

流沙湾海草床海域浮游动物的群落 结构和季节变化*

张才学 孙省利 陈春亮 张瑜斌 张际标

(广东海洋大学海洋资源与环境监测中心 湛江 524088)

提要 2008 年 2—11 月采用浅水型浮游生物网对广东省流沙湾海草床海域的浮游动物进行了周年的季节调查,研究了其群落结构、季节变化及影响因素。结果表明,流沙湾海草床海域浮游动物共有 49 种和 13 类浮游幼虫,群落结构主要由桡足类和浮游幼虫所组成。优势种共有 20 种(类),4 季均为优势种的种类有 2 种:针刺拟哲水蚤、小拟哲水蚤。年均丰度和生物量分别为 $84.8 \text{ ind}/\text{m}^3$ 和 $132.2 \text{ mg}/\text{m}^3$, 高峰期位于夏季,低谷位于冬季,周年变化基本上为单峰型。浮游动物生物量与丰度、pH 值呈显著的正相关,与叶绿素 *a* 和水温呈较明显的相关性,而生物量和丰度与盐度和 PO_4^{3-} 呈负相关,与其它环境因子相关性不明显。

关键词 浮游动物;群落结构;多样性指数;季节变化;海草床;流沙湾
中图分类号 Q178.53

浮游动物是海洋生态系统中物质循环和能量流动的重要环节,其群落结构和时空分布与各种海洋环境的变迁和渔业资源的盛衰密切相关。国内外众多学者在海洋生态系统动力学、生物地理学和环境生物学等方面对浮游动物等群落进行了较详细的研究(Khalil, 1997; Siokou-Frangou *et al.*, 1998; 王荣等, 2002; 黄长江等, 2003; 时翔等, 2007; 孙松等, 2008; 林君卓, 2008), 一系列研究成果显示,生态系统中环境决定着生物的群落结构,而生物的群落结构也能反映环境的特征,可以利用生物的群落结构及其变化规律来评价环境的质量状况和变化趋势。

流沙湾位于广东省雷州半岛西南部徐闻县西部、雷州市西南部交界处,是一个北西向葫芦形半封闭型海湾,湾域面积约 69 km^2 ,湾内拥有非常丰富的海藻资源(谢恩义等, 2009),海草床面积共约 900 ha (黄小平等, 2007),在全国乃至全亚洲都是数量有限的海草床,是我国最大的海藻库。流沙湾是我国海水养殖密集型海湾之一,养殖面积占海域总面积的 19.7%,

其中贝类养殖面积占总养殖面积的 91.9%,是我国著名的海水珍珠养殖生产基地和南珠中心,其珍珠年产量约占全国的 70%。

近年来由于沿海地区工农业生产的发展以及海水珍珠、对虾等养殖业缺乏科学规划与管理,出现无序、无度、无偿开发的混乱局面,时有掠夺性和破坏性的开发现象,对生态环境和渔业资源造成极大的破坏,使珍珠养殖业出现萎缩趋向,并对天然海草床造成了一定的破坏。为了全面了解和评价流沙湾海域生态系统的变化规律和环境质量现状,对该海湾生态系统生物群落及其生态环境实施了调查。本文仅对浮游动物及环境因子进行了分析,其结果和结论可为进一步研究和保护流沙湾及海草床等资源提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

2008 年 2—11 月对流沙湾生态环境因子进行了 4

* 广东省自主创新重大科技专项, 2007A032600004 号; 国家海洋公益性行业科研专项, 200905005-05 号, 201105008-5 号。张才学, 副教授, E-mail: zhangcx@gdou.edu.cn

通讯作者: 孙省利, 教授, E-mail: xingsun@126.com

收稿日期: 2012-01-04, 收修稿日期: 2012-04-09

个航次的综合调查, 根据流沙湾的地形地貌共布设了 14 个站点(图 1)。站 3 和站 5 在贝类养殖区内, 站 10、11、12、13、14 靠近贝类养殖区, 站 11、14 位于海草床内, 站 6、8 靠岸边一带为大型海藻和海草较多区域; 站 6、8、10 涨潮时水深大于 20m, 其它测站在退潮时水深小于 8m, 其中站 3、5、11、13、14 在大潮退潮时水深小于 4m; 站 10 为沙质底, 其它测站为淤泥质底。浮游动物用装有网口流量计的浅水型浮游生物网自底至表进行垂直拖网采集, 标本以 5%福尔马林溶液固定保存。用湿重法称其生物量, 在显微镜和体视镜下定性和计数。分析方法按《海洋调查规范》(GB/T12763.9-2007)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2007)的规定实施。

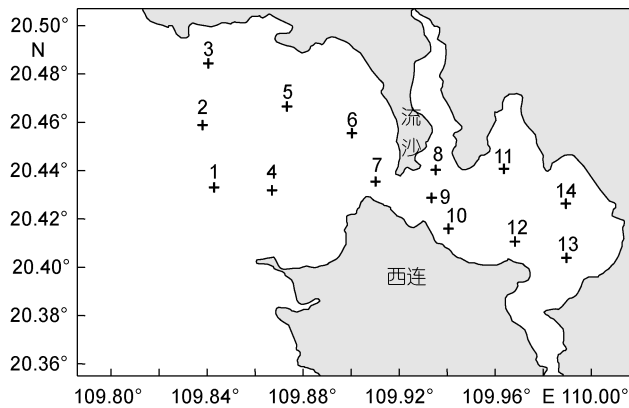


图 1 流沙湾采样站

Fig.1 Sampling stations in Liusha Bay

1.2 统计方法

多样性指数(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2007)

