

## 夏季南海西部砂壳纤毛虫水平分布\*

丰美萍<sup>1,2</sup>, 张武昌<sup>1</sup>, 于莹<sup>1,2</sup>, 肖天<sup>1</sup>, 孙军<sup>3</sup>

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. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 天津科技大学, 海洋科学与工程学院, 天津 300457

**摘要:** 于2007年8—9月在南海西部海域, 使用浮游生物Ⅲ型网垂直拖网采集海洋表层(200m以浅)浮游砂壳纤毛虫, 共发现7属12种, 其中优雅真铃虫(*Eutintinnus elegans*)和勃兰氏拟平顶虫(*Xystonellopsis brandti*)为南海新纪录种。砂壳纤毛虫总丰度为0—11622个·m<sup>-2</sup>, 平均(2218±2254)个·m<sup>-2</sup>。各站种丰富度范围为0—6种。优势种有5种: 尖形钟形虫(*Cyrtarocyclus acutiformis*)、宽口钟形虫(*Cyrtarocyclus eucecryphalus*)、费瓦拟平顶虫(*Xystonellopsis favata*)、南方类铃虫(*Codonellopsis meridionalis*)、圆锥条纹虫(*Rhabdonella conica*)。圆锥条纹虫聚集强度最高, 属于适盐、适温范围较窄的浮游动物; 尖形钟形虫与宽口钟形虫的聚集性最弱, 分布较为均匀。南海西部砂壳纤毛虫群落受南海流系、水团和季风的影响, 整体稳定性均较低。大洋铃鼻虫(*Codonaria oceanica*)、费瓦拟平顶虫、圆锥条纹虫与温度、盐度、深度等呈现相关性, 而总丰度、种丰富度与环境因子没有明显相关性。圆锥条纹虫与环境因子的相关性系数高。与南海北部相比, 南海西部砂壳纤毛虫类群与南海北部为同一区系, 但是种类组成中远洋种占主要部分, 丰度大大低于南海北部。圆锥条纹虫的优势度( $Y=9.4\%$ )、平均丰度[(1811±1636)个·m<sup>-2</sup>]和最大丰度值(4809个·m<sup>-2</sup>)最高, 且聚集强度高, 与温盐因子的相关性较好。

**关键词:** 砂壳纤毛虫; 丰度; 水平分布; 南海西部

中图分类号: P735.532; Q179.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2013)03-0086-07

## Horizontal distribution of tintinnids in the western South China Sea during summer 2007

FENG Mei-ping<sup>1,2</sup>, ZHANG Wu-chang<sup>1</sup>, YU Ying<sup>1,2</sup>, XIAO Tian<sup>1</sup>, SUN Jun<sup>3</sup>

1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Marine Science & Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China

**Abstract:** A total of 12 species of tintinnids in seven genera were found in the western South China Sea during summer 2007; in addition, two species (*Eutintinnus elegans* and *Xystonellopsis brandti*) were recorded for the first time in the South China Sea. The range of tintinnids abundance was from 0 to 11622 ind·m<sup>-2</sup> with an average of (2218±2254) ind·m<sup>-2</sup>, and the species richness was from 0 to 6. The five dominant species were *Cyrtarocyclus acutiformis*, *Cyrtarocyclus eucecryphalus*, *Xystonellopsis favata*, *Codonellopsis meridionalis*, and *Rhabdonella conica*. The dominance degree of *R. conica* was the highest, so was its aggregation intensity, which means that it was more closely related to environmental changes. *Cyrtarocyclus acutiformis* and *C. eucecryphalus* were given the lowest aggregation intensity and more evenly distributed spatially. Both species diversity and species evenness in the western South China Sea were low due to the effects of monsoon, ocean currents and different water masses, which indicates that tintinnids community were in an unstable state. Correlation analysis by SPSS (Statistical Product

收稿日期: 2012-03-20; 修订日期: 2012-05-03。卢冰、殷波编辑

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”)项目(2009CB421202); 海洋公益项目(201005015-1); 国家自然科学基金(41121064、40521003、40876085)

作者简介: 丰美萍(1988—), 女, 山东省临沂市人, 博士生, 主要从事海洋浮游动物生态学。

通信作者: 张武昌。E-mail: wuchangzhang@qdio.ac.cn

\*温盐数据来自厦门大学戴民汉教授, 特此致谢。

and Service Solutions) software revealed no significant correlation among tintinnids abundance, species abundance and environment factors. *Codonaria oceanica*, *X. favata* and *R. conica* showed significant relationships with environment factors. The community structure was characterized by more pelagic species and more unstable in the western South China Sea than in the northern South China Sea. *R. conica* was considered as biological indicator species of water masses for its high average abundance [(1811±1636) ind·m<sup>-2</sup>] and maximum abundance (4809 ind·m<sup>-2</sup>), and fine correlation with environmental factors.

