

南海北部大型砂壳纤毛虫的水平分布*

丰美萍^{1,2,3}, 张武昌¹, 张翠霞^{1,3}, 肖天¹, 李超伦¹

(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. 国家海洋局海洋生态系统与生物地球化学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 2007年10月在南海北部设置13个断面(82个站位), 调查大型网采(孔径76 μm)砂壳纤毛虫的丰度、生物量和种丰富度。调查发现砂壳纤毛虫7属, 22种, 南海新纪录7种; 其中 *Tintinnopsis*(拟铃虫)最多, 共10种, *Codonellopsis*(类铃虫)次之, 共6种。砂壳纤毛虫总丰度为0—41 768 ind·m⁻³, 平均为(2 851±7 244) ind·m⁻³, 生物量为0—609.92 μg·m⁻³(以碳含量计算, 下同), 平均为(42.75±110.80) μg·m⁻³; 76.83%站位的砂壳纤毛虫丰度低于1 000 ind·m⁻³。砂壳纤毛虫生物量与丰度分布的总体趋势为近岸高且站位间差异大, 远洋低且站位间差异小。所采集种类集中分布于雷州半岛以东的近岸浅水区, 此区水文状况为高温低盐, 高叶绿素 a 浓度(Chl a); 不同种的分布规律不同, 多呈斑块状分布。各站位种的丰富度为0—12, 水平分布呈现近岸高远岸低的规律; 砂壳纤毛虫的丰度、生物量以及种丰富度与 Chl a 浓度均为正相关关系; *Tintinnopsis schotti* 和 *Tintinnopsis radix* 为优势种。

关键词: 砂壳纤毛虫; 丰度; 生物量; 水平分布; 南海北部

中图分类号: P735.12 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)03-0141-10

Horizontal distribution of large tintinnids in the northern South China Sea

FENG Mei-ping^{1,2,3}, ZHANG Wu-chang^{1,2}, ZHANG Cui-xia^{1,3}, XIAO Tian¹, LI Chao-lun¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012, China; 3. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: Abundance, biomass and species richness of large tintinnids (>76 μm) in October 2007 were investigated over 82 stations along 13 sections in the northern South China Sea. Totally 22 species in seven genera were found, in which *Tintinnopsis* spp. was dominant in abundance. Seven species were recorded for the first time in the South China Sea. The abundance of tintinnids ranged from 0 to 41 768 ind·m⁻³, with an average of (2 851±7 244) ind·m⁻³; their biomass ranged from 0 to 609.92 μg·m⁻³ (calculated by carbon content, the same below), with an average of (42.75±110.80) μg·m⁻³. Compared with those in the pelagic ocean, the abundance and biomass of tintinnids were higher in shallow coastal waters in the east of the Leizhou Peninsula, where the water was warmer, less salty and with higher Chl a. Most species distributed in patches. The species richness of all stations was from 0 to 12. The abundance, biomass and species richness of tintinnids were closely related to Chl a concentration. *Tintinnopsis schotti* and *Tintinnopsis radix* were dominant species.

Key words: tintinnids; abundance; biomass; horizontal distribution; northern South China Sea

纤毛虫原生动物是连接微食物环和经典食物链的重要中介^[1], 其摄食作用对浮游植物的影响可能

是其他大型生物对浮游植物摄食作用影响的几倍, 有时甚至消耗 100%的初级生产^[2]。砂壳纤毛虫作为

收稿日期: 2009-09-10; 修订日期: 2009-11-16。蔡卓平编辑

基金项目: 国家自然科学基金(90711006, 40876085); 中国高技术研究发展计划“863”计划项目(2006AA09Z179); 国家海洋局海洋生态系统与海洋生物地球化学重点实验室开放基金(LMEB200803)

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

通信作者: 张武昌。wuchangzhang@ms.qdio.ac.cn

* 感谢尹宝树提供温度和盐度资料。

纤毛虫原生动物的常见类群,是微食物环物质循环和能量流动中起主导作用的因子之一^[3]。砂壳纤毛虫主要分布在海洋,尤其是热带、亚热带的大洋^[4]。迄今为止,我国对于砂壳纤毛虫的研究主要限于上个世纪末和本世纪初的工作^[3]。20世纪30—50年代,我国科学家曾对我国部分海区及淡水的砂壳纤毛虫进行过为数不多的分类学研究;20世纪30—40年代有部分学者等对中国海区及淡水的砂壳纤毛虫和无壳纤毛虫进行了分类,尹光德在胶州湾鉴定了34种砂壳纤毛虫^[5]。中国海区迄今已经报道的砂壳纤毛虫有133种^[6]。

我国海区砂壳纤毛虫丰度、时空分布等方面的数据迄今仍十分缺乏^[7-8],南海海域纤毛虫生态的基础资料急需填补。本次研究通过在南海北部设置13个断面(82个站位),调查报道垂直拖网样品中砂壳纤毛虫的丰度及其水平分布。

1 材料与方法

于2007年10月8—28日利用“科学一号”科学调查船在南海北部(17°24'57"—21°25'28"N, 109°28'52"—113°13'1"E)进行调查,共计13条断面,82个站位(图1)。

在各站位用温盐深剖面仪(SBE25-02)测定调查海域垂直断面的温度和盐度。测定叶绿素 a(Chl a)浓度时使用 ROSETTE 采水器采水;水深小于15m的站位,在表层、5m和10m 3个水层采样;水深小于30m的站位,在表层、10m和底层3个水层采样;大于30m的站位,在表层、10m、30m和底层4个水层采样。每层取500mL水样,GF/F滤膜过滤,滤膜置于黑暗-20℃保存,带回实验室用90%丙酮在黑暗-20℃下萃取24h后,用Turner II荧光光度计测量Chl a浓度。

采用浮游生物III型网(网口面积0.1m²,网孔直径76μm)由底至表(水深大于200m时,为200m到表)垂直拖网取样;样品用5%福尔马林液固定后带回实验室,于Nikon体视显微镜下观察、计数,在Olympus光学显微镜下100倍或200倍鉴定、拍照;砂壳纤毛虫的鉴定参照分类学文献^[3,5,9-10]进行。

测量砂壳纤毛虫各种类的尺寸,按照最相近的几何形状(柱体、球体、半球体和椎体)计算各种类的体积。砂壳纤毛虫肉体的体积约是壳体体积的1/3,将纤毛虫的体积乘以系数0.19pg·μm⁻³^[11]得出生物量(以碳含量计算,下同)。采用徐兆礼等的计算方法计算各种优势度^[12],得出优势种。

