

2007 年 10 月南海北部浮游纤毛虫的丰度和生物量

张翠霞^{1,2,3}, 张武昌^{1,3,*}, 肖 天¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态和环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 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, 杭州 310012)

摘要: 报道 2007 年 10 月南海北部海域 ($21^{\circ}25.47'N - 17^{\circ}24.95'N$, $109^{\circ}28.86'E - 113^{\circ}13.01'E$) 纤毛虫丰度和生物量的水平分布及砂壳纤毛虫的种丰富度。包括了 13 个断面的 82 个站位, Rosette 采水器采水, 水深低于 15 m 的站位采 0, 5 m 和 10 m; 小于 30 m 站位, 采 0, 10 m 和底层; 大于 30 m 的站位, 采 0, 10, 30 m 和底层。纤毛虫丰度为 0—5757 ind./L, 平均 (848 ± 776) ind./L。无壳纤毛虫占绝对优势, 其丰度占纤毛虫总丰度的比例平均为 (91.9 ± 9)%; 纤毛虫生物量为 0—12.09 $\mu\text{g C/L}$, 平均是 (1.2 ± 1.54) $\mu\text{g C/L}$, 无壳纤毛虫的生物量平均为 (0.94 ± 1.27) $\mu\text{g C/L}$, 占纤毛虫总生物量的 78.6%。共发现砂壳纤毛虫 16 个属, 49 种, 拟铃虫最多, 具有一定的季节性。纤毛虫水体 (40 m 到表层) 丰度为 $6.4 \times 10^6 - 9.1 \times 10^7$ ind./m², 平均是 ($3.6 \times 10^6 \pm 1.4 \times 10^6$) ind./m²; 水体生物量 $3.6 - 195.8 \text{ mg C/m}^2$, 平均 (48.1 ± 33.7) mg C/m^2 。纤毛虫多分布于近岸浅水区 (高温低盐, 高 Chl a), 最大丰度要高于我国其他海区, 不是 Chl a 最高的地方纤毛虫的丰度也最大, 纤毛虫丰度最大时 Chl a 偏低。

关键词: 纤毛虫; 丰度; 生物量; 砂壳纤毛虫; 南海北部

Ciliate abundance and biomass in northern South China Sea in October 2007

ZHANG Cuixia^{1,2,3}, ZHANG Wuchang^{1,3,*}, XIAO Tian¹

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

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry, SOA, Hangzhou 310012, China

Abstract: The abundance and biomass of ciliate and species richness of tintinnids in the northern South China Sea ($21^{\circ}25.47'N - 17^{\circ}24.95'N$, $109^{\circ}28.86'E - 113^{\circ}13.01'E$) were investigated in October, 2007, across 13 sections over 82 stations. Sampling was conducted with Rosette at 0, 5, and 10 m in the area shallower than 15 m; at 0, 10, and the bottom in the case of <30 m in depth; or at 0, 10, 30, and the bottom if the depth >30 m. The results show that 49 species of tintinnids were identified including 16 genera. Genus *Tintinnopsis* was dominant and seasonal in abundance. The ciliates abundance ranged from 0 to 5757 ind./L in average of (848 ± 776) ind./L, of which aloricate ciliates took (91.9 ± 9)% . The biomass of all ciliates was 0—12.09 $\mu\text{g C/L}$ in average of $1.2 - 1.54 \mu\text{g C/L}$, of which aloricate ciliates took (0.94 ± 1.27) $\mu\text{g C/L}$, or 78.6% to the total. In water column, the abundance of ciliates was $6.4 \times 10^6 - 9.1 \times 10^7$ ind./m² in average of ($3.6 \times 10^6 \pm 1.4 \times 10^6$) ind./m²; and the biomass was $3.6 - 195.8 \text{ mg C/m}^2$ in average of (48.1 ± 33.7) mg C/m^2 . Ciliates distributed mainly near coastal shallow waters of warm and less salty with more Chl a. The maximum abundance of ciliate in the study was higher than those in other parts of China seas. However, the maximum abundance of ciliates in the study area corresponded occasionally to a low Chl a concentration.

Key Words: ciliate; abundance; biomass; tintinnid; Northern South China Sea

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90711006, 40876085); 国家 863 资助项目(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资助项目(LMEB200803)

收稿日期:2008-12-23; 修订日期:2009-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuchangzhang@ms.qdio.ac.cn

海洋浮游纤毛虫是海洋微型浮游动物($<200\text{ }\mu\text{m}$)的优势类群,在海洋微食物环中起着重要的作用。它是 pico- 和 nano- 级生产者的初级消费者,是营养盐的再生者,也是 meso- 级浮游动物和鱼类幼虫的食物来源,从而将 nano- 级浮游生物和 meso- 级浮游动物连接起来^[1]。南海是西北太平洋最大的半封闭式边缘海,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;其北部拥有宽广的陆架区,陆架区等深线分布基本与岸线平行,呈东北-西南走向,水深小于 200 m,是我国近海主要的季节性上升流^[2-3]。本研究的调查海域是南海北部的琼东沿岸上升流区,包括广州湾以南雷州半岛以东海域和海南岛的东岸,生态环境比较独特,对纤毛虫的生态研究是浮游生态学不可缺少的一部分。

20世纪90年代,国内开始了海洋浮游纤毛虫的生态学研究,相继报道了渤海(莱州湾)^[4]、黄海(胶州湾)^[5-6]、东海^[7]、台湾海峡^①浮游纤毛虫的丰度、生物量的分布以及砂壳纤毛虫的种丰富度。然而,在南海北部海域这3方面的记录还较少,本文报道了2007年10月份南海北部纤毛虫丰度和生物量的分布及砂壳纤毛虫的种丰富度,为南海浮游生态系统生态学的研究提供本底资料。

