

夏季南海北部纤毛虫群落组成及其水平分布

刘华雪^{1,3}, 谭烨辉¹, 黄良民^{1,*}, 宋星宇¹, 黄建荣², 李 涛¹

(1. 中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301; 2. 中山大学生命科学学院, 广州 510275; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:在 2007 年中国科学院南海海洋研究所南海北部开放航次期间, 设计了两条纤毛虫采样断面(X 断面、Y 断面), 共 13 个站位, 涵盖了珠江冲淡水区、粤东上升流区和陆坡开阔海区, 旨在对纤毛虫的种类组成和空间分布及其影响因素进行探讨。共检出 4 纲 8 目 22 属 38 种纤毛虫, 其中种类数最多的属是砂壳目拟铃虫属(9 种), 其次是急游目急游属(5 种)。本航次中纤毛虫主要是砂壳目纤毛虫(27 种), 共鉴定出砂壳虫 15 属 27 种。纤毛虫优势种为蚤状中缢虫 *Mesodinium pulex* (18.1%), 其次是丁丁急游虫 *Strombidium tintinnodes* (9.7%), 盾形拟铃虫 *Tintinnopsis urula* (5.8%)。纤毛虫种类数和丰度从近岸向外海逐渐减少, 纤毛虫种类数与温度 ($R^2 = 0.53, P < 0.05$) 和盐度 ($R^2 = 0.43, P < 0.05$) 呈负相关, 随着温度的升高, 纤毛虫种类数逐渐降低。纤毛虫丰度与温度和盐度相关性并不明显, 这可能由于受上升流的影响, 近岸上升流高盐区存在着纤毛虫丰度较为丰富的情况。叶绿素 a 浓度与纤毛虫种类数 ($R^2 = 0.36, P < 0.05$) 和纤毛虫丰度 ($R^2 = 0.36, P < 0.05$) 呈正相关, 近岸浮游植物生物量高, 纤毛虫种类丰富, 丰度大, 叶绿素 a 沿纵断面降低, 纤毛虫种类数和丰度也降低。

关键词:南海北部; 纤毛虫; 群落组成; 水平分布

Composition and distribution of ciliates in northern South China Sea during summer

LIU Huaxue^{1,3}, TAN Yehui¹, HUANG Liangmin^{1,*}, SONG Xingyu¹, HUANG Jianrong², LI Tao¹

¹ LED and LMB, South China Sea Institute of Oceanography, China Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

² School of Life Sciences Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

³ Graduate University of China Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Two transects were designed to study the composition and distribution of ciliates in northern South China Sea during the Open Cruise of Northern South China Sea, CAS. The two transects covered the Pearl River discharge area, the eastern Guangdong upwelling area and the open seas of northern South China Sea. 38 species belonging to 22 genus ciliates were identified, 27 species of 15 genus were *Tintinnida*. 9 species belonging to *Tintinnopsis* genus were identified, followed *Strombidium* (5 species). The dominate species was *Mesodinium pulex* (18.1%), followed by *Strombidium tintinnodes* (9.7%) and *Tintinnopsis urula* (5.8%). Ciliate species number and abundance decreased from coast to offshore, which was similar to the distribution pattern of chlorophyll a. Ciliate species number showed negative relationship with salinity ($R^2 = 0.53, P < 0.05$), and negative relationship with temperature ($R^2 = 0.43, P < 0.05$), ciliate species number decreased as temperature increased. No obvious relationship was found between ciliate abundance and temperature or salinity, because high ciliate species number and abundance were found in high salinity upwelling area. Ciliate species number ($R^2 = 0.36, P < 0.05$) and abundance ($R^2 = 0.36, P < 0.05$) showed positive relationship with the concentration of chlorophyll a. The Pearl River discharge and the cold upwelling water carried sum nutrients, sustained high phytoplankton biomass, and caused high ciliate species number and abundance, while oligotrophic phenomena prevailed in the open seas of northern south china sea, so ciliate species number and abundance in the open seas were lower than the coast.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U0633007,40576052);中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-YW-213,KZCX2-YW-T001)

收稿日期:2008-11-22; **修订日期:**2010-03-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hlm@scsio.ac.cn

Key Words: northern South China Sea; ciliates; composition; distribution

纤毛虫是水生生态系统中重要的功能类群,其个体大多在 20—200 μm 之间,分布极为广泛^[1]。纤毛虫是海洋近岸及大洋水体浮游生物的重要类群,它以微型和微微型浮游生物为食,然后被大中浮游动物摄食,在微食物环中起到重要作用,影响着海洋生态系统能量传递效率^[1],进行纤毛虫的生物多样性及空间分布的研究,不仅有助于了解该类群的构成与分布,而且对深入了解微食物环的能量流动提供帮助。目前国内记录的海洋纤毛虫约 500 种^[2],该类群在我国历次海洋资源调查中均为缺项,许多生境中的纤毛虫研究仍为空白。

