



# 南极菲尔德斯半岛潮间带小型底栖动物初步研究

刘晓收<sup>1,2</sup> 王晓晓<sup>1</sup> 王璐<sup>1</sup> 张志南<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 中国海洋大学海洋生命学院, 山东 青岛 266003;

<sup>2</sup> 中国海洋大学海洋生物多样性与进化研究所, 山东 青岛 266003)

**摘要** 极地是唯一未被人类活动大量影响的地区, 而关于南极潮间带底栖动物的报道很不充分。为评估小型底栖动物的类群组成和分布格局, 于 2013 年 1—2 月中国第 29 次南极科学考察期间, 对南极南设德兰群岛乔治王岛的菲尔德斯半岛 20 个潮间带站位的小型底栖动物进行了定量调查及其与环境因子的相关性分析, 以期揭示人类活动和气候变化对南极潮间带小型底栖动物的影响提供参考资料。结果表明, 小型底栖动物平均丰度为  $256.8 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 平均生物量为  $370.5 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 。共鉴定出 9 个小型底栖动物类群, 包括自由生活海洋线虫、桡足类、寡毛类、介形类、双壳类、腹足类、涡虫、海螵和其他类。在丰度方面, 海洋线虫占绝对优势, 为 82.7%。在生物量方面, 寡毛类占绝对优势, 为 41.7%, 其次为海洋线虫, 占 22.9%。CLUSTER 聚类分析结果表明, 小型底栖动物类群组成成分主要与底质类型有关。相关性分析结果表明, 小型底栖动物及海洋线虫的丰度和生物量与沉积物有机质和脱镁叶绿酸含量显著相关。

**关键词** 小型底栖动物 丰度 生物量 南极 乔治王岛 菲尔德斯半岛 长城站

doi: 10.13679/j.jdyj.20180016

## 0 引言

对于南极沿岸浅水区, 特别是潮间带的研究, 一直吸引着研究人员的视野。由于冰川活动等的影响, 这部分区域的环境状况较深海区域相比, 很不稳定<sup>[1-4]</sup>。在潮间带和潮下带上部区域的冰川活动一定程度上决定了底栖动物的群落结构<sup>[5]</sup>。目前对南极岛屿底栖动物的研究区域主要集中在南极半岛的阿德莱德群岛、斯科舍弧中的南乔治亚群岛、西格尼群岛和南设得兰群岛等。研究内容主要是有关浅海潮间带和潮下带底栖动物的种类组成及丰度、生物量、生物多样性、群落结构与水深、纬度、底质类型的变化、季节变化的关系和食物网组成等<sup>[6-11]</sup>。

在对斯科舍弧岛屿的研究中发现<sup>[12]</sup>, 最高的物种丰富性和多样性分布在高纬度地方, 这个地方由于融冰的冲刷而受到自然界的最高干扰。对南大洋潮间带底栖动物的研究表明<sup>[13]</sup>, 随着纬度变化, 群落简单化和单一动物群优势增加。南大洋内随着纬度变化, 扰动在显著增加。关于岛屿周边海域底栖动物的研究, 特别是菲尔德斯半岛的研究, 主要集中在对潮间带大型底栖动物的调查上<sup>[14-17]</sup>, 而小型底栖动物的定量研究主要集中在麦克斯韦尔湾和海军上校湾<sup>[11,18]</sup>等潮下带海域。

小型底栖动物是底栖生态系统的重要组成部分, 是许多经济鱼、虾和贝类幼体阶段的优质饵料<sup>[19]</sup>, 构成了底栖食物网的重要一环<sup>[20]</sup>, 在连接碎屑食物链、初级生产力以及水层-底栖耦合过程中起到了重要作用。虽然小型底栖动物个体生物

**[收稿日期]** 2018 年 8 月收到来稿, 2020 年 2 月收到修改稿

**[基金项目]** 中国海洋大学中央高校基本科研业务费专项(201964024)、南北极环境综合考察与评估专项(CHINARE-02-01, CHINARE-04-01)资助

**[作者简介]** 刘晓收, 男, 1979 年生。博士, 教授, 主要从事海洋底栖生物生态学研究。E-mail: liuxs@ouc.edu.cn

量较小,但由于其种类多,数量大且分布广,其群落结构、多样性格局和生物量的变动直接控制着大型经济无脊椎动物幼体的补充。小型底栖动物的生物量一般很难超过大型底栖动物的 20%,但在近岸、河口、海湾和深海其生物量大体与大型底栖动物相当,因而在全球生物地化循环中占有重要位置<sup>[19]</sup>。小型底栖动物具有刺激微生物生产、加速有机物降解、促进营养物质再循环等多方面的作用<sup>[21-22]</sup>。此外,小型底栖动物野外取样简便,具有极大的物种丰富度(比大型底栖动物高一个数量级),具有独特的生殖对策(繁殖快、生活史短、无浮游幼虫期等),使其成为重要的环境质量指示生物,作为海洋生态监测和生态系统健康评估体系的一个指标,正日益受到国际学术界的重视。依据东威德尔海的调查数据,有研究估算出南极的大型动物物种总数可能在 1.1 万~1.7 万之间<sup>[23]</sup>,但对南极小型动物特别是海洋线虫的研究较少。本研究可为极地小型底栖动物的研究提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

