夏季海南东、南沿岸珊瑚礁区浮游动物群落结构特征研究

谢福武, 梁计林, 邢孔敏, 刘红晨

(海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 571126)

摘要: 于 2018 年 8 月对海南东、南海域展开断面调查研究, 共获取了 18 个浮游动物样品, 分析了浮游动物的种群分布和群落结构变化, 旨在了解不同区域珊瑚礁生态系统的结构与功能。结果表明: 海南东、南沿岸共鉴定浮游动物 43 属 62 种, 浮游幼体 23 类, 分为河口类群、暖水沿岸类群和暖水广布类群共三个生态类群, 浮游动物种群组成以桡足类占优势, 优势种以亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、长尾类幼体(Macrura larva)、鱼卵(Fish eggs)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)等种类组成。浮游动物个体丰度、物种丰富度和多样性指数等参数均存在区域性差异, 整体呈现为三亚>琼海>文昌, 湿重生物量则为琼海>三亚>文昌。总体而言, 三亚珊瑚礁生态系统的健康状况整体优于文昌和琼海地区, 浮游动物种类丰富度与多样性整体呈较高水平。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 珊瑚礁; 海南岛

中图分类号: Q945-33 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-3096(2019)07-0087-09

DOI: 10.11759/hykx20190319001

珊瑚礁生态系统由多个相互依存的生物群落和生境所组成, 浮游动物作为次级生产力的重要组成成分, 是珊瑚虫和其他珊瑚礁生物主要的食物来源, 在海洋食物网动力学、生物地化循环和渔业资源补充等方面起关键作用[1-3]。由人类活动所导致的珊瑚礁数量减少和营养物输入量增加, 能通过改变浮游动物食物来源的数量和组成影响其种群分布和群落结构, 进而直接或间接地影响海洋初级生产力向高营养级流动[4-6]。同时, 浮游动物对于不同海洋水文环境具有一定敏感性, 例如受水温、盐度、溶解氧和水团的影响, 其优势种及稀有种类常作为该生态区的指示类群, 是海洋水质环境质量的重要反映指标[7-10]。

海南岛地处中国的南端热带区域, 属热带季风气候, 干湿季节交替变化明显[11]。周边由南海围绕, 沿岸水温常年较高; 受季风、环流的影响, 水文条件较复杂[12]。海南岛沿岸珊瑚礁分布甚广, 尤其是东、南沿岸海域珊瑚礁具有较广泛的覆盖面积[13]。随着国际旅游岛的建设和海南自由贸易试验区的兴起, 海洋工程开发建设与滨海旅游等人类活动进一步加剧了珊瑚礁的覆盖范围的减少, 珊瑚礁生态系统呈现衰退现象[14]。近些年来, 对于珊瑚礁生态区浮游动物的相关研究也愈加的重视, 如 Nakajima 等对马来西亚的刁曼岛和热浪岛珊瑚礁区浮游动物进行了相关研究, 结果表明不同时间段特别是夜间浮游动物丰度和数量远高于白天[15-16]; 此外, 还有相关研究学者通过研究珊瑚礁区浮游动物与珊瑚之间相关性, 结果发现当珊瑚的自养作用受损时, 某些珊瑚种类能通过捕食浮游动物来提高捕食率并补充其代谢需求, 进而在一定程度减轻珊瑚白化[17-18]。而关于海南东南沿岸浮游动物群落结构特征的研究主要集中于三亚、文昌和陵水等局部生态区[7, 14, 19-20], 整个东海岸珊瑚礁生态区的浮游动物种群分布特征的相关研究目前还鲜有报道, 关于浮游动物基础研究资料较匮乏。为此, 本文通过对海南东海岸珊瑚礁生态区的浮游动物种类组成进行调查研究, 分析珊瑚礁生态系统中浮游动物的种群分布与群落结构组成, 对于海南沿岸珊瑚礁生态系统的健康状况, 生物资源的开发利用和生态影响评价具有重要意义。

收稿日期: 2019-03-19; 修回日期: 2019-04-27

基金项目: 海南海水养殖区有毒甲藻资源调查与种质保藏(HNKJHY201601-10)

[Foundation: Resource investigation and Germplasm Conservation of toxic dinoflagellates in Hainan mariculture areas, No. HNKJHY201601-10]

作者简介: 谢福武(1992-), 男, 海南省万宁市人, 助理工程师, 从事海洋生态学研究, E-mail: xfw1021900977@163.com; 梁计林(1981-), 通讯作者, 男, 广西省柳州人, 高级工程师, 从事海洋环境与生态学研究, E-mail: jinn77@163.com

1 材料与方法

1.1 样品采集

于2018年夏季(7月25日—8月4日)对海南省东、南沿岸珊瑚礁生态海域(109°16′8.40″—110°59′52.08″E, 18°12′3.60″—19°38′20.40″N), 进行了浮游动物多样性现场取样调查, 获取了包括文昌、琼海和三亚等海域共18个断面观测站的浮游动物样品数据, 各采样站点详见表1和图1。