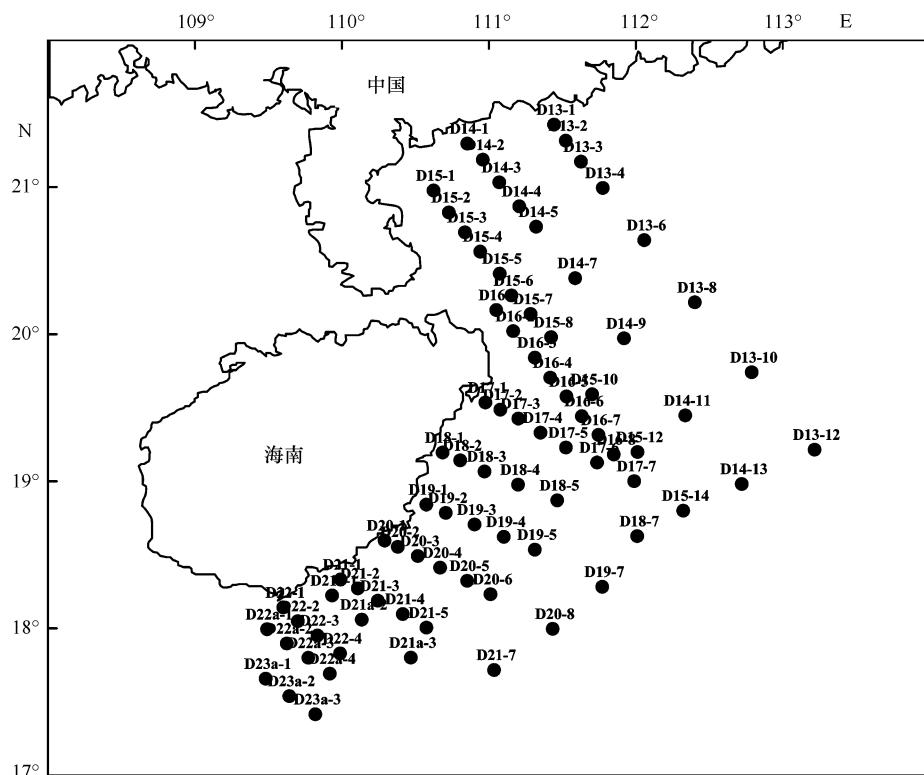


图1 调查站位图

Fig. 1 Locations of the sampling stations

1 材料与方法

国家908专项ST08区块(南海北部 $21^{\circ}25.47' \text{ N} - 17^{\circ}24.95' \text{ N}, 109^{\circ}28.86' \text{ E} - 113^{\circ}13.01' \text{ E}$),2007年秋季调查航次于10月2日—11月8日使用“科学一号”科学调查船完成,调查时间从10月8日到10月28日。调查海域共计13条断面,82个站位(图1)。在各站位以CTD(SBE25-02)测得温度和盐度,使用Rosette采水器在各水层采水,水深低于15 m,采表层、5 m和10 m 3个水层的水样;小于30 m的站位,表层、10 m和底层进行采样;大于30 m的站位,采集表层、10、30 m和底层的水。

每层取500 ml水样GF/F滤膜过滤,滤膜置于黑暗-20℃保存。滤膜带回实验室用90%丙酮在黑暗中

① 柯林. 台湾海峡及厦门西海域纤毛虫原生动物在碳循环中的作用研究(硕士论文). 1998, 厦门大学

-20 °C下萃取24 h后,用Turner II荧光光度计测量叶绿素a浓度(Chl a)。

纤毛虫的水样采集与测叶绿素用水样同时进行。采集1000 ml水样装入塑料样品瓶中,用Lugol's试剂固定,终浓度为1%。置于阴凉处保存直至带回实验室分析。按照Utermohl的方法,样品自然沉降48 h以上,虹吸出上层清液,剩余约100 ml倒入小塑料瓶中。取16 ml于沉降杯中在倒置显微镜(Olympus CKX41)下100×检查计数砂壳纤毛虫、无壳纤毛虫。砂壳纤毛虫种的鉴定参照分类学文献^[8-11]进行。

测量各类群的尺寸,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,无壳纤毛虫和砂壳纤毛虫的体积乘以系数0.19 pg C/μm³^[12]得出生物量。

不同水层的纤毛虫丰度和生物量代表一定深度,进行积分,得出水体丰度(ind./m²)和水体生物量(mg C/m²)。由于海区水深变化较大,最大水深可达1890 m,采样水层30 m和底层相差太多,在30 m和底层之间没有丰度数值作为代表,所以本文水体丰度和水体生物量为表层到40 m深度水体的丰度与生物量。

2 结果

2.1 各层的温度、盐度、叶绿素a浓度、纤毛虫丰度和生物量

(1) 表层

表层纤毛虫的丰度为(822±877)(15—5486)ind./L,生物量为(1.12±1.53)(0—9.76) μg C/L,最大丰度和最大生物量都D14-3站,此站的温度27.84 °C,盐度31.626,Chl a浓度为2.36 μg/L(图2),丰度和生物量的高值都位于调查海域北部的浅水区(<30 m),集中在D13和D14两个断面雷州半岛近岸位置,尤其是D14断面,丰度都大于900 ind./L,温度(27.82—28 °C)和盐度(30.14—32.94)的变化范围较小,也是Chl a分布的高值区(2.36—3.1 μg/L)。

(2) 10 m

10 m层的温度、盐度变化与表层的很相近,只是在数值上有些变化,同一站位的温度要降低一点,盐度要升高一点(图3)。10 m水层的丰度为(1191±819)(85—4604)ind./L,最大丰度出现在D14-3站,温度是27.89 °C,盐度是31.794,Chl a浓度是2.33 μg/L,此站纤毛虫的生物量是7.78 μg C/L。10 m水层的生物量为(1.79±1.79)(0.02—12.09) μg C/L,最大值出现在D14-2站,温度是27.74 °C,盐度是31.794,Chl a浓度是2.27 μg/L,此站的丰度是3713 ind./L。丰度与生物量的高值区集中在D13和D14断面的雷州半岛以东近岸位置,丰度大于1500 ind./L,温度为27.80—28.01 °C,盐度为30.14—33.33,Chl a为2.27—8.01 μg/L。