菲尔德斯半岛(Fildes Peninsula)位于乔治王

岛的西南端,是乔治王岛上最大的无冰区,半岛南北长约 10 km,宽约 3 km,面积约为 30 km<sup>2</sup>。长城站位于半岛南部的东海岸,濒临长城湾。东海岸存在明显的多级海积阶地,多为砾、砂质海滩<sup>[24]</sup>。2013 年 1—2 月中国第 29 次南极科学考察长城站夏季考察期间,在菲尔德斯半岛东西海岸选取 20 个站位进行了大型底栖动物定量采样(图 1,表 1)。由于潮间带较窄,因而没有进行高潮带、中潮带和低潮带的划分采样,在每月大潮期间,潮水退至最低时采样。现场使用内径为 3 cm 的注射器采集 5 cm 深度的表层沉积物,每个站位采集 3 个平行样,现场使用 5%福尔马林固定,运至国内实验室分选、鉴定、计数。同时各站位取一份沉积物于-20℃ 冷冻保存,用于沉积物叶绿素 a、脱镁叶绿酸、有机质含量及粒度分析。使用 YSI 600XLM 水质分析仪现场测定温度、盐度和 pH 值。

### 1.2 室内分析

使用 2 mL 虎红染液进行染色,摇匀后,静置 24 h,以确保染色充分。使用 0.5 mm 和 0.031 mm 孔径的网筛上下叠置进行样品冲洗,截留小型底栖动物(小于 0.5 mm,大于 0.031 mm)样品。将截留在 0.031 mm 孔径网筛上的小型底栖动物及杂质转移到划线培养皿中,在体视显微镜下将小型

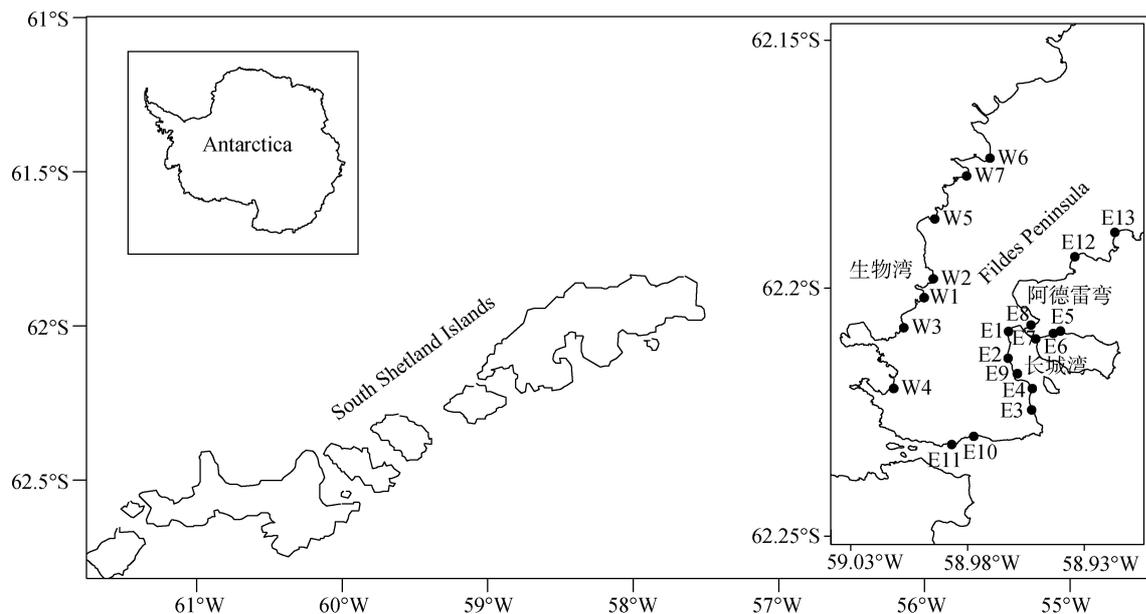


图 1 南极乔治王岛菲尔德斯半岛采样站位图

Fig.1. Map of the sampling sites in the intertidal zone of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica

底栖动物按类群计数并分选至 5 mL 样品瓶中, 加入终浓度为 5% 的甲醛溶液固定保存<sup>[25]</sup>。

### 1.3 数据处理

数据分析主要使用 Excel 和多元统计软件 PRIMER6.0、SPSS 进行。

利用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)找出影响潮间带的主要环境因子。通过等级聚类分析(CLUSTER)研究小型底栖动物群落落在不同站位之间的差异。以上分析使用 PRIMER 6.0 软件实现。同时使用 SPSS 19.0 软件, 将小型底栖动物数据与环境因子数据进行 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子

#### 2.1.1 潮间带水体环境因子

潮间带水体环境因子详细数据见表 1。调查站位水温变化范围为 0.69~4.22°C, 表层海水的盐度和 pH 分别为 28.95~36.26、7.33~8.61。

#### 2.1.2 沉积物环境因子

调查站位沉积物中值粒径(Md)变化范围为 0.45~1.60 mm(表 1), 底质为砂质的站位沉积物中值粒径变化范围为 0.59~1.60 mm, 底质为碎石的站位沉积物中值粒径为 0.45~1.59 mm。调查站位沉

表 1 南极乔治王岛菲尔德斯半岛潮间带调查站位信息和环境因子

Table 1. Environmental variables and information of the sampling sites in the intertidal zone of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica

站位	南纬	西经	沉积物类型	SWT / (°C)	SWS	pH	Md / (mm)	Chl- <i>a</i> / (μg·g <sup>-1</sup> )	Pha / (μg·g <sup>-1</sup> )	OM / %
E1	62°12.527'	58°57.740'	砂	0.97	34.74	7.73	1.56	0.578	0.019	0.79
E2	62°12.850'	58°57.750'	砂	1.53	28.95	8.53	1.18	0.221	0.117	0.64
E3	62°13.476'	58°57.146'	砂砾	3.66	34.54	7.82	0.79	0.578	0.687	0.74
E4	62°13.217'	58°57.129'	砂砾	4.22	34.00	8.44	1.07	3.425	0.000	0.9
E5	62°12.522'	58°56.404'	砂	0.69	33.96	7.33	1.07	0.171	0.000	0.71
E6	62°12.550'	58°56.586'	砂砾	1.62	34.78	8.23	0.45	2.439	0.638	1.11
E7	62°12.617'	58°57.042'	砂砾	2.40	34.89	8.25	0.79	1.217	1.198	1.09
E8	62°12.449'	58°57.164'	砂砾	1.47	32.74	7.96	1.07	0.328	0.931	0.79
E9	62°13.037'	58°57.513'	砂砾	3.15	35.33	8.15	1.59	3.251	2.497	1.37
E10	62°13.796'	58°58.632'	砂砾	1.87	35.33	8.07	1.02	3.028	0.142	0.91
E11	62°13.894'	58°59.200'	砂砾	1.48	36.26	8.05	0.87	0.812	0.296	0.84
E12	62°11.623'	58°56.032'	砂砾	1.87	35.64	8.10	1.13	0.698	0.157	0.97
E13	62°11.328'	58°55.005'	砂砾	2.62	35.77	8.15	1.08	0.209	0.086	0.63
W1	62°12.117'	58°59.908'	砂	1.76	33.82	8.61	1.16	1.333	0.000	0.59
W2	62°11.889'	58°59.673'	砂	1.83	34.75	8.07	0.59	8.658	2.251	1.28
W3	62°12.481'	59°00.432'	砂	2.51	34.25	8.36	0.91	2.843	0.278	0.74
W4	62°13.216'	59°00.691'	砂	1.75	36.24	8.16	1.60	8.732	1.284	1.46
W5	62°11.166'	58°59.634'	砂	3.12	35.26	8.30	1.31	0.727	0.000	0.41
W6	62°10.430'	58°58.217'	砂	1.33	35.59	8.05	0.68	0.395	0.000	0.75
W7	62°10.644'	58°58.816'	砂	1.98	35.84	8.26	0.86	0.360	0.012	0.56

注: SWT: 表层水温(Sea water temperature); SWS: 表层水盐度(Sea water salinity); Md: 中值粒径(Median grain size); pH: 酸碱度; Chl-*a*: 叶绿素含量(Chlorophyll *a* content); Pha: 脱镁叶绿酸含量(Phaeophorbide content); OM: 有机质含量(Organic matter content)。

积物中叶绿素含量范围为 0.17~8.73  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 东海岸和西海岸的叶绿素含量平均值分别为 1.30  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  和 3.29  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。调查站位沉积物中脱镁叶绿酸含量为 0~2.50  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , 东海岸和西海岸沉积物脱镁叶绿酸含量平均值分别为 0.52  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  和 3.29  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。调查站位沉积物中有机质的含量为 0.41%~1.46%。东海岸和西海岸沉积物中有机质含量平均值分别为 0.88% 和 0.83%。

### 2.1.3 PCA 分析

对 20 个站位获得的 7 个环境因子(表 1)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 36.4%, 主成分轴 2(PC2)和主成分轴 1(PC1)累计可解释环境变异度的 58.0%。对第一主分量贡献最大的是 OM(-0.572)、Chl-a(-0.548)、Pha(-0.532); 对第二主分量贡献较大的是 pH(-0.723)、SWT(-0.605)、SWS (0.231)。

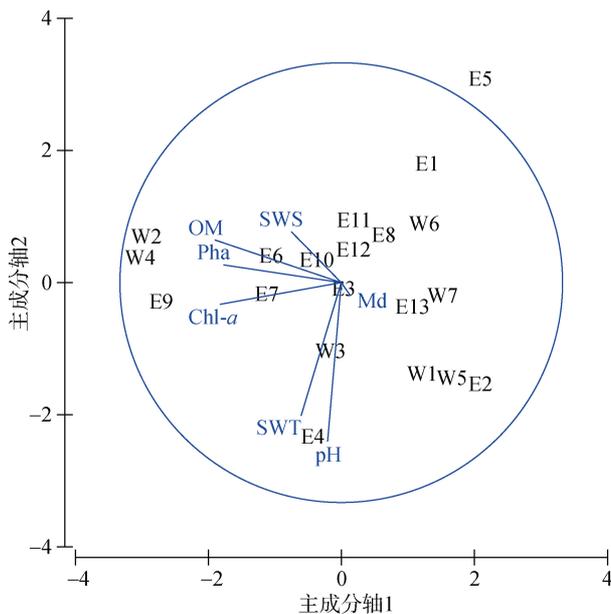


图 2 菲尔德斯半岛采样站位环境因子 PCA 分析结果  
Fig.2. PCA of environmental factors for sampling sites in Fildes Peninsula

