DOI:10. 13471/j. cnki. acta. snus. 2016. 05. 016

秋季南沙群岛海域浮游纤毛虫群落与环境因子关系的初步研究*

吴凤霞[1]，黄洪辉[1,2]，谭烨辉[3]，齐占会[1]
（1. 广东省渔业生态环境重点实验室//农业部南海渔业资源开发利用重点实验室//中国水产科学研究院南海水产研究所，广东 广州 510300；
2. 南海生物资源开发与利用协同创新中心，广东 广州 510300；
3. 中国科学院南海海洋研究所，广东 广州 510301）

摘　要：根据 2013 年秋季（11 月 – 12 月）南沙群岛海域 18 个站位浮游纤毛虫和环境因子的调查资料，对浮游纤毛虫群落特征进行分析，并且探讨了影响浮游纤毛虫群落变动的主要环境因素。结果表明，共检出 17 种浮游纤毛虫，隶属于 2 目 10 属，砂壳目 Tintinnida 与寡毛目 Oligotrichida。优势种包括三亚条纹虫 *Rhabdonella sanyahensis*、锥形急游虫 *Strombidium conicum*、杆状真铃虫 *Eutintinnus stramentus*、酒瓶类铃虫 *Codonellopsis morchella*、球形急游虫 *Strombidium globosaneum*。浮游纤毛虫平均丰度为（36. 5 ± 3. 8）ind. /L（10 ~ 80 ind. /L），呈现斑块状分布，最大丰度出现在南沙群岛海域的中偏北部，其次在万安滩的东侧丰度值也较高，而在西北部、东北部和东南部的丰度值较低。浮游纤毛虫的水平分布可能与海洋环流有密切关系。此外，通过相关性分析和典范对应分析（canonical correspondence analysis，CCA）发现，南沙群岛海域浮游纤毛虫群落结构差异主要受水体营养盐水平与叶绿素 *a* 含量等环境因素的影响。

关键词：浮游纤毛虫；南沙群岛；群落结构；环境因子；多元分析
中图分类号：Q – 9　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**0529 – 6579（2016）05 – 0089 – 07

Planktonic ciliate community and its relationship with environmental factors in southern South China Sea during autumn

WU Fengxia[1], *HUANG Honghui*[1,2], *TAN Yehui*[3], *QI Zhanhui*[1]
(1. Key Laboratory of Marine Fishery Ecology Environment of Guangdong Province//Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Development and Utilization, Ministry of Agriculture//South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;
2. South China Sea Bio-Resource Exploitation and Utilization Collaborative Innovation Center, Guangzhou 510300, China;
3. South China Sea Institute of Oceanology, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Based on samples collected with CTD water sampler at a depth of 5 m from 18 sites in southern South China Sea during later autumn, 2013, species composition and abundance of planktonic ciliate and its relationship with the environment variables were investigated. A total 17 species belonging to 10

* **收稿日期：**2016 – 03 – 04
基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目（2014YD02）；农业部财政重大资助项目（NFZX2013）；广东省科技计划资助项目（2016A020222024）
作者简介：吴凤霞（1979 年生），女；**研究方向：**渔业生态与环境；**通讯作者：**黄洪辉；E-mail：huanghh@scsfri. ac. cn

genera and two orders (Tintinnida and Oligotrichida) were identified. Among them, there were five dominant species (dominance $Y \geqslant 0.02$), including *Rhabdonella sanyahensis*, *Strombidium conicum*, *Eutintinnus stramentus*, *Codonellopsis morchella*, *Strombidium globosaneum*. The mean abundance of ciliate was (36.5 ± 3.8) ind. /L (10 ~ 80 ind. /L). Ciliates abundance distribution presents a patchy distribution, and the distribution of planktonic ciliates may be closely related to ocean circulation. Canonical correspondence analysis demonstrated that the nutrient level and Chlorophyll *a* concentration were the most important factors affecting the spatial pattern of planktonic ciliate communities in southern South China Sea.