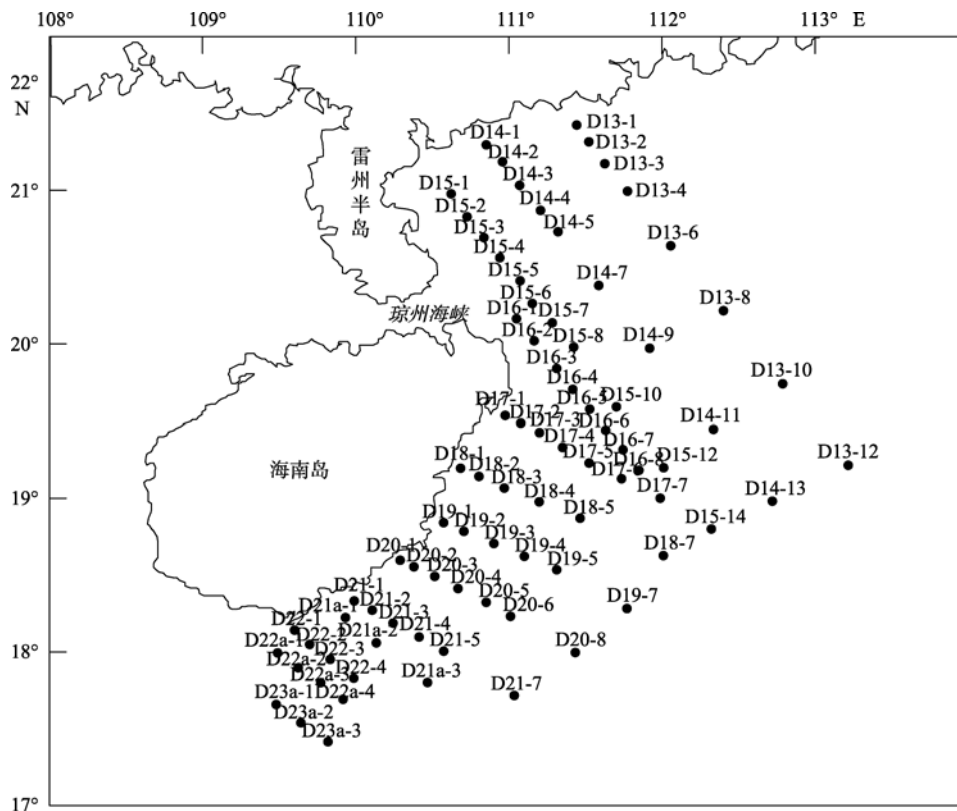


图1 调查站位图

Fig. 1 Locations of the sampling stations

2 结果

2.1 理化因子

海区表层水温为 26.41—28.43 , 盐度为 29.42—33.9, Chl a 浓度为 0.04—8.52 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; 10m 水层温度为 26.60—28.47 , 盐度为 29.59—33.90,

Chl a 浓度为 0.02—8.01 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; 30m 水层温度为 26.69—28.51 , 盐度为 33.41—33.92, Chl a 浓度为 0.04—1.62 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。水体温度、盐度有明显垂直分布现象, 在水深大于 60m 时很明显, 底层平均水温 22.9 , 底层盐度平均为 33.94, 高于中层和表层的盐度; Chl a 浓度垂直分布不明显(图 2)。

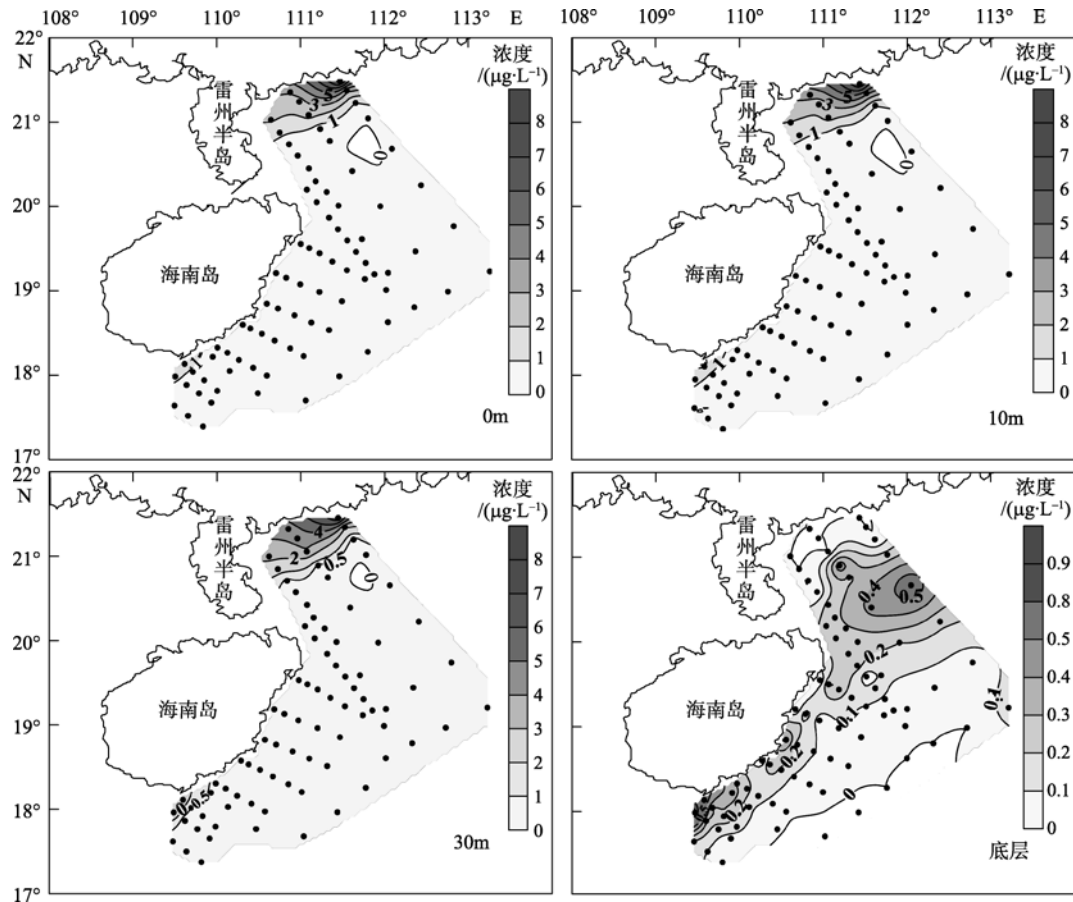


图 2 2007 年 10 月南海北部 Chl a 浓度($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)的水平分布
图中黑圆点表示站点,编号请见图 1,下同