## 2.2 小型底栖动物类群组成和空间分布

### 2.2.1 类群组成

共鉴定出 9 个小型底栖动物类群(图 3), 包括自由生活海洋线虫、桡足类、寡毛类、介形类、双壳类、腹足类、涡虫、海蛭和其他类。丰度方面, 海洋线虫占绝对优势, 占 82.7%, 其次为涡虫, 占 5.8%。在生物量方面, 寡毛类占绝对优势, 占

41.7%, 其次为海洋线虫, 占 22.9%。

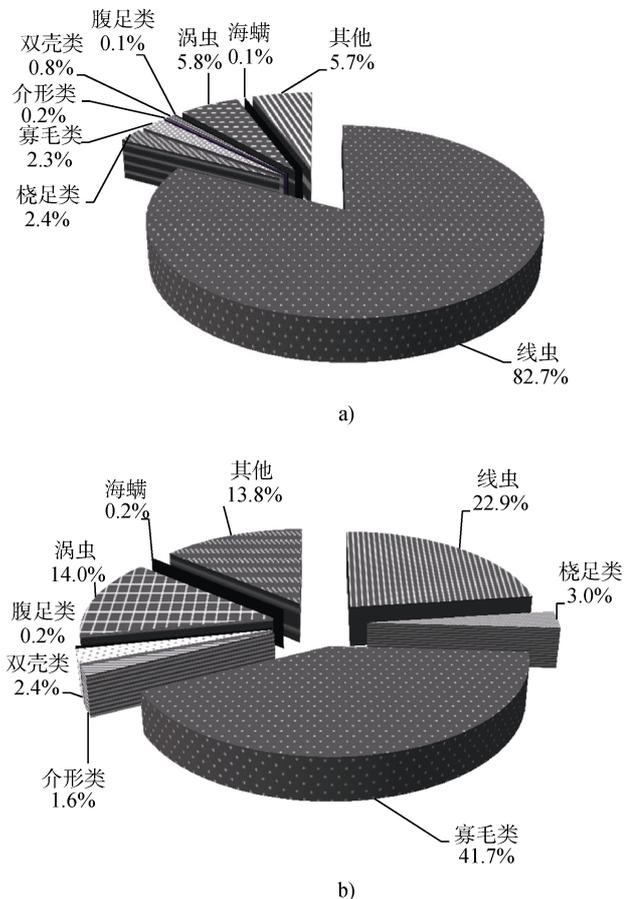


图 3 菲尔德斯半岛小型底栖动物的主要类群。a) 丰度; b) 生物量  
Fig.3. Main taxa of meiofauna in Fildes Peninsula. a) abundance; b) biomass

### 2.2.2 小型底栖动物丰度与生物量

菲尔德斯半岛潮间带各个站位小型底栖动物的丰度和生物量不同(图 4a, 4b), 丰度变化范围为 8~1 699  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ , 平均为 257  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ ; 生物量变化范围为 6.624~2 364.091  $\mu\text{g}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ , 平均为 370.547  $\mu\text{g}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ 。东海岸碎石底质的丰度和生物量最高: 平均丰度为 385  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ 、平均生物量为 683.990  $\mu\text{g}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ ; 东海岸沙滩平均丰度为 18  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ 、平均生物量为 12.786  $\mu\text{g}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ ; 西海岸沙滩底质平均丰度为 176  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ 、平均生物量为 76.097  $\mu\text{g}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ 。

在大部分的采样站位中, 线虫是最主要的优势种。各个站位线虫的丰度和生物量不同(图 4c, 4d), 丰度变化范围 6~1 557  $\text{ind}\cdot(10\text{ cm}^2)^{-1}$ , 平均

为  $212 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ; 生物量变化范围为  $2.548 \sim 622.788 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 平均为  $84.940 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 。东海岸碎石底质的线虫丰度和生物量最高, 平均丰度和生物量分别为  $298 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 、 $119.264 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ;

东海岸沙滩线虫平均丰度和生物量分别为  $16 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 、 $6.511 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ; 西海岸沙滩底质线虫平均丰度和生物量分别为  $174 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 、 $69.518 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ 。

