

热带西太平洋浮游纤毛虫的垂直分布*

王超锋^{1, 2, 3} 赵 丽^{1, 2} 赵 苑^{1, 2} 李海波^{1, 2, 3} 陈 雪^{1, 2, 3}
张 珊^{1, 2} 张武昌^{1, 2} 肖 天^{1, 2}

(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 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室 青岛 266071; 3. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 于 2014 年 12 月至 2015 年 1 月在热带西太平洋沿台湾南部到雅浦海山一个断面和雅浦海山海区研究了浮游纤毛虫丰度和生物量的垂直分布。浮游纤毛虫丰度变化范围为 0—635 ind./L, 生物量范围为 0—1.53 μgC/L, 丰度和生物量高值分布于 200m 以浅, 其中, 砂壳纤毛虫丰度为 0—45 ind./L, 占总纤毛虫丰度的比例在 0—14.62% 之间。浮游纤毛虫丰度垂直分布均呈现“双峰型”模式: 在表层和叶绿素极大值层(DCM)出现高值。共鉴定出砂壳纤毛虫 33 属 76 种。雅浦海山海区优势种为纤弱细瓮虫、卢氏真铃虫、管状真铃虫、膨大波膜虫, 西太平洋海区优势种为纤弱细瓮虫、海勒斯真铃虫、酒杯类管虫、尖锐号角虫。有些种类分布在 100m 以浅, 有的种类分布在 100m 以深, 说明砂壳纤毛虫在 100m 水深左右种类发生变化。

关键词 浮游纤毛虫; 丰度; 生物量; 垂直分布; 雅浦海山; 西太平洋

中图分类号 Q958.8 **doi:** 10.11693/hyh20150900245

海洋浮游纤毛虫是一类个体微小(粒径 5—200 μm)、分布广泛的单细胞原生动物, 是海洋微型浮游动物的重要组成部分, 主要隶属于旋毛纲下的寡毛亚纲及环毛亚纲(Lynn, 2008), 包括无壳纤毛虫(张武昌等, 2015)及砂壳纤毛虫(张武昌等, 2012)两大类。纤毛虫主要摄食 pico-级(0.2—2 μm)和 nano-级(2—20 μm)浮游生物, 同时被 meso-级(200—2000 μm)浮游动物和鱼类幼体等所摄食, 是连接微食物网和经典食物链的重要中介(Azam *et al.*, 1983; Pierce *et al.*, 1992), 在海洋生态系统的物质循环和能量流动中发挥重要作用。

近年来, 深海大洋的生态系统一直受到世界各国政府、科学界和社会公众的广泛关注(Wang, 2013)。目前已经在深海大洋研究了纤毛虫丰度的垂直分布(Sohrin *et al.*, 2010), 比较了真光层和深水层的变化, 但是很少涉及真光层内丰度的变化细节。在真光层中, 除了温度和盐度等物理跃层, 叶绿素极大值层(deep

chlorophyll maximum, DCM)是常见的海洋学现象, 纤毛虫丰度和 DCM 的关系只在地中海(Dolan *et al.*, 1995)有研究, 纤毛虫丰度最大值和 DCM 是一致的。在地中海亚得里亚海(Kršinić, 1982)的研究发现不同种类砂壳纤毛虫分布的水层不同。

在 2014 年 12 月至 2015 年 1 月进行的热带西太平洋沿台湾南部到雅浦海山一断面和雅浦海山海区调查中, 我们研究了浮游纤毛虫丰度和 DCM 的关系, 用无壳纤毛虫粒级组成的方法研究群落结构的垂直变化, 并检查不同种类砂壳纤毛虫的分布水层。

1 材料与方法

于 2014 年 12 月 3 日—2015 年 1 月 8 日搭乘“科学号”调查船于雅浦海山海区(A、B 断面, 交叉于站位 A0)和西太平洋海区(D 断面)共 25 个站位(图 1, 水深范围为 315—5000m)采集浮游纤毛虫样品。各站用 CTD(Sea-Brid SBE 9)测量温度、盐度和叶绿素活体荧