**Key words:** tintinnids; abundance; horizontal distribution; western South China Sea

砂壳纤毛虫是单细胞原生动动物, 隶属于纤毛门(Ciliophora)、旋毛纲(Spirotrichea)、旋毛亚纲(Choreotrichia)、砂壳目(Tintinnida)。个体大小约为20—640μm, 具有蛋白质组分的花瓶状外壳, 主要摄食浮游硅藻和鞭毛虫, 是连接微食物环(nano-级浮游生物)和经典食物链(meso-级浮游动物)的重要中介<sup>[1]</sup>。砂壳纤毛虫的摄食对浮游植物的影响可能是其他大型生物对浮游植物摄食影响的几倍, 有时甚至消耗 100%的初级生产<sup>[2]</sup>。

南海是世界上最大的边缘海, 以热带海洋性气候为主要特征, 周年水温和盐度较高, 属于典型的季风气候区。南海共发现 94 种砂壳纤毛虫<sup>[3-10]</sup>, 以近岸种为主, 发现地点集中于南海北部沿岸地区。孙军等<sup>[11]</sup>曾报道过南海西部今生颗石藻的研究结果, 但南海西部其余生物学研究极少, 砂壳纤毛虫的研究资料基本属于空白, 本文对南海西部砂壳纤

毛虫的种类组成和数量分布进行报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与分析

于 2007 年 8 月 15 日到 9 月 8 日, 搭乘“东方红 II 号”科学考察船在南海西部进行调查, 调查范围为海南岛以南、越南以东、菲律宾以西的南海海区(11°—16°N, 109°30′—114°30′E, 水深 115—4300m), 共 50 个站位(图 1)。水深小于 200m 的只有站位 20a(115m), 1000m 以内的站位只有 3 个, 52%站位的水深在 1000—3000m, 42%站位的水深大于 3000m。参照历史资料及调查数据<sup>[12-13]</sup>, 调查区域主要受湄公河冲淡水、冷涡及南沙西部沿岸流的影响(图 1), 本研究依文献<sup>[12]</sup>划分区域: 冷涡区低温高盐, 冲淡水区盐度低, 温度范围较广。

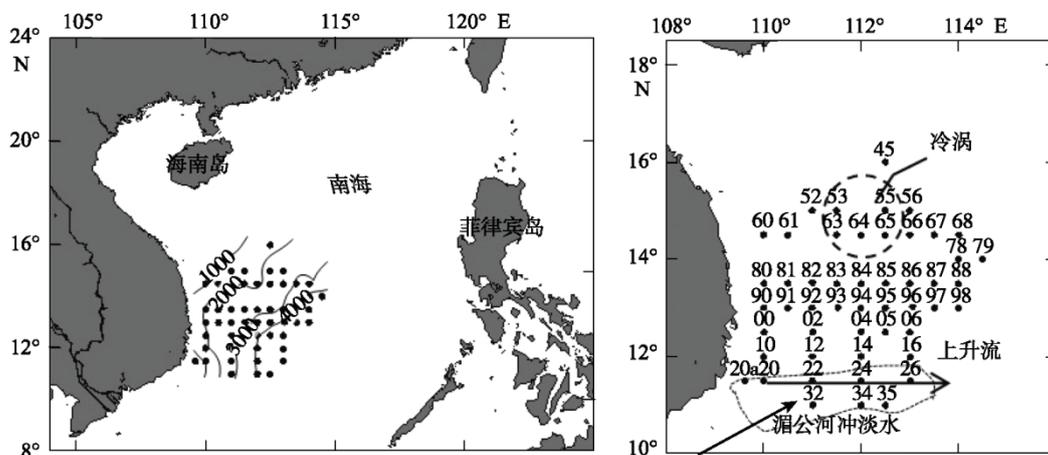


图 1 调查站位图(等深线单位: m)

区域划分参考相卫国<sup>[12]</sup>, 右图数字为站位号, 不规则虚线框示冲淡水区

Fig. 1 Locations of the sampling stations

SeaBird CTD 测定每站的温度和盐度的垂直剖面数据。使用浮游生物 III 型网(网口面积 0.1m<sup>2</sup>, 网孔直径 76μm)垂直拖网, 水深不足 200m 时, 由底层至表层拖网, 水深大于 200m 时, 从 200m 到表层拖网。所得样品用 5%福尔马林液固定后带回实验室。用 Utermöhl 倒置显微镜检法(Utermöhl inverted microscope technique)检查鉴定砂壳纤毛虫种类并计

数, 使用的显微镜为 Olympus IX51 (100× 或 400×)。砂壳纤毛虫的鉴定参照分类学文献进行<sup>[3,14-16]</sup>, 中文名称参考张武昌等<sup>[17]</sup>。

### 1.2 优势种、聚集强度及群落分析

(1) 优势度(Y)按照徐兆礼等<sup>[18]</sup>计算, 公式如下:

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

式中,  $n_i$  为第  $i$  种出现的个体数;  $N$  为出现的总个体数;  $f_i$  为第  $i$  种在各个站位出现的频率。  $Y > 2\%$ , 该种为优势种。

(2) 聚集强度依照徐兆礼等<sup>[18]</sup>计算(只计算优势种)。以该种在各站位的丰度( $X$ ), 计算出该种在各站位分布的平均值( $\bar{X}$ )和方差( $S^2$ ), 按下述公式计算各聚集强度指标: 丛生指标( $I$ )、聚块性指标( $\bar{X}^*/\bar{X}$ )及平均拥挤度( $\bar{X}^*$ )。

$$I = \frac{S^2}{\bar{X}} - 1 \quad (2)$$

$$\frac{\bar{X}^*}{\bar{X}} = \frac{S^2 - \bar{X} + \bar{X}^2}{\bar{X}^2} \quad (3)$$

$$\bar{X}^* = \frac{S^2 - \bar{X} + \bar{X}^2}{\bar{X}} \quad (4)$$

$I < 0$ , 为均匀分布;  $I = 0$ , 为随机分布;  $I > 0$ , 为聚集分布。  $\bar{X}^*/\bar{X} < 1$ , 为均匀分布;  $\bar{X}^*/\bar{X} = 1$ , 为随机分布;  $\bar{X}^*/\bar{X} > 1$ , 为聚集分布。  $\bar{X}^*$  越大, 聚集强度越大, 表示个体受其他个体的拥挤效应越大。

(3) 物种多样性指数采用香农-威纳指数( $H'$ , Shannon-Wiener index)<sup>[19]</sup>, 公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (5)$$

物种均匀度采用 Pielou 指数( $J$ )<sup>[20]</sup>, 公式如下:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (6)$$

式中,  $H'$  为物种多样性指数;  $S$  为物种种类数;  $P_i$  为第  $i$  种的个体数与总个体数的比值, 即  $n_i/N$ 。

#### (4) 相关性分析

用 SPSS 软件分析砂壳纤毛虫丰度与环境因子的相关性。

## 2 结果

### 2.1 表层温度和盐度

表层(5m, 图 2)水温为 26.76—29.78℃, 盐度为 28.86‰—34.04‰, 为高温、高盐的深海区域。调查区域中部温度较低、南部温度略高, 最高温度出现在最南端的站位 35(靠近南海反气旋式中心<sup>[13]</sup>), 最低温度出现在西南部的站位 20a。盐度分布较为均匀, 总体上北部略高于南部, 最高盐度出现在靠近中部偏北的站位 65, 最低盐度出现在西北部近岸的

站位 61, 与温度的高值区相对应。

### 2.2 砂壳纤毛虫种丰富度与丰度

本次调查共发现砂壳纤毛虫 7 属 12 种(表 1), 其中优雅真铃虫(*Eutintinnus elegans*)和勃兰氏拟平顶虫(*Xystonellopsis brandti*)为南海新纪录种。费瓦拟平顶虫(*Xystonellopsis favata*)出现频率最高(36%), 优雅条纹虫(*Rhabdonella elegans*)出现频率最低, 仅在 1 个站位上出现(2%)。

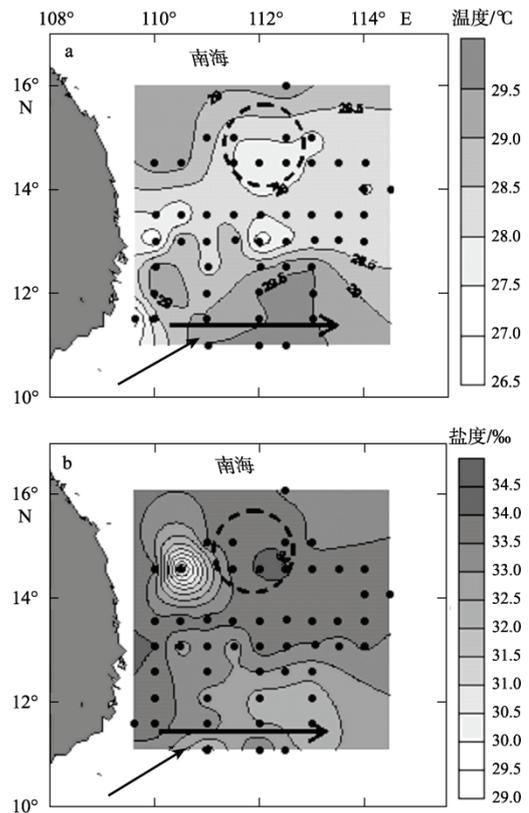


图 2 南海北部表层(5m)的温度(a)和盐度(b)分布图  
虚线框示意冷涡区, 单箭头示意上升流, 实心箭头示意湄公河冲淡水  
Fig. 2 Horizontal distribution of temperature (a) and salinity (b) at 5m depth in the western South China Sea