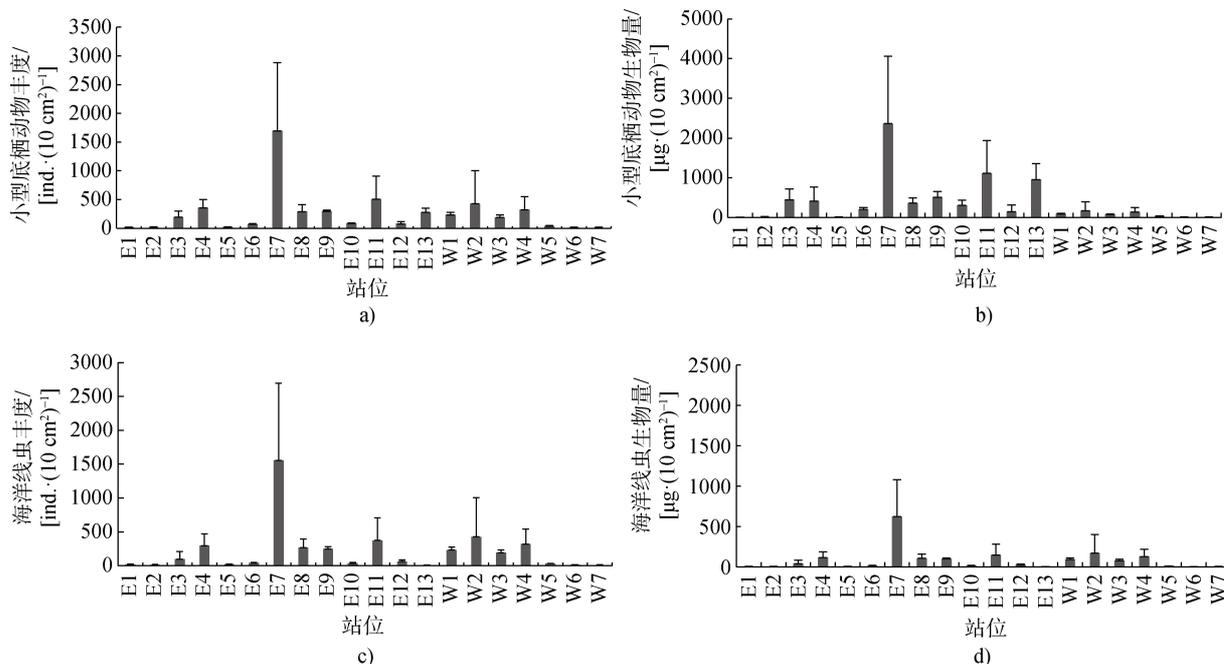


图 4 菲尔德斯半岛潮间带小型底栖动物的丰度(a)、生物量(b)和海洋线虫的丰度(c)、生物量(d)  
Fig.4. Meiofaunal abundance (a), biomass (b) and marine nematode abundance (c), biomass (d) in Fildes Peninsula

### 2.2.3 类群组成分析

CLUSTER 聚类分析结果(图 5)表明, 小型底栖动物类群组成主要与底质类型和东西海岸有

关。小型底栖动物类群组成在 53%相似度上可以分为两组: 组 1 包括 W4、W2、W1、W3、E1、E5、E2、W5、W6、W7 共 10 个站点; 组 2 包括

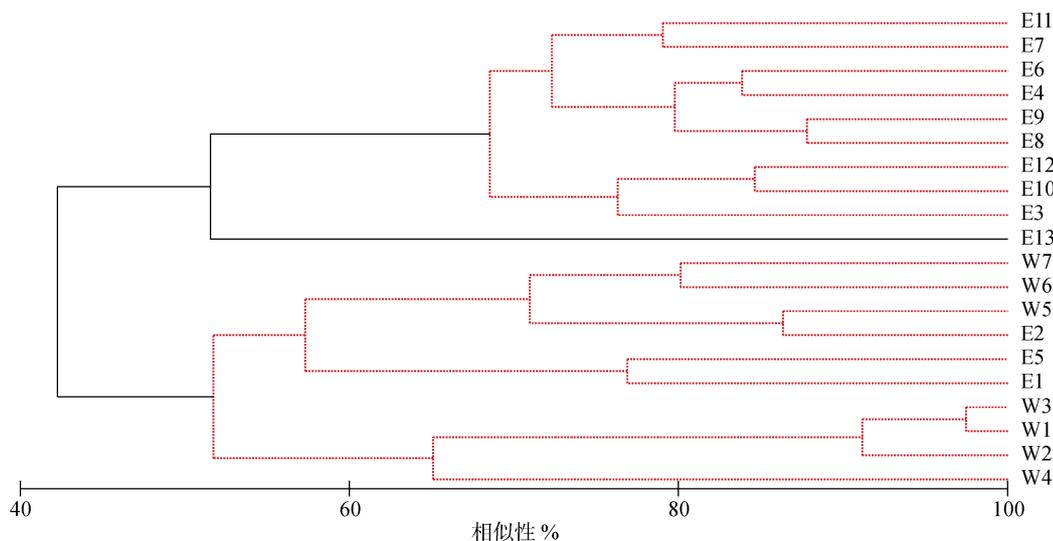


图 5 菲尔德斯半岛潮间带小型底栖动物类群组成聚类分析  
Fig.5. CLUSTER analysis of intertidal meiofauna taxa composition in Fildes Peninsula

E13、E3、E10、E12、E8、E9、E4、E6、E7、E11 共 10 个站位, 其中 E13 组成单群落组, 其余 9 个碎石底质组成一个类群。除线虫以外, 组 1 中的其他各类小型底栖动物如桡足类、寡毛类、介形类、双壳类底栖动物的丰度及生物量较组 2 低。两组之间底栖动物的丰度和生物量有很大的不同, 组 1 中各站位桡足类丰度及生物量, 除 W4[丰度为  $1.42 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 生物量为  $2.63 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ] 和 W7[丰度为  $0.71 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 生物量为  $1.31 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ] 站位, 其他站位均为 0; 寡毛类丰度及生物量各站位均为 0; 介形类丰度及生物

量除 W4 站[丰度为  $0.71 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 生物量为  $9.91 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ], 其他站位均为 0; 双壳类除 E5 站[丰度为  $2.1 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ , 生物量为  $8.92 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ], 其他站位均为 0。

### 2.3 小型底栖动物与环境因子的关系

对小型底栖动物总丰度和生物量及海洋线虫的丰度和生物量与环境因子进行的相关性分析结果(表 2)表明, 小型底栖动物总丰度与脱镁叶绿酸呈显著正相关; 线虫丰度与脱镁叶绿酸显著正相关; 线虫生物量与脱镁叶绿酸、有机质含量呈显著正相关。