表1 海南珊瑚礁生态区采样站位水深
Tab. 1 Depth of water in coral reef areas in Hainan

珊瑚礁生态区		站位	水深/m
文昌	铜鼓岭	S1	5.6
		S2	4.2
	长圮港	S3	10.3
		S4	10.1
琼海	龙湾	S5	3.3
		S6	3.7
三亚	鹿回头	S7	15.6
		S8	15.7
	西岛	S9	10.6
		S10	15.3
	亚龙湾	S11	14.1
		S12	15.8
	大东海	S13	5.8
		S14	9.5
	小东海	S15	11.0
		S16	11.3
	红塘湾	S17	5.5
		S18	5.7

1.2 实验方法

浮游动物的采集与分析按照《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB12763.6—2007)中规定的方法进行。采用浅水I型浮游生物网(网口直径50 cm, 网长145 cm, 筛绢孔径0.505 cm)从底上1 m至表层垂直拖曳获取样品, 现场加入5%中性甲醛溶液进行固定保存, 样品运回实验室沉淀后浓缩, 采用解剖镜和显微镜进行鉴定、分类和计数, 然后采用电子天平称量浮游动物湿重, 按照每个站位的滤水量计算浮游生物个体密度与湿重生物量。

1.3 数据分析

采用优势度(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')和丰富度(d)、对浮游动物群落结构进行统计分析, 相关参数计算公式[21-23]如下:

(1) 浮游动物优势度(Y):

$$Y=\frac{n_i}{N}f_i,$$

式中: n_i为第 i 种的个体数; f_i是该种在各站中出现的频率; N 为所有站每个种出现的总个体数;

(2) 采用 Shannon-Weaner 指数测定浮游动物的多样性指数(H'):

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

式中: H'为种类多样性指数; S 为样品中的种类总数; P_i为第 i 种的个体数与总个体数的比值;

(3) 采用 Pielou 均匀度指数测定浮游动物的均匀度, 其公式为:

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

式中: J'为均匀度; H'为种类多样性指数; S 为样品中的种类总数;

采样站点分布图采用Surfer11.0软件绘制, 各站位浮游动物多样性指数计算采用 Primer5.0 处理分析, 浮游动物种类数、多样性指数(H')、均匀度指数(J')和丰富度(d)等相关参数的分布图均采用 SigmaPlot10.0 进行图表绘制。

2 结果

2.1 种类组成

2018 年夏季海南东南沿岸珊瑚礁生态区共鉴定浮游动物 43 属 62 种及阶段性浮游幼体 23 类, 分属于 10 个类群。浮游动物以桡足类为绝对优势类群, 为 21 属 30 种, 占浮游动物总种类数的 48.39%。刺胞动物门共 12 属 16 种, 占总种类数的 25.81%。毛颚类和被囊类分别为 2 属 5 种和 2 属 3 种, 占总种类的 8.06%和 4.84%。端足类和十足类均为 2 种, 浮游动物总种数的 3.23%。其余类群如: 枝角类、异足类、翼足类和栉水母动物门的种类数均较少, 仅为 1 种, 所占的比例较低(图 2)。

各站位浮游动物种类数范围介于 2~38 种之间, 位于小东海区域的 S15 站的种类数最高, 以桡足类、

浮游幼体和刺胞动物为主，分别占该站种类数的42.11%、23.68%和21.05%。次高值位于亚龙湾海域的S11站，共记录 23种，以桡足类为优势类群，共9种。种类数最低的站位则位于龙湾区的S5站，仅以被囊类的异体住囊虫和异体住囊虫幼体组成，均为1种(图 2)。