砂壳纤毛虫种丰富度范围为 0—6 种, 50 个站位中有 6 个站位(92、12、56、97、02、22)未检查到任何砂壳纤毛虫, 50%站位的种丰富度为 1—2, 20%站位的种丰富度为 3—4, 18%站位的种丰富度为 5—6。种丰富度分布趋势(图 3a)远洋高于近岸, 分布与温盐趋势较为一致, 冷涡处等低温高盐区种丰富度高。东北部出现种丰富度高值, 而中部、冲淡水区要低一些。

砂壳纤毛虫总丰度范围为 0—11622 个·m<sup>-2</sup>, 平均(2218±2254)个·m<sup>-2</sup>。圆锥条纹虫(*Rhabdonella conica*)平均丰度[(1811±1636)个·m<sup>-2</sup>]和最大丰度值(4809 个·m<sup>-2</sup>)最大, 优雅条纹虫(*Rhabdonella elegans*)

丰度最低(仅出现在 1 个站位, 丰度为 361 个·m<sup>-2</sup>)。砂壳纤毛虫总丰度分布趋势(图 3b)为远洋较多, 近岸稍低, 最大丰度出现在站位 98。东南部近菲律宾

区域出现丰度高值区, 而西北部丰度低, 调查区域中部偏西南区出现丰度极低区。冷涡处砂壳纤毛虫丰度稍高, 冲淡水区丰度变化范围很大。

表 1 砂壳纤毛虫种名录、出现频率、丰度范围及优势度  
Tab. 1 Occurrence, abundance and dominance of tintinnids

种名	中文名	丰度范围/(个·m <sup>-2</sup> )	平均丰度±标准差/(个·m <sup>-2</sup> )	出现频率/%	优势度/%
<i>Codonaria oceanica</i>	大洋铃鼻虫	0—540	473.29±49.68	16	0.55
<i>Codonellopsis meridionalis</i> *	南方类铃虫	0—4809	952.95±1095.88	34	4.97
<i>Codonellopsis parva</i>	微细类铃虫	0—1753	691.04±596.67	10	0.31
<i>Cyttarocyclus acutiformis</i> *	尖形钟形虫	0—2330	671.61±481.54	32	3.10
<i>Cyttarocyclus eucecryphalus</i> *	宽口钟形虫	0—2405	843.71±566.58	30	3.42
<i>Eutintinnus elegans</i> △	优雅真铃虫	0—540	503.39±42.86	8	0.15
<i>Rhabdonella conica</i> *	圆锥条纹虫	0—5372	1810.54±1635.74	34	9.44
<i>Rhabdonella elegans</i>	优雅条纹虫	0—361	360.89±0.00	2	0.01
<i>Tintinnopsis radix</i>	根状拟铃虫	0—876	569.22±271.50	6	0.09
<i>Tintinnopsis schotti</i>	斯氏拟铃虫	0—1486	786.34±379.14	20	1.42
<i>Xystonellopsis brandti</i> △	勃兰氏拟平顶虫	0—2805	980.76±825.17	18	1.43
<i>Xystonellopsis favata</i> *	费瓦拟平顶虫	0—1424	695.07±343.19	36	4.06

注: \*优势种; △新纪录种

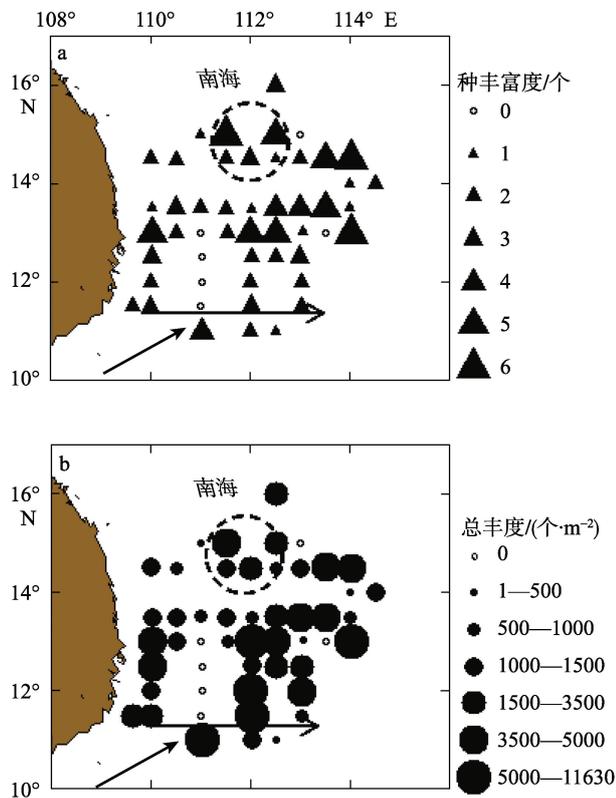


图 3 南海西部砂壳纤毛虫种丰富度(a)和丰度(b)的水平分布

虚线框示意冷涡区, 单箭头示意上升流, 实心箭头示意湄公河冲淡水  
Fig. 3 Horizontal distribution of species abundance (a) and tintinnid abundance (b) in the western South China Sea

