

福建省4个主要岛屿沙滩小型底栖动物的丰度与分布差异

陈玉珍^{1,2}, 郭玉清^{1*}, 刘爱原³

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 自然资源部第三海洋研究所, 福建 厦门 361005; 3. 集美大学图书馆, 福建 厦门 361021)

摘要: 于2012—2014年按季度对福建省漳州市东山岛和火山岛、莆田市湄洲岛、平潭综合实验区主岛海坛岛沙滩进行小型底栖动物样品的采集调查。结果表明: 4个采样断面周年共出现自由生活海洋线虫(Nematoda)、底栖桡足类(Copepoda)、多毛类(Polychaeta)、寡毛类(Oligochaeta)、腹毛动物(Gastrotricha)、海螨类(Halacaroida)、涡虫(Turbellaria)、轮虫(Rotifera)、介形类(Ostracoda)、弹尾类(Collembola)、缓步类(Tardigrada)、端足类(Amphipoda)、动物吻类(Kinorhyncha)、水生昆虫(aquatic insect) 14个小型底栖动物类群和其他少量未鉴定类群及无节幼体(Nauplii)。小型底栖动物年平均丰度趋势为: 东山岛(973.93 ± 760.79)/(10 cm²) > 海坛岛(810.87 ± 696.75)/(10 cm²) > 湄洲岛(276.80 ± 335.31)/(10 cm²) > 火山岛(189.86 ± 147.07)/(10 cm²)。4个断面的类群组成和丰度总体趋势为春、夏季类群多且丰度高, 秋、冬季类群少且丰度低。海坛岛和东山岛出现的类群数量最多, 湄洲岛出现的类群数量最少; 火山岛各季节的类群丰富度指数与香农-维纳多样性指数最高。相似性分析结果显示, 小型底栖动物群落结构在不同断面和季节间均存在极显著差异, 自由生活海洋线虫、涡虫和腹毛动物是导致不同采样区小型底栖动物群落差异的主要贡献类群。

关键词: 小型底栖动物; 沙滩; 丰度; 分布

中图分类号: Q 958.1

文献标志码: A

文章编号: 0438-0479(2020)02-0254-09

沙滩是由潮汐、沉积物运动等相互作用形成的简单却最敏感的潮间带生态系统, 其间生物周期性地暴露于空气中, 经受着频繁的温差波动、离子浓度变化以及汹涌波浪和海流的侵袭^[1]。小型底栖动物是沙滩生物中的一个重要类群, 指分选时能通过0.5 mm(或1.0 mm)孔径的网筛而被42 μm(深海生物研究者建议用31 μm)孔径的网筛所截留的一类底栖生物, 主要成员是多细胞后生动物^[2]。小型底栖动物作为水层-底栖生态系统耦合过程中的关键环节, 其生命活动可改变沉积物的物理、化学和生物性质, 现已广泛应用于海洋生态监测和生态系统健康评估体系^[2-4]。目前, 国际上对潮间带沙滩小型底栖动物的研究已遍及热带^[5-7]、亚热带^[5]、温带^[8]、寒带^[9]等气候带区域, 其大尺度时空分布及季节变化也有报道^[10-13]; 国内学者对潮间带沙滩小型底栖动物的研究主要见于秦皇岛^[14]、

青岛^[15-17]和舟山^[18]等地, 但对福建省沙滩小型底栖动物的研究至今仅见于厦门^[19-21]。

随着沙滩旅游业的发展, 沙滩生态系统正在日益遭受破坏。本研究对福建省漳州市东山岛和火山岛、莆田市湄洲岛、平潭综合实验区主岛海坛岛4个主要岛屿展开调查, 分析其沙滩小型底栖动物的类群组成、丰度及分布特点, 旨在明确福建省沙滩小型底栖动物的主要类群特征和分布规律, 为沙滩旅游资源的开发利用和保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

选取福建省漳州市东山岛(117.483°E, 23.708°N)和火山岛(118.025°E, 24.212°N)、

收稿日期: 2019-01-06 录用日期: 2019-04-30

基金项目: 国家自然科学基金(31772416); 福建省自然科学基金(2017J01450)

* 通信作者: guoyuqing@jmu.edu.cn

引文格式: 陈玉珍, 郭玉清, 刘爱原. 福建省4个主要岛屿沙滩小型底栖动物的丰度与分布差异[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2020, 59(2): 254-262.

Citation: CHEN Y Z, GUO Y Q, LIU A Y. Differences of meiofaunal abundances and distributions in the sandy beaches of four main islands in Fujian Province[J]. J Xiamen Univ Nat Sci, 2020, 59(2): 254-262. (in Chinese)



莆田市湄洲岛(119. 140 3° E, 25. 061 7° N)、平潭综合实验区主岛海坛岛(119. 775 8° E, 25. 621 4° N)沙滩各一个断面(图 1), 于 2012—2014 年按季度分别在高、中、低 3 个潮带, 用内径为 2. 9 cm 的采样管采集深度为 0~10 cm 的沉积物样品, 各 3 份重复样, 以 5% (质量分数) 甲醛溶液进行固定, 混匀后常温保存。

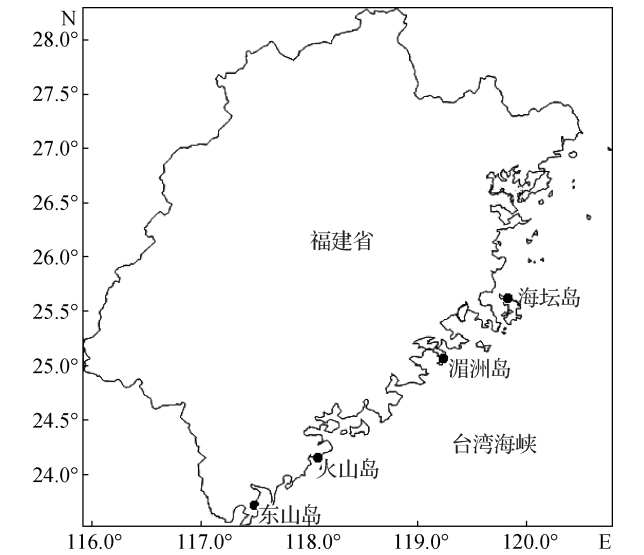


图 1 采样点
Fig. 1 Sampling sites

1.2 样品处理与测定

沉积物样品处理方法参照文献[22-23], 所用网筛孔径为 38 μm. 小型底栖动物类群鉴定与计数在 Nikon SMZ1270 解剖镜和 Nikon 80i 显微镜下进行。

