

文章编号: 1674-7054(2017)04-0390-09

旱季黎安湾浮游动物群落短期变化的特征

陈新^{1,2}, 王超超³, 卓文², 刘秋妤², 唐敏^{1,2}

(1. 南海海洋资源利用国家重点实验室, 海口 570228; 2. 海南大学 材料与化工学院, 海口 570228;
3. 海南大学 热带农林学院, 海口 570228)

摘要: 笔者调查研究了海南岛南部黎安湾贝类养殖区及其附近非养殖海域的中小型浮游动物群落在旱季的短期变化特征, 发现湾内浮游动物群落呈现丰度高、种类丰富、优势种突出以及均匀度低等特点。共鉴定出浮游动物 104 种, 浮游幼体 14 类, 隶属 6 门 76 个属。浮游动物的总丰度范围为 $114 \sim 735 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中原生动物占 58% ~ 77%, 桡足类 18% ~ 30%, 被囊动物 1% ~ 13%。优势种主要为驼背隆哲水蚤、短脚长腹剑水蚤、异体住囊虫、爱氏网纹虫、尖底拟急游虫、弯叶拟铃虫、五叶抱球虫和长形旋口虫, 优势种种类及优势度随时间变化而不同。养殖区与非养殖区附近的浮游动物结构相似性较高, 但调查结果显示非养殖区浮游动物丰度显著高于养殖区。分析浮游动物群落与环境因子关系, 发现温度、盐度和叶绿素 a 与浮游动物群落的相关性较高。结果表明, 黎安湾浮游动物群落组成和丰度在 1 个月内发生了明显变化, 因此, 在海洋生态环境研究和监测中需注意, 单次采样时间的结果不能全面反映或代表中长期的数据。

关键词: 浮游动物群落; 贝类养殖; 黎安湾; 旱季

中图分类号: P 714.5

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2017.04.003

黎安湾位于海南岛南部, 是一个没有地表径流、半封闭性的热带潟湖^[1-2], 属热带季风岛屿型气候, 全年温度变化不大, 生物多样性高, 集成珊瑚、海草床、红树林等多个具有热带海洋特征的生态系统, 构成了我国非常难得的海洋生态景观, 具有重要的研究价值。但随着当地海水养殖业的快速发展, 污水排放以及尚不完善的环境管理, 对海湾生态系统和养殖环境造成了严重的威胁。海洋浮游动物种类繁多、数量丰富、分布广泛, 是海洋生态系统中重要的生物类群之一。在生态食物网中, 浮游动物通过摄食浮游植物可控制初级生产力, 同时又被更高营养阶层的动物(鱼、虾、鲸等)捕食, 在初级生产者和高级消费者之间的物质和能量流动过程中起着重要的桥梁作用, 是海洋食物网中的关键环节^[3-4], 鱼类和其他海洋动物资源在很大程度上受到浮游动物群落结构和种群动态的影响。很多海洋动物的生命周期有浮游幼体阶段, 包括一些经济物种和大型污损动物, 对其浮游幼虫的研究不论对渔业经济效益还是防污技术水平的提高都具有现实意义。此外, 浮游动物还可以通过选择性摄食及消化过程, 形成大量快速下沉的排泄物颗粒, 从而影响重要营养元素的生物地球化学循环^[5]。另一方面, 浮游动物群落与海洋环境密切相关, 常作为海洋环境监测的重要指示和研究对象^[6]。因此, 对浮游动物的研究在海洋生态系统和渔业等领域都具有重要意义。鉴于目前黎安湾的养殖生态环境面临的严峻情况, 笔者初步研究了黎安湾表层海水中浮游动物群落在旱季的短期变化特征, 分析贝类养殖区和非养殖区的浮游动物群落结构与环境因子的相关性, 旨在为保护黎安湾生态环境和渔业资源的可持续性利用提供参考。

收稿日期: 2017-06-04

修回日期: 2017-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目: 1. 南海养殖海域特征性污损动物群落形成及变化规律研究(31360105); 2. 南海污损动物群落对重金属胁迫的响应规律及表征研究(31660128); 3. 热带海洋污损生物群落与附着基底关联的量化研究(31160098); 海南大学博士科研启动基金项目: 新型船舶防污涂料在南海海域的防污性能评价(kyqd1046)

作者简介: 陈新(1973-) 男, 汉族, 讲师, 研究方向: 水生生物和生态毒理, E-mail: 982912387@qq.com

通信作者: 唐敏(1972-) 女, 汉族, 副教授, 研究方向: 水生生物和生态毒理, E-mail: 1251054716@qq.com

1 材料与方法

1.1 采样位点 海南黎安湾位于海南岛南部,属于热带季风气候,一年分为明显的旱季和雨季,湾内最大水深 8 m,潮汐类型属于全日潮型。在 6 个采样位点(18°24′~18°26′N,110°02′~110°03′E)(图 1)中,Y1,Y2,Y3 位点位于吊笼式贝类养殖区,F1,F2,F3 位于非养殖区。采样时间从 2014-11-01—12-01,共采 7 次样,前 4 次为间日采样,后 3 次为每周采样 1 次。为避免浮游动物日间的垂直迁移带来的影响^[7-8],实验期间所有浮游动物样品和水质分析样品的采样时间都为上午 10:00。