表 2 菲尔德斯半岛小型底栖动物丰度和生物量与环境因子的相关分析

Table 2. Correlation analysis between meiofauna abundance, biomass and environmental factors in Fildes Peninsula

	丰度	生物量	线虫丰度	线虫生物量
T	0.196	0.226	0.144	0.144
S	0.123	0.196	0.080	0.080
pH	0.147	0.063	0.159	0.159
Md	-0.176	-0.190	-0.160	-0.160
Chl- <i>a</i>	0.141	-0.100	0.196	0.196
Pha	0.399*	0.254	0.430*	0.430*
OM	0.359	0.221	0.394	0.394*

注: \*表示显著相关( $P < 0.05$ );  $n = 20$ 。

## 3 讨论

### 3.1 与其他潮间带海域小型底栖动物的比较

小型底栖动物, 尤其是海洋线虫遍布于各种沉积物底质, 在不同潮间带海域均有分布, 不同的底质、海域、气候环境中小型底栖动物的种类、丰度、生物量和多样性不同。本研究的菲尔德斯半岛潮间带海域与其他海域相比(表 3), 小型底栖动物丰度低于位于北温带的青岛第二海水浴场 [ $1167.3 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ] 和石老人海水浴场 [ $1130.2 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ] [26]。本研究中小型底栖动物丰度与有机质含量呈显著正相关, 与以往结论一致 [26]。本研究中小型底栖动物丰度较以上两处海域低, 可能是由于两海域位于北温带, 与本研究的地理位置差距较大, 北温带温度较高, 沉积物有机质含量高, 小型底栖动物有较多的食物来源, 因此小型底栖动物的丰度较高。本研究也低于西班牙北部潮间带 [ $300 \sim 1590 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ], 该地区潮间带线虫丰度与中值粒径呈极显著正相关, 除此之

外该地区的小型底栖动物量随着沙滩的暴露率呈指数增长 [27]。本研究也低于位于北寒带的冰岛潮间带 [ $17.2 \sim 2149.1 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ ], 该地区线虫丰度与有机质、沉积物底质呈正相关, 沉积物类型为细砂、极细砂 [28]。相比菲尔德斯半岛碎石, 砂质的底质更有利于线虫等小型底栖动物的生存, 因此小型底栖动物丰度较高。对比 Kongsfjorden 海域 [29], 该海域线虫、寡毛类、涡虫为主要类群, 其中寡毛类最丰富, 与周围沉积物以及食物含量有关, 以往的北极研究中未出现这一现象, 该地区研究显示随着沉积物的中值粒径增加, 小型底栖动物的丰度明显降低, 较粗的沉积物中有更大的间隙空间, 适合更大的底栖动物的生存, 尤其是涡虫。这一结论可以解释菲尔德斯半岛 E13 站位因碎石底质而存在大量的涡虫。本研究与南大洋的 Maxwell Bay 海域小型底栖动物丰度相近 [18], Maxwell Bay 海域与菲尔德斯半岛地理位置相近。同时, Maxwell Bay 海域是一个镶嵌式的结构, 巨大的卵石结构被填充或嵌入软质的沉积物中, 该

结构与本研究的菲尔德斯半岛碎石和砂质的底质环境相似。在鹅卵石下面和中间的沉积物可以很好地防止极端的非生物环境, 例如直接的冰扰动, 风和波的影响, 融化的雪和冰的淡水径流, 以及紫外线

辐射。在砂质基质中发现了大量的被撕裂的褐藻和藻类碎屑, 因此, 在间隙空间内的有机物质为动物的生存提供了合适的食物资源<sup>[18]</sup>。整体来看, 小型底栖动物丰度呈现从温带到寒带降低的趋势。

表3 菲尔德斯半岛潮间带与其他潮间带海域小型底栖动物的比较  
Table 3 Comparison of meiofauna between Fildes Peninsula and other intertidal areas

研究海域	位置	丰度/[ind.·(10 cm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ]	丰度优势类群	资料来源
青岛第二海水浴场	北温带	1 167.3	线虫、涡虫	[26]
石老人海水浴场	北温带	1 130.2	线虫、涡虫	[26]
西班牙北部潮间带	北温带	300.0~1 590.0	线虫	[27]
冰岛潮间带	北寒带	17.2~2 149.1	线虫、寡毛类	[28]
Kongsfjorden	北寒带	50.0~903.0	线虫、寡毛、涡虫	[29]
Maxwell Bay	南大洋	260.2	多毛类、桡足类	[18]
菲尔德斯半岛	南大洋	256.8(8.5~1 698.5)	线虫、涡虫	本研究

### 3.2 影响小型底栖动物分布的主要因素

小型底栖动物丰度受很多环境因素的影响, 包括季节、水温、水深、pH、沉积物粒度、叶绿素 *a* 含量、自身繁殖特点等<sup>[30-31]</sup>。CLUSTER 聚类分析显示小型底栖动物类群分为两组, 原因可能是由于这两组的沉积物类型不同。组 1 中各站位沉积物类型为砂质底质, 而组 2 中各站位沉积物类型为碎石底质。除线虫以外, 组 1 中的其他各类小型底栖动物(如桡足类、寡毛类、介形类、双壳类等)的丰度及生物量较组 2 低。这可能是由于碎石底质环境较砂质底质环境更有利于小型底栖动物的生存。