* 中国科学院战略性先导科技专项, XDA11030202.2 号, XDA11030204 号。王超锋, 硕士研究生, E-mail: chn_cfwang@163.com

通讯作者: 张武昌, 研究员, E-mail: wuchangzhang@163.com

收稿日期: 2015-09-19, 收修改稿日期: 2016-01-18

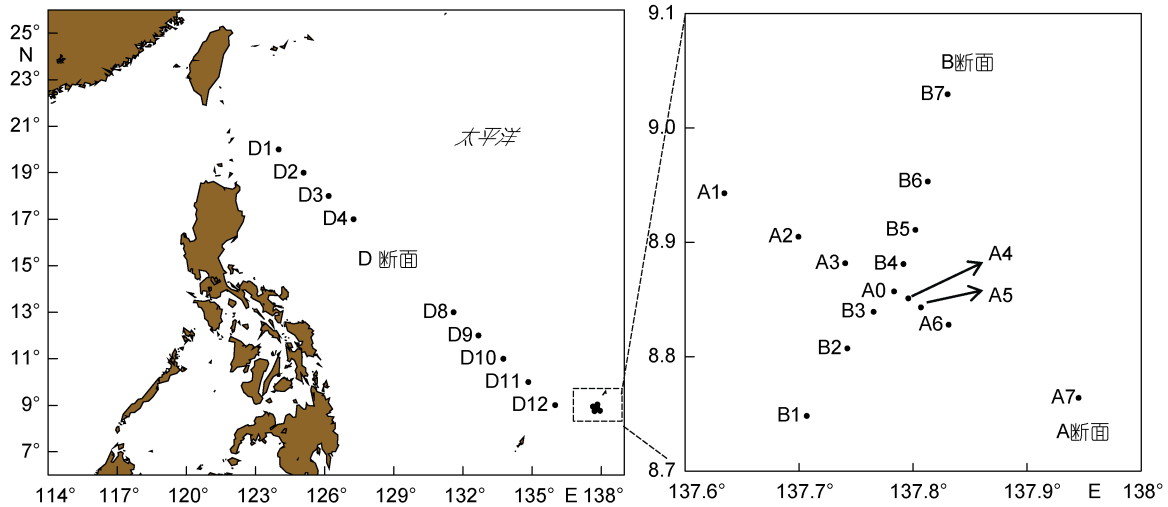


图 1 雅浦海山区(A 断面和 B 断面)和西太平洋海区(D 断面)调查站位

Fig.1 Sampling stations in the Yapu Seamount region (Transects A and B) and the oceanic region (Transect D)

光值垂直剖面, 采用 Niskin 采水器在各站分 6—13 层采集纤毛虫水样, 每层取 1L, 用 Lugol's 液(终浓度 1%)固定。样品分析按照 Utermöhl 方法(Utermöhl, 1958)进行, 沉降至少 48h 后虹吸出上清液, 最终余下约 20mL。将 20mL 水样全部放于沉降杯内沉降, 12h 后在 Olympus IX71 倒置显微镜下 100 倍或 400 倍镜检。记录无壳纤毛虫和砂壳纤毛虫的个数, 砂壳纤毛虫根据文献(张武昌等, 2012; Lynn, 2008)鉴定到种。测量浮游纤毛虫虫体的体长、体宽, 按最接近的几何形状计算体积。生物量(以碳为单位)由体积乘转换系数 $0.19\text{pgC}/\mu\text{m}^3$ (Putt *et al.*, 1989)计算得出, 无壳纤毛虫的体积直接按照肉体体积计算, 砂壳纤毛虫的体积按照壳体体积的 $1/3$ 计算。砂壳纤毛虫的优势度用公式 $Y = n_i/N_0 \times f_i$ 计算得出, 式中 Y 为优势度, n_i 为第 i 种在所有站位出现的个体数, N_0 为所有站位出现的总个体数, f_i 为第 i 种在所有站位出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时认为该种为优势种(徐兆礼等, 1989)。纤毛虫的水平分布、断面分布图采用作图软件 Surfer 8.0 和 Grapher 5.0 完成。