(3) 30 m

30 m水层的温度为26.69 °C(D22-2站)—28.51 °C(D13-12站),盐度为33.414(D22-1站)—33.919(D13-8站),Chl a的浓度为0.04 μg/L(D20-8站)—1.62 μg/L(D22a-1站)(图4)。30 m层纤毛虫丰度为(883±392)(92—2054)ind./L,最大丰度出现在D22a-3,温度是27.76 °C,盐度是33.797,Chl a是0.26 μg/L,此站纤毛虫的生物量是1.26 μg C/L;生物量(1.01±0.79)(0.12—4.51) μg C/L,生物量的最大值出现D16-6站,温度是27.28 °C,盐度是33.779,Chl a是0.12 μg/L,此站纤毛虫的丰度是905 ind./L。图4所示,30 m水层近岸温度低,远岸温度高;近岸的盐度高于远岸的盐度(不同于水体表层和10 m层)。丰度和生物量的高值出现在远岸的深水区(>100 m),它们的最大值出现在不同的位置。D22a-3站的丰度最大,生物量却相对较低,以小型的无壳纤毛虫为主,无壳纤毛虫的生物量占总生物量的76.9%;D16-6站的生物量最大,丰度却不是很大,以大型无壳纤毛虫为主,无壳纤毛虫的丰度占96%。

(4) 底层

底层(图5)丰度为(508±729)(0—5757)ind./L,最大丰度值出现在D14-1站(13 m),生物量为6.30 μg C/L,Chl a浓度是3.49 μg/L;底层生物量为(0.86±1.45)(0—7.23) μg C/L,最大生物量出现在D14-2站(17 m),丰度是2543 ind./L,Chl a浓度是3.36 μg/L。不同站位底层的水深是不相同,底层的纤毛虫多集

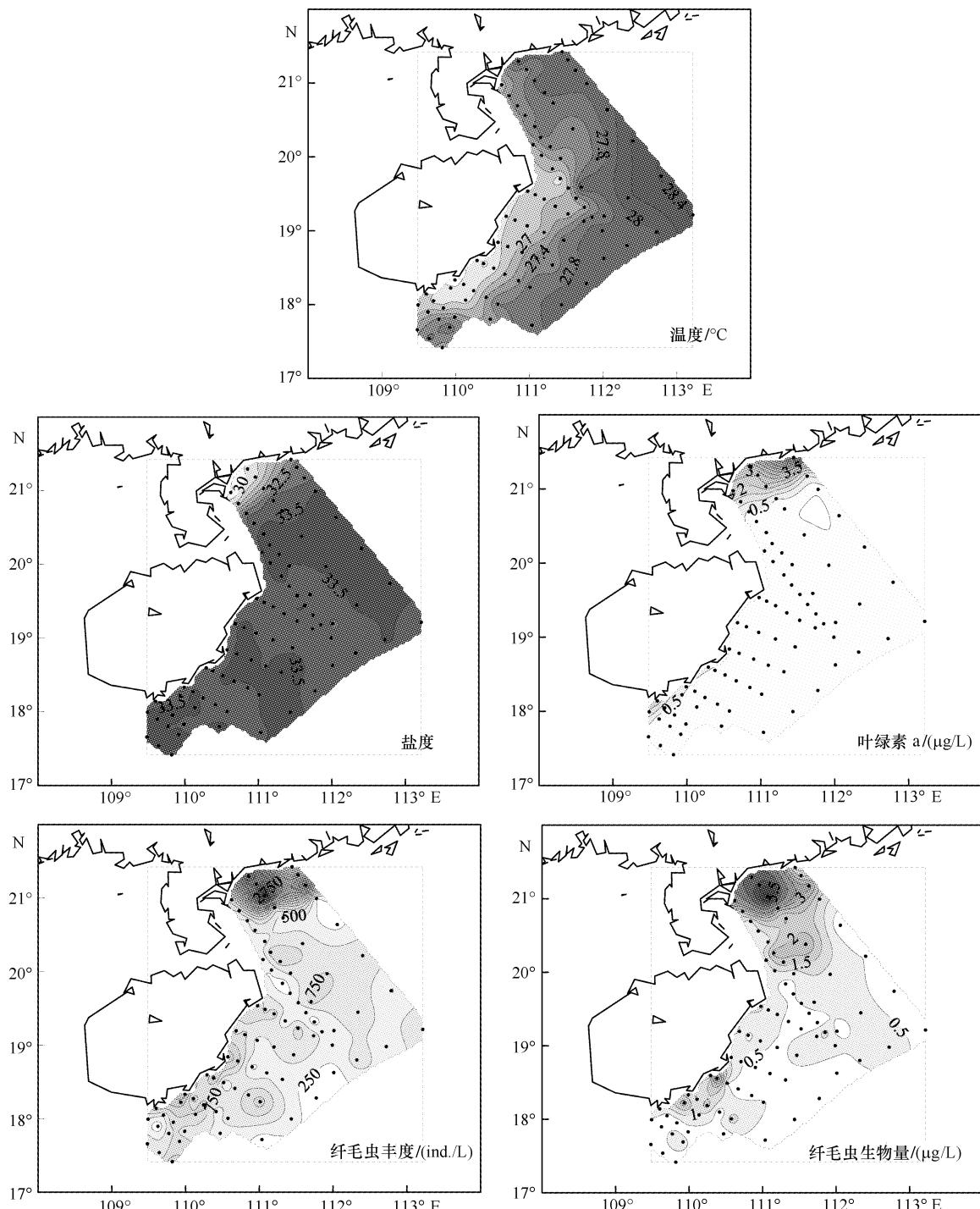


图2 水体表层的温度、盐度、叶绿素a浓度、纤毛虫丰度和生物量的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of surface temperature, salinity, Chl a concentration, ciliate abundance and biomass
图中的圆点示采样站点

中在近岸的浅水区,叶绿素值较高,而远岸深水区底层纤毛虫的丰度和生物量几乎为0,叶绿素也很低。

2.2 砂壳纤毛虫的种丰富度及其与无壳纤毛虫的丰度比例

共发现16个属砂壳纤毛虫,已鉴定49种(表1),其中拟铃虫最多,共有17个种,且分布广泛。其次是*Dadayiella* 和 *Steenstrupiella* 种类, *Stenosemella*、*Rhabdonella*、*Epiploctysis*、*Epiploctyloides* 和 *Proplectella* 是偶见的属,其种类也很少。其中 *Tintinnopsis radix* 分布最广,在82个站位中的30个站位有分布,其最大丰度出现在

