

北部湾冬季潮间带小型底栖动物群落结构和自由生活海洋线虫多样性研究

褚梦迪,耿春晓,陆洋,郝映东,乔春艳,黄勇

(聊城大学 生命科学学院,山东 聊城 252059)

摘要 2019年2月,采集了北部湾潮间带5个站位沉积物样品,对该区域小型底栖动物的丰度、生物量 and 生产量进行了分析,对自由生活线虫进行了分类研究。结果表明,北部湾潮间带5个站位共发现自由生活线虫、桡足类、多毛类等7个小型底栖动物类群,小型底栖动物的平均丰度为 $2352 \pm 936 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,平均生物量和生产量分别为 $2075.6 \pm 528.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $21165.0 \pm 7478.0 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。小型底栖动物主要分布在沉积物0~2 cm的表层,平均丰度为 $1706 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占总丰度的72.5%。5个站位自由生活线虫平均丰度为 $2195 \pm 843 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占小型底栖动物平均丰度的93.3%。关于自由生活线虫的摄食类型,刮食者或硅藻捕食者(2A型)占比最多,其次为选择性沉积食性者(1A型)、非选择性沉积食性者(1B型)和捕食者或杂食者(2B型)。5个站位线虫群落中雌雄比例平均为1.2:1,幼体占线虫群落个体总数的平均值为35.4%,成熟个体远多于幼体,说明取样时并非线虫主要的繁殖季节。5个站位共鉴定出自由生活海洋线虫120种,隶属于76个属,34科,8目,主要优势种为*Terschellingia longicaudata* de Man, 1907、*Ptycholaimellus ocellatus* Huang & Wang, 2011、*Pseudochromadora rossica* Mordukhovich, Fadeeva, Semenchenko & Zograf, 2015等。物种丰富度指数为3.192~7.535,均匀度指数介于0.5206~0.8206之间,香农-威纳多样性指数为1.894~2.844,该海区自由生活线虫群落的多样性低于南海东北部(3.97~4.551)。

关键词 小型底栖动物;自由生活海洋线虫;丰度;生物量;分类;南海

中图分类号 Q19

文献标识码 A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



Study on the Community Structure of Meiofauna and the Diversity of Free-Living Marine Nematodes in the Intertidal Zone of Beibu Gulf in Winter

CHU Mengdi, GENG Chunxiao, LU Yang, HAO Yingdong,
QIAO Chunyan, HUANG Yong

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

Abstract In February 2019, sediment samples were successfully collected from five stations in the intertidal zone of Beibu Gulf, and the abundance, biomass and production of meiofauna in the region were analyzed, and the taxonomic study of free-living nematodes was conducted. The results showed that a total of

收稿日期:2021-06-04

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.

7 meiofauna groups, including free-living nematodes, copepods, and polychaetes, were found at 5 stations in the Beibu Gulf intertidal zone. The mean abundance of meiofauna at the five stations in the intertidal zone of Beibu Gulf were $2352 \pm 936 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, and the mean biomass and production were $2075.6 \pm 528.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ and $21165.0 \pm 7478.0 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. Meiofauna are mainly distributed in the surface layer of sediments 0~2 cm, with an average abundance of $1706 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, accounting for 72.5% of the total abundance. The mean abundance of free-living nematodes at the five stations was $2195 \pm 843 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, accounting for 93.3% of the mean abundance of meiofauna. Regarding the feeding types of free-living nematodes, scrapers or diatom predators (2A) accounted for the largest proportion, followed by selective sediment feeders (1A), non-selective sediment feeders (1B) and predators or omnivores (2B). The average larvae accounted for 35.4% of the total number of individuals in the nematode community. There were far more mature individuals than larvae, indicating that sampling was not the main breeding season for nematodes. A total of 120 species of free-living marine nematodes were identified in 5 stations, belonging to 76 genera, 34 families, and 8 orders. The main dominant species are *Terschellingia longicaudata* de Man, 1907, *Ptycholaimellus ocellatus* Huang & Wang, 2011, *Pseudochromadora rossica* Mordukhovich, Fadeeva, Semenchenko & Zograf, 2015, etc. Margalef's species richness index ranges from 3.192 to 7.535. Pielou's evenness index ranges from 0.5206 to 0.8206, and the Shannon-Weiner diversity index ranges from 1.894 to 2.844. The diversity of free-living nematode communities in this sea area was lower than that in the northeastern South China Sea (3.97 to 4.551).