1.3 数据处理与统计分析

用 Excel 2010 软件进行小型底栖动物丰度与分布的数据计算与图表制作; 用 SPSS 19. 0 软件进行方差分析; 用 Primer 6. 0 软件进行小型底栖动物类群的多样性指数分析, 通过双因子交叉相似性分析(two-way crossed ANOSIM)判断影响群落结构的主要因子, 通过相似性百分比分析(SIMPER)表征造成群落间组成差异的主要类群(贡献率>10%)。

2 结果与分析

2.1 东山岛沙滩断面小型底栖动物的丰度及分布

2.1.1 小型底栖动物的类群组成及丰度

东山岛不同季节小型底栖动物各类群的丰度百分比见图 2. 该断面 4 个季节共出现自由生活海洋线

虫(简称线虫, Nematoda)、底栖桡足类(简称桡足类, Copepoda)、多毛类(Polychaeta)、寡毛类(Oligochaeta)、涡虫(Turbellaria)、腹毛动物(Gastrotricha)、海螵类(Halacaroidea)、轮虫(Rotifera)、弹尾类(Collembola)、缓步类(Tardigrada)、端足类(Amphipoda)、动吻类(Kinorhyncha)、水生昆虫(aquatic insect) 13 个小型底栖动物类群和其他少量未鉴定类群及无节幼体(Nauplii). 4 个季节均以线虫为第一优势类群, 其丰度占相应季节小型底栖动物总丰度的 59. 89%~73. 95%; 其次为涡虫, 其年平均丰度占总丰度的 17. 03%, 且在不同季节间丰度百分比差异较大, 春、夏、秋、冬季分别占相应季节总丰度的 2. 60%, 26. 68%, 3. 22% 和 23. 66%. 对涡虫丰度的方差分析结果表明: 春季与夏季、秋季与冬季相比差异显著($p<0. 05$); 而春季与秋季、夏季与冬季相比不存在显著性差异($p>0. 05$).

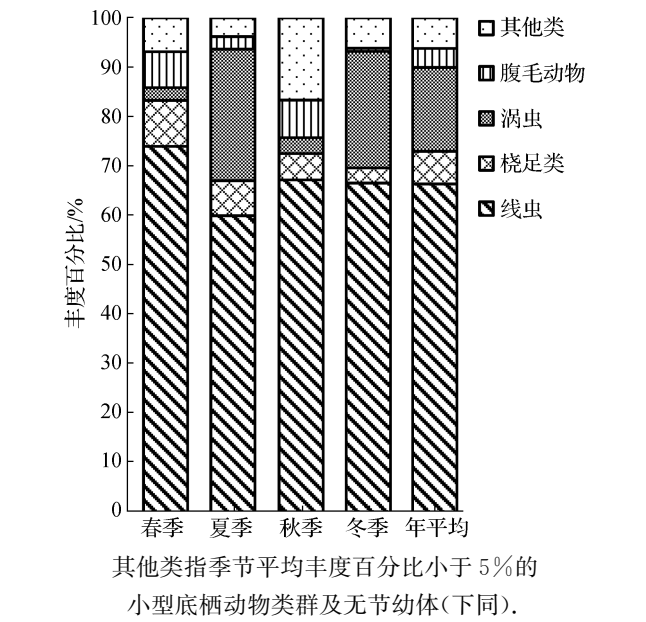


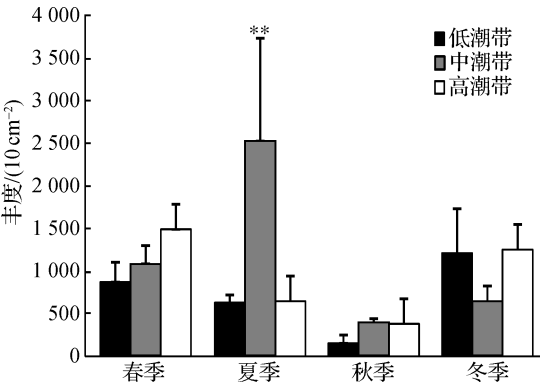
图 2 东山岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度累积百分比
Fig. 2 Cumulative percentages of meiofaunal abundances in different seasons at the Dongshan sampling site

该断面小型底栖动物年平均丰度为 $(973. 93 \pm 760. 79)/(10 \text{ cm}^2)$, 季节变化总趋势为夏季 $(1\ 269. 64 \pm 1\ 133. 95)/(10 \text{ cm}^2) >$ 春季 $(1\ 120. 37 \pm 483. 79)/(10 \text{ cm}^2) >$ 冬季 $(1\ 053. 18 \pm 447. 69)/(10 \text{ cm}^2) >$ 秋季 $(312. 63 \pm 140. 62)/(10 \text{ cm}^2)$. 4 个季节小型底栖动物总丰度的方差分析结果表明: 秋季分别与春、夏、冬相比差异极显著($p<0. 01$), 而其他季节间差异不显著($p>0. 05$).

2.1.2 小型底栖动物丰度的潮带分布

东山岛沙滩断面各潮带小型底栖动物的年平均

丰度分布总趋势为:中潮带(1 257. 22±1 057. 35)/(10 cm²)>高潮带(921. 42±595. 15)/(10 cm²)>低潮带(755. 04±468. 15)/(10 cm²),各潮带间差异不显著($p>0.05$),但各季节内水平分布差异较大(图 3).夏季中潮带达到全年丰度的最高值,为(2 531. 45±1 207. 59)/(10 cm²);秋季低潮带出现最低值,为(154. 46±98. 70)/(10 cm²). 4 个季节不同潮带间小型底栖动物丰度的方差分析结果表明:夏季中潮带分别与低潮带、高潮带相比差异极显著($p<0.01$),而其他季节各潮带间差异不显著($p>0.05$).