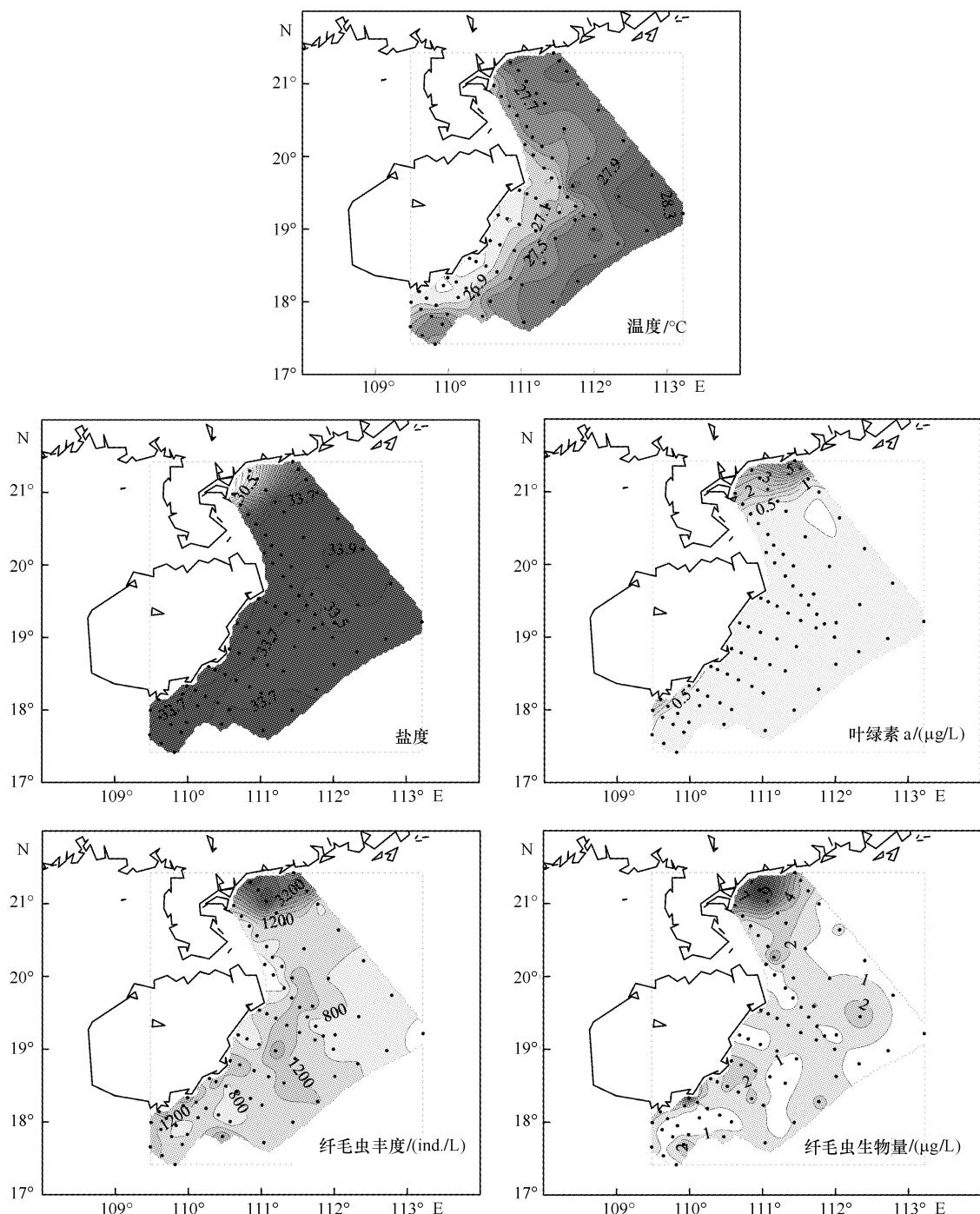


图3 10 m水层的温度、盐度、叶绿素a浓度、纤毛虫丰度和生物量的水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of temperature, salinity, Chl a concentration, ciliate abundance and biomass at 10 m depth

图中的圆点示采样站点

D13-2站的10 m水层(90 ind./L)。*Tintinnopsis tocantinensis* 丰度最高,最大丰度可达192 ind./L,出现在D13-1站的表层,在11个站位有分布。

纤毛虫的平均丰度是(848 ± 776) (0—5757) ind./L,其中以无壳纤毛虫居多。在许多站位(如D13-12,D20-5,D21-5)和不同的水层,没有发现砂壳纤毛虫,砂壳纤毛虫的分布多以近岸浅水区较多。无壳纤毛虫占纤毛虫的比例最小50%,平均为 $91.9\% \pm 9\%$ 。砂壳纤毛虫丰度与无壳纤毛虫丰度的比例平均为10%。纤毛