南海是我国四大海中最大的一个近似封闭的海域,也是西北太平洋最大的边缘海,夏季西南季风盛行,冬季东北季风盛行。南海北部海域具有及其复杂的生态特征,既有营养盐丰富和低盐度的沿岸带,也有营养盐和盐度适中的陆架以及寡营养盐和高盐度的陆坡和开阔海;既有季风和地形形成的气旋上升流,又有反气旋辐聚的下降流;既有水体层化和跃层的影响,又有光、温度、盐度、营养盐等的垂直分布的差异^[3]。

国内外学者对该南海北部的研究兴趣渐次浓厚,但关于南海北部纤毛虫的研究尚无公开报道,南海的陆架和海盆区具有贫营养性,微微型和微型浮游生物在初级生产者中占据主导地位,为了深入开展南海北部微食物环的研究,亟需对南海北部纤毛虫的分布及种群组成状况加深认识。本文根据 2007 年中国科学院南海北部开放航次的现场采样,对南海北部不同海区纤毛虫的丰度和种群组成进行了研究,探讨了夏季南海北部纤毛虫的分布特征及其环境影响因素,结果不仅为南海北部生态系统的研究提供基础资料,而且也填补南海这一研究的空白。

1 材料和方法

1.1 研究海区和采样站位

2007 年 8 月 10 日至 31 日,在北纬 18°—23.3°,东经 113°—120°范围内使用“实验三号”科学考察船进行了实验,共设计纤毛虫采样断面 2 条,13 个站位。横断面(Y 断面)沿着广东沿岸,从珠江口西侧延伸到粤东—闽南上升流区;纵断面(X 断面)垂直于岸线向外延伸至 18°N,两条断面的设置考虑了夏季珠江冲淡水 and 粤东上升流的出现,站位布置如图 1 所示。

1.2 样品分析及鉴定

温度、盐度、水深由 CTD 直接测定,叶绿素 a 水样先通过 200 μm 的筛绢过滤去除浮游动物,然后经 GF/F 滤膜过滤,滤膜吸湿后保存在 -20℃ 冰箱中,回到实验室后,将保存好的滤膜转移到装有 10 mL 90% 丙酮的离心管中,超声波振荡 15min 后,于 -20℃ 下萃取 24 h,然后使用荧光计(Tuner-10-AU)测定。

在各站点进行表层采水,取 1L 水样,用甲醛固定(终浓度 2%),置于阴暗处保存,将样品静置逐步浓缩至 50mL,然后摇匀,取样品于计数框中,使用 Olympus 光学显微镜进行计数,通过蛋白银染色的方法进行种类鉴定。种类的鉴定和分类依据参照宋微波^[5],刘瑞玉,徐奎栋^[2]及 Kofoid 等^[6-9]。

1.3 数据分析

多样性指数(H')采用 Shannon-Weaver 公式计算:

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

式中, P_i 为该站中第 i 种的个体数目与该站总个体数目的比值, S 为该站的种数。

纤毛虫与环境因素间的相关性分析使用 SPSS 软件,并使用 PRIMER5.0 软件对纤毛虫进行聚类分析。

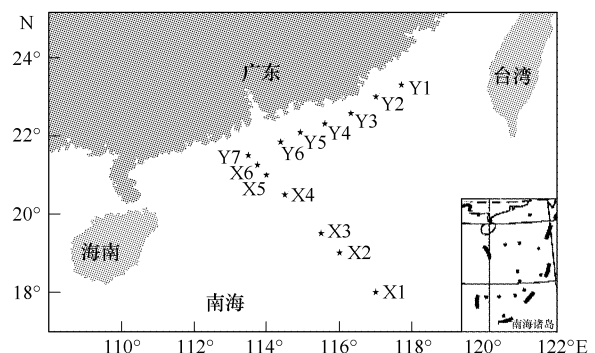


图 1 夏季南海北部纤毛虫采样站位

Fig.1 Sampling station in northern South China Sea during summer

* 图参照文献^[4]修改

2 结果

2.1 海区环境特征

由表 1 可以看出,表层温度的变化范围为 25.3—29℃,X 断面表层平均温度(28.1℃)显著高于 Y 断面(26.4℃),低温区出现在 Y₁和 Y₂,两站均位于粤东近岸,常常出现夏季粤东沿岸上升流,底层水涌生导致了表层低温区的形成。表层盐度变化范围为 30—34,X 断面表层平均温度(33.1)显著高于 Y 断面(32.1),表层低盐区出现在 Y₂,从 Y₇到 X₁,呈现显著的盐度逐渐升高的趋势。

