

海南岛近岸海域夏、秋季浮游动物 分布特征研究

谢福武, 梁计林*, 邢孔敏

(海南省海洋与渔业科学院, 海南 海口 571126)

摘 要:2018-08 和 2018-11 获取和分析了海南岛近岸海域夏(11 个站位)、秋(9 个站位)两个季节的样品数据,并在海南近岸海域展开了大面站浮游动物分布特征调查研究,以期深入了解不同季节浮游动物种群分布和群落结构变化机制及规律。结果表明:近岸海域共鉴定浮游动物 45 科 51 属 69 种及浮游幼体 31 类,共分为河口类群、暖水沿岸类群和暖水广布类群三个生态类群,以桡足类为优势类群。优势种以筒长腹剑水蚤(*Oithona simplex*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、红纺锤水蚤(*Acartia erythraea*)、异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)和鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*)等组成。同时,夏秋季浮游动物受季节和地形的影响,个体密度、湿重生物量、物种丰富度和多样性指数具有明显的差异性,呈现为秋季>夏季,秋季浮游动物平均个体密度和生物量分别为 $223.04 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $675.37 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,各站位多样性指数绝大部分均在 3.00 以上,且生态类群和优势种数量分布均呈较高水平,均匀度指数则与之相反。总体而言,浮游动物群落结构特征能影响海洋食物网物质循环和能量流动的效率,从而影响海洋生态系统多样性和稳定性。因此,研究不同季节浮游动物分布特征,对海南近岸资源开发利用和海洋生态管理等方面均具有重要意义。

关键词:浮游动物;群落结构;种类多样性;海南岛

中图分类号:Q178.53

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2019)04-0280-13

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2019.04.004

引用格式: XIE F W, LIANG J L, XING K M. Distribution characteristics of zooplankton in summer and autumn in the coastal waters of Hainan Island[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(4): 280-292. 谢福武, 梁计林, 邢孔敏. 海南岛近岸海域夏、秋季浮游动物分布特征研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(4): 280-292.

海洋浮游动物作为海洋生态系统中的次级生产力的重要组成部分,是海洋生态系统的物质循环和能量流动中的重要环节^[1-3]。浮游动物种类繁多、数量众多、分布广泛,且运动能力较弱,常漂浮在水层中随水流移动,其种群分布和群落结构的动态变化能直接或间接地影响着海洋生产力,在海洋生态系统的结构和功能中发挥着重要的调控作用^[4-9]。同时,浮游动物不同类群对于海洋生态环境的适应能力差异,以及优势种的更替与变动趋势可作为水质环境健康状况的重要反映指标^[2,10-12]。

海南岛位于中国的最南端,地处热带地区,属热带季风气候,干湿季节明显,是我国最大的海洋省份^[13-16]。海南近岸海域水温常年较高,且水文条件复杂,具有众多的入海河流和大小港湾^[4]。其优越的地理位置和气候环境为近岸的珊瑚礁、海草床、浮游生物和底栖生物等海洋生物资源提供了良好的生长条件。为响应海南全岛建设自由贸易试验区,海南岛近岸海域的开发和利用程度在不断地扩展,带动了经济的快速发展,但人类活动的对海南近岸的海洋生态环境的影响也愈发严重。近些年来,关于海南近岸海域浮游动物的相关研究常见于三亚、万宁和西北部等局部海域^[10,17-21],整个海南近岸仅见于张光星等^[4]2014 年夏季浮游动物的研究报告,但不同季节海南近岸浮游动物种群分布、群落结构变化机制和规律尚不清楚。目前,浮

收稿日期:2019-05-25

基金项目:海南省科研院所技术平台开发专项——海南海水养殖区有毒甲藻资源调查与种质保藏(HNKJHY201601-10)

作者简介:谢福武(1992-),男,助理工程师,硕士,主要从事海洋生态学方面研究。E-mail: xfw1021900977@163.com

*** 通讯作者:**梁计林(1981-),男,高级工程师,博士,主要从事海洋环境与生态学方面研究。E-mail: jinn77@163.com

(王佳实 编辑)

游动物的相关研究资料较缺乏,现有的海洋生态基础资料尚不能满足海南近生态环境研究和开发利用需求。因此,本文通过对海南岛近岸海域不同季节的浮游动物等生物资源进行调查研究,阐述浮游动物的生态特征,为海南岛近岸资源开发利用、生态影响评价和海洋管理决策提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2018-08(夏季),2018-11(秋季)对海南省近岸海域(108°36′19″~110°52′37″E,18°14′21″~20°2′17″N)进行了浮游动物多样性现场取样,分别获取了 11 和 9 个大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 海南近岸海域采样站位
Table 1 Sampling sites in the coastal waters of Hainan Island

站 位	地 点	E	N	水深/m	夏 季	秋 季
S2	文昌	110°51′22″	19°29′20″	6.4	✓	✓
S3	琼海	110°35′43″	19°9′09″	6.5		✓
S4	万宁	110°26′31″	18°42′15″	13.2		✓
S5	陵水	109°56′52″	18°23′54″	4.2	✓	✓
S6	三亚	109°28′35″	18°13′57″	13.0	✓	✓
S7	乐东	108°36′19″	18°28′25″	8.8	✓	✓
S8	昌江	108°37′57″	19°20′55″	5.9	✓	
S9	儋州	108°56′01″	19°31′35″	10.2	✓	✓
S10	临高	109°31′26″	19°56′24″	11.7	✓	
S11	文昌	110°52′02″	20°01′30″	6.3	✓	✓
S12	东方	108°37′53″	18°58′32″	8.3	✓	
S13	洋浦	109°9′48″	19°48′55″	12.5	✓	✓
S14	澄迈	110°0′40″	19°58′05″	11.5	✓	

注:空白处无数据,“✓”代表该季节已采集了样品

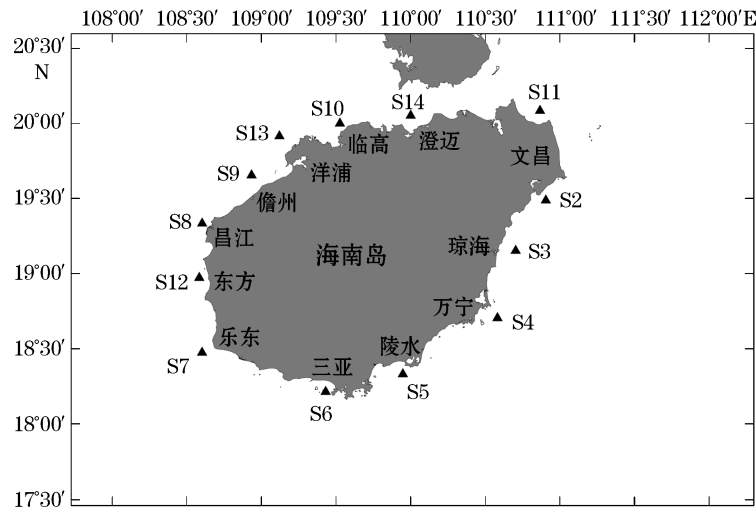


图 1 海南近岸海域采样站位图
Fig.1 Location of sampling stations in the coastal waters of Hainan Island