Fig. 2 Horizontal distribution of Chl a concentration($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) in the northern South China Sea in October 2007

2.2 种丰富度

调查共发现砂壳纤毛虫 7 属, 22 种(表 1, 图 3), 其中 *Tintinnopsis*(拟铃虫)种类数最多, 共 10 种, *Codonellopsis*(类铃虫)次之, 为 6 种。 *Cyttarocyliis*, *Epiploicyloides*, *Leprotintinnus*, *Xystonellopsis* 和 *Wangiella* 属中均只有几个种偶然出现。采集到的砂壳纤毛虫体长多在 40—200 μm 之间, 属于小型浮游动物的范围。其中 D16-7 站位(19°18'55"N, 111°44'45"E)的样品未观察到任何砂壳纤毛虫, D15-2 站位发现了巴拿马网纹虫 *Favella panamensis*, 由于仅出现在一个样品中, 且丰度很低, 故未作统计。

对比已有的南海砂壳纤毛虫资料^[9,13], 此次调查有 7 个种为南海海区新记录(表 1)。采用徐兆礼等

计算优势度的方法^[12], 计算得出 *Tintinnopsis schotti* 和 *T. radix* 两种的优势度分别为 31.27%和 8.94%, 为整个调查海域的优势种(图 5)。以最大丰度低于 100 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ 的种为偶见种^[6]判断, 有 6 种偶见种(表 1)。

不同站点的砂壳纤毛虫种类组成不同, 种丰富度沿岸高而远洋低, 范围为 0—12 种。9.76%站位的种类数低于 2 种, 52.43%站位的种类数低于 4 种, 90.24%站位的种类数低于或等于 6 种。

2.3 丰度和生物量

所调查海区的砂壳纤毛虫丰度为 0—41 768 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ (图 4), 平均为(2 851±7 244) $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$, 丰度最大值和最小值分别出现在 D13-3、D16-7 站。82 个站位中, 有 76.83%站位的砂壳纤毛虫总丰度低于 1 000 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$