1.2 浮游动物样品采集 采样参照《海洋调查规范 第 6 部分:海洋生物调查》(GB/T12763.6-2007)。针对中小型浮游动物,实验采集 30 L 表层水样,用 25 号浅水浮游生物网(孔径 0.064 mm)过滤浓缩,过滤物放入标本瓶中,并用抽滤海水洗 3 次过滤网,所得过滤物也放入上述瓶中,甲醛(终浓度为 5%)固定保存。使用解剖镜和显微镜(OLYMPUS BH-2)进行观察、物种鉴定^[9-13]和计数。

1.3 生态环境参数测定 根据《海洋监测规范 第 4 部分:海水分析》(GB17378.4-2007)进行采样区相关生态环境参数的检测。现场测定温度(表层水温测量法)、盐度(盐度计)、透明度(透明圆盘法)、pH 值(pH 仪 FE20K)、溶解氧(便携式溶氧仪,JP-BJ-608)。同时低温、黑暗保存采集水样,运输到实验室进行其他参数测定。利用热乙醇法测定叶绿素 a 含量^[14],测定总磷和亚硝酸盐含量(多参数水质分析仪,GDYS-201M)。

1.4 数据处理 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')表征所有浮游动物的多样性,Margalef 丰富度指数(d)计算原生动物,浮游动物群落结构特征采用 Pielou 均匀度(J)和优势度(Y)分析表征^[6]。相应的计算公式如下:

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

$$d = \frac{(S-1)}{\ln N};$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S};$$

$$Y = \left(\frac{n_i}{N} \right) \times f_i;$$

式中 P 为第 i 种的个体数与样品中的总个数的比值, S 为采集样品中的物种总数, n_i 为第 i 种的总个体数, N 为采集样品中所有物种的总个体数, f_i 为第 i 种在各站位出现的频率(当优势度 $Y > 0.020$ 时为优势种)。

使用 SigmaStat 分析养殖区和非养殖区浮游动物的丰度变化,使用 PRIMER 6.0 v (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) 处理和分析多元实验数据^[15]。其中,PRIMER 中的 CLUSTER 是等级聚类分析技术,即根据每对样品间的某种相似性,将各样品依次逐级相互连接成组,形成树枝图来表示生物群落结构;BEST 可分析多元数据之间的关联性。