1.2 实验方法

浮游动物的采集和分析按照《海洋调查规范 第 6 部: 海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)^[22]中规定的方法进行。利用浅水 I 型浮游生物网(网口直径 50 cm, 网长 145 cm, 筛绢孔径 0.505 cm)从底层至表层垂直拖曳获取, 于现场加入体积分数 5% 中性甲醛溶液进行固定保存, 样品运回实验室。利用 Nikon SMZ25 型解剖镜和 Ti-S 荧光倒置显微镜进行分类、鉴定和计数, 之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 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J')、丰富度(d)、优势度(Y) 对浮游动物群落结构进行统计分析, 相关参数计算公式^[23-26]如下:

1) 浮游动物优势度(Y):

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i, \quad (1)$$

式中, n_i 为第 i 种浮游动物的个体数; f_i 为该种浮游动物在各站中出现的频率; N 为所有站每种浮游动物出现的总个体数。

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

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i, \quad (2)$$

式中, 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) 进行浮游动物 Pielou 均匀度测定, 公式为

$$J' = H' / \log_2 S, \quad (3)$$

式中, J' 为均匀度。

本研究采样站位分布图和等值线分布图采用 Surfer 11.0 软件绘制, 浮游动物种类数、生物量、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 SigmaPlot 10.0 进行图表绘制。海南近岸海域各站位浮游动物多样性指数计算、相似性聚类 and 标序分析均采用 Primer Premier 5.0 软件进行分析处理。

2 结 果

2.1 种类组成及群落结构特征

2018 年海南省近岸海域共鉴定到浮游动物共 45 科 51 属 69 种及若干类阶段性浮游幼体 31 类, 分属于 12 个类群, 浮游动物以桡足类和刺胞动物为主要优势类群, 其余类群占比均呈较低水平。2 个季节各站位除主要优势类群外, 阶段性浮游幼体均占明显比重(表 2)。

在夏季, 共鉴定浮游动物 24 属 35 种, 阶段性浮游幼体 22 类。种类组成方面以桡足类占绝对优势, 种类数为 20 种, 占浮游动物总种类数的 57.14%; 刺胞动物门共 4 种, 占总种类数的 11.43%; 被囊类和毛颚类均为 3 种, 占浮游动物总种类数的 8.57%; 其余类群如十足类、枝角类、翼足类和栉水母动物门的种类数均较少, 种类数仅为 1~2 种(图 2a)。各站位浮游动物种类数范围为 4~23 种, 位于文昌地区的 S11 站浮游动物种类数最高, 主要以桡足类和浮游幼体为主, 分别为 10 种和 11 类, 占该站总种类数的 43.48% 和 47.83%; 位于临高海域的 S10 站的种类数最低, 阶段性浮游幼体 2 类, 桡足类和毛颚类仅为 1 种, 浮游动物多样性较低(图 2c)。

在秋季, 共鉴定浮游动物 43 属 51 种, 阶段性浮游幼体共 20 类, 浮游动物的物种丰富度整体高于夏季。桡足类为优势类群共鉴定 20 种, 占浮游动物总种数的 39.22%; 刺胞动物门 15 种, 占总种类数的 29.41%; 毛

颚类 4 种,被囊类 3 种类,分别占浮游动物总种类数的 7.84%和 5.88%;其余各类群如:枝角类、端足类、十足类、异足类、等足类和介形类的种类数均较少,仅为 1 种(图 2b)。各站位浮游动物种类数范围为 5~39 种,种类数最高的是位于洋浦海域的 S13 站,主要以桡足类、浮游幼体以及个体较大的刺胞动物为主,分别为分别为 12 种、14 类和 5 种;种类数最低的是位于三亚海域的 S3 站,浮游动物仅以桡足类和浮游幼体为主要类群,仅为 6 种和 4 类(图 2d)。

表 2 浮游动物种类名录
Table 2 List of zooplankton species

纲 名	序 号	中文名	拉丁文名	纲 名	序 号	中文名	拉丁文名
水螅水母类 Hydromedusae	1	半口壮丽水母	<i>Aglaura hemistoma</i>	桡足类	53	平大眼水蚤	<i>Corycaeus dahli</i>
	2	四叶小舌水母	<i>Liriope tetraphylla</i>	Copepoda	54	美丽大眼水蚤	<i>Corycaeus speciosus</i>
	3	鳞茎高手水母	<i>Bougainvillia muscus</i>	端足类	55	裂颊蚤虫戎	<i>Lestrignonus schizogeneios</i>
	4	异距小帽水母	<i>Petasiella asymmetrica</i>	Amphipoda	56	钩虾科	<i>Gammaridae</i>
	5	大腺似杯水母	<i>Phialella macrogona</i>	十足类	57	刷状莹虾	<i>Lucifer penicillifer</i>
	6	灯塔水母	<i>Turritopsis nutricula</i>	Sergestinae	58	亨生莹虾	<i>Lucifer hansenii</i>
	7	两手筐水母	<i>Solmundella bitentaculata</i>	介形类	59	针刺真浮萤	<i>Euconchoecia aculeata</i>
	8	多手介螅水母	<i>Hydractinia polytentaculata</i>	Ostracoda			
	9	拟长管水母	<i>Dipurena ophiogaster</i>	等足类	60	小寄虱	<i>Microniscus sp</i>
	10	日本长管水母	<i>Coryne nipponica</i>	Isopoda			
	11	大胃拟棍螅水母	<i>Hydrocoryne macrogastera</i>	翼足类	61	强卷螺	<i>Agadina stimpsoni</i>
	12	短腺和平水母	<i>Eirene brevigona</i>	Pteropoda	62	棒笔帽螺	<i>Creseis clava</i>
	13	双叉蕨枝螅水母	<i>Obelia dichotoma</i>		63	柔弱箭虫	<i>Sagitta delicata</i>
管水母类 Siphonophorae	14	双生水母	<i>Diphyes chamissonis</i>	毛颚类 Chaetognatha	64	百陶箭虫	<i>Sagitta bedoti</i>
	15	粗体浅室水母	<i>Lensia baryi</i>		65	肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>
	16	拟细浅室水母	<i>Lensia subtiloides</i>		66	大平洋撬虫	<i>Krohnitta pacifica</i>
	17	螺旋尖角水母	<i>Eudoxoides spiralis</i>		67	邦海樽	<i>Doliolum nationlis</i>
栉水母类 Ctenophora	18	球型侧腕水母	<i>Pleurobrachia globosa</i>	被囊类 Tunicata	68	异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>
枝角类 Cladocera	19	球形蝶水母	<i>Ocyropsis globosa</i>		69	长尾住囊虫	<i>Oikopleura longicauda</i>
桡足类 Copepoda	20	鸟喙尖头蚤	<i>Penilia avirostria</i>	浮游幼体 Pelagic larva	70	长尾类幼体	<i>Macrura larva</i>
	21	肥胖三角蚤	<i>Pesudevaden tergestina</i>		71	磁蟹蚤状幼体	<i>Porcellana zoea larva</i>
	22	微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper</i>		72	短尾类蚤状幼体	<i>Brachyura zoea larva</i>
	23	单隆哲水蚤	<i>Acrocalanus monachus</i>		73	短尾大眼幼体	<i>Megalopa larva</i>
	24	驼背隆哲水蚤	<i>Acrocalanus gibber</i>		74	蔓足类无节幼体	<i>Cirripecta nauplius</i>
	25	微驼隆哲水蚤	<i>Acrocalanus gracilis</i>		75	蔓足类腺介幼体	<i>Cypris larva</i>
	26	中华矮隆水蚤	<i>Bestiola sinica</i>		76	多毛类幼体	<i>Polychaeta larva</i>
	27	小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>		77	多毛类担轮幼体	<i>Trochophore larva</i>
	28	强额孔雀哲水蚤	<i>Parvocalanus crassirostris</i>		78	桡足类幼体/ 无节幼体	<i>Copepoda copepodite/ nauplius</i>
	29	针刺拟哲水蚤	<i>Paracalanus aculeatus</i>				
	30	红纺锤水蚤	<i>Acartia erythraea</i>				
	31	太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>				
	32	强次真哲水蚤	<i>Subeucalanus crassus</i>				

