

• 研究报告 •

2013年夏威夷东南部海区表层砂壳纤毛虫的群落结构和分布特征

王超锋^{1,2,3} 李海波^{1,2,3} 张武昌^{1,2*} 赵丽^{1,2} 赵苑^{1,2} 肖天^{1,2}

1 (中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东青岛 266071)

2 (青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室, 山东青岛 266071)

3 (中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 鉴于东太平洋热带海区表层砂壳纤毛虫和其他微型浮游动物的群落结构资料几乎空白, 我们于2013年8月14日至9月18日在夏威夷东南部海区的23个站位采样调查了表层砂壳纤毛虫群落。23个站位共采集到砂壳纤毛虫22属36种, 均为透明壳种类。各站砂壳纤毛虫种丰富度范围为15–21种, 总丰度范围为4,730–23,693个/m³, 生物量范围为9.60–88.61 µg C/m³。本海区主要优势种为镯形囊坎虫(*Ascampbelliella armilla*)、斯廷细瓮虫(*Steenstrupiella steenstrupii*)、薄壳真铃虫(*Eutintinnus tenuis*)和纤弱细瓮虫(*Steenstrupiella gracilis*), 这4种主要优势种的口径范围不同。

关键词: 砂壳纤毛虫; 群落结构; 夏威夷; 丰度; 生物量; 优势种; 水平分布

Analyzing the tintinnid community structure and distribution in the surface waters southeast of Hawaii from a cruise in 2013

Chaofeng Wang^{1,2,3}, Haibo Li^{1,2,3}, Wuchang Zhang^{1,2*}, Li Zhao^{1,2}, Yuan Zhao^{1,2}, Tian Xiao^{1,2}

1 Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong 266071

2 Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, Shandong 266071

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: The species richness and abundance of tintinnids in the surface waters at 23 stations located in southeast of Hawaii were investigated between 14 August and 18 September 2013. A total of 36 species in 22 genera were identified. All tintinnid species had hyaline loricae. The species richness of tintinnids in each station ranged from 15 to 21. Tintinnid abundance and biomass ranged from 4,730 to 23,693 ind./m³, and from 9.60 to 88.61 µg C/m³, respectively. The top four dominant species were *Ascampbelliella armilla*, *Steenstrupiella steenstrupii*, *Eutintinnus tenuis* and *S. gracilis*. These top four dominant species were in different lorica oral diameter (LOD) size-classes.

Key words: Tintinnid; community structure; Hawaii; abundance; biomass; dominant species; horizontal distribution

砂壳纤毛虫是一类具壳的纤毛虫原生动, 属于纤毛门旋毛纲环毛亚纲砂壳目(Lynn, 2008)。根据壳上有无外来黏着颗粒, 可将其分为黏着壳(agglutinated)和透明壳(hyaline)两大类(Capriulo et al, 1982; 张武昌等, 2012)。壳的长度约20–300 µm, 口径为5–140 µm (张武昌等, 2012)。口径是砂壳纤

毛虫形态特征的重要参数, 砂壳纤毛虫所能摄食的最大及最适饵料粒径均与其口径大小密切相关(Dolan, 2010)。砂壳纤毛虫营浮游生活, 是水体微食物网中微型浮游动物的重要组成部分, 在水体生态系统能量流动和物质循环中占重要地位。

东太平洋热带海区是大洋水体, 表层水温常年

收稿日期: 2016-01-28; 接收日期: 2016-03-29

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11030202.2, XDA11030204)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wuchangzhang@qdio.ac.cn

较高(> 25°C), 水体层化明显, 在温跃层有明显的叶绿素最大层, 真光层营养盐浓度较低, 浮游植物个体微小, 微食物网在该海区生态系统中占据主要位置(Sohrin et al, 2010)。该海区表层砂壳纤毛虫和其他微型浮游动物的群落结构资料几乎空白。本文报道2013年8–9月夏威夷东南部海区砂壳纤毛虫种类组成和丰度, 以期为该海区浮游生态系统研究提供背景数据。