2 结果

2.1 雅浦海山区和西太平洋海区温度、盐度和叶绿素活体荧光值的垂直分布

雅浦海山区(A、B 断面)的表层温度范围为 $28.89\text{—}29.34^\circ\text{C}$, 西太平洋海区(D 断面)表层温度范围为 $24.49\text{—}28.95^\circ\text{C}$, 表层叶绿素活体荧光值分别为 $0\text{—}0.02$ 、 $0\text{—}0.10$ 。温度由表层至底层逐渐降低; 盐度在表层较低, 高值在 $80\text{—}120\text{m}$ 水层; 各站 DCM 处叶绿素活体荧光值范围为 $0.39\text{—}1.04$, 其中雅浦海山

海区 DCM 多在 $75\text{—}80\text{m}$, 西太平洋海区 DCM 多在 $80\text{—}130\text{m}$ (图 2)。

2.2 浮游纤毛虫丰度、生物量和群落组成

雅浦海山区和西太平洋海区浮游纤毛虫丰度为 $0\text{—}635\text{ind./L}$ (图 3), 其中雅浦海山区为 $0\text{—}470\text{ind./L}$, 西太平洋海区为 $0\text{—}635\text{ind./L}$; 生物量分布范围为 $0\text{—}1.53\mu\text{gC/L}$ (图 4), 其中雅浦海山区为 $0\text{—}0.63\mu\text{gC/L}$, 西太平洋海区为 $0\text{—}1.53\mu\text{gC/L}$, 浮游纤毛虫丰度和生物量高值大多分布于 200m 以浅。 200m 以深水层, 浮游纤毛虫丰度和生物量逐层降低, 2000m 及以深至底层几乎没有纤毛虫。

大多数纤毛虫是无壳纤毛虫, 所有站位在 $0\text{—}200\text{m}$ 各水层无壳纤毛虫丰度占总纤毛虫丰度的比例在 $85.38\%\text{—}100\%$ 。无壳纤毛虫主要是急游虫属(*Strombidium*)。没有发现中缢虫(*Mesodinium* spp.)和螺体虫(*Laboea*)。

共检出砂壳纤毛虫 33 属 76 种(表 1), 各站的砂壳纤毛虫丰度范围为 $0\text{—}4500\text{ind./100L}$ (D11 站表层)。 500m 以深没有发现砂壳纤毛虫。雅浦海山区砂壳纤毛虫为 30 属 63 种, 优势种(优势度 $Y > 0.02$)为纤弱细瓮虫($Y = 0.058$, 丰度最大值(A_{\max}) = 1100ind./100L)、卢氏真铃虫($Y = 0.051$, $A_{\max} = 500\text{ind./100L}$)、膨大波膜虫($Y = 0.039$, $A_{\max} = 300\text{ind./100L}$)和管状真铃虫($Y = 0.025$, $A_{\max} = 300\text{ind./100L}$)。

西太平洋海区为 31 属 68 种, 其中优势种为纤弱细瓮虫($Y = 0.096$, $A_{\max} = 3500\text{ind./100L}$)、酒杯类管虫($Y = 0.044$, $A_{\max} = 500\text{ind./100L}$)、尖锐号角虫($Y = 0.035$, $A_{\max} = 600\text{ind./100L}$)、海勒斯真铃虫($Y = 0.033$,

$A_{max} = 600 \text{ ind./100L}$ 等。

2.3 浮游纤毛虫垂直分布

2.3.1 浮游纤毛虫丰度垂直分布 雅浦海山区和西太平洋海区浮游纤毛虫丰度和生物量在垂直方向上的分布模式均呈现“双峰型”(图 5), 即浮游纤毛虫丰度和生物量的高值出现在表层及 DCM。各站平均各个水层的纤毛虫丰度和生物量也呈表层高和叶绿素活体荧光值最大值高(图 6)。

2.3.2 无壳纤毛虫粒级组成的垂直分布 雅浦海山区和西太平洋海区中, 在 0—200m 同水层中不同粒级无壳纤毛虫丰度分别占同水层总无壳纤毛虫丰度的百分比如图 7 所示, 10—20 μm 粒级无壳纤毛

