

Doi :10.11840/j.issn.1001-6392.2014.05.003

# 泉州湾蟳埔潮间带大型底栖动物功能群研究

李想<sup>1</sup>, 蔡立哲<sup>1,2</sup>, 卓异<sup>1</sup>, 郭涛<sup>1</sup>, 饶义勇<sup>1</sup>, 颜露露<sup>1</sup>, 傅素晶<sup>1</sup>, 陈昕韡<sup>1</sup>

(1. 厦门大学 环境与生态学院, 福建 厦门 361102; 2. 厦门大学 滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 福建 厦门 361102)

**摘要:** 为了比较不同生境的大型底栖动物功能群, 根据在泉州湾蟳埔潮间带 3 种生境类型获得的大型底栖动物数据进行了分析。2011 年 4 月-至 2012 年 1 月在泉州湾蟳埔潮间带获得大型底栖动物 101 种, 其中浮游生物食者 (Pl)、植食者 (Ph)、肉食者 (C)、杂食者 (O) 和碎屑食者 (D) 物种数分别为 21 种、18 种、21 种、26 种和 15 种。光滩 (沙滩)、互花米草和牡蛎石三种生境大型底栖动物物种数、平均栖息密度、平均生物量、多样性指数的优势功能群多样化, 表明泉州湾蟳埔潮间带大型底栖动物功能群的复杂化和多样化, 这种特征是潮汐、生境、底质粒径等环境因子共同作用的结果。潮汐导致潮间带的空间异质性 (沉积物粒径的差异), 空间异质性导致大型底栖动物功能群组成的差异。互花米草、牡蛎石构成了多种小生境, 有利于众多大型底栖动物的栖息。还讨论了大型底栖动物物种鉴定水平和功能群划分标准不同对功能群研究结果的影响。

**关键词:** 大型底栖动物; 功能群; 潮间带; 泉州湾

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 1001-6932(2014)05-0497-08

## Functional groups of macrofauna in Xunpu intertidal zone, Quanzhou Bay

LI Xiang<sup>1</sup>, CAI Li-zhe<sup>1,2</sup>, ZHUO Yi<sup>1</sup>, GUO Tao<sup>1</sup>, RAO Yi-yong<sup>1</sup>,  
YAN Lu-lu<sup>1</sup>, FU Su-jing<sup>1</sup>, CHEN Xin-wei<sup>1</sup>

(1. College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2. Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

**Abstract:** To study the functional groups of macrofauna in different biotopes, we analyzed the macrofauna data in three biotopes in Xunpu intertidal zone, Quanzhou Bay. A total of 101 benthic macrofauna were got. We divided the macrofauna into five functional groups, namely planktophagous group (Pl), phytophagous group (Ph), carnivorous group (C), omnivorous group (O) and detritivorous group (D). The species number of Pl, Ph, C, O and D was 21, 18, 21, 26 and 15 respectively. Dominant functional groups of macrofauna in species, mean density, mean biomass and diversity index were various in sandy, *Spartina alterniflora* and oyster-stone biotopes. The distribution characteristic indicated the complication and diversity in functional groups of macrofauna in Quanzhou Bay intertidal zone, and the joint action of tide, biotope, sediment particle size and other environmental factors. Tides result in spatial heterogeneity (different in sediment particle size) on intertidal zone, and spatial heterogeneity results in different functional groups of macrofauna. *S. alterniflora* and oyster-stone constitute various niches, which had advantages to many macrofaunas. This paper also discussed the influences of accuracy in macrofaunal identification and functional group classification criteria on the results of functional group research.

**Keywords:** macrofauna; functional group; intertidal zone; Quanzhou Bay

收稿日期: 2014-05-21; 修订日期: 2014-07-08

基金项目: 国家自然科学基金 (41176089)。

作者简介: 李想 (1989-), 女, 硕士生, 主要从事海洋底栖生物研究。电子邮箱: 932562718@qq.com。

通讯作者: 蔡立哲, 男, 教授。电子邮箱: cailizhe@xmu.edu.cn。

<http://hytb.nmdis.gov.cn>

滩涂湿地是潮间带生态系统的重要类型,由于处于海陆过渡地带,海陆理化因子的交替作用,物质交换过程复杂多变,其中潮间带的大型底栖动物由于其在食物网链中的重要作用,一直倍受关注(葛宝明等,2008)。国内学者对潮间带大型底栖动物功能群的研究区域主要集中在长江口潮间带(袁兴中等,2002;朱晓君等,2003;朱晓君,2004;严娟,2012)和浙江沿海潮间带(李欢欢等,2007;葛宝明等,2008;鲍毅新等,2008;魏德重等,2012),此外,在胶州湾潮滩(辛俊宏等,2011)和盐城潮间带(刘金娥等,2009)也有大型底栖动物功能群的研究,而在福建以南沿海,较少有关潮间带大型底栖动物功能群的报道。

有关泉州湾潮间带大型底栖动物,谢进金(2002)报道过泉州湾河口湿地潮间带贝类,黄宗国(2004)描述过泉州湾河口湿地生物多样性,刘荣成(2010)和黄雅琴等(2011)研究过泉州湾洛阳江红树林自然保护区潮间带大型底栖动物多样性,卓异等(2014)阐述了泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布,郭涛等(2014)对泉州湾洛阳江口2种红树林生境大型底栖动物群落多样

性进行了比较。可以看出,对泉州湾潮间带大型底栖动物的研究主要集中在群落结构和生物多样性方面,而对潮间带大型底栖动物功能群尚未见报道。本文研究了泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物功能群的分布格局及其对栖息环境的响应,以期对泉州湾潮间带大型底栖动物群落有更深入的了解,为潮滩湿地大型底栖动物生态学的深入研究提供基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域及方法