1 材料与方法

2013年8月14日至9月18日, 乘“海洋六号”考察船在夏威夷东南部海区对砂壳纤毛虫群落进行了取样调查, 调查范围为4–22° N, 140–160° W, 共设23个站位(图1), 站位水深均大于4,000 m。在各站位使用船载水泵取表层(水深4 m)水80 L置于水桶中, 用孔径10 μm的小网过滤所有海水, 过滤后网底管内的海水样品约100 mL用鲁格试剂(终浓度1%)固定。在实验室, 用量筒测量每个样品的体积(V_s , mL); 取16 mL于沉降杯中沉降24 h, 在Olympus IX71倒置显微镜下(100×或400×)计数砂壳纤毛虫(N) (李海波等, 2014)。依据壳的形状和尺寸, 参考分类学文献对砂壳纤毛虫进行种类鉴定(张武昌等, 2012)。砂壳纤毛虫的丰度(A , 个/ m^3)通过公式 $A = 1000 \times N \times (V_s/16)/80$ 计算。

利用公式 $Y = n_i / N_0 \times f_i$ 计算每个种的优劣势度。式中 Y 为优势度, n_i 为第 i 种在所有站位的个体数, N_0 为所有种总个体数, f_i 为第 i 种在所有站位出现的频率, 当 $Y > 0.02$ 时认为该种为优势种(徐兆礼和陈亚

瞿, 1989)。群落物种多样性采用Simpson指数分析, 利用公式 $\lambda = \sum P_i^2$ ($i = 1, 2, 3 \dots S$)计算每个站位的Simpson指数, 式中 P_i 为站位中第 i 个物种的个体数(N_i)与所有物种个体总数(N_0)的比值。 λ 值($0 < \lambda < 1$)越大, 表示群落的多样性程度越低(吴坤君等, 2005)。按Dolan等(2006)的方法, 我们以12 μm为最小起始点, 4 μm为标准将砂壳纤毛虫划分为不同的口径组, 原因如下: (1)砂壳纤毛虫的口径为其最适饵料粒径的4倍左右, 而4 μm的标准对应的最适饵料粒径的变化约为1 μm; (2)由于是在100×或400×的显微镜下进行拍照测量, 因此样品口径的测量会有 $\pm 2 \mu m$ 的误差(Dolan et al, 2006)。

利用Grapher 5.0对不同口径组砂壳纤毛虫种类数和丰度比例作图, 利用Primer 5.0对所有站位砂壳纤毛虫群落进行聚类分析, 根据聚类分析的结果对整个调查区域的砂壳纤毛虫进行群落划分(李海波等, 2014)。

2 结果

23个站位共采集到22属36种砂壳纤毛虫(表1)。其中种类数最多的属是真铃虫属(*Eutintinnus*), 共7种, 其次为条纹虫属(*Rhabdonella*, 4种)、号角虫属(*Salpingella*, 3种)。丰度最大的种为鐳形囊坎虫(*Ascampbelliella armilla*), 最大丰度达12,150个/ m^3 (10号站)。

不同站位砂壳纤毛虫种丰富度相差不大, 7、8、19号站砂壳纤毛虫种丰富度最高(均为21种), 17号站种丰富度最低(15种) (图2A)。各站砂壳纤毛虫总丰度(图2B)和总生物量(图2C)差别较大, 砂壳纤毛虫丰度在14号站最低(4,730个/ m^3), 6号站最高(23,693个/ m^3), 而生物量则在14号站最低(9.60 μg C/ m^3), 4号站最高(88.61 μg C/ m^3)。

对砂壳纤毛虫群落物种多样性进行Simpson指数分析, 发现21号站位的群落多样性最高($\lambda_{21} = 0.093$), 23号站位最低($\lambda_{23} = 0.450$)。

各种砂壳纤毛虫分布广泛性和丰度相关, 丰度较大的种类出现的站位数较多(图3)。优势种($Y > 0.02$)共有11种, 其中优势度最大的4个种为鐳形囊坎虫($Y = 0.30$)、斯廷细瓮虫(*Steenstrupiella steenstrupii*, $Y = 0.18$)、薄壳真铃虫(*Eutintinnus tenuis*, $Y = 0.06$)和纤弱细瓮虫(*S. gracilis*, $Y = 0.05$) (表1, 图4)。各站这4个主要优势种的总丰度占砂壳纤毛虫总丰