虫所占比例随水层增加而逐渐升高, 20—30 μm 、30—40 μm 、40—50 μm 粒级无壳纤毛虫在各水层中所占比例基本稳定, 而 50—60 μm 、60—70 μm 、70—80 μm 、120—130 μm 粒级无壳纤毛虫所占比例随水层增加而逐渐降低(图 7)。

2.3.3 各种砂壳纤毛虫的分布 为了研究砂壳纤毛虫垂直分布, 把 25 个站位视为大洋区的平行样, 即在大洋每层采水 25 L。最大丰度(A_{max})超过 80 ind./100L 有 5 种, 丰度最高的是纤弱细瓮虫($A_{max} = 464 \text{ ind./100L}$), 其后依次为尖锐号角虫($A_{max} = 100 \text{ ind./100L}$)、卢氏真铃虫($A_{max} = 96 \text{ ind./100L}$)、酒杯类管虫($A_{max} = 84 \text{ ind./100L}$)、膨大波膜虫($A_{max} = 80 \text{ ind./100L}$)。

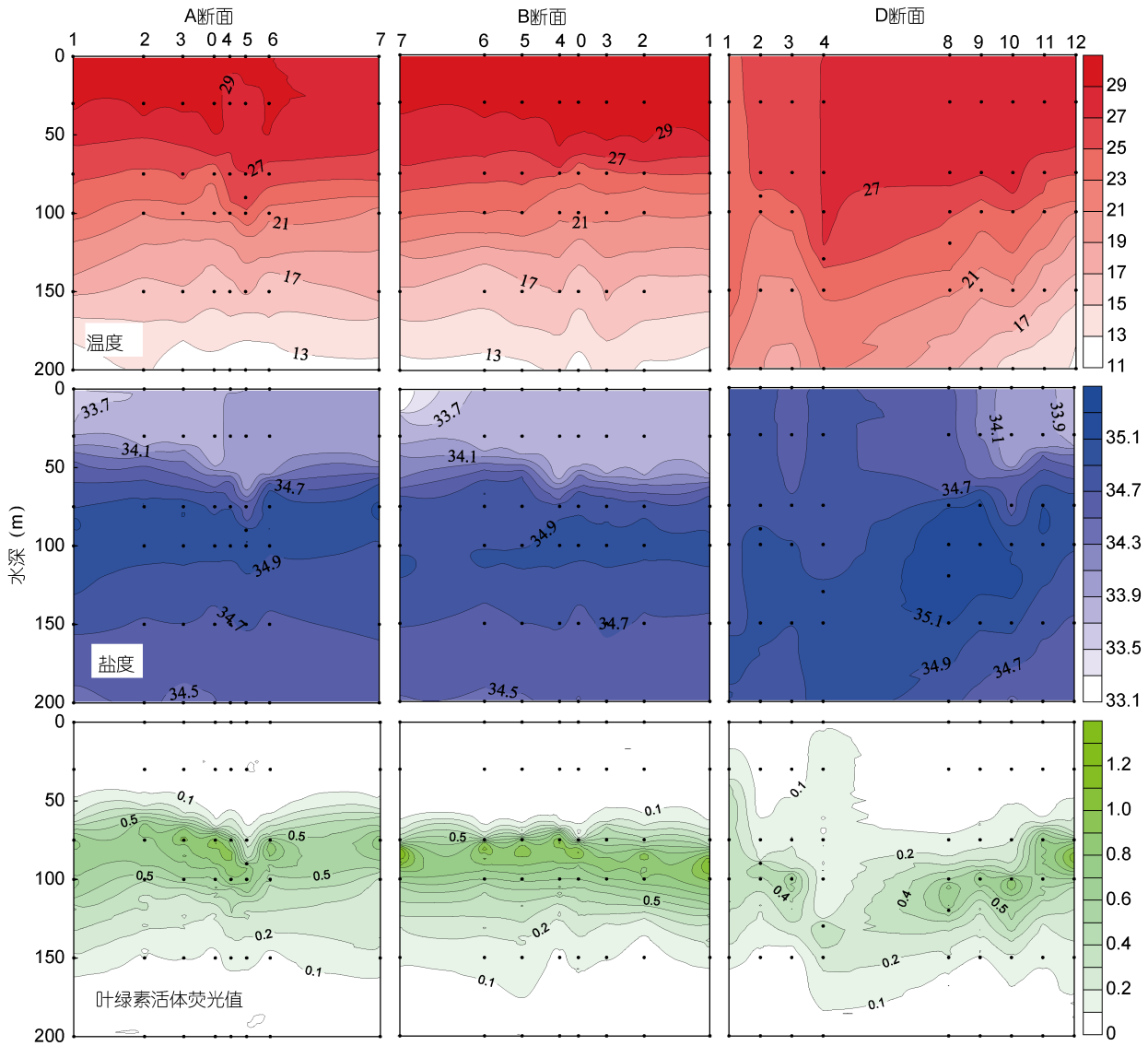


图 2 温度(°C)、盐度和叶绿素活体荧光值在 0—200 m 垂直分布

Fig.2 Vertical distribution of temperature (°C), salinity and chl a in vivo fluorescence in 0—200 m

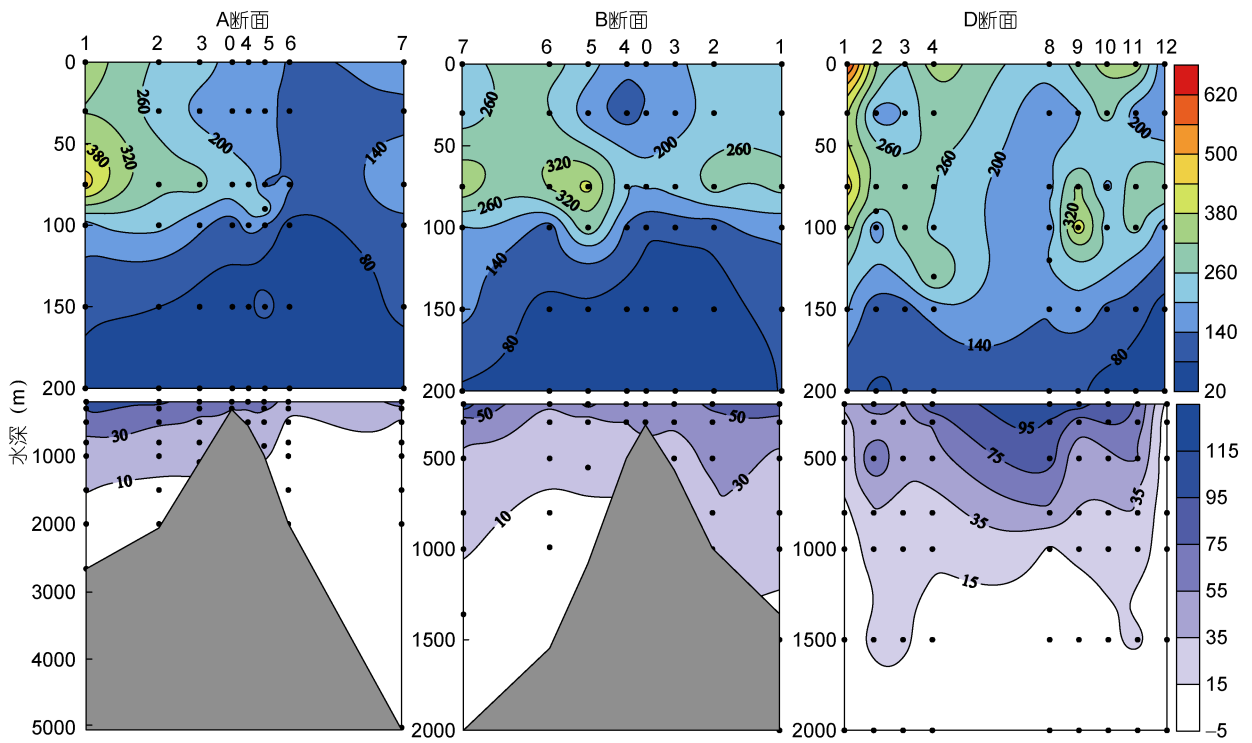


图3 纤毛虫丰度(ind./L)垂直分布

Fig.3 Vertical distribution of the ciliates abundance (ind./L)