Key words meiofauna; free-living marine nematodes; abundance; biomass; taxonomy; South China Sea

0 引言

小型底栖动物(Meiofauna),指分选时能够通过 $500 \mu\text{m}$ 孔径的网筛而被 $42 \mu\text{m}$ (或 $31 \mu\text{m}$) 孔径的网筛所截留的后生动物^[1],包括永久性的和暂时性的底栖动物。永久性小型底栖动物通常包括 15 个类群,主要有自由生活线虫、桡足类、多毛类、动物类以及腹毛动物等^[2]。小型底栖动物是海底碎屑食物链中的重要连接者,是鱼虾幼体的食物来源,对微生物的生产起着调节作用^[3]。其中自由生活线虫是底栖环境中最优势的类群,数量最丰富、多样性最高,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^[4],是国际底栖生态学家的重点研究对象之一^[5],还是当今世界深海和极端环境生命过程研究的热点类群^[6],其多样性指数和群落分布模式的变化可以作为环境监测的有用工具^[7]。

北部湾位于中国南海的西北部,是一个半封闭的海湾。东临雷州半岛和海南岛,北临广西壮族自治区,西临越南,面积接近 13 万 km^2 ,平均水深 42 m,最深达 100 m,海底较平坦,从陆地带来的泥沙沉积在上面,属于新生代的大型沉积盆地,蕴藏着丰富的石油和天然气资源。北部湾海岸线、土地、淡水、海洋、农林、温度、旅游等资源丰富,环境容量较大,生态系统优良,动物多样性高,其区位优势明显,战略地位突出。我国有关北部湾小型底栖动物的研究较少,该区域海洋线虫的基本数据更是匮乏。2006 年,傅素晶^[8]开展了对北部湾海洋线虫到属的分类研究,共鉴定出自由生活海洋线虫 83 属,隶属于 27 科,3 目。2008 年 10 月,王彦国^[9]对北部湾海域小型底栖动物丰度和生物量进行了分析。

本研究采集北部湾潮间带 5 个站位沉积物样品进行了研究,调查分析了北部湾潮间带小型底栖动物群落结构、自由生活线虫的种类和多样性特征,研究成果将为我国海洋动物多样性的深入研究保护以及海洋生态环境监测提供基础资料和科学依据。

1 采样站位和研究方法

2019 年 2 月于北部湾沿岸潮间带(北纬 $21^{\circ}0'$ 至 $21^{\circ}32'$,东经 $108^{\circ}0'$ 至 $109^{\circ}7'$)成功采集了 5 个站位未受扰动的沉积物样品(表 1)。使用内径为 2.6 cm 的注射器改造的采样管进行采样,采样深度为 8 cm,每个样芯按 0~2 cm、2~5 cm、5~8 cm 分层装入已编号的 150 mL 塑料瓶中,加入与样品等量的 10% 的福尔马林

溶液固定。在每一个站位采集 3~4 个平行样,用塑料勺刮取表层沉积物作为该站位的定性样品。

表 1 北部湾潮间带 5 个站位信息表

序号	站位	沉积物	经度(E)	纬度(N)
1	HSL(金海湾红树林)	淤泥	109°13' 13"	21°25' 3"
2	YT(北海银滩)	细砂	109°44' 5"	21°14' 42"
3	SJG(茅尾海国家海洋公园)	泥砂	108°21' 4"	21°5' 11"
4	BLT(白浪滩)	粉砂	108°10' 20"	21°19' 20"
5	WWJT(万尾金滩)	细砂	108°48' 50"	21°18' 40"

实验处理和数据统计方法同乔春艳等^[10]研究方法,统计分析自由生活线虫的营养结构、性别比例和种类组成等,然后根据 De Ley^[11] 建立的分类系统和相关文献资料对海洋线虫分类鉴定至种的水平。