### 2.3 优势种丰度的水平分布

优势种( $Y > 2\%$ )有 5 种(图 4, 表 1), 为尖形钟形虫 (*Cyttarocyclus acutiformis*)、宽口钟形虫 (*Cyttarocyclus eucecryphalus*)、费瓦拟平顶虫、南方

类铃虫(*Codonellopsis meridionalis*)、圆锥条纹虫, 其中圆锥条纹虫优势度( $Y = 9.4\%$ )最大。

圆锥条纹虫丰度分布(图 4a)为远洋高于近岸, 丰度高值区集中在调查区域东南部分、靠近菲律宾的区域, 站位水深在 3000m 以深。丰度分布有明显集中趋势, 偏向于较热的低纬度地区。

南方类铃虫丰度分布(图 4b)较为分散, 总体趋势是远洋高于近岸, 丰度高值出现在调查区域东北部的较高纬度区。其中唯一水深小于 200m 的调查站位(站位 20a)也发现较多南方类铃虫。

费瓦拟平顶虫丰度分布(图 4c)则是近岸高于远洋区, 最大丰度(1424 个·m<sup>-2</sup>)出现在靠近越南东海岸的站位 00, 其他丰度较高值则出现在调查区域北部。

宽口钟形虫丰度分布(图 4d)较均匀分散, 总体调查区域的北部丰度高于南部, 近岸的丰度也略低。最大丰度(2405 个·m<sup>-2</sup>)出现在站位 98。

尖形钟形虫的丰度分布(图 4e)高值集中于调查区域东北部, 最大丰度(2330 个·m<sup>-2</sup>)出现在站位 86, 沿岸也有分布, 调查区域东南部、近菲律宾的区域没有发现此种。

### 2.4 优势种的聚集强度

圆锥条纹虫的聚集强度(表 2)明显高于其他种, 丛生指标和平均拥挤度都很高, 去除平均密度的影响, 聚块性指标(0.9555)最高。调查区域南部温盐锋处(29℃以上, 盐度 33‰以下)是圆锥条纹虫的聚集区。

去除平均密度的影响, 南方类铃虫和费瓦拟平顶虫平均拥挤度也很高, 聚集性很强。南方类铃虫绝大多数高值均集中在温度 28—28.5℃、盐度 33‰

—33.5%的区域。费瓦拟平顶虫与盐度联系更为密切，多出现在等盐线 33‰左右。5 种优势种中，尖

形钟形虫与宽口钟形虫的聚集性最弱，分布较为均匀。

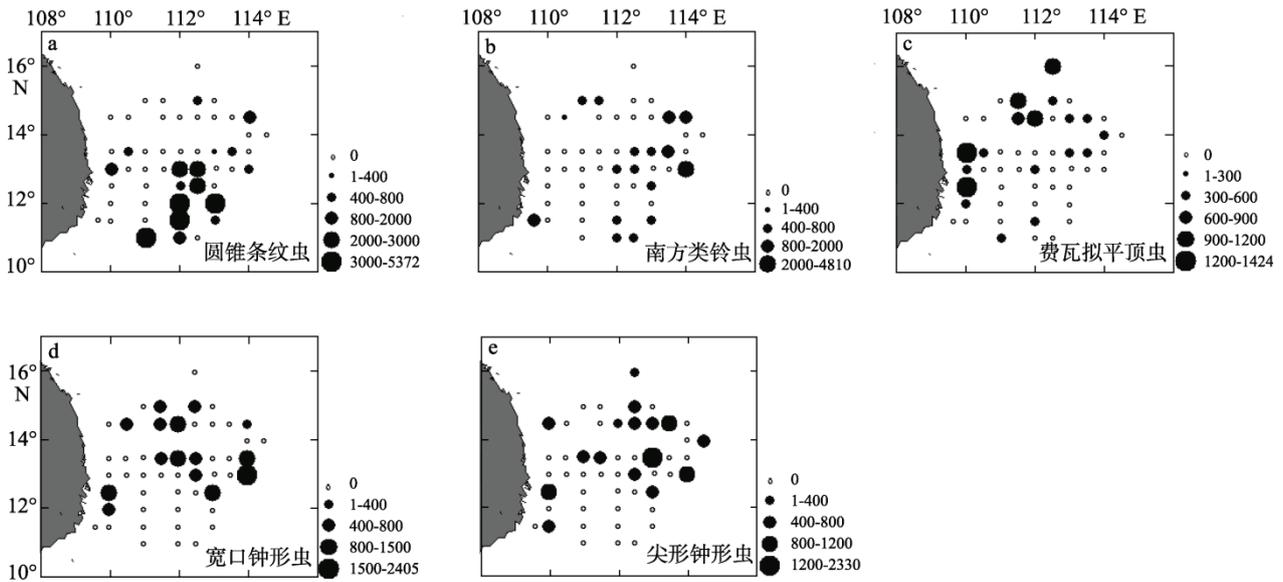


图 4 砂壳纤毛虫优势种丰度(个·m<sup>-2</sup>)的水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution of tintinnid abundance (ind·m<sup>-2</sup>) of dominant species in the western South China Sea