表层叶绿素 a 浓度的变化范围为 0.08—3.73mg/m³,最大值出现在 Y₇,其次是 Y₆,X 断面表层叶绿素 a 浓度(1.05 mg/m³)显著低于 Y 断面(1.78 mg/m³)。

表 1 夏季南海北部纤毛虫站位相关环境参数

Table 1 Relevant environmental parameters of sampling station in northern South China Sea

参数 Parameters	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1
温度 Temperature /℃	29.01	29.01	29.01	29.04	26.97	26.76	26.96	27.18	27.06	26.5	26.2	25.7	25.29
盐度 Salinity	34.03	33.79	33.7	33.69	32.34	33.11	31.18	31.3	32.71	32.48	33.09	30.03	33.62
叶绿素 a Chlorophyll a / (mg/m ³)	0.08	0.14	0.15	0.24	2.62	0.37	3.73	3.54	0.67	1.47	1.15	0.92	1.01

2.2 纤毛虫种类和丰度

13 站共检出 4 纲 8 目 22 属 38 种纤毛虫(表 2),其中种类数最多的属是砂壳目拟铃虫属(9 种),其次是急游目急游属(5 种),本航次中纤毛虫主要是砂壳目纤毛虫(27 种),共鉴定出砂壳虫 15 属 27 种。纤毛虫优势种为蚤状中缢虫 *Mesodinium pulex* (18.1%),其次是丁丁急游虫 *Strombidium tintinnodes* (9.7%),盾形拟铃虫 *Tintinnopsis urula* (5.8%)。

表 2 夏季南海北部纤毛虫种类组成

Table 2 Composition of ciliates in northern South China Sea during summer

中文名 Chinese	拉丁文名 Latin	中文名 Chinese	拉丁文名 Latin
前口纲	Prostomatea	16 百乐拟铃虫	<i>Tintinnopsis beroidea</i>
前口目	Prostomatida	17 布氏拟铃虫	<i>Tintinnopsis bütschlii</i>
伪前管虫属	<i>Prorodon</i>	18 小拟铃虫	<i>Tintinnopsis minuta</i>
1 伪前管虫	<i>Prorodon teres</i>	19 东方拟铃虫	<i>Tintinnopsis orientalis</i>
前管虫目	Prorodontida	20 根突拟铃虫	<i>Tintinnopsis radix</i>
尾毛虫属	<i>Urotricha</i>	21 斯科特拟铃虫	<i>Tintinnopsis schotti</i>
2 球形尾毛虫	<i>Urotricha globosa</i>	22 妥肯丁拟铃壳虫	<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>
叶口纲	Litostoma	23 管状拟铃虫	<i>Tintinnopsis tubulosa</i>
刺钩目	Haptorida	24 盾形拟铃虫	<i>Tintinnopsis urula</i>
栉毛虫属	<i>Didinium</i>	薄铃虫属	<i>Leprotintinnus</i>
3 加冈栉毛虫	<i>Didinium gargantuan</i>	25 简单薄铃虫	<i>Leprotintinnus simple</i>
环毛目	Cyclotrichida	旋口虫属	<i>Helicostomella</i>
中缢虫属	<i>Mesodinium</i>	26 长形旋口虫	<i>Helicostomella longa</i>
4 蚤状中缢虫	<i>Mesodinium pulex</i>	类铃虫属	<i>Codonellopsis</i>
叶咽纲	Phyllopharyngea	27 奥氏类铃虫	<i>Codonellopsis ostenfeldi</i>
偏体目	Dysteriida	类瓮虫属	<i>Amphorella</i>
偏体虫属	<i>Dysteria</i>	28 尖底类瓮虫	<i>Amphorella acuta</i>
5 偏体虫	<i>Dysteria lancolata</i>	波膜虫属	<i>Undella</i>
旋毛纲	Spirotrichea	29 膨大波膜虫	<i>Undella turgida</i>
急游目	Strombidiida	原纹虫属	<i>Protorhabdonella</i>
急游属	<i>Strombidium</i>	30 缩短原纹虫	<i>Protorhabdonella curta</i>