通过分选获得 5 个站位小型底栖动物各类群的个体数量,其丰度根据公式(1)获得

$$A = N \times 10 \div (3.14 \times 1.3 \times 1.3), \quad (1)$$

其中 A 代表小型底栖动物的丰度,单位为 $\text{ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, N 代表小型底栖动物的个体数量。小型底栖动物各类群的丰度 A 乘以其相应的个体干重(表 2)得到小型底栖动物各类群的生物量 B ,单位为 $\mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。生产量按照公式(2)计算

$$P = 9B, \quad (2)$$

其中 P 代表生产量,单位是 $\mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。
 $a^{-1[12-14]}$ 。

本研究对数据资料的处理和分析采用了英国普利茅斯海洋研究所开发的 PRIMER 6.0 中的有关程序来进行^[8]。物种的丰富度指数计算公式为 $d = (S - 1) / \log_2 N$, d 为物种的丰富度指数, S 为种类数, N 为个体总数。香农-威纳指数计算公式为 $H' = -\sum (N_i / N) \log_2 (N_i / N)$ 。 H' 为多样性指数, N 为样品个体总数, N_i 为第 i 种的个体数。均匀度指数计算公式为 $J' = H' / \log_2 S$, J' 为均匀度指数, H' 为多样性指数, S 为种类的数目。

表 2 小型底栖动物的个体干重

类群	个体干重/ μg	类群	个体干重/ μg
线虫	0.4	端足类	15
桡足类	1.86	涡虫类	3.5
多毛类	14	其他	3.5
介形类	26		

2 研究结果

2.1 小型底栖动物的类群组成和丰度

对 5 个站位沉积物样品进行分选,共发现自由生活线虫、桡足类、多毛类、介形类、端足类、涡虫类和其他类等类群(表 3)。5 个站位小型底栖动物的平均丰度为 $2352 \pm 936 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,其中 HSL 站丰度最高,为 $8126 \pm 2181 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;丰度最低的站位是 WWJT 站(图 1),为 $504 \pm 191 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。从丰度上来看,自由生活线虫的平均丰度为 $2195 \pm 843 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占小型底栖动物个体总数的 93.3%,其次为桡足类、多毛类和涡虫,分别占 2.9%、2.7%和 0.8%。

表 3 北部湾潮间带 5 个站位小型底栖动物的平均丰度和生物量

动物类群	丰度/ ($\text{ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$)	百分比/(%)	生物量/ ($\mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$)	百分比/(%)
线虫	2195 ± 843	93.3	878.0 ± 337.3	42.3
桡足类	69 ± 33	2.9	128.1 ± 62.0	6.2
多毛类	64 ± 36	2.7	902.3 ± 505.5	43.5
涡虫类	18 ± 17	0.8	62.0 ± 58.7	3.0
端足类	3 ± 3	0.1	81.7 ± 72.7	3.9
介形类	1 ± 2	0.1	18.8 ± 25.3	0.9
其他	1 ± 3	0.1	4.8 ± 8.8	0.2
总数	2352 ± 936	100.0	2075.6 ± 528.9	100.0

2.2 小型底栖动物的生物量和生产量

5个站位小型底栖动物的平均生物量和生产量分别为 $2075.6 \pm 528.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $21165.0 \pm 7478.0 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。生物量最高值出现在 HSL 站(图 2),为 $3854.0 \pm 1511.2 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;其次为 BLT 站和 SJG 站,生物量分别为 $2381.4 \pm 1709.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $2084.0 \pm 877.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;其生物量的最低值出现在 YT 站,为 $654.3 \pm 456.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。在生物量上,多毛类是最优势的,占总生物量的 43.5%;其次为自由生活线虫、桡足类和介形类等,分别占 42.3%、6.2%和 3.9%等(表 3)。生产量是指每年的生物量,小型底栖动物的生产量是生物量的 9 倍。因此,生产量的变化情况与生物量是一致的。

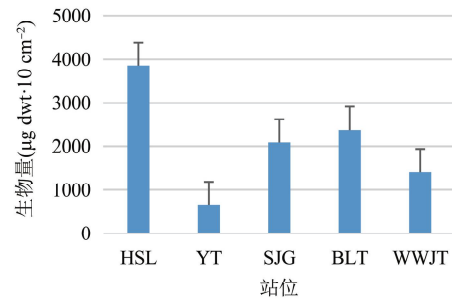
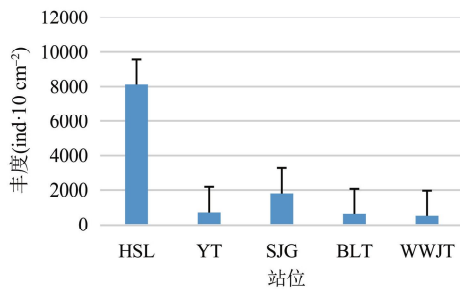