续表

纲 名	序 号	中文名	拉丁文名	纲 名	序 号	中文名	拉丁文名
桡足类 Copepoda	33	亚强次真哲水蚤	<i>Subeucalanus subcrassus</i>	浮游幼体 Pelagic larva	79	箭虫幼体	<i>Sagitta larva</i>
	34	椭圆形长足水蚤	<i>Calanopia elliptica</i>		80	海樽幼体	<i>Doliolum larva</i>
	35	汤氏长足水蚤	<i>Calanopia thompsoni</i>		81	莹虾幼体	<i>Lucifer larva</i>
	36	小唇角水蚤	<i>Labidocera minuta</i>		82	毛虾幼体	<i>Acetes larva</i>
	37	尖刺唇角水蚤	<i>Labidocera acuta</i>		83	腹足类幼体	<i>Gastropoda larva</i>
	38	孔雀唇角水蚤	<i>Labidocera pavo</i>		84	双壳类幼体	<i>Bivalvae larva</i>
	39	瘦歪水蚤	<i>Tortanus gracilis</i>		85	丽哲水蚤幼体	<i>Calocalanus larva</i>
	40	锥形宽水蚤	<i>Temora turbinata</i>		86	大眼水蚤幼体	<i>Corycaeus larva</i>
	41	伯氏平头水蚤	<i>Candacia bradyi</i>		87	羽刺大眼水蚤幼体	<i>Farranula larva</i>
	42	奥氏胸刺水蚤	<i>Centropages orsinii</i>		88	棱水母幼体	<i>Lizzia larva</i>
	43	精致真刺水蚤	<i>Euchaeta concinna</i>		89	和平水母幼体	<i>Eirene larva</i>
	44	海洋伪镖水蚤	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>		90	真瘤水母幼体	<i>Eutima larva</i>
	45	细长腹剑水蚤	<i>Oithona attenuata</i>		91	高手水母幼体	<i>Bougainvillia larva</i>
	46	筒长腹剑水蚤	<i>Oithona simplex</i>		92	美螳水母幼体	<i>Clytia larva</i>
	47	短角长腹剑水蚤	<i>Oithona brevicornis</i>		93	笔螳水母幼体	<i>Pennaria larva</i>
	48	小毛猛水蚤	<i>Microsetella norvegica</i>		94	侧丝水母幼体	<i>Helgicirrha larva</i>
	49	红小毛猛水蚤	<i>Microsetella rosea</i>		95	似杯水母幼体	<i>Phialelia larva</i>
	50	底栖猛水蚤	<i>Benthic harpacticoida</i>		96	萨氏水母幼体	<i>Coryne larva</i>
	51	尖额潜猛水蚤	<i>Euterpina acutifrons</i>		97	尾海鞘形幼体	<i>Appendicularia larva</i>
	52	瘦长毛猛水蚤	<i>Macrosetella gracilis</i>		98	阿利玛幼体	<i>Alima larva</i>
					99	鱼卵	<i>Fish eggs</i>
					100	仔鱼	<i>Fish larva</i>

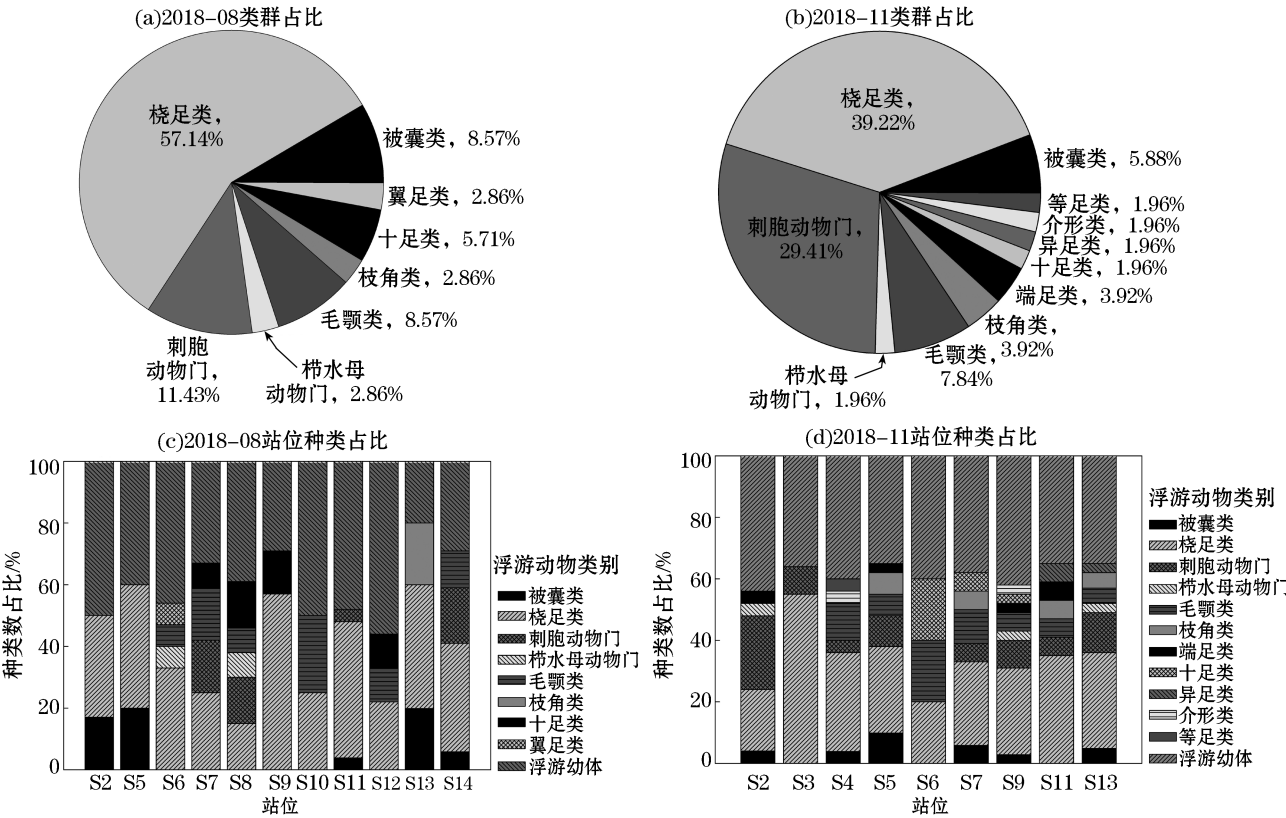


图 2 海南近岸浮游动物种类组成百分比

Fig.2 Percentages of the compositions of zooplankton species in the coastal waters of Hainan Island