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

式中, s 为物种数,

P_i 为第 i 种在全部采样中的比例($P_i = n_i / N$), n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数。

均匀度(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2007) $J = H' / (\log_2 S)$, 式中, H' 为前式的多样性指数值, S 为样品中总种类数。

优势度(Sun *et al.*, 2004) $Y = (n_i / N) f_i$, 式中, n_i 为第 i 种的总个体数, N 为所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站出现的频率, 以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

Jaccard 相似系数(Jaccard, 1908) $P = c / (a + b - c)$, 式中, a 、 b 为两不同季节浮游动物种类数, c 为两不同季节的共有种类数。

2 结果与讨论

2.1 浮游动物的种类组成和生态类群

2.1.1 种类组成 研究表明, 流沙湾浮游动物共 38 属 49 种和 13 类浮游幼虫, 其中桡足类 35 种, 十足类和端足类各 2 种, 介形类 1 种, 水螅水母类 3 种, 栉水母类 1 种, 毛颚类和被囊类各 1 种, 多毛类 2 种, 水生昆虫 1 种, 浮游幼虫(包括仔鱼)13 类。各季节的种类组成相差较大, 种类数(包括浮游幼虫, 下同)夏季 > 春季 > 冬季 > 秋季。群落结构主要由桡足类和浮游幼虫所组成, 桡足类夏季 23 种, 占总种类数的 47.9%, 春季 19 种, 占总种类数的 51.4%, 冬季 18 种, 占总种类数的 54.5%, 秋季 11 种, 占总种类数的 42.3%; 浮游幼虫类群数夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季(表 1); 其丰度秋季最高, 平均达 46.4 ind/m³, 春季为次, 平均为 40.1 ind/m³, 夏季再次, 平均为 27.2 ind/m³, 冬季最低, 仅为 5.6 ind/m³。各季节间共有种类数在 16—30 种, Jaccard 种类相似性指数(包括浮游幼虫)范围在 0.372—0.545(表 2), 4 季均出现的种类有 15 种, 其中有 5 类

表 1 流沙湾浮游动物种类组成和季节变化

Tab.1 Zooplankton composition and seasonal variation in Liusha Bay

季节	桡足类	其它甲壳类	水母类	栉水母	毛颚类	浮游幼虫	其它类群	合计
冬季	18	5	0	0	1	7	2	33
春季	19	4	0	0	1	11	2	37
夏季	23	4	3	1	1	13	3	48
秋季	11	1	2	0	1	9	2	26

表 2 季节间浮游动物种类相似性指数

Tab.2 The Jaccard Index for species of zooplankton between two seasons

项目	春/夏	春/秋	春/冬	夏/秋	夏/冬	秋/冬
各季节种数	37/48	37/26	37/33	48/26	48/33	26/33
共有种数	30	20	23	24	25	16
Jaccard index	0.545	0.465	0.489	0.480	0.446	0.372

为浮游幼虫,反映该海域桡足类的优势群落特征和该海域全年均有动物繁殖的亚热带生态特点,也说明了流沙湾海洋动物的繁殖盛季为春、夏、秋三季,冬季进行繁殖的物种较少,群落结构因季节而变化。

2.1.2 生态类群 由于流沙湾位于北部湾入口的东侧,受南海外海高盐水和大陆径流的影响,浮游动物群落结构较复杂,既有外海高盐种类,也有半咸淡水低盐种类,根据浮游动物的生态习性和地理分布,流沙湾的浮游动物大致可划分为4个生态类群。

(1) 半咸水生态类群 受大陆径流和潮汐的影响,这一区域生活着一些适应低盐的种类,主要代表有刺尾纺锤水蚤 *Acartia spinicauda*、瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiemis*、海洋伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus marinus*、真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta* 等,其中刺尾纺锤水蚤终年出现。

(2) 近岸暖水生态类群 适应于偏高温低盐的种类,主要种类有太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*、驼背隆哲水蚤 *Acrocalanus gibber*、锥形宽水蚤 *Temora turbinata*、汤氏长足水蚤 *Calanopia thompsoni*、针刺真浮萤 *Euconchoecia aculeata* 等,是典型的亚热带沿岸种。

(3) 外海暖水生态类群 属偏高温高盐热带性种类,主要种类有亚强壮真哲水蚤 *Eucalanus subcrassus*、芦氏拟真刺水蚤 *Pareuchaeta russelli*、瘦乳点水蚤 *Pleuromamma gracilis*、叉胸刺水蚤 *Centropages furcatus*、弓角基齿哲水蚤 *Clausocalanus arcuicornis*、微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*、美丽大眼剑水蚤 *Corycaeus speciosus* 等。由于浮游动物缺乏发达的游泳器官,只能随波逐流地随水流动,因此可作为海流和水团的指示种,在流沙湾的浮游动物中,外海暖水性种类占了很大的比例,反映了高温高盐的外海水对该海区有强烈的影响。因流沙湾湾口靠近北部湾湾口,潮汐为全日周期潮,而且海湾地形为泻湖,海水交换量大,因而受南海外海高温高盐海水的影响大。

(4) 广温广盐生态类群 适温适盐范围较宽,主要有针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*、小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*、叉刺角水蚤 *Pontella chierchiae*、克氏纺锤水蚤 *Acartia clausi* 等。

从以上4个生态类群可看出,流沙湾浮游动物以沿岸暖水性和外海暖水性种类占多数,而且群落中也出现较多的底栖动物幼虫,根据流沙湾的环境条件和浮游动物的群落结构特征,流沙湾浮游动物群