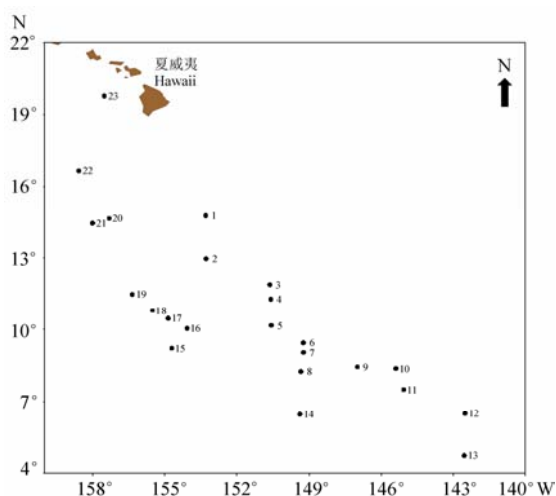


图1 夏威夷东南部海区调查站位图

Fig. 1 Sampling stations in southeast ocean of Hawaii

表1 夏威夷东南部海区表层砂壳纤毛虫物种名录及相关统计数据
Table 1 Species list and statistic data of tintinnid species in sampling stations in the surface waters of southeast ocean of Hawaii

物种 Species	优势度 Dominant index	出现站位数 Number of occurrence station	平均丰度 Average abundance (SD)	最大丰度 Maxmal abundance (ind./m ³)	丰度最大的站位 Station with maximum abundance
四线瓮状虫 <i>Amphorides quadrilineata</i>	0.0447	22	601 (550)	2,128	7
鐳形囊坎虫 <i>Ascampbelliella armilla</i>	0.2976	23	3,659 (3,246)	12,150	10
罐形囊坎虫 <i>A. urceolata</i>	0.0001	2	164 (156)	275	14
梯状网梯虫 <i>Climacocylis scalaroides</i>	0.0035	14	115 (111)	439	3
大洋铃鼻虫 <i>Codonaria oceanica</i>	0.0006	5	165 (135)	324	7
南方铃壳虫 <i>Codonellopsis meridionalis</i>	<0.0001	1	55 (—)	55	14
周齿螺纹虫 <i>Coxiella laciniosa</i>	0.0001	4	60 (22)	93	15
酒杯类管虫 <i>Dadayiella ganymedes</i>	0.0006	7	75 (42)	158	22
秀雅网袋虫 <i>Dictyocysta elegans</i>	0.0013	8	130 (108)	350	13
缢缩网膜虫 <i>Epiplocylis constricta</i>	0.0045	14	151 (132)	440	8
网状拟网膜虫 <i>Epiplocyloides reticulata</i>	0.0148	20	240 (205)	820	16
短突表纹虫 <i>Epirhabdonella mucronata</i>	0.0036	9	288 (192)	600	13
开孔真铃虫 <i>Eutintinnus apertus</i>	0.0362	23	445 (439)	1,658	6
修长真铃虫 <i>E. elongatus</i>	0.0003	3	183 (105)	300	9
佛氏真铃虫 <i>E. fraknoi</i>	0.0012	8	121 (68)	238	1
卢氏真铃虫 <i>E. lusus-undae</i>	0.005	14	166 (94)	341	3
太平洋真铃虫 <i>E. pacificus</i>	0.002	7	270 (165)	540	21
杆状真铃虫 <i>E. stramentus</i>	0.045	21	663 (465)	1,828	4
薄壳真铃虫 <i>E. tenuis</i>	0.0563	22	756 (722)	3,333	4
短尾孔铃虫 <i>Poroecus curtus</i>	0.0001	3	104 (51)	158	11
克氏原孔虫 <i>Proplectella claparedei</i>	0.0034	9	270 (455)	1450	9
卵形原孔虫 <i>P. ovata</i>	0.0235	17	529 (659)	2,900	9
缩短原纹虫 <i>Protorhabdonella curta</i>	<0.0001	1	165 (—)	165	8
变形条纹虫 <i>Rhabdonella amor</i>	0.0436	22	643 (628)	2,563	16
圆锥条纹虫 <i>R. conica</i>	0.0002	4	79 (32)	113	10
优雅条纹虫 <i>R. elegans</i>	0.0333	22	448 (317)	1,451	4
细小条纹虫 <i>R. parvula</i>	0.0105	18	212 (184)	675	21
隆起拟条纹虫 <i>Rhabdonellopsis apophysata</i>	0.0325	20	529 (576)	2,340	6
钝齿角口虫 <i>Salpingacantha crenulata</i>	<0.0001	2	49 (5)	53	11
尖锐号角虫 <i>Salpingella acuminata</i>	0.0001	4	54 (1)	55	8
福雷号角虫 <i>S. faurei</i>	0.0048	15	159 (103)	394	10
圆号角虫 <i>S. rotundata</i>	0.0001	2	114 (93)	180	21
纤弱细瓮虫 <i>Steenstrupiella gracilis</i>	0.0469	19	845 (862)	2,660	1
斯廷细瓮虫 <i>S. steenstrupii</i>	0.178	23	2,190 (1,562)	6,988	4
半球波膜虫 <i>Undella hemispherica</i>	0.002	11	106 (58)	231	7
勃兰氏拟平顶虫 <i>Xystonellopsis brandti</i>	<0.0001	1	95 (—)	95	1