Key words: planktonic ciliate; southern South China Sea; community structure; environmental factors; multivariate analysis

海洋浮游纤毛虫是海洋微型浮游动物的主要类群之一，它们以 pico－级（0.2～2 μm）和 nano－级（2～20 μm）浮游生物为食，然后被 meso－级浮游动物和鱼类幼体摄食[1]，因而是连接微食物环和经典食物链的重要中介，在海洋生态系统的物质传递和能量流动中发挥重要的作用[2-3]。

南沙群岛海域（4°－12°N，108°－118°E）位于南海南部，是典型的热带海洋性气候。由于受地形和季风驱动，中尺度涡频发，呈多涡环流结构[4-5]，南沙群岛海域生境极其复杂，食物网组成亦比较复杂[6-7]，因而具有独特的海洋科学研究价值。目前，有关南沙群岛海域浮游植物[6]、浮游动物[7]、水动力[8-9]和渔业资源[10]等方面已有调查和研究，但关于该海域浮游纤毛虫生态的研究还比较少。因此，研究南沙群岛海域浮游纤毛虫群落结构及空间分布并探讨浮游纤毛虫群落与环境因子间的关系，既为南海南部生态系统的研究提供基础资料，也为深入了解南沙群岛海域微食物环的能量流动提供帮助。

1 材料和方法

1.1 采样站位设置和样品采集

2013 年 11 月 8 日至 12 月 8 日，搭乘“南锋号”考察船在北纬 4°－12°，东经 108°－118°范围内进行了调查，共设置 18 个站位，如图 1 所示。温度、盐度、水深由 CTD 直接测定，叶绿素 *a*（Chl*a*）水样首先通过 200 μm 筛绢过滤去除浮游动物，然后经 GF/F 滤膜过滤（用以测定 Chl*a* 质量浓度），滤膜被吸干后保存在－20 ℃ 冰箱中。分别在每个站位 5 m 水层取 5 L 水样，加 Lugol's 试剂固定（终体积分数 2%），置于阴暗处保存，用以浮游纤毛虫样品的鉴定。同时，分别取上述各站位 5 m 水层水样 200 mL，以测定分析其他水化学指标。

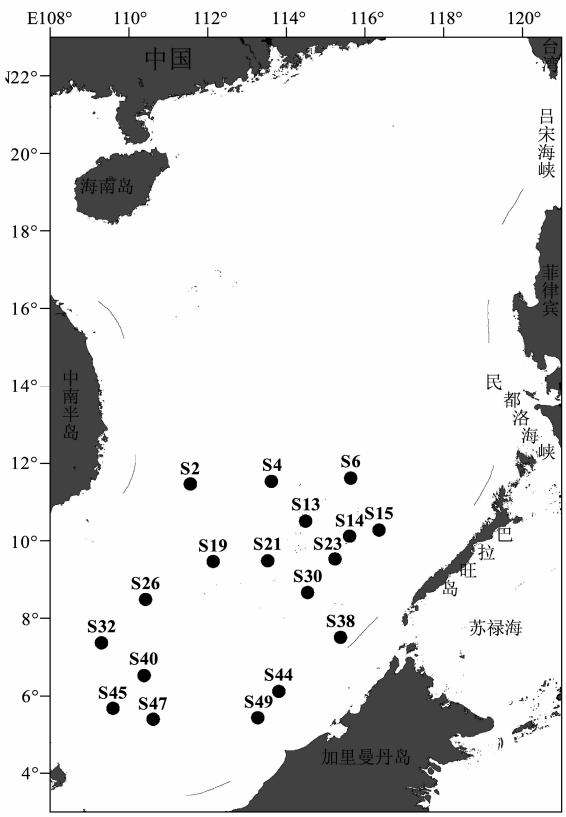

图 1 南沙群岛海域采样站位图

Fig. 1 Sampling station in southern South China Sea

1.2 样品分析与鉴定

GF/F 滤膜转移到装有 10 mL $\varphi = 90\%$ 丙酮的离心管中，超声波振荡 15 min 后，于－20 ℃下萃取 24 h，然后使用荧光计（Tuner－10－AU）测定。主要生态环境因子包括溶解氧（DO），营养盐（NO_2^-、NO_3^-、NH_4^-、PO_4^{3-}、SiO_3^{2-}）等分析均按《海洋监测规范》规定的方法进行。Lugol's 鲁格试剂固定的纤毛虫样品逐步浓缩至 10 mL，然后摇匀，取 0.1 mL 样品于计数框中，在 200×或 400×光学显微镜下进行全片计数和种类鉴定。每个样品

（10 mL）全部计数，然后换算成每升水体的个体数。种类的鉴定和分类依据参照宋微波[11]、刘瑞玉[12]、Kahl[13]、Carey[14]、Kofoid[15-16]。

1.3　数据处理与分析

浮游纤毛虫群落指数：Shannon－Winner 指数（H'），种类均匀度指数（J'），种类丰富度指数（d）（Jiang et al，2011）和优势度（Y），计算公式如下：