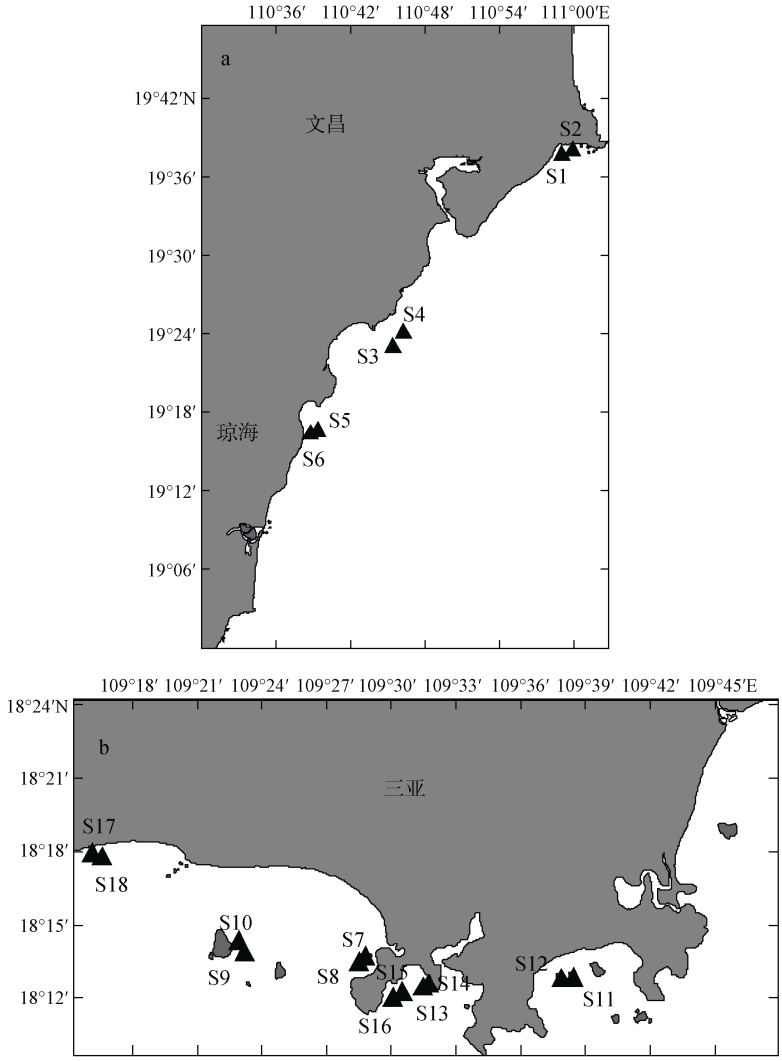


图 1　海南珊瑚礁生态区采样站位图

Fig. 1　Sampling sites of coral reef areas in Hainan

2.2　优势种

取优势度(Y)≥0.02 的种类为优势种，浮游动物优势种(类)以亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、长尾类幼体(Macrura larva)、鱼卵(Fish egg)、双生水母 (*Diphyes chamissonis*)等类群组成。以亚强次真哲水蚤的优势度居高，为 0.12，平均密度达到 6.96 ind·m^{-3}，出现频率为 61.11%。肥胖箭虫和异体住囊虫的的优势度(Y)均为 0.04，平均密度分别为 2.58 ind·m^{-3} 和 3.53 ind·m^{-3}。其余种类如长尾类幼体、鱼卵和双生水母等均具有较高优势度，各优势物种的平均个体密度、出现频率及优势度详见表 2。

2.3　浮游动物生态类群

根据浮游动物自身的生态属性与地域分布特征，对温度、盐度的适应范围不同，可将海南省东南沿岸珊瑚礁生态区的浮游动物大致可分为三个类群[7, 11, 19, 24]：

河口类群：主要由某些适应河口冲淡水区的低盐种类组成，如瘦歪水蚤(*Tortanus gracilis*)、刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)等；