落属于亚热带沿岸群落。

2.2 浮游动物丰度和生物量的平面分布与季节变化

2.2.1 浮游动物丰度的平面分布和季节变化 流沙湾各测站浮游动物的丰度相差悬殊,从最低冬季站12的7ind/m³,到最高秋季站14的247ind/m³不等,年均值为84.8ind/m³,其平面分布冬季靠近湾口较高,往湾顶逐渐减少;春季在湾口内侧和湾中部较高,湾顶和湾口外侧较低;夏季湾顶较高,湾中部较低,到湾口逐渐增多;而秋季湾顶最高,往湾口逐渐减少。其季节分布夏季平均丰度最高,达146.1ind/m³,是次高春季(79.6ind/m³)的近1倍,平均丰度最低的是冬季,仅为52.5ind/m³,秋季平均丰度(60.9ind/m³)与冬季和春季较接近(图2)。说明该海湾浮游动物季节演替属单峰型,高峰期为夏季,其浮游动物群落结构多为喜暖种类,以热带和亚热带种类占优。

2.2.2 浮游动物生物量的平面分布和季节变化 流沙湾各测站浮游动物生物量的平面分布相差较大,从冬季站12的8mg/m³至夏季站14的683mg/m³不等,年均值为132.2mg/m³,其分布冬季湾顶最低,自湾中部至湾口逐渐增大,尤其靠近南部的礁石区较大;春季湾中部和湾口北面较大,其它区域均较小;夏季靠近湾口中部生物量较大,其它区域较接近;秋季湾中部和湾顶较大,湾口较小。除了夏季分布较均匀外,其它季节浮游动物均成斑块分布,体现出浮游动物集群的生态特点(图3)。

流沙湾浮游动物生物量在季节分布上,其平均值夏季最高,达343.3mg/m³,春季次之,为67.4mg/m³,冬季最低,仅为56.4mg/m³,夏季是春季的5倍多,而冬季、春季、秋季(61.6mg/m³)较接近,与丰度的季节演替规律相一致。

2.3 浮游动物的优势种

流沙湾浮游动物优势种(包括浮游幼虫)共有20种(类),种类数夏季>春季>秋季>冬季(表3)。冬季优势度最高的种类为针刺拟哲水蚤,其次为孟加拉蛮戎 *Lestrignus bengalensis*,其丰度平均分别为18.0ind/m³和8.5ind/m³,共占总数的50.3%;春季优势度最高的种类为短尾类溞状幼虫,其次为小拟哲水蚤,其丰度平均分别为15.9ind/m³和14.5ind/m³,共占总数的37.1%;夏季优势度最高的种类为百陶箭虫 *Sagitta bedoti*,其次为亚强壮真哲水蚤,再次为针刺拟哲水蚤,此3种丰度较高,平均分别为29.3ind/m³、23.5ind/m³、15.5ind/m³,共占总数量的45.2%;秋季优势度最高的类群为桡足类无节幼虫,其次为桡足

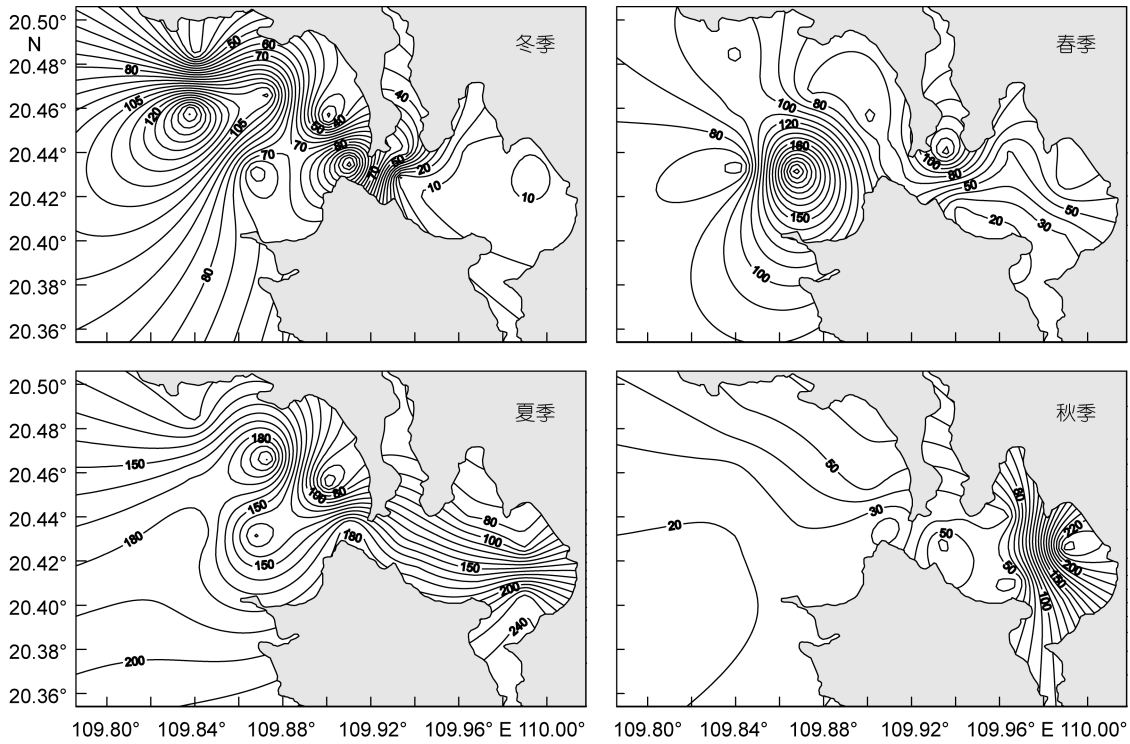


图 2 流沙湾浮游动物丰度的平面分布和季节变化(单位: ind/m³)