本研究区域位于泉州湾丰海路南侧,共选取沙滩、互花米草滩和牡蛎石沙泥滩3个生境作为取样点。根据水文观察,沙滩位于高潮带第二层(2),牡蛎石沙泥滩位于中潮带第二层(2),互花米草滩位于沙滩和牡蛎石沙泥滩交错带上,处于中潮带第一层(1)。2011年4月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)、2012年1月(冬季),分别在上述3种生境进行大型底栖动物定量采样,每个潮层(即每种生境)用25 cm×25 cm样框采集5个样框(图1)。

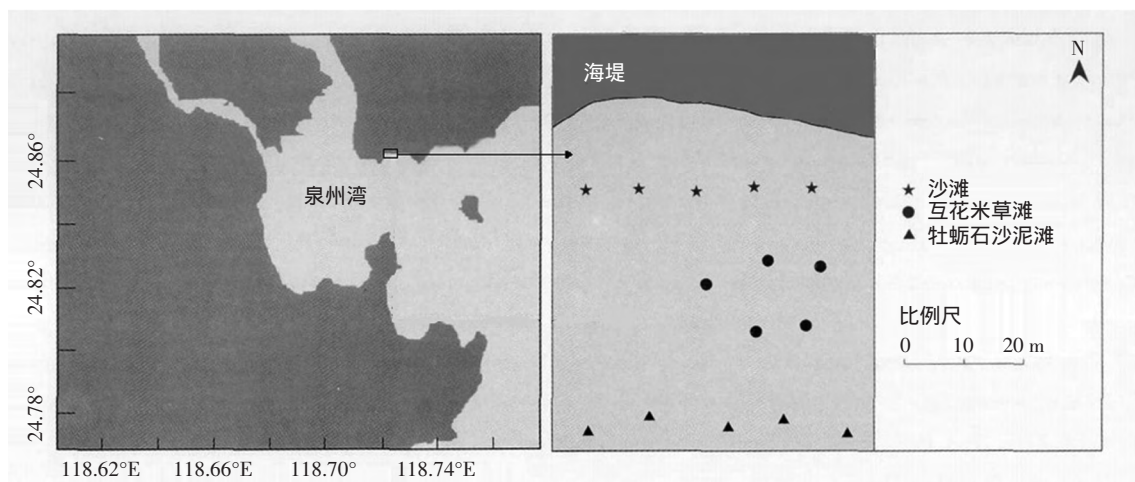


图1 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物取样位置示意图(引自卓异等(2014))

大型底栖动物的采样方法及分选过程参见卓异等(2014)的方法和过程。

### 1.2 生境和功能群划分

本研究的生境类型是根据沉积物上的植被或覆盖物划分的,比如沉积物上有桐花树,称为桐花树生境,沉积物上有牡蛎石,称为牡蛎石生境。沙滩上没有植被或覆盖物,称为沙滩生境。

底栖动物功能群是具有相同生态功能的底栖动物的组合(Kamermans et al, 1994; Andersen et al, 1995)。功能群特征能较种类组成更有效地反映生境梯度变化和生态系统的功能(Gaudêncio et al, 2007),有助于了解生态系统结构和功能的潜在联系,从而为研究由于气候变化和人类活动引起的生物多样性变化对生态系统的威胁提供重要的线

索 (Sokołowski et al, 2012)。本研究考虑了 Pearson 等 (1987) 的框架, 结合了 Fauchald 等 (1979), 以及 Bonsdorff (1995) 的划分依据, 参照了袁兴中等 (2002) 的划分类型, 将泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物划分为以下 5 类功能群:

(1) 浮游生物食者 (Planktophagous group, P)。依靠各种过滤器官滤取水体中微小的浮游生物, 包括藤壶、大部分双壳类和少数腹足类。

(2) 植食者 (Phytophagous group, Ph)。主要以维管束植物和海藻为饵料, 常见于腹足类、双壳类和蟹类。

(3) 肉食者 (Carnivorous group, C)。捕食小型动物和动物幼体, 如大部分多毛纲、腹足纲的玉螺科、骨螺科和织纹螺科动物, 甲壳纲的梭子蟹科、扇蟹科和虾蛄科所有种及其他科部分种类、棘皮动物的海星以及大部分鱼类。

(4) 杂食者 (Omnivorous group, O)。依靠皮肤或鳃的表皮, 直接吸收溶解在海水中的有机物, 或食取腐肉、植物腐叶、小型昆虫、贝类和甲壳类, 在双壳类、腹足类和蟹类中均有存在。

(5) 碎屑食者 (Detritivorous group, D)。吞食泥土, 消化土中有机物作营养, 有少数多毛类、星虫、海胆和蛇尾。

### 1.3 功能群多样性指数计算

采用 Shannon-Wiener 公式  $H' = -\sum(pi)(\log_2 pi)$  或  $H' = -\sum(Ni/N)(\log_2 Ni/N)$  计算各功能群的多样性指数 ( $H'$ ), 式中:  $S$  为物种数;  $N_i$  为第  $i$  个物种出现的个体数;  $N$  为总个体数;  $P_i$  为第  $i$  个物种出现的频率 (李欢欢等, 2007; 葛宝明等, 2008; 辛俊宏等, 2011)。

## 2 结果

### 2.1 泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物的群落和功能群特征

在泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布研究中 (卓异等, 2014), 当时鉴定的物种数为 85 种, 本文将一些未定种和疑难种进行核实, 确定为 101 种 (表 1)。修正和增加的物种数如下, 刺胞动物增加 1 种, 即纵条矾海葵 (*Haliplanella luciae*); 多毛纲环节动物修正 2 种, 白毛钩裂虫 (*Ancistrosyllis pilargiformis*) 拉丁文属名修正为

