

广州南沙十四涌潮间带三种生境的大型底栖动物群落比较*

黄睿婧 蔡立哲** 叶洁琼 周细平 刘莎 许鹏 彭欣 曹婧

(厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005)

摘要 为了解广州南沙十四涌潮间带大型底栖动物的群落结构,于2007和2008年在十四涌潮间带选择光滩、海桑(*Sonneratia*)和茳芩(*Cyperus malaccensis*)3种生境进行大型底栖动物调查。对4个季度定量取样获得的大型底栖动物群落结构和差异进行比较分析,结果表明:从种数、平均生物量和丰度指数上看,茳芩生境最多,光滩第二,海桑生境最少;从大型底栖动物平均密度、种类多样性指数和均匀性指数上看,光滩最高,茳芩第二,海桑生境最低。ANOVA分析表明,3种生境间大型底栖动物的物种数、密度均呈显著差异,但生物量无显著差异。非度量多维标序(MDS)和聚类分析表明,冬季光滩和茳芩生境的大型底栖动物群落比较相似;3种生境的春季和夏季大型底栖动物群落比较相似。同时对3种生境间群落组成和数量差异的原因进行了探讨。

关键词 大型底栖动物群落; 生境; 潮间带; 广州南沙

中图分类号 Q958 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2010)6-1187-06

Macrofaunal community at three habitats in the 14th Yong intertidal zone of Nansha, Guangzhou. HUANG Ruijing CAI Lizhe YE Jieqiong ZHOU Xiping LIU Sha XU Peng PENG Xin CAO Jing (College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(6): 1187-1192

Abstract In order to understand the community structure of macrofauna in the 14th Yong intertidal zone of Nansha, Guangzhou, an investigation was made at three different habitats, i.e., bare tidal flat, *Sonneratia* habitat, and *Cyperus malaccensis* habitat from 2007 to 2008, with the seasonal variations of the macrofaunal community structure at the habitats compared and analyzed. The species number, average biomass, and species richness index (d) in four seasons were all the highest at *C. malaccensis* habitat, the second at bare tidal flat, and the lowest at *Sonneratia* habitat, while the average density, species diversity index (H'), and evenness index (J) were the highest at bare tidal flat, the second at *C. malaccensis* habitat, and the lowest at *Sonneratia* habitat. ANOVA analysis showed that there was a significant difference in the species number and density among the habitats, but no significant difference in the biomass. MDS and cluster analysis showed that in spring and summer, the macrofaunal community at the three habitats was similar, but in winter, only the macrofaunal community at bare tidal flat and *C. malaccensis* habitat was similar. The causes for the differences in species composition and quantity among the three habitats were discussed.

Key words macrofaunal community; habitat; intertidal zone; Nansha of Guangzhou

潮间带是湿地生态系统的一个重要类型,处于海陆过渡地带,由于人类生产开发活动频繁,且海陆

环境因子交替作用,物质交换也复杂多变,因此潮间带生态学的研究一直备受关注(周时强等,2001;朱四喜等,2008)。潮间带最显著的特点是潮汐的规律性涨落,底质时而淹没时而裸露,生境类型多样化,因此人类活动的影响也十分显著。有关潮间带

* 国家自然科学基金重点资助项目(30930017)。

** 通讯作者 E-mail: cailizhe@xmu.edu.cn

收稿日期:2009-11-23 接受日期:2010-03-24

生物的研究比较多,但此前的研究主要集中在对生物种类调查,生物群落结构以及与环境因子之间相关关系等方面(战国强,2008;张敬怀等,2009),对不同生境间大型底栖动物群落结构的差异性研究较少。近年来,已有学者将潮间带红树林与互花米草间底栖生物群落结构进行比较,如不同互花米草密度生境中大型底栖动物群落格局(洪荣标等,2005;赵永强等,2009),不同发育时间的互花米草盐沼对大型底栖动物群落的影响(谢志发等,2008)等。