Fig.2 Horizontal distribution and seasonal changes of individuals of zooplankton in Liusha Bay (ind/m³)

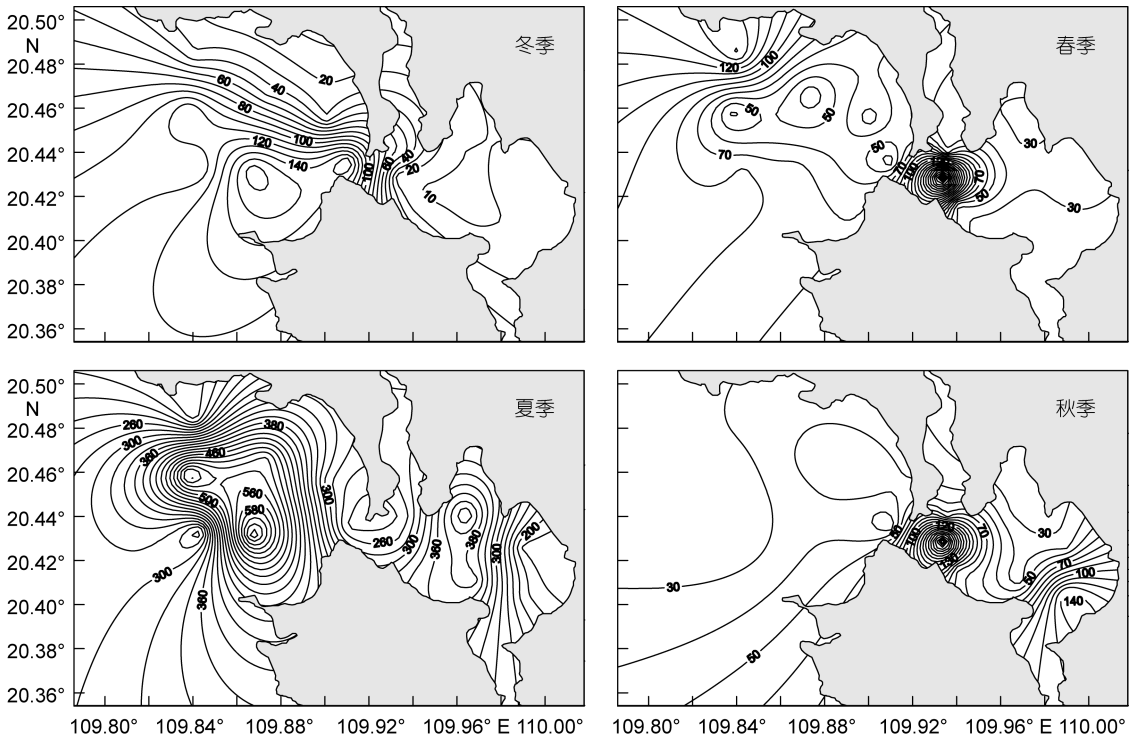


图 3 流沙湾浮游动物生物量的平面分布和季节变化(单位: mg/m³)

Fig.3 Horizontal distribution and seasonal changes of biomass of zooplankton in Liusha Bay

幼体,其丰度平均分别为 $16.8\text{ind}/\text{m}^3$ 和 $16.1\text{ind}/\text{m}^3$,共占总数的 54.0%。在所有 12 种和 9 类幼虫优势类群中,桡足类占了大多数,共有 10 种和 2 个幼虫类群,群落结构以桡足类为主。调查海区浮游动物群落一个显著特点是阶段性浮游动物占有重要的位置,优势种中出现多个浮游幼虫,如多毛类疣足幼虫、蔓足类无节幼虫、桡足类无节幼虫、桡足幼体、瓣鳃类面盘幼虫、短尾类溞状幼虫、长尾类溞状幼虫、糠虾幼体和磷虾幼体等,这是沿岸贝、虾类养殖区和海草床海区浮游动物群落的重要特征之一。但在冬季浮游幼虫没有优势类群,春、秋季浮游幼虫的优势类群较多,优势度较高,这反映了低水温的冬季大多数动物不繁殖而春、秋季各类动物大量繁殖这一规律,尤其值得注意的是,在这一海区秋季桡足类大量繁殖,优势度和丰度均较高,而大量养殖着贝类的流沙湾春季瓣鳃类面盘幼虫却不成为优势类群,是因为调查时间为 5 月下旬,已过了贝类 3 月中下旬至 4 月上旬的繁殖盛季。

4 季均为优势种的种类有 2 种: 针刺拟哲水蚤、

小拟哲水蚤,其丰度及其在桡足类和浮游动物中所占的比例各季节变化较大。针刺拟哲水蚤冬季和夏季分别出现丰度高峰,特别是冬季,个体数达 $18.03\text{ind}/\text{m}^3$,占桡足类的 57.2%,占浮游动物总个体数的 34.2%;夏季由于百陶箭虫和亚强壮真哲水蚤的优势度较大,浮游动物种类多,故夏季针刺拟哲水蚤在桡足类和浮游动物中所占的比例较小。从其丰度在 4 季出现两次高峰可看出,该物种属双峰型的广温广盐性种类。小拟哲水蚤仅在春季出现丰度高峰,达 $14.46\text{ind}/\text{m}^3$,占桡足类的 38.93%,占浮游动物总个体数的 17.69%,冬季的丰度比夏秋季的稍高,其季节变化特征与厦门港(郑重等,1984)相类似(图 4)。