2.2 优势种

取浮游动物优势度($Y \geq 0.02$)的物种为优势种,夏季浮游动物的优势种主要有桡足类的简长腹剑水蚤(*Oithona simplex*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)和微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*),被囊类的异体住囊虫(*Oikopleura dioica*)和毛颚类的肥胖箭虫(*Sagitta enflata*),浮游幼体如桡足类幼体/无节幼体(Copepoda copepodite/nauplius)、长尾类幼体(Macrura larva)等。优势度(Y)最高的为简长腹剑水蚤,为 0.07,平均密度达到 $3.04 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。桡足类幼体/无节幼体、亚强次真哲水蚤和异体住囊虫的优势度(Y)均为 0.03,平均密度分别为 2.27,2.62 和 $3.49 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

秋季优势种包括了桡足类的红纺锤水蚤(*Acartia erythraea*)、太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)和亚强次真哲水蚤,异体住囊虫、肥胖箭虫和枝角类的鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*),浮游幼体为莹虾幼体(Lucifer larva)和桡足类幼体/无节幼体等。异体住囊虫的优势度(Y)最高,为 0.13,平均密度达到 $43.69 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。红纺锤水蚤,优势度(Y)为 0.09,平均密度为 $37.73 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。莹虾幼体和桡足类幼体/无节幼体的优势度(Y)分别为 0.05 和 0.04,平均密度分别为 11.80 和 $14.82 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。2 个季节浮游动物各优势物种的优势度及平均个体密度详见表 3。

表 3 海南近岸浮游动物优势种分布
Table 3 Distributions of the dominant species of zooplankton in the coastal waters of Hainan Island

项 目	中文种名	拉丁种名	夏 季		秋 季	
			平均密度 /($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)	优势度	平均密度 /($\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$)	优势度
枝角类 Cladocera	鸟喙尖头蚤	<i>Penilia avirostris</i>	\	\	17.37	0.03
桡足类 Copepoda	简长腹剑水蚤	<i>Oithona simplex</i>	3.04	0.07	\	\
	亚强次真哲水蚤	<i>Subeucalanus subcrassus</i>	2.62	0.03	9.41	0.02
	红纺锤水蚤	<i>Acartia erythraea</i>	\	\	37.73	0.09
	太平洋纺锤水蚤	<i>Acartia pacifica</i>	\	\	9.74	0.03
	微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper</i>	1.15	0.02	\	\
毛颚类 Chaetognatha	肥胖箭虫	<i>Sagitta enflata</i>	1.4	0.02	10.47	0.03
被囊类 Tunicata	异体住囊虫	<i>Oikopleura dioica</i>	3.49	0.03	43.69	0.13
浮游幼体 Pelagic larva	桡足类幼体/无节幼体	Copepoda copepodite/nauplius	2.27	0.03	14.82	0.04
	长尾类幼体	Macrura larva	1.29	0.02	\	\
	莹虾幼体	Lucifer larva	\	\	11.8	0.05

注:“\”表示无该优势种,空白处无数据

2.3 浮游动物生态类群

根据浮游动物自身的生态属性与分布特征,对温度、盐度的适应范围不同,可将海南省近岸海域的浮游动物大致可分为 3 个类群^[10,17,20,27]:

1)河口类群由能适应低盐度环境的种类组成如海洋伪镖水蚤(*Pseudodiaptomus marinus*)、瘦歪水蚤(*Tortanus gracilis*)等。

2)暖水沿岸类群由一些广温或高温低盐种类组成,组成海南岛近岸海域的浮游动物的优势种,主要有肥胖箭虫、亚强次真哲水蚤、红纺锤水蚤、鸟喙尖头蚤等。

3) 暖水广布类群主要由偏高温高盐的种类组成, 适温适盐的范围较广, 如微刺哲水蚤 (*Euchaeta concinna*)、小唇角水蚤 (*Labidocera minuta*)、驼背隆哲水蚤 (*Acrocalanus gibber*)、奥氏胸刺水蚤 (*Centropages orsinii*)、椭圆形长足水蚤 (*Calanopia elliptica*) 和两手筐水母 (*Solmundella bitentaculata*) 等。

2.4 个体密度

夏季浮游动物类群总个体密度的平均值为 $40.56 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。浮游动物的个体密度以桡足类居高, 占总个体密度的 48.51%。浮游幼体为 $98.45 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 占总个体密度的 26.97%; 被囊类和毛颚类则分别占总个体密度的 11.23% 和 5.61%; 枝角类、十足类、翼足类、刺胞动物和栉水母动物门的个体密度则整体较低 (图 3a)。夏季各站位浮游动物总个体密度介于 $2.08 \sim 187.63 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均值为 $33.18 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。浮游动物的个体密度最高的地区位于文昌海域的 S11 站, 主要以粒径较小的阶段性浮游幼体占主导 (图 2c); 其次为昌江海域的 S8 站, 个体密度为 $48.69 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$; 浮游动物个体密度最低值出现于临高地区的 S10 站, 浮游动物仅含有少量浮游幼体。海南近岸浮游动物的丰度分布整体呈 NE—SE 逆时针方向递减的趋势 (图 3c)。