*Cabira*, 沙蚕 (*Nereis* sp.) 修正为光突齿沙蚕 (*Leonnates persica*), 增加 2 种, 即多丝独毛虫 (*Tharyx multifilis*) 和独毛虫 (*Tharyx* sp.); 腹足类软体动物增加 1 种, 即黑口滨螺 (*Littoraria melanostoma*); 双壳类软体动物修正 1 种, 即巨牡蛎 (*Crassostrea* sp.) 修正为角巨牡蛎 (*Crassostrea angulata*), 增加 4 种, 即棕蚶 (*Barbatia fusca*)、歧脊加夫蛤 (*Gafrarium divaricatum*)、中日立蛤 (*Meropesta sinojaponica*) 和麦氏偏顶蛤 (*Modiolus metcaifei*); 甲壳纲节肢动物修正 1 种, 即寄居蟹 (*Pagurus* sp.) 修正为艾氏活额寄居蟹 (*Diogenes edwardsii*), 增加 6 种, 即哈氏强蟹 (*Eucrate haswelli*)、泥蟹 (*Ilyoplax* sp.)、大额蟹 (*Metopograpsus latifrons*)、绒毛细足蟹 (*Raphidopus ciliatus*)、相手蟹 (*Sesarma* sp.) 和招潮蟹 (*Uca* sp.); 昆虫纲节肢动物增加 1 种, 即摇蚊幼虫 (*Chironomidae larva*); 脊索动物增加 1 种, 即孔蝦虎鱼 (*Trypauchen vagina*)。这些增加的种类个体数很少, 对物种数的描述有一定的影响, 但不影响泉州湾罴埔潮间带大型底栖动物栖息密度和生物量的时空分布研究, 因为当时这些物种的栖息密度和生物量是有包括在里面的 (卓异等, 2014)。

### 2.2 功能群物种数的生境差异和季节变化

泉州湾罴埔潮间带定量采集获得大型底栖动物 101 种 (表 1), 其中, 杂食者物种数最多, 有 26 种, 代表性物种有指海葵 (*Actinia* sp.) 和弹涂鱼 (*Periophthalmus cantonensis*); 而属于肉食者的有 21 种, 代表性物种有腺带刺沙蚕 (*Neanthes glandicincta*)、三角洲双须虫 (*Eteone delta*) 和寡鳃齿吻沙蚕 (*Nephtys oligobranchia*); 属于浮游生物食者的有 21 种, 代表性物种有青蛤 (*Cyclina sinensis*)、光滑河蓝蛤 (*Potamocorbula laevis*)、侧底理蛤 (*Theora lata*)、带偏顶蛤 (*Modiolus comptus*) 等双壳类; 属于碎屑食者的有 15 种, 代表性物种有多毛类的加州中蚓虫 (*Mediomastus californiensis*)、小头虫 (*Capitella capitata*)、背蚓虫 (*Notomastus latericeus*); 属于植食者的有 18 种, 代表性物种有腹足类的短拟沼螺 (*Assimineia brevicula*)、以及甲壳类的褶痕相手蟹 (*Sesarma plicata*)、弧边招潮蟹 (*Uca arcuata*) 和明秀大眼蟹 (*Macrophthalmus definitus*)。