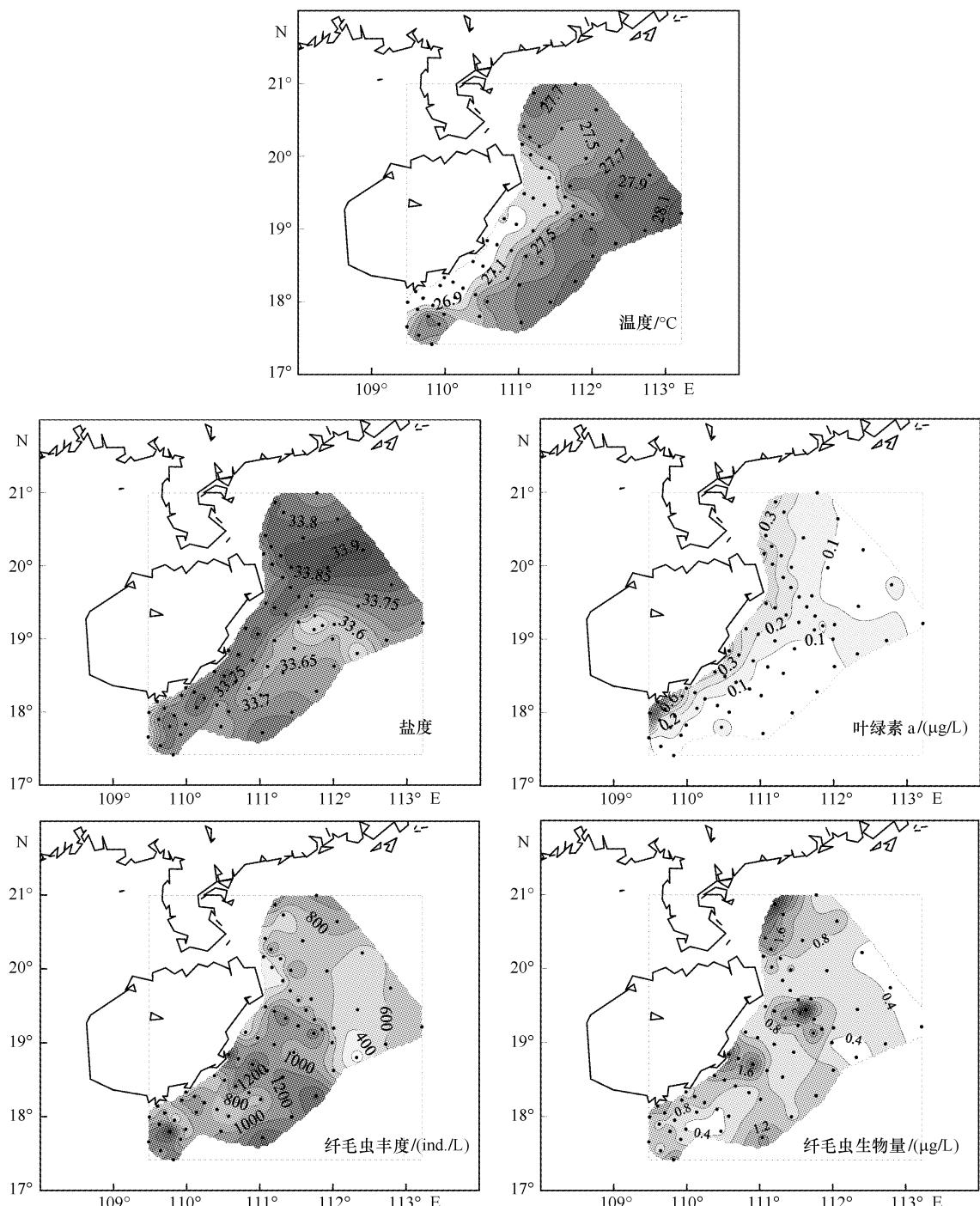


图4 30 m水层的温度、盐度、叶绿素a浓度、纤毛虫丰度和生物量的水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution of temperature, salinity, Chl-a concentration, ciliate abundance and biomass at 30 m depth

图中圆点示采样站点

虫的生物量(1.2 ± 1.54) ($0\text{--}12.09$) $\mu\text{g C/L}$, 其中无壳纤毛虫的生物量平均为(0.94 ± 1.27) $\mu\text{g C/L}$, 对生物量的贡献是 78.6%。

2.3 水体的丰度与生物量

纤毛虫水体丰度为($3.6 \times 10^7 \pm 1.4 \times 10^7$) ($6.4 \times 10^6\text{--}9.1 \times 10^7$) ind./m^2 , 水体丰度的最大值 9.1×10^7 ind./m^2 , 出现在 D14-3 站(图 6), 最小值是 6.4×10^6 ind./m^2 , 出现在 D16-1 站。水体生物量(48.1 ± 33.7)