** 表示同一季节内差异极显著, $p<0.01$ (下同).

图 3 东山岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度水平分布
Fig. 3 Horizontal distributions of meiofaunal abundances in different seasons at the Dongshan sampling site

2.2 火山岛沙滩断面小型底栖动物的丰度及分布

2.2.1 小型底栖动物的类群组成及丰度

火山岛不同季节小型底栖动物各类群的丰度百分比见图 4. 该断面 4 个季节共出现线虫、桡足类、多毛类、寡毛类、涡虫、腹毛动物、海蠕、轮虫、介形类(Ostracoda)、弹尾类、缓步类、端足类 12 个小型底栖动物类群和其他未鉴定类群及无节幼体. 春季出现类群最多,其中线虫、桡足类、涡虫、多毛类 4 个类群为 4 个季节共同出现的类群. 总体上,线虫为第一优势类群,年平均丰度占小型底栖动物总丰度的 34. 75%;其次为桡足类,占总丰度的 22. 90%. 除夏季桡足类在丰度上占优势外,春、秋和冬季均以线虫为第一优势类群,分别占相应季节小型底栖动物总丰度的 44. 39%, 29. 78%和 51. 53%.

小型底栖动物的年平均丰度为(189. 86±147. 07)/(10 cm²),季节变化总趋势为春季(347. 76±199. 61)/(10 cm²)>夏季(173. 94±70. 65)/(10 cm²)>

秋季(125. 31±68. 00)/(10 cm²)>冬季(107. 04±47. 81)/(10 cm²). 4 个季节小型底栖动物总丰度的方差分析结果表明:春季与夏季存在显著差异($p<0.05$),与秋、冬季存在极显著差异($p<0.01$);夏季与冬季也存在显著差异($p<0.05$);其他季节间差异不显著($p>0.05$).

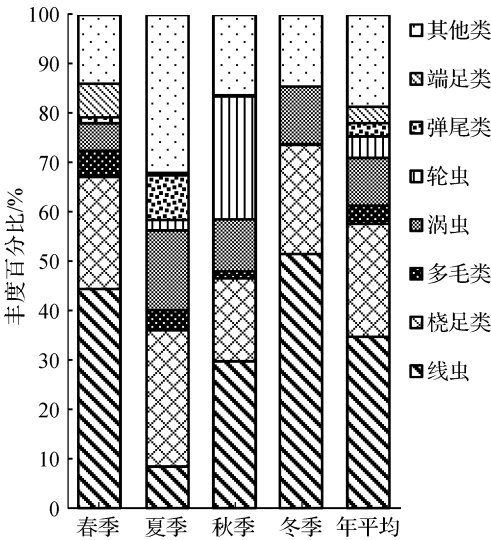


图 4 火山岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度累积百分比
Fig. 4 Cumulative percentages of meiofaunal abundances in different seasons at the Huoshan sampling site

2.2.2 小型底栖动物丰度的潮带分布

火山岛沙滩断面各潮带小型底栖动物的年平均丰度分布总趋势为:低潮带(225. 59±169. 42)/(10 cm²)>中潮带(211. 30±159. 31)/(10 cm²)>高潮带(134. 91±95. 77)/(10 cm²). 如图 5 所示:春季低潮带和中潮带的小型底栖动物丰度是 4 个季节中相应潮带的最高值,分别为(460. 48±172. 19)/(10 cm²)和(415. 04±198. 87)/(10 cm²);高潮带小型底栖动

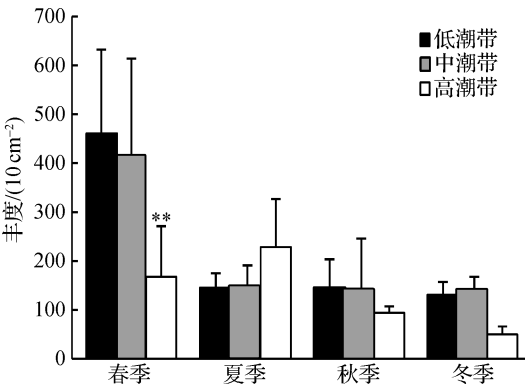


图 5 火山岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度水平分布
Fig. 5 Horizontal distributions of meiofaunal abundances in different seasons at the Huoshan sampling site

物丰度在夏季达到最高值,为 $(228.35 \pm 98.26)/(10\text{ cm}^2)$. 4 个季节不同潮带间小型底栖动物丰度的方差分析结果表明:春季高潮带与低潮带、中潮带相比差异极显著($p < 0.01$),其他季节各潮带间差异不显著($p > 0.05$).

2.3 湄洲岛沙滩断面小型底栖动物的丰度及分布

2.3.1 小型底栖动物的类群组成及丰度

湄洲岛不同季节小型底栖动物各类群的丰度百分比见图 6. 该断面 4 个季节共出现线虫、桡足类、多毛类、涡虫、腹毛动物、海螵类、轮虫、介形类、缓步类、水生昆虫 10 个小型底栖动物类群和其他少量未鉴定类群及无节幼体,其中春季出现类群最多. 缓步类的年平均丰度百分比最大,占小型底栖动物总丰度的 52.39%;其次为线虫,占总丰度的 34.79%. 缓步类的丰度百分比在不同季节间差异极显著($p < 0.01$),秋季占小型底栖动物总丰度的 84.96%,成为第一优势类群;春季和冬季分别占相应季节总丰度的 2.02%和 0.25%;而夏季未出现. 春、夏和冬季均以线虫为第一优势类群,分别占相应季节小型底栖动物总丰度的 81.98%,60.56%和 76.98%.