图 1 北部湾潮间带 5 个站位小型底栖动物的丰度柱状图 图 2 北部湾潮间带 5 个站位自由生活线虫生物量的柱状图

2.3 小型底栖动物的垂直分布

小型底栖动物垂直分布的测定结果(表 4)表明,小型底栖动物主要分布在沉积物 0~2 cm 的表层,平均丰度为 $1706 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占总丰度的 72.5%;分布在次表层 2~5 cm 的丰度为 $386 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占总数的 16.4%;分布在底层 5~8 cm 的丰度为 $260 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占 11.1%(图 3)。小型底栖动物垂直分布主要与沉积物质地有关。泥质沉积物较致密,底层含氧量少,动物主要分布在表层,如 HSL 站和 SJG 站为泥质和泥砂质沉积物,分布在表层的小型底栖动物分别占总数的 74.7%和 98.1%,而分布在底层的小型底栖动物只占总数的 9.8%和 0.7%。砂质沉积物间隙较大,底层沉积物含氧量和食物营养较充分,小型底栖动物分布的相对较深,如 YT 站、BLT 站和 WWJT 站,分布在底层的小型底栖动物分别占总丰度的 19.5%、26.0%和 38.0%。

表 4 北部湾潮间带 5 个站位小型底栖动物分层丰度/(ind · 10 cm⁻²)和占比/%

站位	丰度(ind · 10 cm ⁻²)			总计
	0~2 cm	2~5 cm	5~8 cm	
HSL	6069	1256	800	8126
YT	348	226	139	714
SJG	1779	22	13	1814
BLT	220	224	156	601
WWJT	112	201	192	504
平均值	1706	386	260	2352
占比/%	72.5	16.4	11.1	100

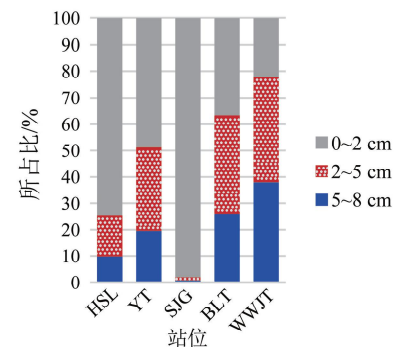


图 3 北部湾潮间带 5 个站位小型底栖动物分层分布丰度占比

2.4 线虫的丰度和生物量

5个站位的线虫的平均丰度为 $2195 \pm 843 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,占小型底栖动物总丰度的 93.3%。线虫丰度最高值为 HSL 站,为 $8010 \pm 2097 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;其次为 SJG 站,为 $1579 \pm 837 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;丰度最低值在 WWJT 站,为 $376 \pm 127 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。5个站位线虫的平均生物量为 $878.0 \pm 337.3 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$,线虫生物量最高值为 HSL 站,为 $3203.8 \pm 838.8 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;其次为 SJG 站,为 $631.7 \pm 334.8 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$;最低值为 WWJT 站,为 $150.5 \pm 50.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ (表 5)。

表 5 北部湾潮间带 5 个站位自由生活线虫丰度和生物量

站位	丰度/(ind · 10 cm ⁻²)	生物量/(μg dwt · 10 cm ⁻²)
HSL	8010 ± 2097	3203.8 ± 838.8
YT	595 ± 158	237.9 ± 63.1
SJG	1579 ± 837	631.7 ± 334.8
BLT	415 ± 198	165.8 ± 79.1
WWJT	376 ± 127	150.5 ± 50.9

