

张才学, 龚玉艳, 孙省利, 等. 2010 年夏季雷州半岛沿岸海域浮游动物群落结构特征[J]. 海洋学报, 2014, 36(4): 91—99. doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2014.04.008

Zhang Caixue, Gong Yuyan, Sun Xingli, et al. Zooplankton community in the coastal zone of Leizhou Peninsula in summer 2010[J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2014, 36(4): 91—99. doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2014.04.008

2010 年夏季雷州半岛沿岸海域浮游动物群落结构特征

张才学¹, 龚玉艳¹, 孙省利^{1*}, 施玉珍¹, 杨国欢¹, 柯盛¹

(1. 广东海洋大学 海洋资源与环境监测中心, 广东 湛江 524088)

摘要: 2010 年 7 月对雷州半岛海岸带的浮游动物群落结构及相关环境因子进行了调查, 共鉴定出浮游动物 87 种和 34 类浮游幼体, 其中原生动物 4 种, 占总种类数的 4.6%; 腔肠动物 20 种, 占总种类数的 23.0%; 介形类 1 种, 占总种类数的 1.1%; 枝角类 2 种, 占总种类数的 2.3%; 桡足类 37 种, 占总种类数的 42.5%; 十足类 2 种, 占总种类数的 2.3%; 毛颚动物 7 种, 占总种类数的 8.0%; 被囊动物 6 种, 占总种类数的 6.9%; 浮游软体动物 8 种, 占总种类数的 9.2%。优势种有 13 种和 3 类浮游幼体, 孔雀强额哲水蚤和小毛猛水蚤是该海域重要的优势种群, 几乎在全海域均为优势种, 桡足类幼体为全海域优势类群。半岛沿岸海域浮游动物种类数由近岸往远岸逐渐增多, 浮游动物丰度分布则相反。浮游动物种类数由多到少的顺序为东北部、东南部、西北部和西南部、南部, 丰度由大到小的顺序为西北部、西南部、东北部、东南部、南部, 生物量由大到小的顺序为东北部、西南部、西北部、东南部、南部, 浮游动物丰度和生物量的平面分布反映了人类对海岸带开发利用的活动概貌。多样性指数和均匀度平均值分别为 2.96 和 0.57。相关分析表明: 浮游动物丰度与水温、细菌总数、浮游动物生物量均呈极显著的正相关关系, 与磷酸盐呈显著的负相关关系; 浮游动物生物量与 TOC、细菌总数、叶绿素 a、浮游植物丰度均呈极显著的正相关关系, 与 pH 呈显著的正相关关系, 与盐度呈显著的负相关关系。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 海岸带; 雷州半岛

中图分类号: Q958

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2014)04-0091-09

1 引言

浮游动物是海洋次级生产力的主要组成者, 它们把植物性食物转化成能被更高级动物利用的动物性食物, 是食物网结构的关键环节, 在海洋生态系统物质循环和能量流动中起着承上启下的重要作用。其群落结构的时空分布及变化与环境因素密切相关, 环境影响着浮游动物的群落结构, 而浮游动物群落的变化也能反映环境的特征。

雷州半岛周边几个海湾的浮游动物生态特征曾有过研究^[1-10], 而对整个半岛沿岸海域浮游动物生态的综合调查未见报道。本文从种类组成、优势种变化、丰度和生物量等方面分析了 2010 年夏季雷州半岛沿岸海域浮游动物的生态特征及其与环境因子之关系, 试图阐明人类对海岸带开发利用状况与浮游动物群落结构之间分布格局的关系, 为海岸带主体功能区划提供浮游动物群落分布格局的依据, 并为保护半岛沿岸海域生态环境, 维持海洋生物资源的可持续利用提供基础资料。

投稿日期: 2013-07-04; 修订日期: 2013-09-11。

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项(200905005-05, 201105008-5)。

作者简介: 张才学(1963—), 男, 广东省阳春市人, 副教授, 从事海洋生态和海洋环境的教学研究。E-mail: gdzhangcx@126.com

* 通信作者: 孙省利, 教授, 主要从事地球化学和海洋科学研究工作。E-mail: xingsun@126.com

2 材料与方法

2.1 样品采集与分析

2010年7月对雷州半岛沿岸海域生态环境进行了调查,为便于分析,每3个测站定为一个断面,把测站1、2、3定为A断面,依次定为B、C、D……S断面。断面

A、B、C、D为东北部海岸带,断面E、F、G为东南部海岸带,断面H、I、J、K为南部海岸带,断面L、M、N、O为西南部海岸带,断面P、Q、R、S为西北部海岸带(图1)。