度的比例是38.0–76.0%，平均为58.7%。第一优势种鐳形囊坎虫在各站的丰度占砂壳纤毛虫总丰度的比例是8.1–66.4%，平均为27.7%。鐳形囊坎虫和斯廷细瓮虫在所有站位都是丰度最大或第二的种，鐳形囊坎虫在16个站位是丰度最大的种，斯廷细瓮虫在7个站位是丰度最大的种。鐳形囊坎虫、斯廷细瓮虫和开孔真铃虫(*Eutintinnus apertus*)分布最广泛，在23个站位均有检出，其次为薄壳真铃虫、四线瓮状虫(*Amphorides quadrilineata*)、变形条纹虫(*Rhabdonella amor*)和优雅条纹虫(*R. elegans*)，均在22个站位检出。有3种砂壳纤毛虫只在1个站位检出，

分别是缩短原纹虫(*Protorhabdonella curta*)、勃兰氏拟平顶虫(*Xystonellopsis brandti*)和南方铃壳虫(*Codonellopsis meridionalis*)，其丰度均较低(分别为165个/m³、95个/m³、55个/m³)。

砂壳纤毛虫口径分布在12–68 μm范围内，以4 μm为标准共划分出12–16 μm、16–20 μm等11个口径组，其中口径>52 μm的砂壳纤毛虫种类数及丰度均较低，我们划为一个口径组(图5)。每个口径组的种类数为1–6种不等，种类数最多的是24–28 μm组(含斯廷细瓮虫、缩短原纹虫、卢氏真铃虫(*Eutintinnus lusus-undae*)、酒杯类管虫(*Dadayiella ganymedes*)、

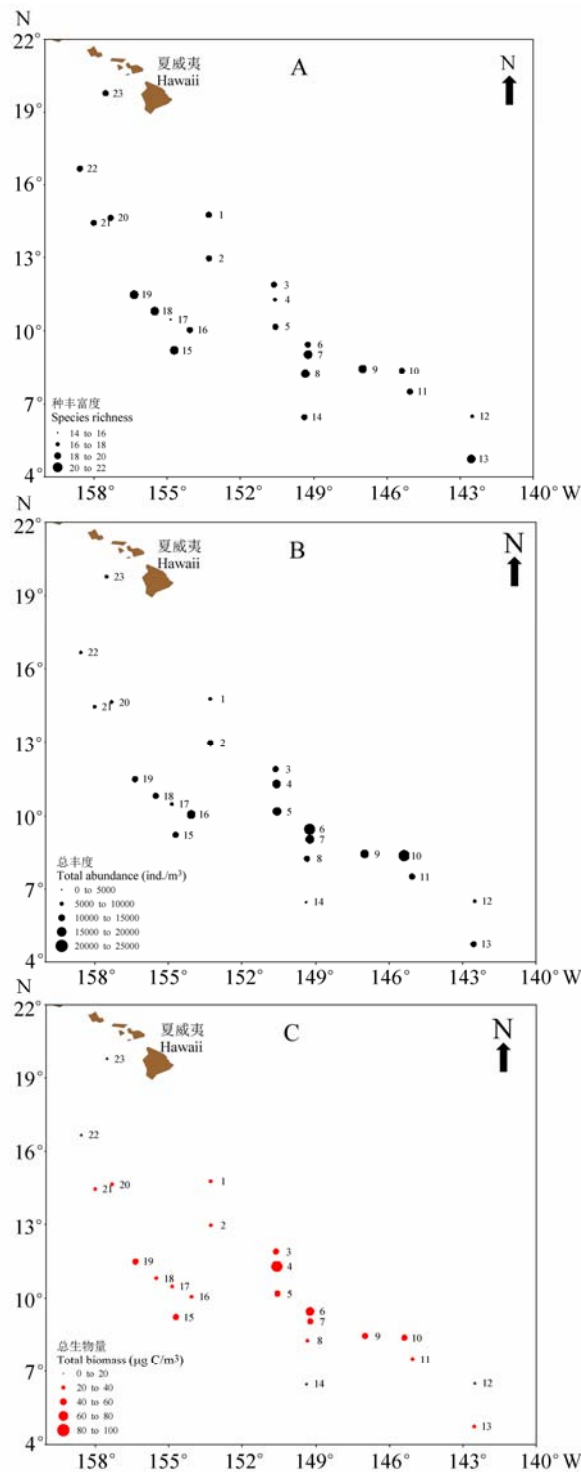


图2 夏威夷东南部海区各站砂壳纤毛虫的种丰富度(A)、总丰度(B)及总生物量(C)
Fig. 2 Distribution of tintinnid species richness (A), total abundance (B) and total biomass (C) in each station of south-east ocean of Hawaii