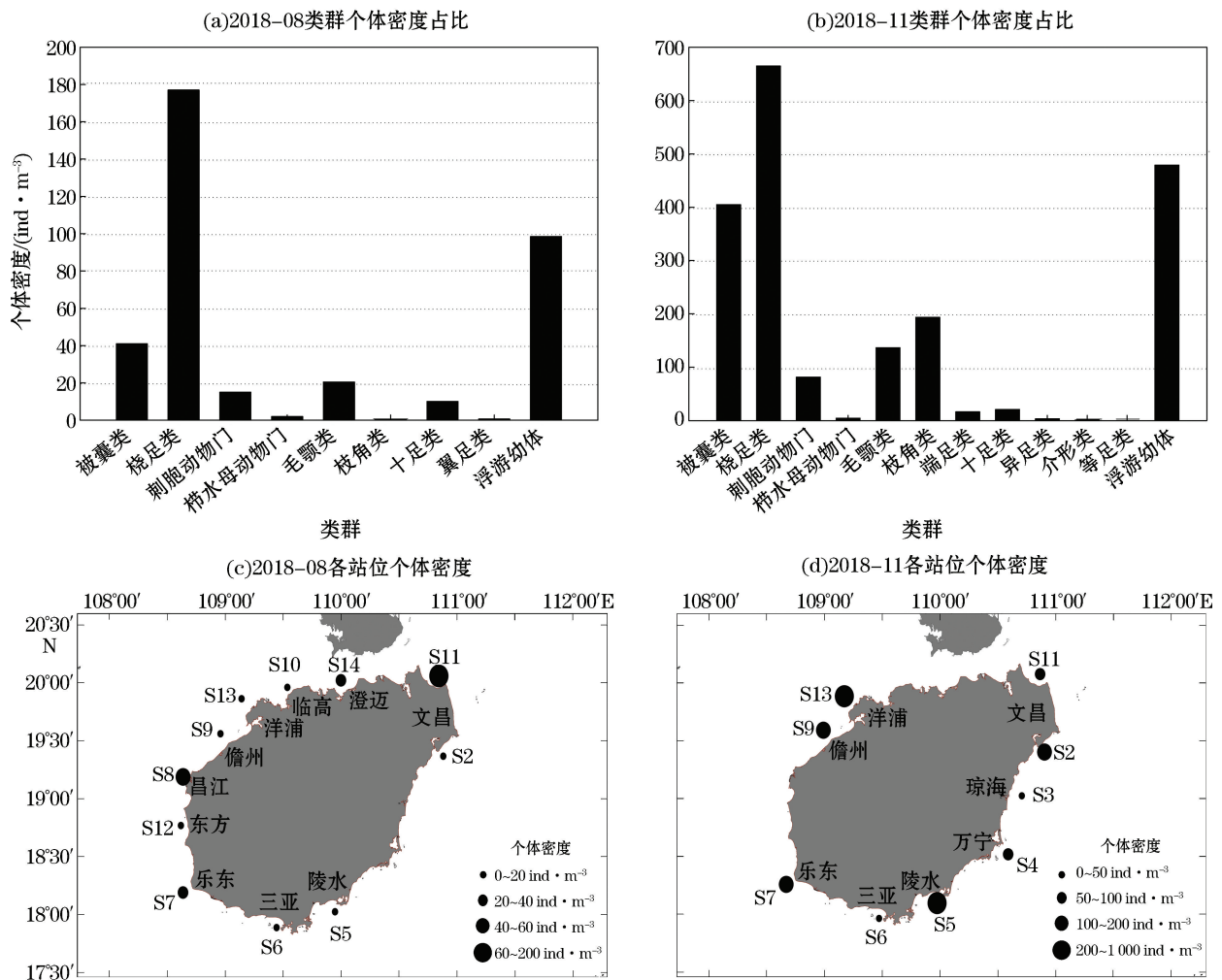


图 3 海南近岸浮游动物个体密度分布

Fig.3 Distribution of the abundance of zooplankton in the coastal waters of Hainan Island

秋季浮游动物类群总个体密度的平均值为 $167.28 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 主要以桡足类为优势类群, 占总个体密度的 33.11%; 浮游幼体的总个体密度位居次席, 占浮游动物总个体密度的 23.86%; 被囊类的个体密度为 $404.89 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 占总个体密度的 20.17%; 枝角类和毛颚类的个体密度分别为 $193.70 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 和

136.69 ind · m⁻³;端足类、十足类、异足类、等足类、介形类、刺胞动物和栉水母动物门的个体密度均较低(图 3b)。秋季各站位浮游动物总个体密度介于 6.25~902.15 ind · m⁻³,平均值为 223.04 ind · m⁻³,各站位总丰度整体高于夏季。位于洋浦海域的 S13 站的浮游动物总丰度最高,以桡足类为优势类群,物种多样性较高(图 2d);次高值则位于陵水海域的 S5 站,个体密度达到 566.67 ind · m⁻³;个体密度最低值则位于三亚区的 S6 站,浮游动物仅以少量浮游幼体和桡足类组成。各站位浮游动物个体密度分布以西北海域居高,西南和东南海域的丰度整体较低,分布模式上呈现较大差异(图 3d)。

2.5 湿重生物量

夏季浮游动物湿重生物量的平均值为 87.44 mg · m⁻³,湿重生物量范围为 18.04~215.94 mg · m⁻³,湿重生物量的最高值位于文昌海域的 S11 站,最低值出现于临高海域的 S10 站,生物量仅为 18.04 mg · m⁻³。浮游动物生物量以海南东北、西南海域居高,西北和东南海域较低(图 4a)。

秋季浮游动物湿重生物量的平均值为 675.37 mg · m⁻³,各站位湿重生物量介于 109.38~2264.29 mg · m⁻³,整体上要明显高于夏季。湿重生物量的最高值位于陵水海域的 S5 站,浮游动物以被囊类为优势类群如异体住囊虫。浮游动物生物量同样三亚海域的 S6 站偏低,湿重生物量仅为 109.38 mg · m⁻³,各站位间生物量存在明显差异,分布模式上同样以西北海域居高,西南和东南海域的丰度整体较低。

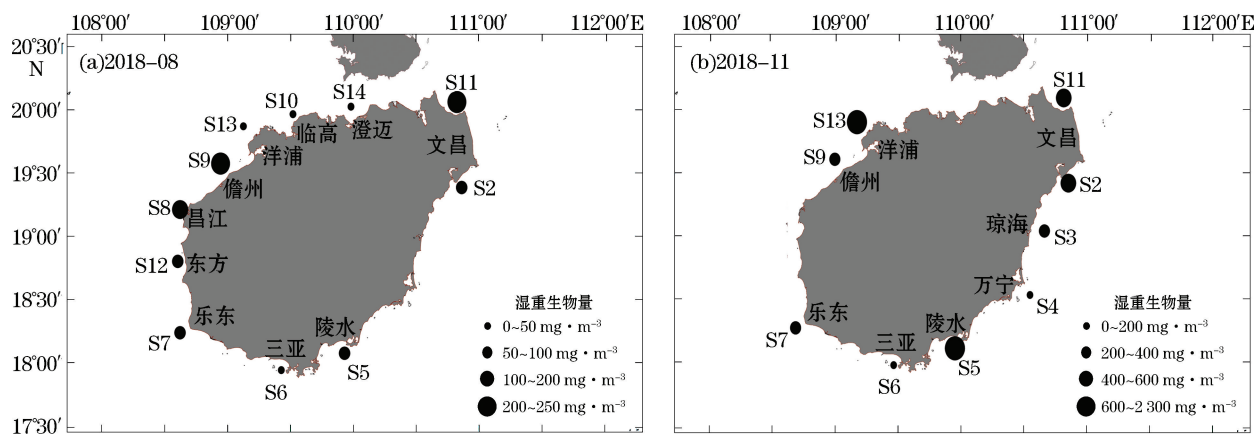


图 4 海南省近岸浮游动物湿重生物量分布

Fig.4 Distribution of the wet weight biomass of zooplankton in the coastal waters of Hainan Island

2.6 浮游动物多样性

海南近岸海域浮游动物丰富度(d)、均匀度(J')和多样性指数(H')均具明显差异(图 5):

种类丰富度(d):夏季浮游动物的种类丰富的值介于 0.29~1.26,平均值为 0.65,最高值位于文昌海域 S11 站,最低值位于陵水地区的 S5 站;秋季各站位浮游动物的种类丰富的值介于 0.32~1.92,平均值为 1.24,最高值出现于洋浦海域的 S13 站,最低值位于三亚海域的 S6 站。

均匀度指数(J'):夏季各站位浮游动物的均匀度指数介于 0.73~1.00,平均值为 0.88,均匀度指数最高值出现于儋州和临高海域的 S9 和 S10 站,最低值则位于文昌地区的 S11 站;秋季各站位浮游动物的均匀度指数介于 0.60~0.96,平均值为 0.78,均匀度指数最高值出现于琼海海域的 S3 站,最低值则位于万宁和陵水地区的 S4 和 S5 站。

多样性指数(H'):夏季浮游动物的多样性指数介于 1.88~3.28,平均值为 2.74,最高值位于文昌海域的 S11 站,最低值出现于陵水地区的 S5 站,绝大部分站位浮游动物多样性指数整体均达到 2.50 以上;秋季监测海区浮游动物的多样性指数介于 2.00~3.90,平均值为 3.27,最高值位于儋州海域的 S9 站,最低值出现于三亚地区的 S6 站,总体而言,绝大部分站位浮游动物多样性指数大于 3.00。