续表

中文名 Chinese	拉丁文名 Latin	中文名 Chinese	拉丁文名 Latin
6 长氏急游虫	<i>Strombidium calkinsi</i>	31 简单原纹虫	<i>Protorhabdonella simplex</i>
7 球形急游虫	<i>Strombidium globosaneum</i>	网梯虫属	<i>Climatocylis</i>
8 丁丁急游虫	<i>Strombidium tintinnodes</i>	32 梯状网梯虫	<i>Climatocylis scalaroides</i>
9 楔尾急游虫	<i>Strombidium styloferum</i>	网膜虫属	<i>Epiplocylis</i>
10 具沟急游虫	<i>Strombidium sulcatum</i>	33 网膜虫	<i>Epiplocylis. sp</i>
砂壳目	Tintinnida	拟网膜虫属	<i>Epiplocyloides</i>
领细壳虫属	<i>Stenosemella</i>	34 网状拟网膜虫	<i>Epiplocyloides reticulata</i>
11 太平洋领细壳虫	<i>Stenosemella pacifica</i>	号角虫属	<i>Salpingella</i>
类管虫属	<i>Dadayiella</i>	35 小号角虫	<i>Salpingella minutissima</i>
12 酒杯类管虫	<i>Dadayiella ganymedes</i>	真铃虫属	<i>Eutintinnus</i>
条纹虫属	<i>Rhabdonella</i>	36 佛氏真铃虫	<i>Eutintinnus fraknoi</i>
13 变形条纹虫	<i>Rhabdonella omor</i>	37 开孔真铃虫	<i>Eutinnus inquilinus</i>
14 杯状条纹虫	<i>Rhabdonella poculum</i>	游仆目	Hypotrichida
15 三亚条纹虫	<i>Rhabdonella sanyahensis</i>	双眉虫属	<i>Diophrys</i>
拟铃虫属	<i>Tintinnopsis</i>	38 圆楯双眉虫	<i>Diophrys scutum</i>

本研究中,南海北部纤毛虫平均种类数是 7.7,横断面各站平均种类数是 10.4,纵断面各站平均种类数是 5.7(图 2),纤毛虫的丰度变化范围为 50—2425 ind·L⁻¹,最高值出现在 Y₃,最低值出现在 X₁和 X₄,南海北部纤毛虫平均丰度是 796 ind·L⁻¹,横断面平均丰度是 1257 ind·L⁻¹,纵断面平均丰度是 504 ind·L⁻¹。

夏季南海北部纤毛虫多样性指数变化范围为 1—3.24(图 2),平均值为 2.35,最高值出现在 Y₆。纵断面多样性指数平均值为 2,低于南海北部纤毛虫多样性指数;横断面纤毛虫多样性指数平均值为 2.76,高于南海北部纤毛虫多样性指数。

3 讨论

3.1 夏季南海北部纤毛虫种群组成

3.1.1 常见种及优势种

砂壳目纤毛虫又叫砂壳虫、约 2000 种,分布广泛,热带水域较多,淡水种类很少,个体小,虫体位于壳内^[2]。本研究中表层水体砂壳虫密度在 0—2175 ind·L⁻¹之间,平均为 415.4 ind·L⁻¹,种类数平均为 7.7 种,砂壳目纤毛虫优势种为长形旋口虫 *Helicostomella longa* (25%),其次是根突拟铃虫 *Tintinnopsis radix* (10.6%)。

1980—1982 年,在美国纳拉干海湾^[10]共观察到 9 属 29 种纤毛虫,砂壳目纤毛虫丰度在 10—10⁵ ind·L⁻¹之间,其中拟铃壳虫属纤毛虫种类和数量最多,且砂壳虫密度在 6℃ 以上时与温度和叶绿素 a 呈正相关;壳体的长度和直径则与温度呈负相关。1999 年,在摩洛哥到地中海东岸^[11]的大西洋 11 个采样点水样中发现,砂壳目的小号角虫 *Salpingella decurta* 和类杯虫 *Metacylis mereschkowskii* 是优势种,占到砂壳目纤毛虫总密度的 50% 以上。1994 年,在印度东南海岸的红树林水域^[12],检测到 14 属 47 种砂壳虫,其中拟铃壳虫属种类最多,有 20 种;*Tintinnopsis minuta*, *Tintinnopsis beroidea*, *Tintinnopsis mortensenii*, *Codonellopsis ostenfeldii* 和 *Favella philippinensis* 在整个研究期间都能检测到,表明他们是一些广温性和广盐性种类。