大型底栖动物物种数互花米草生境最多, 为

表 1 泉州湾蛸埔潮间带的大型底栖动物名录及其食性

| 类群和物种                                   | 食性 | 类群和物种                                   | 食性 | 类群和物种                                 | 食性 |
|---|----|---|----|---------------------------------------|----|
| 刺胞动物 Cnidaria                           |    | 华丽角海蛸 <i>Ophelina grandis</i>           | O  | 光滑河蓝蛤 <i>Potamocorbula laevis</i>     | Pl |
| 指海葵 <i>Actinia</i> sp.                  | O  | 双齿围沙蚕 <i>Perineris aibuhitensis</i>     | C  | 缢蛏 <i>Sinonovacula constricta</i>     | Pl |
| * 纵条矶海葵 <i>Haliplanella luciae</i>      | O  | 蛇杂毛虫 <i>Poecilochaetus serpens</i>      | D  | 侧底理蛤 <i>Theora lata</i>               | Pl |
| 扁形动物 Platyhelminthes                    |    | 凿贝才女虫 <i>Polydora ciliata</i>           | C  | 节肢动物 Arthropoda                       |    |
| 薄扁涡虫 <i>Leptoplana</i> sp.              | O  | 须稚齿虫 <i>Prionospio cirrifera</i>        | O  | 日本鼓虾 <i>Alpheus japonica</i>          | O  |
| 纽形动物 Nemertea                           |    | 昆士兰稚齿虫 <i>Prionospio queenslandica</i>  | O  | 白脊藤壶 <i>Balanus albicostatus</i>      | Pl |
| 脑纽虫 <i>Cerebratulina</i> sp.            | C  | 鳞腹钩虫 <i>Scolecopsis squamata</i>        | O  | 小眼绿虾蛄 <i>Clorida microphthalma</i>    | C  |
| 环节动物 Annelida                           |    | 膜囊尖锥虫 <i>Scoloplos marsupialis</i>      | D  | 薄片螺羸蟹 <i>Corophium lamellatum</i>     | Pl |
| 中阿曼吉虫 <i>Amandia intermedia</i>         | O  | 马丁海稚虫 <i>Spio martinensis</i>           | O  | 艾氏活额寄居蟹 <i>Diogenes edwardsii</i>     | O  |
| 双边帽虫 <i>Amphitene</i> sp.               | D  | * 多丝独毛虫 <i>Tharyx multifilis</i>        | D  | * 哈氏强蟹 <i>Eucrate haswelli</i>        | O  |
| 自裂虫 <i>Autolytus</i> sp.                | C  | * 独毛虫 <i>Tharyx</i> sp.                 | D  | 白虾 <i>Exopalaemon</i> sp.             | O  |
| 白毛钩裂虫 <i>Cabira pilargiformis</i>       | C  | 沼蚓 <i>Limnodriloides</i> sp.            | O  | 平背蜆 <i>Gaetice depressus</i>          | O  |
| 小头虫 <i>Capitella capitata</i>           | D  | 星虫动物 Sipuncula                          |    | 谭氏泥蟹 <i>Ilyoplax deschampsii</i>      | Ph |
| 红角沙蚕 <i>Ceratonereis erythraeensis</i>  | C  | 可口革囊星虫 <i>Phascolosoma esculenta</i>    | D  | * 泥蟹 <i>Ilyoplax</i> sp.              | Ph |
| 刚鳃虫 <i>Chaetozone setosa</i>            | D  | 软体动物 Mollusca                           |    | 淡水泥蟹 <i>Ilyoplax tanshuiensis</i>     | Ph |
| 双形拟单指虫 <i>Cossurella dimorpha</i>       | O  | 短拟沼螺 <i>Assimineia brevicula</i>        | Ph | 涟虫 <i>Iphinoe</i> sp.                 | D  |
| 新三齿巢沙蚕 <i>Diopatra neotridens</i>       | C  | 中华圆田螺 <i>Cipangopaludina cahayensis</i> | Ph | 齧齧天栉蟹 <i>Leipocten sordidulum</i>     | Ph |
| 三角洲长须虫 <i>Eteone delta</i>              | C  | 金环螺 <i>Iravadia</i> sp.                 | Ph | 明秀大眼蟹 <i>Macrophthalmus definitus</i> | Ph |
| 格鳞虫 <i>Gattyana</i> sp.                 | C  | 粗糙滨螺 <i>Littorina articulate</i>        | Ph | 刀额新对虾 <i>Metapenaeus ensis</i>        | C  |
| 长吻沙蚕 <i>Glycera chirori</i>             | C  | * 黑口滨螺 <i>Littoraria melanostoma</i>    | Ph | 长足长方蟹 <i>Metaplex longipe</i>         | O  |
| 锥唇吻沙蚕 <i>Glycera onomichiensis</i>      | C  | 齿纹蛭螺 <i>Nerita yoldii</i>               | Ph | * 大额蟹 <i>Metopograpsus latifrons</i>  | O  |
| 寡节甘吻沙蚕 <i>Glycinde gurjanovae</i>       | C  | 石璜 <i>Onchidium verruculatum</i>        | O  | 长腕和尚蟹 <i>Mictyris longicarpus</i>     | O  |
| 角吻沙蚕 <i>Goniada emeriti</i>             | C  | * 棕蚶 <i>Barbatia fusca</i>              | Pl | * 绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>    | O  |
| 等栉虫 <i>Isolda pulchella</i>             | D  | 角巨牡蛎 <i>Crassostrea angulata</i>        | Pl | 圆球股窗蟹 <i>Scopimera globosa</i>        | Ph |
| 光突齿沙蚕 <i>Leonnates persica</i>          | C  | 青蛤 <i>Cyclina sinensis</i>              | Pl | 褶痕相手蟹 <i>Sesarma plicata</i>          | Ph |
| 背鳞虫 <i>Lepidontes</i> sp.               | D  | * 岐脊加夫蛤 <i>Gafrarium divaricatum</i>    | Pl | * 相手蟹 <i>Sesarma</i> sp.              | Ph |
| 扁蛭虫 <i>Loimia medusa</i>                | O  | 中国绿螂 <i>Glauconme chinensis</i>         | Pl | 光背团水虱 <i>Sphaeroma retrolaevis</i>    | Pl |
| 异足索沙蚕 <i>Lumbrineris heteropoda</i>     | C  | 鸭嘴蛤 <i>Laternula anatine</i>            | Pl | 弧边招潮蟹 <i>Uca arcuata</i>              | Ph |
| 短叶索沙蚕 <i>Lumbrineris latreilli</i>      | C  | 奇异智兔蛤 <i>Leporimetis spectabilis</i>    | Pl | 清白招潮蟹 <i>Uca lactea</i>               | Ph |
| 索沙蚕 <i>Lumbrineris</i> sp.              | C  | * 中日立蛤 <i>Meropesta sinjaponica</i>     | Pl | * 招潮蟹 <i>Uca</i> sp.                  | Ph |
| 尖叶长手沙蚕 <i>Magelona cincta</i>           | D  | 带偏顶蛤 <i>Modiolus comptus</i>            | Pl | 凹指招潮蟹 <i>Uca vocans</i>               | Ph |
| 太平洋长手沙蚕 <i>Magelona pacifica</i>        | D  | * 麦氏偏顶蛤 <i>Modiolus metcaifei</i>       | Pl | 摇蚊幼虫 <i>Chironomidae larva</i>        | O  |
| 加州中蛸虫 <i>Mediomastus californiensis</i> | D  | 偏顶蛤 <i>Modiolus</i> sp.                 | Pl | 脊索动物 Chordata                         |    |
| 小健足虫 <i>Micropodarke dubia</i>          | O  | 彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>        | Pl | 弹涂鱼 <i>Periophthalmus cantonensis</i> | O  |
| 腺带刺沙蚕 <i>Neanthes glandicincta</i>      | C  | 红明樱蛤 <i>Moerella rutila</i>             | Pl | * 孔蝦虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>       | O  |
| 寡鳃齿吻沙蚕 <i>Nephtys oligobranchia</i>     | C  | 虹光亮樱蛤 <i>Nitidotellina iridella</i>     | Pl |                                       |    |
| 背蛸虫 <i>Notomastus latericeus</i>        | D  | 小亮樱蛤 <i>Nitidotellina minuta</i>        | Pl |                                       |    |