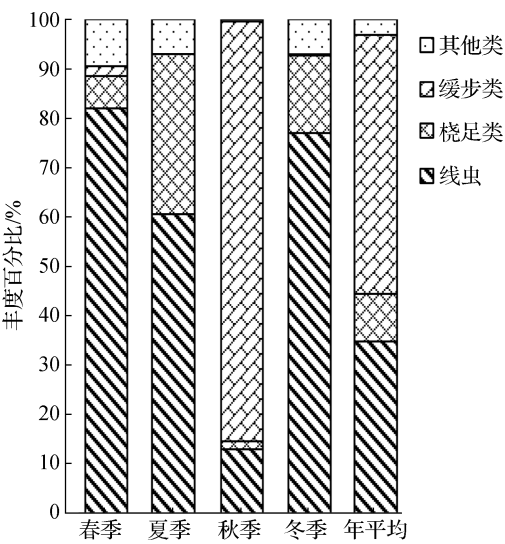


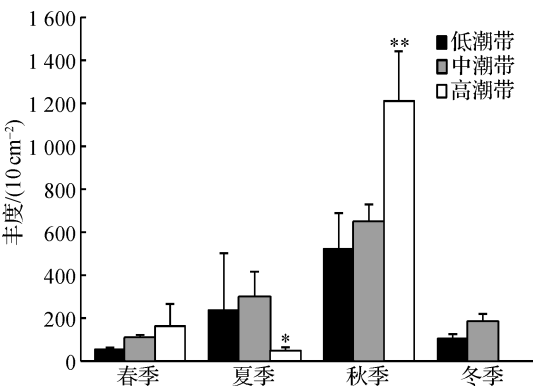
图 6 湄洲岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度累积百分比
Fig. 6 Cumulative percentages of meiofaunal abundances in different seasons at the Meizhou sampling site

小型底栖动物的年平均丰度为 $(276.80 \pm 335.31)/(10\text{ cm}^2)$,季节变化总趋势为秋季 $(793.55 \pm 351.16)/(10\text{ cm}^2) >$ 夏季 $(194.26 \pm 188.42)/(10\text{ cm}^2) >$ 春季 $(108.39 \pm 70.91)/(10\text{ cm}^2) >$ 冬季 $(98.08 \pm 79.14)/(10\text{ cm}^2)$. 值得注意的是,造成这种分布的原因是秋季

缓步类动物为第一优势类群,其平均丰度为 $(74.22 \pm 383.98)/(10\text{ cm}^2)$. 4 个季节小型底栖动物总丰度的方差分析结果表明:秋季分别与春、夏、冬季相比差异极显著($p < 0.01$);夏季与冬季也存在显著差异($p < 0.05$);其他季节间差异不显著($p > 0.05$).

2.3.2 小型底栖动物丰度的潮带分布

湄洲岛沙滩断面各潮带小型底栖动物的年平均丰度分布总趋势为:高潮带 $(310.09 \pm 501.90)/(10\text{ cm}^2) >$ 中潮带 $(299.16 \pm 212.71)/(10\text{ cm}^2) >$ 低潮带 $(221.15 \pm 228.85)/(10\text{ cm}^2)$. 如图 7 所示:春季与秋季各潮带小型底栖动物总丰度的水平分布趋势一致,为低潮带 $<$ 中潮带 $<$ 高潮带;夏季与冬季一致,为高潮带 $<$ 低潮带 $<$ 中潮带;各潮带小型底栖动物丰度均在秋季达到最高值. 4 个季节不同潮带间小型底栖动物丰度的方差分析结果表明:夏季,高潮带与低潮带、中潮带相比存在显著差异($p < 0.05$);秋季,高潮带与低潮带、中潮带相比存在极显著差异($p < 0.01$);其他季节各潮带间差异不显著($p > 0.05$).



* 表示同一季节内差异显著, $p < 0.05$;
** 表示同一季节内差异极显著, $p < 0.01$ (下同).

图 7 湄洲岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度水平分布
Fig. 7 Horizontal distributions of meiofaunal abundances in different seasons at the Meizhou sampling site

2.4 海坛岛沙滩断面小型底栖动物的丰度及分布

2.4.1 小型底栖动物的类群组成及丰度

海坛岛不同季节小型底栖动物各类群的丰度百分比见图 8. 该断面 4 个季节共出现线虫、桡足类、多毛类、寡毛类、涡虫、腹毛动物、海螵类、介形类、弹尾类、缓步类、端足类、动吻类、水生昆虫 13 个小型底栖动物类群和其他少量未鉴定类群及无节幼体,其中春季出现类群最多. 线虫为第一优势类群,其年

平均丰度占小型底栖动物总丰度的 52.36%;其次为腹毛动物,占总丰度的 21.14%.春季线虫与腹毛动物的丰度相当;夏、秋和冬季均以线虫为第一优势类群,第二优势类群分别为缓步类、寡毛类和腹毛动物.

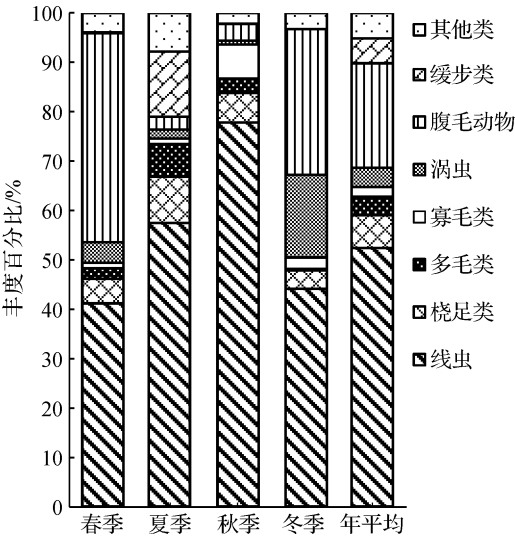


图 8 海坛岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度累积百分比
Fig. 8 Cumulative percentages of meiofaunal abundances in different seasons at the Haitan sampling site

小型底栖动物的年平均丰度为 $(810.87 \pm 696.75)/(10\text{ cm}^2)$. 季节变化总趋势为:春季 $(1\,459.36 \pm 458.68)/(10\text{ cm}^2) >$ 夏季 $(1\,363.25 \pm 558.13)/(10\text{ cm}^2) >$ 秋季 $(383.09 \pm 515.12)/(10\text{ cm}^2) >$ 冬季 $(256.13 \pm 132.31)/(10\text{ cm}^2)$. 4 个季节小型底栖动物总丰度的方差分析结果表明:春季与秋季、春季与冬季、夏季与秋季、夏季与冬季之间均存在极显著差异($p < 0.01$);而春季与夏季、秋季与冬季相比差异不显著($p > 0.05$).