该两物种在秋季丰度均较低,但此季节浮游植物的丰度并不低,可能与该两物种的生理特点和季节演替有关,究其原因如何,有待进一步研究。

2.4 浮游动物的多样性

调查期间浮游动物多样性指数年均值变化范围为 2.29—3.39,整个海区年均值为 2.87。多样性指数的平面分布基本上分为三个区:从湾口往外逐渐增

表 3 浮游动物优势种群的季节演替
Tab.3 Seasonal successions of the dominate species of zooplankton

种类	冬季(2月)		春季(5月)		夏季(8月)		秋季(11月)	
	出现频率	优势度	出现频率	优势度	出现频率	优势度	出现频率	优势度
太平洋纺锤水蚤	—	—	0.57	0.024	—	—	—	—
微刺哲水蚤	—	—	—	—	0.50	0.035	—	—
亚强壮真哲水蚤	—	—	—	—	1.00	0.161	—	—
针刺拟哲水蚤	0.79	0.260	0.64	0.052	0.86	0.091	0.71	0.020
小拟哲水蚤	0.71	0.091	0.93	0.165	0.086	0.021	0.93	0.020
瘦尾胸刺水蚤	—	—	0.64	0.024	—	—	—	—
钳形歪水蚤 <i>Tortanus forcipatus</i>	—	—	—	—	1.00	0.065	—	—
近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i>	0.64	0.025	—	—	—	—	—	—
大眼剑水蚤 <i>Corycaeus</i> sp.	—	—	0.79	0.053	—	—	—	—
坚长腹剑水蚤 <i>Oithona rigida</i>	—	—	—	—	1.00	0.035	1.00	0.085
孟加拉蛮戎	0.93	0.141	—	—	0.86	0.028	—	—
百陶箭虫	0.57	0.036	0.79	0.021	1.00	0.200	—	—
多毛类疣足幼虫	—	—	—	—	—	—	0.79	0.049
桡足类无节幼虫	—	—	—	—	—	—	1.00	0.276
桡足幼体	—	—	—	—	1.00	0.070	1.00	0.264
蔓足类无节幼虫	—	—	0.93	0.066	—	—	1.00	0.075
短尾类溞状幼虫	—	—	1.00	0.194	1.00	0.042	—	—
长尾类溞状幼虫	—	—	0.79	0.039	—	—	—	—
瓣鳃类面盘幼虫	—	—	—	—	—	—	1.00	0.047
糠虾类幼体	—	—	—	—	1.00	0.034	—	—
磷虾类幼体	—	—	1.00	0.075	—	—	—	—

注: “—”表示在该季度不是优势种

大, 中部靠南有一个密集区, 从内湾往湾顶逐渐增大(图 5)。多样性指数季节平均值的周年变化较为显著, 呈截平的单峰型, 峰值位于春、夏季, 低谷位于秋、冬季(图 6)。