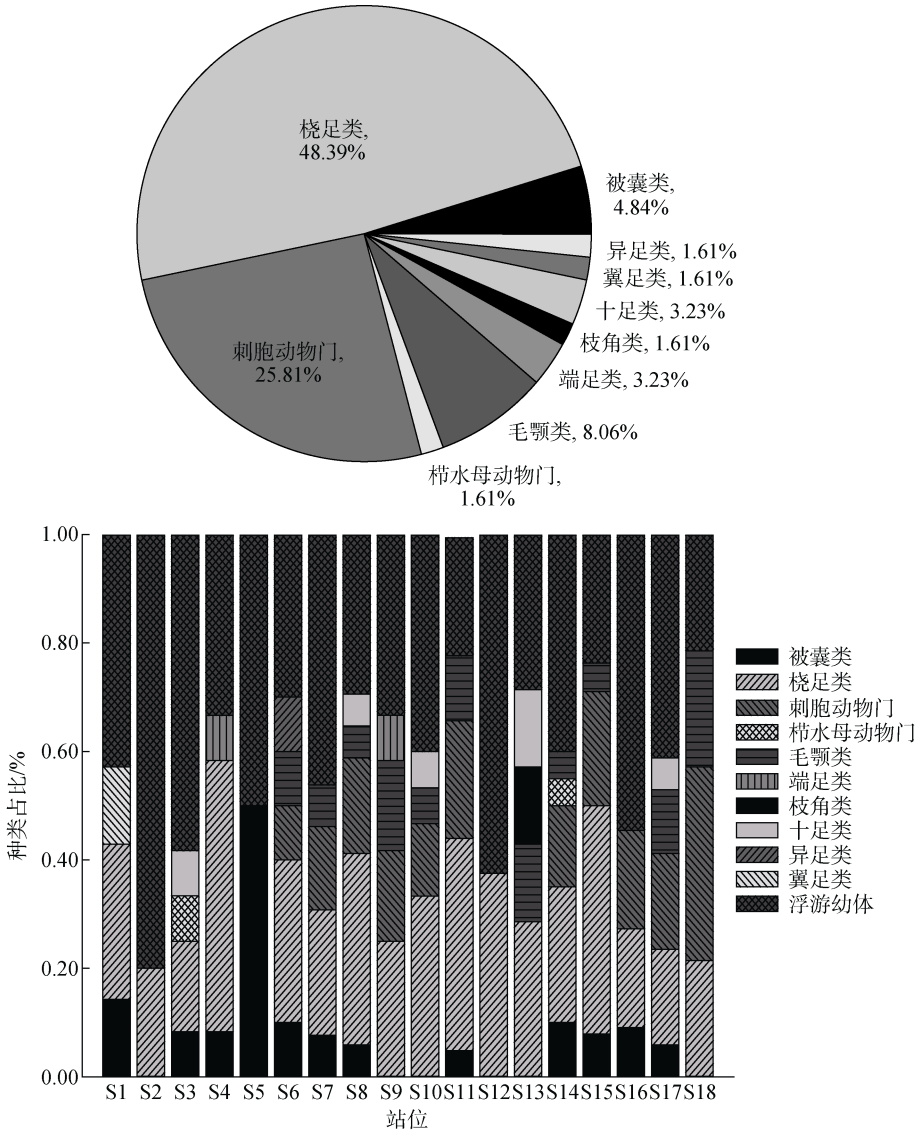


图 2　浮游动物种类组成百分比

Fig. 2　Percentages of zooplankton species composition

表 2　浮游动物优势种分布

Tab. 2　Distribution of zooplankton dominant species

中文种名	拉丁种名	平均密度/ind·m^{-3}	出现频率	优势度(Y)
亚强次真哲水蚤	*Subeucalanus subcrassus*	6.96	61.11%	0.12
肥胖箭虫	*Sagitta enflata*	2.58	61.11%	0.04
异体住囊虫	*Oikopleura dioica*	3.53	44.44%	0.04
长尾类幼体	Macrura larva	1.63	61.11%	0.03
鱼卵	Fish eggs	1.28	61.11%	0.02
双生水母	*Diphyes chamissonis*	1.40	50.00%	0.02

暖水沿岸类群: 由适应了广温或高温低盐种类组成, 主要是广泛分布于海南沿岸海域浮游动物优势种, 如亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)、鸟喙尖头溞(*Penilia avirostris*)、强额孔雀哲水蚤(*Parvocalanus crassirostris*)、异尾宽水蚤(*Temora discaudata*)等;

暖水广布类群: 该类群由偏高盐高盐热带性种

类组成, 如由微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)、伯氏平头水蚤(*Candacia bradyi*)、椭形长足水蚤(*Calanopia elliptica*)、角锚哲水蚤(*Rhincalanus cornutus*)、两手筐水母(*Solmundella bitentaculata*)、半口壮丽水母(*Aglaura hemistoma*)、宽膜棍手水母(*Rhopalonema velatum*)等。

2.4 丰度和生物量

浮游动物类群总丰度的平均值为 60.17 ind·m^{-3}, 以阶段性浮游幼体为优势类群, 个体丰度为 223.44 ind·m^{-3}, 占总丰度的 33.76%。桡足类为 216.72 ind·m^{-3}, 占总丰度的 32.74%。被囊类、毛颚类和刺胞动物门的丰度则分别为 79.93 ind·m^{-3}、64.74 ind·m^{-3} 和 62.31 ind·m^{-3}。端足类、十足类、枝角类、翼足类、异足类和栉水母类等类群的丰度整体较低(图 3)。

各站位浮游动物个体丰度范围介于 11.70~126.60 ind·m^{-3} 之间, 平均值为 36.78 ind·m^{-3}。以红塘湾区的 S18 站居高, 位于西岛的 S10 站的丰度最低, 仅为 11.70 ind·m^{-3}。整个东南沿岸珊瑚礁生态区的浮游动物丰度均值分布顺序为红塘湾> 亚龙湾>小东海>鹿回头>龙湾>大东海>长圮港>西岛>铜鼓岭。

浮游动物湿重生物量的均值为 117.21 mg·m^{-3}, 各监测站位湿重生物量范围为 25.00~380.00 mg·m^{-3} 之间。湿重生物量的最高值位于龙湾区的 S5 站, 湿重生物量的最低值则出现于西岛区的 S9 站, 湿重生物量仅为 25.00 mg·m^{-3}。整个东南沿岸珊瑚礁生态区的浮游动物个体密度均值分布顺序为龙湾>红塘湾>鹿回头>铜鼓岭>大东海>亚龙湾>小东海>长圮港>西岛。