### 2.5 砂壳纤毛虫的群落特征

南海西部砂壳纤毛虫群落多样性与均匀度呈相似趋势(图 5)，整体值都处于较低水平，多样性范围

为 0—2.52，均匀度范围为 0—1，(种丰富度为 0 和 1 的站位均匀度都为 0)。调查区域的多样性高值区出现在冷涡区及东北部的一条狭长带(图 5a)，最高值出现在站位 53，冲淡水和上升流区的多样性较低。只有 8 个站位的多样性值大于等于 2，14 个站位的多样性值为 0。

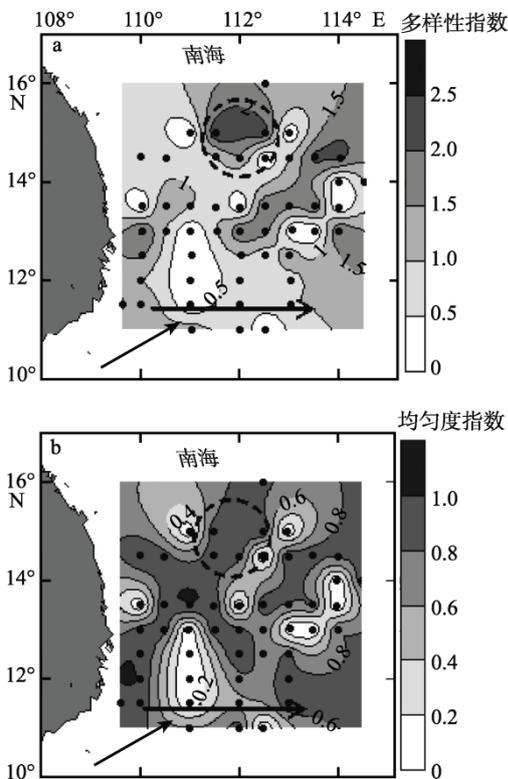


图 5 调查区域的多样性指数(a)与均匀度指数(b)

虚线框示意冷涡区，单箭头示意上升流，实心箭头示意涠江河冲淡水  
Fig. 5 Horizontal distribution of Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ , a) and Pielou evenness index ( $J$ , b) in the western South China Sea

### 2.6 砂壳纤毛虫与环境因子关系

砂壳纤毛虫总丰度、种丰富度与温度、盐度、深度没有明显相关性(表 3)。大洋铃鼻虫与温度呈负相关，费瓦拟平顶虫与深度呈负相关，圆锥条纹虫与温度、深度呈正相关，与盐度呈负相关。

## 3 讨论

### 3.1 砂壳纤毛虫的种类、丰度与分布

我国共发现砂壳纤毛虫海洋种 144 种<sup>[17]</sup>，在南海共发现 94 种<sup>[3-9]</sup>。除优雅真铃虫和勃兰氏拟平顶虫外，本次调查发现的砂壳纤毛虫均在南海北部出现过，所以南海西部与北部的砂壳纤毛虫类群应为同一区系。本文只发现 12 种砂壳纤毛虫，远远低于南海发现的种类数，主要原因有两个：1)南海的种类 94 种是各个季节加起来的，而本文只有一个航次的调查结果；2)本文调查海区虽然站位多，但是生境单一，都属于很深的(1000m 以内的站位仅有三个)远洋海水，所以发现的砂壳纤毛虫丰度和物种数都很低。

表 2 砂壳纤毛虫优势种聚集强度各项指标

Tab. 2 Aggregated intensity index of dominant species of tintinnids

聚集强度指标	南方类铃虫	尖形钟形虫	宽口钟形虫	圆锥条纹虫	费瓦拟平顶虫
丛生指标	8.7085	3.2246	3.9821	12.3894	7.3382
聚块性指标	0.9286	0.8272	0.8538	0.9555	0.9165
平均拥挤度	1.7715	1.6085	1.6465	1.7525	1.7350

表 3 砂壳纤毛虫与环境因子相关性

Tab. 3 Correlations between tintinnids and environmental parameters

	大洋铃鼻虫	费瓦拟平顶虫	圆锥条纹虫	总丰度	种丰富度
深度	-0.183	-0.348*	0.337*	0.078	-0.043
温度	-0.323*	-0.158	0.280*	-0.216	-0.216
盐度	0.077	0.263	-0.319*	0.057	0.140