广州南沙区位于广州市的东南部,东邻狮子洋,与东莞隔洋相望;西临洪奇沥水道,与中山市相邻;南濒珠江入海口,是广州通向海洋的通道。南沙地区总面积为 59719 km²,其中陆地面积为 336.5 km²,水域面积为 261.4 km²。其间水网密布,河涌纵横,有曲折的海岸线和围垦地,形成生态类型多样,面积广大的湿地(李玟等,2009;许文安等,2009)。有关广州南沙湿地潮间带底栖生物的研究尚未报道,但附近海域已有相关的报道,如珠江口底栖生态学研究(黄洪辉等,2002),珠江口伶仃水道浮游生物及底栖动物群落特征分析(刘玉等,2001)等。本研究以广州南沙十四涌潮间带光滩、海桑和茳芏 3 种生境的大型底栖动物群落为研究对象,比较了 3 种生境大型底栖动物群落结构,以期对广州南沙湿地资源的合理保护和可持续利用提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

新垦镇地处南沙区,属亚热带海洋性季风气候,气候温暖,夏季长,冬季短,年均气温 21.8℃,最冷月平均气温达 13.3℃,7月平均气温 29℃,年无霜期长达 346 d 雨量充沛,年均降水量 1650 mm,年均日照时数 2000 h(常弘等,2007)。新垦镇湿地公园内湿地生物种类繁多,多样性非常丰富,拥有湿地植物 318 种,为底栖生物提供了良好的生存环境,同时也成为亚洲重要的鸟类越冬区(常弘等,2006;管伟等,2008),具有不可多得的生态功能。本研究大型底栖动物的采集选择在新垦湿地公园内十四涌的潮间带上(图 1)。由于十四涌低潮带没有红树林和茳芏,因此选择了中、高潮带的光滩、海桑和茳芏 3 种生境进行大型底栖动物采集。3 种生境的底质均为泥沙滩涂,泥多沙少,但海桑沉积物较光滩和茳芏沉积物硬;盐度低,采集时测得 3 种生境底质表层水的盐度范围在 0~7,冬季较高,夏季几乎是淡



图 1 广州南沙十四涌红树林湿地各取样站分布示意图
Fig 1 Sampling stations in 14th Yong mangrove area, Nansha, Guangzhou

水。光滩表面常见圆形的洞穴口,海桑林为海桑和无瓣海桑的混交林,树高一般在 3~5 m,茳芏高 0.6~1 m。

1.2 采样方法

分别于 2007 年 2 月、2007 年 8 月、2008 年 5 月、2008 年 11 月(分别代表冬、夏、春、秋)对十四涌潮间带的光滩、海桑和茳芏 3 种生境进行大型底栖生物定量采集。每种生境各设 5 个样方,每个样方面积为 25 cm × 25 cm,取样深度为 30 cm,挖取的沉积物放进塑料袋,带到岸边分选。分选沉积物和底栖动物时采用 0.5 mm 孔目的网筛过滤,所获得的大型底栖动物用 5% 福尔马林固定,并带回实验室内分类、计数和称量。大型底栖动物分选、固定和记录等按照《海洋调查规范》(国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会,2007b)和《海洋监测规范》(国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会,2007a)的方法进行。

1.3 数据分析

Margalef 种类丰度指数 (d) (Margalef 1958):

$$d = (S - 1) / \log_2 N$$

Shannon-Wiener 物种多样性指数 (H') (Shannon & Wiener 1963):

$$H' = - \sum (N_i / N) \log (N_i / N)$$

Pielou 物种均匀度指数 (J) (Pielou 1966):

$$J = H' / \log_2 S$$

式中: S 为总种数; N 为观察到的个体总数; N_i 为第 i 个样品中观察到的个体数。

采用 SPSS 13.0 软件对不同生境内大型底栖动物群落的平均密度和平均生物量进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)。采用 PRIMER 5.2 软件将大型底栖动物的密度数据经四次方根转化进行标准化

