDDM 站最低,为 4.529,但 SZFT 站和 SZWGY 站相反,SZFT 站种类数多,物种丰富度指数较低。香农-威纳指数从高到低依次为 QANT 站(3.279)、SZWGY 站(2.981)、JDDM 站(2.966)和 SZFT 站(2.899)。均匀度指数介于 0.8443-0.9103 之间,物种分布均匀,说明南海北部潮间带自由生活线虫稳定性强。该海域自由生活线虫群落优势度指数较低,介于 0.0485-0.0766 之间,物种丰富度指数较高,在 4.529-6.819 之间,具有低优势度和较高多样性的特点。

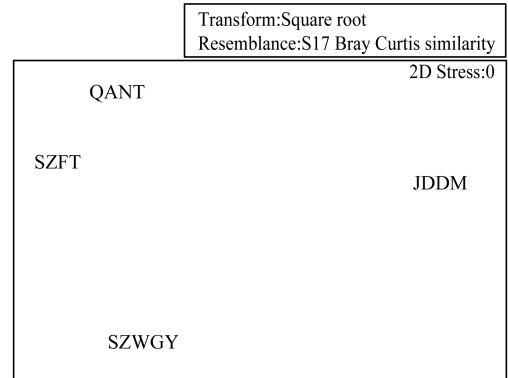


图 8 南海北部潮间带线虫的非度量多维标度(MDS)分析

表 3 南海北部潮间带线虫群落多样性指数

Sample	种类数 $S$	标本数 $N$	物种丰富度指数 $d$	均匀度指数 $J'$	香农-威纳指数 $H'(\log_e)$	优势度指数 $D$
SZFT	31	290	5.291	0.8443	2.899	0.0766
SZWGY	28	144	5.434	0.8946	2.981	0.0682
JDDM	26	250	4.529	0.9103	2.966	0.0606
QANT	39	263	6.819	0.8949	3.279	0.0485

## 3 结论与分析

在丰度上自由生活线虫是小型底栖生物中最优势的类群,与王家栋等<sup>[24]</sup>中国近海秋季开展的研究结果一致。SZFT 站和 SZWGY 站均位于深圳湾,与 2017 年谭文娟等<sup>[25]</sup>和 2020 年郭玉清等<sup>[30]</sup>深圳湾福田红树林区研究相比,所选采样区域相同,站位相近,从丰度上分析,SZFT 站和 SZWGY 站海洋线虫的平均丰度百分比为 97.4%,谭文娟等研究为 97.26%,郭玉清等研究为 97.28%;从生物量上分析,SZFT 站和 SZWGY 站线虫的平均生物量百分比为 65.6%,谭文娟等研究为 71.58%,这与谭文娟等结果相近,郭玉清等研究未涉及线虫生物量的分析。

与 2014 年刘晓收等<sup>[23]</sup>南海北部深海自由生活线虫的研究比较(表 4),本研究中潮间带海洋线虫的平均丰度要远高于南海北部深海,且高于南海其他有关研究<sup>[22,24,26-30]</sup>,这可能与采样季节、站位和网筛孔径有关。自由生活线虫始终在小型底栖动物中占据最优势地位。

本研究对海洋线虫物种数和个体数进行了统计,根据物种数或是个体数,4 种食物类型的线虫比例的顺序都是一致的:1B 型最多,2A 型次之,1A 型和 2B 型最少。

综上,沉积食性者(1A+1B)无论是在物种数(64.9%)还是个体数(64.8%)上均最占优势。线虫群落的营养结构与食物类型密切相关,本研究中沉积食性者最占优势且有以有机碎屑为食,故推测有机碎屑是南海北部潮间带冬季的主要食物来源。

蔡立哲等<sup>[28]</sup>、王家栋等<sup>[24]</sup>、郭玉清等<sup>[30-32]</sup>和唐玲等<sup>[26,27]</sup>对南海近海和浅海的小型底栖动物生态学进行了研究,另外,刘晓收等<sup>[23]</sup>对南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量等进行了分析,而分类方面尤其是海