相关性分析表明脱镁叶绿酸与小型底栖动物丰度呈显著正相关, 线虫生物量与脱镁叶绿酸、有机质呈显著正相关。E4、E5、W1、W5、W6 站位脱镁叶绿酸未检测到。有机质最高值出现在东海岸的 E9 站位, 脱镁叶绿酸最高值同样出现在 E9 站位, 该站位为小型底栖动物提供充足的营养物质, 因此有较高的小型底栖动物丰度。有机质含量最低值出现在 W5 站位, 该站位脱镁叶绿酸含量未检测出, 因此该站位除较低的线虫丰度外, 其他小型动物类群基本为 0。本研究中小型底栖动物丰度最高值出现在 E7 站位, 其次是 E11 站, 两站位桡足类和寡毛类丰度较高, 桡足类对有机质的污染比线虫要敏感, 因此提出了通过

N/C 比测定有机质的污染程度, N/C 值越大代表有机质的污染程度越高, 一般认为 N/C 值大于 100, 表明该地区受到有机质的严重污染, 大于 50 小于 100 表明该地区富营养化, 小于 50 表明该地区环境状况良好<sup>[32]</sup>。本研究中 E7 和 E11 站位的 N/C 比均小于 50, 表明这两个站位环境状况良好。E13 站位涡虫较多, 涡虫的丰度与沉积物中值粒径相关<sup>[33]</sup>。一般来说, 较粗的沉积物中更大的间隙空间, 存在更多的小型底栖动物, 尤其是涡虫<sup>[29]</sup>, E13 站位碎石底质符合这一环境特点, 因此小型底栖动物生物量最高。研究显示<sup>[34]</sup>, 涡虫类是海洋环境的重要组成部分, 更适合在砂质底质环境中生活, 成年涡虫以小型底栖动物为食。因此 E13 站位因为大量捕食者的存在, 导致该站位线虫和桡足类生物量低。

极地考察研究一直受到科学界的高度关注。鉴于海洋线虫的优势地位, 有必要进一步开展海洋线虫的鉴定工作, 分析南极海洋线虫的种类组成、多样性、群落结构、营养类型及其与环境因子的相关关系。

**致谢** 感谢中国第 29 次南极科学考察队长城站全体队友, 特别是中国极地研究中心俞勇站长和上海海洋大学霍元子副教授在野外取样、后勤保障中提供的无私帮助。

## 参考文献

- 1 ARNTZ W, BREY T, GALLARDO V A. Antarctic zoobenthos[J]. *Oceanography and Marine Biology*, 1994, 32: 241-304.
- 2 KNOX G A. Littoral ecology and biogeography of the southern oceans[J]. *Proceedings of the Royal Society of London Series B Biological Sciences*, 1960, 152(949): 577-624.
- 3 PECK L S, CONVEY P, BARNES D K A. Environmental constraints on life histories in Antarctic ecosystems: tempos, timings and predictability[J]. *Biological Reviews*, 2006, 81(1): 75-109.
- 4 BARNES D K A, CONLAN K E. Disturbance, colonization and development of Antarctic benthic communities[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 362(1477): 11-38.
- 5 ARNAUD P M. The state of the art in Antarctic benthic research[M]//GALLARDO V A, FERRETTI O, MOYANO H I. *Oceanografía en Antártica*. Concepcion: Centro Eula, University of Concepcion, 1992, 341-345.
- 6 ALDEA C, OLABARRIA C, TRONCOSO J S. Bathymetric zonation and diversity gradient of gastropods and bivalves in west Antarctica from the south Shetland Islands to the Bellingshausen Sea[J]. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2008, 55(3): 350-368.
- 7 CHOY E J, PARK H, KIM J H, et al. Isotopic shift for defining habitat exploitation by the Antarctic limpet *Nacella concinna* from rocky coastal habitats (Marian Cove, King George Island)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 92(3): 339-346.
- 8 CORBISIER T N, PETTI M A V, SKOWRONSKI R S P, et al. Trophic relationships in the nearshore zone of Martel Inlet (King George Island, Antarctica):  $\delta^{13}\text{C}$  stable-isotope analysis[J]. *Polar Biology*, 2004, 27(2): 75-82.
- 9 FILGUEIRAS V L, CAMPOS L S, LAVRADO H P, et al. Vertical distribution of macrobenthic infauna from the shallow sublittoral zone of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica[J]. *Polar Biology*, 2007, 30(11): 1439-1447.
- 10 GILLIES C L, STARK J S, JOHNSTONE G J, et al. Carbon flow and trophic structure of an Antarctic coastal benthic community as determined by  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, 97: 44-57.
- 11 SICIŃSKI J, JAŹDŹEWSKI K, DE BROYER C, et al. Admiralty Bay benthos diversity—a census of a complex polar ecosystem[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2011, 58(1): 30-48.
- 12 WALLER C L. Variability in intertidal communities along a latitudinal gradient in the Southern Ocean[J]. *Polar Biology*, 2008, 31(7): 809-816.
- 13 BARNES D K A, ARNOLD R J. Possible latitudinal clines in Antarctic intertidal and subtidal zone communities encrusting ephemeral hard substrata[J]. *Journal of Biogeography*, 1999, 26(2): 207-213.
- 14 杨宗岱, 黄凤鹏, 吴宝铃. 菲尔德斯半岛潮间带生物生态学的研究[J]. *极地研究*, 1992, 4(4): 74-83.
- 15 杨宗岱, 吴宝铃. 菲尔德斯半岛潮间带生态系统中的食物网[J]. *极地研究*, 1992, 4(4): 68-73.
- 16 沈静, 徐汝梅, 周国法, 等. 南极菲尔德斯半岛陆地、淡水、潮间带、浅海各生态系统的结构及其相互关系的研究[J]. *极地研究*, 1999, 11(2): 100-112.
- 17 LIU X S, WANG L, LI S, et al. Quantitative distribution and functional groups of intertidal macrofaunal assemblages in Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands, Southern Ocean[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 99(1/2): 284-291.
- 18 BICK A, ARLT G. Description of intertidal macro- and meiobenthic assemblages in Maxwell Bay, King George Island, South Shetland Islands, Southern Ocean[J]. *Polar Biology*, 2013, 36(5): 673-689.
- 19 COULL B C. Role of meiofauna in estuarine soft-bottom habitats[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1999, 24(4): 327-343.
- 20 郭玉清, 张志南, 慕芳红. 渤海小型底栖动物生物量的初步研究[J]. *海洋学报*, 2002, 24(6): 76-83.
- 21 MONTAGNA P A. Rates of metazoan meiofaunal microbivory: a review[J]. *Vie Et Milieu*, 1995, 45(1): 1-9.
- 22 张志南, 周红, 华尔, 等. 中国小型底栖生物研究的 40 年——进展与展望[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(4): 657-671.
- 23 GUTT J, SIRENKO B I, SMIRNOV I S, et al. How many macrozoobenthic species might inhabit the Antarctic shelf?[J]. *Antarctic Science*, 2004, 16(1): 11-16.
- 24 鄂栋臣. 南北极地图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 2010: 78-82.
- 25 刘晓收. 南黄海鳀鱼产卵场小型底栖动物生态学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- 26 李佳, 华尔, 张志南. 青岛砂质潮间带小型底栖动物分布及季节动态[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(12): 3458-3466.
- 27 RODRÍGUEZ J G, LASTRA M, LÓPEZ J. Meiofauna distribution along a gradient of sandy beaches in northern Spain[J]. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2003, 58(3): 63-69.