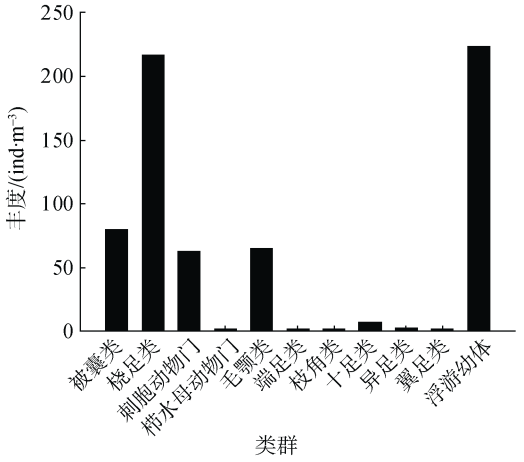


图 3 浮游动物类群丰度分布

Fig. 3 Distribution of zooplankton group abundance

表 3 浮游动物丰度和湿重生物量分布

Tab. 3 Distribution of zooplankton abundance and biomass

珊瑚礁生态区		站位	丰度/ind·m^{-3}	平均值	湿重生物量/mg·m^{-3}	平均值
文昌	铜鼓岭	S1	16.70	16.30	131.94	94.38
		S2	15.90		56.82	
	长圮港	S3	29.50	23.40	63.86	57.24
		S4	17.30		50.62	
琼海	龙湾	S5	20.00	28.45	380.00	293.26
		S6	36.90		206.52	
	鹿回头	S7	43.90	35.45	105.56	97.67
		S8	27.00		89.78	
	西岛	S9	23.20	17.45	25.00	44.27
		S10	11.70		63.53	
三亚	亚龙湾	S11	75.60	44.40	41.32	73.95
		S12	13.20		106.58	
	大东海	S13	21.70	26.50	92.11	74.05
		S14	31.30		56.00	
	小东海	S15	64.50	41.45	75.56	62.78
		S16	18.40		50.00	
	红塘湾	S17	68.60	97.60	170.00	257.30
		S18	126.60		344.59	

2.5 生物多样性

种类丰富度(*d*): 调查区域浮游动物的种类丰富的值介于 0.07~2.32 之间, 平均值为 0.82, 最高值位于小东海区 S15 站, 最低值则位于龙湾区的 S5 站位。

均匀度指数(*J'*): 监测海区各站位浮游动物的均匀度指数介于 0.56~1.00 之间, 平均值为 0.84, 均匀度指数最高值为龙湾区的 S5 站, 最低值位于红塘湾区 S18 站。

多样性指数(*H'*): 监测海区浮游动物的多样性指数介于 1.00~4.88 之间, 平均值为 2.90, 最高值位于小东海区的 S15 站, 最低值出现于 S5 站。总体而言, 各站位的浮游动物多样性整体在 2.50 以上, 生物多样性较好。

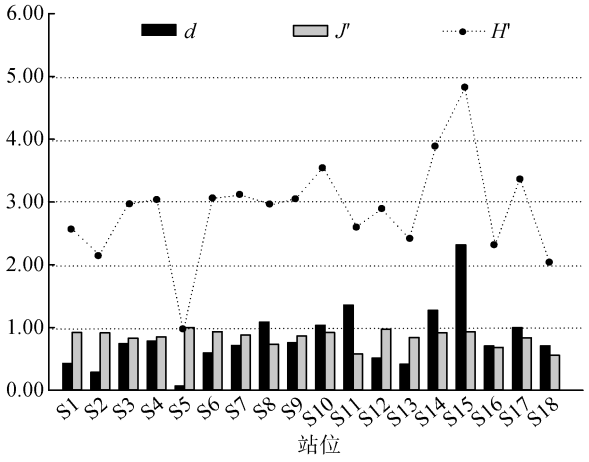


图 4 浮游动物多样性指数分布

Fig. 4 Distribution of zooplankton diversity index

2.6 浮游动物群落结构聚类分析

聚类分析结果(图 5)表明夏季海南东、南沿岸各站位浮游动物可划分为四个类群, 类群 II 和 III 分别以 S5 和 S6 站组成, 浮游动物种类数和丰度较低, 尤其是 S5 站, 仅以异体住囊虫和浮游幼体为主。类群 I 则主要包括了文昌地区的绝大多数站位, 如 S1、S2、S3 和 S4, 浮游动物多样性整体居次高水平。而类群 IV 则主要为三亚珊瑚礁生态的大部分站位, 浮游动物丰度和多样性呈高水平, 各站位优势种的分布较为均匀。