2 结果与分析

2.1 海南黎安湾浮游动物多样性 样品中共鉴定出浮游动物 104 种,隶属 76 个属(表 1),其中优势种主

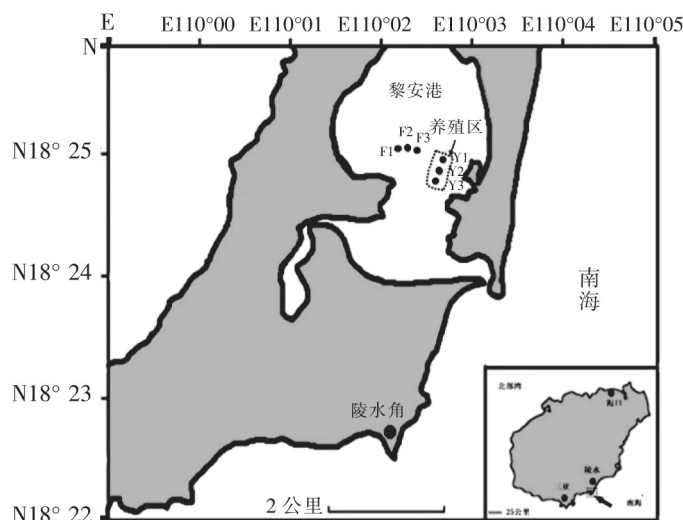


图 1 采样点位图

Fig. 1 Location of sampling sites

要为桡足类、原生动物、背囊动物 其次为浮游幼虫。

表 1 海南黎安湾浮游动物名录

Tab. 1 List of zooplankton species in Li'an Lagoon

浮游动物	中文名称	拉丁学名	中文名称	拉丁学名
1 原生动物 Protozoa	尖底拟急游虫	<i>Strombidinopsis acuminatum</i>	锥形急游虫	<i>S. conicum</i>
	楔尾急游虫	<i>S. stylifer</i>	曼塔急游虫	<i>S. montagnesi</i>
	阿伽塔旋游虫	<i>S. agathae</i>	卡龙游仆虫	<i>Euplotes charon</i>
	长形拟盗虫	<i>S. elongata</i>	拉卡夫游仆虫	<i>E. raikovi</i>
	切斯里拟盗虫	<i>S. cheshiri</i>	开孔真丁虫	<i>Eutinitinnus apertus</i>
	尖底类瓮虫	<i>Amphorellopsis acuta</i>	波特薄铃虫	<i>Leprotintinnus bottnicus</i>
	雪状细壳虫	<i>Stenosemella nivalis</i>	五叶抱球虫	<i>Globigerina quinqueloba</i>
	短原纹虫	<i>Protorhabdonella curta</i>	波罗的海拟壳虫	<i>T. baltica</i>
	小拟壳虫	<i>Tintinnopsis minuta</i>	钟状网纹虫	<i>Favella campanula</i>
	弯叶拟铃虫	<i>T. lobiancoi</i>	膨大波膜虫	<i>Undella turgida</i>
	爱氏网纹虫	<i>F. ehrenbergi</i>	钝杯体虫	<i>Craterella retusa</i>
	寡毛双眉虫	<i>Diophrys oligothrix</i>	谷口柱毛虫	<i>Cyclotrichium taniguchii</i>
	念珠腹棘虫	<i>Gastrocirrhus monilifer</i>	加冈栉毛虫	<i>Didinium gargantua</i>
	拟卡金斯急游虫	<i>S. paracalkinsi</i>	假念珠串房虫	<i>R. pseudomoniliforme</i>
	共串房虫	<i>Reophax communis</i>	长形旋口虫	<i>Helicostomella longa</i>
	编织虫	<i>Textularia</i> sp.	尤克莱膜星虫	<i>Hymeniastrum euclidis</i>
	扬可夫欧米虫	<i>Omegastrombidium jankowskii</i>		
2 腔肠动物 Coelenterata	藪枝螅水母	<i>Obelia</i> sp.	锯齿钟螅	<i>Campanularia denticulata</i>
3 袋虫动物 Aschelminthes	褶皱臂尾轮虫	<i>Brachionus plicatilis</i>	疣毛轮虫	<i>Synchaeta</i> sp.
4 节肢动物 Arthropoda	轮虫未定种	<i>Rotatoria</i> sp.	线虫未定种	<i>Nematodes</i> sp.
枝角类 Cladocera	肥胖三角溞	<i>Evadne tergestina</i>		
介形类 Ostracoda	腺介虫	<i>Mitella</i> sp.		
桡足类 Copepoda	红带吻殊足猛水蚤	<i>Rhynchothalestris rufocincta</i>	宽身半圆水蚤	<i>Hemicyclops dilatatus</i>
	瘦长腹剑水蚤	<i>O. tenuis</i>	长腹剑水蚤	<i>O.</i> sp.
	短脚长腹剑水蚤	<i>Oithona brevicornis</i>	幼日角猛水蚤	<i>Tisbe tenera</i>
	奇异猛水蚤	<i>Miracia</i> sp.	小星猛水蚤	<i>Microsetella</i> sp.
	长足阿玛猛水蚤	<i>Ameira longipes</i>	尖额谐猛水蚤	<i>Euterpina acutifrons</i>
	安氏真指猛水蚤	<i>Eudactylopus andrewi</i>	韦氏长腹剑水蚤	<i>O. wellershausi</i>
	真猛水蚤	<i>Eutерpe</i> sp.	瘦长毛猛水蚤	<i>Macrosetella gracilis</i>
	诺氏阿娜猛水蚤	<i>Amonardia normani</i>	小厚壳水蚤	<i>Scolecithricella</i> sp.
	伪胖水蚤	<i>Pseudochirella</i> sp.	锡兰矮隆水蚤	<i>Bestiolina zeylonica</i>
	拟矮隆水蚤	<i>B. similis</i>	矮隆水蚤	<i>B.</i> sp.
	真哲水蚤	<i>Eucalanus</i> sp.	歪水蚤	<i>Tortanus</i> sp.
	驼背隆哲水蚤	<i>Acrocalanus gibber</i>	小伪花水蚤	<i>Pseudanthessins parvus</i>
	缘齿厚壳水蚤	<i>Scolecithricella nicobarica</i>	羽刺大眼水蚤	<i>Farranula</i> sp.
	热带小厚壳水蚤	<i>Scolecithricella tropica</i>	红纺锤水蚤	<i>Acartia sinjiensis</i>
	沙拟小疑囊猛水蚤	<i>Paramphiascella vararensis</i>		

续表 1 Continued tab. 1				
浮游动物	中文名称	拉丁学名	中文名称	拉丁学名
端足类 Amphipoda	三齿螺赢蜚	<i>Corophium tridentium</i>	细管居蜚	<i>Cerapus tubularis</i>
	河螺赢蜚	<i>C. acherusicum</i>	雷氏藻钩虾	<i>Ampithoe ramondi</i>
	等肢舟钩虾	<i>Bemlos aequimanus</i>	十远麦秆虫	<i>Caprella decipiens</i>
	地中海巨亮钩虾	<i>Cheiriphotis megacheles</i>	细始麦秆虫	<i>Protella gracilis</i>
	巨大螯蜚	<i>Grandidierella megnae</i>		
5 毛颚动物 Chaetognatha	箭虫	<i>Sagittidae</i> sp.	橈虫	<i>Krohnitta</i> sp.
6 被囊类 Thordata	异体住囊虫	<i>Oikopleura (vexillaria) dioica</i>		<i>O. gracilis</i>
	梭形住囊虫	<i>O. (coecaria) fusiformis</i>		<i>O. (vexillaria) labra-</i> <i>doriensis</i>
	红住囊虫	<i>O. rufescens</i>		<i>O. (coecaria) cornuto-</i> <i>gastra</i>
7 浮游幼体 Zooplankton larva	长腹剑水蚤幼体	<i>Oithona larva</i>	寄身生水虱幼体	<i>Isopoda larva</i>
	帚虫的辐轮幼体	<i>Phoronis actinotrocha larva</i>	蔓足类腺介幼虫	<i>Cypris larva</i>
	软水母幼体	<i>Leptomedusae larva</i>	紫贻贝幼体	<i>Mytilus edulis</i>
	藤壶六肢幼体	<i>Barnacle larva</i>	长尾类幼虫	<i>Macrura larva</i>
	钩虾幼体	<i>Gammaridea larva</i>	长腕幼虫	<i>Ophiopluteus larva</i>
	苔藓动物双壳幼虫	<i>Cyphonautes</i>	蝌蚪幼体	<i>Tadpole larva</i>