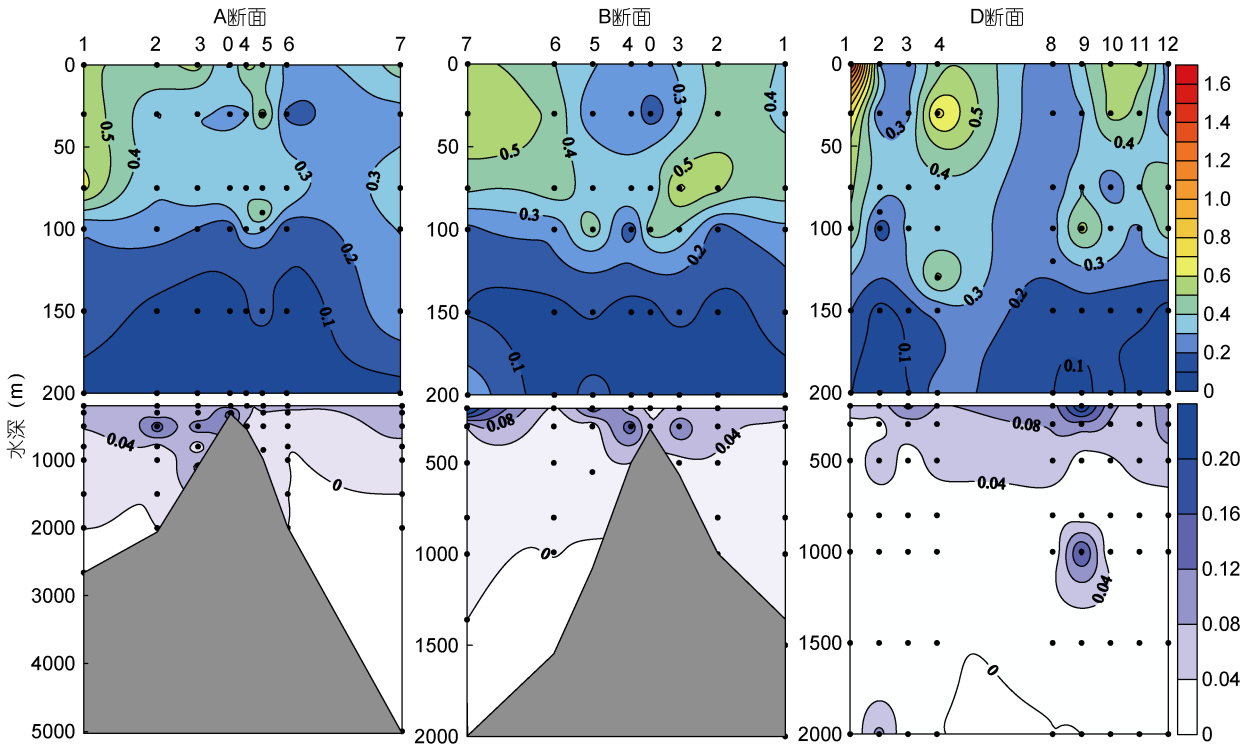


图4 纤毛虫生物量($\mu\text{gC/L}$)垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of the ciliates biomass ($\mu\text{gC/L}$)