3 讨论

3.1 浮游动物种类组成

浮游动物是海洋生态系统的物质循环和能量流

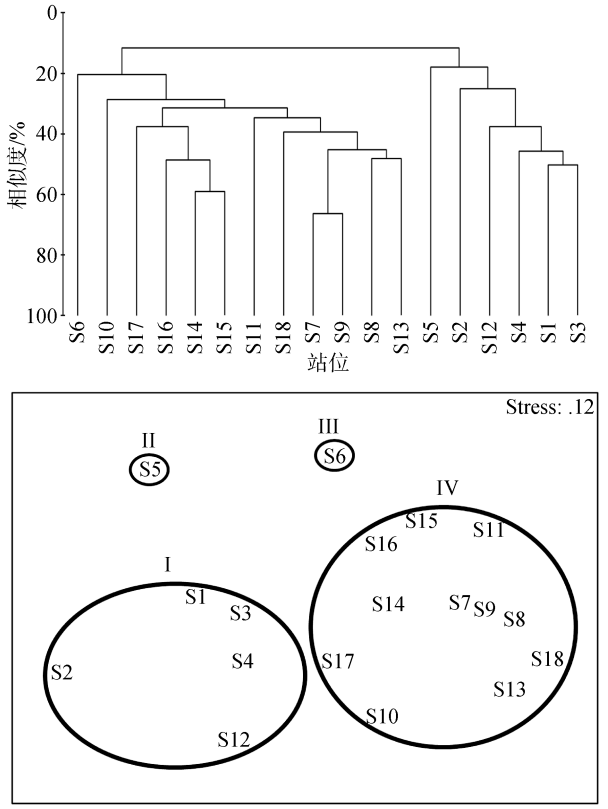


图 5 浮游动物聚类分析和 MDS 标序

Fig. 5 Cluster analysis and MDS ordination of zooplankton

动中的重要环节, 尤其是海洋生物资源较为丰富和多样化的珊瑚礁生态系统, 其群落结构分布特征可作为整个生态区域和生态环境的重要反映指标。本文结果(图 2, 表 2)显示整个夏季东南沿岸珊瑚礁区域共鉴定浮游动物 43 属 62 种, 分属 10 个类群, 共分为河口类群、暖水沿岸类群和暖水广布类群共三个生态类群, 以桡足类为优势类群, 浮游动物优势种以常见的暖水沿岸种如亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)、双生水母(*Diphyes chamissonis*)等种类组成。与其他相关研究[7, 11, 14, 19]结果比较, 可以发现海南沿岸浮游动物以暖水沿岸种占主导, 常作为该海域主要优势种, 例如张光星[11]等的研究表明 2011 年夏季海南东南部近岸浮游动物优势种以暖水沿岸种组成, 且生态类群的划分与本文结果较为接近; 孙柔鑫[24]等研究结果也表明了夏季海南西北沿岸桡足类以暖水种占主导, 尤其以近岸暖水种和广布暖水种居多; 同样 Li[14]等相关研究发现 2013 年夏季三亚湾桡足类同样以暖水沿岸种占绝对优势, 如强额孔雀水蚤和亚强次真哲水蚤, 暖水沿岸种的丰度和生物量均呈较高水平。这些相关的研究结果虽表明夏季海南沿岸浮

游动物均以暖水种为主, 其较高的丰度与生物量常作为优势种生长繁殖, 但关于整个海南东南沿岸珊瑚礁生态区浮游动物的群落结构特征的研究鲜有报道, 且大部分研究仅限于某局部海域[14, 19, 20, 24-25]的研究。

3.2 浮游动物丰度与生物量区域分布差异

珊瑚礁生态区浮游动物丰度和生物量主要受该生态系统的生物和环境循环的强烈影响, 且受海流、水团的影响也较为突出, 由于其个体小, 游泳能力弱, 常悬浮在水层中随水流移动, 因此不同区域浮游动物个体丰度和生物量分布存在差异性[2, 26-27]。本文结果(表 3)显示夏季东南沿岸珊瑚礁生态区浮游动物丰度和生物量具有差异, 三亚海域各站位浮游动物个体密度平均值整体高于文昌和琼海海域, 琼海海域湿重生物量整体高于三亚和文昌。浮游动物多样性指数和丰富度等结果(图 4)也表明三亚各站位整体均呈较高水平。聚类分析结果同样表明, 整个东南沿岸珊瑚礁生态区浮游动物群落结构分布呈现差异, 其生态类群划分是由于优势种的不均匀分布所致[25]。其中三亚地区的大部分站位组成类群 IV, 浮游动物丰度和多样性均呈高水平, 类群 I 则主要以文昌海域的各站位组成, 浮游动物多样性整体低于三亚地区。通过以上的结果与现象, 我们可以发现其主导因素主要受地形和水团的双重影响, 根据海南岛的地形分布, 可以发现三亚海域珊瑚礁覆盖面积均高于文昌和琼海海区, 该区域近岸呈现为内凹性的特征, 受外海风浪冲击和扰动的影响较小, 与此同时, 夏季海南东南海域盛行东南季风, 携带南海大量的高温、高盐水团至近岸海域进行交汇, 在一定程度上促进三亚内湾水质更新交换, 稳定、纯净的生态环境适宜珊瑚的生长, 珊瑚礁覆盖率居高, 浮游动物多样性和丰富度呈较高水平。而文昌、琼海沿岸无地形的包被与保护, 受季风水团和风浪的侵扰较大, 珊瑚生长受到限制, 该生态系统中浮游动物种群数量和丰度则较少。