2.4.2 小型底栖动物丰度的潮带分布

海坛岛沙滩断面各潮带小型底栖动物的年平均丰度分布总趋势为:低潮带 $(1\,061.32 \pm 713.59)/(10\text{ cm}^2) >$ 高潮带 $(820.98 \pm 778.41)/(10\text{ cm}^2) >$ 中潮带 $(586.09 \pm 554.22)/(10\text{ cm}^2)$. 如图 9 所示:高潮带小型底栖动物丰度在春季达到最高值,为 $(1\,847.46 \pm 345.63)/(10\text{ cm}^2)$;春季与夏季中潮带小型底栖动物丰度相当,达到全年中潮带的最高值;低潮带丰度最高值出现在夏季,为 $(1\,530.11 \pm 1\,003.22)/(10\text{ cm}^2)$;中潮带和高潮带小型底栖动物丰度的最低值均出现在秋季;春季与冬季各潮带分布趋势一致,为高潮带 $>$ 低潮带 $>$ 中潮带. 4 个季节不同潮带间小型底栖动物丰度的方差分析结果表明:春季,中潮带与高潮带存在显著差异($p < 0.05$);秋季,低潮带与中潮带、高潮

带相比差异极显著($p < 0.01$);夏季与冬季各潮带间差异不显著($p > 0.05$).

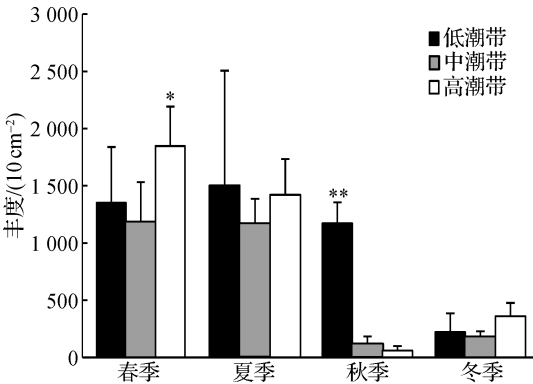


图 9 海坛岛采样点不同季节的小型底栖动物丰度水平分布
Fig. 9 Horizontal distributions of meiofaunal abundances in different seasons at the Haitan sampling site

2.5 小型底栖动物的类群多样性分析

利用 Primer 6.0 软件对 4 个岛屿不同季节小型底栖动物的类群数(S)、个体数(N)、类群丰富度指数(d)、均匀度指数(J')、香农-维纳多样性指数(H')和优势度指数(λ)进行计算,并利用 SPSS 19.0 软件对各参数进行单因素方差分析(one-way ANOVA),结果如表 1 所示. 4 个岛屿均以春季出现的类群数最多,且东山岛和海坛岛出现的类群数最多,湄洲岛出现的类群数最少;除湄洲岛秋季因缓步类丰度剧增导致个体数明显高于春、夏和冬季外,东山岛、火山岛和海坛岛的小型底栖动物个体数均在春、夏季较多;4 个岛屿的类群丰富度指数最高值均出现在春季,总体而言,火山岛的类群丰富度指数最高,湄洲岛的最低;东山岛、火山岛、湄洲岛和海坛岛的均匀度指数最高值分别出现在秋季、冬季、冬季和秋季;东山岛、火山岛、湄洲岛和海坛岛的香农-维纳多样性指数最高值和优势度指数最低值分别出现在秋季、夏季、冬季和夏季.

2.6 小型底栖动物群落结构

小型底栖动物群落的 ANOSIM 结果如表 2 所示,可见断面($R=0.698$)和季节($R=0.581$)均对小型底栖动物群落结构有极显著影响($p < 0.01$). SIMPER 结果显示:线虫、涡虫和腹毛动物是导致不同采样断面小型底栖动物群落结构差异的主要贡献类群;缓步类是导致秋季与其他季节间差异的主要贡献类群;涡虫是导致冬季与其他季节间差异的主要贡献类群(表 2).

表 1 福建省 4 个主要岛屿沙滩的小型底栖动物类群多样性参数
Tab. 1 Group diversity indices of meiofauna in the sandy beaches of four main islands in Fujian Province