2.2 浮游动物短期变化特征

2.2.1 浮游动物丰度的短期变化特征 在样品采集期间,黎安湾浮游动物群落丰度变化范围为 114 ~ 735 ind · L⁻¹。养殖区和非养殖区的浮游动物丰度都随时间呈现出类似的变化趋势(图 2)。在 11 月初,养殖区和非养殖区的浮游动物丰度变化趋势大致相同,在第 1 周都呈现逐步增加趋势,在第 1 周末出现峰值;非养殖区的峰值约是养殖区的 2 倍,而且在非养殖区出现峰值的时间稍早于养殖区;到第 2 周,丰度开始下降,到中旬时数值与月初相近,此后较低丰度值一直保持到第 3 周;在次月月初出现回升,养殖区的回升幅度高于非养殖区。笔者在 11 月 5 日和 12 月 1 日采样时间点发现,非养殖区与养殖区浮游动物的丰度差别显著,其中 11 月 5 日差异显著($P < 0.05$),12 月 1 日差异极显著($P < 0.01$)。

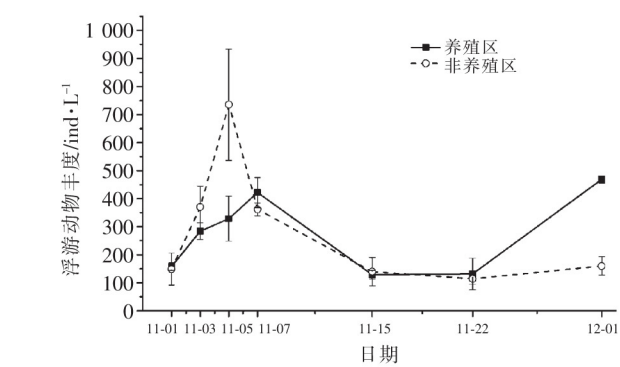


图 2 黎安湾浮游动物丰度的短期变化
Fig. 2 Short-term temporal variation of zooplankton abundance in Li'an Lagoon

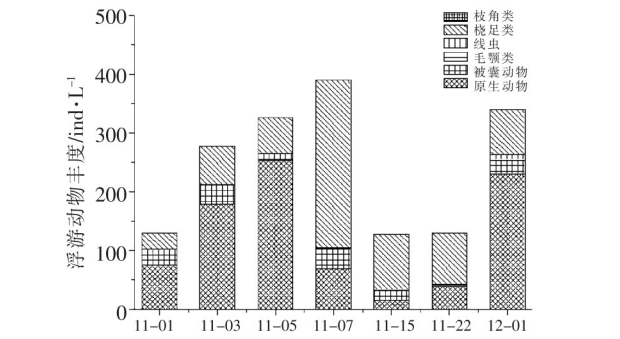


图 3 黎安湾养殖区浮游动物的群落组成
Fig. 3 Zooplankton community composition in the shellfish culture area in Li'an Lagoon

2.2.2 浮游动物群落组成的短期变化特征 笔者在旱季短期黎安湾中小型浮游动物群落调查中发现,丰度较高的种类为原生动物、桡足类和背囊动物。原生动物中优势种为爱氏网纹虫(*Favella ehrenbergi*)、

长形侠盗虫(*Strombidinopsis elongata*)、弯叶拟铃虫(*Tintinnopsis lobiancoi*)、五叶抱球虫(*Globigerina quinqueloba*)和长形旋口虫(*Helicostomella longa*);桡足类中主要为短脚长腹剑水蚤(*Oithona brevicornis*)和锡兰矮隆水蚤(*Bestiolina zeylonica*),背囊类主要为异体住囊虫(*Oikopleura (vexillaria) dioica*)。水样中浮游幼体种类较多,其中优势种为剑水蚤幼体、藤壶六肢幼体。此外,还发现较多有尾类幼体、担轮幼体以及藤壶无节幼体,少量双壳类 D 型幼体。

