

# 高桥红树林湿地冬季海洋线虫群落结构

潘超, 郭玉清, 陈芳

(集美大学水产学院, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 于2018年冬季,在广东湛江高桥红树林湿地布设6个站点进行沉积物样品采集,研究该区域海洋线虫的丰度、生物量、优势属、种类组成、生物多样性指数和群落结构等。结果表明,高桥红树林湿地海洋线虫丰度变化范围为 $(69.68 \pm 35.22) \sim (123.03 \pm 22.19)$  ind/cm<sup>2</sup>,平均丰度为 $(96.37 \pm 23.24)$  ind/cm<sup>2</sup>;海洋线虫生物量为 $(55.74 \pm 28.17) \sim (98.43 \pm 17.75)$  μg/cm<sup>2</sup>,平均生物量为 $(77.10 \pm 31.52)$  μg/cm<sup>2</sup>。经鉴定,海洋线虫隶属15个科32个属,且优势度超过5%的优势属有6个,分别是萨巴线虫属(*Sabatieria*)、霍帕线虫属(*Hopperia*)、软咽线虫属(*Halichoanolaimus*)、拟囊咽线虫属(*Parasphaerolaimus*)、拟棘齿线虫属(*Paracanthonchus*)和拟齿线虫属(*Parodontophora*)。其中萨巴线虫属和霍帕线虫属在6个站点均有分布,平均优势度分别为47.84%和24.32%。海洋线虫的摄食类型以1B型(非选择性沉积食性者)占主导,生物多样性指数高值、群落优势度低值出现在靠近外海的站点5。

**[关键词]** 海洋线虫;群落结构;生物量;高桥;红树林;湿地

**[中图分类号]** S 932.8; Q 178.1

## Community Structure of Marine Nematodes in Winter in Gaoqiao Mangrove Wetland

PAN Chao, GUO Yuqing, CHEN Fang

(Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In the winter of 2018, 6 stations were set up to collect sediment samples to study the abundance, biomass, dominant genera, species composition, biodiversity index and community structure of marine nematodes in mangrove wetland of Gaoqiao, Zhanjiang, Guangdong. The results showed that the abundance of marine nematodes in Gaoqiao mangrove wetland ranged from  $(69.68 \pm 35.22)$  ind/cm<sup>2</sup> to  $(123.03 \pm 22.19)$  ind/cm<sup>2</sup>, with an average abundance of  $(96.37 \pm 23.24)$  ind/cm<sup>2</sup>. The biomass of marine nematodes was  $(55.74 \pm 28.17)$  μg/cm<sup>2</sup> to  $(98.43 \pm 17.75)$  μg/cm<sup>2</sup>, and the average biomass was  $(77.10 \pm 31.52)$  μg/cm<sup>2</sup>. Marine nematodes were identified as 32 genera belonging to 15 families, and 6 dominant genera with more than 5% dominance were *Sabatieria*, *Hopperia*, *Halichoanolaimus*, *Parasphaerolaimus*, *Paracanthonchus* and *Parodontophora*. *Sabatieria* and *Hopperia* were distributed in six stations with the average dominance degrees of 47.84% and 24.32%, respectively. The feeding type of marine nematodes was dominated by 1B(non-selective sedimentary predator), and the high value of biodiversity index and low value of community dominance appeared at station 5 near the open sea.

**Keywords:** marine nematode; community structure; biomass; Gaoqiao; mangrove; wetland

**[收稿日期]** 2021-01-15

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(31772416)

**[作者简介]** 潘超(1995—),男,硕士生,主要从事海洋底栖动物方向研究。通信作者:郭玉清(1965—),女,教授,博导,主要从事海洋底栖生物学研究。E-mail:guoyuqing@jmu.edu.cn

## 0 引言

广东湛江潮汐复杂,交错着自半日潮至全日潮的各种潮汐<sup>[1]</sup>。湛江红树林保护区作为我国现存红树林面积最大的一个自然保护区,面积为 7905.56 hm<sup>2</sup>,在抗御风暴潮、减缓潮水流速、吸收转化污染物等方面发挥着极其重要的生态功能。高桥红树林区(21°9'19"N—21°34'15"N, 109°44'9"E—109°56'10"E)位于洗米河入海口的英罗湾内,为湛江红树林保护区的核心区<sup>[2-5]</sup>。