除了地形和水团的剧烈影响外, 随着近些年海南沿岸海域的滨海旅游、水产养殖和海洋工程开发建设[7, 14, 19-20, 28]等人类活动的影响也是主要的影响因素, 受养殖污水和工农业污染等陆源污染物的, 海洋水质环境偏富营养化, 有害藻类的大量繁殖, 整个东南沿岸海域珊瑚礁覆盖范围在急剧下降, 生态系统中浮游动物种群结构和多样性指数也随着而降低。如吴钟解[13]等的研究表明夏季海南东、南部珊瑚礁生态环境整体呈现恶化趋势, 尤其是文昌地区的铜鼓岭和长圮港珊瑚健康状况较差。这一现象与本文浮游动物丰度和多样性的分布规律较为接近, 由于珊瑚礁生态系统具有极高的生物多样性和生产力, 是海洋中物种种类和丰富度较多的生态系统之一。浮游动物种群与群落结构分布特征不仅能反映其在该生态环境中的变化机制和规律, 并且能在一定程度上突出珊瑚礁生态系统和水质环境的健康状况。因此, 浮游动物的种类和群落结构的组成等变化规律, 对于海南沿岸珊瑚礁生态系统的生物资源的开发利用和生态影响评价具有关键性意义。

4 结论

(1) 本次调查共鉴定浮游动物 62 种, 阶段性浮游幼体 23 类, 分为河口类群、暖水沿岸类群和暖水广布类群共三个生态类群, 以桡足类为优势类群, 优势种以亚强次真哲水蚤占主导;

(2) 各生态区浮游动物个体丰度、物种丰富度和多样性指数等参数均存在区域性差异, 整体呈现为三亚>琼海>文昌, 湿重生物量则为琼海>三亚>文昌。三亚珊瑚礁生态系统的健康状况要优于文昌和琼海地区。

参考文献:

[1] Ferrier-Pagès C, Hoogenboom M, Houlbrèque F. The role of plankton in coral trophodynamics. In: Dubinsky Z, Stambler N, eds. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Dordrecht: Springer, 2011.

[2] Wang Y G, Chen X Y, Xing B P, et al. Zooplankton composition and distribution in the Lembeh Strait of North Sulawesi, Indonesia[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 37(12): 35-44.

[3] Alcaraz M, Almeda R, Calbet A, et al. The role of arctic zooplankton in biogeochemical cycles: respiration and excretion of ammonia and phosphate during summer[J]. Polar Biology, 2010, 33(12): 1719-1731.

[4] Mitra A, Castellani C, Gentleman W C, et al.Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link[J]. Progress in Oceanography, 2014, 129: 176-199.

[5] Houlbrèque F, Ferrier-Pagès C. Heterotrophy in tropical scleractinian corals[J]. Biological Reviews, 2009, 84(1): 1-17.

[6] Shi Y Q, Zuo T, Yuan W, et al. Spatial variation in zooplankton communities in relation to key environmental

factors in the Yellow Sea and East China Sea during winter[J]. Continental Shelf Research.2018, 170: 33-41.

[7] 时翔, 王汉奎, 谭烨辉, 等. 三亚湾浮游动物数量分布及群落特征的季节变化[J]. 海洋通报, 2007, 26(4): 43-49.
Shi Xiang, Wang Hankui, Tan Yehui, et al. Seasonal variation of zooplankton community structure and species composition in the Sanya Bay[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(4): 43-49.

[8] Bianchi F, Acri F, Bernardi F A, et al. Can plankton communities be considered as bio-indicators of water quality in the Lagoon of Venice ?[J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46: 964-971.

[9] Dur G, Hwang J S, Souissi S, et al. An overview of the influence of hydrodynamics on the spatial and temporal patterns of calanoid copepod communities around Taiwan[J]. Journal of Plankton Research, 2007, 29(S1): i97-i116.

[10] Chou C, Tseng L C, Ou C H, et al. Seasonal succession of planktonic copepods in bight environments of Northeastern Taiwan[J]. Zoological Studies, 2012, 51(8): 1380-1396.

[11] 张光星, 陈石泉, 陈丹丹, 等. 海南岛近岸海域夏初浮游动物与环境因子的关系[J]. 海洋学报, 2014, 36(12): 125-132.
Zhang Guangxing, Chen Shiquan, Chen Dandan, et al. The relationship between zooplankton and the environmental factors in the coastal waters of Hainan Island in the early summer[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(12): 125-132.

[12] 海南省海洋厅. 海南省海岛资源综合调查研究报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1996: 10-11.
Hainan Provincial Ocean Department. Report On Comprehensive Investigation of Island Resources in Hainan Province[M]. Beijing: Ocean Press, 1996: 10-11.

[13] 吴钟解, 吴瑞, 王道儒, 等. 海南岛东、南部珊瑚礁生态健康状况初步分析[J]. 热带作物学报, 2011, 32(01): 122-130.
Wu Zhongjie, Wu Rui, Wang Daoru, et al. A preminary study on the status of coral reef health in the southeast coastal regions of Hainan island[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2011, 32(01): 122-130.