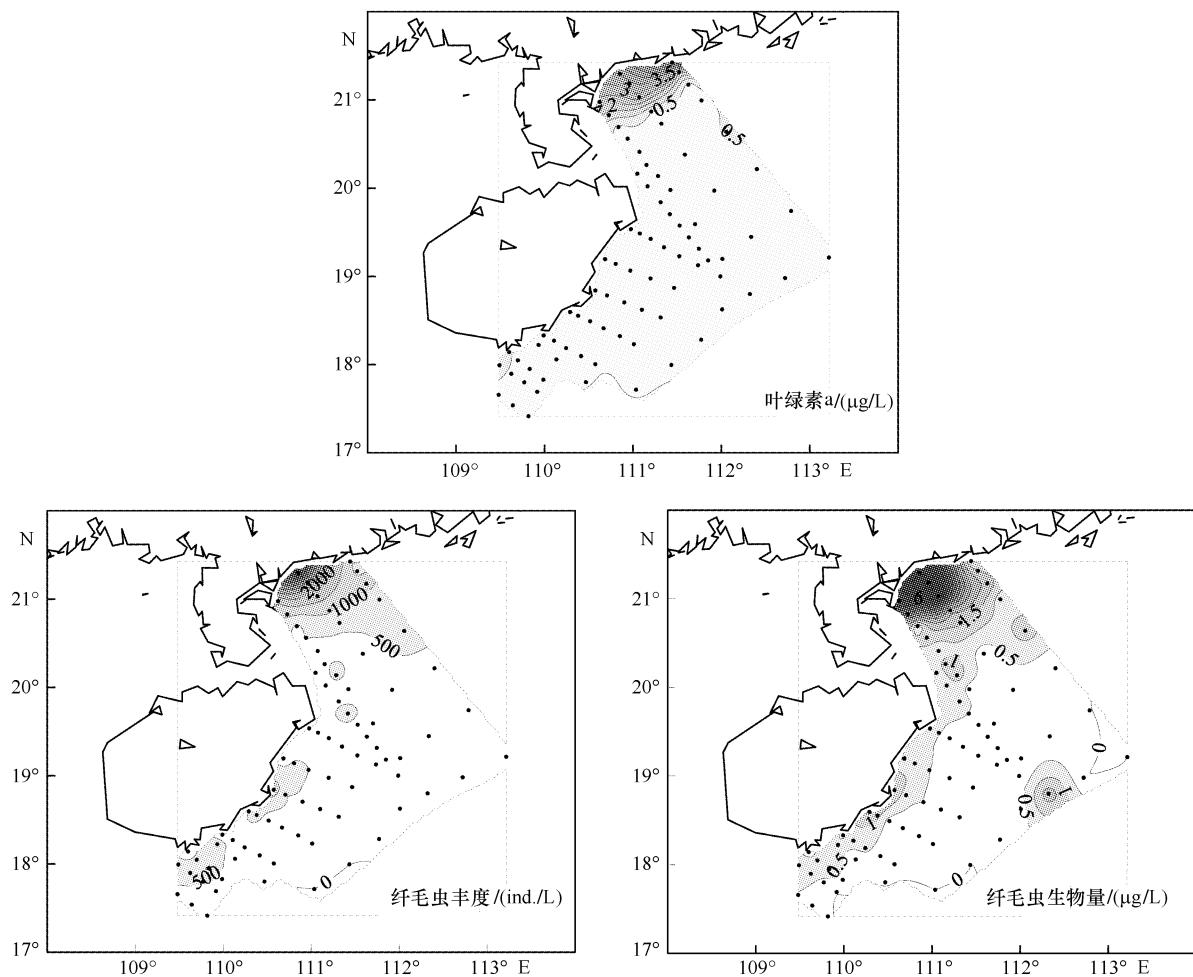


图5 底层叶绿素a浓度、纤毛虫丰度和生物量的水平分布

Fig. 5 Horizontal distribution of bottom Chl a concentration, ciliate abundance and biomass

图中的圆点示采样站点

表1 砂壳纤毛虫的出现站位和最大丰度

Table 1 Occurrence and maximum abundance of tintinnid

种类 Species	出现站位数 Number of stations occurred	最大丰度/(ind./L) Maximum abundance	最大丰度出现站位(水层)/m Stations of maximum abundance (layer)
<i>Tintinnopsis radix</i>	30	90	D13-2 (10)
<i>Tintinnopsis schotti</i>	15	116	D15-6 (0)
<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>	11	192	D13-1 (0)
<i>Tintinnopsis nucula</i>	10	83	D14-3 (10)
<i>Tintinnopsis butschlii</i>	9	63	D14-5 (10)
<i>Tintinnopsis urnula</i> *	6	158	D14-2 (17)
<i>Tintinnopsis tubulosoides</i> *	8	30	D19-1 (47)
<i>Tintinnopsis karajacensis</i>	5	50	D13-2 (10)
<i>Tintinnopsis minuta</i> *	4	80	D14-3 (23)
<i>Tintinnopsis cochleata</i> *	5	28	D15-6 (43)
<i>Tintinnopsis tubolosa</i>	5	36	D22-2 (10)
<i>Tintinnopsis elongata</i> *	3	56	D14-2 (17)
<i>Tintinnopsis turgida</i>	2	24	D15-2 (0)

续表

种类 Species	出现站位数 Number of stations occurred	最大丰度/(ind./L) Maximum abundance	最大丰度出现站位(水层)/m Stations of maximum abundance (layer)
<i>Tintinnopsis mayeri</i> * <i>Tintinnopsis japonica</i> *	1	53 11	D 14-3 (23) D14-4 (34)
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	1	28	D13-4 (40)
<i>Tintinnopsis simplex</i> *	1	42	D13-1 (10)
<i>Dadayiella ganymedes</i>	24	52	D17 -3 (10)
<i>Dadayiella acutiformis</i> *	8	44	D15-8 (10 m, 30)
<i>Steenstrupiella gracilis</i> *	20	48	D19-5 (0)
<i>Steenstrupiella steenstrupii</i> *	8	48	D15-5 (0)
<i>Amphorellopsis acuta</i>	6	80	D14-2 (17)
<i>Eutintinnus latus-undae</i>	12	42	D14-1 (0)
<i>Eutintinnus fraknoii</i>	8	42	D15-1 (10)
<i>Eutintinnus apertus</i> *	3	24	D14-11 (10)
<i>Eutintinnus stramentus</i> *	1	11	D15-8 (10)
<i>Codonellopsis morchella</i>	12	100	D22a-3 (0)
<i>Codonellopsis ostenfeldi</i>	9	32	D17-1, D21a-1 (0)
<i>Codonellopsis parva</i> *	5	30	D17-3 (30)
<i>Codonellopsis mobilis</i> *	1	14	D13-4 (10)
<i>Undella ostenfeldi</i> *	10	70	D14-1 (10)
<i>Undella turgida</i> *	2	18	D16-8 (10)
<i>Stenosemella pacifica</i> *	2	165	D14-3 (10)
<i>Stenosemella nivalis</i>	3	43	D14-3 (0)
<i>Rhabdonella obtusa</i> *	5	14	D13-4 (40), D14-5 (30)
<i>Rhabdonella inflata</i> *	5	25	D21a-2 (0)
<i>Rhabdonella amor</i>	4	32	D22-4 (0)
<i>Rhabdonella sanyahensis</i>	2	14	D19-3 (30)
<i>Epiplocylis ralumensis</i> *	2	35	D14-4 (0)
<i>Epiplocyloides reticulata</i>	3	16	D15-4 (28)
<i>Leprotintinnus nordqvisti</i> *	4	36	D13-1 (0)
<i>Leprotintinnus simplex</i> *	1	20	D13-2 (10)
<i>Leprotintinnus bottnickus</i> *	1	71	D14-4 (10)
<i>Prolectella globosa</i>	4	13	D14-5 (10)
<i>Prolectella claparedei</i> *	2	14	D17-3 (0), D20-3 (96)
<i>Protorhabdonella curta</i>	4	15	D17-4 (30)
<i>Protorhabdonella simplex</i>	1	10	D14-9 (30)
<i>Parundella aculeata</i> *	1	12	D19-5 (10)
<i>Xystonellopsis favata</i> *	1	12	D18-7 (313)

* 为新记录

(3.6—195.8) mg C/m², 水体生物量的最大值 195.8 mg C/m², 出现在 D14-3 站, 最小值是 3.6 mg C/m², 出现在 D13-12 站。水体丰度与水体生物量的高值出现在 D13 和 D14 断面的沿岸浅水区, 最大值都在 D14-3 站, 与表层的丰度和生物量的分布相似。在海南岛沿岸及向外延伸到 100 m 纤毛虫水体丰度不是很低, 除水体生物量的高值区外, 其他位置的水体生物量平均偏低些。