处理后, 进行等级聚类分析 (Cluster) 和非度量多维标序 (简称 MDS)。

2 结果与分析

2.1 3种生境大型底栖动物的物种数、密度和生物量

4个季度在3种生境共获得大型底栖动物29种。其中, 多毛类9种, 甲壳类8种, 腹足类4种, 双壳类3种, 昆虫类2种, 纽形动物、寡毛类和底栖鱼类各1种(表1)。

从周年获得的物种数看, 荳荳生境获得的大型底栖动物物种数最多, 为23种, 其次是光滩, 22种, 海桑最少, 仅16种; 从季节变化看, 光滩和海桑生境物种数均是冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季, 而荳荳是冬季 > 夏季 > 秋季 > 春季(图2)。ANOVA分析表明, 3种生境之间, 季节之间以及二者合计之间的大型底栖动

表1 广州南沙十四涌大型底栖动物种类组成
Tab 1 Species composition of macrobenthos community in 14th Yong Nansha, Guangzhou

类群	中文学名	拉丁学名	光滩	海桑	荳荳
纽虫	脑纽虫	<i>Cerebraulina</i> sp.	+		+
多毛类	茜贝才女虫	<i>Polydora ciliata</i>	+	+	+
	三角洲双须虫	<i>Eteone delata</i>	+		+
	寡鳃齿吻沙蚕	<i>Nephtys oligobranchia</i>	+	+	+
	加州中蚓虫	<i>Mediomastus californiensis</i>		+	+
	尖刺纓虫	<i>Potamilla acuminata</i>	+		+
	疣吻沙蚕	<i>Tylosorhynchus heterochaetus</i>	+	+	+
	羽须鳃沙蚕	<i>Dendronereis pinnaticirris</i>	+		+
	溪沙蚕	<i>Namalycaeus aibumia</i>	+	+	+
	稚齿虫	<i>Priocirrus</i> sp.	+	+	
	寡毛类	沼蚓	<i>Limnodriloides</i> sp.	+	+
腹足类	短拟沼螺	<i>Assinea brevicula</i>	+	+	+
	光滑狭口螺	<i>Stenothyra glabra</i>	+		+
	斜肋齿蛭	<i>Semyla riqueti</i>	+		
双壳类	扁蛭螺	<i>Gyraulus compressus</i>	+		
	缢蛭	<i>Sinonovacula constricta</i>	+		
	尖刀蛭	<i>Cultellus scaprum</i>	+		+
甲壳类	河蚶	<i>Corbicula fluminea</i>	+	+	+
	上野螺赢蜚	<i>Corophium uenoi</i>	+	+	+
	弯指铲钩虾	<i>Listriella curidactyla</i>	+	+	
	平掌拟钩虾	<i>Gammaropsis laevipalmata</i>			+
	莫顿长尾虾	<i>Apsedus mortoni</i>	+		+
	日本拟背尾水虱	<i>Parranthurus japonica</i>	+	+	
	四齿大颚蟹	<i>Metopograpsus latifrons</i>		+	+
	太平大眼蟹	<i>Macrophthalmus pacificus</i>	+	+	+
泥蟹	<i>Ilyoplax</i> sp.			+	
昆虫类	致倦库蚊	<i>Culex fatigans</i>		+	+
	隐摇蚊	<i>Cryptohironomus</i> sp.	+	+	
底栖鱼类	弹涂鱼	<i>Periophthalmus cantonensis</i>			+