[14] Li K Z, Wu X J, Tan Y H, et al. Spatial and temporal variability of copepod assemblages in Sanya Bay, northern South China Sea[J]. Regional Studies in Marine Science, 2016, 7: 168-176.

[15] Nakajima R, Yoshida T, Othman B H R, et al. Diel variation in abundance, biomass and size composition of zooplankton community over a coral-reef in Redang Island, Malaysia[J]. Plankton and Benthos Research, 2008, 3(4): 216-226.

[16] Nakajima R, Yoshida T, Othman B H R, et al. Diel variation of zooplankton in the tropical coral-reef water of Tioman Island, Malaysia[J]. Aquatic Ecology, 2009, 43(4): 965-975.

[17] Palardy J E, Rodrigues L J, Grottoli A G. The importance of zooplankton to the daily metabolic carbon requirements of healthy and bleached corals at two depths[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2008, 367(2): 180-188.

[18] Towle E K, Enochs I C, Langdon C. Threatened Caribbean coral is able to mitigate the adverse effects of ocean acidification on calcification by increasing feeding rate[J]. PLoS One, 2014, 10(4): e0123394.

[19] 尹健强, 张谷贤, 谭烨辉, 等. 三亚湾浮游动物的种类组成与数量分布[J]. 热带海洋学报, 2004, 23(5): 1-9.
Yin Jianqiang, Zhang Guxian, Tan Yehui, et al. Species composition and quantitative distribution of zooplankton in Sanya Bay. Hainan province, China[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23 (5): 1-9.

[20] 岑竞仪, 欧林坚, 吕淑果, 等. 海南清澜港水母暴发期间浮游生物生态特征研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(03): 595-601.
Cen Jingyi, Ou Linjian, Lv Shuguo, et al. Studies on ecological characteristics of plankton during Jellyfish bloom in Qinglan port[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(03): 595-601.

[21] Pielou E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1969: 1-108.

[22] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. Generation Systems, 1958, 3: 36-71.

[23] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana L: University of Illinois Press, 1949: 1-198.

[24] 孙柔鑫, 王彦国, 连光山, 等. 海南岛西北沿岸海域浮游桡足类的分布及群落特征[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 320-328.
Sun Rouxin, Wang Yanguo, Lian Guangshan, et al. Distribution and community characteristics of planktonic copepods in the northwest coastal waters of Hainan Island[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(3): 320-328.

[25] 罗鸣, 苗素英, 于红兵等. 春末海南万宁海域浮游动物群落结构研究[J]. 海洋科学, 2013, 37(11): 79-84.
Luo Ming, Miao Suying, Yu Hongbing, et al. Community structure of zooplankton in the offshore water of wanning at the end of spring[J]. Marine Sciences, 2013, 37(11): 79-84.

[26] Heidelberg K B, Sebens K P, Purcell J E. Composition and sources of near reef zooplankton on a Jamaican forereef along with implications for coral feeding[J]. Coral Reefs, 2004, 23(2): 263-276.

[27] 王娜. 南海及福建近岸水体中群落与细菌呼吸的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
Wang Na, Community and bacterial respiration in the South China sea and Fujian coastal water[D]. Xiamen: Xiamen University, 2014.

[28] Lucia S H, Daniela U, Uwe K, et al. Typhoon-induced precipitation impact on nutrient and suspended matter dynamics of a tropical estuary affected by human activities in Hainan, China[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2011, 93: 375-388.

Characteristics of zooplankton community structure in the eastern and southern offshore coral reef areas of Hainan in summer

XIE Fu-wu, LIANG Ji-lin, XING Kong-min, LIU Hong-chen
(Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou, 571126, China)

Received: Mar. 19, 2019
Key words: zooplankton; community structure; coral reef; Hainan island

Abstract: Details regarding zooplankton were obtained based on transect investigation in the eastern and southern offshore areas of Hainan island in August 2018. Population distribution and community structure of zooplankton were analyzed for understanding the structure and function of coral reef ecosystem in different regions. A total of 62 species of zooplankton among 43 genera and 23 classes of pelagic larvae were identified in the eastern and southern offshore areas, which were categorized into estuarine groups, coastal groups of warm water, widely distributed groups of warm water, and copepods as the dominant groups. The dominant species consisted of *Subeucalanus subcrassus*, *Sagitta enflata*, *Oikopleura dioica*, Macrura larva, fish eggs, and *Diphyes chamissonis*. Abundance, richness, and diversity indices of zooplankton exhibited regional differences in the order Sanyan > Qionghai > Wenchang, whereas differences in wet weight biomass were in the order Qionghai > Sanya > Wenchang. In conclusion, conditions of the coral reef ecosystem in Sanya were better than those in Wenchang and Qionghai, and species richness and diversity of zooplankton were at a higher level overall.

(本文编辑: 赵卫红)