- 28 DELGADO J D, RIERA R, MONTERROSO Ó, et al. Distribution and abundance of meiofauna in intertidal sand substrata around Iceland[J]. *Aquatic Ecology*, 2009, 43(2): 221-233.
- 29 URBAN-MALINGA B, WIKTOR J, JABLOŃSKA A, et al. Intertidal meiofauna of a high-latitude glacial Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) with emphasis on the structure of free-living nematode communities[J]. *Polar Biology*, 2005, 28(12): 940-950.
- 30 HEIP C, VINCX M, VRANKEN G. The ecology of marine nematodes[J]. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1985, 23: 399-489.
- 31 SOMERFIELD P J, REES H L, WARWICK R M. Interrelationships in community structure between shallow-water marine meiofauna and macrofauna in relation to dredging's disposal[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, 127: 103-112.
- 32 RAFFAELLI D G, MASON C F. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1981, 12(5): 158-163.
- 33 BOADEN P J S. Where Turbellaria? Concerning knowledge and ignorance of marine turbellarian ecology[J]. *Hydrobiologia*, 1995, 305(1/2/3): 91-99.
- 34 范士亮, 刘海滨, 张志南, 等. 青岛太平洋砂质潮间带小型底栖生物丰度和生物量的研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2006, 36(增刊 1): 98-104.

## A PRELIMINARY STUDY OF INTERTIDAL MEIOFAUNA IN FILDES PENINSULA, ANTARCTICA

Liu Xiaoshou<sup>1, 2</sup>, Wang Xiaoxiao<sup>1</sup>, Wang Lu<sup>1</sup>, Zhang Zhinan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Marine Life Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

<sup>2</sup>Institute of Evolution and Marine Biodiversity, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

### Abstract

The polar regions are the only regions on the planet that have not been greatly impacted by human activities. However, there are inadequate studies of zoobenthos in the Antarctic intertidal zones. Therefore, during the 29th Chinese Antarctic Research Expedition between January and February 2013, we assessed taxa composition and distribution patterns of meiofauna, and studied intertidal meiofauna and their relationships with environmental factors at 20 sites in Fildes Peninsula, King George Island in the South Shetland Islands. Our goal was to provide basic information to understand influence of human activities and climate change on polar intertidal meiofauna. Average meiofauna abundance was  $256.8 \text{ ind.} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$  and average biomass was  $370.5 \mu\text{g} \cdot (10 \text{ cm}^2)^{-1}$ . A total of 9 meiofaunal taxa were identified, including free-living marine nematodes, copepods, oligochaetes, ostracods, bivalves, gastropods, turbellarians, and halacarids. Marine nematodes were the most abundant, accounting for 82.7% of the total meiofaunal abundance. In terms of biomass, oligochaetes were the most dominant, accounting for 41.7% of the total meiofaunal biomass. Marine nematodes accounted for the second highest percentage of total meiofaunal biomass (22.9%). CLUSTER analysis showed that meiofaunal assemblages were correlated with habitat types. Correlation analysis showed that abundance and biomass of meiofauna and marine nematodes were significantly correlated with sediment organic matter content and phaeophorbide concentration.

**Key words** meiofauna, abundance, biomass, Antarctica, King George Island, Fildes Peninsula, Great Wall Station