在国内,有关砂壳虫的研究也有一些报道,在胶州湾^[13],百乐拟铃虫 *Tintinnopsis brevicollis* 密度最高达到 1720 ind·L⁻¹,卡拉奇拟铃虫 *Tintinnopsis karajacensis* 的密度最高为 1020 ind·L⁻¹,在 2003 年 1 月砂壳虫最低密度为 0.05 ind·L⁻¹。1998 年,在渤海莱州湾^[14]共检测到砂壳虫 13 种,*Tintinnopsis chinglanensis* 和 *Codonellopsis ostenfeldi* 是优势种。与国内外相关研究相比,本次实验中的砂壳虫的种类组成和密度仍属正常范围。

中缢虫是一类兼性营养的纤毛虫,广泛分布在淡水湖泊、池塘、海洋中,甚至在南极 Ellis 海湾^[15],红中缢虫 *Mesodinium rubrum* 密度也能达 135 ind·L⁻¹。中缢虫是为数不多的赤潮纤毛虫种类^[16],在富营养化水域,

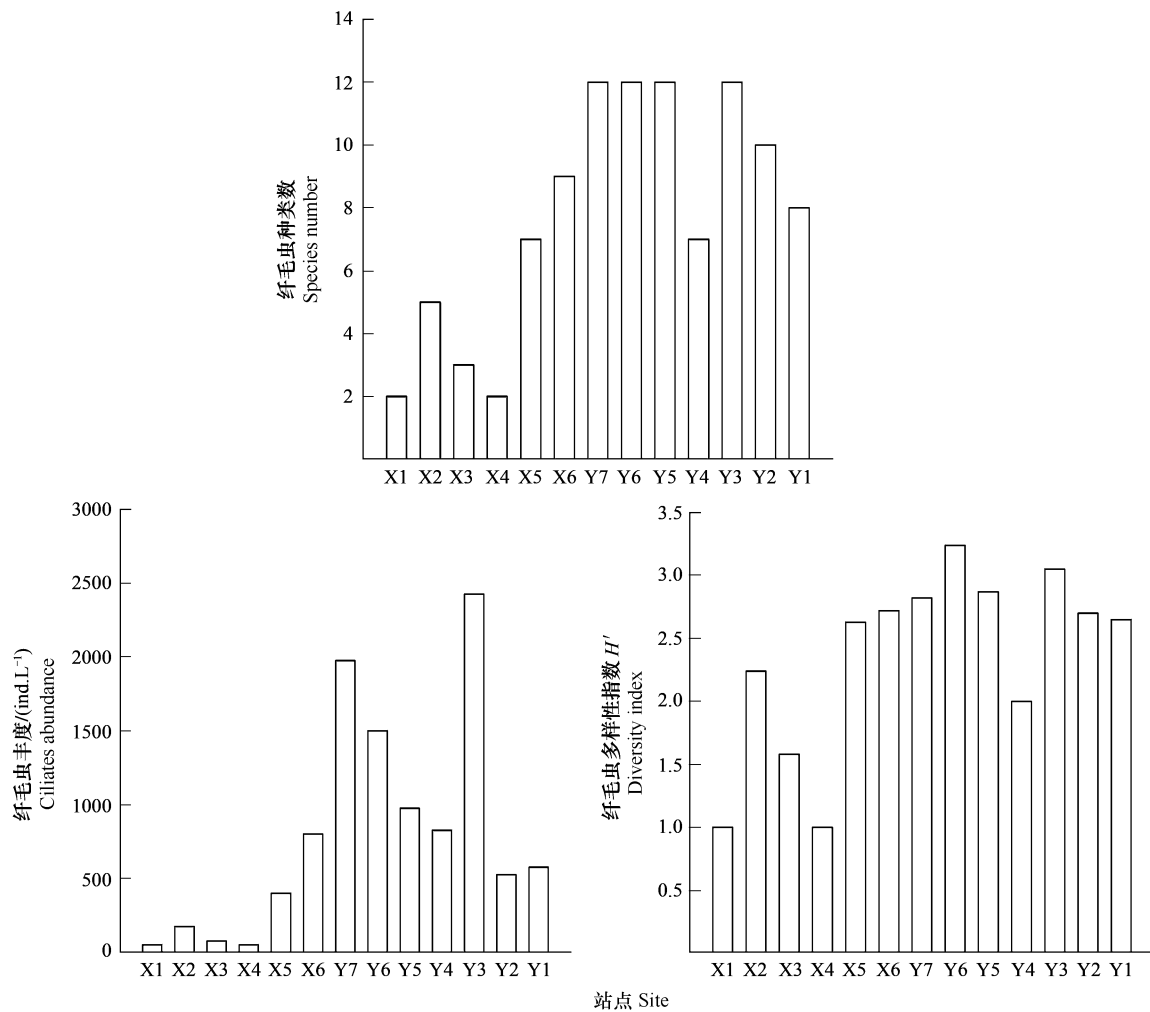


图2 夏季南海北部纤毛虫站位相关生物参数

Fig.2 Relevant biological parameters of sampling station in northern South China Sea