细小条纹虫(*Rhabdonella parvula*)、短尾孔铃虫(*Poroecus curtus*)). 每个口径组丰度范围在1,077–

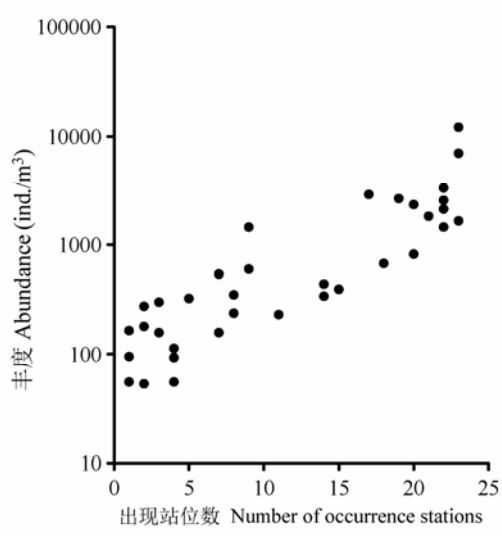


图3 夏威夷东南部海区砂壳纤毛虫不同种类出现站位数与最大丰度的关系
Fig. 3 Relationship between number of occurrence stations and maximal abundance of tintinnid species in southeast ocean of Hawaii

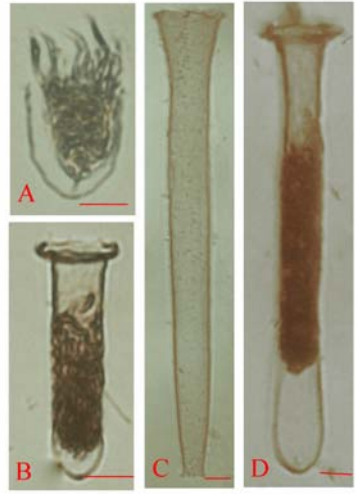


图4 夏威夷东南部海区砂壳纤毛虫优势度最大的4种优势种的显微图片: (A)鐳形囊坎虫; (B)纤弱细瓮虫; (C)薄壳真铃虫; (D)斯廷细瓮虫。比例尺为10 µm。
Fig. 4 Photomicrographs of the top four dominant tintinnid species in southeast ocean of Hawaii: (A) *Ascampbelliella armilla*; (B) *Steenstrupiella gracilis*; (C) *Eutintinnus tenuis*; (D) *S. steenstrupii*. Scale bar means 10 µm.

86,666个/m³, 丰度最大的口径组是20–24 µm组。4个优势种所在的口径组分别是20–24 µm组(鐳形囊坎虫)、24–28 µm组(斯廷细瓮虫)、28–32 µm组(纤弱细瓮虫)及32–36 µm组(薄壳真铃虫)。

聚类分析结果(图6)显示, 所有站位砂壳纤毛虫群落相似度均在60%以上。

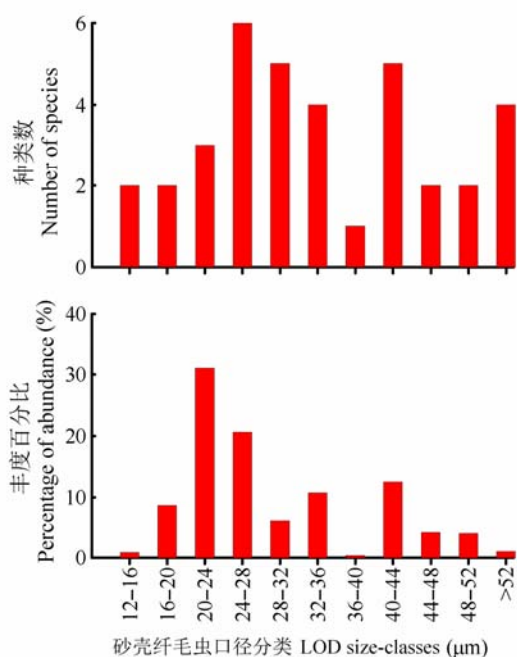


图5 夏威夷东南部海区各口径组砂壳纤毛虫种类数及丰度占总丰度的比例

Fig. 5 Number of species and percentage of abundance in total abundance of each lorica-oral-diameter (LOD) size-class of tintinnid species in southeast ocean of Hawaii