3 讨论

这个航次的调查内容包括物理海洋和海洋气象、海洋生物与生态和海洋化学 3 方面。内容比较多, 调查时间长(前后共 38d), 生物采样作站的时间从 10 月 8 日到 10 月 28 日。因为南海经常风浪大涌大的天气, 需

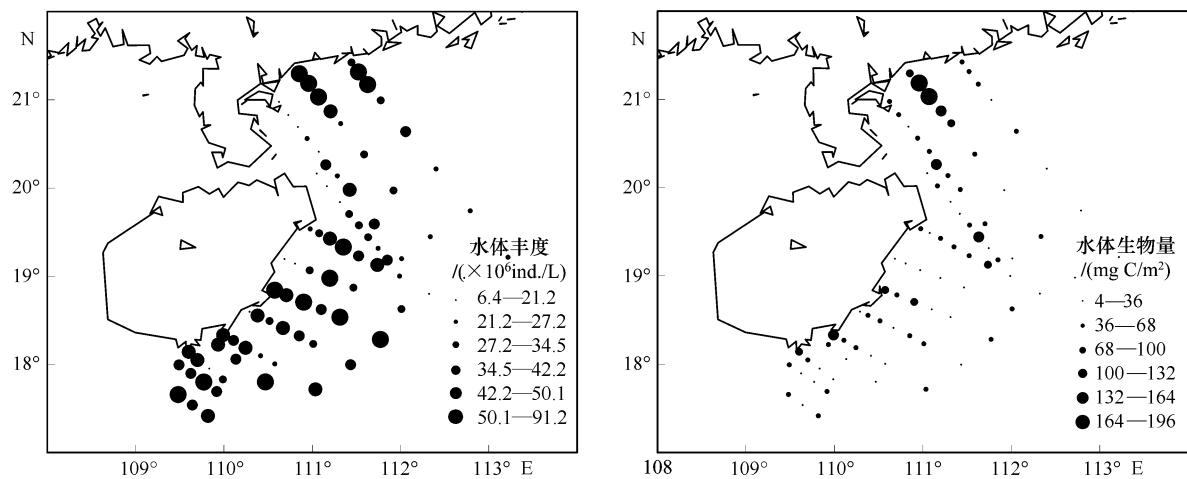


图6 纤毛虫水体丰度与水体生物量

Fig. 6 Water column ciliate abundance and column biomass

要避风所以采样的时间上不连续。另一方面,按照海洋生物生态调查技术规程要求的采样层次取样,在水深大于30 m 的站位,30 m 到底层之间的水体没有采到,对数据造成一定的不完整性。

Nie 和 Cheng 在海南岛沿岸的5个站点连续2a(1933—1934)研究得到了周年性的种类记录,发现了52种砂壳纤毛虫^[10],本文共发现49种砂壳纤毛虫,其中有22种与前面报道相同,另外27种为本海区新记录(表1)。本文采样站位多,覆盖的南海海域较大,所以发现的种类比较多,但是限于调查时间为秋季,记录的砂壳纤毛虫种类具有一定的季节性。Su 等发现南海北部海域秋季纤毛虫以寡毛类为主,计16种,其所记录的砂壳亚目中6个属(*Tintinnopsis*, *Codonellopsis*, *Amphorellopsis*, *Dadayiella*, *Undella*, *Eutintinnus*)与本研究一致^[13]。

本海区纤毛虫丰度的报道不多。本文调查采样水层包含了表层、10、30 m 和底层,使用 Lugol's 试剂固定,浓度为1%,得出纤毛虫的平均丰度848 ind./L。Gomez 在研究太平洋纤毛虫的分布趋势时,通过在中国南海设置一代表站点(119°E, 14°N),报道了南海纤毛虫丰度<20 ind./L^[14]。两者相差较大,后者在太平洋的外海深水区,前者位于陆架浅水区,受人类活动影响大,营养盐充足,因此纤毛虫的平均丰度高于后者。

南海北部无壳纤毛虫占绝对的优势,虽然砂壳纤毛虫个体大,对生物量有一定的贡献,但是砂壳纤毛虫的丰度是有限的,无壳纤毛虫的生物量仍占较大比例。砂壳纤毛虫丰度占的比例很小,砂壳纤毛虫丰度与无壳纤毛虫丰度的比例平均为10%。胶州湾砂壳纤毛虫丰度占无壳纤毛虫丰度的2%—88%,平均为34%^①,中国东海的砂壳纤毛虫丰度与无壳纤毛虫丰度之比<10%^[15]。在太平洋外海砂壳纤毛虫占无壳纤毛虫的10%—20%^[14]。

南海是中国海区最南端的热带海域,其他海域已经有许多纤毛虫丰度的记录。已有报道6月黄海纤毛虫总丰度40—3420 ind./L^[16],渤海表层纤毛虫丰度20—770 ind./L^[17],其中莱州湾0—270 ind./L^[4],Zhang 等报道东海无壳纤毛虫的丰度为0—270 ind./L,砂壳纤毛虫的丰度为0—150 ind./L^[7]。柯林^②报道厦门西海域纤毛虫丰度60—1525 ind./L,台湾海峡南部海域夏季纤毛虫丰度为65—360 ind./L,北部海域冬季为100—440 ind./L。本次调查南海北部秋季纤毛虫的丰度0—5757 ind./L,平均为848 ind./L,与我国其他海区相比,丰度相当。中国海区关于纤毛虫丰度的记录还较不完整,调查海域和时间都无法很好地匹配,不能很好地进行比较分析。本次调查可以看出纤毛虫不论是无壳纤毛虫还是砂壳纤毛虫的形态多样性丰富,27种

① 赵楠. 黄海纤毛虫的丰度和生物量(硕士论文). 2008, 中国科学院海洋研究所.

② 柯林. 台湾海峡及厦门西海域纤毛虫原生动物在碳循环中的作用研究(硕士论文). 1998, 厦门大学.