“+”表示在该生境发现此生物。

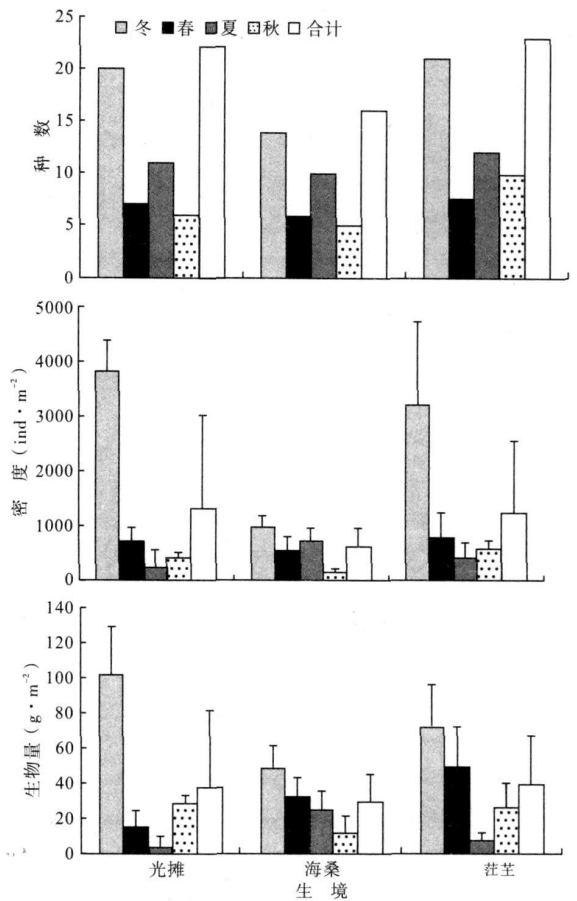


图2 广州南沙十四涌3种生境的大型底栖动物不同季节的物种数、密度、生物量变化

Fig 2 Seasonal variation of macrofaunal species density and biomass at three habitats in 14th Yong Nansha, Guangzhou

物物种数均有显著差异(生境: $F_{2,60} = 12.518, P < 0.001$; 季节: $F_{3,60} = 41.347, P < 0.001$; 二者合计: $F_{6,60} = 4.601, P < 0.05$)。

从周年平均密度看, 光滩最高, 为 $1318 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 其次是荳荳, 为 $1274 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 海桑最低, 仅 $610 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$; 从季节变化看, 光滩和荳荳生境密度均是冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季, 而海桑是冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季(图2)。ANOVA分析表明, 3种生境之间、季节之间以及二者合计之间的大型底栖动物密度均有显著差异(生境: $F_{2,60} = 11.931, P < 0.001$; 季节: $F_{3,60} = 66.798, P < 0.001$; 二者合计: $F_{6,60} = 11.181, P < 0.001$)。

从周年大型底栖动物平均生物量看, 荳荳最高, 为 $39.40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其次是光滩, 为 $37.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 海桑最低, 仅 $29.79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 从季节变化看, 3种生境大型底栖动物生物量的季节变化各不相同(图2)。