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i(\ln P_i)$$

$$J' = H'/\ln S$$

$$d = (S-1)/\ln N$$

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

其中 P_i 为样品中属于 i 种的丰度的比例；S 为总种类数；N 为总个体丰度；n_i 为第 i 种的丰度；f_i 为第 i 种的出现频率。优势种以 $Y \geqslant 0.02$ 为划分标准[17]。

用大型多元统计软件 PRIMER v5.0 对浮游纤毛虫的群落结构进行聚类分析（CLUSTER）及多维定标分析（MDS）；并使用 ASOSIM 模块检验各组间的相似程度；同时，采用 BIOENV 模块分析生物－环境相关性。生物因子相似性矩阵的建立采用 Bray-Curtis 相似性，浮游纤毛虫种类丰度数据转换采用 4 次方根转换[18]；环境因素相似性矩阵的建立则采用欧氏距离（Euclidean）。

在 CANOCO 4.5 软件中应用典范对应分析方法（canonical correspondence analysis，CCA）来分析浮游纤毛虫与环境因子之间的关系时，首先筛选出现频率≥3 个站位，且丰度比例≥1% 的纤毛虫种类丰度数据，以保证进入 CCA 排序的种类能反映出整个浮游纤毛虫群落的特征。其次，浮游纤毛虫种类丰度数据、环境因子数据经 lg（$x+1$）标准化转换。浮游纤毛虫与环境因素间的相关性分析使用 SPSS v20.0 软件。浮游纤毛虫丰度的平面分布分析采用 surfer 12 软件绘制。

2　结　果

2.1　环境因子

南沙群岛海域表层海水温度变化相对平稳，在 28.14～29.12 ℃之间；盐度变化范围为 31.72‰～34.62‰之间；pH 较为稳定，保持在 8.02～8.40 之间；DO 质量浓度在 6.16～6.66 mg/L，Chl*a* 质量浓度偏低，为 0.06～0.34 μg/L。无机氮盐主要包括氨态氮、硝态氮和亚硝态氮。NO_2^- 浓度为 0.01～0.18 μmol/L，NO_3^- 浓度为 0.03～0.27 μmol/L，NH_4^+ 为 0.02～2.57 μmol/L，PO_4^{3-} 浓度为 0.01～0.06 μmol/L，SiO_3^{2-} 浓度为 0.61～3.65 μmol/L（表 1）。

表 1　2013 秋末（11 月 8 日－12 月 8 日）南沙群岛海域各调查站位环境因素的变动

Table 1　Variation of environmental variables in southern South China Sea in later autumn of 2013

站位	Tem ℃	Sal ‰	pH	ρ(DO) (mg·L^{-1})	$c(NO_2^-)$	$c(NO_3^-)$	$c(NH_4^+)$	c(TIN)	$c(PO_4^{3-})$	$c(SiO_3^{2-})$	ρ(Chl*a*) (μg·L^{-1})
					(μmol·L^{-1})						
S1	28.52	32.44	8.27	6.33	0.01	0.03	0.02	0.48	0.06	1.52	0.09
S2	28.39	32.37	8.24	6.23	0.01	0.03	0.14	0.18	0.01	1.41	0.08
S3	28.83	32.59	8.36	6.55	0.05	0.05	1.35	1.45	0.01	2.43	0.12
S4	29.06	32.75	8.38	6.64	0.02	0.03	0.30	0.35	0.01	3.16	0.15
S5	28.59	32.45	8.28	6.34	0.02	0.03	0.53	0.57	0.01	1.73	0.09
S6	28.93	32.73	8.36	6.57	0.07	0.08	1.51	1.67	0.01	3.14	0.14
S7	28.69	32.47	8.28	6.40	0.03	0.03	0.56	0.61	0.01	2.03	0.10
S8	29.11	32.87	8.39	6.65	0.11	0.24	2.20	2.55	0.03	3.25	0.17
S9	28.77	32.56	8.30	6.53	0.05	0.03	1.21	1.28	0.01	2.35	0.11
S10	28.75	32.56	8.29	6.52	0.04	0.13	1.18	1.35	0.01	2.31	0.19
S11	28.70	32.54	8.29	6.41	0.04	0.03	0.68	0.74	0.01	2.19	0.11
S12	28.33	32.06	8.20	6.19	0.06	0.05	1.38	1.50	0.01	1.14	0.17
S13	28.82	32.57	8.34	6.54	0.10	0.12	1.81	2.03	0.01	2.41	0.13
S14	28.14	31.72	8.02	6.16	0.01	0.27	2.57	2.85	0.01	0.61	0.34
S15	28.87	32.65	8.36	6.56	0.01	0.02	0.03	0.06	0.01	2.93	0.11
s16	28.20	31.86	8.16	6.18	0.02	0.03	0.43	0.45	0.01	0.97	0.07
S17	28.46	32.39	8.25	6.29	0.05	0.03	1.24	1.31	0.01	1.51	0.09
S18	29.12	34.62	8.40	6.66	0.18	0.03	0.02	0.23	0.04	3.65	0.16