共布设19条观测断面57个调查站位(图1),由于各区域水下坡度不同,各断面近岸与远岸的距离在1.9~25.2 km不等,各站位水深为3~18 m不等。

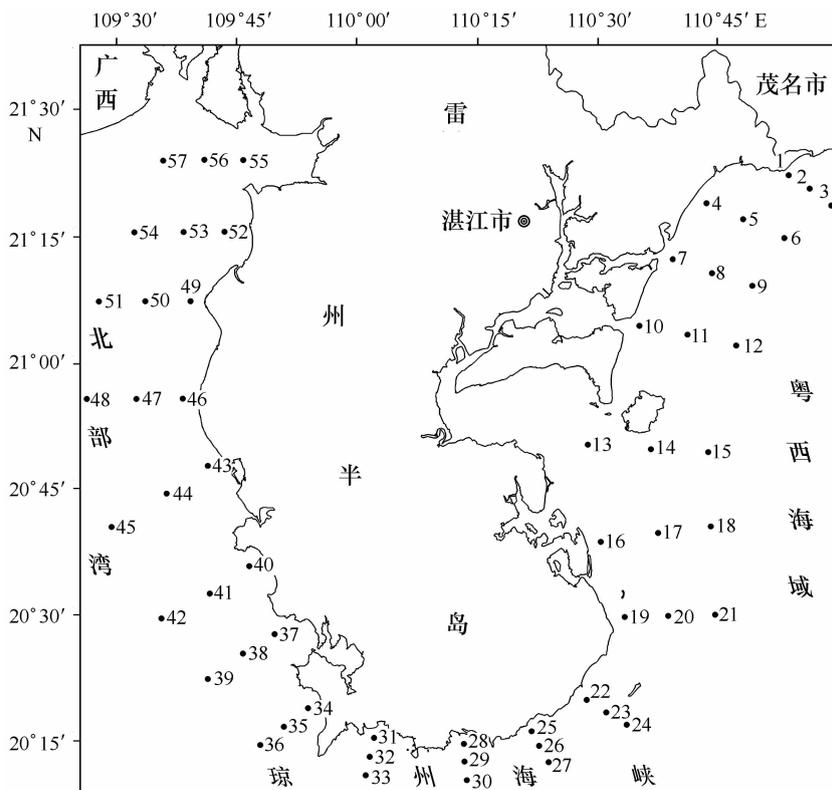


图1 雷州半岛海岸带采样站位

调查的内容有叶绿素a、浮游植物、浮游动物和理化环境因子等。叶绿素a为采集表层水样过滤,用90%丙酮萃取,用分光光度法分析。浮游植物定量样品为采集表层水样1 L于塑料瓶中,加入5%福尔马林溶液固定保存,用显微计数法分析;浮游动物样品,采用装有网口流量计的浅水Ⅲ型浮游生物网自底至表垂直拖网采集,再用显微计数和湿重生物量法分析;水温、盐度、pH值分别采用温度计、Orion130A盐度计和Orion3star pH计现场测定,氨氮用靛酚蓝分光光度法、亚硝酸盐用萘乙二胺分光光度法、硝酸盐用紫外分光光度法、活性硅酸盐用硅钼蓝分光光度法、活性磷酸盐用磷钼蓝分光光度法分析^[11]。

2.2 数据分析

多样性指数 $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$, 式中 s 为物种

数, P_i 为第 i 种在全部样品中的比例 ($P_i = n_i/N$), n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数。

均匀度 $J = H' / (\log_2 S)$, 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 $Y = (n_i/N) \cdot f_i$, 式中 n_i 为某海岸带第 i 种的总个体数, N 为某海岸带所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在某海岸带采样点出现的频率, 以 $Y > 0.02$ 作为优势种。

3 结果

3.1 浮游动物种类组成及生态类群

3.1.1 种类组成

研究表明,浮游动物有87种和34类浮游幼体,其中,原生动物的4.6%;腔肠动物20种,占总种类数的23.0%;介形类1种,占总种类

数的1.1%;枝角类2种,占总种类数的2.3%;桡足类37种,占总种类数的42.5%;十足类2种,占总种类数的2.3%;毛颚动物7种,占总种类数的8.0%;被囊动物6种,占总种类数的6.9%;浮游软体动物8种,占总种类数的9.2%(见表1)。桡足类种类最多,腔肠动物次之,各类群均有浮游幼体出现。

各站浮游动物种类数从23种至50种不等,站1、2、3、17种类最多,站22种类最少。以断面分析,断面A种类数最多,各站的种类数多达50种,断面K的种类数最少,各站位的种类数仅为24~25种,但各断面的种类数有由近岸往远岸逐渐增多的趋势,半岛各段海岸带的浮游动物种类数由多到少的次序为东北部、东南部、西北部和西南部、南部的分布格局,其中南部各站位的种类数几乎均未超过30种(图2)。