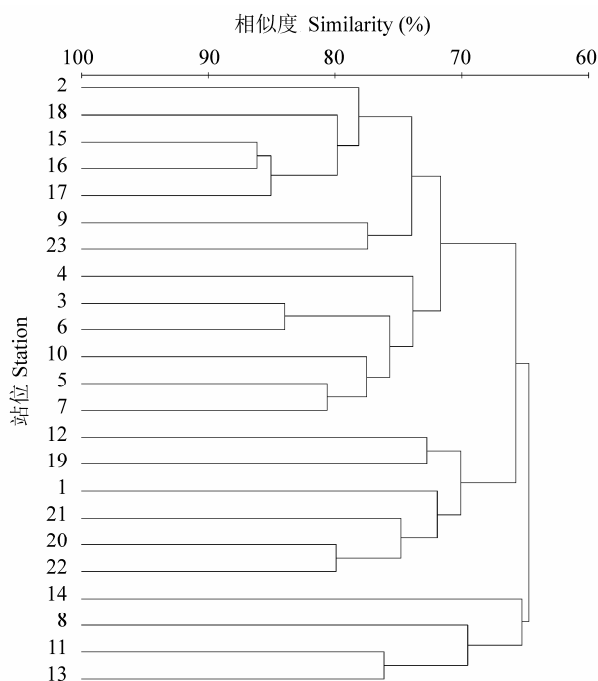


图6 夏威夷东南部海区砂壳纤毛虫群落聚类分析结果

Fig. 6 Cluster analysis of tintinnid communities in southeast ocean of Hawaii

3 讨论

国内砂壳纤毛虫群落结构研究中的样品主要有采水器采集(Zhang et al, 2001; 张武昌等, 2002)和拖网采集(赵楠等, 2007; 张武昌等, 2009)两种方法。采水器单次采集获得的样品量一般较少(通常为1–5 L), 虽然能采集到个体小的种类, 但常常采集不到丰度较低的种类, 适用于砂壳纤毛虫丰度较大的近岸海区; 垂直拖网的方法过滤大量(超过1 m^3)的水体, 采集的样品量较大, 但由于网孔径较大(通常为76 μm), 个体较小的种类会被漏掉。所以这两种方法在寡营养的大洋水体中都不适用。在大洋区采集砂壳纤毛虫主要使用采集大体积表层海水并用10 μm (Dolan et al, 2007; Sitran et al, 2009)、20 μm (Modigh, 2003)或35 μm (Thompson et al, 1999)孔径筛绢做成的小网过滤的方法。

目前在热带大洋区涉及到砂壳纤毛虫的研究较少(Modigh et al, 2003; Yang et al, 2004; Dolan et al, 2007; Gómcze, 2007)。本文的研究海区为热带东太平洋海区, 研究中共采集到36种砂壳纤毛虫, 各站的种丰富度范围为15–21种。这些数值低于Dolan等(2007)在南太平洋一个断面的报道(种丰富度为18–41种, 共有砂壳纤毛虫149种)。可能的原因有: (1)本文每站只采集表层砂壳纤毛虫样品, 而Dolan等(2007)则采集了6个水层的样品, 最深采样水深达300 m; (2)本文覆盖的区域较小, 只有18个纬度, 17个经度, 而Dolan等(2007)的断面跨越26个纬度(8°–34° S)、70个经度(72°–142° W)。但是Dolan等(2007)没有给出各站位的丰度资料。Modigh等(2003)报道印度洋8°37' N–32°13' S之间的一个断面有49种砂壳纤毛虫, 各站砂壳纤毛虫丰度范围为13,700–76,000个/ m^3 , 但是也没有给出各站的种丰富度。距离本文研究海区最近的研究为Gómcze (2007)在太平洋赤道(160° E–160° W)的一个断面的报道。该文发现在太平洋赤道海区最西部靠近夏威夷的站位砂壳纤毛虫丰度最高不超过40,000个/ m^3 , 在整个赤道断面上共检出砂壳纤毛虫43种, 其中开孔真铃虫、变形条纹虫和细瓮虫属(*Steenstrupiella*) (主要是纤弱细瓮虫)在每个站上层水体(80 m以内)都有出现, 为优势种。本文各站砂壳纤毛虫的丰度范围为4,730–23,693个/ m^3 , 稍低于Modigh等(2003)的结果, 但与Gómcze (2007)的结果类似, 且