2.2 浮游纤毛虫组成和丰度

南沙群岛海域 18 站共检出 2 目 10 属 17 种纤毛虫（表 2），分别为寡毛目 Oligotrichida 和砂壳目 Tintinnida。其中，砂壳目种类最多，共 15 种，占总种类的 88.24%；寡毛目共 2 种，占总种类的 11.76%。同样，砂壳目类纤毛虫丰度最大，占总丰度的 80.65%，寡毛目类纤毛虫丰度占 19.35%。

浮游纤毛虫优势种共 5 种（$Y \geqslant 0.02$，表 2），依次是三亚条蚊虫 *Rhabdonella sanyahensis*、锥形急游虫 *Strombidium conicum*、杆状真铃虫 *Eutintinnus stramentus*、酒瓶类铃虫 *Codonellopsis morchella*、球形急游虫 *Strombidiumglobosaneum*。优势种的累积丰度占总丰度的 50%，全部优势种的出现频率都在 22% 以上。

表 2 2013 秋末南沙群岛海域浮游纤毛虫名录及优势种

Table 2 List of ciliate species and dominant species in southern South China Sea in later autumn of 2013

序号	浮游纤毛虫种类
1	锥形急游虫 *Strombidium conicum* *
2	球形急游虫 *Strombidium globosaneum* *
3	酒杯类管虫 *Dadayiella ganymedes*
4	佛氏真铃虫 *Eutintinnus fraknoii*
5	杆状真铃虫 *Eutintinnus stramentus* *
6	拉鲁网膜虫 *Epiplocylis sargassensis*
7	网状拟网膜虫 *Epiplocyloides reticulata*
8	简单原纹虫 *Protorhabdonella simplex*
9	布氏拟铃虫 *Tintinnopsis butschlii*
10	有角拟铃虫 *Tintinnopsis corniger*
11	根突拟铃虫 *Tintinnopsis radix*
12	拟铃虫 *Tintinnopsis sp.*
13	酒瓶类铃虫 *Codonellopsis morchella* *
14	极小原孔虫 *Proplectella perpusilla*
15	变形条纹虫 *Rhabdonella amor*
16	三亚条纹虫 *Rhabdonella sanyahensis* *
17	费瓦拟平顶虫 *Xystonellopsis favata*

* 优势种（$Y \geqslant 0.02$）

2.3 浮游纤毛虫的水平分布

南沙群岛海域的浮游纤毛虫丰度变化范围为 10 ~ 80 ind. /L，平均丰度为（36.5 ± 3.8）ind. /L，整体上呈现斑块状分布，最大丰度出现在中偏北部，其次万安滩东侧的丰度值也较高，而在西北部、东北部和东南部丰度较低（图 2，图 3a）。此外，不同站位之间纤毛虫种类数差异较大（1 ~ 5 种之间）。在中部偏北 S8、万安滩东侧的 S10、S14 站位种类最多，而种类低值区出现在 S1、S3、S4 和 S15 站（图 3b）。

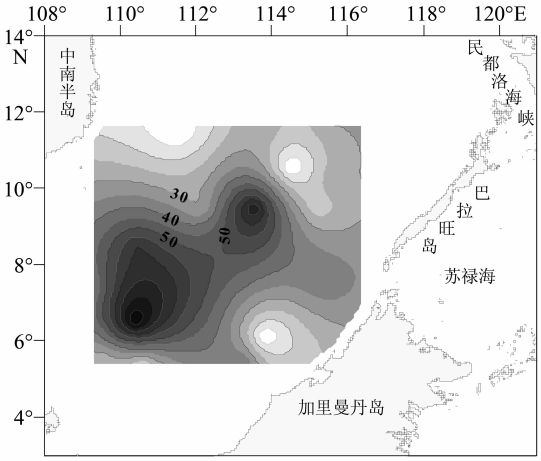

图 2 2013 年秋末南沙群岛海域浮游纤毛虫丰度水平分布图

Fig. 2 Horizontal distribution of planktonic ciliate abundance in southern South China Sea in later autumn of 2013