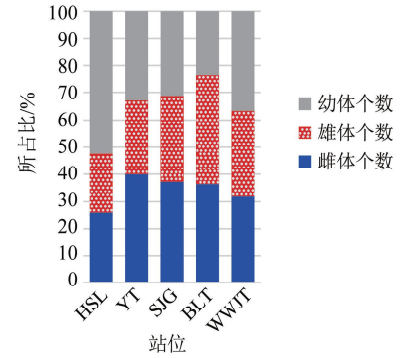


图 4 北部湾潮间带 5 个站位线虫雌雄比和幼体比柱状图

2.5 线虫群落的年龄结构和性别比例

本研究对线虫群落中成熟雌体、成熟雄体和幼体进行了统计,获得了线虫群落的年龄结构和性别比例。5 个站位线虫群落中雌雄比 0.9 : 1~1.5 : 1,平均为 1.2 : 1,幼体所占比为 23.6%~52.4%,平均值为 35.4% (表 6)。另外还统计了雌体、雄体以及幼体所占比(图 4)。

表 6 北部湾潮间带 5 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/%
HSL	8560	2222	1855	4483	1.2 : 1	52.4
YT	438	175	119	144	1.5 : 1	32.9
SJG	1335	497	419	419	1.2 : 1	31.4
BLT	203	74	81	48	0.9 : 1	23.6
WWJT	382	122	120	140	1.0 : 1	36.6

2.6 线虫群落的营养结构

根据口腔结构, Wieser^[15]将线虫分为四种功能类群:选择性沉积食性者(1A 型)、非选择性沉积食性者(1B 型)、刮食者或硅藻捕食者(2A 型)和捕食者或杂食者(2B 型),不同的口腔结构代表了不同的摄食机制(图 5)^[15,16]。本研究中,以 1B 型和 2A 型所占比例最高,均为 45 种,占线虫总数的 37.5%;1A 型次之,有 25 种,占 20.8%;2B 型有 5 种,占 4.2%。按个体数量统计,2A 型占比仍最高,占线虫总数的 47.8%;1A 型次之,占 33.1%;1B 型和 2B 型占比最低,分别占 18.4%和 0.6%(表 7),表明近一半的个体以硅藻细胞为食。

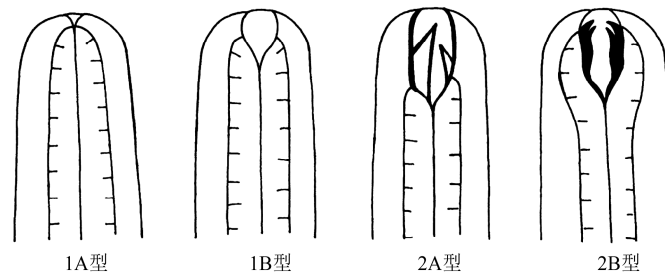


图 5 常见海洋线虫四种摄食类型口腔结构示意图

表 7 北部湾潮间带 5 个站位海洋线虫四种摄食类型个体数和种类数及其百分比

海洋线虫	1A 型	1B 型	2A 型	2B 型
个体数	3619	2010	5221	68
个体数占比/(%)	33.1	18.4	47.8	0.6
种类数	25	45	45	5
种类数占比/(%)	20.8	37.5	37.5	4.2

2.7 自由生活线虫分类

对 5 个站位自由生活线虫进行分类研究,共鉴定出了自由生活线虫 120 种,隶属于 76 个属,34 科,8 目,5 个站位中的优势种依次为 *Terschellingia longicaudata* de Man, 1907、*Ptycholaimellus ocellatus* Huang & Wang, 2011、*Pseudochromadora rossica* Mordukhovich, Fadeeva, Semenchenko & Zograf, 2015、*Spilophorella papillata* Kreis, 1929 等,其中发现并描述疑似新种 4 种,分别是 *Perspiria longicaudatus* sp. nov.、*Metadesmolaimus nanhaiensis* sp. nov.、*Ethmolaimus multispiralis* sp. nov. 和 *Dorylaimus zhangii* sp. nov. (另文发表)。

Terschellingia de Man, 1888 是本研究海域最为优势的属(个体数量大于线虫总数的 3%),5 个站位中个体数量占线虫总数的 24.4%,其次为属 *Ptycholaimellus* Cobb, 1920, 占线虫总数的 10.2%,其它优势属依次为 *Microlaimus* de Man, 1880、*Spilophorella* Filipjev, 1917、*Pseudochromadora* Daday, 1899、*Perspiria* Wieser & Hopper, 1967 等。Linhomoeidae Filipjev, 1922 和 Chromadoridae Filipjev, 1917 为第一和第二大科,分别占线虫总数的 29.9% 和 23.1%,其他优势科(个体数量大于线虫总数的 2%)依次为 Desmodoridae Filipjev, 1922、Microlaimidae Micoletzky, 1922 和 Xyalidae Chitwood, 1951 等(表 8)。