线虫是一种丝线状的小型多细胞动物,能生存于多种环境,约有 25% 线虫栖息在海洋中<sup>[6]</sup>。在大多数生境,海洋线虫丰度可占小型底栖动物数量的 60%~90%,而在中国大部分红树林湿地生境中,其丰度可占小型底栖动物数量的 90.5%~98.8%<sup>[7-11]</sup>。海洋线虫对红树林凋落物的降解起重要作用,通过自身作用可以促进土壤氮矿化和营养物质的再矿化<sup>[11-12]</sup>,同时又作为较高营养阶元的食物来源,是微型和大型底栖动物的重要联接<sup>[6]</sup>,在底栖生态系统能量流动和物质循环中发挥着重要作用,因而是底栖生态学家重点研究的领域<sup>[13]</sup>。

海洋线虫是海洋生态系统人为干扰的有效指示生物,可用于有效评估生态质量状况。它的密度、多样性指数等与沉积物特征密切相关,而粒径大小与时空的变异性也有一定关系<sup>[14-16]</sup>。对于红树林湿地海洋线虫的群落结构、多样性及生物量的相关研究,近年来逐渐增多,国内主要涉及到浙江、福建、海南、广东和广西等地<sup>[5,7-9,17-33]</sup>。对于高桥红树林湿地的研究,多是关于沉积粒度<sup>[2]</sup>、有机碳分布<sup>[34]</sup>、底栖动物粒径谱<sup>[35]</sup>和大型底栖动物次级生产力<sup>[36]</sup>等方面的,而关于海洋线虫的群落结构方面的研究仅见吴辰<sup>[5]</sup>对高桥红树林春、秋季不同生境海洋线虫群落结构的研究报道,且冬季仅对小型底栖动物丰度进行了研究,在海洋线虫分类方面并未涉及。本文针对高桥红树林湿地冬季海洋线虫群落结构及其生物量进行研究,旨在丰富和补充高桥红树林湿地小型底栖动物及海洋线虫分类研究的基础资料,为评估红树林生态系统的生态质量状况提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样区域概况

本研究沿高桥红树林南部沿海区域绕湾布设 6 个采样站位(见图 1)。采样区域红树植物主要以白骨壤、无瓣海桑和木榄为主的混交林,沉积物类型为泥质。采样区域具体信息见表 1。

### 1.2 研究方法

沉积物样品在无人为扰动的林缘区域采集。于 2018 年 12 月低潮时,使用内径为 2.9 cm 的注射器改制的采样管采集,采样深度为 5 cm,每个站位取 3 个重复样,共采集到 18 个样品。样品采集完后装入样品袋,以 5% (体积分数) 的福尔马林溶液进行固定,摇匀混合后常温保存。

室内处理:将样品置入 500  $\mu\text{m}$  与 42  $\mu\text{m}$  孔径的上下层套筛内,用过滤后的自来水进行清洗,除去细小泥沙、粘土及其他杂质;用相对密度为 1.15 的 Ludox-TM 提取液将样品转移至离心管,4000 r/min 离心 10 min,重复离心两次,合并上清液,用 42  $\mu\text{m}$  孔径网筛过滤清洗,将截留的样品转移到具有等宽平行线的培养皿内,利用解剖镜(Nikon-SMZ800)进行计数后,再将线虫挑出放入有混合溶液( $V_{\text{酒精}}:V_{\text{甘油}}:V_{\text{水}}=1:1:18$ )的凹型玻璃容器中,脱水后制片并鉴定。海洋线虫的分类鉴定主要参照《Free-living Marine Nematodes》<sup>[37-38]</sup>及相关文献、书籍。