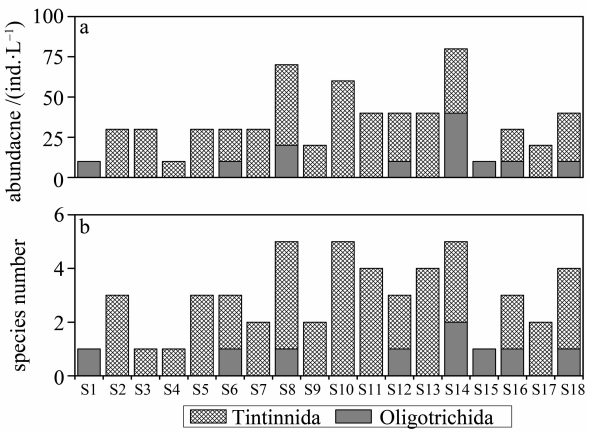

图 3 2013 年秋末南沙群岛海域浮游纤毛虫丰度（a）和种类数（b）

Fig. 3 Variation of ciliate abundance (a) and species number (b) in 18 sites of southern South China Sea in later autumn of 2013

2.4 浮游纤毛虫的群落结构

聚类分析的结果显示，南沙群岛海域 18 个站位的浮游纤毛虫样品在 20% 的相似水平上可聚为 5 组（图 4a）。第 1 组包括 S1，S6 和 S15 站位的样品，该组样品均鉴定有球形急游虫（其他站位无此纤毛虫）；第 2 组包括站位 S4 和 S14 站位的样品，该组样品均鉴定出根突拟铃虫 *Tintinnopsis ra-*

dix（其他站位无此纤毛虫）；第 3 组包括 S9、S11、S13 和 S17 站位的样品，该组样品均鉴定出变形条蚊虫 *Rhabdonella amor*（其他站位无此纤毛虫）；第 4 组包括站位 S16 和 S18 站位的样品，其鉴定有简单条纹虫 *Protorhabdonella simplex*（其他站位无此纤毛虫）；第 5 组包括站位 S2、S3、S5、S7、S8、S10 和 S12 站位的样品，三亚条纹虫是主要的贡献种。相似性分析（ANOSIM）（gloab $R = 0.763$，$p < 0.001$），表明聚类分析的各组之间有显著性差异。通过多维尺度分析（MDS）得出与聚类分析一致的结果，且分组情况同同上（图 4b）。

2.5　浮游纤毛虫群落与环境因子的关系

Spearman 相关性分析（表 3）表明纤毛虫丰富度、种类数及种类多样性指数均与 NO_3^-，Chl*a* 呈显著正相关（$p < 0.05$）。BIOENV 分析显示影响浮游纤毛虫群落空间分布的环境因子主要有 Chl*a*、NO_3^-、TIN、pH、NO_2^-、NH_4^+ 和 PO_4^{3-}（表 4）。在最匹配的 10 组变量中，Chl*a* 和 NO_3^- 的作用比较显著。

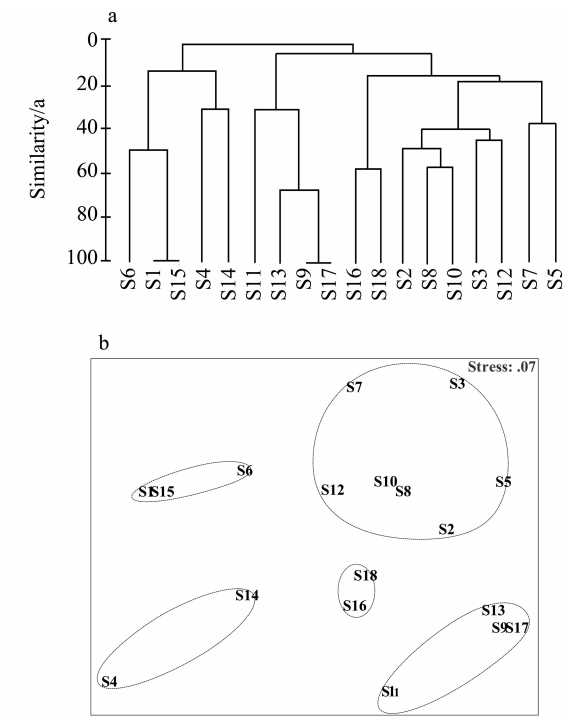

图 4　2013 年秋末南沙群岛海域 18 个站位游纤毛虫样品的聚类分析
树状图（a）和 MDS 分析图（b）

Fig. 4　Dendrogram of cluster analysis (a) and MDS plot (b) based on data of samples of 18 sites in southern South China Sea in later autumn of 2013