表 8 北部湾潮间带优势属和优势科及其所占比

优势属	占比/(%)	优势科	占比/(%)
<i>Terschellingia</i>	24.4	Linhomoeidae	29.9
<i>Ptycholaimellus</i>	10.2	Chromadoridae	23.1
<i>Microlaimus</i>	6.3	Desmodoridae	12.8
<i>Spilophorella</i>	5.2	Microlaimidae	10.0
<i>Pseudochromadora</i>	5.0	Xyalidae	8.7
<i>Perspiria</i>	4.9	Haliplectidae	2.5
<i>Daptonema</i>	4.4	Axonolaimidae	2.4
<i>Aponema</i>	3.6		
<i>Neochromadora</i>	3.2		
<i>Desmolaimus</i>	3.2		

2.8 自由生活线虫群落多样性分析

通过 PRIMER 6.0 对 5 个站位自由生活线虫群落多样性进行了分析(表 9),结果表明,HSL 站线虫种类数最多,为 74 种,WWJT 站和 BLT 站最少,分别为 22 和 21 种;每个站位的标本数与种类数趋势一致;HSL 站物种丰富度指数最高,为 7.535,WWJT 站最低,为 3.192。香农-威纳指数从高到低依次为 YT 站(2.844)、HSL 站(2.751)、BLT 站(2.359)、WWJT 站(2.281)和 SJG 站(1.894)。均匀度指数介于 0.5206~0.8206 之间。

表 9 北部湾潮间带 5 个站位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'
HSL	74	16131	7.535	0.6393	2.751
YT	32	825	4.616	0.8206	2.844
SJG	38	2516	4.725	0.5206	1.894
BLT	21	383	3.363	0.7747	2.359
WWJT	22	720	3.192	0.7381	2.281

2.9 线虫和桡足类数量之比(N/C)分析

海洋线虫与桡足类的数量之比(N/C)常作为海洋富营养化及有机污染的指标之一^[17-19]。以 N/C 比监测海洋有机质污染的理论基础为:海洋线虫较耐有机质污染,而底栖桡足类对环境变化较为敏感,随着污染程度增加,N/C 比呈增大趋势。一般认为 N/C 比小于 50 的环境质量属正常,50~100 属富营养化,而大于

100 说明该区受到有机污染。这一比值可在较大尺度上为海洋底栖环境的动物监测提供参考。本研究 HSL 站和 BLT 站的 N/C 大于 100;YT 站、SJG 站和 WWJT 站的 N/C 均小于 50,显示这 3 个站位环境质量正常(表 10)。

表 10 北部湾潮间带 5 个站位 N/C 分析

类群	HSL	YT	SJG	BLT	WWJT
N	4250	316	838	220	200
C	41	36	82	1	23
N/C	102.8	8.8	10.2	220.0	8.8

3 结论与分析

3.1 北部湾潮间带小型底栖动物研究结果分析

5 个站位中小型底栖动物丰度和生物量最高的站位为 HSL 站,分别为 $8126 \pm 2181 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $3854.0 \pm 1511.2 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。HSL 站位于北海金海湾红树林,红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带受周期性潮水浸淹,以红树植物为主体的常绿灌木或乔木组成的潮滩湿地生物群落,是海洋向陆地过渡的特殊生态系统,沉积物主要为淤泥,有机质等营养丰富,为海洋动物提供良好的生长和繁殖环境,生物多样性高,故此站位小型底栖动物的丰度和生物量都是最高的,海洋线虫的个体数和种类数同样最多,与其他站位差异较大;SJG 站的沉积物类型为泥砂质,小型底栖动物和线虫丰度也非常高;YT 站、BLT 站和 WWJT 站均为砂质且具有相同的生境,这 3 个站位小型底栖动物和线虫的丰度和生物量最相近。5 个站位中小型底栖动物丰度最低值出现在 WWJT 站,该站位沉积物类型为细砂,这种生境中沉积物流动性大,有机质存留少,小型底栖动物的数量通常也较少。总的来说,潮间带取样受潮汐和人类活动影响较大,对实验结果有一定程度的影响。5 个站位线虫群落中雌雄比例平均为 1.2:1,幼体占线虫群落个体总数的平均值为 35.4%,成熟个体远多于幼体,说明取样时并非线虫主要的繁殖季节。