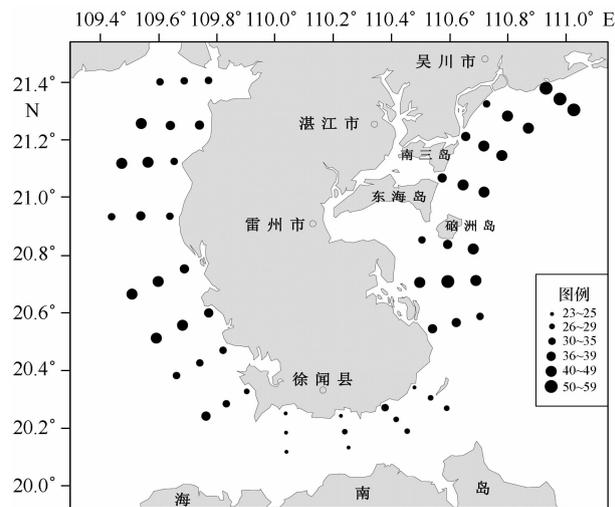


图2 浮游动物种类数(种)的平面分布

3.1.2 生态类群

根据浮游动物的生态习性和地理分布,雷州半岛海岸带夏季浮游动物大致可划分为4个生态类群。

(1)河口低盐(含半咸水)生态类群

因受河流、大陆径流和城市生活污水等淡水的影响,调查海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*、双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*、真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*、瘦尾筒角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*、安氏伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus amandalei*、海洋伪镖水蚤 *Pseudodiaptomus arabicus*、中华假磷虾 *Pseudeuphausia sinica*、汉森莹虾 *Lucifer hanseni*、球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa* 等。

(2)近岸暖温性生态类群

适应于偏低温低盐的暖温带种类,主要代表有小刺哲水蚤 *Paracalanus parvus*、肥胖三角溞 *Pseudoeudonea tergestina* 等,这是典型的低温低盐种类,在我国渤海至南海沿岸水域均有分布。

(3)近岸暖水性生态类群

适应于偏高温低盐种类,主要种类有太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*、红纺锤水蚤 *Acartia erythraea*、驼背隆哲水蚤 *Acrocalanus gibber*、长角隆哲水蚤 *Acrocalanus longicornis*、伯氏平头水蚤 *Candacia bradyi*、亚强次真哲水蚤 *Subeucalanus subcrassus*、强次真哲水蚤 *Subeucalanus crassus*、尖额谐猛水蚤 *Euterpina acuti frons*、孔雀强额哲水蚤 *Pavocalanus crassirostris*、针刺拟哲水蚤 *Paracalanus aculeatus*、短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis*、羽长腹剑水蚤 *Oithona plumifera*、锥形宽水蚤 *Temora turbinata*、柱形宽水蚤 *Temora styliifera*、异尾宽水蚤 *Temora discaudata*、钳形歪水蚤 *Tortanus forcipatus*、小毛猛水蚤 *Microsetella norvegica*、针刺真浮萤 *Euconchoecia aculeata*、百陶带箭虫 *Zonasagitta bedoti*、小型滨箭虫 *Aidanosagitta neglecta*、柔弱滨箭虫 *Aidanosagitta delicata*、尖笔帽螺 *Creseis acicula* 等,这是典型的亚热带种类,在我国南海沿岸水域均有分布。

(4)外海暖水性生态类群

属偏高温高盐热带性种类,适温适盐范围较宽,主要种类有精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna*、红小毛猛水蚤 *Microsetella rosea*、太平洋橈虫 *Krohmita pacifica*、美丽秃鳍箭虫 *Abasiasagitta pulchra*、凶形猛箭虫 *Ferosagitta ferox*、软拟海樽 *Doliolletta gegenbauri*、小齿海樽 *Doliolum denticulata*、胖虎螺 *Limacina inflata* 等,表明高温高盐的外海水对该区域有较强的影响。

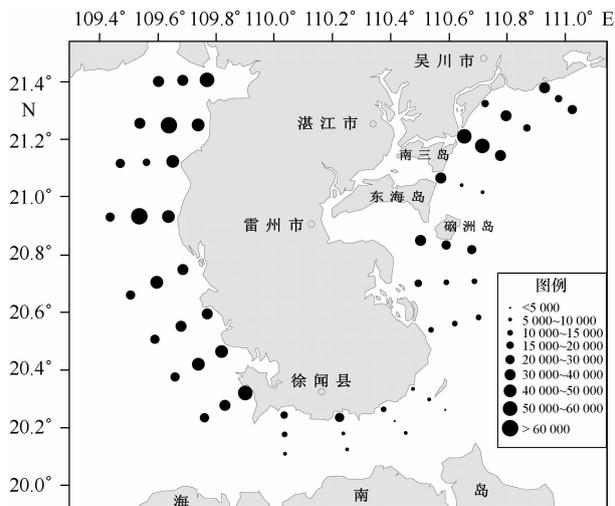
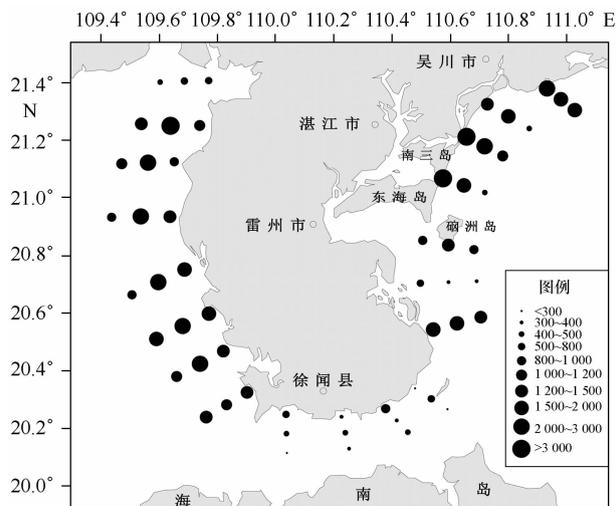
3.2 浮游动物丰度和生物量的平面分布