对养殖区和非养殖区各采样时间点的浮游动物群落分析后发现,群落的物种组成基本相同,有些种类的丰度随时间发生较明显的变化,主要是原生动物和桡足类数量的波动较大。在养殖区(图 3)主要类群的丰度比例变化范围为原生动物占 11%~77%,桡足类占 18%~73%。从 2014 年 11 月 1~5 日,桡足类数量变化不明显,主要是原生动物明显增多,特别是爱氏网纹虫的增多,在 11 月 5 日达到最高,约占浮游动物总量的 46%;在 11 月 7 日,原生动物数量下降,而桡足类所占比例明显提高,占浮游动物总量的 68%;11 月 15 日和 22 日的样品中,原生动物和桡足类数量均下降,直到 12 月 1 日原生动物的数量约升至 11 月初的水平,其中主要是抱球虫,占浮游动物总量的 62%。在非养殖区,主要类群的丰度比例变化范围为原生动物占 10%~76%,桡足类占 13%~88%。从 11 月 1~7 日,原生动物数量持续增加,但到 7 日,原生动物数量急剧下降,所占比例由 76%降低到 23%,其中主要是爱氏网纹虫,其数量由 57%降低到 11%,而桡足类所占比例相应由 21%增加到 60%,到 11 月 22 日原生动物降低到最低值 10%,桡足类比例升高到最高值(88%);到 12 月 1 日原生动物数量有所上升,但仍低于 11 月初的水平(图 4)。

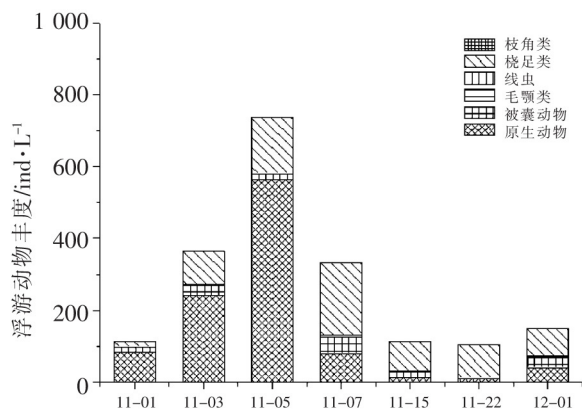


图 4 黎安湾非养殖区浮游动物的群落组成

Fig. 4 Zooplankton community composition in the non-culture areas in Li'an Lagoon

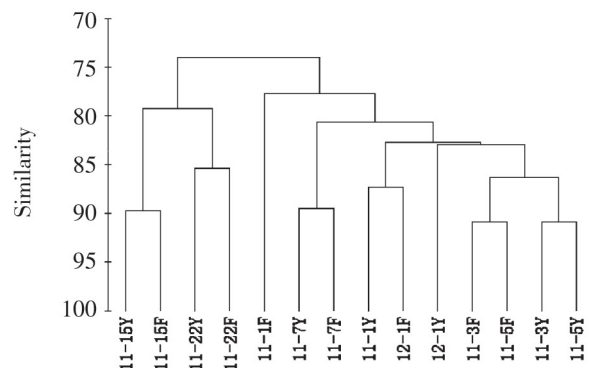


图 5 黎安湾浮游动物群落结构的相似性聚类分析

Fig. 5 The cluster analysis of zooplankton communities in Li'an Lagoon

相似性聚类分析(CLUSTR)结果表明,在相同采样时间,养殖区和非养殖区浮游动物群落组成结构相似性高,在 70% 以上;根据聚类分析,可初步分为 2 类,一类在月初,另一类在月中/下旬。11 月 3 日和 11 月 5 日非养殖区,11 月 3 日和 11 月 5 日养殖区的群落结构相似性超过 90%。11 月 7 日和 11 月 15 日养殖区和非养殖区的相似度都接近 90%,11 月 22 日也达到 86%,11 月 1 日和 12 月 1 日的非养殖区浮游动物群落结构相似性较低(图 5)。

2.2.3 浮游动物多样性和优势度的短期变化特征 原生动物的丰富度指数范围为 1.29~2.93,均匀度为 0.11~0.41,丰富度指数最小值出现在 11 月 22 日,中小型浮游动物多样性指数范围为 0.31~0.48,均匀度为 0.08~0.14,丰富度指数最小值出现在 12 月 1 日。可见黎安湾浮游动物群落优势种突出,均匀度不高。在养殖区和非养殖区的浮游动物群落中,其主要优势种的优势度随时间发生明显变化(表 2.3)。

2.3 浮游动物与生态因子相关性分析 采样期间黎安湾近岸海域的温度为 25.9~29.8℃,盐度为 31%~35%,透明度为 2.2~5.7 m, pH 为 7.91~8.38,溶解氧为 3.74~9.83 mg·L⁻¹,叶绿素 a 为 2.79~18.13 μg·L⁻¹,总磷为 0~0.8 mg·L⁻¹,亚硝酸盐氮为 0~0.11 mg·L⁻¹。采样期间没有监测到赤潮发生。通过 PRIMER v6 BEST 分析,发现温度、盐度和叶绿素 a 与浮游动物的相关系数最高,为 0.528;温度、盐度

和叶绿素 a 与浮游动物的相关系数为 0.513。

表 2 黎安湾养殖区浮游动物主要优势种及其优势度

Tab.2 The major dominant species with their dominance in the shellfish culture area in Li'an Lagoon