3.2 北部湾区域相关研究比较分析

北部湾 5 个站位共分选出自由生活线虫、多毛类、桡足类、介形类、端足类、涡虫类和其他类等小型底栖动物类群。北部湾小型底栖动物的平均丰度和生物量分别为 $2351 \pm 936 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $2075.6 \pm 528.9 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。自由生活线虫的丰度占小型底栖动物的 93.3%,其生物量占比为 42.3%。王彦国^[9]于 2008 年 10 月对北部湾海域调查,共计分选出 14 个小型底栖动物类群,小型底栖动物的平均丰度和生物量分别为 $399 \pm 452 \text{ ind} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 和 $359.56 \pm 324.45 \mu\text{g dwt} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 。线虫丰度约占总丰度的 92.7%,生物量占比为 41.2%。与本研究相比,王彦国北部湾海域小型底栖动物的平均丰度和生物量明显较低,但线虫的丰度和生物量的所占比与本研究相近。

3.3 与其他相关研究比较分析

本研究中小型底栖动物的平均丰度高于南海其他区域^[10,20-23]。此外,本研究小型底栖动物的平均丰度较南、北黄海^[24,25]和东海^[26,27]的高,较渤海^[28]低,研究结果可能与采样的季节、站位生境和分选网筛孔径等因素有关(表 11)。

本研究还利用 PRIMER 6.0 对 5 个站位自由生活线虫进行了群落多样性分析,与南海相关研究中海洋线虫的多样性指数对比,乔春艳^[10]的研究中 d 的范围为 4.529~6.819, J' 的范围为 0.8443~0.9103, H' 的范围为 2.899~3.279;贾素素^[29]南海东北部的研究中 d 的范围为 13.4~22.25, J' 的范围为 0.8942~0.9619, H' 的范围为 3.97~4.551。综上,南海东北部海洋线虫的香农-威纳多样性指数较本研究 and 北部湾高,即南海东北部线虫群落的多样性较高。

3.4 北部湾潮间带 N/C

本研究中 HSL 站和 BLT 站的 N/C 大于 100, YT 站、SJG 站和 WWJT 站的 N/C 均小于 50,显示这 3

个站位环境质量正常。然而,对于这一数量之比的监测效能一直存在争议,其在微尺度上尚不具备确切反映海洋底栖环境质量的分辨率。例如,N/C 比值可能因桡足类对沙质底质的偏好(而非环境质量差异)而造成相对数量的增加,从而降低了 N/C 比值,掩盖了真实的环境质量状况。因此,利用 N/C 比值得出的结论须慎重,应结合其他环境参数进行综合评价。

表 11 本研究及相关研究对照表

研究海域	采样时间	网筛孔径/ μm	小型底栖动物的平均丰度 /(ind \cdot 10cm $^{-2}$)	线虫丰度百分比/%	参考文献
北部湾潮间带	2019-02	42	2352 \pm 936	93.3	本研究
南海北部潮间带	2019-01	42	1217 \pm 479	96.6	乔春艳(2021)
深圳湾	2018-12	-	490.73 \pm 465.09	97.28	朱慧兰(2020)
湛江特呈岛红树林湿地	2018-12-08	42	432.25 \pm 500.84	97.99	潘超(2020)
厦门同安湾下潭尾 人工红树林湿地	2014-02、05、 08、11	42	441.3 \pm 61.0	91.75	陈听韡(2017)
深圳湾福田红树林区	2015-08、11	42	1290.99 \pm 326.09	98.73	谭文娟(2018)
赏筌湖	2016-06、10	42	720.43 \pm 370.47	95.88	
南海东北部	2017-08	42	224 \pm 52	95.7	贾素素(2020)
南海北部湾	2008-10	42	399 \pm 452	92.7	王彦国(2011)
莱州湾	2011-04(潮下带) 2016年夏(潮间带)	42	1833 \pm 558 789 \pm 257	94.5 92.7	孙燕(2018)
南黄海	2007-01~02	50	35	77.6	范士亮(2011)
北黄海	2007-01、04、10	61	1601 \pm 837	72-90	陈海燕(2009)
东海潮间带	2013-02~2014-10	42	1199 \pm 774	91.7	王海霞(2016)
东海陆架浅海	2012-10	42	789 \pm 221	89.5	蒋维军(2016)