该类纤毛虫能在很短的时间内形成很高的密度,并引发赤潮,进而对该水域的水质和生物造成毁灭性危害,在我国长江口至嵊泗列岛附近就曾监测到中缢虫形成的赤潮。在本航次中,检测到了中缢虫属的蚤状中缢虫 *Mesodinium pulex* 出现频率为 76.9%,13 个站中仅有 Y₃、Y₄、X₃ 没有检测到,蚤状中缢虫丰度占纤毛虫总量的 18.1%。

3.1.2 纤毛虫种群结构分析

通过聚类分析能够比较明确的看出两条断面纤毛虫类群的差异性(图3),X₄ 站位与其它各站纤毛虫种群有较大不同,X₅ 与 Y₁ 两站纤毛虫种群类似,整体上 X 断面与 Y 断面纤毛虫结构具有较大的差异性,这种结论可能与两断面不同的环境特征所决定的。

3.2 夏季南海北部纤毛虫水平分布的影响因素

3.2.1 物理海洋环境对纤毛虫空间分布的影响

本次研究纤毛虫采样区域涵盖了珠江冲淡水区,粤东上升流区和陆坡开阔海区。在珠江冲淡水区和粤东上升流区存在两个纤毛虫种类和丰度的高值区,这与叶绿素 a 的分布特征具有一定的相似性,表层叶绿素 a 浓度高值位于沿岸带,由于珠江径流和冲淡水携带了较多营养盐,刺激了浮游植物的生长。Y₅、Y₆、Y₇、X₅、X₆ 这 5 个站位受珠江冲淡水影响,纤毛虫平均种类数为 10.4,平均丰度为 1130 ind·L⁻¹,高于本航次南海北部纤毛虫平均种类数和丰度。Y₁、Y₂ 受粤东上升流影响,在 Y₂ 观测到了粤东上升流现象,纤毛虫平均种类数为 9,

高于本航次南海北部纤毛虫平均种类数;平均丰度为 $550 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 低于本航次南海北部纤毛虫平均丰度。 X_1 、 X_2 位于陆坡区, 具有典型的大洋水特征, 高温高盐, 营养盐含量和叶绿素 a 浓度较低, 叶绿素 a 浓度从沿岸到外海逐渐降低。纤毛虫平均种类数为 3.5, 平均丰度为 $113 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 大大低于本航次南海北部纤毛虫平均种类数和丰度。

3.2.2 纤毛虫空间分布与环境因素间的相关性

通过相关性分析发现, 水动力特征及浮游植物生物量的影响纤毛虫的空间分布, 并具有一定的相关性(图 4)。叶绿素 a 浓度与纤毛虫种类数 ($R^2 = 0.36$, $P < 0.05$) 和纤毛虫丰度 ($R^2 = 0.36$, $P < 0.05$) 呈正相关, 从表 1 我们也可看出这种趋势, 近岸浮游植物生物量高, 纤毛虫种类丰富, 丰度大, 叶绿素 a 沿纵断面降低, 纤毛虫种类数和丰度也降低。纤毛虫种类数与温度 ($R^2 = 0.53$, $P < 0.05$) 和盐度 ($R^2 = 0.43$, $P < 0.05$) 呈负相关, 随着温度的升高, 纤毛虫种类数和丰度逐渐降低。纤毛虫丰度与温度和盐度相关性并不明显, 这可能由于受上升流的影响, 近岸上升流高盐区存在着纤毛虫丰度