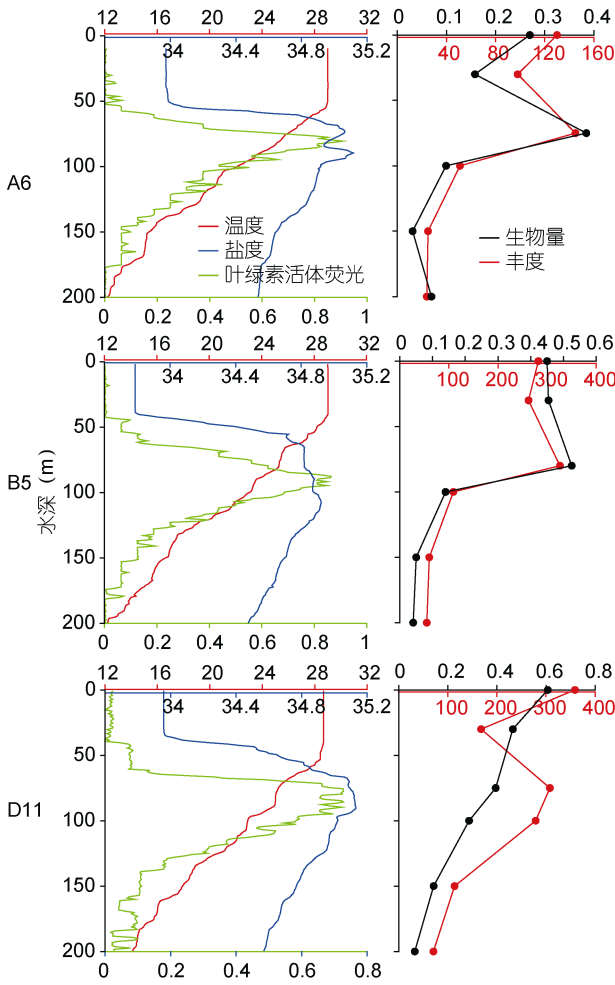


图 5 部分站位纤毛虫丰度(ind./L)、生物量(μgC/L)与温度(°C)、盐度和叶绿素活体荧光值在 0—200m 垂直分布
Fig.5 Vertical distribution of the abundance (ind./L) and the biomass (μgC/L) of ciliates in several stations with temperature (°C), salinity and chl *a* *in vivo* fluorescence in 0—200m

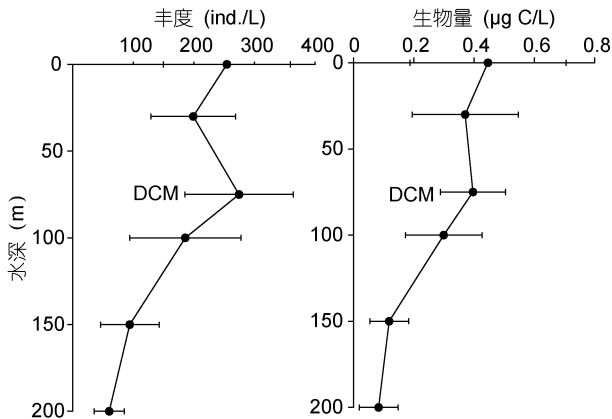


图 6 所有站位 200m 以浅各层纤毛虫丰度、生物量平均值垂直分布
Fig.6 Vertical distribution of the average abundance and biomass in every sampling layers (<200m) among all the stations.
DCM: 叶绿素极大值层

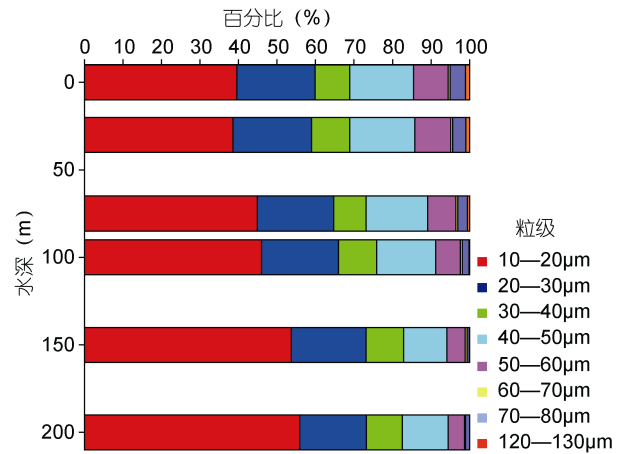


图 7 各站不同水层不同粒级无壳纤毛虫丰度在总丰度中的百分比

Fig.7 Percentage of different sized aloricate ciliate in different layers among all the stations