注：\* 表示泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物名录上（卓异等，2014）增加的种类

71 种，其次是牡蛎石生境，为 59 种，沙滩生境最少，为 39 种。从不同功能类群物种数看，牡蛎石和沙滩生境均是肉食者物种数最多，互花米草生境为杂食者物种数最多；牡蛎石生境和互花米草生境均是植食者物种数最少，沙滩碎屑食者物种数最少。从季节分布看，春季浮游生物食者物种数最多，夏季、秋季均为肉食者，冬季则为杂食者；而春季、夏季均为碎屑食者物种数最少，秋季为碎屑

食者、浮游生物食者和植食者同为最少，冬季为植食者（图 2）。

### 2.3 功能群栖息密度的生境差异和季节变化

大型底栖动物平均栖息密度牡蛎石生境最高，为 2352 ind/m<sup>2</sup> 其次是互花米草生境，为 1177 ind/m<sup>2</sup>，沙滩生境最低，为 244 ind/m<sup>2</sup>。牡蛎石和互花米草生境均以碎屑食者栖息密度最高，而沙滩生境为肉食者；牡蛎石和互花米草生境栖息密度最低的均为

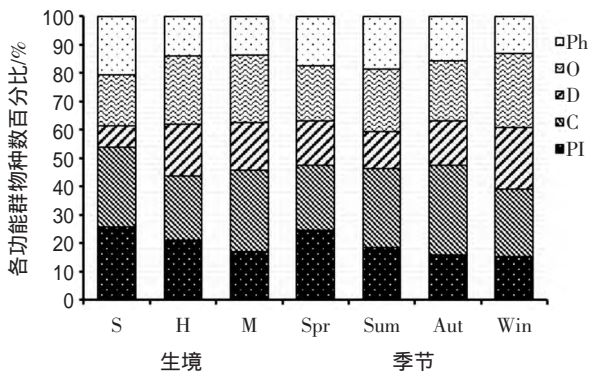


图2 泉州湾蛸埔潮间带不同生境和季节大型底栖动物功能群组成 (Ph:植食者;O:杂食者;D:碎屑食者;C:肉食者;Pl:浮游生物食者;S:沙滩生境;H:互花米草生境;M:牡蛎石生境;Spr:spring,春季;Sum:summer,夏季;Aut:autumn,秋季;Win:winter,冬季)

植食者,而沙滩生境为杂食者。从季节变化看,大型底栖动物平均栖息密度最高为春季(1 601 ind/m<sup>2</sup>),然后依次为夏季(1 175 ind/m<sup>2</sup>),冬季(514 ind/m<sup>2</sup>)和秋季(463 ind/m<sup>2</sup>)。春季栖息密度占优的功能群为肉食者,为3 456 ind/m<sup>2</sup>。春季栖息密度最低的功能群为植食者,其他3个季度均为浮游生物食者栖息密度最低(表2)。

表2 泉州湾蛸埔潮间带不同生境和季节大型底栖动物各功能群的栖息密度

| 项目                              | 功能群 | 生境  |       |       | 季节    |       |       |       |
|---------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 |     | S   | H     | M     | Spr   | Sum   | Aut   | Win   |
| 栖息密度<br>(ind/m <sup>2</sup> )   | Ph  | 259 | 237   | 157   | 186   | 86    | 160   | 221   |
|                                 | O   | 80  | 835   | 1 174 | 614   | 742   | 250   | 483   |
|                                 | D   | 150 | 2 403 | 4 221 | 1 280 | 3 085 | 1 331 | 1 078 |
|                                 | C   | 509 | 1 872 | 4 221 | 3 456 | 1 885 | 531   | 730   |
|                                 | Pl  | 122 | 538   | 1 987 | 2 467 | 77    | 45    | 58    |
| 平均栖息密度<br>(ind/m <sup>2</sup> ) |     | 224 | 1 177 | 2 352 | 1 601 | 1 175 | 463   | 514   |

Ph:植食者;O:杂食者;D:碎屑食者;C:肉食者;Pl:浮游生物食者;S:沙滩生境;H:互花米草生境;M:牡蛎石生境;Spr:spring,春季;Sum:summer,夏季;Aut:autumn,秋季;Win:winter,冬季

2.4 功能群生物量的生境差异和季节变化

功能群平均生物量为牡蛎石生境最高,为41.82 g/m<sup>2</sup>,其次是互花米草生境,为32.89 g/m<sup>2</sup>,沙滩生境最低,为30.10 g/m<sup>2</sup>。牡蛎石和沙滩生境生物量最高的功能群均为植食者,而互花米草生境则为浮游生物食者;牡蛎石生境为杂食者生物量最低,互花米草滩和沙滩生境均以碎屑食者生物量最低。从季节变化看,功能群平均生物量最高为夏季

(36.30 g/m<sup>2</sup>),然后依次为春季(30.24 g/m<sup>2</sup>)、冬季(22.94 g/m<sup>2</sup>)和秋季(15.32 g/m<sup>2</sup>)。春季生物量最高的功能群是浮游生物食者,为53.98 g/m<sup>2</sup>,其他3个季度均是植食者。生物量最低的功能群,夏季为杂食者,其他3个季度均为碎屑食者(表3)。