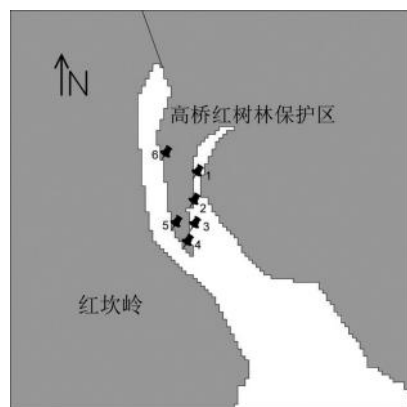


图 1 高桥红树林湿地采样区域分布图

Fig.1 Distribution map of mangrove sampling area in Gaoqiao mangrove wetland

表 1 高桥红树林湿地采样点及环境因子  
Tab. 1 Sampling stations and environmental factors in Gaoqiao mangrove wetland

采样站位 Sampling station	纬度 Latitude	经度 Longitude	泥温/℃ Sediment temperature	盐度 Salinity	pH
站点 1 Section 1	21°33′54.31″N	109°45′32.38″E	19.4	24	6.2
站点 2 Section 2	21°33′47.83″N	109°45′25.09″E	19.2	24	5.8
站点 3 Section 3	21°33′44.63″N	109°45′29.87″E	20.3	28	6.1
站点 4 Section 4	21°33′01.56″N	109°45′38.08″E	19.5	26	5.3
站点 5 Section 5	21°33′42.86″N	109°45′23.44″E	20.1	28	6.4
站点 6 Section 6	21°34′12.81″N	109°45′26.67″E	19.0	25	6.1

1.3 数据处理

运用 PRIMER 6.0 软件中的 DIVERSE 计算 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ )、Margalef 物种丰富度指数 ( $D$ )、Pielou 均匀度指数 ( $J'$ ) 和 Simpson 优势度指数 ( $1 - \lambda$ ), 进行等级聚类 (cluster)。海洋线虫生物量的估算方法按体积换算法, 采用海洋线虫平均个体的干重经验值乘以其丰度进行估算, 经验值为  $0.8 \mu\text{g}/\text{个}^{[24]}$ 。海洋线虫摄食类型采用 Wieser<sup>[39]</sup> 的划分, 4 个功能类群分别是 1A 型 (选择性沉积食性者)、1B 型 (非选择性沉积食性者)、2A 型 (底上硅藻捕食者)、2B 型 (杂食者或捕食者)。

2 结果与分析

2.1 高桥红树林湿地海洋线虫丰度及生物量

高桥红树林湿地站位 1~6 海洋线虫丰度分别为 ( $69.68 \pm 35.22$ ) ind/cm<sup>2</sup>、( $88.82 \pm 30.14$ ) ind/cm<sup>2</sup>、( $101.87 \pm 31.05$ ) ind/cm<sup>2</sup>、( $123.03 \pm 22.19$ ) ind/cm<sup>2</sup>、( $73.04 \pm 53.46$ ) ind/cm<sup>2</sup>、( $121.79 \pm 64.34$ ) ind/cm<sup>2</sup>, 平均丰度为 ( $96.37 \pm 23.24$ ) ind/cm<sup>2</sup>。其中: 站位 4 的海洋线虫丰度最高, 为 ( $123.03 \pm 22.19$ ) ind/cm<sup>2</sup>; 站位 1 的最低, 为 ( $69.68 \pm 35.22$ ) ind/cm<sup>2</sup>。海洋线虫丰度各站位间的变化趋势为: 站位 4 > 站位 6 > 站位 3 > 站位 2 > 站位 5 > 站位 1。

高桥红树林湿地海洋线虫生物量为 ( $55.74 \pm 28.17$ ) ~ ( $98.43 \pm 17.75$ )  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , 平均生物量为 ( $77.10 \pm 31.52$ )  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。其中: 站位 4 的海洋线虫生物量最高, 为 ( $123.03 \pm 22.19$ )  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ; 站位 1 的海洋线虫生物量最低, 为 ( $55.74 \pm 28.17$ )  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。不同站位海洋线虫的生物量数值见图 2。