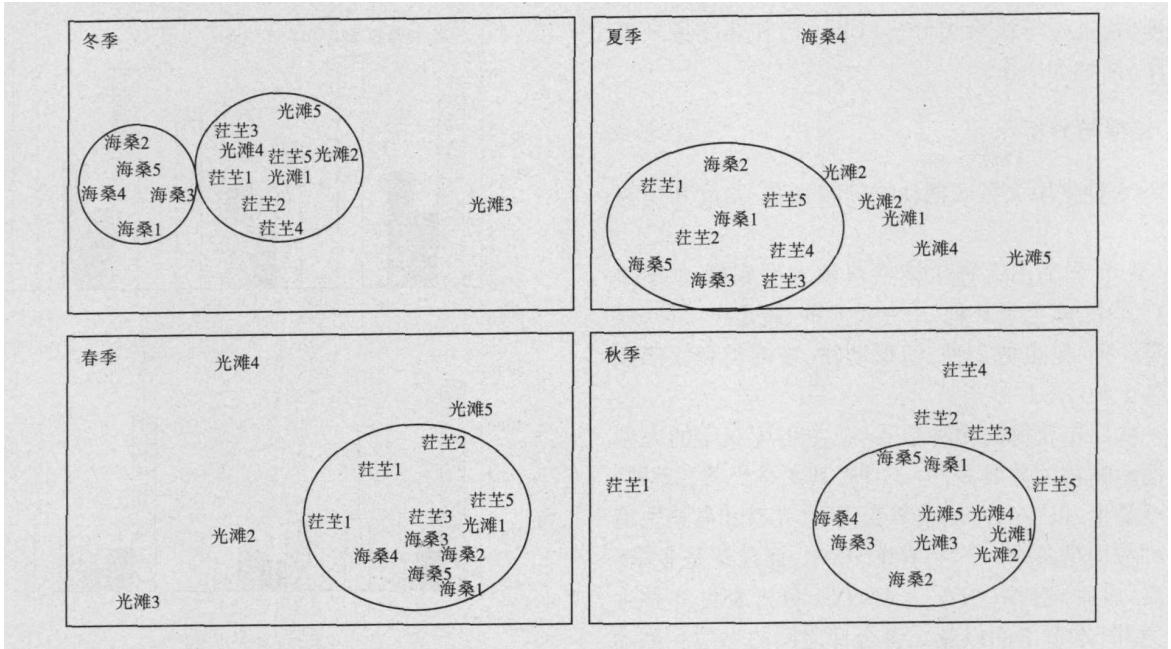


图 3 广州南沙十四涌 3 种生境大型底栖动物群落的 MDS 标序
 Fig 3 MDS ordination of macrofauna community at three habitats in 14th Yong Nansha Guangzhou

ANOVA 分析表明, 3 种生境之间大型底栖动物生物量没有显著差异 ($F_{2,60} = 2.417, P > 0.05$), 季节之间以及生境和季节二者合计之间的大型底栖动物生物量均有显著差异 (季节: $F_{3,60} = 50.668, P < 0.001$; 二者合计: $F_{6,60} = 8.333, P < 0.001$)。

2.2 3 种生境大型底栖动物群落结构相似性的比较

非度量多维标序 (MDS) 分析表明, 冬季光滩和荳苳的大型底栖动物群落结构比较相似, 与海桑差异较大 (图 3a)。夏季海桑和荳苳的大型底栖动物群落比较相似, 与光滩差异较大 (图 3b), 这是因为光滩有密度较高的寡鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys oligobranchia*), 而在荳苳没有发现寡鳃齿吻沙蚕, 在海桑生境只发现少量寡鳃齿吻沙蚕。春季海桑与荳苳生

境的大型底栖动物群落结构比较相似 (图 3c)。秋季 3 种生境的大型底栖动物群落结构比较相似 (图 3d)。等级聚类分析表明, 冬季光滩和荳苳生境的大型底栖动物群落比较相似, 它们首先聚合; 3 种生境的春季和夏季大型底栖动物群落比较相似, 它们分别先聚合 (图 4)。

2.3 3 种生境大型底栖动物的多样性和丰度指数

3 种生境的大型底栖动物群落的种类多样性指数和均匀性指数年均值均是光滩最高, 荳苳生境第二, 海桑生境最低 (表 2)。丰度指数年均值荳苳生境最高, 为 1.257, 其次是光滩, 为 1.059, 海桑最低, 为 0.784。3 种生境的大型底栖动物群落的种类多样性指数、均匀性指数和丰度指数的季节变化各不相同, 但 3 种生境的丰度指数均是冬季最高。

表 2 广州南沙十四涌 3 种生境的大型底栖动物种类多样性指数、均匀度指数和丰度指数
 Tab 2 Species diversity index, evenness index and species richness index of macrofauna at three habitats in 14th Yong Nansha, Guangzhou

生境及参数	光 滩			海 桑			荳 苳		
	Shannon-W iever 多样性指数	Piebu 均匀度指数	Margalef 丰度指数	Shannon-W iever 多样性指数	Piebu 均匀度指数	Margalef 丰度指数	Shannon-W iever 多样性指数	Piebu 均匀度指数	Margalef 丰度指数
冬季	3.011	0.722	1.505	1.606	0.448	1.299	2.307	0.543	1.864
春季	2.536	0.800	1.110	1.784	0.768	0.487	2.209	0.787	0.779
夏季	2.654	0.837	0.974	1.787	0.637	0.759	2.363	0.711	1.096
秋季	1.327	0.513	0.648	1.741	0.750	0.592	2.475	0.715	1.289
平均	2.382	0.718	1.059	1.730	0.651	0.784	2.339	0.689	1.257