表3 泉州湾蛸埔潮间带不同生境和季节大型底栖动物各功能群的生物量

| 项目                           | 功能群 | 生境     |       |        | 季节    |        |       |       |
|------------------------------|-----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                              |     | S      | H     | M      | Spr   | Sum    | Aut   | Win   |
| 生物量<br>(g/m <sup>2</sup> )   | Ph  | 110.40 | 37.81 | 102.70 | 51.23 | 100.83 | 46.93 | 51.92 |
|                              | O   | 1.60   | 24.90 | 15.37  | 9.21  | 10.91  | 3.38  | 17.83 |
|                              | D   | 0.25   | 12.38 | 15.84  | 7.57  | 13.46  | 2.76  | 4.66  |
|                              | C   | 12.53  | 39.75 | 23.68  | 29.20 | 27.82  | 13.74 | 5.19  |
|                              | Pl  | 26.26  | 49.64 | 51.50  | 53.98 | 28.51  | 9.8   | 35.11 |
| 平均生物量<br>(g/m <sup>2</sup> ) |     | 30.10  | 32.89 | 41.82  | 30.24 | 36.30  | 15.32 | 22.94 |

Ph:植食者;O:杂食者;D:碎屑食者;C:肉食者;Pl:浮游生物食者;S:沙滩生境;H:互花米草生境;M:牡蛎石生境;Spr:spring,春季;Sum:summer,夏季;Aut:autumn,秋季;Win:winter,冬季

2.5 功能群多样性指数(H')的生境差异

泉州湾蛸埔潮间带大型底栖动物各功能群的沙浓-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')显示,牡蛎石生境杂食者的多样性指数(H')最高,浮游生物食者最低,5种功能群之间差幅较大;互花米草生境肉食者最高,杂食者最低;沙滩生境浮游生物食者最高,碎屑食者最低,功能群之间差幅较大。多样性指数(H')平均值最高的生境为互花米草生境,其次为牡蛎石生境,沙滩生境最低(图3)。

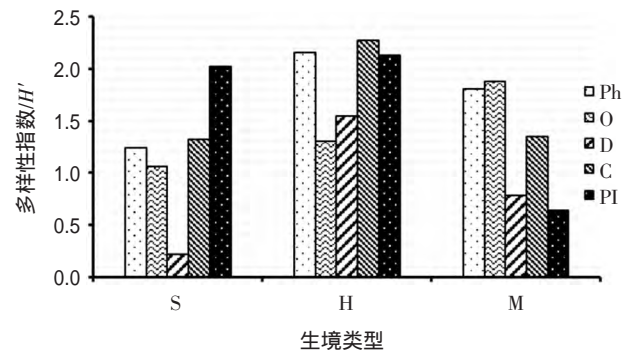


图3 泉州湾蛸埔潮间带不同生境大型底栖动物各功能群的多样性指数(H')

(Ph:植食者;O:杂食者;D:碎屑食者;C:肉食者;Pl:浮游生物食者;S:沙滩生境;H:互花米草生境;M:牡蛎石生境;Spr:spring,春季;Sum:summer,夏季;Aut:autumn,秋季;Win:winter,冬季)

### 3 讨论

#### 3.1 潮汐、生境差异和底质粒径的联合影响导致螞埔潮间带功能群的复杂化

大型底栖动物功能群是海洋生境和环境质量的综合反映 (Carvalho et al, 2011; Dimitriadis et al, 2012)。夏、秋季泉州湾螞埔潮间带高、中潮区大型底栖动物可分为 2 个生物带, 春、冬季可分为 3 个生物带, 可见, 泉州湾螞埔潮间带受潮汐影响明显, 呈现垂直生物分带现象 (卓异等, 2014)。泉州湾螞埔潮间带大型底栖动物功能群物种数和栖息密度明显受潮汐影响。刘建国等 (2012) 也认为潮汐是影响底栖动物物种数分布的重要影响因子。由于沙滩靠近海堤, 潮流经海堤后回流, 导致潮水对沙滩的冲刷作用增强, 一些大型和小型底栖动物容易被冲刷到沉积物表面并被潮水打晕, 因而肉食性物种数和栖息密度在沙滩所占比例均是 5 种功能群中最高的, 而在互花米草生境, 杂食者物种数和碎屑食者栖息密度分别是 5 种功能群中最高的, 这是因为互花米草的阻碍作用, 减弱了潮水对互花米草生境沉积物的冲刷, 使更多的杂食者和碎屑食者能栖息于互花米草生境。胶州湾西北部潮滩湿地肉食者和碎屑食者种类丰度冬季最高 (辛俊宏等, 2011), 与本文的结果一致。杭州湾南岸低潮带受潮汐扰动影响较大, 杂食者和植食者的种类较少, 故各功能群的多样性指数较低; 中潮带营养源及食物较丰富, 功能群类型趋于多样化 (李欢欢等, 2007)。

植食者生物量在泉州湾螞埔潮间带沙滩和牡蛎石沙滩在 5 种功能群中均是最高的, 这是由于螞埔潮间带沉积物粒径较大, 沙含量比例较高, 特别是在牡蛎石有利于底栖硅藻和一些海藻的生长。在胶州湾西北部潮滩湿地未发现植食者, 原因是该潮滩湿地的底质为软泥, 缺乏有利于藻类生长的岩石岸和砾石滩等硬相底质, 海藻的生长明显受底质影响 (辛俊宏等, 2011)。

植被的类型影响着泉州湾螞埔潮间带大型底栖动物各功能群的物种多样性。泉州湾螞埔潮间带沙滩、互花米草滩和牡蛎石滩多样性指数最高的功能群分别是浮游生物食者、肉食者和杂食者。植被的类型、覆盖度以及初级生产力的高低, 将直接影响