注: \*表示  $p < 0.05$ ; 表格中的温度、盐度数值为采样海区表层水的温盐数值。

根据 Pierce 等<sup>[21]</sup>砂壳纤毛虫生物地理学的分类, 本研究发现的 7 个属中, 铃鼻虫属、钟形虫属、条纹虫属、拟平顶虫属为温水型(warm water), 类铃虫属、真铃虫属为广布型(cosmopolitan), 拟铃虫属为近岸浅海型(neritic)。南海西部近岸种远远少于南海北部。

南海秋季北部的优势种为斯氏拟铃虫与根状拟铃虫<sup>[6]</sup>; 夏季广东沿岸至海南岛东南海区, 砂壳纤毛虫优势种为长形旋口虫(*Helicostomella longa*)与根状拟铃虫<sup>[9]</sup>; 三亚珊瑚礁水域的砂壳纤毛虫优势种为布氏拟铃虫(*Tintinnopsis butschlii*)和小拟铃虫(*T. minuta*)<sup>[10]</sup>, 这六种优势种均为近岸浅海型。徐润林等<sup>[22]</sup>报道了南沙群岛海区东北部浮游原生动物优势种, 其中砂壳纤毛虫有: 筒壳虫(*Tintinnidium* sp.), 屈弗平顶虫(*Xystonella treforti*), 透明波膜虫(*Undella hyalina*), 开孔真铃虫(*Eutintinnus apertus*), 这几种属于温水型、广布型, 而本研究中优势种为温水型, 说明南海西部的砂壳纤毛虫分布类型与南沙群岛海区更接近, 与南海北部有较大差异。

南海秋季北部<sup>[6]</sup>用相同方法得到的砂壳纤毛虫丰度为 0—41768 个·m<sup>-2</sup>。本研究中砂壳纤毛虫丰度远远低于南海北部, 原因可能是南海西部水深属于大洋区, 初级生产力低, 从而导致砂壳纤毛虫丰度低。

### 3.2 砂壳纤毛虫聚集强度

南海西部发现的砂壳纤毛虫中, 圆锥条纹虫的聚集强度各项指标(表 2)高, 说明圆锥条纹虫属于适盐适温范围较窄的浮游动物。圆锥条纹虫的分布集中在调查区域南部高温低盐(29℃以上, 盐度 33‰以下)的水团, 可能作为此处水团的指示种。但是由于丰度数据是水体指标, 而温度盐度数据为表层数据, 所以本文仅是一个线索, 尚需进一步证据证明圆锥

条纹虫与这个水团的关系。

### 3.3 砂壳纤毛虫的群落特征

越南东岸 10°—15°N, 是南海中西部陆架最窄的海域, 夏季会形成一个强上升流海域<sup>[23]</sup>。而西南季风驱动海流输送及近岸水体辐散, 并有冷涡伴生, 这些使得南海西部海水运动极为复杂<sup>[13,24]</sup>。均匀度指数表征了群落的稳定性, 本研究发南海西部砂壳纤毛虫群落多样性较低, 整体稳定性均较差。冷涡处砂壳纤毛虫多样性高, 是因为冷涡的上升水体带动营养盐向表层输运, 引起大型浮游动物的高生物量<sup>[12,25]</sup>; 而冲淡水区群落多样性低, 可能是因为砂壳纤毛虫不适应混合水。

兰健等<sup>[26]</sup>报道同时间的南海西部表层水逆时针流动, 此次调查区域与之对比, 发现流速快的区域群落多样性低, 可能流速也影响砂壳纤毛虫群落稳定性。南海 9 月的西南季风从西南到东北方向移动, 也对群落稳定性有影响<sup>[13,24]</sup>。南海西部砂壳纤毛虫总丰度很低, 也是可能导致群落稳定性差的原因。

### 3.4 砂壳纤毛虫与环境因子关系

刘华雪等<sup>[5]</sup>在夏季南海北部发现纤毛虫种类和丰度从近岸向外海逐渐减少, 纤毛虫种类和丰度与温度呈负相关。春秋季节汕头沿岸<sup>[8]</sup>的砂壳纤毛虫丰度与盐度呈现负相关, 且春季丰富度低、丰度高, 秋季正好相反, 与其他环境因子没有明显的相关性。夏季南海北部砂壳纤毛虫丰度与温度相关性不明显, 并受上升流和冲淡水的影响<sup>[9]</sup>。其他海域, 美国纳拉干海湾<sup>[27]</sup>砂壳纤毛虫丰度与温度(6℃以上)、叶绿素 a 浓度呈正相关。本研究中几种砂壳纤毛虫的分布与环境因子呈现相关性, 而总丰度则没有呈现与环境因子的相关性, 可能是因为本研究中站位比较深, 表层温度不足以代表拖网水柱的平均温度。