本研究中优势度较大的种类也多是真铃虫属、条纹虫属和细瓮虫属的种类。

砂壳纤毛虫可分为黏着壳和透明壳两大类,黏着壳种类主要出现在近岸,在水深大于80 m的站位,黏着壳种类在砂壳纤毛虫丰度中的比例大大降低(Yu et al, 2015)。本研究中站位的水深都大于4,000 m,所有种类均为透明壳,结果符合上述分布规律。

大洋区砂壳纤毛虫在属的水平上可以分为北方型、暖水型、南方型和广布型4种生物地理分布类型(Dolan et al, 2012)。本文中的砂壳纤毛虫只有暖水型和广布型,其中暖水型属有11个(铃鼻虫属(*Codonaria*)、孔铃虫属(*Poroecus*)、网梯虫属(*Climacocylis*)、网膜虫属(*Epiplocylis*)、拟网膜虫属(*Epiplocyloides*)、囊坎虫属(*Ascampbelliella*)、条纹虫属、拟条纹虫属(*Rhabdonellopsis*)、拟平顶虫属(*Xystonellopsis*)、原孔虫属(*Proplectella*)、波膜虫属(*Undella*)),广布型属有9个(铃壳虫属(*Codonellopsis*)、网袋虫属(*Dictyocysta*)、原纹虫属(*Protorhabdonella*)、真铃虫属、角口虫属(*Salpingacantha*)、号角虫属、瓮状虫属(*Amphorides*)、类管虫属(*Dadayiella*)、细瓮虫属)。在各站中,暖水型属的丰度所占的比例为 $50.34 \pm 14.12\%$,广布型属的丰度所占的比例为 $48.31 \pm 13.62\%$ 。

本研究中各种砂壳纤毛虫的丰度和出现的站位数相关,丰度大的种,其出现的站位数也较多,少数丰度大的种的丰度在总丰度中占很大比例,这一现象与Dolan等(2007, 2009)的报道一致。Dolan等(2009)将在所有采样中都出现的种称为核心种(core species),其他为偶见种(occasional species)。本研究中鐳形囊坎虫、斯廷细瓮虫和开孔真铃虫在所有站位都有采到,因此为本研究群落的核心种。

口径是砂壳纤毛虫的一个重要特征,能很好地反映不同种类的摄食特点。砂壳纤毛虫所能摄食饵料的最大粒径和最适粒径分别为其口径的45%和25%(Dolan, 2010)。本研究中4种主要优势种的口径范围完全不同:鐳形囊坎虫为20–24 μm ,斯廷细瓮虫为24–28 μm ,纤弱细瓮虫为28–32 μm ,薄壳真铃虫为32–36 μm 。这说明这4种主要优势种摄食的饵料粒级不同,这样就避免了它们在饵料上的竞争,能够充分利用不同粒径的饵料。