断面	季节	S	N	<i>d</i>	<i>J'</i>	<i>H'</i>	λ
东山岛	春季	14 ^a	2 318±984 ^a	1. 190±0. 184 ^a	0. 512±0. 042 ^b	1. 179±0. 090 ^{ab}	0. 390±0. 022 ^{ab}
	夏季	10 ^b	2 539±2 268 ^a	0. 731±0. 093 ^c	0. 590±0. 058 ^a	1. 100±0. 116 ^{bc}	0. 394±0. 035 ^{ab}
	秋季	8 ^c	625±281 ^b	1. 040±0. 170 ^b	0. 609±0. 072 ^a	1. 216±0. 137 ^a	0. 375±0. 035 ^b
	冬季	10 ^b	2 107±896 ^a	0. 967±0. 127 ^b	0. 497±0. 033 ^b	1. 047±0. 052 ^c	0. 410±0. 026 ^a
火山岛	春季	12 ^a	696±399 ^a	1. 380±0. 216 ^a	0. 621±0. 052 ^c	1. 404±0. 157 ^a	0. 335±0. 029 ^a
	夏季	10 ^b	348±141 ^b	1. 173±0. 211 ^b	0. 703±0. 058 ^b	1. 431±0. 131 ^a	0. 324±0. 026 ^a
	秋季	11 ^b	251±136 ^b	1. 142±0. 314 ^b	0. 689±0. 065 ^b	1. 338±0. 230 ^a	0. 348±0. 050 ^a
	冬季	5 ^c	214±96 ^b	0. 890±0. 194 ^c	0. 757±0. 061 ^a	1. 296±0. 123 ^a	0. 345±0. 032 ^a
湄洲岛	春季	9 ^a	217±142 ^b	0. 948±0. 272 ^a	0. 597±0. 078 ^b	1. 034±0. 164 ^a	0. 420±0. 040 ^a
	夏季	6 ^b	389±377 ^b	0. 774±0. 223 ^{ab}	0. 641±0. 113 ^{ab}	1. 028±0. 159 ^a	0. 412±0. 045 ^a
	秋季	6 ^b	1 587±702 ^a	0. 617±0. 162 ^b	0. 571±0. 064 ^b	0. 954±0. 129 ^a	0. 428±0. 042 ^a
	冬季	6 ^b	196±158 ^b	0. 799±0. 209 ^{ab}	0. 749±0. 148 ^a	1. 059±0. 094 ^a	0. 394±0. 031 ^a
海坛岛	春季	14 ^a	2 919±917 ^a	1. 302±0. 144 ^a	0. 517±0. 052 ^b	1. 246±0. 085 ^a	0. 372±0. 022 ^b
	夏季	14 ^a	2 726±1 116 ^a	1. 163±0. 156 ^a	0. 545±0. 069 ^{ab}	1. 252±0. 131 ^a	0. 368±0. 041 ^b
	秋季	7 ^b	766±1 030 ^b	0. 792±0. 169 ^c	0. 639±0. 113 ^a	1. 054±0. 145 ^b	0. 409±0. 044 ^a
	冬季	7 ^b	512±264 ^b	0. 989±0. 160 ^b	0. 613±0. 081 ^a	1. 184±0. 152 ^a	0. 377±0. 040 ^a

注:同一断面同列数据上标不同字母表示差异显著($p<0.05$).

表 2 福建省 4 个主要岛屿沙滩小型底栖动物群落的双因子交叉(断面×季节)相似性分析及
断面、季节之间小型底栖动物群落结构的差异

Tab. 2 Two-way crossed (area×season) ANOSIM for meiofaunal communities in the sandy beaches of four main islands in Fujian Province and the differences in meiofaunal community structure between areas and between seasons

因子	相似性分析		主要贡献类群(贡献率>10%)
	<i>R</i>	<i>p</i>	
断面	0. 698	0. 001	
东山岛×火山岛	0. 799	0. 001	线虫、涡虫、腹毛动物
东山岛×湄洲岛	0. 833	0. 001	线虫、腹毛动物、缓步类、涡虫
东山岛×海坛岛	0. 636	0. 001	寡毛类、腹毛动物、线虫、涡虫
火山岛×湄洲岛	0. 563	0. 001	涡虫、桡足类、缓步类、线虫
火山岛×海坛岛	0. 757	0. 001	腹毛动物、线虫
湄洲岛×海坛岛	0. 764	0. 001	缓步类、腹毛动物、线虫、寡毛类
季节	0. 581	0. 001	
春季×夏季	0. 426	0. 001	
春季×秋季	0. 655	0. 001	缓步类
春季×冬季	0. 656	0. 001	多毛类、涡虫
夏季×秋季	0. 635	0. 001	缓步类
夏季×冬季	0. 631	0. 001	涡虫、多毛类、线虫、桡足类
秋季×冬季	0. 577	0. 001	缓步类、涡虫、线虫

3 结论与讨论

本研究中 4 个采样断面全年共出现线虫、桡足类、多毛类、寡毛类、腹毛动物、海螨类、涡虫、轮虫、介形类、弹尾类、缓步类、端足类、动吻类、水生昆虫 14 个小型底栖动物类群和其他少量未鉴定类群及无节幼体,除湄洲岛以缓步类为第一优势类群外,其他 3 个断面均以线虫为第一优势类群.各断面年平均丰度趋势为:东山岛(973.93 ± 760.79)/(10 cm²) > 海坛岛(810.87 ± 696.75)/(10 cm²) > 湄洲岛(276.80 ± 335.31)/(10 cm²) > 火山岛(189.86 ± 147.07)/(10 cm²).4 个断面均在春季出现最多类群,其类群组成和丰度的总体趋势为春、夏季类群多且丰度高,秋、冬季类群少且丰度低.4 个断面小型底栖动物的类群多样性分析显示:海坛岛出现的类群数最多,而湄洲岛出现的最少;火山岛总体类群丰富度指数、均匀度指数和香农-维纳多样性指数最高.线虫、涡虫和腹毛动物是导致不同采样断面小型底栖动物群落结构差异的主要贡献类群;缓步类是导致秋季与其他季节间差异的主要贡献类群,涡虫是导致冬季与其他季节间差异的主要贡献类群.

3.1 岛屿沙滩小型底栖动物类群季节变动的影响因素

缓步类动物在粗砂-中细砂潮间带与潮下带沉积物中最为常见^[24].有研究表明缓步类在氧气条件好的沙滩中丰度高,在受污染的沙滩则丰度很低甚至不出现^[25-27];但也有研究表明,这类动物中一些种类能够在受胁迫的环境条件下生活,具有耐受低氧、盐度剧变等不良环境的能力^[24].本研究中缓步类动物在 4 个断面均有出现,其中,湄洲岛断面秋季缓步类的丰度达到小型底栖动物总丰度的 84.96%,但在夏季未出现;海坛岛断面夏季缓步类丰度占比 13.02%,但在秋季未出现.潮间带食物呈斑块状分布,这在一定程度上可以解释某些小型底栖动物类群在小尺度范围内季节性缺失的问题^[28],而本研究区域内缓步类动物及其丰度的变化还有待进一步研究.

涡虫是小型生物营养级中的大型捕食者,一般栖息在含氧量较高的底质中^[22],更适应在砂质环境中生活^[29-31].涡虫在本研究中每个断面每个季节都有分布,其中在东山岛和火山岛的全年平均丰度占比分别达到 17.03%和 9.69%.与之类似,范士亮等^[17]、韦晓慧等^[32]、张婷^[19]及李佳等^[1]对砂质沙滩的研究显示涡虫丰度占小型底栖动物总丰度的比例均较高.