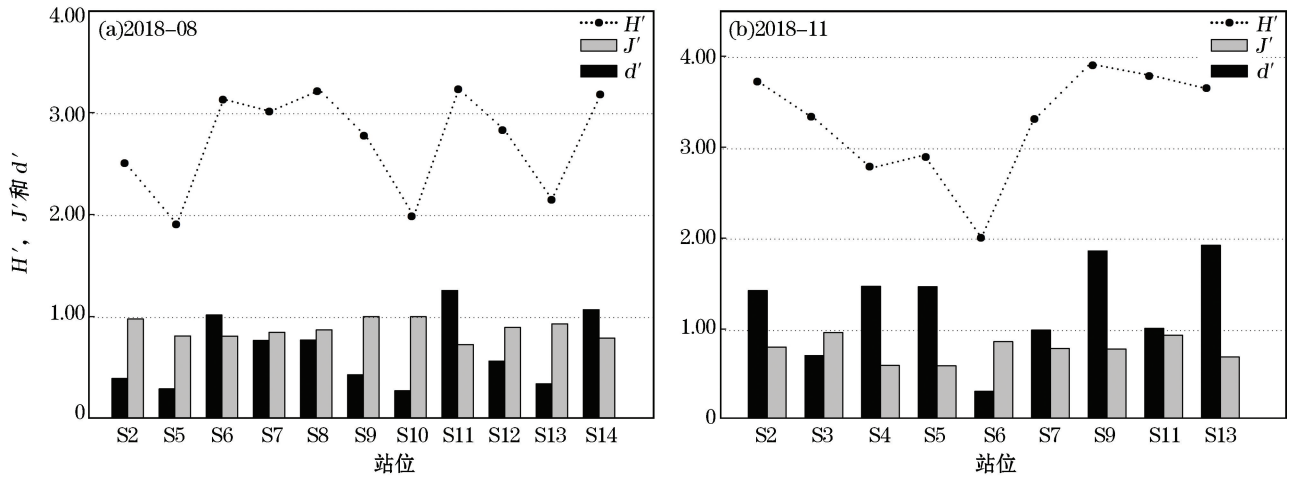


图5 海南近岸浮游动物丰富度、均匀度和多样性指数分布

Fig.5 Distribution of the diversity index, richness and evenness of zooplankton in the coastal waters of Hainan Island

2.7 浮游动物群落结构聚类分析

分析结果(图6)表明夏秋季海南近岸海域各站位的浮游动物均划分为4个类群。夏季生态类群I和III

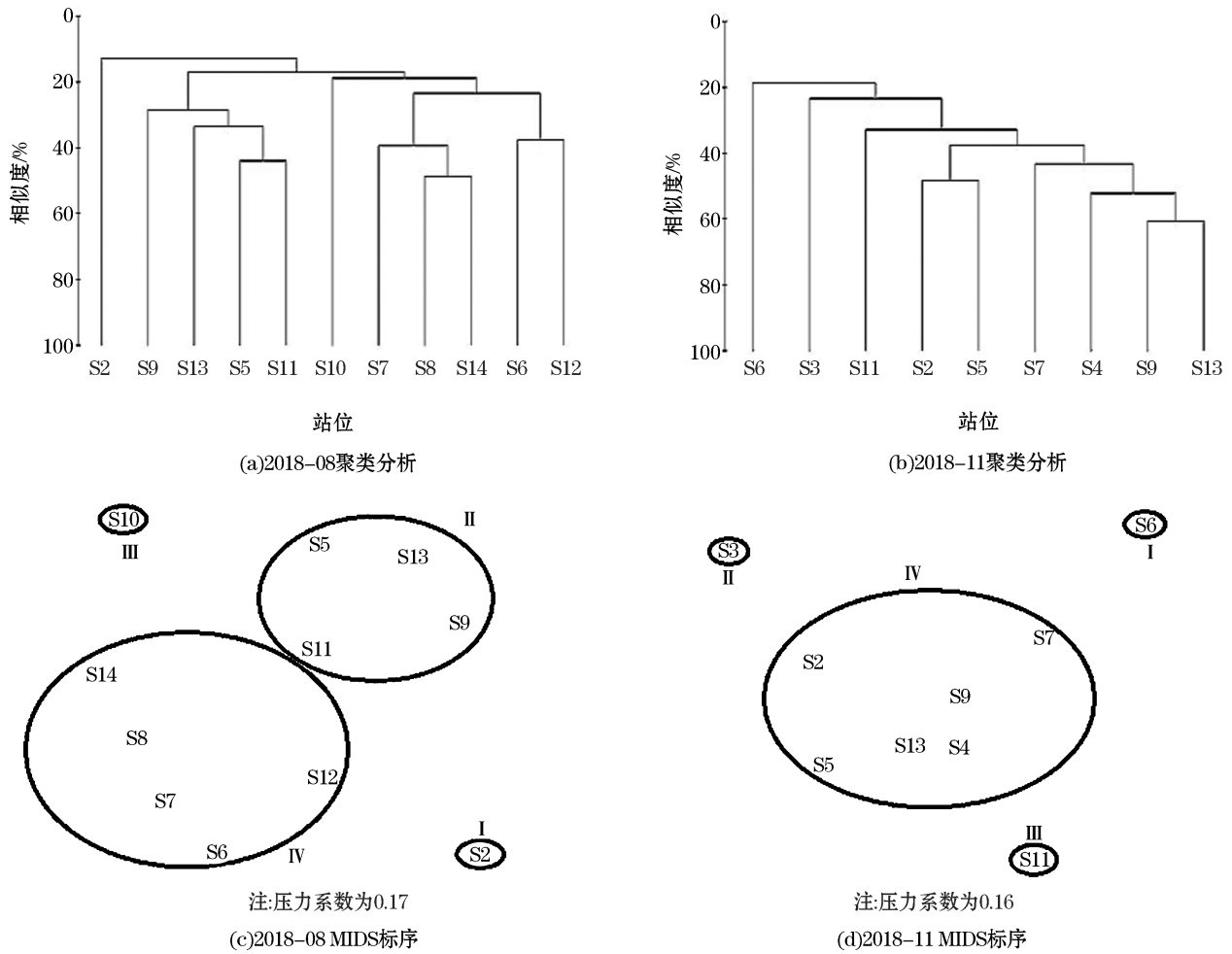


图6 海南近岸浮游动物聚类分析和 MDS 标序

Fig.6 Cluster analysis and MDS ordination of zooplankton in the coastal waters of Hainan Island

仅分别以 S2 站和 S10 站构成,浮游动物的物种数和丰度均较少,以阶段性浮游幼体为主,分别为长尾类幼体和桡足类幼体(或无节幼体)。生态类群 II 包括了 S5, S9, S11 和 S13 站,浮游动物以筒长腹剑水蚤和微刺哲水蚤为优势种。生态类群 IV 则包括 S6, S7, S8, S12 和 S14, 浮游动物以亚强次真哲水蚤、肥胖箭虫和长尾类幼体为主。

秋季同样具 4 个生态类群,但与夏季有明显差异,生态类群 I、II 和 III 分别以 S6, S3 和 S11 构成,3 个区域站位的浮游动物群落结构均有明显区别,以三亚海域的 S6 站的丰度和类群最低。生态类群 IV 主要包括了 S2, S4, S5, S7, S9 和 S13 站,均以太平洋纺锤水蚤、莹虾幼体和桡足类幼体(或无节幼体)等优势类群组成。