3 讨论

3.1 流沙湾海草床海域浮游动物的时空分布和影响因素

浮游动物的时空分布是外界环境条件综合作用的结果, 流沙湾靠近北部湾出口, 地形地貌为泻湖,

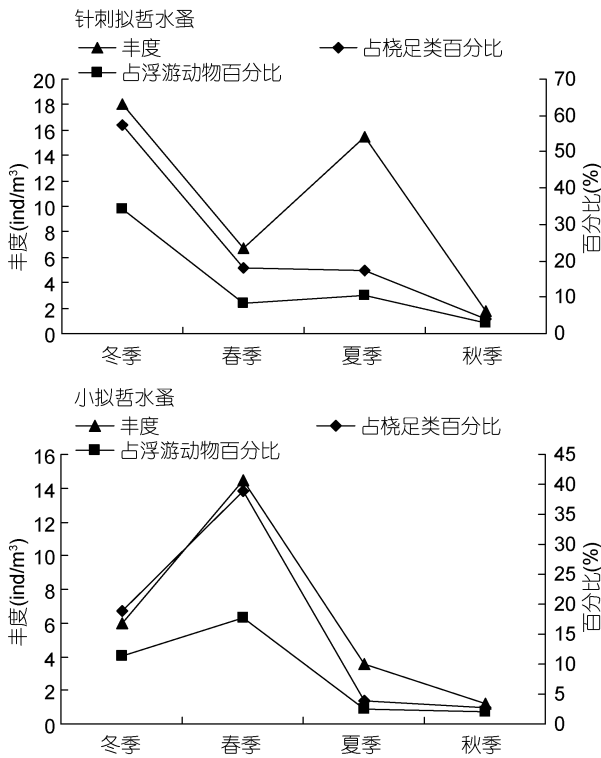


图 4 主要浮游动物优势种的季节变化

Fig.4 Seasonal changes of the dominant zooplankton species

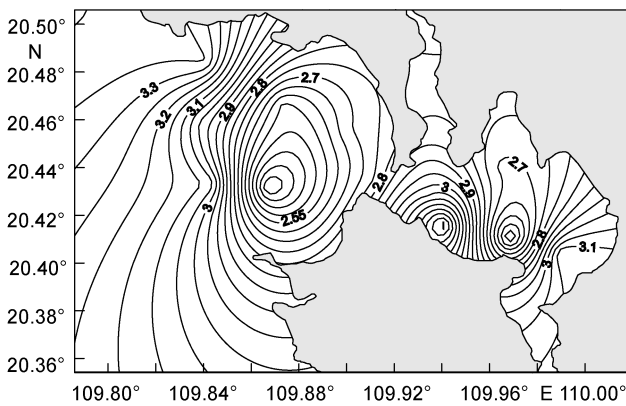


图 5 浮游动物多样性指数的周年平均值

Fig.5 Annual averages of zooplankton diversities at each station

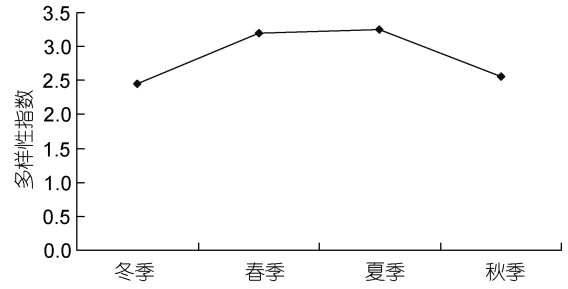


图 6 浮游动物多样性指数的季节变化

Fig.6 Seasonal changes of zooplankton diversities

受南海外海高盐水和大陆径流的影响, 海水交换量大, 环境条件较复杂, 其浮游动物的平面分布和季节变化必然受到外界环境的综合影响。

生物量平面分布湾口和湾中部较大, 往湾顶变小; 丰度是湾口和湾顶较大, 湾中部较小, 北面较小而南面较大。水较浅的几个测站如站 14、3、12 生物量较小, 涨退潮时水体交换量大, 悬浮物含量高, 浮游植物光合作用受抑制; 水较深而流不急的测站如站 4、2、9、5 生物量较大, 这几个测站海水相对稳定; 站 6 受码头污染物和船舶的影响、站 7 水流急、站 8 和站 13 受大陆径流的影响较大, 这几个测站的浮游动物生物量也相对较小。这是因为浮游动物的平面分布与水深、海流及浮游植物丰度有关, 大型浮游动物多分布于较深的水域, 小型浮游动物特别是浮游幼虫多分布在较浅的水域和海水表层(郑重等, 1984); 另外, 站 3、10、12、13、14 处于或靠近贝类养殖区, 贝类的食物竞争也是浮游动物生物量较小的原因之一。从总体上看, 全年生物量平面分布状况基本上为湾口>湾中部>湾顶, 由于纳潮湾口海水多为富含浮游植物的北部湾水体, 而内湾沿岸高密度的贝类养殖把浮游植物滤食殆尽(张才学等, 2012), 缺乏饵料生物的贝类养殖区, 浮游动物的生物量较低, 这也是流沙湾海草床海域浮游动物种类较少和生物量较低的原因之一。

浮游动物生物量和丰度的季节变化都是夏季最大, 春季次之, 冬季最小, 这与多数海区浮游动物及各类底栖动物的繁殖特点相一致, 说明了调查海区多数动物在春、夏、秋季繁殖, 而在冬季不繁殖的规律, 也符合一般海区浮游动物在夏季大量繁殖的生物学季节特点。流沙湾是一个位于亚热带的内湾, 按一般规律, 其浮游植物和浮游动物的季节变化应为双峰型, 而且浮游动物的丰度高峰应出现在浮游植物的丰度高峰之后, 但该海湾浮游植物和浮游动物

的季节变化均为单峰型,而且浮游植物的丰度高峰位于秋季,浮游动物的丰度高峰却出现于夏季,其原因可能是该海湾养殖着大量的珍珠贝、海湾扇贝和网箱鱼类,存在着我国最大的海草床,具有强大滤食功能的养殖贝类以及贝类春季繁殖的大量幼虫滤食了大量的浮游植物,调查海区浮游植物春季丰度低(年均丰度 1.96×10^4 cells/L)且多为不易被摄食的链状群体应是贝类滤食的结果(张才学等, 2012);大型海藻和海草的生长吸收了大量的营养盐,使流沙湾海域成为贫营养海湾,一般海湾营养盐显著的季节变化规律在该海湾被打破和弱化,再则该海湾为泻湖型海湾,悬浮物含量较高(年均 11.4mg/L),从而严重影响着浮游植物的生长繁殖。

分别对 4 个季节浮游动物生物量和丰度与环境因子进行相关性分析,发现该海域浮游动物生物量与浮游动物丰度、pH 值存在着显著的正相关,相关系数分别为 0.519 和 0.731 ($P < 0.01, n=56$, 双尾);浮游动物丰度与 pH 值呈较明显的正相关,这与田慧娟等(2008)的调查结果相一致;盐度是影响浮游动物数量、种类组成和分布的重要因素,相关性分析发现,浮游动物生物量、丰度与盐度呈负相关,盐度越低,生物量和丰度越大,此结论与田慧娟等(2008)和纪焕红等(2006)的结果不一致,这可能与大陆径流有关,在流沙湾这个贫营养海湾里,大陆径流带入的有机颗粒和营养物质成为浮游动物的食物来源,随着大陆径流输入量的增加,有机物输入量也增加,而盐度则随之下降;浮游动物生物量、丰度与叶绿素 *a* 呈较明显的正相关,但与浮游植物丰度没有明显的相关性,这是因为浮游植物细胞大小相差悬殊,且冬、春季的第一优势种均为夜光藻,分别占细胞总量的 21.9%和 79.0%(张才学等, 2012),浮游植物细胞数不能很好地反映浮游植物的生物质量,而叶绿素 *a* 却能更好地体现出浮游植物生物质量的变化。生物量和丰度与 PO_4^{3-} 呈负相关,与纪焕红等(2006)在研究长江口浮游动物时的结果相似(图 7)。生物量、丰度与水温的相关系数分别为 0.482 和 0.408 ($P < 0.01, n=56$, 双尾),为极显著的正相关,与柘林湾(黄长江等, 2003)调查结果(生物量、丰度与水温存在极显著的相关性)是一致的,这表明浮游动物生物量和丰度与水温的季节变化趋势相一致,水温是影响流沙湾浮游动物季节变化的一个重要因素。其它的环境因子与生物量和丰度则不存在明显的相关性。