营养源的分布和食物结构, 从而进一步影响大型底栖动物功能群的分布 (Douglas et al, 2003)。长江口九段沙潮间带低潮区、中潮区、高潮区 A 和 B 的植被分别是藻类盐渍带、海三稜蔗草带、芦苇带、互花米草带, 因而功能群的种类组成具有显著差异 (朱晓君等, 2003)。植被可以给底栖生物提供栖息和躲避的场所, 潮滩无植被覆盖的光滩, 大大增加了潮滩上底栖生物的暴露几率 (辛俊宏等, 2011)。

综上所述, 潮汐、生境差异和底质粒径的共同作用导致螞埔潮间带大型底栖动物功能群的复杂化和多样化。泉州湾螞埔潮间带三种生境各功能群物种数、栖息密度、生物量和多样性指数互不相同, 沙滩 (光滩) 生境功能群物种数、平均栖息密度、平均生物量、多样性指数分别由肉食者、肉食者、植食者和浮游生物食者占优。互花米草生境功能群物种数、平均栖息密度、平均生物量、多样性指数分别由杂食者、碎屑食者、浮游生物食者和肉食者占优。牡蛎石生境功能群物种数、平均栖息密度、平均生物量、多样性指数分别由肉食者、碎屑食者、植食者和杂食者占优 (表 4)。可见, 潮汐和生境差异导致潮间带的空间异质性 (沉积物粒径差异), 空间异质性导致大型底栖动物群落的差异 (卓异等, 2014), 导致大型底栖动物功能群组成的差异, 在每一潮层, 都受到潮汐、生境差异、底质粒径差异、地形地貌、温度和盐度等环境因子的共同作用, 导致泉州湾螞埔潮间带功能群复杂化和多样化。底栖动物功能群结构是潮间带生境梯度及环境因子变化的综合反映 (Engle et al, 1999)。

表 4 泉州湾螞埔潮间带不同生境的大型底栖动物优势功能群

|       | 沙滩生境   | 互花米草生境 | 牡蛎石生境 |
|-------|--------|--------|-------|
| 物种数   | 肉食者    | 杂食者    | 肉食者   |
| 栖息密度  | 肉食者    | 碎屑食者   | 碎屑食者  |
| 生物量   | 植食者    | 浮游生物食者 | 植食者   |
| 多样性指数 | 浮游生物食者 | 肉食者    | 杂食者   |

#### 3.2 有些大型底栖动物食性归属难于确定影响功能群划分

功能群是用以描述在群落中功能相似的所有物种的集合, 利用这种方法有助于在群落生态学研究简化群落内部物种间的关系, 而不是纯粹地以物种分类标准为基础, 使得生态系统的复杂性

在研究中减小 (Terborg et al, 1986)。但有些大型底栖动物食性归属难于确定影响功能群划分,如环节动物门多毛纲叶须虫科的种类为肉食性(吴宝铃等, 1997),但其在无动物性食物时也会摄食藻类。而对虾幼体至成体食性的转变,对虾蚤状幼体是植食者,仔虾及成虾主要以底栖的甲壳类、瓣鳃类、多毛类、蛇尾类和鱼类等为食,兼食藻类,其摄食习性的基本演变规律是从植物食性逐步转变为动物食性为主(刘宗柱等, 1999)。本研究中获得的对虾科种类有刀额新对虾 (*Metapenaeus ensis*) 和白虾 (*Exopalaemon* sp.)。刀额新对虾食性在幼虾阶段类似对虾类,成虾以捕食底栖生物为主,兼食底层浮游生物及游泳生物,主要是摄食底栖生物类、桡足类、游泳虾类、小型短尾类、多毛类、双壳类以及底栖硅藻等。脊尾白虾的食性杂而广,蛋白质含量要求不高,不论死、活、鲜、腐的动植物饲料,或有机碎屑均能摄取,因此小鱼、小虾、豆饼、菜子饼、米糠等及低档颗粒饲料都可以投喂,饲料来源广。由于这两种虾是捕捞和养殖种类,食性比较明晰,即刀额新对虾为肉食性,白虾为杂食性。本文寡毛类沼蚓 (*Limnodriloides* sp.) 和加州中蚓虫 (*Mediomastus californiensis*) 的食性分别划分为杂食者和碎屑食者,但这种划分难于让人信服,因为两种动物形态相似,生活习性相似,却有不同食性。

不同学者对一些大型底栖动物食性的划分不一致。如辛俊宏 (2011) 将日本刺沙蚕 (*Neanthes japonica*) 归为杂食者;葛宝明 (2008) 则将其划为肉食者。《中国动物志:环节动物门》(吴宝铃等, 1997) 将蛭龙介虫科的多毛类划为杂食性物种;徐勤增 (2013) 则将其归为沉积物食性物种。泥蟹被葛宝明等 (2008) 定义为植食者;而辛俊宏 (2011) 则把其归为碎屑食者。朱晓君和陆健健 (2003)、李欢欢等 (2007)、葛宝明等 (2008) 将拟沼螺 (*Assimineae*) 归为浮游生物食者,而吕巍巍等 (2012) 将拟沼螺归为植食者。本文将短拟沼螺 (*Assimineae brevicula*) 归为植食者,因为短拟沼螺在底表上爬行,没有能收缩的吻,视觉器官不发达,符合植食者腹足类的特征。