优势种 Dominant species	不同时间的优势度(日期) Dominance with time (date)						
	11 - 01	11 - 03	11 - 05	11 - 07	11 - 15	11 - 22	12 - 01
爱氏网纹虫(<i>Favella ehrenbergi</i>)	*	0. 047	0. 439	0. 084	0. 014	*	*
弯叶拟铃虫(<i>Tintinnopsis lobiancoi</i>)	0. 184	0. 186	0. 125	0. 026	*	*	0. 085
长形旋口虫(<i>Helicostomella longa</i>)	*	0. 238	0. 096	0. 046	0. 037	0. 048	*
长形狭盗虫(<i>Strombidinopsis elongata</i>)	0. 076	0. 022	0. 049		0. 027		
尖底拟急游虫(<i>Strombidinopsis acuminatum</i>)	*	*	*	*	*	*	*
五叶抱球虫(<i>Globigerina quinqueloba</i>)	0. 023	*	*	*	*	*	0. 374
短脚长腹剑水蚤(<i>Oithona brevicornis</i>)	0. 046	0. 111	0. 035	0. 225	0. 215	0. 170	0. 042
驼背隆哲水蚤(<i>Acrocalanus gibber</i>)	*	*	*	0. 067	0. 082	0. 091	*
长足阿玛猛水蚤(<i>Ameira longipes</i>)	*	*	*	0. 117	0. 046	0. 036	*
异体住囊虫(<i>Oikopleura (vexillaria) dioica</i>)	0. 180	0. 114	0. 034	0. 064	0. 114	*	0. 034
藤壶幼体(<i>Barnacle larva</i>)	0. 031	*	0. 051	0. 059	0. 123	0. 158	0. 026

表 3 黎安湾非养殖区养殖区浮游动物主要优势种及其优势度

Tab.3 The major dominant species with their dominance in the non - culture area in Li'an Lagoon

优势种 Dominant species	不同时间的优势度(日期) Dominance with time (date)						
	11 - 01	11 - 03	11 - 05	11 - 07	11 - 15	11 - 22	12 - 01
爱氏网纹虫(<i>Favella ehrenbergi</i>)	*	*	0. 565	0. 111	*	*	*
弯叶拟铃虫(<i>Tintinnopsis lobiancoi</i>)	0. 187	*	0. 062	0. 044	*	*	0. 095
长形旋口虫(<i>Helicostomella longa</i>)	*	0. 084	0. 112	0. 061	0. 051	0. 048	0. 054
长形狭盗虫(<i>Strombidinopsis elongata</i>)	*	0. 023	*	*	*	*	*
尖底拟急游虫(<i>Strombidinopsis acuminatum</i>)	0. 122	*	*	*	0. 031	*	*
五叶抱球虫(<i>Globigerina quinqueloba</i>)	0. 173	0. 257	*	*	*	*	0. 066
短脚长腹剑水蚤(<i>Oithona brevicornis</i>)	0. 025	0. 059	0. 072	0. 164	0. 082	0. 170	0. 066
锡兰矮隆水蚤(<i>Bestiolina zeylonica</i>)	*	0. 038	*	0. 040	0. 071	0. 091	0. 053
长足阿玛猛水蚤(<i>Ameira longipes</i>)	*	0. 036	0. 025	0. 084	0. 031	0. 036	*
异体住囊虫(<i>Oikopleura (vexillaria) dioica</i>)	0. 077	0. 066	0. 021	0. 132	0. 102	*	0. 177
藤壶幼体(<i>Barnacle larva</i>)	*	*	0. 046	0. 036	0. 148	0. 158	0. 078

3 讨 论

黎安湾中小型浮游动物群落总体呈现出多样性高、丰度高、均匀度较低的特点。黎安湾浮游动物主要种类与 1997—1999 年南海北部海域的调查结果^[16]相类似。其总丰度均值为 282. 15 ind · L⁻¹,高于南海北部海域(46. 78 ind · L⁻¹)^[16]。推测黎安湾潟湖浮游动物群落的这些特征与其水文地理环境有关,黎安湾作为半封闭性热带潟湖,口小腹大,受湾外的风浪、水团、海流等影响相对较小,海水交换速度较慢,半交换周期约为 20. 5 d^[2],湾内的水文环境相对较稳定,为很多种类的浮游动物提供了适宜的生长和繁殖条件。在黎安湾中小型浮游动物种类中浮游幼体数量较多,这与太平洋 Enewetak 环礁的浮游动物群落调查结果^[17]有相似之处。与非养殖区相比,养殖区域原生动物与桡足类占中小型浮游动物群落的百分比

相对较大,其原因可能与养殖区内长期大量养殖马氏珠母贝有关,贝类以一定大小的浮游动物为饵料,可能对该区的部分浮游动物造成一定的生存压力^[18]。同时,还出现了少量底栖类猛水蚤、钩虾、底栖剑水蚤,笔者推测是因为养殖区内有大量养殖贝类的网笼,部分底栖动物与营固着生活的污损动物以网笼为基底栖息在网笼表面^[19];在网笼附近采样时,扰动的水流导致网笼表面上的微型底栖动物脱离网笼而被采集上来。