3 讨 论

3.1 浮游动物种类组成特征

2 个季节共鉴定浮游动物 69 种,分属 12 个类群,可分为河口类群、暖水沿岸类群和暖水广布类群三个生态类群,以桡足类为主要的优势类群。生态区优势种主要由暖水近岸种如毛颚类的肥胖箭虫、桡足类的亚强次真哲水蚤、红纺锤水蚤、枝角类的鸟喙尖头蚤等以及暖水广布种如微刺哲水蚤组成。本文结果与张光星等^[4]夏季海南近岸浮游动物生态类群以及优势种组成的研究结果整体较为一致,但较于其他季节,其研究结果尚不清楚。其他相关研究虽对不同季节海南近岸浮游动物展开分析,然其研究仅局限于局部海域,整个海南近岸浮游动物群落结构分布特征和变化规律鲜有报道^[10, 17, 27-28]。通过这些相关研究发现,海南近岸海域浮游动物整体以近海暖水种占优势,且不同季节浮游动物生态类群呈现明显差异性。

由于浮游动物的游泳运动能力较弱,仅随水流移动,且不同季节受海流、水团和降水量的影响,海南近岸各区域的浮游动物种群数量和多样性存在差异性。本文的结果(图 2, 5, 3c 和 3d)表明秋季浮游动物种类丰富度和多样性整体上高于夏季,浮游动物优势种和生态类群也呈现出差异性,如秋季出现了海洋伪镖水蚤、瘦歪水蚤等河口类群,该类群一般出现于盐度较低的秋、冬季节,以及奥氏胸刺水蚤、椭圆形长足水蚤等偏高温高盐的暖水广布种。究其原因,由于海南岛属于热带季风气候,夏季近岸海域水温、盐度较高,海水层化作用较强,且主要受沿岸流和南海暖流的影响^[4]。秋季受季风转换的影响,水体温跃层发生变化,且相较于夏季,海南秋季的降水量整体高于夏季,包括了热带气旋的影响多集中于秋季,径流输入的增加以及水体的温度和盐度均有明显下降,营养盐混合较均匀,为浮游植物和浮游动物的生长繁殖提供了良好的条件,因此使得 2 个季节浮游动物的种类和优势种呈现一定差异^[16, 29-30]。因此,秋季浮游动物种类数和多样性更高,更有利于适应低盐环境的类群以及外海热带性种的生长繁殖。

3.2 浮游动物群落结构与生物量的区域分布差异

近些年来,海南近岸海域的东南海域的滨海旅游、农业生产和水产养殖活动^[16, 21]、西部海域的工业发展所导致的工业陆源污染^[27]、东北部和南部等区域的港口建设以及海洋工程开发利用^[28, 31]等人类活动,均导致了这些沿岸海域海洋生态系统失衡,营养物质富集,水体环境富营养化,生态环境受到破坏,海洋浮游动物等生物资源的多样性也受到巨大影响,甚至某些区域的种类丰富度和多样性呈不断下降趋势^[32]。整个海南省近岸海域由于受人类活动的影响程度不同,浮游动物的群落结构与生物量(图 3, 4)呈现出明显的区域分布差异。夏季浮游动物生物量、个体密度以海南东北部沿海、西南部海域居高,如文昌地区的 S11 站、昌江地区的 S8 站,生物量和丰度均呈较高水平,分别以异体住囊虫和肥胖箭虫为该区域的优势种群。而西北局部和东南海域的整体较低,如临高海域的 S10 站,三亚、陵水地区的 S6、S5 站;秋季浮游动物生物量、个体密度西北部,东南部海域居高,如洋浦地区和陵水地区的 S13 和 S5 站,西南和南部海域整体较低如三亚海域的 S6 站。与此同时,聚类分析结果也显示,海南近岸各个站位呈现区域差异性,与本文浮游动物群落结构、湿

重生物量分布结果较为接近。浮游动物生态类群划分是由于优势种的不均匀分布所致^[18]。通过将两次浮游动物数据进行聚类相似性分析,各站位的浮游动物均可分为四个类群(图 6)。夏季生态类群 II 和 IV 的浮游动物的优势种的丰度整体呈较高水平,尤其是 S11、S8 站,类群 I 的 S2 的优势种丰度较低,与夏季浮游动物个体密度和生物量(图 3,4)分布趋势整体一致。秋季浮游动物主要以生态类群 III 和 IV 整体呈较高生物多样性,与浮游动物丰度和生物量分布结果相似,均呈较高水平,尤其是 S5 和 S13 站。引起该现象的原因主要是昌江近岸海域大型工业的发展^[27],文昌海域港口运输、围塘养殖^[28,31]等人类活动的影响,海洋水质呈现富营养化的趋势,浮游动物丰度和多样性均呈现较高趋势。而夏季东南海域海水虽在一定程度上受人类活动的影响,但同时受到地形和西南季风所带来的高盐水团的影响,不利于适应低盐环境的近岸暖水类群和河口类群的生存,浮游动物丰度和多样性较低^[33-34];而秋季末受东北季风水体和南海暖流的相互作用,西北和东南近岸海域营养盐浓度水平除了由人类活动所致而得到补充外,海水的垂直混合作用也是这些区域营养盐富集的重要来源之一,且水体的混合运动整体强于西南部海域,浮游植物的生物量有明显的提升,而浮游动物的生物量也随之而提升^[33,35]。

4 结 论

为深入了解不同季节浮游动物种群分布和群落结构变化机制和规律,通过分析海南近岸海域夏、秋两个季节大面站浮游动物群落结构特征,得到如下结论:

1) 2 个季节共鉴定浮游动物 45 科 51 属 69 种及浮游幼体 31 类,据温度、盐度的适应性差异,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,优势种组成方面,夏季以桡足类的筒长腹剑水蚤为主,秋季则以被囊类的异体住囊虫主要优势种。

2) 秋季浮游动物个体密度、湿重生物量、物种丰富度和多样性指数明显高于比夏季,平均个体密度和生物量分别为 223.04 和 675.37 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$,各站位多样性指数绝大部分均在 3.00 以上,生态类群和优势种数量分布均呈较高水平。整个海南近岸浮游动物群落结构呈现明显的季节性和区域性差异。

参考文献 (References):