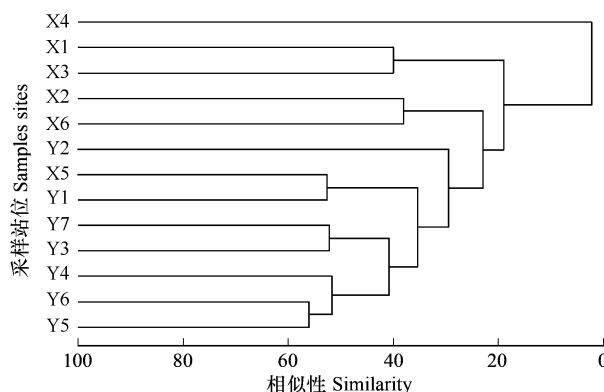


图 3 南海北部纤毛虫聚类分析结果

Fig.3 Result of the cluster analyses of ciliates in northern South China Sea

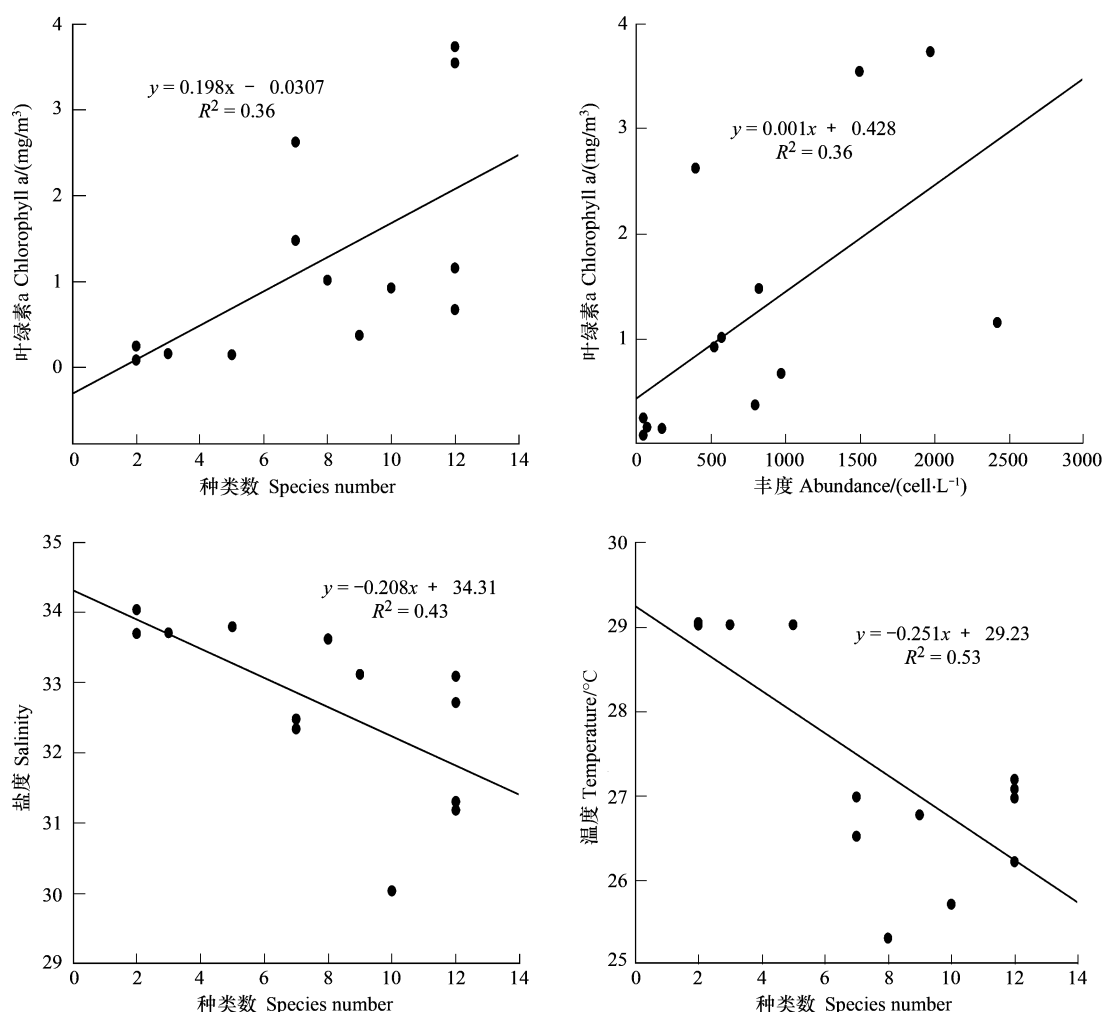


图 4 纤毛虫种类数及丰度与环境因素间的相关性

Fig.4 Correlationship between ciliates species number, abundance and environment parameters

较为丰富的情况。

4 结论

(1) 2007 年夏季在南海北部的 13 个站位中,共检出 4 纲 8 目 22 属 38 种纤毛虫,其中种类数最多的属是砂壳目拟铃虫属(9 种),其次是急游目急游属(5 种)。优势种为蚤状中缢虫 *Mesodinium pulex* (18.1%),其次是丁丁急游虫 *Strombidium tintinnodes* (9.7%),盾形拟铃虫 *Tintinnopsis urula* (5.8%)。