## 参考文献

- [1] PIERCE R W, TURNER J T. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs[J]. *Rev Aquat Sci*, 1992, 6(2): 139–181.
- [2] CAPRIULO G M, CARPENTER E J. Abundance, species composition and feeding impact of tintinnid microzooplankton in Central Long-Island Sound[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1983, 10(3): 277–288.
- [3] NIE D S, CHENG P S. Tintinninea of the Hainan region[J]. *Contr Biol Lab Sci Soc China*, 1947, 16: 41–86.
- [4] 张翠霞, 张武昌, 肖天. 2007年10月南海北部浮游纤毛虫的丰度和生物量[J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 0867–0877.
- [5] 刘华雪, 谭焯辉, 黄良民, 等. 夏季南海北部纤毛虫群落组成及其水平分布[J]. *生态学报*, 2010, 30(9): 2340–2346.
- [6] 丰美萍, 张武昌, 张翠霞, 等. 南海北部大型砂壳纤毛虫的水平分布[J]. *热带海洋学报*, 2010, 29(3): 141–150.
- [7] SU QIANG, HUANG LIANGMIN, TAN YEHUI, et al. Preliminary study of microzooplankton grazing and community composition in the north of South China Sea in autumn[J]. *Mar Sci Bull*, 2007, 9(2): 43–53.
- [8] LIU HUAXUE, HUANG LIANGMIN, TAN YEHUI, et al. Seasonal variations in species composition and abundance of tintinnids in Shantou coastal water, China[J]. *Mar Sci Bull*, 2011, 13(1): 80–86.
- [9] LIU HUAXUE, HUANG LIANGMIN, TAN YEHUI, et al. Distribution and composition of tintinnids ciliates in the northern South China Sea during summer[J]. *Mar Sci Bull*, 2010, 12(2): 38–46.
- [10] 谭焯辉, 黄良民, 黄小平, 等. 三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2010, 30(24): 6835–6844.
- [11] 孙军, 安佰正, 戴民汉, 等. 夏季南海西部今生颗石藻[J]. *海洋与湖沼*, 2011, 42(2): 170–178.
- [12] 相卫国. 南海典型海区夏季中尺度物理过程对微型浮游动物类群组成及摄食的影响[D]. 厦门: 厦门大学, 2009: 1–82.
- [13] 方文东, 郭忠信, 黄羽庭. 南海南部海区的环流观测研究[J]. *科学通报*, 1997, 42(21): 2264–2271.
- [14] 徐奎栋, 洪华生, 宋微波, 等. 台湾海峡的砂壳纤毛虫研究(纤毛动物门: 砂壳亚目)[J]. *动物分类学报*, 2001, 26(4): 454–466.
- [15] KOFOID C A, CAMPBELL A S. A conspectus of the marine and fresh-water ciliata belonging to the suborder Tintinninea: with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific 1904-1905[M]. California: University of California Press, 1929: 1–403.
- [16] KOFOID C A, CAMPBELL A S. Reports on the scientific results of the expedition to the Eastern tropical Pacific, in charge to Alexander Agassiz, by US Fish commission steamer "Albatross", from October, 1904, to March, 1905, Lieut.-Commander LM Garrett, USN commanding. X X X VII. The Ciliata: The Tintinninea[M]. Harvard: Bulletin of the Museum of Comparative Zoology of Harvard College, 1939: 1–473.
- [17] 张武昌, 丰美萍, 于莹, 等. 世界今生砂壳纤毛虫名录[J]. *生物多样性*, 2011, 19(6): 655–660.
- [18] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲱鳕渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13–15.
- [19] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana IL: University of Illinois Press, 1949: 1–114.
- [20] PIELOU E C. An introduction to mathematical ecology[M]. New York: Wiley-Interscience, 1969: 1–286.
- [21] PIERCE R W, TURNER J T. Global biogeography of marine tintinnids[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 94: 11–26.
- [22] 徐润林, 白庆笙, 吴灶和, 等. 南沙群岛海区浮游原生动物的生态学研究 I: 群落生物多样性[M]//中国科学院南沙综合科学考察队. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I. 北京: 海洋出版社, 1994: 21–31.
- [23] 柴扉, 薛惠洁, 侍茂崇. 南海升降流区域分布及形成机制分析[G]. 中国海洋学文集. 北京: 海洋出版社, 2001, 13: 117–127.
- [24] 薛惠洁, 柴扉, 徐丹亚, 等. 南海海流数值计算[G]. 中国海洋学文集—南海海流数值计算及中尺度特征研究. 北京: 海洋出版社, 2001, 13: 1–13.
- [25] FILEMAN E, BURKILL P. The herbivorous impact of microzooplankton during two short-term Lagrangian experiments off the NW coast of Galicia in summer 1998[J]. *Prog Oceanogr*, 2001, 51(2-4): 361–383.
- [26] 兰健, 洪洁莉, 李丕学. 南海西部夏季冷涡的季节变化特征[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(11): 1145–1152.
- [27] VERITY P G. Abundance, community composition, size distribution, and production rates of tintinnids in Narragansett Bay, Rhode Island[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, 1987, 24(5): 671–690.