2.2 高桥红树林湿地海洋线虫群落结构及摄食类型

湛江高桥红树林湿地海洋线虫经鉴定隶属于 15 个科 32 个属, 优势度超过 5% 的优势属有 6 个 (见表 2)。其中: 站位 5 的优势属最多, 达到了 6 个; 其次是站位 3 和站位 4, 都有 4 个优势属。萨巴线虫属 (*Sabatieria*) 和霍帕线虫属 (*Hopperia*) 在每个站位都是优势属, 平均优势度分别为 47.84% 和 24.32%, 合计占海洋线虫总丰度的 72.16%。*Sabatieria* 属, 在站位 1, 优势度最高, 达到了 77.35%; 在站位 3, 优势度较低, 为 19.41%; 在站位 2 和站位 4, 优势度较接近; 在站位 5 和站位 3, 优势度也较接近。*Hopperia* 属, 在站位 6, 优势度最高, 为 46.93%; 在站位 5 最低, 仅占 5.67%; 在站位 2 和站位 4, 优势度较为接近。此外, 除了站位 6 之外, 红树林湿地中的常见属——裸口线虫属 (*Anoplostoma*)、微口线虫属 (*Terschellingia*) 和显齿线虫属 (*Viscosia*) 在其他站位都有广泛分布。

统计并分析高桥海洋线虫 4 种摄食类型的比例, 非选择性沉积食性者 (1B 型) 占 49.95%, 最

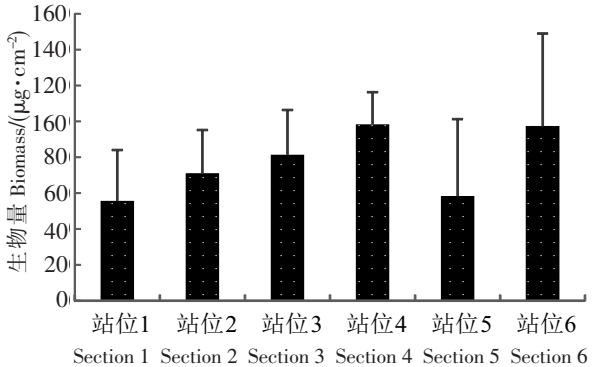


图 2 高桥红树林湿地不同站位海洋线虫的生物量  
Fig.2 Biomass of marine nematode in different station in Gaoqiao mangrove wetland

多；杂食者或捕食者（2B 型）占 33.27%，次之；选择性沉积食性者（1A 型）占 1.91%，最少；底上硅藻捕食者（2A 型）占 14.87%。

表 2 高桥红树林湿地各站位海洋线虫群落优势属分析  
Tab.2 Dominance genera of marine nematodes in Gaoqiao mangrove wetland

优势属 Dominance	摄食类型 Feeding type	优势度 Dominance/%					
		站位 1 Station 1	站位 2 Station 2	站位 3 Station 3	站位 4 Station 4	站位 5 Station 5	站位 6 Station 6
萨巴线虫属 <i>Sabatieria</i>	1B	77.35	59.38	19.41	55.49	26.24	44.69
霍帕线虫属 <i>Hopperia</i>	2B	8.29	26.88	33.53	21.34	5.67	46.93
软咽线虫属 <i>Halichoanolaimus</i>	2B	6.63	—	15.29	15.29	14.18	—
拟囊咽线虫属 <i>Parasphaerolaimus</i>	2B	—	—	12.94	—	14.89	—
拟棘齿线虫属 <i>Paracanthochus</i>	2A	—	—	—	6.10	18.44	—
拟齿线虫 <i>Parodontophora</i>	2B	—	—	—	—	5.67	—