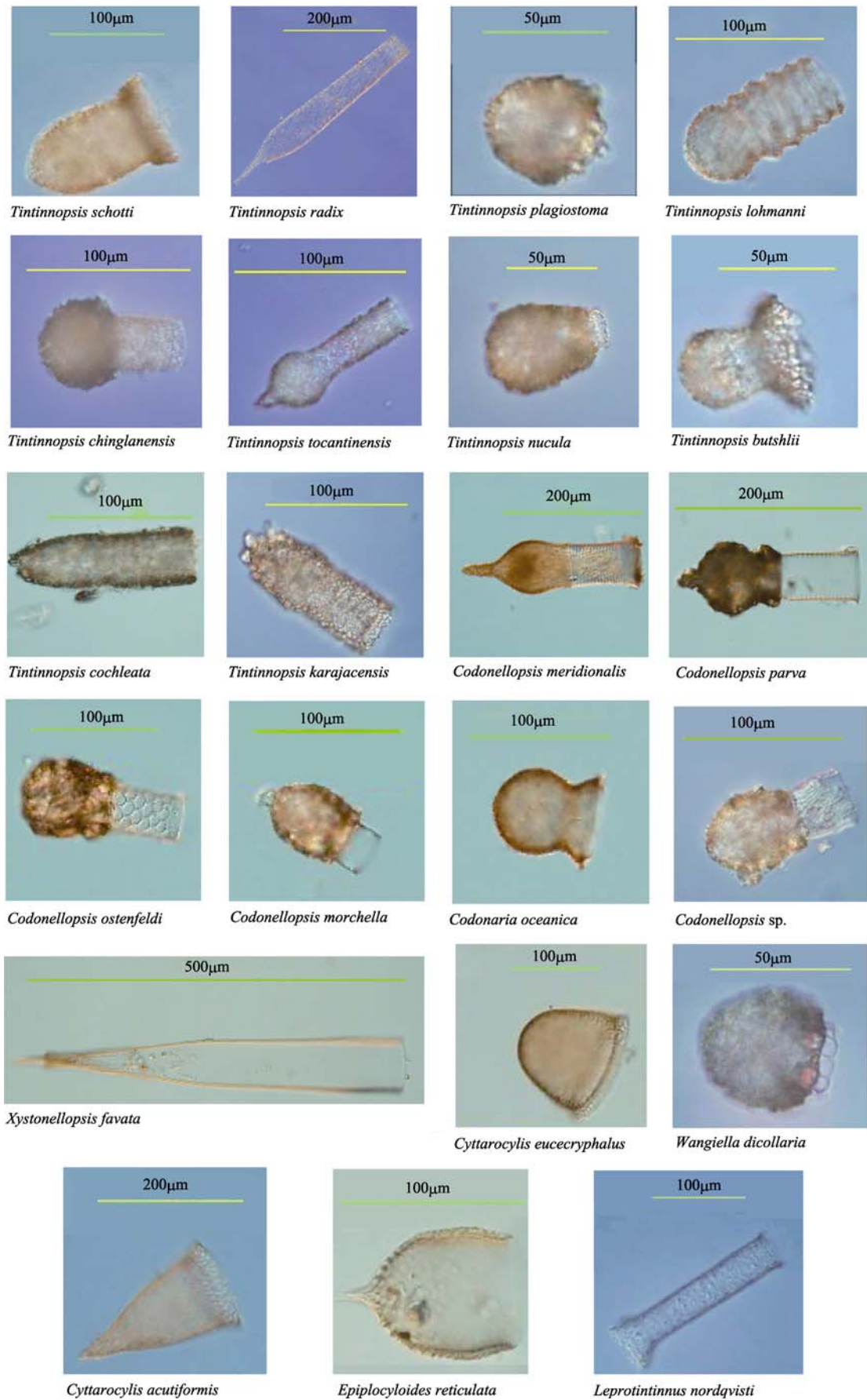


图 3 砂壳纤毛虫的显微形态
Fig. 3 Microstructure of tintinnids

表 1 砂壳纤毛虫种名录、出现站位及其最大丰度
Tab. 1 Occurrence and maximum abundance of tintinnids

种名	出现站 位数/个	最大丰度 /(ind·m ⁻³)	最大丰度所 在站位
<i>Tintinnopsis schotti</i> [#]	55	34 031	D13-3
<i>Tintinnopsis radix</i> [#]	49	16 715	D13-2
<i>Tintinnopsis plagiostoma</i> [*]	8	611	D14-3
<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	3	800	D14-2
<i>Tintinnopsis chinglanensis</i>	6	867	D15-1
<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>	6	1 650	D14-2
<i>Tintinnopsis nucula</i>	8	7 015	D14-1
<i>Tintinnopsis butshlii</i>	11	1 231	D14-1
<i>Tintinnopsis cochleata</i>	10	5 913	D15-1
<i>Tintinnopsis karajacensis</i>	8	290	D13-2
<i>Codonellopsis meridionalis</i> [*]	8	11	D13-10
<i>Codonellopsis parva</i>	31	925	D13-8
<i>Codonellopsis ostenfeldi</i>	14	1 118	D13-3
<i>Codonellopsis morchella</i>	40	459	D13-4
<i>Codonaria oceanica</i> ^{**}	11	22	D17-3
<i>Codonellopsis sp.</i> ^{**}	2	15	D22a-3
<i>Cyttarocyclus acutiformis</i> [*]	9	15	D20-8
<i>Cyttarocyclus eucecryphalus</i> [*]	11	9	D20-8
<i>Wangiella dicollaria</i> [*]	3	1 600	D14-2
<i>Xystonellopsis favata</i> [*]	13	7	D19-7
<i>Epiplocyloides reticulata</i>	3	131	D13-4
<i>Leprotintinnus nordqvisti</i>	8	1 075	D13-1

*新纪录种, #优势种, *偶见种

丰度水平分布总趋势为近岸海域高, 雷州半岛以东的近岸浅水区丰度较高, 且呈斑块分布, 此区水文特征为高温低盐, 高 Chl a, 而远洋海域总丰度较低, 且站位间变化趋势平缓。

所调查海区的砂壳纤毛虫生物量为 0—609.92μg·m⁻³, 平均为 (42.75±110.80)μg·m⁻³, 生物

量的水平分布与其丰度水平分布一致(图 4)。砂壳纤毛虫生物量在北部海域多于南部, 且差异显著。海南岛以东海域的砂壳纤毛虫生物量为 0—25μg·m⁻³, 而雷州半岛以东海区的生物量为 25—600μg·m⁻³。最大的生物量出现在 D13-2 站位, 其砂壳纤毛虫总生物量为 609.92μg·m⁻³。

2.4 各种丰度的水平分布

不同种的砂壳纤毛虫分布不同, 但同属的种类分布类似, 因此分属叙述。

2.4.1 *Tintinnopsis* 属(图 5, 图 6)

Tintinnopsis schotti 分布最广泛(出现频率 67.07%), 平均丰度、最大丰度最大, 最大丰度出现在 D13-3(21°10'22"N, 111°37'37"E), 为 34 031ind·m⁻³; 其分布以近岸为主, 且集中于雷州半岛以东的调查海域, 远洋较低。

Tintinnopsis radix 为次优势种, 分布次广泛(出现频率 59.76%), 最大丰度第二, 最大生物量 (532μg·m⁻³) 和平均生物量最大; 最大丰度 (16 715ind·m⁻³) 出现在站位 D13-2(21°18'56"N, 111°31'23"E); *Tintinnopsis radix* 的分布也集中于近岸, 其分布高峰区相对于 *T. schotti* 更靠近陆地, 在远洋区分布较少。

Tintinnopsis nucula 的分布集中于雷州半岛以东、琼东沿岸的上升流区, 而其他海域丰度很低且分布均匀。*Tintinnopsis cochleata* 的分布为沿岸浅海区丰度高, 远岸海域低, 海南岛以东的沿岸海域也有分布。*Tintinnopsis plagiostoma* 丰度高值区为雷州半岛以东的近岸浅海区, 海南岛沿岸几块区域也有分布, 另外在 13、14、15 断面上离岸较远的几个点也有分布, 总体上呈很明显的斑块分布(图 6)。

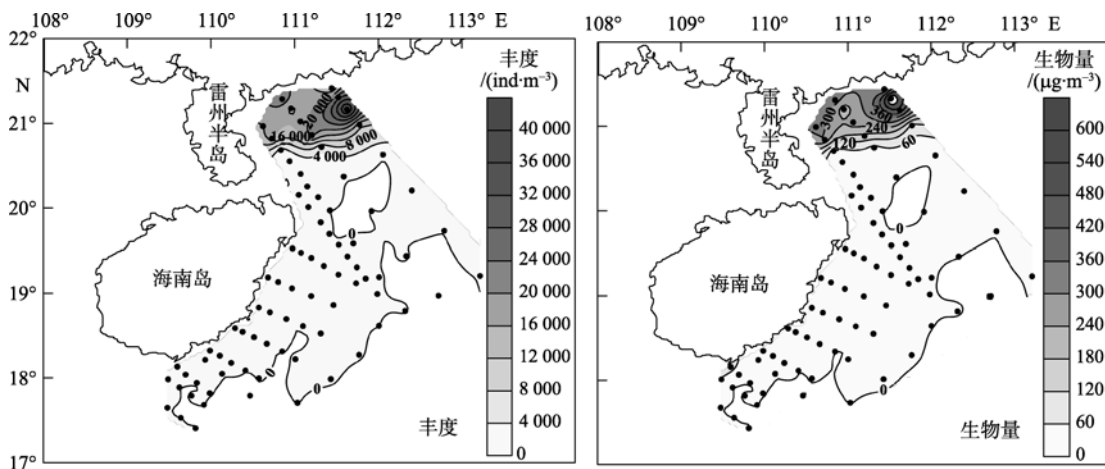


图 4 2007 年 10 月南海北部砂壳纤毛虫丰度(ind·m⁻³)和生物量(μg·m⁻³)的水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution of tintinnid abundance (ind·m⁻³) and biomass (μg·m⁻³) in the northern South China Sea in October 2007