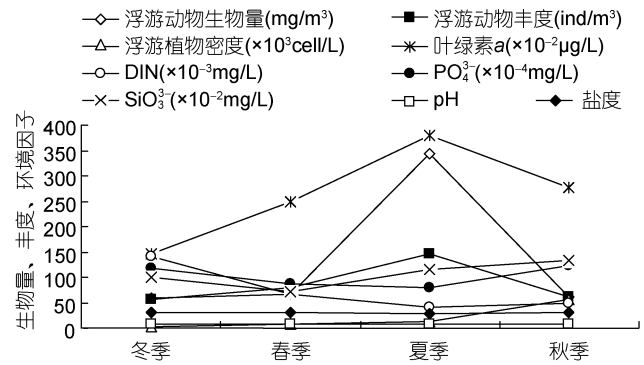


图 7 浮游动物生物量、丰度与环境因子的季节变化

Fig. 7 Seasonal variation of biomass and individuals and environmental factors of zooplankton

流沙湾属亚热带海域处于亚热带与热带交界的边缘,水环境的季节差异不显著,此次调查时间分布在每个季节的最后一个月,不能完全代表各个季节的生态特征,特别是春季平均水温 27.1°C ,已接近夏季的平均水温 30.5°C ,各类动物春季的繁殖盛季已过(大量养殖贝类的海域面盘幼虫不成为优势种群就是佐证),若要全面了解流沙湾浮游动物的周年变化应做更详细更周密的调查。

3.2 流沙湾海草床海域浮游动物群落结构的评价

本次调查共鉴定出浮游动物 62 种(类),比深圳湾(张才学等, 2010)和珊瑚礁区(尹健强等, 2008)的种类数为多,而比东山湾(郑惠东, 2009)、福清湾(林卓君, 2008)、三亚湾(时翔等, 2007)、柘林湾(黄长江等, 2003)和珠江口(李开枝等, 2005)的为少;物种多样性比深圳湾、珠江口和柘林湾为高,而比三亚湾、福清湾和东山湾的为低。可能是深圳湾的工业污染较严重,不利于环境敏感种类的生长繁殖(桡足类种类较少,且未发现对环境敏感的枝角类),珠江口和柘林湾为富营养化海域,其物种多样性必然受到影响;三亚湾、福清湾和东山湾未受工业污染但营养较丰富,利于浮游动物的生长繁殖,故其物种较丰富;珊瑚礁区和流沙湾均为贫营养型海域,因珊瑚礁区的数据仅为夏季的调查结果,而流沙湾存在海草床,拥有大量大型海藻、海草和大量养殖的贝类、浮游植物密度低、悬浮物含量高,是其种类数较少之原因(表 4)。

流沙湾浮游动物总生物量除了比三亚湾和福清湾的高以外,比其它几个海湾都低,这也说明了深圳湾、珠江口、柘林湾和东山湾都属富营养化海域,其浮游动物的生物量均较高;柘林湾比流沙湾的总丰度高了近 200 倍,而生物量增加还不够 1 倍,虽然所采用的网具不一致,但也说明在富营养化海湾物种

表 4 流沙湾浮游动物的群落结构与其它海湾的比较
Tab.4 Comparison of community structure of zooplankton between Liusha Bay and other bays

海域	调查时间	网目直径 (μm)	总个体数 (ind/m^3)	总生物量 (mg/m^3)	总种类数	桡足类 种类数	多样性指数	均匀度	文献来源
柘林湾	2001—2002	169	1.58×10^4	227.8	90	60	2.49	0.69	黄长江等, 2003
珠江口	2002—2003	505	915.5	292.5	81	37	2.33	0.60	李开枝等, 2005
三亚湾	2005	505	95.9	69.2	141	59	3.74	0.53	时翔等, 2007
福清湾	2005—2006	505	122	77.7	74	30	3.11	0.78	林君卓, 2008
东山湾	2007	505	982.3	163.2	84	37	3.01	0.70	郑惠东, 2009
深圳湾	2008	505	406.7	764.0	56	22	2.57	0.53	张才学等, 2010
流沙湾	2008	505	84.8	132.2	62	35	2.87	0.56	本调查
灯楼角珊瑚礁区	2004.08	169	5270	—	91	45	2.91	0.59	尹健强等, 2008
珊瑚礁区	2004.08	505	48	—	48	—	2.09	0.80	尹健强等, 2008

已趋于小型化(Uye, 1994; Dippner, 1998); 而三亚湾和福清湾的浮游动物均为小型化, 丰度较大而总生物量却较小; 流沙湾浮游动物的总丰度比珊瑚礁的为高, 虽然尹健强等(2008)未给出总生物量的数据, 但从其种类组成也能说明海草床海域的次级生产力比珊瑚礁区的高, 也证实了在海草床、红树林、珊瑚礁三大典型海洋生态系统中, 海草床的生态价值是最高的。

由此可以得出结论, 污染较重的富营养化海湾浮游动物种类数较少, 但丰度和总生物量较大; 而贫营养型海湾浮游动物种类数稍多, 丰度和总生物量较少; 营养较丰富的海湾浮游动物种类数、丰度和总生物量均较大, 物种多样性也较高。调查海区存在着大量大型海藻和大量养殖贝类, 其营养盐含量低, 悬浮物含量高(属三类水质标准), 浮游植物丰度低, 这些因素综合影响了浮游动物种类组成和数量分布。由于调查所采用的网具网目较大以及采样时间为白昼, 在海草床和珊瑚礁区浮游动物易于白天藏匿, 若进行夜间调查, 其结果更能反映实际情况。即便如此, 流沙湾海草床海洋生态系统与珊瑚礁区海洋生态系统同样是独特而健康的物种较丰富、生产力较高的海洋生态系统。