2.3 高桥红树林湿地海洋线虫多样性及 K-优势度分析

高桥红树林湿地各站点海洋线虫的多样性分析结果见图 3、表 3。由图 3、表 3 可见：各项生物多样性指数的较高值均在站位 5，且站位 5 对应的 K-优势度曲线在图 3 显示的最下方，表明其海洋线虫的群落优势度较低，物种多样性较高；站位 6 的物种数是最少的，其物种丰富度指数（1.11）和香农-威纳指数（1.01）均是最低的，对应的优势度曲线位于最上方，表明其海洋线虫的群落优势度较高和物种多样性最低；均匀度指数、香农-威纳指数和优势度指数最低值都出现在站位 1，应该与站位 1 的优势属之间的优势度相差很大有关系；站位 2 和站位 4 各项指数最为接近，差异不大。多样性分析的结果与 K-优势度曲线的分析结果是一致的。

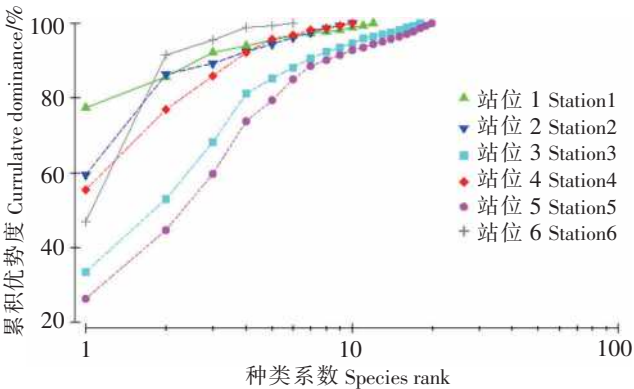


图 3 高桥红树林湿地不同站位海洋线虫群落的 K-优势度曲线

Fig.3 K-dominance curves of marine nematodes abundances in different stations in Gaoqiao mangrove wetland

表 3 高桥红树林湿地海洋线虫群落的生物多样性指数  
Tab.3 Biodiversity index of marine nematodes in Gaoqiao mangrove wetland

站位 Station	物种数 S/种 Species number/kind	物种丰富度指数 D Margalef's species richness index	均匀度指数 J' Pielou's evenness index	香农-威纳指数 H' (loge) Shannon-Wiener index	优势度指数 1 - λ Dominance index
1	12	2.44	0.38	0.94	0.39
2	10	2.05	0.52	1.20	0.58
3	18	3.82	0.69	2.00	0.82
4	10	2.04	0.59	1.37	0.64
5	20	4.46	0.73	2.20	0.86
6	6	1.11	0.57	1.01	0.58

2.4 高桥红树林湿地海洋线虫群落的聚类分析

高桥红树林湿地海洋线虫群落的聚类分析见图 4。各站位海洋线虫种类相似度为 53.81% ~ 74.37%。以相似度 53.81% 为限, 6 个站位可分为两组, 站位 5 和站位 3 一组, 其他站位一组。站位 5 和站位 3 的线虫群落结构最相似, 从海洋线虫鉴定结果来看, 站位 3 有 4 个优势属, 站位 5 有 6 个优势属, 两站位有 4 个共同优势属, 优势属之间的优势度差异较小。站位 2 和站位 4 线虫群落较为相似, 两个站位海洋线虫优势属的优势度也比较接近, 站位 1、2、4、6 间有 2 ~ 3 个共同优势属。