3.2.1 浮游动物丰度的平面分布

各站浮游动物丰度变化范围为3 646~62 879 ind/m³,平均为26 973 ind/m³,各站相差悬殊,测站47丰度最高,测站26丰度最低,两者相差近24倍;平均丰度由多到少的顺序为西北部(40 831 ind/m³)、西南部(35 565 ind/m³)、东北部(28 167 ind/m³)、东南部(19 218 ind/m³)、南部(9 144 ind/m³);各断面浮游动物丰度由从近岸向远岸递减的变化趋势(见图3)。

3.2.2 浮游动物生物量的平面分布

各站浮游动物生物量的变化范围为216~4 894 mg/m³,平均为1 300 mg/m³,测站10生物量最高,测站24生

图3 浮游动物丰度(ind/m³)的平面分布图4 浮游动物生物量(mg/m³)的平面分布

物量最低,两者相差达22倍。平均生物量由大到小的顺序为东北部(1 933 mg/m³)、西南部(1 563 mg/m³)、西北部(1 400 mg/m³)、东南部(912 mg/m³)、南部(530 mg/m³)(图4)。

3.3 浮游动物的优势种

浮游动物共有优势种13种和3类浮游幼体,其

中,10种为桡足类、2种为枝角类、1种为被囊类。仅桡足类幼体为全海域优势类群,优势度极高;孔雀强额哲水蚤和�小毛猛水蚤除在东南部不为优势种、简双长腹剑水蚤 *Dioithona simplex* 除在东北部不为优势种外,在其余海域均为优势种(表1)。

表1 雷州半岛海岸带各海域浮游动物优势种

海岸带	物种	平均丰度/ind·m ⁻³	丰度含量/%	出现频度	优势度 Y
东北部	桡足类幼体 Copepods larvae	11 043.9	39.2	1.00	0.392
	孔雀强额哲水蚤 <i>Pavocalanus crassirostris</i>	4 181.8	14.8	0.75	0.111
	鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	2 123.2	7.5	1.00	0.075
	长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>	899.1	3.2	1.00	0.032
	小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	641.4	2.3	0.92	0.021
	肥胖三角蚤 <i>Pseudexadna tergestina</i>	575.8	2.0	1.00	0.020
东南部	桡足类幼体 Copepods larvae	10 337.7	53.8	1.00	0.538
	鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	1 566.8	8.2	1.00	0.082
	长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>	892.0	4.6	0.56	0.026
	锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>	402.2	2.1	1.00	0.021
	简双长腹剑水蚤 <i>Dioithona simplex</i>	605.6	3.2	0.67	0.021
	尖额谐猛水蚤 <i>Euterpina acuti frons</i>	457.8	2.4	0.89	0.021
南部	亚强次真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	434.6	2.3	0.89	0.020
	桡足类幼体 Copepods larvae	6 359.3	69.5	1.00	0.695
	简双长腹剑水蚤 <i>Dioithona simplex</i>	433.7	4.7	1.00	0.047
	孔雀强额哲水蚤 <i>Pavocalanus crassirostris</i>	421.8	4.6	0.75	0.035
西南部	小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	226.8	2.5	1.00	0.025
	桡足类幼体 Copepods larvae	16 813.6	47.3	1.00	0.473
	短角长腹剑水蚤 <i>Oithona brevicornis</i>	2 758.9	7.7	1.00	0.077
	简双长腹剑水蚤 <i>Dioithona simplex</i>	1 694.9	4.8	1.00	0.048
	尖额谐猛水蚤 <i>Euterpina acuti frons</i>	964	2.7	1.00	0.027
	小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	938.4	2.6	1.00	0.026
孔雀强额哲水蚤 <i>Pavocalanus crassirostris</i>	2 621.8	7.4	0.75	0.055	

续表 1

海岸带	物种	平均丰度/ind·m ⁻³	丰度百分比/%	出现频度	优势度 Y
西北部	小刺哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	1 353.4	3.8	0.58	0.022
	蛇尾类长腕幼虫 <i>Ophiopluteus larvae</i>	1 625.8	4.6	0.92	0.042
	桡足类幼体 <i>Copepods larvae</i>	18 822	46.1	1.00	0.461
	瓣鳃类幼虫 <i>Lamellibranchia larvae</i>	2 746.9	6.7	1.00	0.067
	孔雀强额哲水蚤 <i>Pavocalanus crassirostris</i>	4 052.1	9.9	1.00	0.099
	筒双长腹剑水蚤 <i>Dioithona simplex</i>	1 974.8	6.2	1.00	0.062
	小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	1 128.9	2.8	1.00	0.028
	钳型歪水蚤 <i>Tortanus forcipatus</i>	1 045.4	2.6	1.00	0.026
	红纺锤水蚤 <i>Acartia erythraea</i>	998.1	2.4	1.00	0.024