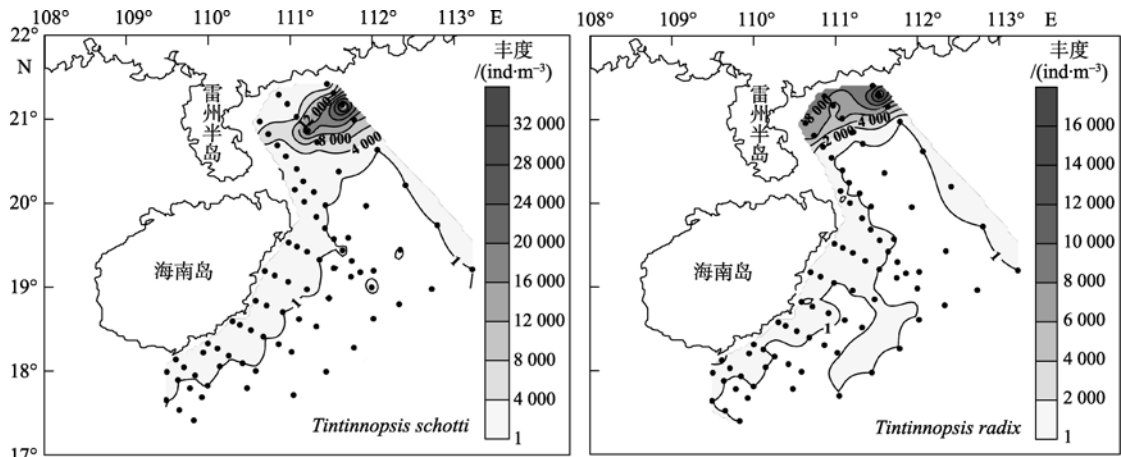


图 5 优势种丰度(ind·m⁻³)的水平分布
Fig. 5 Horizontal distribution of abundance (ind·m⁻³) of dominant species

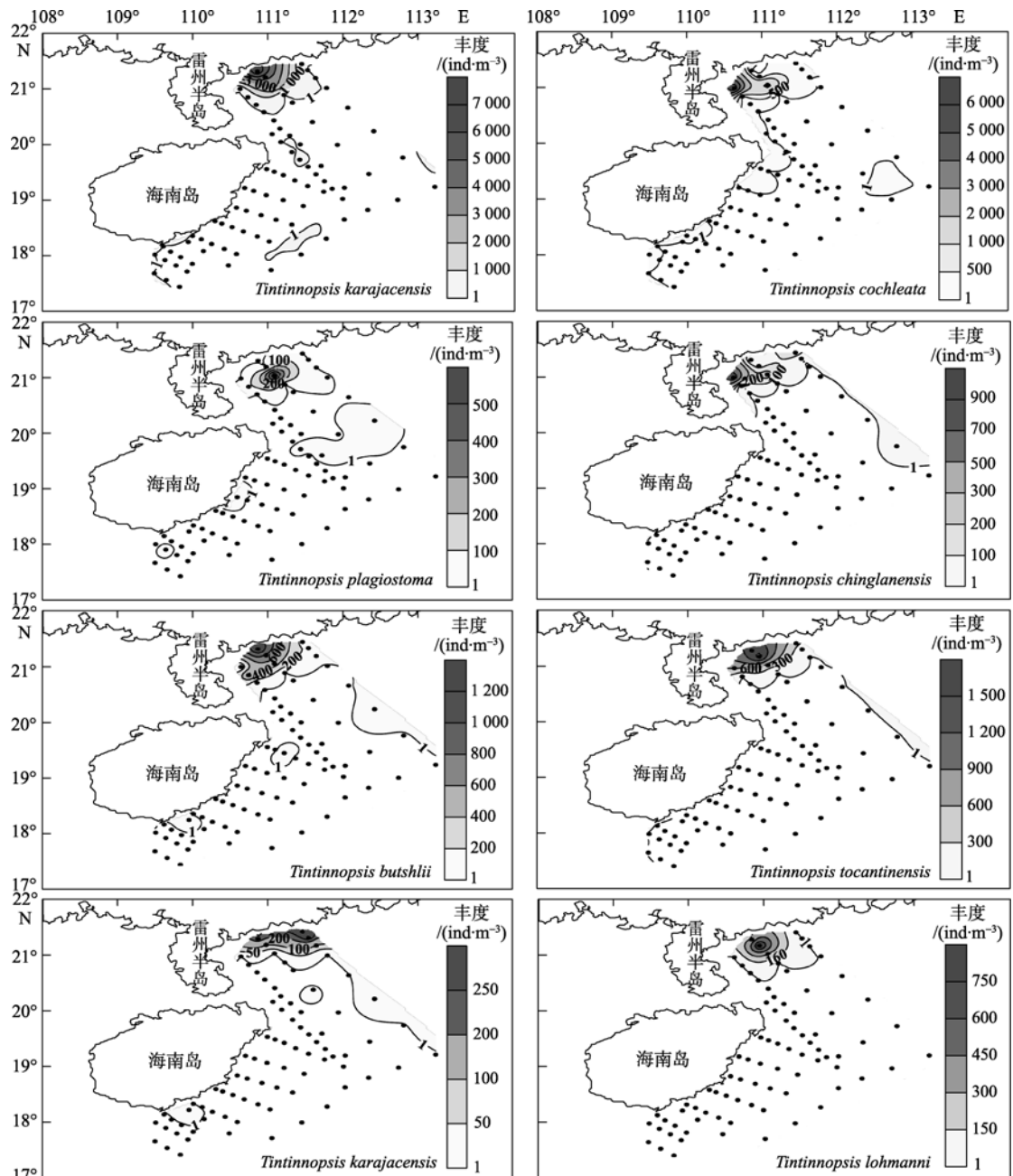


图 6 *Tintinnopsis* 属丰度(ind·m⁻³)的水平分布
Fig. 6 Horizontal distribution of abundance (ind·m⁻³) of genus *Tintinnopsis*

Tintinnopsis chinglanensis, *T. butshlii*, *T. Karajacensis*, *T. tocantinensis* 的分布类似, 均集中于雷州半岛以东的近岸区, 而在海南岛以东的分布差异较大。*Tintinnopsis lohmanni* 全部集中于雷州半岛以东的调查海区(图 6)。

2.4.2 *Codonellopsis* 属(图 7)

Codonellopsis parva 在所有站位的出现频率为 37.80%, 最大丰度出现在 D13-8 ($925\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$); 分布集中于远岸海域, 靠近海南岛东南部附近几个站点丰度较大。*Codonellopsis morchella* 总体偏向于近岸分布,

外海有些站位观察不到, 分布虽广, 但丰度很小。

Codonellopsis ostenfeldi 的优势度较大, 分布广泛, 丰度也较大; 近岸丰度大, 远岸丰度低, 高值集中于雷州半岛以东海域。*Codonellopsis meridionalis* 集中于远洋海区, 调查海区最东部也有丰度较高值, 近岸丰度较低甚至为零。*Codonellopsis oceanica* 远岸近岸均有分布, 但浅海近岸处较低, 总体丰度不大; *Codonellopsis* sp. 共出现在两个站点 D22a-3 ($15\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)和 D23a-1($5\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)。后 3 种 *Codonellopsis* 属的优势度接近于 0。