- [1] ZHOU Q Y, SONG W, LIU Y Q, et al. Preliminary research in 2003 on biological resources near Hongdao Island of Jiaozhou Bay-II——Zooplankton[J]. Marine Science, 2005, 29(6): 80-83. 周青云, 宋微, 刘永清, 等. 2003 年胶州湾红岛海域生物现状的初步研究 II——浮游动物现状的初步调查与研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(6): 80-83.
- [2] ZHANG C X, SUN S L, CHEN C L, et al. Community composition and seasonal changes of the zooplankton in the seaweed-field area of the Liusha Bay [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(5): 1386-1394. 张才学, 孙省利, 陈春亮, 等. 流沙湾海草床海域浮游动物的群落结构和季节变化[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(5): 1386-1394.
- [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] ZHANG G X, CHEN S Q, CHEN D D, et al. The relationship between zooplankton and the environmental factors in the coastal waters of Hainan Island in the early summer[J]. Haiyang Xuebao, 2014, 36(12): 125-132. 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.
- [5] CHEN H J. Studies on community structure and biodiversity of zooplankton in the Yellow Sea and the East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. 陈洪举. 黄、东海浮游动物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- [6] BEAUGRAND G, BRANDER K M, LINDLEY J A, et al. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea[J]. Nature, 2003, 426(6967): 661-664.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] LI S J, XU Z Z, HUANG J Q, et al. Studies on biology of marine zooplankton in China[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2001, 40(2): 574-585. 李少菁, 许振祖, 黄加祺, 等. 海洋浮游动物学研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(2): 574-585.
- [10] SHI X, WANG H K, TAN Y H, et al. Seasonal variation of zooplankton community structure and species composition in the Sanya Bay [J]. Marine science bulletin, 2007, 26(4): 43-49. 时翔, 王汉奎, 谭焯辉, 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.
- [11] 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(8): 964-971.
- [12] 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.
- [13] XU S N, LIN H J, GONG Y Y, et al. Ecological characteristics of phytoplankton community structure in northwest Hainan coastal areas[J]. Marine Environmental Science, 2015, 34 (5): 661-668. 徐姗楠, 林华剑, 龚玉艳, 等. 海南西北部近岸海域浮游植物的生态特征[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(5): 661-668.
- [14] SUN D R, LI Y, WANG X H. Seasonal changes of species composition and diversity of fishes in coastal waters of Hainan Island, China [J]. South China Fisheries Science, 2012, 8(1): 1-7. 孙典荣, 李渊, 王雪辉. 海南岛近岸海域鱼类物种组成和多样性的季节变动[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 1-7.
- [15] Hainan Provincial Ocean Department. Report on comprehensive investigation of island resources in Hainan province[M]. Beijing Ocean Press, 1996: 10-11. 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.
- [16] 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(4): 375-388.
- [17] YIN J Q, ZHANG G X, TAN Y H, et al. Species composition and quantitative distribution of zooplankton in Sanya Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2004, 23(5): 1-9. 尹健强, 张谷贤, 谭焯辉, 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.
- [18] LUO M, MIAO S Y, YU H B, et al. Community structure of zooplankton in the offshore water of wanning at the end of spring[J]. Marine Science, 2013, 37(11): 79-84. 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.
- [19] ZHEN B W, CAO W Q, LIN Y S, et al. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf I. the temporal and spatial variation of species composition on zooplankton[J]. Haiyang Xuebao, 2013, 35(6): 154-161. 郑白雯, 曹文清, 林元烧, 等. 北部湾北部生态系统结构与功能研究 I. 浮游动物种类组成及其时空变化[J]. 海洋学报, 2013, 35(6): 154-161.
- [20] ZHANG G X, WU Z J, CHEN S Q, et al. The ecological characteristics of zooplankton and the relationship among environmental factors in the Sanya Bay in spring[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2014, 36(3): 176-184. 张光星, 吴钟解, 陈石泉, 等. 春季三亚湾浮游动物生态特征与环境因子的关系[J]. 福建水产, 2014, 36(3): 176-184.
- [21] 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.
- [22] State Bureau of Technical Supervision. Specifications for oceanographic survey: Part 6 Marine biological survey: GB/T 12763.6-2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. 国家技术监督局. 海洋调查规范: 第6部分 海洋生物调查: GB/T 12763.6-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [23] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. University of Illinois Press, 1971: 1-198.
- [24] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: John Wiley and Sons, 1969: 1-108.
- [25] MARGLEF D R. Information theory in ecology[J]. Generation Systems, 1958, 3: 36-71.
- [26] YU L, WANG L, WANG W J, et al. The net-phytoplankton species composition and distribution of the Miaodao archipelago waters[J]. Advances in Marine Science, 2017, 35(03): 1-10. 喻龙, 王磊, 王文君, 等. 庙岛群岛海域网采浮游植物种类组成及分布[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(3): 1-10.
- [27] SUN R X, WANG Y G, LIAN G S, et al. Distribution and community characteristics of planktonic copepods in the northwest coastal waters off Hainan Island[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(3): 320-328. 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.
- [28] DING J J, HU Y Q, HUANG B, et al. Characteristics of spring and autumn zooplankton community in Dongzhai Harbor, Hainan[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2016, 34 (3): 257-263. 丁敬敬, 胡亚强, 黄勃, 等. 海南岛东寨港红树林春、秋季浮游动物群落的特征研究[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2016, 34(3): 257-263.
- [29] FU M, WANG Z, LI Y, et al. Phytoplankton biomass size structure and its regulation in the Southern Yellow Sea (China): seasonal

- variability[J]. *Continental Shelf Research*, 2009, 29(18): 2178-2194.
- [30] SUN L, YANG Y J, XIAN T, et al. Strong enhancement of chlorophyll a concentration by a weak typhoon[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2010, 404: 39-50.
- [31] CEN J Y, OU L J, LV S G, et al. Studies on ecological characteristics of plankton during Jellyfish bloom in Qinglan port[J]. *Oceanologia et Limnologia sinica*, 2012, 43(3): 595-601. 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(3): 595-601.
- [32] WALSH J P, NITTROUER C A. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of Papua [J]. *Marine Geology*, 2004, 208(2-4): 225-248.
- [33] LI K Z, YIN J Q, HUANG L M, et al. Monsoon-forced distribution and assemblages of appendicularians in the northwestern coastal waters of South China Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, 89(2): 145-153.
- [34] SU J, POHLMANN T. Wind and topography influence on an upwelling system at the eastern Hainan coast[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114(c6): C06017.
- [35] TSENG L C, KUMAR R, DAHMS H U, et al. Monsoon driven succession of copepod assemblages in the coastal waters of the north-eastern Taiwan Strait[J]. *Zoological Studies*, 2008, 47 (1): 46-60.

Distribution Characteristics of Zooplankton in Summer and Autumn in the Coastal Waters of Hainan Island

XIE Fu-wu, LIANG Ji-lin, XING Kong-min

(*Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 571126, China*)

Abstract: In order to understand the distribution characteristics of zooplankton populations and the change mechanism and law of zooplankton community structure in different quarters, samples collected from 11 station in summer and 9 stations in autumn in the coastal waters of Hainan Province in August and November 2018 are analyzed. The results show that totally 69 species of zooplankton in 51 genera of 45 family and 31 species of pelagic larvae are identified in the coastal waters of Hainan. These species of zooplankton can be sub-divided into 3 ecological groups: the estuarine group, the coastal warm water group and the widely distributed warm water group, of which copepod is the dominant group. The dominant species are mainly composed of *Oithona simplex*, *Subeucalanus subcrassus*, *Acartia erythraea*, *Acartia pacifica*, *Oikopleura dioica*, *Sagitta enflata* and *Penilia avirostris*. Because of the seasonal and topographical affection, the abundance, wet weight biomass, diversity index and richness of zooplankton in summer differ significantly from those in autumn, showing autumn $>$ summer. In autumn the average abundance and biomass of zooplankton are $223.04 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ and $675.37 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, respectively; the diversity indexes of zooplankton at all stations are mostly larger than 3.00; and the ecological groups and the number of dominant species are all in a high level, except for the evenness index which shows opposite. In general, the community structure of zooplankton can affect the efficiency of material circulation and energy flow in the food cycle, and further affect the diversity and stability of marine ecosystem. Therefore, the study of distribution characteristics of zooplankton in different quarters of a year is of great significance for exploitation and utilization of coastal resources and marine ecological management in Hainan Island.

Key words: zooplankton; community structure; species diversity; Hainan Island

Received: May 25, 2019