我国有关北部湾小型底栖动物的相关研究较少,本研究对北部湾冬季潮间带 5 个站位沉积物样品进行了研究,调查分析了北部湾潮间带小型底栖动物群落结构、自由生活线虫的种类和多样性特征。5 个站位共鉴定出了自由生活线虫 120 种或分类实体。由于受采样站位和采样季节的局限,研究结果不全面,将来应在更大范围、更多时段调查采样,以获得北部湾更全面完整的小型底栖生物和自由生活线虫的数据资料。

参 考 文 献

- [1] 蔡立哲.海洋底栖动物生态学和动物多样性研究进展[J].厦门大学学报(自然科学版),2006(S2):83-89.
- [2] 周百灵.黄海微型和小型底栖动物群落结构与时空分布[D].青岛:中国科学院研究生院(海洋研究所),2015.
- [3] 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.
- [4] 张志南,周红.自由生活海洋线虫的系统分类学[J].青岛海洋大学学报(自然科学版),2003(6):891-900.
- [5] 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),2014,27(1):55-60.
- [6] 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.
- [7] 赵宁.青岛湾潮间带小型底栖动物生态学和线虫群落结构的研究[D].青岛:中国海洋大学,2013.
- [8] 傅素晶.北部湾北部海域自由生活线虫群落的研究[D].厦门:厦门大学,2009.
- [9] 王彦国,王春光,陈小银,等.北部湾海域小型底栖动物丰度和生物量[J].生态科学,2011(4):375-382.
- [10] 乔春艳,郝映东,陆洋,等.南海北部潮间带自由生活线虫的生物量及动物多样性初步研究[J].聊城大学学报(自然科学版),2021,34(2):65-72.
- [11] DE L P, BLAXTER M. A new system for Nematoda: combining morphological characters with molecular trees, and translating clades into ranks and taxa [M]. In: Cook R & Hunt D J (eds) Nematol. Monogr. Perspect, 2004.

- [12] CRIPS D J. Energy flow measurements [C]. // Methods for the study of marine benthos, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1984, 284-366.
- [13] JUARIO V J. Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German Bight [J]. Veröffentlichungen des Instituts fuer Meeresforschung in Bremerhaven, 1975, 15: 283-337.
- [14] COULL B C. Ecology of the marine meiofauna [C]. // Introduction to the study of meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 1988.
- [15] WIESER W. Die Beziehung zwischen Mundhlangestalt, Ernährungsweise und vorkommen bei freilebenden marine nematoden [J]. Archives fur Zoologie, 1952, 4(26): 439-484.
- [16] 黄勇. 南黄海小型底栖动物生态学和海洋线虫分类学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [17] RAFFAELLI D G, MASON C F. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods [J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12: 158-163.
- [18] WARWICK R M. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology [J]. Marine Pollution Bulletin, 1981, 12: 329-333.
- [19] LAMBSHEAD P J D. The nematode/Copepod ratio some anomalous results from the Firth of Clyde [J]. Marine Pollution Bulletin, 1984, 15: 256-259.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 陈昕韡, 李想, 曾佳丽, 等. 厦门同安湾下潭尾人工红树林湿地小型底栖动物群落结构[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2017, 56(3): 351-358.
- [23] 谭文娟. 深圳湾、筲箕湖和海门岛潮间带小型底栖动物群落研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018.
- [24] 范士亮, 王宗兴, 徐宗军, 等. 南黄海冬季小型底栖动物分布特征[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(2): 185-188.
- [25] 陈海燕, 周红, 慕芳红, 等. 北黄海小型底栖动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), 2009, 39(4): 657-663.
- [26] 王海霞. 东海潮间带小型底栖动物生态和自由生活线虫分类研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2016.
- [27] 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.
- [28] 孙燕. 莱州湾小型底栖动物生态和自由生活线虫分类研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2018.
- [29] 贾素素. 南海东北部小型底栖生物生态学和自由生活线虫分类研究[D]. 聊城: 聊城大学, 2020.