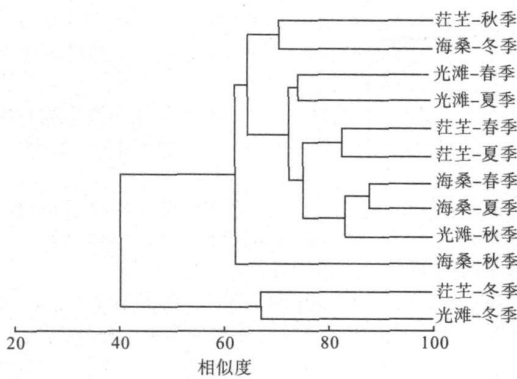


图 4 广州南沙十四涌 3 种生境大型底栖动物群落的聚类分析

Fig 4 Cluster analysis of macrofaunal community at three habitats in 14th Yong Nansha, Guangzhou

3 讨论

3.1 3 种生境大型底栖动物群落差异

冬季海桑生境的大型底栖动物群落与光滩的差异主要表现在海桑生境缺少凿贝才女虫 (*Polydora ciliata*)、三角洲双须虫 (*Eteone delta*) 等多毛类以及尖刀蛭 (*Cultellus scaprum*)、河蚬 (*Corbicula fluminea*)、缢蛭 (*Sinonovacula constricta*) 等双壳类; 茳茳生境的大型底栖动物群落与光滩的不相似性主要表现在茳茳生境尖刀蛭和河蚬等埋栖性双壳类较少, 这与海桑林和茳茳的很多根系不利于双壳类生长有关。郑荣泉等 (2006) 对乐清湾红树林和光滩大型底栖动物群落比较研究表明, 红树林中未发现缢蛭。夏季在光滩没有发现疣吻沙蚕 (*Tylorhynchus heterochaetus*), 优势种太平大眼蟹 (*Macrophthalmus pacificus*) 的密度也比较少, 这可能与夏季光照强度比较大有关。由于夏季光强, 沙蚕 (*Nereis diversicolor*) 在往往向具有良好遮阴效果的地区迁移 (Meziane & Retière 2001)。红树林具有良好的遮荫效果, 夏季遮荫效果可达到 64.98%, 是其他季节的 4 倍以上 (管伟等, 2008)。疣吻沙蚕生活在海桑林和茳茳下, 可以避免强光照射。与海桑和茳茳相比, 光滩的寡鳃齿吻沙蚕密度较高的, 这可能与其个体较小有关。同时疣吻沙蚕的减少使得寡鳃齿吻沙蚕少了食物和空间的竞争对手, 增强了繁殖能力。春季是海桑和茳茳的大型底栖动物群落比较相似, 主要是在光滩没有发现寡毛类, 而在海桑和茳茳有寡毛类, 这可能由于海桑的凋落叶和茳茳的枯草有利于寡毛类的栖息。秋季 3 种生境的大型底栖动物群落差异比

较小, 可能的主要原因是各生境的种类均不多, 而且潮差较大, 潮流比较急, 容易带走一些光滩底表栖息的底栖动物如短拟沼螺 (*Assinea brevicula*) 和光滑狭口螺 (*Stenothyra glabar*) 等。

3.2 3 种生境大型底栖动物数量差异

3 种生境的大型底栖动物物种数和丰度指数均是冬季最多或最高, 其原因是一些多毛类和甲壳类在冬季被采集到且密度较高, 如冬季光滩采集到密度较高的多毛类的凿贝才女虫、三角洲双须虫和甲壳类的上野螺赢蜚 (*Corophium uenoi*)、弯指铲钩虾 (*Listriella curidactyla*), 在其他季节密度较少甚至没有被采集到。

广州南沙十四涌潮间带光滩和茳茳生境的大型底栖动物密度显著高于海桑生境, 这种结果与一些研究结果一致, 如, 九龙江口互花米草区底栖动物的栖息密度比红树林区高 (洪荣标等, 2005), 又如, 非红树林区普通滩涂的大型底栖动物密度高于红树林区 (高世和李复雪, 1985; 何明海等, 1993)。