本调查中,浮游动物没有全海域优势种,仅桡足类幼体为各海岸带共有优势类群,且优势度较高,达40%以上,说明7月份是桡足类繁殖旺季,丰富的桡足类幼体必将为渔业资源的补充群体提供大量的开口饵料。次优势种为强额拟哲水蚤,该物种除在东南部海岸带丰度稍低外,在其他海岸带均为优势种,且优势度均较高,在该海域浮游动物群落结构中占有重要的位置。挪威小毛猛水蚤几乎与强额拟哲水蚤相伴而出现,也是除东南部海岸带外为其他海岸带共有的优势种,其他优势种在各区段的分布各不相同,有的出现在几个区段,有的仅为某个区段特有优势种,优势度也相对较低。

3.4 浮游动物的多样性指数和均匀度

浮游动物多样性指数变化范围在1.43~4.51,平均为2.96,最小值出现在测站32,最大值出现在测站1;均匀度为0.31~0.80,平均为0.57,最小值出现在测站32,最大值出现在测站1。多样性指数和均匀度有从高纬度往低纬度减少的变化趋势(图5、图6)。

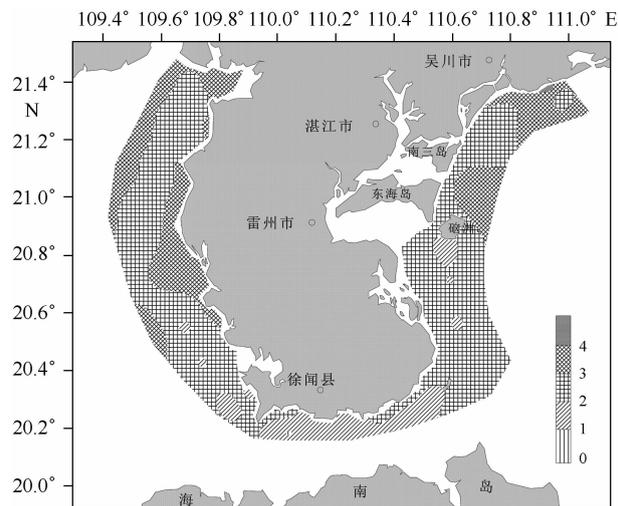


图5 浮游动物多样性指数的平面分布

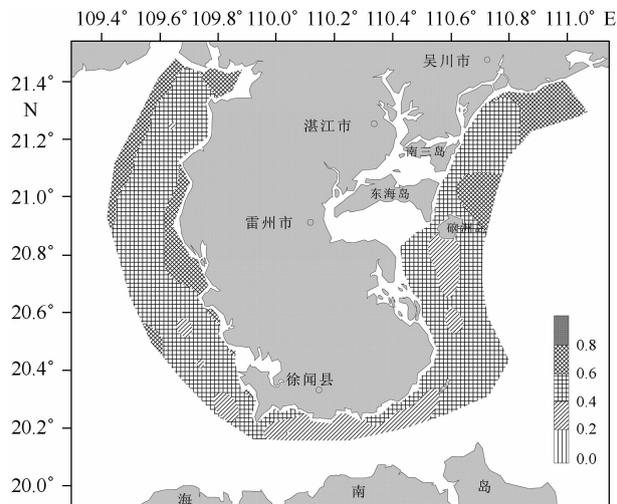


图6 浮游动物均匀度的平面分布

4 讨论

4.1 浮游动物群落结构特征

雷州半岛沿岸海域夏季浮游动物中桡足类种类最多,其次为腔肠动物,浮游幼体列第三位,三者合计占总种类数的75.2%。与历史资料^[3-6,12]相比,浮游动物的种类组成相差不大,桡足类依然最多,腔肠动物和浮游幼体也占有一定比例。

本研究浮游动物丰度和生物量比以往的调查结果^[3-6,12]高出1至3个数量级,这主要与本次调查所使用的浅水Ⅲ型网有关。一般浮游动物调查所使用的是浅水Ⅰ型网,此网的网目孔径相对较大,容易在拖网过程中漏掉小型浮游动物,有研究^[6]认为在中小型浮游动物占优势的海区仅分析浅水Ⅰ型网样品是不全面的,甚至会得出错误的结论。雷州半岛海岸带附近水域的浮游动物群落主要以中小型浮游动物占优势^[3,6],本次调查结果也显示中小型浮游动物在浮

游动物群落中占据的优势地位不降反升,各海岸带的优势种类全为中小型浮游动物,且优势度较高,因此浮游动物丰度和生物量值大幅度增加。

各区段的优势种个体均较小,为小型浮游动物,这也印证了群落结构趋于小型化已成为生态系统生物群落结构变化适应生态环境全球变化这一普遍规律^[13-15]。综合多次调查资料发现,强额拟哲水蚤在半岛东北部海岸带水域中常成为优势种,短角长腹剑水蚤、小拟哲水蚤、桡足类幼体、筒长腹剑水蚤等在各海岸带也频频出现,有时亦成为优势种。这些小型桡足类个体较小,在调查中容易被忽视,但它们生命周期短,周转快,产量高,是仔、稚鱼的良好开口饵料,在海洋生态系统中具有重要的功能和地位^[16]。因此,在往后的生态调查中应重视半岛附近水域中小型浮游动物的研究。