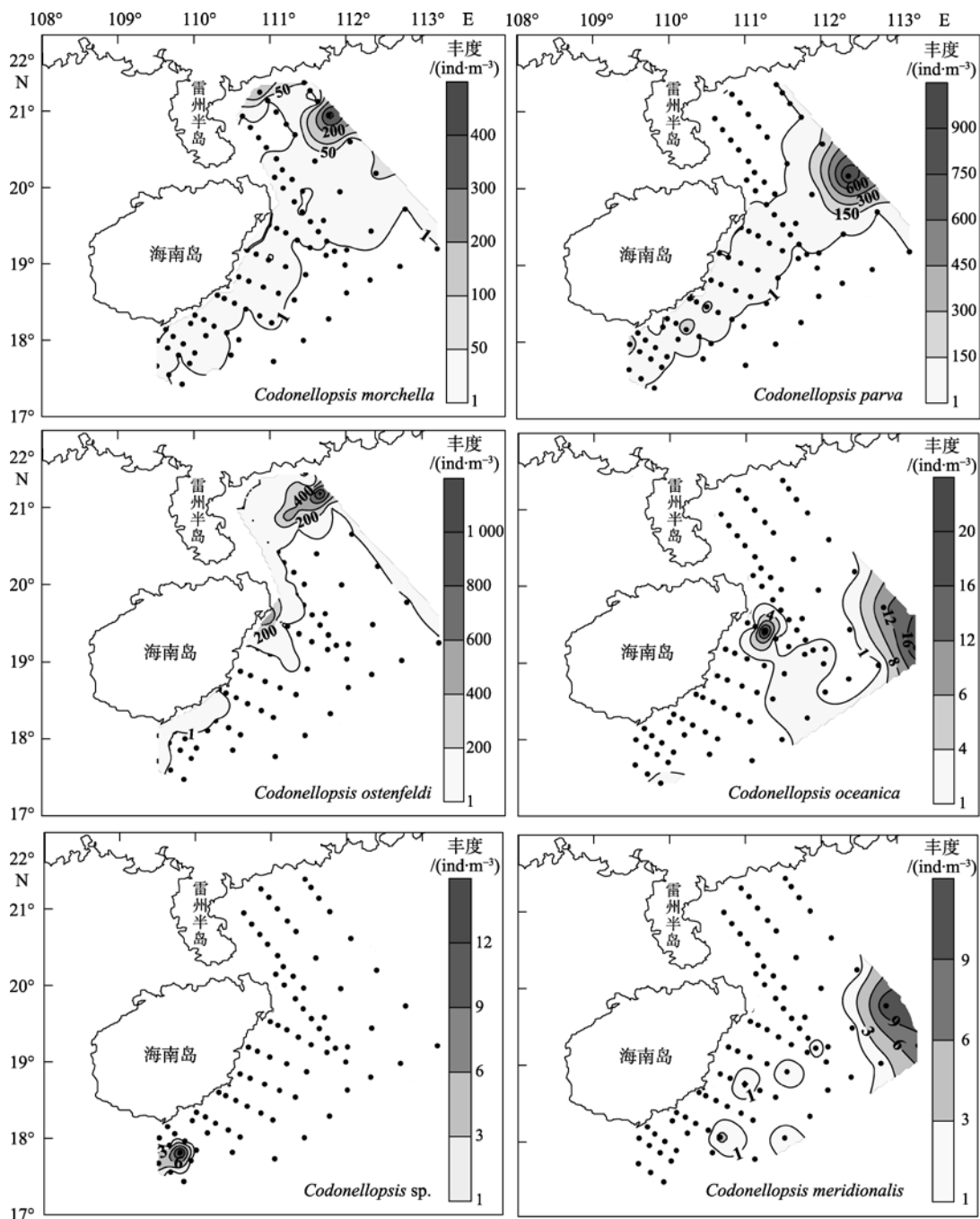


图 7 *Codonellopsis* 属丰度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)的水平分布

Fig. 7 Horizontal distribution of abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) of genus *Codonellopsis*

2.4.3 *Cyrtarocyliis* 属(图 8)

Cyrtarocyliis eucecryphalus 主要出现在远洋区, 近岸几乎没有, 呈斑块状分布在调查海域的东南部远洋区, 观察到的个体呈碗状, 口径很大, 体长 90—100 μm 。*Cyrtarocyliis acutiformis* 分布与前者极为类似, 调查海域的东南部远洋区出现高值, 观察到的个体呈尖长圆锥状, 状如高帽, 体长约 200 μm 。该属的两个种的优势度接近 0。

2.4.4 其他属/种(图 9)

Leprotintinnus nordqvisti 的优势度为 0.12%, 分布高值区为广州湾以南雷州半岛以东的海区, 另外在调查海域的东北部(13 断面)也有分布。*Wangiella dicollaria* 分布均集中于雷州半岛以东的近岸浅海区。*Epiplocyloides reticulata* 集中于调查区域东北部, *Xystonellopsis favata* 分布较广泛, 总体丰度均较低, 后两种的优势度接近 0。

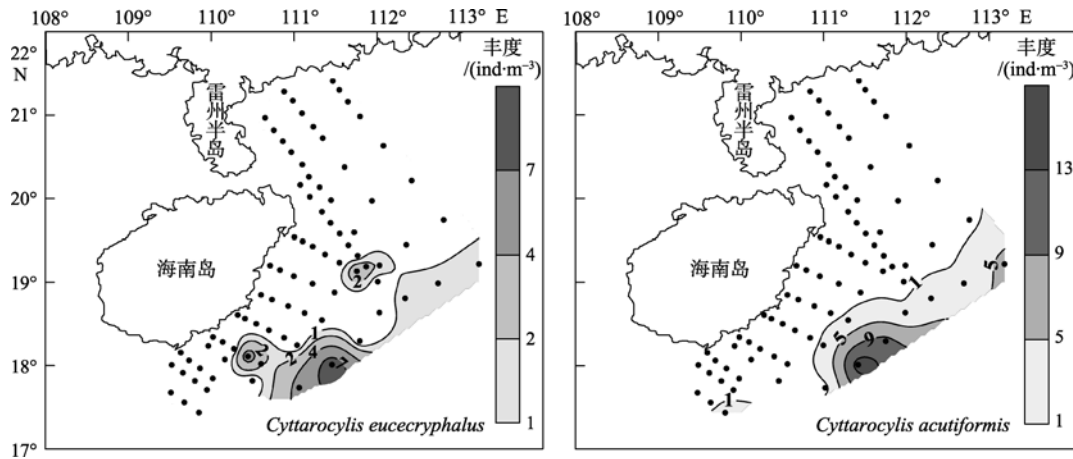


图 8 *Cyrtarocyliis* 属丰度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) 的水平分布
Fig. 8 Horizontal distribution of abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) of genus *Cyrtarocyliis*