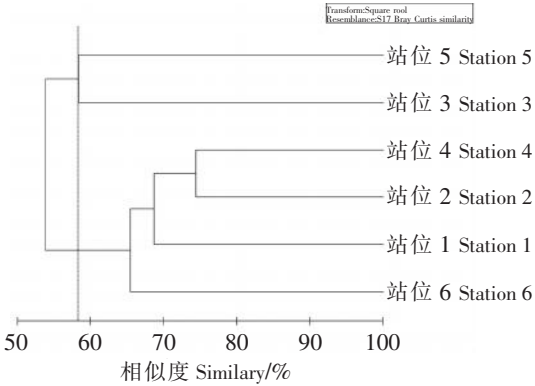


图 4 高桥红树林湿地海洋线虫群落聚类图

3 讨论

3.1 红树林湿地海洋线虫丰度及生物量

本研究高桥红树林湿地海洋线虫丰度变化范围为  $(69.68 \pm 35.22) \sim (123.03 \pm 22.19)$  ind/cm<sup>2</sup>, 平均丰度为  $(96.37 \pm 23.24)$  ind/cm<sup>2</sup>。海洋线虫是红树林湿地小型底栖动物中数量最大的类群, 通常占小型底栖动物数量的 90% 以上<sup>[9-10,18,23,26,29,33]</sup>; 因此, 能否准确估算海洋线虫生物量是获得红树林湿地沉积物中小型底栖动物确切生物量的关键。本研究采用在红树林湿地沉积物中海洋线虫估计出的经验系数  $(0.8 \mu\text{g}/\text{个})$ <sup>[24]</sup>, 获得该区域海洋线虫生物量为  $(77.10 \pm 31.52) \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

中国各地红树林湿地海洋线虫丰度变化幅度很大, 最高值出现在春季广西防城港东湾白骨壤红树林湿地, 为  $(988.64 \pm 774.64)$  ind/cm<sup>2</sup>; 最低出现在夏季福建湾坞秋茄红树林湿地, 为  $(12.13 \pm 2.77)$  ind/cm<sup>2</sup><sup>[18,29]</sup>。吴辰<sup>[5]</sup>研究高桥红树林湿地海洋线虫, 得出其冬季平均丰度为  $(64.36 \pm 24.50)$  ind/cm<sup>2</sup>, 其中桐花树生境海洋线虫丰度为  $(86.45 \pm 34.28)$  ind/cm<sup>2</sup>, 木榄生境海洋线虫丰度为  $(71.85 \pm 10.02)$  ind/cm<sup>2</sup>, 这与本研究结果基本相似。受沉积环境沉积物粒度、有机质含量、红树林树种、季节变化等的影响, 红树林海洋线虫的丰度会表现出一定的差异; 除此之外, 红树凋落叶所含的单宁会抑制海洋线虫丰度的增加, 且不同红树植物的单宁含量不同也是影响海洋线虫丰度及分布的重要因素。在秋茄林中, 九龙江口冬季海洋线虫丰度  $((66.50 \pm 34.71) \text{ ind}/\text{cm}^2)$  比漳江口冬季海洋线虫丰度  $((106.75 \pm 16.24) \text{ ind}/\text{cm}^2)$  低<sup>[18]</sup>。海南东寨港红树林中, 海桑林冬季的海洋线虫丰度比海桑、桐花树和秋茄混交林中的海洋线虫丰度高出许多<sup>[26,28]</sup>。而不同红树植物究竟如何影响海洋线虫的丰度, 目前还没有定论, 有待于进一步研究。

3.2 红树林湿地海洋线虫优势属分析

本研究优势度超过 5% 的优势属有 6 个, 分别是萨巴线虫属、霍帕线虫属、软咽线虫属、拟囊咽线虫属、拟棘齿线虫属和拟齿线虫属, 其中萨巴线虫和霍帕线虫两个属在 6 个站位均有分布。吴辰<sup>[5]</sup>研究认为该区域春季和夏季海洋线虫群落的优势种及其优势度为 *Terschellingia longicaudata* (21.99%)、*Polysigma* sp. (13.62%)、*Haliplectus* sp. 1 (11.36%)、*Spilophorella* sp. 1 (8.27%) 和 *Sabatieria* sp. (7.81%), 与本研究只有 *Sabatieria* 属是共有的, 可见同区域不同季节海洋线虫优势属仍有一定差异。刘梦迪<sup>[24]</sup>在九龙江口和洛阳江口两片红树林湿地中, 发现海洋线虫优势属有两个广布优势属 *Sabatieria* 和 *Parasphaerolaimus*, 以及 *Terschellingia*、*Halichoanolaimus*、*Hopperia* 和 *Parodontophora* 等 11 个优势属; 本研究优势属中除了 *Paracanthocheilus* 外, 其余优势属在其研究中都是优势属; 两者具有一定的群落相似性, 说明海洋线虫部分优势属或种具有典型的地方性分布特点。