雷州半岛沿岸海域浮游动物大致分为 4 个生态类群,其中,河口低盐性类群适应较低的盐度,主要分布在

某些河口低盐水域,外海暖水性类群则主要分布在偏高温高盐的外侧海域,近岸暖温性类群在此次调查出现的种类较少,有两种为优势种,但优势度均很低。近岸暖水性类群是雷州半岛海岸带夏季浮游动物的主导类群,适应相对高温低盐的环境,分布广,数量大,本次调查的 13 种优势种中就有 11 种属于该类群。总体而言,该浮游动物群落结构较复杂,体现了雷州半岛沿海域既受河流和大陆径流等淡水的影响,也受到南海外海高温高盐水的影响,属于典型的亚热带沿岸群落。

与近几年调查结果相比(表 2),半岛东北部和西南部沿海域浮游动物的多样性指数变化不大,相对较高,且东北部一直高于西南部,而均匀度则有所降低,这主要是因为各海岸带的优势种突出,种间数量分布不均匀所致。总体而言,雷州半岛海岸带浮游动物资源丰富,各海岸带浮游动物群落结构复杂且相对稳定,具有明显的斑块分布特征。

表 2 雷州半岛海岸带浮游动物群落结构与附近海湾的比较

海域	调查时间	采样网具	种类数	桡足类	优势种	丰度 /ind·m ⁻³	生物量 /mg·m ⁻³	多样性 指数	均匀度	文献	
湛江港湾	2009.8	I	45	24	桡足类幼体、孔雀强额哲水蚤、刺尾纺锤水蚤、亚强次真哲水蚤、短角长腹剑水蚤等	1.5×10 ² ±2.3×10 ²	—	3.57	0.82	[3-4]	
	2010.8	I	33	19	孔雀强额哲水蚤、刺尾纺锤水蚤、安氏伪镖水蚤、小刺哲水蚤、藤壶幼体	7 807.3	—	湾口: 3.01	湾口: 0.72	[5]	
雷州湾-湛江港	2009.9	I	72	29	孔雀强额哲水蚤、短角长腹剑水蚤、异体住囊虫	1 489.3	117.47	3.96	0.80	[12]	
徐闻珊瑚礁	2004.8	I	44	18	双生水母、短尾类幼体、磁蟹幼体	48	—	2.086	0.804	[6]	
		II	83	42	孔雀强额哲水蚤、蔓足类无节幼虫、细长腹剑水蚤、筒双长腹剑水蚤、桡足类幼体、无节幼虫等	5 270	—	2.906	0.592		
北部湾	介形类	1998 夏季	I	11	—	尖尾海萤、纳米海萤、针刺真浮萤	1.233	0.297	0.533± 0.614	—	[9]
	海樽类	1998 夏季	I	12	—	小齿海樽、双尾纽鳃樽、双尾纽鳃樽东方亚种	0.1	—	—	—	[10]
	毛颚类	1998 夏季	I	21	—	—	—	—	—	—	[7]
	毛颚类	2001—2002	I	13	—	肥胖软箭虫、百陶带箭虫、小形滨箭虫	9.06	21.4	0.855	—	[8]

续表 2

海域	调查时间	采样网具	种类数	桡足类	优势种	丰度 /ind · m ⁻³	生物量 /mg · m ⁻³	多样性 指数	均匀度	文献	
雷州半岛海岸带	东北部	2010 夏	Ⅲ	78	24	桡足类幼体、孔雀强额哲水蚤、鸟喙尖头蚤、长尾住囊虫、小毛猛水蚤、肥胖三角蚤	28 166.83	1 971.52	3.11	0.57	本次调查
	东南部	2010 夏	Ⅲ	80	24	桡足类幼体、鸟喙尖头蚤、长尾住囊虫、锥形宽水蚤、筒双长腹剑水蚤、尖额谐猛水蚤、亚强次真哲水蚤	19 218.33	1 025.2	2.45	0.46	
	南部	2010 夏	Ⅲ	56	18	桡足类幼体、筒双长腹剑水蚤、孔雀强额哲水蚤、小毛猛水蚤	9 143.75	426.31	1.88	0.40	
	西南部	2010 夏	Ⅲ	59	16	桡足类幼体、短角长腹剑水蚤、筒双长腹剑水蚤、尖额谐猛水蚤、孔雀强额哲水蚤、小毛猛水蚤、小刺哲水蚤、蛇尾类长腕幼虫	35 564.75	1 610.28	2.74	0.53	
	西北部	2010 夏	Ⅲ	67	23	桡足类幼体、瓣鳃类幼虫、筒双长腹剑水蚤、孔雀强额哲水蚤、小毛猛水蚤、红纺锤水蚤、钳型歪水蚤	40 831.25	1 399.59	3.00	0.58	