小型底栖动物丰度的季节性差异与温度、食物等环境因素的变动有关^[31].春季温度适宜,有利于底栖微藻的生长,可为更多数量及种类的小型底栖动物提供食物来源^[31].温度可以通过影响其食物(如细菌和硅藻)生长和可利用率而使小型底栖动物的类群组成发生变化^[33];同时,温度还可以通过促进小型底栖动物(如线虫)的繁殖^[9]进而影响其丰度的变化^[31].Feder 等^[34]在对阿拉斯加 2 个沙滩中潮带的研究中,发现小型底栖动物的丰度最高值出现在温度较高的夏季和秋季.本研究的结果与之有所不同:东山岛沙滩断面小型底栖动物的丰度最高值出现在夏季,最低值出现在秋季;火山岛和海坛岛沙滩断面均在春季达到最高值,而湄洲岛沙滩断面在秋季出现最高值.其原因可能在于本研究的断面均为开放性沙滩,特别是火山岛与湄洲岛作为发展较完善的旅游景点,夏、秋季还受到较大程度的人为扰动.

3.2 岛屿沙滩小型底栖动物丰度水平分布的影响因素

小型底栖动物的空间分布受沉积物物理、化学和生物因素的影响,如食物的可获得性、沉积物粒径、温度、盐度等,也与沉积物环境污染状况关系密切^[35].Albuquerque 等^[31]在对巴西 Marambaia 沙滩小型底栖动物的研究中,发现沉积物粒径是影响该沙滩主要小型底栖动物类群丰度水平分布的主要因素,沉积物粒径的大小和分选程度决定了小型间隙生物的可利用空间.在潮带分布上,根据 Huston 动力平衡假说,中潮带达到有机质输入与间隙含氧量的最佳平衡,更适合小型底栖动物生存^[36].然而 Hua 等^[20]对中国 9 个不同纬度的潮间带沙滩小型底栖动物分布的研究发现:小型底栖动物的丰度在不同纬度区域表现出水平分布差异,热带沙滩的小型底栖动物丰度从高潮带到低潮带显著增加;在温带沙滩,中潮带小型底栖动物丰度最高,但 3 个潮带间小型底栖动物的丰度差异不显著;在亚热带沙滩,各潮带间的小型底栖动物丰度无显著差异.本研究中 4 个采样断面均处于亚热带,同一断面不同季节的不同潮带间小型底栖动物分布趋势存在一定差异,但不同断面不同季节各潮带间小型底栖动物分布的差异显著性有所不同.

沙滩作为重要的休闲娱乐区,其生境的高度多样性与人类活动息息相关,同时又受到人类活动的影响与扰动.有研究指出,人为扰动会影响沉积物的有机质含量、含水量和通气透水性,从而改变小型底栖动物的生存环境^[4].华尔等^[37]的研究发现,旅游旺季的中潮带小型底栖动物丰度不仅低于旅游淡季,甚至低

于高潮带,表明旅游扰动会引起中潮带小型底栖动物数量的减少。本研究中火山岛、湄洲岛和海坛岛沙滩断面的小型底栖动物丰度在旅游旺季期间在不同潮带间的分布差异较大。此外,Gheskiere等^[39]的研究指出:沙滩垃圾和海藻清理会引起沉积物中有机质含量降低,这是旅游沙滩小型底栖动物丰度低于非旅游沙滩的主要原因;同时,清理过程中对沙滩的过度扰动也会降低小型底栖动物的丰度。本研究中火山岛和湄洲岛断面均位于管理完善的热门旅游景点,景区工作人员对沙滩的定时清理管护可能在一定程度上影响了小型底栖动物丰度。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] SCHRATZBERGER M, INGELS J. Meiofauna matters: the roles of meiofauna in benthic ecosystems[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2018, 502: 12-25.
- [4] BALSAMO M, SEMPRUCCI F, FRONTALINI F, et al. Meiofauna as a tool for marine ecosystem biomonitoring [M]// Marine ecosystems. Rijeka: InTech, 2012: 77-104.
- [5] BARNES N, BAMBER R N, BENNELL G, et al. Assessment of regional and local biodiversity in tropical and subtropical coastal habitats in the East African marine ecoregion[J]. Biodiversity and Conservation, 2011, 20(10): 2075-2109.
- [6] GOMES T P, ROSA FILHO J S. Composition and spatio-temporal variability of meiofauna community on a sandy beach in the Amazon region (Ajuruteua, Para, Brazil)[J]. Iheringia Série Zoologia, 2009, 99(2): 210-216.
- [7] KRAMER T, OLIVEIRA D, AND P, et al. Meiofauna community structure variability in a Brazilian tropical sandy beach[J]. Therapie Der Gegenwart, 2006, 28(5): 117-127.
- [8] PAVLYUK O N, TREBUKHOVA Y A. Intertidal meiofauna of Jeju Island, Korea[J]. Ocean Science Journal, 2011, 46(1): 1-11.
- [9] 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.
- [10] RIERA R, NUNEZ J, DEL C B M, et al. Temporal variability of a subtropical intertidal meiofaunal assemblage: contrasting effects at the species and assemblage-level [J]. Vie Et Millieu, 2011, 61(3): 129-137.
- [11] MANTHA G, MOORTHY M S N, ALTAFF K, et al. Seasonal shifts of meiofauna community structures on sandy beaches along the Chennai coast, India [J]. Crustaceana, 2012, 85(1): 27-53.
- [12] OMENA E P, LAVRADO H P, PARANHOS R, et al. Spatial distribution of intertidal sandy beach Polychaeta along an estuarine and morphodynamic gradient in an eutrophic tropical bay [J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(9): 1861-1873.
- [13] MARIA T F, SILVA M G, SOUZA T P, et al. Is the vertical distribution of meiofauna similar in two contrasting microhabitats? A case study of a macrotidal sandy beach[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2018, 502: 39-51.
- [14] 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.
- [15] 杜永芬, 徐奎栋, 类彦立, 等. 青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 431-440.
- [16] 刘海滨. 青岛太平湾砂质潮间带小型底栖生物群落结构与多样性的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007: 1-161.
- [17] 范士亮, 刘海滨, 张志南, 等. 青岛太平湾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1): 98-104.
- [18] 丛冰清. 舟山砂质潮间带小型底栖生物空间分布及季节动态[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 1-112.
- [19] 张婷. 厦门典型沙滩小型底栖动物生态学的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 1-69.
- [20] HUA E, ZHANG Z N, ZHOU H, et al. Meiofauna distribution in intertidal sandy beaches along China shoreline (18°-40° N)[J]. Journal of Ocean University of China, 2016, 15(1): 19-27.
- [21] GHESKIERE T, VINCX M, WESLAWSKI J M, et al. Meiofauna as descriptor of tourism-induced changes at sandy beaches [J]. Marine Environmental Research, 2005, 60(2): 245-265.
- [22] HIGGINS R P, THIEL H. Introduction to the study of meiofauna[M]. Washington DC: Smithsonian Institution Press, 1988: 126-145.
- [23] PLATT H M, WARWICK R M. Free-living marine nematodes. Part I British enoplids [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983: 307.
- [24] HIGGINS R P. Tardigrada of the Chesapeake bay[J]. Chesapeake Science, 1972, 13(1): S103-S104.
- [25] RENAUD-MORNANT J, POLLOCK LW. A review of the systematics and ecology of marine Tardigrada[J]. Smithsonian Contrib Zool, 1971, 76: 109-117.
- [26] WYNBERG R P, BRANCH G M. Disturbance associated