广州南沙十四涌的大型底栖动物年平均生物量, 茳茳最高, 为 $39.40 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 其次是光滩, 为 $37.82 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; 海桑最低, 仅 $29.79 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。但 ANOVA 分析表明, 3 种生境之间大型底栖动物生物量无显著差异。这可能与优势种有关, 3 种生境的大型底栖动物优势种均有太平大眼蟹, 它在大型底栖动物生物量中占的比例比较高且 4 次定量取样密度均较高, 而其他密度优势种如上野螺赢蜚和寡毛类的沼蚓 (*Limnodriloides* sp.), 虽然有明显的季节变化, 但它们个体小, 对大型底栖动物总生物量贡献很小。优势度和相对重要值的季节性变化主要与大型底栖动物的繁殖周期有关 (安传光等, 2007)。多毛类在冬、春季繁殖产生大量幼体, 相对重要值最大; 夏、秋季腹足类和双壳类繁殖, 相对重要值高。

3.3 与邻近海域潮间带大型底栖动物比较

广州南沙十四涌潮间带大型底栖动物年平均栖息密度 ($1067.47 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 比大亚湾潮间带的 ($1033.77 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) (梁超愉等, 2005) 略高, 这是因为在广州南沙十四涌潮间带的采样仅局限在中潮带, 而大亚湾取样范围比较广。但广州南沙十四涌潮间带大型底栖动物年平均生物量 ($35.67 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) 比大亚湾潮间带的 ($1954.26 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) (梁超愉等, 2005) 低很多, 这是因为广州南沙十四涌潮间带大型底栖动物生物量的优势类群为甲壳类和多毛类, 而大亚湾生物量的优势类群为软体动物, 软体动

物带壳,个体质量大。与深圳湾潮间带大型底栖动物(平均密度和生物量分别为 $4673 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $197.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) (蔡立哲等, 1998 Cai *et al.*, 2001), 广东闸坡潮间带(总平均密度和生物量分别为 $3929.93 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $7420.92 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) (朱四喜等, 2008)相比,广州南沙十四涌大型底栖动物栖息密度和生物量均低得多,原因是深圳湾潮间带优势种呈现很高的种群密度(蔡立哲等, 1998; 厉红梅等, 2003; 高阳等, 2004), 广东闸坡潮间带优势类群为软体动物和甲壳类, 这些类群的个体生物量均比较高(朱四喜等, 2008)。同时,潮间带生境的大型底栖动物生物量与盐度、底质等环境因子正相关(Fujii 2007; Lee 2008)。与珠江口潮下带大型底栖动物(黄洪辉等, 2002)比较,广州南沙十四涌潮间带大型底栖动物平均密度和生物量均比较高,原因是潮下带采泥样获得的底栖动物一般为体形较小、活动能力较弱的种类,如光滑河蓝蛤(*Potamoecorbula laevis*)。