洋线虫分类鉴定的研究相对较少。本研究对南海北部潮间带冬季沉积物样品进行分析,4 个站位共鉴定出了 57 个种或分类实体,由于自由生活线虫分类难度较大,加之分类资料缺乏,分类经验不足,目前真正鉴定到种的只有十余种。因此,自由生活海洋线虫的分类鉴定仍然是我国小型底栖生物研究的重要基础性工作。

表 4 本文研究与相关研究对照表

研究海域	采样时间	网筛孔径/ $\mu\text{m}$	海洋线虫平均 丰度/(ind $\cdot 10\text{ cm}^{-2}$ )	线虫丰度百分比/%	参考文献
南海北部	2019.01	42	1217 $\pm$ 479	96.6	本文
南海	2007.10-11	42	837 $\pm$ 868	92.9	[22]
南海北部	2010.09	31	536.21 $\pm$ 593.48	94.72	[23]
南海	2007.09-10	31	132 $\pm$ 57	84.9	[24]
深圳湾	2015.08、11 2016.02	42	-	97.26	[25]
南海大亚湾	2010.04 2010.10	38	155.2 $\pm$ 56.41 547 $\pm$ 212	97.64 92.24	[26] [27]
南海北部湾	2006-2007	42	-	85	[28]
台湾海峡	1997-1998	63	-	88	[29]
深圳湾	2018.12	-	477.38 $\pm$ 460.63	97.28	[30]
湛江	2018.12	42	-	97.99	[31]
防城港	2019.04	42	9886 $\pm$ 7746	95.38	[32]

本研究利用 PRIMER 6.0 对 4 个典型站位自由生活线虫进行了丰度的 CLUSTER 等级聚类分析、非度量多维标度(MDS)分析以及群落多样性分析,结果表明,SZFT 站和 QANT 站更相似,SZWGY 站和 JDDM 站与以上两个站位的相似性较低,南海北部潮间带自由生活线虫群落稳定性较强,具有低优势度和较高多样性的特点。

**致谢** 本研究中样品采集得到聊城大学贾素素同学的帮助,自由生活线虫丰度的 CLUSTER 等级聚类分析、非度量多维标度(MDS)分析以及群落多样性分析得到中国海洋大学赵美红同学的帮助,在此表示衷心感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 邹丽珍.中国合同区小型底栖动物及其深海沉积物中 18S rDNA 基因多样性研究[D].厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2006.
- [2] GIERE O.Meiofaunology[M].Berlin,Heidelberg:Springer,2009.
- [3] HIGGINS R P,THIEL H.Introduction to the study of meiofauna[M].Washington,D C:Smithsonian Institution Press,1988.
- [4] MONTAGNA P A,BAUER J E,HARDIN D,et al.Meiofaunal and microbial trophic interactions in a natural submarine hydrocarbon seep [J].Vie Milieu,1995,45(1):17-25.
- [5] 张青田,王新华,胡桂坤.渤海湾潮下带底栖线虫群落的垂直分布[J].海洋科学进展,2012,30(3):416-422.
- [6] 张志南.秦皇岛沙滩海洋线虫的数量研究[J].青岛海洋大学学报,1991,21(1):63-75.
- [7] 徐重,黄勇.中国自由生活海洋线虫研究进展[J].聊城大学学报(自然科学版),2011,27(1):55-60.
- [8] 蒋维军,高群,王海霞,等.东海秋季小型底栖动物生态学研究[J].聊城大学学报(自然科学版),2016,29(2):65-74.
- [9] 蒋维军.东海陆架浅海小型底栖动物生态与线虫分类研究[D].聊城:聊城大学,2016.
- [10] DE JONGE V N,BOUWMAN L A.A simple density separation technique for quantitative isolation of meiofauna using the colloidal silica Ludox-TM[J].Marine Biology,1977,42(1):143-148.
- [11] 李金金,黄勇.微山湖小型底栖生物群落结构的初步研究[J].聊城大学学报(自然科学版),2009,22(4):51-54.
- [12] 徐奎栋,史本泽,于婷婷.长江口及东海夏季小型底栖动物丰度和生物量变化[J].生态学报,2015,35(9):3093-3103.
- [13] MCLNTYRE A D,WARWICK R M.Meiofauna Techniques [M].Oxford:Blackwell Scientific Publications,1984.