参 考 文 献

- 王 荣, 张鸿雁, 王 克等, 2002. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用. 海洋与湖沼, 33(5): 453—460
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2007. 海洋调查规范, 第 9 部分: 海洋生态调查指南. 北京: 海洋出版社, 1—20
- 尹健强, 黄 晖, 黄良民等, 2008. 雷州半岛灯楼角珊瑚礁海区夏季的浮游动物. 海洋与湖沼, 39(2): 131—138
- 田慧娟, 马培明, 刘吉堂等, 2008. 连云港近海浮游动物生态

- 特征及其与环境的的关系. 海洋环境科学, 27(4): 363—369
- 孙 松, 周 克, 杨 波等, 2008. 胶州湾浮游动物生态学研究 I. 种类组成. 海洋与湖沼, 39(1): 1—7
- 纪焕红, 叶属峰, 2006. 长江口浮游动物生态分布特征及其与环境的的关系. 海洋科学, 30(6): 23—30
- 李开枝, 尹健强, 黄良民等, 2005. 珠江口浮游动物的群落动态及数量变化. 热带海洋学报, 24(5): 60—68
- 时 翔, 王汉奎, 谭焯辉等, 2007. 三亚湾浮游动物数量分布及群落特征的季节变化. 海洋通报, 26(4): 42—49
- 张才学, 陈慧妍, 孙省利等, 2012. 流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素. 生态学报, 32(5): 1527—1537
- 张才学, 周 凯, 孙省利等, 2010. 深圳湾浮游动物的群落结构及季节变化. 生态环境学报, 19(11): 2686—2692
- 林君卓, 2008. 福清湾及附近海域浮游动物的数量和分布. 台湾海峡, 27(1): 58—63
- 郑 重, 李少菁, 许振祖, 1984. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1—653
- 郑惠东, 2009. 福建东山湾浮游动物的种类组成与数量分布特点. 福建水产, (2): 11—17
- 黄小平, 黄良民著, 2007. 中国南海海草研究. 广州: 广东经济出版社, 1—92
- 黄长江, 陈善文, 何 歆等, 2003. 2001—2002 粤东柘林湾浮游动物的生态学研究. 海洋与湖沼, 34(2): 117—130
- 谢恩义, 申玉春, 叶 宁等, 2009. 流沙湾的底栖大型海藻调查. 广东海洋大学学报, 29(4): 30—35
- Dippner J W, 1998. Competition between different groups of phytoplankton for nutrients in the Southern North Sea. Journal of Marine Systems, 14(1—2): 181—198
- Jaccard P, 1908. Nouvelles recherches sur la distribution florale. Bull Soc Vaud Sci Nat, 44: 223—270
- Khalil T M, 1997. Abundance and diversity of surface zooplankton in the Gulf of Aqaba, Red Sea, Egpty. J Plankton Res, 17(7): 927—936
- Siokou-Frangou I, Papatanasaiou E, Lepretre A *et al*, 1998. Zooplankton assemblages and influence of environmental

- parameters on them in a Mediterranean coastal area. *J Plankton Res*, 20(5): 847—870
- Sun J, Lju D Y, Xu J *et al*, 2004. The netz-phytoplankton community of the Central Bohai Sea and its adjacent waters in spring 1999. *Acta Ecologica Sinica*, 24(9): 2003—2016
- Uye S I, 1994. Replacement of large copepods by small ones with eutrophication of embayments: cause and consequence. *Hydrobiologia*, 292/293: 513—519

COMMUNITY COMPOSITION AND SEASONAL CHANGES OF THE ZOOPLANKTON IN THE SEAWEED-FIELD AREA OF THE LIUSHA BAY

ZHANG Cai-Xue, SUN Xing-Li, CHEN Chun-Liang, ZHANG Yu-Bin, ZHANG Ji-Biao
(Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524088)

Abstract Seasonal investigation on zooplankton community was carried out in the seaweed-field area of the Liusha Bay of Guangdong, China, from February to November of 2008. A total of 49 species and 13 groups of Pelagic larvae were found in that sea area. In which the copepoda had 35 species taxonomically, with decapoda (2 species), amphipoda (2 species), ostracoda (1 species), hydromedusae (3 species), ctenophora (1 species), chaetognatha (1 species), tunicate (1 species), polychaeta (2 species), water insects (1 species) and pelagic larvae (13 groups including fish larva) presenting simultaneously. The community was mainly composed of copepod and pelagic larvae. The annual average density and biomass were 84.8 ind/m^3 and 132.2 mg/m^3 , respectively, with the maximum number of organisms found in summer and the minimum found in winter, so there was a mono-peak in annual changes of number of organisms. The area were found to have the most abundant of organisms (48 species including pelagic larvae) during autumn, followed by that in summer (37 species) while the least were in winter (merely 26 species). There were 16 to 30 common species in two seasons. The Jaccard similarity index (including pelagic larvae) ranged from 0.372 to 0.545, with the maximum in spring and summer, and the minimum in autumn and winter. 15 species emerged out of each season, in which 5 groups were pelagic larvae implying subtropical eco-attribution. There were two dominant species spread widely in all seasons and they were *Paracalanus aculeatus* and *P. parvus*. The regression analysis found that the abundance was very positively correlated to the biomass and pH, there was positively correlated to the chlorophyll-*a* and WT as well. The biomass and abundance were negative correlated to the Salinity and PO_4^{3-} and that were no significant correlated to main environmental factors.

Key words zooplankton; community composition; Shannon-Weaver index; seasonal change; seaweed-field; Liusha Bay