在调查期间发现,黎安湾浮游动物丰度与潮汐特征表现出一定的相关性。11月1-7日小潮向大潮转换,7日为大潮,浮游动物丰度呈现持续增加;11月15日属于小潮,丰度低于11月7日的;12月1日属于小潮,丰度较11月22日有所增加,但平均值小于11月7日。浮游动物丰度在大潮时高于小潮,随潮汐出现的变化趋势与东海的奉贤海域^[20]观察的结果类似,但其相关机理和原因目前尚不清楚,还有待进一步的研究。

养殖区与非养殖区浮游动物丰度值在大部分时间相似,但11月5日和12月1日养殖区和非养殖区丰度呈显著性差异($P < 0.05$)。这与其他海域的研究结果类似,如2003年象牙港海域^[21]、2004年同安湾海域^[22]的调查也发现养殖区域浮游动物丰度与非养殖海域具有一定差异。推测可能是养殖区中为较密集吊笼式养殖贝类,贝类较活跃的滤食行为和对水流交换的影响造成了养殖区较低的浮游动物丰度。

相似性聚类分析浮游动物群落的结果显示,在相同采样时间,养殖区和非养殖区的浮游动物群落结构相似性较高,可见相比于浮游动物群落在一定尺度空间的差异,浮游动物群落结构随时间而呈现出更明显的变化。

在南海北部进行的浮游动物调查中,发现优势种主要是异尾宽水蚤(*Temora discaudata*)、普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)、微刺哲水蚤(*Canthocalanus arper*)、叉胸刺水蚤(*Centropages furcatus*)、亚强真哲水蚤(*Eucalanus subcrassus*)、精致真刺水蚤(*Euchata concinna*)、肥胖箭虫(*Sagitta enflata*)和中型莹虾(*Lucifer intermedius*)与本次调查的结果明显不同。本次调查发现优势种随时间变化明显,但目前尚缺乏系统研究,相关原因有待进一步探讨。

浮游动物群落结构和生物量在短期内出现明显变化,其原因是多方面的。浮游动物个体一般较小,游泳能力有限,易受到环境水文动力的影响。浮游动物昼夜垂直迁移也是影响丰度的重要因素,本实验采样时间为每天上午10:00,一定程度上避免了浮游动物垂直迁移对实验数据的干扰。

浮游动物群落与环境因子相关性的分析结果表明,群落结构主要与温度、盐度和叶绿素 a 相关。已有研究表明温度是影响浮游动物分布的主要因素之一^[23-24],在本次调查中温度变化范围为25.9~29.8℃,结合群落中主要物种的丰度变化,可以推测温度在此范围的波动可能主要影响了原生动物的丰度。同时,盐度也会影响浮游动物的种类和丰度^[24-25],但本次试验中若单一从盐度的变化,尚不能总结出其与浮游动物群落优势类变化的相关性规律。叶绿素 a 通常代表浮游植物的生物量,作为桡足类、浮游幼体等的主要食物来源,浮游植物的充足与否会影响浮游动物的生长和繁殖。王宇等也发现叶绿素 a 的浓度对桡足类分布密切相关,盐度、温度、透明度和深度对浮游动物的分布也有重要的影响^[26]。此外,原生动物作为桡足类的主要食物来源,在本次研究中也发现这两类浮游动物的丰度存在一定的负相关,推测桡足类对原生动物的捕食可能是影响群落结构的另一重要因素。这与曾在南黄海的研究结果类似,即浮游动物群落结构受到温度、盐度、溶解氧、水团等环境因素的影响,同时在食物链中受到上行控制和下行控制的共同作用^[27]。另外,2009年和2010年3-12月在莱州湾金城海域的调查也发现,浮游动物群落结构主要与水温 and 盐度相关性较大,而透明度、化学耗氧量、pH、叶绿素及总氮总磷等环境参数对浮游动物群落结构的影响较弱^[24]。

本次调查研究结果还表明,即使在较短时间内,浮游动物的丰度、组成等都呈现出较大差异。因此,在今后的调查研究中,要充分考虑到时间因素,不宜采用某一采样时间点的试验结果作为中长期的代表或参考数据。考虑到本次调查研究在时间和采样地点等方面的局限性,进行大尺度的时空系统调查将有

利于进一步深入揭示浮游动物群落结构与环境的关系。

致谢: 国家海洋局第三研究所对于浮游动物鉴定方面给予了指导; 海南大学分析测试中心对本实验给予了帮助, 一并致谢!

参考文献:

- [1] 顾志峰, 王清印, 方建光 等. 企鹅珍珠贝 (*Pteria penguin*) 在海南黎安港的生长特征 [J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(4): 423–429.
- [2] 蒋增杰, 方建光, 张继红 等. 海南黎安港纳潮量及海水交换规律研究 [J]. 海南大学学报(自然科学版), 2009, 27(3): 261–264.
- [3] Anjusha A, Jyothibabu R, Jagadeesan L, et al. Trophic efficiency of plankton food webs: Observations from the Gulf of Mannar and the Palk Bay, southeast coast of India [J]. Journal of Marine Systems, 2013, 115–116(4): 40–61.
- [4] 刘镇盛, 杜明敏, 章菁. 国际海洋浮游动物研究进展 [J]. 海洋学报, 2013, 35(4): 1–10.
- [5] 王晓. 南黄海浮游动物群落及环境因子对其分布影响的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [6] 方良. 大亚湾浮游动物生态特征及对环境变化的响应 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2009.
- [7] 张武昌. 浮游动物的昼夜垂直迁移 [J]. 海洋科学, 2000, 24(11): 18–21.
- [8] 刘顺会, 孙松, 韩博平. 浮游动物昼夜垂直迁移机理的主要假说及其研究进展 [J]. 生态科学, 2009, 27(6): 515–521.
- [9] 郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学 [M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [10] 束蕴芳, 韩茂森. 中国海洋浮游生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [11] 李洪武, 宋培学. 海洋浮游生物学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012.
- [12] 黄宗国, 林茂. 中国海洋生物图谱, 第一册 原核生物界 原生生物界 [M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- [13] 任先秋, 中国动物志 无脊椎动物 第四十三卷 甲壳动物亚门 端足目 钩虾亚目 (二) [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [14] 陈宇伟, 陈开宁, 胡耀辉. 浮游植物叶绿素 a 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨 [J]. 湖泊科学, 2006, 18(5): 550–552.
- [15] 周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用 [J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 58–64.
- [16] 李纯厚, 贾晓平, 蔡文贵. 南海北部浮游动物多样性研究 [J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 139–146.
- [17] Gerber R, Marshall N. Characterization of the suspended particulate organic matter and feeding by the lagoon zooplanktons at Enewetak Atoll [J]. Bulletin of Marine Science, 1982, 32: 290–300.
- [18] 邓邦平. 广东典型养殖海域浮游动物群落和水质特征 [D]. 广州: 暨南大学, 2009.
- [19] 曹善茂, 张丛尧, 张国范, 等. 海洋贝类养殖网笼污损生物类群的研究 [J]. 大连水产学院学报, 1998(4): 17–23.
- [20] 邓邦平, 陈东, 纪焕红, 等. 奉贤海域秋季浮游动物群落对潮汐运动的生态响应研究 [J]. 南方水产科学, 2011, 7(1): 69–72.
- [21] 王春生, 刘镇盛, 何德华. 象山港浮游动物生物量和丰度的季节变动 [J]. 水产学报, 2003, 27(6): 595–599.
- [22] 罗冬莲. 同安湾浮游动物数量的平面分布和季节变动 [J]. 福建水产, 2004(2): 14–20.
- [23] 金琼贝, 盛连喜, 张然. 温度对浮游动物群落的影响 [J]. 东北师大学报(自然科学版), 1991(4): 103–111.
- [24] 姜会超, 陈海刚, 宋秀凯, 等. 莱州湾金城海域浮游动物群落结构及与环境因子的关系 [J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7308–7319.
- [25] 孙柔鑫. 海南岛西北沿岸海域浮游动物的分布及群落特征 [D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2014.
- [26] 王宇, 房恩军, 郭彪, 等. 渤海湾天津海域春季浮游动物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. 海洋渔业, 2014, 36(4): 300–305.
- [27] 王晓. 南黄海浮游动物群落及环境因子对其分布影响的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

Short-term Temporal Variation of Zooplankton Communities during Dry Season in Lián Lagoon , Hainan

CHEN Xin^{1 2} , WANG Chaochao³ , ZHUO Wen² , LIU Qiuyu² , TANG Min^{1 2}

(1. State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea ;

2. College of Materials and Chemical Engineering , Hainan University ,

3. Institute of Tropical Agriculture and Forestry , Hainan University; Haikou , 570228 , China)

Abstract: Zooplankton communities in the shellfish-culture area and its adjacent non-culture area in Lián Lagoon in the south of Hainan Island were observed to analyze their short-term temporal variation in dry season , and were found to have high abundance , species richness , significant dominant species and low evenness. In the zooplankton communities were identified 104 species of zooplankton and 14 species of planktonic larvae , which were under 6 phyla and 76 genera. The total abundance ranged from 114 ind · L⁻¹ to 735 ind · L⁻¹ , including 58% – 77% protozoa , 18% – 30% copepods , and 1% – 13% tunicate. The dominant species were mainly *Acrocalanus gibber* , *Oithona brevicornis* , *Oikopleura (vexillaria) dioica* , *Harpacticoida* , *Favella ehrenbergi* , *Strombidinopsis acuminatum* , *Tintinnopsis lobiancoi* , *Globigerina quinqueloba* and *Helicostomella longa*. The dominant species and dominance of the zooplankton showed temporal variation. The temporal pattern of the zooplankton in the shellfish culture area was similar to that in the adjacent non-culture area , but higher average abundance was observed in the non-culture area in the early month of the observation. Analysis of relationship between zooplankton communities and environmental factors showed that temperature , salinity and chlorophyll a were highly correlated to the zooplankton communities. The results demonstrated that apparent variations occurred in the community composition and abundance of the zooplankton even within one month in Lián Lagoon. So it should be cautious to adopt the data from one single sampling time to represent long-term data in marine environmental research and monitoring.

Keywords: Zooplankton community; shellfish culture; Lián Lagoon; dry season