4.2 浮游动物群落平面分布格局及其与环境因子的关系

浮游动物的平面分布是外界环境条件综合影响的结果,雷州半岛沿岸海域由于受大陆径流、入海河流和南海外海高温高盐水的影响,生态环境因子复杂多变,浮游动物群落结构复杂。海岸带处于陆海过渡区,是人类活动最剧烈的地方,其生态环境必受人类活动的干扰,由于工农业分布格局和发展的不均衡性,雷州半岛海岸带各区段的开发利用程度具有明显的差异,各区段受人类活动的干扰存在明显的差别,浮游动物群落结构和生物量的分布格局能反映出人类在海岸带的活动概貌。

东北部沿岸海域受工农业生产和生活污水影响较大,大量的污染物给该海域带来丰富的营养物质,从而形成浮游植物高值区^[17],也为该海域的浮游动物带来充足的饵料,因而该海域海岸带浮游动物的种类数和生物量均为雷州半岛海岸带最高值,由于受南海外海水的影响,浮游动物在海岸带的分布明显呈现由沿岸往外逐渐递减的分布格局。

半岛东南部沿岸海域工农业欠发达,海域受污染

程度较小,不规则的半日潮促进了海岸带水体与南海外海水的交换,使该海岸带水体营养盐减少、盐度增加,贫乏的营养盐和较高的盐度(平均 31.7)是导致该海域浮游植物细胞丰度较低的一个重要原因,也是浮游动物丰度和生物量偏低,而仅比南部海岸带稍多的主要原因。

半岛西部沿岸海域位于北部湾,该海域为规则的全日潮,与东部沿岸海域不规则的半日潮相比,其沿岸水与外海水交换率相对较小,水动力相对较弱,受外海水的影响较小,为浮游动物的生长繁殖创造了条件,因而,该区域浮游动物丰度为雷州半岛沿岸海域最高值区,但生物量却比半岛东北部小。西南部与西北部又有所不同,在西南部存在着珊瑚礁和白蝶贝自然保护区以及流沙湾海草床和“南珠”养殖中心,保护区受人类干扰较小,渔业资源较丰富,对浮游动物的生长和繁殖产生较大的摄食压力,大型海藻和海草吸收较多的营养盐,与浮游植物严重竞争,贝类的密集养殖也大量滤食浮游植物,使得该海域浮游动物的食物源受到影响。西北部存在着大面积的虾池,养殖废水给该海域带来丰富的营养和大量的浮游植物,为浮

游动物的繁殖创造了有利的物质基础,在北部红树林生态系统虽有较丰富的渔业资源,对浮游动物也产生一定的摄食压力,但红树植物的落叶也为浮游植物和浮游动物提供营养。因此,西南部海岸带浮游动物的生物量比西北部海岸带的低。

琼州海峡水动力主要受潮流、海流、波浪流等的影响,海峡自东向西由不规则半日潮逐渐变为全日潮,繁忙的海上交通也给该海域的浮游动物带来严重的影响,复杂的水动力变化是导致该海域浮游动物种类数最少、丰度和生物量均最小的主要原因。

分别对各站浮游动物丰度和生物量与浮游植物

细胞丰度、叶绿素 a、细菌总数、TOC、水温、盐度、pH 值和各营养盐进行相关性分析,结果表明,浮游动物生物量与浮游动物丰度、浮游植物丰度、叶绿素 a、细菌总数、TOC 呈极显著正相关,与 pH 值呈显著正相关,与盐度呈显著负相关,而与水温和营养盐的相关性不明显。浮游动物丰度与水温和细菌总数呈极显著正相关,与磷酸盐呈显著负相关,与其他环境因子相关性不明显(表 3)。从浮游动物丰度和生物量与环境因子的相关性差别较大可看出,浮游动物生物量更能体现出其与环境因子的密切关系,浮游动物因个体大小相差较大其丰度难以反映其质量状况。

表 3 雷州半岛海岸带浮游动物与环境因子的相关性

	水温	盐度	pH	DIN	磷酸盐	硅酸盐	TOC	细菌总数	叶绿素 a	浮游植物丰度	浮游动物丰度	浮游动物生物量
水温	1											
盐度	0.068	1										
pH	0.096	-0.639**	1									
DIN	-0.028	-0.601**	0.105	1								
磷酸盐	-0.376**	-0.074	-0.013	0.028	1							
硅酸盐	0.310*	-0.429**	0.442**	0.430**	-0.159	1						
TOC	-0.096	-0.443**	0.317*	0.024	0.051	-0.042	1					
细菌总数	0.062	-0.386**	0.231	0.138	0.015	0.094	0.586**	1				
叶绿素 a	-0.090	-0.511**	0.260	0.205	0.162	0.046	0.670**	0.879**	1			
浮游植物丰度	-0.170	-0.511**	0.425**	0.066	0.027	0.025	0.802**	0.720**	0.806**	1		
浮游动物丰度	0.461**	-0.088	0.004	0.044	-0.313*	0.213	0.212	0.394**	0.122	0.156	1	
浮游动物生物量	-0.035	-0.262*	0.238*	0.054	-0.179	0.136	0.525**	0.440**	0.491**	0.605**	0.539**	1

注:“*”表示显著相关, $p < 0.05$,双尾;“**”表示极显著相关, $p < 0.01$,双尾; $n=57$ 。

参考文献:

- [1] 沈嘉瑞,李茯香. 广东鉴江口与湛江港的桡足类[J]. 动物学报,1963,15(4):571—592.
- [2] 沈嘉瑞,李茯香. 广东湛江口的桡足类[J]. 动物分类学报,1966,3(3):213—223.
- [3] 张才学,龚玉艳,王学锋,等. 湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素[J]. 生态学报,2011,31(23):9086—7096.
- [4] Wang X F, Zhang C X, Gong Y Y, et al. Zooplankton community structure and seasonal patterns in the Zhanjiang harbor waters, China[C]. ISWREP 2011(2011 International Symposium on Water Resource and Environmental protection)(EI 收录),Xian,1943—1946.
- [5] 姚少慧,于红兵,王霞,等. 湛江港夏秋季浮游动物群落结构的分布与变化[J]. 广东农业科学,2011,13:192—196.
- [6] 尹健强,黄晖,黄良民,等. 雷州半岛灯楼角珊瑚礁海区夏季的浮游动物[J]. 海洋与湖沼,2008,39(2):131—138.
- [7] 杜飞雁,李纯厚,贾晓平. 北部湾海域毛颚类种类组成与群落结构[J]. 中国水产科学,2004,11(1):59—64.
- [8] 杜飞雁,李纯厚,贾晓平. 北部湾海域秋、冬季毛颚类的种类组成与数量分布[J]. 中国水产科学,2003,10(3):235—241.
- [9] 赵汉取,李纯厚,杜飞雁,等. 北部湾海域浮游介形类物种组成、丰度分布及多样性[J]. 生态学报,2007,21(1):25—33.
- [10] 王学锋,李纯厚,贾晓平,等. 北部湾海樽类的种类组成及分布[J]. 渔业现代化,2010,37(2):59—63.
- [11] 中华人民共和国国家标准. 海洋监测规范. 第 4 部分:海水分析[S]. 北京:中国标准出版社,2007:57—121.
- [12] 贾晓平,李纯厚,陈作志,等. 南海北部近海渔业资源及其生态系统水平管理策略[J]. 海洋出版社,2012:313—315.
- [13] Pan Y, Rao D V S. Impacts of domestic sewage effluent on phytoplankton from Bedford Basin, eastern Canada[J]. Marine Pollution Bulletin,

1997, 34 (12): 1001—1005.

- [14] Dippner J W. Competition between different groups of phytoplankton for nutrients in the Southern North Sea[J]. *Journal of Marine Systems*, 1998, 14 (1/2): 181—198.
- [15] 张才学, 龚玉艳, 孙省利. 湛江港湾浮游植物的群落结构特征[J]. *海洋通报*, 2012, 31(5): 21—29.
- [16] 王荣, 张鸿雁, 王克, 等. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(5): 453—460.
- [17] 龚玉艳, 张才学, 孙省利, 等. 2010年夏季雷州半岛海岸带浮游植物群落结构特征及其与主要环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(19): 5972—5985.

Zooplankton community in the coastal zone of Leizhou Peninsula in summer 2010

Zhang Caixue¹, Gong Yuyan¹, Sun Xingli¹, Shi Yuzhen¹, Yang Guohuan¹, Ke Sheng¹

(1. *Monitoring Center of Ocean Resource and Environment, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China*)

Abstract: We investigated the community structure of zooplankton and the associated environmental factors in the coastal area of Leizhou Peninsula, Guangdong Province, in the summer of 2010. A total of 87 species of zooplankton and 34 species/assemblages of planktonic larvae were identified. Among which, Copepoda (37 species) was the most abundant, accounting for 42.5% of all species, followed by Coelenterata (20, 23.0%), molluscs (8, 9.2%), Chaetognatha (7, 8.0%), Tunicata (6, 6.9%), Protozoa (4, 4.6%); Cladocera and Decapoda (2 each, 2.3%) and 1 species of Ostracoda (1.1%). The dominant species included 13 species of zooplankton and 3 assemblages of planktonic larvae. Copepod larvae were the only dominant assemblages that spread throughout the coastal area. Two copepods, *Pavocalanus crassirostris* and *Microsetella norvegica*, were the important dominant species in almost the entire coastal area. Zooplankton species richness increased from landward zone to seaward zone, but the abundance decreased from landward zone to seaward zone. Species richness was highest in the northeast area, followed by the southeast, northwest, southwest and south areas in sequence; the highest zooplankton abundance was found in the northwest area, followed by the southwest, northeast, southeast and south areas; and the highest zooplankton biomass was obtained in the northeast area, followed by the southwest, northwest, southeast and south areas. The horizontal distributions of zooplankton abundance and biomass corresponded well with human activities in the development and utilization of coastal zones. The average diversity index and evenness of species were 2.96 and 0.57 respectively. Correlation analysis indicated that zooplankton abundance was positively correlated with water temperature, total bacterial density and zooplankton biomass, negatively correlated with phosphate; Zooplankton biomass was positively related to TOC, total bacterial density, Chl a, phytoplankton cell abundance and pH, negatively related to salinity.

Key words: zooplankton; community structure; coastal area; Leizhou Peninsula