CCA 典范对应分析表明，第一、二轴分别解释了 24.8% 和 12.6% 的纤毛虫群落变化（图 5）。环境因子 Chl*a*、NO_3^-、TIN、NO_2^-、NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 是影响浮游纤毛虫群落变化的主要因素。S8、S10、S14 站位的 Chl*a* 质量浓度，营养水平（NO_3^-、NO_2^-、NH_4^+ 和 PO_4^{3-}）比较高，同时这些站位的浮游纤毛虫种类及丰度也相对较高。S1 和 S15 站位的营养水平（NO_3^-、NO_2^-、NH_4^+）较低，且两站位纤毛虫的丰度也相对较低。

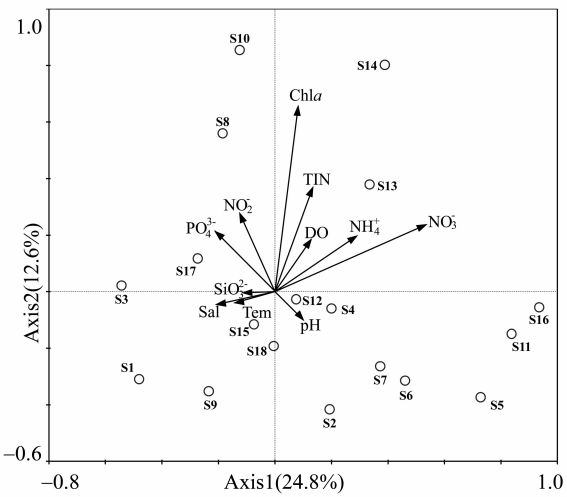

图 5　2013 年秋末南沙群岛海域浮游纤毛虫群落与环境因子关系的 CCA 二维排序图

Fig. 5　CCA two－dimensional plot showing the relationship between ciliate communities and environmental variables in southern South China Sea in later autumn of 2013

3　讨　论

3.1　浮游纤毛虫群落的水平分布

秋季南沙群岛海域浮游纤毛虫种类、丰度均是砂壳目纤毛虫占优势。一方面，由于南沙群岛海域受陆源输入和上升流的影响较小，营养盐水平和叶绿素 *a* 含量偏低，因此浮游纤毛虫丰度低于国内其它海域的结果[19－20]。

浮游纤毛虫群落结构受各种环境因子的影响，如盐度、温度、溶解氧、水动力特征、营养盐水平及食物来源等影响[21－24]。在东北季风期，浮游纤毛虫丰度高值区出现在南沙群岛海域中偏北部。该区域是一个复杂的多涡旋区域[25]，位于北南沙反气旋环流与东南沙反气旋环流之间。气旋式冷涡可引起富营养盐底层水的涌升促发了浮游植物丰度的增高[26－27]，进而浮游纤毛虫的丰度也相应较高。同样，王亮根等[28]发现浮游桡足类丰富区也位于

表 3　2013 年秋末南沙群岛海域 18 个采样站位环境变量与纤毛虫丰度（N），种类数（S），种类多样性（H'），种类均匀度（J'）和种类丰富度（d）的 Spearman 相关性分析[1)]

Table 3 Correlations (Spearman analysis) between environmental variables and ciliate abundance (N), species number (S), species diversity (H'), species evenness (J') and species richness (d) at 18 sampling sites in southern South China Sea in later autumn of 2013

	N	S	H'	J'	d
Tem	−0.126	−0.048	−0.124	−0.242	−0.060
Sal	−0.082	0.067	0.062	−0.019	0.090
pH	−0.356	−0.229	−0.258	−0.299	−0.207
DO	−0.097	−0.030	−0.133	−0.272	−0.049
NO_2^-	0.034	0.110	0.049	0.111	0.097
NO_3^-	0.524*	0.555*	0.478*	0.123	0.227
NH_4^+	0.200	0.087	0.017	0.196	0.065
TIN	0.309	0.104	0.003	0.178	0.251
PO_4^{3-}	0.111	0.234	0.236	0.142	0.105
SiO_3^{2-}	−0.139	−0.041	−0.097	−0.211	−0.045
Chl*a*	0.488*	0.465*	0.457*	−0.020	0.150