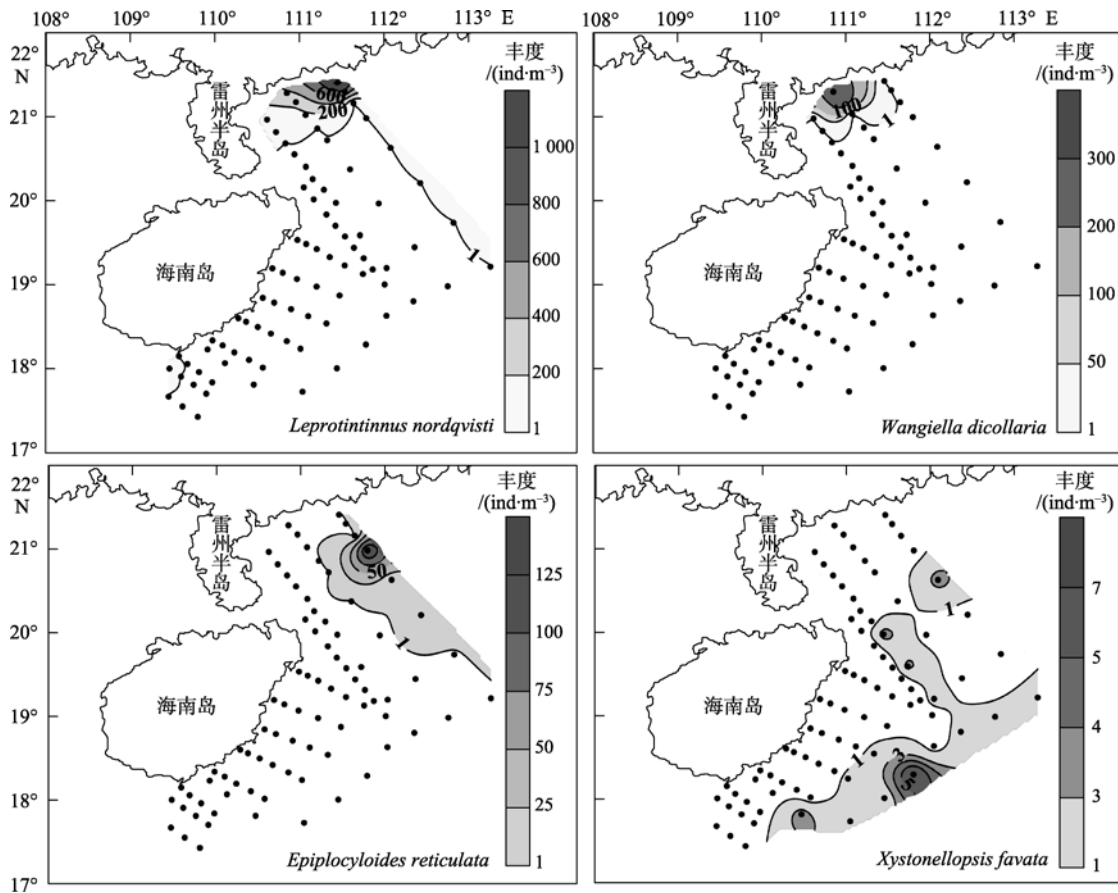


图 9 *Leprotintinnus*, *Wangiella*, *Epiplocyloides* 和 *Xystonellopsis* 属丰度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$)的水平分布
Fig. 9 Horizontal distribution of abundance ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$) of four other genera *Leprotintinnus*, *Wangiella*, *Epiplocyloides* and *Xystonellopsis*

3 讨论

3.1 南海砂壳纤毛虫的种类

有关南海砂壳纤毛虫的分类学资料不多, Nie^[9]在海南岛沿岸的 5 个站点连续 2 年(1933—1934 年)研究得到了周年性的种类记录, 发现了 52 种砂壳纤毛虫。Su 等^[13]在秋季南海北部的调查中, 发现砂壳亚目纤毛虫 11 种, 6 个属中(*Tintinnopsis*, *Codonellopsis*, *Amphorellopsis*, *Dadayiella*, *Undella*, *Eutintinnus*)只有 *Tintinnopsis* 和 *Codonellopsis* 与本文相同。

Pierce 等^[14]根据 1899—1992 年的 272 篇文献(包括全球的 1 400 多个站位的资料), 研究了全球砂壳纤毛虫的生物地理学, 将砂壳纤毛虫的 53 个属分为 6 种分布类型: 广布型(cosmopolitan)、近岸浅海型(neritic)、北半球型(boreal)、南半球型(austral)、温水型(warm water)、热带太平洋型(tropic pacific)。本文报道的 7 个属中, *Tintinnopsis*, *Leptotintinnus* 属于近岸浅海型; *Codonellopsis* 属于广布型; *Cyttarocyclus*, *Epiplocyloides*, *Xystonellopsis* 属于温水型。本文不同的种类水平分布趋势差别很大, 主要与各个种的生态习性和分布类型有关。

Pierce 等^[14]的文献中没有分析 *Wangiella* 属的分布类型; Nie^[15]首次报道了 *W. dicollaria* 在厦门湾的丰度较高。本次调查中 *W. dicollaria* 的分布集中于雷州半岛以东近岸海区, 其余海域少见, 呈近岸浅海型特征。