综上所述,物种食性划分不一致将影响大型底栖动物功能群研究结果。因此我们建议,我国需要建立大型底栖动物数据库,数据库记载物种的形态

特征、分布、食性和生态习性。通过数据库的共享,统一大型底栖动物食性划分,避免功能群划分的不一致。

## 参 考 文 献

- Andersen A N, 1995. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography*, 22:15-29.
- Bonsdorff E, Norkko A, Sandberg E, 1995. Structuring zoobenthos: the importance of predation, cropping and physical disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 192:125-144.
- Carvalho S, Pereira P, Pereira F, et al, 2011. Factors structuring temporal and spatial dynamics of macrobenthic communities in a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Marine Environmental Research*, 71: 97-110.
- Dimitriadis C, Evagelopoulos A, Koutsoubas D, 2012. Functional diversity and redundancy of soft bottom communities in brackish waters areas: local vs regional effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 426: 53-59.
- Douglas J S, Mitsch W J, 2003. A model of macroinvertebrate trophic structure and oxygen demand in freshwater wetlands. *Ecological Modelling*. 161:183-194.
- Engle V D, Summers J K, 1999. Latitudinal gradients in benthic community composition in western Atlantic estuaries. *Journal of Biogeography*, 26:1007-1023.
- Fauchald K, Jumars P A, 1979. The diet of worms: A study of Polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 17: 193-284.
- Gaudêncio M J, Cabral H N, 2007. Trophic structure of macrobenthos in the Tagus estuary and adjacent coastal shelf. *Hydrobiologia*, 587: 241-251.
- Kamermans P, 1994. Similarity in food source and timing of feeding in deposit and suspension-feeding bivalves. *Marine Ecology Progress Series*, 104:63-75.
- Pearson T H, Rosenberg R, 1978. Feast and famine: Structuring factors in marine benthic communities. In: Gee JHR & Giller PS, eds. *Organization of Communities Past and Present*. Oxford: Blackwell science, 373-395.
- Sokołowski A, Wołowicz M, Asmus H, et al, 2012. Is benthic food web structure related to diversity of marine macrobenthic communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108: 76-86.
- Terborg J, Robinson S, 1986. Guilds and their utility in ecology. In: Kikkawa J, Anderson DJ ed. *Community Ecology: Pattern and Processes*. Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 65-99.
- 鲍毅新, 胡知渊, 李欢欢, 等, 2008. 灵昆东滩围垦区内外大型底栖动物季节变化和功能群的比较. *动物学报*, 54 (3): 416-427.
- 葛宝明, 鲍毅新, 程宏毅, 等, 2008. 灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物

- 物功能群及营养等级构成. 生态学报, 28 (10): 4796-4804.
- 郭涛, 蔡立哲, 卓异, 等, 2014. 泉州湾洛阳江口 2 种红树林生境大型底栖动物群落多样性比较. 应用海洋学学报, 33 (2): 204-211.
- 黄雅琴, 李荣冠, 江锦祥, 2011. 泉州湾洛阳江红树林自然保护区潮间带软体动物多样性及分布. 海洋科学, 35 (10): 111-116.
- 黄宗国, 2004. 海洋河口湿地生物多样性. 北京: 海洋出版社, 131-175.
- 李欢欢, 鲍毅新, 胡知渊, 等, 2007. 杭州湾南岸大桥建设区域潮间带大型底栖动物功能群及营养等级的季节动态. 动物学报, 53 (6): 1011-1023.
- 刘建国, 费岳军, 王晓亮, 等, 2012. 庙子湖岛和黄兴岛夏季岩礁潮间带大型底栖动物群落格局. 海洋通报, 31 (5): 566-574.
- 刘金娥, 王国祥, 常青, 等, 2009. 盐城自然保护区夏季潮间带大型底栖动物功能群结构及分布格局. 安徽农业科学, 37 (36): 18108-18113.
- 刘荣成, 2010. 中国惠安洛阳红树林. 北京: 中国林业出版社, 131-166.
- 刘宗柱, 郭世宁, 徐德武, 1999. 虾类的食性和营养. 饲料研究, 1: 37-38.
- 吕巍巍, 马长安, 余骥, 等, 2012. 围垦对长江口横沙东滩大型底栖动物群落的影响. 海洋与湖沼, 43 (2): 340-347.
- 魏德重, 项长友, 等, 2012. 红树林种植对大型底栖动物群落结构及功能群的影响. 浙江师范大学学报, 35 (2): 195-202.
- 吴宝铃, 吴启泉, 邱建文, 等, 1997. 中国动物志: 环节动物门. 北京: 科学出版社, 44.
- 谢进金, 2002. 福建泉州湾河口湿地潮间带贝类调查. 泉州师范学院学报: 自然科学版, 20 (6): 66-70.
- 辛俊宏, 任一平, 徐宾铎, 等, 2011. 胶州湾西北部潮滩湿地大型底栖动物功能群. 应用生态学报, 22 (7): 1885-1892.
- 徐增勤, 许强, 张立斌, 等, 2013. 牡蛎壳人工礁对多毛纲底栖群落结构的影响. 海洋与湖沼, 44 (4): 1056-1061.
- 严娟, 2012. 长江河口潮间带大型底栖动物生态学研究. 上海: 上海海洋大学.
- 袁兴中, 陆健健, 刘红, 2002. 长江口底栖动物功能群分布格局及其变化. 生态学报, 22 (12): 2054-2062.
- 朱晓君, 2004. 长江河口潮间带湿地底栖动物功能群及其生态学意义研究. 上海: 华东师范大学.
- 朱晓君, 陆健健, 2003. 长江口九段沙潮间带底栖动物的功能群. 动物学研究, 24 (5): 355-361.
- 卓异, 蔡立哲, 郭涛, 等, 2014. 泉州湾埭埔潮间带大型底栖动物群落的时空分布. 生态学报, 34 (5): 1244-1252.

(本文编辑: 袁泽轶)