世界范围内, 不同红树林湿地沉积物中, *Daptonema*、*Theristus*、*Viscosia*、*Dorylaimopsis*、*Hopperia*、*Ptycholaimellus*、*Terschellingia*、*Sabatieria*、*Anoplostoma* 和 *Parodontophora* 等为常见的海洋线虫优势属<sup>[18]</sup>。我国从北向南, 不同区域研究的结果有很大差异。浙江西门岛红树林湿地, 依据优势度从

高到低,优势属依次为折咽线虫属 (*Ptycholaimellus*)、萨巴线虫属 (*Sabatieria*)、吞咽线虫属 (*Daptonema*)、拟囊咽线虫属 (*Parasphaerolaimus*)、近瘤线虫属 (*Adoncholaimus*) 和显齿线虫属 (*Viscosia*)<sup>[8]</sup>。福建 5 片红树林湿地,海洋线虫优势属依次为 *Sabatieria*、*Ptycholaimellus*、*Parasphaerolaimus*、*Terschellingia*、*Daptonema*、*Viscosia*、*Dichromadora*、*Anoplostoma*、*Spilophorella*、*Trissonchulus*、*Hopperia* 和 *Sphaerolaimus*<sup>[25]</sup>。朱慧兰等<sup>[31]</sup>研究的深圳福田红树林湿地,冬季海洋线虫优势属依次为 *Paracanthocheilus*、*Megadesmolaimus*、*Subsphaerolaimus*、*Terschellingia*、*Spinonema*、*Pseudochromadora* 和 *Pseudolella*。华尔等<sup>[9]</sup>夏、秋、冬三季研究表明,该区域海洋线虫优势属依次为假拟齿线虫属 (*Pseudolella*)、拟齿线虫属 (*Parodontophora*)、微口线虫属 (*Terschellingia*)、吞咽线虫属 (*Daptonema*)、亚囊咽线虫属 (*Subsphaerolaimus*)、后线形线虫属 (*Metacanthocheilus*) 等。这些结果说明,中国各地红树林湿地生境海洋线虫群落结构优势属组成既有其相似性,又表现出典型的地方性,主要体现为空间差异和季节性变化。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 黄灵玉. 广东红树林土壤有机碳分布特征及其影响因素研究 [D]. 南宁: 广西师范学院, 2015.
- [2] 朱耀军, 赵峰, 郭菊兰, 等. 广东湛江高桥红树林湿地沉积柱粒度特征 [J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(11): 9-17.
- [3] 饶义勇, 蔡立哲, 黄聪丽, 等. 湛江高桥红树林湿地底栖动物粒径谱 [J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7182-7189.
- [4] 杨加志, 胡喻华, 罗勇, 等. 广东省红树林分布现状与动态变化研究 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34(5): 24-27.
- [5] 吴辰. 湛江高桥红树林湿地不同植物生境小型底栖动物的多样性研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [6] 杜永芬, 高抒, WARWICK R M, 等. 海岸带湿地自由生活海洋线虫的生态功能研究进展 [J]. 科学通报, 2014, 59(31): 3043-3060.
- [7] 蔡立哲, 厉红梅, 邹朝中. 深圳河口福田泥滩海洋线虫的种类组成及季节变化 [J]. 生物多样性, 2000(4): 385-390.
- [8] 朱慧兰, 郭玉清, 吴成业, 等. 浙江西门岛红树林湿地小型底栖动物的研究 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2020, 25(4): 241-247.
- [9] 华尔, 崔春燕, 徐华林, 等. 深圳福田红树林保护区自由生活海洋线虫群落特征研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2020, 50(9): 46-63.
- [10] 刘均玲, 黄勃, 梁志伟. 东寨港红树林小型底栖动物的密度和生物量研究 [J]. 海洋学报 (中文版), 2013, 35(2): 187-192.
- [11] 邵元虎, 张卫信, 刘胜杰, 等. 土壤动物多样性及其生态功能 [J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6614-6625.
- [12] NAGELKERKEN I, BLABER S J M, BOUILLON S, et al. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review [J]. Aquatic Botany, 2008, 89(2): 155-185.
- [13] 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.
- [14] FU S J, CAI L Z, CAO J, et al. Nematode responses to the invasion of exotic spartina in mangrove wetlands in Southern China [J]. Estuaries and Coasts, 2017, 40(5): 1437-1449.
- [15] MORENO M, SEMPRUCCI F, VEZZULLI L, et al. The use of nematodes in assessing ecological quality status in the Mediterranean coastal ecosystems [J]. Ecological Indicators, 2010, 11(2): 328-336.
- [16] LEITE D S, SANDRINI-NETO L, CAMARGO M Z, et al. Are changes in the structure of nematode assemblages reliable indicators of moderate petroleum contamination? [J]. Marine Pollution Bulletin, 2014, 83(1): 38-47.
- [17] 郭玉清. 厦门凤林红树林湿地自由生活海洋线虫群落的研究 [J]. 海洋学报 (中文版), 2008(4): 147-153.
- [18] 常瑜. 福建省红树林湿地海洋线虫多样性及分类学的研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2014.
- [19] 常瑜, 郭玉清. 福建洛阳江口红树林小型底栖动物的研究 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2014, 19(1): 7-12.