1）“*”表示显著正相关（$p<0.05$）

表 4　2013 年秋末南沙群岛海域 18 个采样站位浮游纤毛虫丰度与环境因子的 BIOENV 分析

Table 4　Summary results from BIOENV for the best matches of environmental variables with spatial variations in ciliate at 18 sampling sites in southern South China Sea in later autumn of 2013

排序	环境变量	R
1	Chl*a*	0.105
2	NO_3^-	0.093
3	pH, Chl*a*	0.091
4	NO_3^-, TIN	0.089
5	NO_2^-, NO_3^-, TIN	0.086
6	TIN	0.085
7	NO_3^-, TIN, Chl*a*	0.085
8	NO_3^-, TIN, PO_4^{3-}	0.085
9	NO_3^-, NH_4^+	0.084
10	NO_3^-, NO_2^-	0.084

两种南沙反气旋环流之间。另外，在西南部万安气旋涡附近出现丰度次高值。可见反式气旋环流之间及气旋环流与浮游纤毛虫群落分布有密切关系。

3.2　浮游纤毛虫群落与环境因子的关系

通过聚类分析和 CCA 分析方法相结合，探讨了环境因子对浮游纤毛虫群落的影响。在本研究中发现 Chl*a* 质量浓度是影响浮游纤毛虫群落的一个重要环境因子。在海洋中，浮游纤毛虫群落以异养纤毛虫为主，其丰度直接受到食物来源的影响。Wang 等[29]在对深沪湾砂壳类纤毛虫调查研究中发现，砂壳类纤毛虫的丰度与浮游植物的丰度呈显著正相关关系。同样，Uye 等[30]也发现砂壳类纤毛虫生物量与 Chl*a* 含量也呈现正相关关系。因此，食物供给是影响浮游纤毛虫群落的一个重要因素。此外，本研究还发现营养水平也显著影响浮游纤毛虫群落的分布。在南沙群岛海域，砂壳纤毛虫为主要的种类，且其全部为异养，营养盐可以通过上行效应影响砂壳纤毛虫的主要食物来源－浮游植物，从而影响浮游纤毛虫群落。Wang 等[23]对北部湾海域的研究表明，浮游纤毛虫的丰度与水层中的总氮磷营养盐含量关系密切。而 Jiang 等[19]对胶州湾纤毛虫的研究发现，纤毛虫的丰度与硝态氮（NO_3^-－N）和溶解活性磷酸盐（SRP）显著相关。另外，根据 Redfield 比值，南沙群岛海域秋冬季氮磷浓度都偏低，属于寡营养海域[31－32]，这可能也是导致纤毛虫群落受氮磷营养盐影响显著的原因之一。总之，上述研究结果都显示纤毛虫群落与水体中氮磷营养盐水平及叶 Chl*a* 含量均有着密切的关联，但这些环境因子对纤毛虫群落的影响在不同海域有所差异。

参考文献：

[1] PIERCE R W, TURNER J T. Global biogeography of marine tintinnids [J]. Marine Ecology-Progress Series, 1993, 94:11－26.

[2] AZAM F, FEBCHEL T, FIELD J G, et al. The ecological role of water-column microbes in the sea[J]. Marine Ecology-Progress Series, 1983, 10:257－263.

[3] PEREZ M T, DOLAN J R, VIDUSSI F, et al. Diel verti-

cal distribution of planktonic ciliates within the surface layer of the NW Mediterranean (May 1995)[J]. Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers, 2000, 47:479 – 503.

[4] 方文东，郭忠信，黄羽庭. 南海南部海区的环流观察研究[J]. 科学通报，1997，42(21):2264 – 2271.

[5] 管秉贤，袁耀初. 中国近海及其附近海域若干涡旋研究综述 I. 南海和台湾以东海域[J]. 海洋学报，2006，28(3):1 – 16.

[6] 宋星宇，黄良民，钱树本，等. 南沙群岛邻近海区春夏季浮游植物多样性研究[J]. 生物多样性，2002，10(3):258 – 268.

[7] 尹健强，陈清潮，张谷贤，等. 南沙群岛海区上层浮游动物种类组成与丰度的时空变化[J]. 科学通报，2006,51(增刊 II):129 – 138.