- with bait-collection for sandprawns (*Callinassa kraussi*) and mudprawns (*Upogebia africana*): long-term effects on the biota of intertidal sandflats[J]. *Journal of Marine Research*, 1994, 52(3): 523-558.
- [27] BLOME D, SCHLEIER U, VAN BERNEM K H. Analysis of the small-scale spatial patterns of free-living marine nematodes from tidal flats in the East Frisian Wadden Sea[J]. *Marine Biology*, 1999, 133(4): 717-726.
- [28] BOADEN P J S. Where Turbellaria? Concerning knowledge and ignorance of marine turbellarian ecology [J]. *Hydrobiologia*, 1995, 305(1/2/3): 91-99.
- [29] MARTENS P M, SCHOCKAERT E R. The importance of Turbellarians in the marine meiobenthos: a review [J]. *Hydrobiologia*, 1986, 132(1): 295-303.
- [30] RIEGER R M. 100 years of research on "Turbellaria" [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 383(1/2/3): 1-27.
- [31] ALBUQUERQUE E F, PINTO A P B, DALCÂNTARA DE QUEIROZ PEREZ A, et al. Spatial and temporal changes in interstitial meiofaunal on a sandy ocean beach of South America[J]. *Brazilian Journal of Oceanography*, 2007, 55(2): 121-131.
- [32] 韦晓慧, 慕芳红, 杨世超, 等. 青岛薛家岛砂质潮间带小型底栖生物丰度和生物量[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2013, 43(10): 60-66.
- [33] HARRIS R P. The distribution and ecology of the interstitial meiofauna of a sandy beach at Whitsand Bay, East Cornwall [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 1972, 52(1): 1-18.
- [34] FEDER H M, PAUL A J. Seasonal trends in meiofaunal abundance on two beaches in Port Valdez, Alaska[J]. *Syesis*, 1980, 13: 27-36.
- [35] GIERE O. Meiobenthology: the microscopic fauna in aquatic systems[M]. Berlin: Springer Verlag, 1993: 243-266.
- [36] HUSTON M. A general hypothesis of species diversity [J]. *The American Naturalist*, 1979, 113(1): 81-101.
- [37] 华尔, 林佳宁, 冯颂, 等. 踩踏对砂质滩小型底栖动物的影响: 现场扰动实验初步结果[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2010, 40(10): 63-68, 78.
- [38] GHESKIERE T, HOSTE E, VANAUVERBEKE J, et al. Horizontal zonation patterns and feeding structure of marine nematode assemblages on a macrotidal, ultra-dissipative sandy beach (De Panne, Belgium)[J]. *Journal of Sea Research*, 2004, 52(3): 211-226.

Differences of meiofaunal abundances and distributions in the sandy beaches of four main islands in Fujian Province

CHEN Yuzhen^{1,2}, GUO Yuqing^{1*}, LIU Aiyuan³

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. The Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China; 3. Library, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Meiofaunal samples were collected from sandy beaches of the Dongshan Island and the Huoshan Island in Zhangzhou City, the Meizhou Island in Putian City, and the Haitan Island in Pingtan comprehensive pilot zone in Fujian Province during 2012 to 2014. The results show that 14 meiofaunal assemblages were identified at the four sampling sites, including Nematoda, Copepoda, Polychaeta, Oligochaeta, Gastrotricha, Halacaroida, Turbellaria, Rotifera, Ostracoda, Collembola, Tardigrada, Amphipoda, Kinorhyncha and aquatic insect, as well as other unidentified species and Nauplii. The annual meiofaunal abundance at the Dongshan sampling site ($(973.93 \pm 760.79)/(10 \text{ cm}^2)$) was greater than that at the Haitan sampling site ($(810.87 \pm 696.75)/(10 \text{ cm}^2)$), followed by that at the Meizhou sampling site ($(276.80 \pm 335.31)/(10 \text{ cm}^2)$) and that at the Huoshan sampling site ($(189.86 \pm 147.07)/(10 \text{ cm}^2)$). There were more meiofaunal assemblages and higher abundance in spring and summer, while fewer meiofaunal assemblages and lower abundance in autumn and winter. The Haitan and Dongshan sampling sites had the most meiofaunal assemblages, while the Meizhou sampling site had the fewest. The richness and diversity indices were the highest at the Huoshan sampling site, while the lowest at the Meizhou sampling site. Similarity analysis indicated that the meiofaunal community structure differed significantly among areas and seasons, and the main contributing species to the difference among areas were Nematoda, Turbellaria and Gastrotricha.

Keywords: meiofauna; sandy beach; abundance; distribution