- [20] 卓昇. 泉州湾潮间带不同生境小型底栖动物群落的多样性研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
- [21] 李永翔. 厦门湾不同生境小型底栖动物群落和自由生活海洋线虫分类学研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2016.
- [22] 曾佳丽, 卓昇, 林家逸, 等. 泉州湾洛阳河口红树林湿地自由生活海洋线虫食性研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2016, 55(4): 515-521.
- [23] 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.
- [24] 刘梦迪, 陈建春, 郭玉清, 等. 红树林湿地沉积物中海洋线虫个体干质量的研究 [J]. 海洋学报, 2018, 40(8): 89-96.
- [25] 杨培培, 常瑜, 郭玉清, 等. 福建省红树林湿地海洋线虫的优势属及摄食类型 [J]. 海洋学报, 2019, 41(12): 90-102.
- [26] 刘均玲, 袁超, 何永姑, 等. 东寨港红树林小型底栖动物丰度与 Chla、有机质的相关性 [J]. 生态学报, 2019(1): 1-6.
- [27] 袁超. 海南东寨港红树林小型底栖动物分布与主要环境因子的相关性研究 [D]. 海口: 海南大学, 2017.
- [28] 赵爽. 海南东寨港红树林海洋线虫多样性研究 [D]. 海口: 海南大学, 2018.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 王玥, 庞小鹏, 郭玉清. 广西北海金海湾红树林湿地海洋线虫群落研究初探 [J]. 海洋与湖沼, 2020, 51(3): 583-590.
- [33] 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.
- [34] 朱耀军, 赵峰, 郭菊兰, 等. 湛江高桥红树林湿地有机碳分布及埋藏特征 [J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7841-7849.
- [35] 饶义勇, 蔡立哲, 黄聪丽, 等. 湛江高桥红树林湿地底栖动物粒径谱 [J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7182-7189.
- [36] 蔡立哲, 许鹏, 傅素晶, 等. 湛江高桥红树林和盐沼湿地的大型底栖动物次级生产力 [J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 965-971.
- [37] WARWICK R M, PLATT H M. Free-living marine nematodes part: II. British chromadorids: pictorial key to world genera and notes for the identification of British species [M]. London: Linnean Society of London, Estuarine and Coastal Sciences Association, 1988.
- [38] WARWICK R M, PLATT H M, SOMERFIELD P J. Free-living marine nematodes part III: monhysterids [M]. London: Linnean Society of London, Estuarine and Coastal Sciences Association, 1998.
- [39] WIESER W. Die beziehung zwischen mundhöhlengestalt, ernährungsweise und vorkommen bei freilebenden marinen nematoden [J]. Arkiv för Zoologi, 1953, 4(26): 439-484.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)