参考文献

- 安传光, 赵云龙, 林 凌, 等. 2007. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究. 水产学报, **31** (增刊): 52–58
- 蔡立哲, 周时强, 林 鹏. 1998. 深圳湾福田潮间带泥滩大型底栖动物群落生态特点. 中国湿地研究和保护. 上海: 华东师范大学出版社.
- 常 弘, 陈仁先, 粟 娟, 等. 2007. 广州新垦红树林湿地鸟类多样性和生境分析. 四川动物, **26**(3): 561–565.
- 常 弘, 粟 娟, 廖宝文, 等. 2006. 广州新垦红树林湿地鸟类多样性动态研究. 生态科学, **15**(1): 4–7.
- 高 阳, 蔡立哲, 马 丽, 等. 2004. 深圳湾福田红树林潮滩大型底栖动物的垂直分布. 台湾海峡, **23**(1): 76–81.
- 高世和, 李复雪. 1985. 九龙江口红树林区底栖大型底栖生物群落生态. 台湾海峡, **4**(2): 179–191.
- 管 伟, 廖宝文, 林梨扬, 等. 2008. 广州南沙人工红树林湿地小气候效应研究. 生态科学, **27**(2): 95–101.
- 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 2007a. 海洋监测规范(第7部分: 近海污染生态调查和生物监测)(GB 17378.7–2007). 北京: 中国标准出版社.
- 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 2007b. 海洋调查规范(第6部分: 海洋生物调查)(GB/T 12763.6–2007). 北京: 中国标准出版社.
- 何明海, 蔡尔西, 徐惠州, 等. 1993. 九龙江口红树林区底栖生物生态. 台湾海峡, **12**(1): 61–68.
- 洪荣标, 吕晓梅, 陈 岚, 等. 2005. 九龙江口红树林湿地与米草湿地的底栖生物. 台湾海峡, **24**(2): 189–194.
- 黄洪辉, 林燕棠, 李厚纯, 等. 2002. 珠江口底栖生态学研究报告. 生态学报, **22**(4): 603–607.
- 李 玟, 陈桂珠, 彭友贵. 2009. 广州南沙湿地生物多样性现状及其保护. 防护林科技, (3): 46–48.
- 厉红梅, 李适宇, 蔡立哲. 2003. 深圳湾潮间带底栖动物群落与环境因子的关系. 中山大学学报(自然科学版), **42**(5): 93–96.
- 梁超愉, 张汉华, 吴进锋. 2005. 大亚湾潮间带生物种类组成、数量分布及生物多样性研究. 南方水产, **1**(3): 42–48.
- 刘 玉, 李适宇, 董燕红, 等. 2001. 珠江口伶仃水道浮游生物及底栖动物群落特征分析. 中山大学学报(自然科学版), **40**(2): 114–118.
- 谢志发, 何文珊, 刘文亮, 等. 2008. 不同发育时间的互花米草盐沼对大型底栖动物群落的影响. 生态学杂志, **27**(1): 63–67.
- 许文安, 胡喻华, 曾绮微, 等. 2009. 广州南沙区湿地现状和保护策略. 湿地科学与管理, **5**(3): 41–43.
- 战国强. 2008. 珠江口红树林湿地保护与修复的基本思路. 广州林业科技, **24**(6): 70–74.
- 张敬怀, 高 阳, 方宏达, 等. 2009. 珠江口大型底栖生物群落生态特征. 生态学报, **29**(6): 2989–2999.
- 赵永强, 曾江宁, 陈全震, 等. 2009. 不同互花米草密度生境中大型底栖动物群落格局. 自然资源学报, **24**(4): 630–639.
- 郑荣泉, 葛宝明, 张永普, 等. 2006. 乐清湾红树林和光滩大型底栖动物群落比较研究. 生态科学, **25**(4): 299–302.
- 周时强, 郭 丰, 吴荔生, 等. 2001. 福建海岛潮间带底栖生物群落生态的研究. 海洋学报, **23**(5): 104–109.
- 朱四喜, 杨红丽, 朱 臣. 2008. 广东闸坡潮间带大型底栖动物的群落特征. 浙江海洋学院学报(自然科学版), **27**(1): 22–27.
- Cai LZ, Lin JD, Li HM. 2001. Macroinfauna communities in organic rich mudflat at Shenzhen and Hong Kong. China *Bulletin of Marine Science*, **69**: 1129–1138.
- Fujii T. 2007. Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber Estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **75**: 101–119.
- Lee SY. 2008. Mangrove macrobenthos Assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, **59**: 16–29.
- Mangalef DR. 1958. Information theory in ecology. *General System*, **3**: 36–71.
- Meziane T, Retière C. 2001. Role of biotic interactions on seasonal migrations of the macrozoobenthos living in the upper tidal flat of the Mont-Saint-Michel Bay, France. *Oceanologica Acta*, **24**: 1–7.
- Piebu E. 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, **10**: 370–383.
- Shannon CE, Wiener W. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.

作者简介 黄睿婧,女,1985年生,硕士。主要从事环境生态学方面的研究。E-mail khnn@163.com
责任编辑 刘丽娟