(2) 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,与叶绿素 a 浓度呈正相关。近岸浮游植物生物量高,纤毛虫种类丰富,丰度大,叶绿素 a 沿纵断面降低,纤毛虫种类数和丰度也降低。随着温度的升高,纤毛虫种类数和丰度逐渐降低。纤毛虫丰度与温度和盐度相关性并不明显,这可能由于受上升流的影响,近岸上升流高盐区存在着纤毛虫丰度较为丰富的情况。

References:

- [1] Dolan J R. Microphagous ciliates in mesohaline Chesapeake Bay water: estimates of growth rates and consumption by copepods. *Marine Biology*, 1991, 111: 303-309.
- [2] Liu R Y, Xu K D. Checklist of marine biota of China seas. Beijing: Science Press, 2008: 216-241.
- [3] Hao Q, Ning X R, Liu C G, Cai Y M, Le F F. satellite and in situ observations of primary production in the northern south China sea. *Acta Oceanologica*, 2007, 29(3): 58-68.
- [4] Long A M, Chen S Y, Zhou W H, Xu J R, Sun C C, Zhang F Q, Zhang J L, Xu H Z. Distribution of Macro-nutrients, Dissolved Oxygen, pH and Chl a and Their Relationships in Northern South China Sea. *Marine science bulletin*, 2006, 25(50): 9-16.
- [5] Song W B, Shi X L, Xu K D, *et al.* Progress in Protozoology. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1999.
- [6] Kofoed C A, Campbell A S. A conspectus of the marine and freshwater ciliate belonging to the suborder Tintinoinea, with descriptions of new species principally from the agassiz expedition to the eastern tropical pacific. *Univ. Calif. Pub. Zool.*, 1929: 1-403.
- [7] Kahl A. Urtiere oder Protozoa. Dahl ed. *Die Tierwelt Deutschlands*, 1935: 181-805.
- [8] Kofoed C A, Campbell A S. The ciliata: the Tintinoinea. *Bull. Mus. Comp. Zool.*, 1939: 1-473.
- [9] Carey P G. Marine Interstitial Ciliates. London: Chapman & Hall, 1992: 14-324.
- [10] Verity P G. Abundance, community composition, size distribution, and production rates of tintinnids in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 1991, 33: 137-152.
- [11] Dolan J R, Claustre H, Carloti F, Plounevez S, Moutin T. Microzooplankton diversity: relationships of tintinnid ciliates with resources, competitors and predators from the Atlantic Coast of Morocco to the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research I*, 2002, 49: 1217-1232.
- [12] Godhantaraman, N. Seasonal variations in species composition, abundance, biomass and estimated production rates of tintinnids at tropical estuarine and mangrove waters, Parangipettai, southeast coast of India. *Journal of Marine Systems*, 2002, 36: 161-171.
- [13] 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*, 468-475.
- [14] Zhang W, Wang R. Summertime ciliate and copepod nauplii distributions and micro-zooplankton herbivorous Activity in the Laizhou Bay, Bohai Sea, China. *J. Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2000, 51: 103-114.
- [15] Grey J, Laybourn-Parry J, Leakey R J G. Temporal patterns of protozooplankton abundance and their food in Ellis Fjord, Princess Elizabeth Land, Eastern Antarctica. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1997, 45: 17-25.
- [16] Song W B, Hu X Z, Wei J. Morphological and comparative studies on *Mesodinium*-red tidal ciliates in the marine biotope (protozoa, ciliophora). *China J Appl Environ Bio*, 163-167.

参考文献:

- [2] 刘瑞玉, 徐奎栋. 中国海洋生物名录——纤毛虫门. 北京: 科学出版社, 2008: 216-241.
- [3] 郝镗, 宁修仁, 刘诚刚, 蔡昱明, 乐凤凤. 南海北部初级生产力遥感反演及其环境调控机制. *海洋学报*, 2007, 29(3): 58-68.
- [4] 龙爱民, 陈绍勇, 周伟华, 徐继荣, 孙翠慈, 张凤琴, 张建林, 徐洪周. 南海北部秋季营养盐、溶解氧、pH 值和叶绿素 a 分布特征及相互关系. *海洋通报*, 2006, 25(50): 9-16.
- [5] 宋微波, 施心路, 徐奎栋, 等. 原生动植物学专论. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1999.
- [13] 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.
- [16] 宋微波, 胡晓钟, 魏军. 海洋赤潮纤毛虫-中缢虫 (*Mesodinium* spp.) 的形态学及种间比较. *应用与环境生态学报*, 1997, 3(2): 163-167.