- [14] 高群.胶州湾小型底栖动物生态学和自由生活线虫分类研究[D].聊城:聊城大学,2017.
- [15] LORENZEN S.Entwurf eines phylogenetischen systems der freilebenden nematoden[J].Veroffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven,Suppl,1981,7:472.
- [16] 黄勇,吴秀芹,王秀云,等.东昌湖小型底栖生物群落结构研究[J].聊城大学学报(自然科学版),2008,21(3):68-78.
- [17] 郭玉清,张志南,慕芳红.不同采样时期渤海自由生活线虫种类组成的比较[J].生态学报,2002,22(10):1622-1628.
- [18] 孙燕.莱州湾小型底栖生物生态和自由生活线虫分类研究[D].聊城:聊城大学,2018.
- [19] WIESER W.Die Beziehung zwischen Mundhlangestalt, Ernährungsweise und workommen bei freilebenden marine nematoden[J].Archives fur Zoologie,1952,4(26):439-484.
- [20] QIAO C Y, JIA S S, HUANG Y. *Leptolaimus holovachovi* sp. nov. (Nematoda) from Shenzhen Mangrove Nature Reserve, Shenzhen, South China[J].Journal of Oceanology and Limnology,2020,published online;https://doi.org/10.1007/s00343-019-9219-1.
- [21] QIAO C Y, HUANG Y. Description of *Daptonema brevicaudatus* sp. nov. (Nematoda: Xyalidae) from the South China Sea[J].Cahiers de Biologie Marine,2020,(accepted).
- [22] 杜永芬,徐奎栋,孟昭翠,等.南海小型底栖动物生态学的初步研究[J].海洋与湖沼,2011,41(2):199-207.
- [23] 刘晓收,许嫚,张敬怀,等.南海北部深海小型底栖动物丰度和生物量[J].热带海洋学报,2014,33(2):52-59.
- [24] 王家栋,类彦立,徐奎栋,等.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,2009,33(9):62-70.
- [25] 谭文娟,曾佳丽,李晨岚,等.深圳湾福田红树林区小型底栖动物群落特征分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2017,56(6):859-865.
- [26] 唐玲,李恒翔,严岩.大亚湾春季小型底栖动物初步研究[J].海洋环境科学,2012,31(3):405-409.
- [27] 唐玲,张洪波,李恒翔,等.大亚湾秋季小型底栖生物初步研究[J].热带海洋学报,2012,31(4):104-111.
- [28] CAI L Z, FU S J, YANG J, et al. Distribution of meiofaunal abundance in relation to environmental factors in Beibu Gulf, South China Sea [J].Acta Oceanologica Sinica,2012,31(6):92-103.
- [29] 方少华,吕小梅,张跃平,等.台湾海峡小型底栖生物数量的量分布[J].海洋学报,2000,22(6):136-140.
- [30] 朱慧兰,刘梦迪,周宇鸿,等.深圳湾福田红树林湿地小型底栖动物群落结构及海洋线虫新纪录种[J].生态学杂志,2020,39(6):1806-1812.
- [31] 潘超,吴成业,郭玉清,等.湛江特呈岛红树林湿地冬季小型底栖动物和海洋线虫群落的初步研究[J].渔业研究,2020,42(2):97-104.
- [32] 邹明明,朱慧兰,郭玉清.广西防城港东湾红树林湿地春季小型底栖动物丰度与生物量[J].生态学杂志,2020,39(6):1823-1829.