砂壳纤毛虫为此海区新纪录的种;小型无壳纤毛虫个体($<30\text{ }\mu\text{m}$)占优势;砂壳纤毛虫多分布于近岸浅水区。这些都与生态理化因子相联系的,且还应受到其食物及其摄食者的影响。

南海北部陆架区的上升流现象主要发生在6—9月份,水体的表层及次表层表现出明显的低温、高盐、高密特征^[2],而从本研究结果看10月份表层依然保留了一些相同的特征(图2)。调查海域表层水体的南部距离海南岛岸边越远温度呈现逐渐升高的趋势,而盐度的变化不大,多在33.5左右,Chl a浓度有大的降低后处于低值,纤毛虫的丰度逐渐降低,生物量的变化不符合这一规律。Setala等曾报道1988年夏季在波罗的海纤毛虫多分布于温跃层之上,且与温度呈现正相关,与Chl a无相关性;而1990年夏季调查显示纤毛虫丰度与温度和Chl a都呈现显著的相关性^[18]。Thompson等报道1994年11月在西南大西洋砂壳纤毛虫一般分布于50 m之上,种丰富度由北到南呈递减的趋势,随水深增加而增加,这与极面水体的垂直稳定性密切相关^[19]。南海北部海域纤毛虫丰度的最大值出现在雷州半岛以东的近岸浅水区,是个高温低盐,高Chl a的区域,但并不是Chl a最高的地方纤毛虫的丰度也最大,纤毛虫丰度最大时Chl a偏低,应该是由于微型浮游动物的变化稍滞后于浮游植物的发展变化^[20]。

致谢:温度、盐度资料由尹宝树提供,叶绿素资料由李超伦提供,特此致谢。

References:

- [1] Pierce R W, Turner J T. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Reviews in Aquatic Sciences*, 1992, 6: 139-181.
- [2] Jing Z Y, Qi Y Q, Hua Z L. Numerical study on summer upwelling over northern continental shelf of South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 2008, 27(3): 1-8.
- [3] Le F F, Ning X R. Variations of the phytoplankton biomass in the northern South China Sea. *Journal of Marine Sciences*, 2006, 24(6): 60-69.
- [4] Zhang W C, Wang R, Wang K. Distribution of planktonic ciliates and copepod nauplii in the Laizhou Bay during a cruise in July 1997. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 26(9): 20-21.
- [5] Sun J, Dawson J, Liu D Y. Microzooplankton grazing on phytoplankton in summer in the Jiaozhou Bay, China. *Chin. Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(7): 1245-1252.
- [6] Zhao N, Zhang W C, Sun S, Song W B, Zhang Y S, Li G M. Spatial distribution of some large tintinnids (protozoa, ciliophora, tintinnida) in Jiaozhou Bay. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(5): 468-475.
- [7] 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. *Plankton Biology and Ecology*, 2001, 48 (1): 28-34.
- [8] Xu K D, Hong H S, Song W B, Song W B, Ke L, Ma H G. Studies on tintinnine ciliates in the Taiwan Strait (Ciliophora: Tintinnina). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2001, 26(4): 454-466.
- [9] Yin G D. Three new species of *Tintinnopsis* collected from Jiaozhou Bay, China. *Journal of Shandong University*, 1957, 2: 64-69.
- [10] Nie D S, Cheng P S. Tintinnoinea of the Hainan region. *Contribution of Biology Laboratory Science Society of China, Zoological Series*, 1947, 16: 41-86.
- [11] Kofoed 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. *University California Publication Zoology*, 1929, 34: 1-403.
- [12] Putt M, Stoecker D K. An experimentally determined carbon:volume ratio for marine “oligotrichous” ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnology and Oceanography*, 1989, 34: 1097-1103.
- [13] Su Q, Huang L M, Tan Y H, Xu R L, Li T, Xu Z Z, Zhang J L, Qiu D J. Preliminary study of microzooplankton grazing and community composition in the North of South China Sea in autumn. *Marine Science Bulletin*, 2007, 9 (2): 43-53.
- [14] Gomez F. Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean. *Acta Oecologica*, 2007, 32 (2): 188-202.
- [15] Ota T, Taniguchi A. Standing crop of planktonic ciliates in the East China Sea and their potential grazing impact and contribution to nutrient regeneration. *Deep-Sea Research II*, 2003, 50: 423-442.
- [16] Zhang W C, Xu K D, Wan R J, Zhang G T, Meng T X, Wang R, Sun S, Choi J K. Spatial distribution of ciliates, copepod nauplii and eggs, *Engraulis japonicus* post-larvae and microzooplankton herbivorous activity in the Yellow Sea, China. *Aquatic Microbial Ecology*, 2002, 27: 249-259.

- [17] Zhang W C, Wang R. Short time dynamics of ciliate abundance in the Bohai Sea (China). *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2002, 20 (2) : 135-141.
- [18] Setala O, Kivi K. Planktonic ciliates in the Baltic Sea in summer: distribution, species association and estimated grazing impact. *Aquatic Microbial Ecology*, 2003, 32: 287-297.
- [19] Thompson G A, Alder V A, Boltovskoy D, Brandini F. Abundance and biogeography of tintinnids (Ciliophora) and associated microzooplankton in the Southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21(7) : 1265-1298.
- [20] Yang E J, Choi J K, Hyun J H. Seasonal variation in the community and size structure of nano — and microzooplankton in Gyeonggi Bay, Yellow Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2008 , 77: 320-330.

参考文献:

- [2] 经志友,齐义泉,华祖林. 南海北部陆架区夏季上升流数值研究. *热带海洋学报*,2008,27(3):1-8.
- [3] 乐凤凤,宁修仁. 南海北部浮游植物生物量的研究特点及影响因素. *海洋学研究*,2006,24(2):60-69.
- [4] 张武昌,王荣,王克.1997年7月—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*,2002,26 (9):20-21.
- [6] 赵楠,张武昌,孙松,宋微波,张永山,李国民. 胶州湾中大型砂壳纤毛虫的水平分布. *海洋与湖沼*,2007,38 (5) : 468-475.
- [8] 徐奎栋,洪华生,宋微波,柯林,马洪钢. 台湾海峡的砂壳纤毛虫研究(纤毛动物门:砂壳亚目). *动物分类学报*,2001 , 26(4):454-466.
- [9] 尹光德. 胶州湾砂壳纤毛虫的三个新种. *山东大学学报*,1957 , 2:64-69.