3.2 南海砂壳纤毛虫的生态学

目前, 有关南海砂壳纤毛虫的生态学资料很少^[9, 13, 15]。本次调查中砂壳纤毛虫丰度为 0—41 ind·L⁻¹。Gomez^[16]在研究太平洋纤毛虫的分布趋势时, 在中国南海设置 1 个代表站点, 发现南海纤毛虫丰度为 <20 ind·L⁻¹; Zhang 等^[17]报道了南黄海砂壳纤毛虫最大丰度为 158 ind·L⁻¹; Zhang 等报道东海砂壳纤毛虫的丰度为 0—150 ind·L⁻¹^[18]。与我国其他海区相比, 南海北部砂壳纤毛虫的丰度处于较低水平。赵楠等^[6]采用浅海 III 型网调查胶州湾砂壳纤毛虫, 记录了胶州湾几种优势种, 有 4 种与本次调查相同, 其丰度如下: *Tintinnopsis radix* 为 98—19 114 ind·m⁻³(2001 年 2 月); *Leptotintinnus nordqvist* 为 0—158 ind·m⁻³(2001 年 8 月), 0—102 ind·m⁻³(2002 年 8 月); *Codonellopsis ostenfeldi* 为 0—13 003 ind·m⁻³(2002 年 11 月); *Tintinnopsis schotti* 为 0—316 ind·m⁻³(2002 年 11 月)。本次调查时间为 2007 年 10 月, 种

的丰度分别为: *Tintinnopsis radix* 0—16 715 ind·m⁻³; *Leptotintinnus nordqvist* 0—1 075 ind·m⁻³; *Codonellopsis ostenfeldi* 0—1 118 ind·m⁻³; *Tintinnopsis schotti* 0—34 031 ind·m⁻³, 其中 *T. radix* 在胶州湾 2001 年 2 月的丰度与 2007 年 10 月份南海北部调查结果很接近, 丰度量级几乎一致, 而其他 3 种相差甚远。

南海北部大型砂壳纤毛虫丰度的水平分布大致呈斑块状, 即: 多集中于某块区域, 其余地区普遍较低, 甚至出现零值。利用 Origin 软件分析发现, 水体 Chl a 浓度(>40 m)与砂壳纤毛虫丰度分布有显著的线性正相关($P < 0.01$)(图 10)。其他作者也报道同样的关系, 如 Gomez^[16]指出砂壳纤毛虫的丰度主要受食物的限制, 因此砂壳纤毛虫分布在 Chl a 最高值的水层。

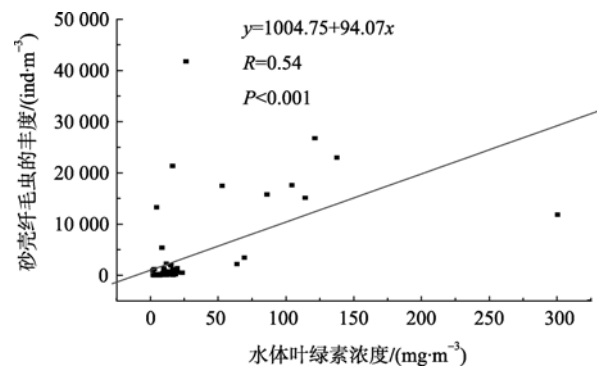


图 10 砂壳纤毛虫丰度(ind·m⁻³)与水体 Chl a 浓度(mg·m⁻³)的关系

Fig. 10 Relationship between tintinnid abundance (ind·m⁻³) and water column's Chl a concentration(mg·m⁻³)

4 结论

1) 此次调查发现砂壳纤毛虫 7 属, 22 种, 南海新纪录 7 种: *Codonellopsis meridionalis*, *Codonellopsis* sp., *Tintinnopsis plagiostoma*, *Cyttarocyclus eucecryphalus*, *Cyttarocyclus acutiformis*, *Codonaria oceanica*, *Wangiella dicollaria*。

2) 砂壳纤毛虫平均丰度为(2 851±7 244) ind·m⁻³, 平均生物量(以碳含量计算)为(42.75±110.80) μg·m⁻³, *Tintinnopsis schotti* 和 *Tintinnopsis radix* 为优势种。

3) 砂壳纤毛虫丰度与生物量在近岸高且站位间差异大, 远洋低且站位间差异小, 多呈斑块状分布, 主要分布区为雷州半岛以东的近岸浅水区。

4) 砂壳纤毛虫的丰度、生物量以及种丰富度与 Chl a 浓度均为正相关关系。

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: 139–181.
- [2] CAPRIULO G M, CARPENTER E J. Abundance, species composition and feeding impact of tintinnid micro-zooplankton in central Long Island Sound[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1983, 10: 277–288.
- [3] 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.
- [4] 宋微波. 三种南极威德尔海砂壳纤毛虫的形态学研究[J]. *南极研究*, 1993, 5(2): 34–42.
- [5] 尹光德. 胶州湾砂壳纤毛虫的三个新种[J]. *山东大学学报*, 1953, 2: 64–69.
- [6] 赵楠, 张武昌, 孙松, 等. 胶州湾中大型砂壳纤毛虫的水平分布[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(5): 467–475.
- [7] ZHANG W C, WANG R. Summertime ciliate and copepod nauplii distributions and microzooplankton herbivorous activity in the Laizhou Bay, Bohai Sea, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51(1): 103–114.
- [8] 孙军, DAWSON J, 刘东艳. 夏季胶州湾微型浮游动物摄食初步研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(7): 1 245–1 252.
- [9] NIE D S. Tintinnoinea of the Hainan region[J]. *Contr Biol Lab Sci Soc China*, 1947, 16: 41–86.
- [10] KOFOID C A, CAMPBELL A S. A conspectus of the marine fresh-water ciliate belonging to the suborder tintinnoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific 1904–1905[D]. California: University of California Press, 1929: 1–403.
- [11] PUTT M, STOECKER D K. An experimentally determined carbon:volume ratio for marine “oligotrichous” ciliates from estuarine and coastal waters[J]. *Limnol Oceanogr*, 1989, 34(6): 1 097–1 103.
- [12] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲑鳕渔场的关系[J]. *生态学杂志*, 1989, 8(4): 13–15.
- [13] SU Q, HUANG L M, TAN Y H, 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.
- [14] PIERCE R W, TURNER J T. Global biogeography of marine tintinnids[J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 94: 11–26.
- [15] NIE D S. Notes on Tintinnoinea from the Bay of Amoy[R]. *Third Ann Rep Mar Biol Assoc China*, 1934, 3: 71–80.
- [16] GOMEZ F. Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean[J]. *Acta Oecol*, 2007, 32(2): 188–202.
- [17] ZHANG C X, ZHANG W C, XIAO T, et al. Meso-scale spatial distribution of large tintinnids in early summer in Southern Yellow Sea [J]. *Chin J Oceanol Limnol*, 2008, 26(1): 81–90.
- [18] ZHANG W C, XIAO T, WANG R. Abundance and biomass of copepod nauplii and ciliates and herbivorous activity of microzooplankton in the East China Sea[J]. *Plankton Biol Ecol*, 2001, 48(1): 28–34.