参考文献

- Capriulo GM, Gold K, Okubo A (1982) Evolution of the lorica in tintinnids: a possible selective advantage. *Annales De L Institut Océanographique*, 58, 319–324.
- Dolan JR (2010) Morphology and ecology in tintinnid ciliates of the marine plankton: correlates of lorica dimensions. *Acta Protozoologica*, 49, 235–244.
- Dolan JR, Jacquet S, Torréton JP (2006) Comparing taxonomic and morphological biodiversity of tintinnids (planktonic ciliates) of New Caledonia. *Limnology and Oceanography*, 51, 950–958.
- Dolan JR, Montagnes DJ, Agatha S, Coats DW, Stoecker DK (2012) *The Biology and Ecology of Tintinnid Ciliates: Models for Marine Plankton*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Dolan JR, Ritchie ME, Ras J (2007) The “neutral” community structure of planktonic herbivores, tintinnid ciliates of the microzooplankton, across the SE tropical Pacific Ocean. *Biogeosciences Discussions*, 4, 561–593.
- Dolan JR, Ritchie ME, Tunin LA, Pizay MD (2009) Dynamics of core and occasional species in the marine plankton: tintinnid ciliates in the north-west Mediterranean Sea. *Journal of Biogeography*, 36, 887–895.
- Gómez F (2007) Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean. *Acta Oecologica*, 32, 188–202.
- Li HB, Zhang WC, Yu Y, Feng MP, Xiao T (2014) Tintinnid community in surface waters along a transect in Yellow Sea and East China Sea in winter. *Marine Sciences*, 38(8), 1–7. (in Chinese with English abstract) [李海波, 张武昌, 于莹, 丰美萍, 肖天 (2014) 冬季黄、东海一断面表层砂壳纤毛虫群落. *海洋科学*, 38(8), 1–7.]
- Lynn DH (2008) *The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature*. Springer, Berlin.
- Modigh M, Castaldo S, Saggiomo M, Santarpia I (2003) Distribution of tintinnid species from 42° N to 43° S through the Indian Ocean. *Hydrobiologia*, 503, 251–262.
- Sitran R, Bergamasco A, Decembrini F, Guglielmo L (2009) Microzooplankton (tintinnid ciliates) diversity: coastal community structure and driving mechanisms in the southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). *Journal of Plankton Research*, 31, 153–170.
- Sohrin R, Imazawa M, Fukuda H, Suzuki Y (2010) Full-depth profiles of prokaryotes, heterotrophic nanoflagellates, and ciliates along a transect from the equatorial to the subarctic central Pacific Ocean. *Deep Sea Research II*, 57, 1537–1550.
- Thompson GA, Alder VA, Boltovskoy D, Brandini F (1999) Abundance and biogeography of tintinnids (Ciliophora) and associated microzooplankton in the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Plankton Research*, 21, 1265–1298.
- Wu KJ, Gong PY, Sheng CF (2005) Estimation and expression of insect diversity parameters. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42, 338–340. (in Chinese with English abstract) [吴坤君, 龚佩瑜, 盛承发 (2005) 昆虫多样性参数的测定和表达. *昆虫知识*, 42, 338–340.]

- Xu ZL, Chen YQ (1989) Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea. *Journal of Ecology*, 8(4), 13–15. (in Chinese with English abstract) [徐兆礼, 陈亚瞿 (1989) 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与蛤鲭渔场的关系. *生态学杂志*, 8(4), 13–15.]
- Yang EJ, Choi JK, Hyun JH (2004) Distribution and structure of heterotrophic protist communities in the northeast equatorial Pacific Ocean. *Marine Biology*, 146, 1–15.
- Yu Y, Zhang WC, Feng MP, Zhao Y, Zhang CX, Zhou F, Xiao T (2015) Differences in the vertical distribution and response to freshwater discharge between aloricate ciliates and tintinnids in the East China Sea. *Journal of Marine System*, 154, 103–109.
- Zhao N, Zhang WC, Sun S, Song WB, Zhang YS, Li GM (2007) Spatial distribution of some large tintinnids (Protozoa, Ciliophora, Tintinnida) in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 38, 468–475. (in Chinese with English abstract) [赵楠, 张武昌, 孙松, 宋微波, 张永山, 李国民 (2007) 胶州湾中大型砂壳纤毛虫的水平分布. *海洋与湖沼*, 38, 468–475.]
- Zhang WC, Feng MP, Yu Y, Zhang CX, Xiao T (2012) *An Illustrated Guide to Contemporary Tintinnids in the World*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张武昌, 丰美萍, 于莹, 张翠霞, 肖天 (2012) 世界今生砂壳纤毛虫名录. 科学出版社, 北京.]
- Zhang WC, Wang K, Xiao T (2009) Horizontal distribution of large tintinnids in Yangtze River estuary in four cruises in 2005. *Marine Sciences*, 33(7), 6–9. (in Chinese with English abstract) [张武昌, 王克, 肖天 (2009) 长江口2005年4个航次中大型砂壳纤毛虫的水平分布. *海洋科学*, 33(7), 6–9.]
- Zhang WC, Wang R, Wang K (2002) Distribution of planktonic ciliates and copepod nauplii in the Laizhou Bay during a cruise in July 1997. *Marine Sciences*, 26(9), 20–21. (in Chinese with English abstract) [张武昌, 王荣, 王克 (2002) 1997年7月一航次中莱州湾自由生纤毛虫和桡足类幼虫的分布. *海洋科学*, 26(9), 20–21.]
- Zhang WC, Xiao T, Wang R (2001) Abundance and biomass of copepod nauplii and ciliates and herbivorous activity of microzooplankton in the East China Sea. *Plankton Biology and Ecology*, 48, 28–34.

(责任编辑: 徐奎栋 责任编辑: 黄祥忠)