[8] 方文东. 南海南部海洋环流的结构与季节变化[D]. 青岛：中国科学院海洋研究所，2000.

[9] 刘辉，江丽芳，齐义泉，等. 南沙群岛海域混合层深度季节变化特征[J]. 海洋科学进展，2007，25(3):268 – 279.

[10] 陈文河，刘学东，卢伙胜. 南沙群岛海域鱼类群落结构的季节性变化研究[J]. 热带海洋学报，2010，29(4):118 – 124.

[11] 宋微波. 中国黄渤海的自由生纤毛虫[M]. 北京：科学出版社，2008.

[12] 刘瑞玉，徐奎栋. 中国海洋生物名录 – 纤毛虫门[M]. 北京：科学出版社，2008.

[13] KAHL A. Urtitere oder protozoa[M]. Dahl ed: Die Tierwelt Deutschlands, 1935:181 – 805.

[14] CAREY P G. Marine interstitial ciliates[M]. London: Chapman & Hall, 1992, 14 – 324.

[15] KOFOID C A, CAMPBELL A S. A conspectus of the marine and freshwater Ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific 1904 – 1905[M]. Los Angeles: University of California Publications in Zoology, 1929:1 – 403.

[16] KOFOID C A, CAMPBELL A S. The Tintinnoinea of the eastern tropic Pacific[M]. Boston: Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College, 1939:1 – 473.

[17] 徐兆礼，陈亚性. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与給势渔场的关系[J]. 生态学杂志，1989，8(4):13 – 15.

[18] 廖秀丽，陈丕茂，马胜伟，等. 大亚湾杨梅坑海域投礁前后浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 南方水产科学，2013，9(5):109 – 119.

[19] JIANG Y, XU H, HU X, et al. An approach to analyzing spatial patterns of planktonic ciliate communities for monitoring water quality in Jiaozhou Bay, northern China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, 62:227 – 235.

[20] 刘华雪，谭烨辉，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.

[21] SANDERS R W. Seasonal distributions of the photosynthesizing ciliates *Laboea strobila* and *Myrionecta rubra* (=*Mesodinium rubrum*) in an estuary of the Gulf of Maine[J]. Aquatic Microbial Ecology, 1995, 9:237 – 242.

[22] MONTAGNES D J S, LESSARD E J. Population dynamics of the marine planktonic ciliate *Strombidinopsis multiauris*: its potential to control phytoplankton blooms[J]. Aquatic Microbial Ecology, 1999, 20:167 – 181.

[23] WANG Y, ZHANG W, LIN Y, et al. Spatial pattern of the planktonic ciliate community and its relationship with the environment in spring in the northern Beibu Gulf, South China Sea[J]. Oceanological and Hydrobiological Studies, 2013, 42(4):470 – 479.

[24] 于莹，张武昌，赵楠，等. 胶州湾浮游纤毛虫丰度和生物量的周年变化[J]. 海洋与湖沼，2011，42(5):690 – 701.

[25] 黄企洲，方文东，陈荣裕. 南沙群岛海域西南季风变化与表层流结构和演变关系的探讨[J]. 热带海洋学报，2001，20(1):18 – 26.

[26] VAILLANCOURT R D, MARRA J, SCKI M P, et al. Impact of a cyclonic eddy on phytoplankton community structure and photosynthetic competency in the subtropical North photosynthetic competency in the subtropical North Pacific Ocean[J]. Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers, 2003, 50:829 – 847.

[27] 戴明，刘华雪，廖秀丽，等. 初秋南沙群岛海域网采浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学杂志，2013，24(12):3553 – 3560.

[28] 王亮，杜飞雁，李亚芳，等. 西南季风爆发前后南沙海域浮游桡足类群落特征比较研究[J]. 南方水产科学，2015，11(5):47 – 55.

[29] WANG Y, ZHANG W, LIN Y, et al. Spatial and seasonal variations of large tintinnid ciliates in Shenhu Bay of China[J]. Oceanological and Hydrobiological Studies, 2014, 43(3):292 – 302.

[30] UYE S, NAGANO N, TAMAKI H. Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of microzooplankton in the Inland Sea of Japan[J]. Journal of Oceanography, 1996, 52(6):689 – 703.

[31] REDFIELD A C. The biological control of chemical factors in the environment[J]. American Scientist, 1958, 46(3):205 – 221.

[32] 辛明，王保栋，孙霞，等. 广西近海营养盐的时空分布特征[J]. 海洋科学，2010，34(9):5 – 9.