砂壳纤毛虫垂直分布模式可以分为 4 种: 0—100m 分布, 50—200m 分布, 100—500m, 各层均有分布。0—100m 分布的种类有 24 种砂壳纤毛虫(共 16 属)(图 8), 如热带铃壳虫、长芒孔铃虫、秀致网袋虫、尖形钟形虫、勃兰氏瓮状虫等; 50—200m 水层分布的种类有 9 种(共 9 属), 如周齿螺纹虫、钝笛杯虫、阔棘口虫等; 100—500m 水层分布的有 10 种砂壳纤毛虫(共 8 属), 如微细类铃虫、罗氏拟波膜虫、叶板类翁虫、布雷氏领砂虫、爱普汀领砂虫等仅出现在; 33 种(共 21 属)在各水层均有分布, 如秀雅网袋虫、微细波缘杯虫、小棘口虫、变形条纹虫等。

2.4 纤毛虫丰度与叶绿素活体荧光值之间的关系

DCM 到 200m 水层之间纤毛虫丰度(Y)与叶绿素活体荧光值(X)呈正相关关系, $Y = 203.53X + 157.36$ ($n=100, R^2=0.46$)。0—30m 之间纤毛虫丰度与叶绿素活体荧光值没有显著正相关关系 $Y = 134.85X + 277.74$ ($n=50, R^2= 0.02$)(图 9)。

3 讨论

3.1 纤毛虫丰度和生物量垂直分布

在雅浦海山区和西太平洋海区中, 所有纤毛虫丰度垂直分布模式均呈现“双峰型”, 即在表层和 DCM 有纤毛虫丰度的高值。大洋中浮游纤毛虫分布和 DCM 的关系研究较少, Dolan 等(1995)对地中海的 Catalan 海中 6 个站位研究发现纤毛虫的垂直分布与 DCM 成正相关关系, 表层没有纤毛虫丰度高值; Sohrin 等(2010)在太平洋沿西经 160 度从南纬 10 度到北纬 53 度的断面发现浮游纤毛虫在 DCM 没有高值。

表 1 砂壳纤毛虫种类名录
Tab.1 List of tintinnid species

学名	中文名	A_{\max}	学名	中文名	A_{\max}
<i>Amphorides brandti</i>	勃兰氏瓮状虫	16	<i>Ormosella bressloui</i>	布雷氏领砂虫	16
<i>A. gaarderae</i>	伽德翁状虫	4	<i>O. apsteini</i>	爱普汀领砂虫	8
<i>Acanthostomella lata</i>	阔棘口虫	52	<i>O. schmidti</i>	施氏领砂虫	8
<i>A. minutissima</i>	小棘口虫	56	<i>Petalotricha aperta</i>	开孔叶状虫	4
<i>Albatrossiella agassizi</i>	阿加西尖角虫	8	<i>P. major</i>	大型叶状虫	8
<i>Amphorellopsis acantharus</i>	叶板类翁虫	40	<i>Parundella aculeata</i>	棘尾拟波膜虫	16
<i>Ascampbelliella armilla</i>	镯形囊坎虫	56	<i>P. lohmanni</i>	罗氏拟波膜虫	8
<i>A. urceolata</i>	罐形囊坎虫	4	<i>Poroecus apiculatus</i>	长芒孔铃虫	8
<i>Brandtiella palliata</i>	隐藏勃兰虫	72	<i>Proplectella acuta</i>	尖底原孔虫	52
<i>Canthafiella pyramidata</i>	锥塔砂樽虫	24	<i>P. claparedei</i>	克氏原孔虫	4
<i>Codonaria oceanica</i>	大洋铃鼻虫	40	<i>P. perpusilla</i>	极小原孔虫	32
<i>Codonella amphorella</i>	翁形铃壳虫	8	<i>Protorhabdonella simplex</i>	简单原纹虫	44
<i>C. galea</i>	头盔铃壳虫	8	<i>P. striatura</i>	条纹原纹虫	16
<i>C. tropica</i>	热带铃壳虫	12	<i>Ptychocylis obtuse</i>	钝笛杯虫	4
<i>Codonellopsis americana</i>	美洲类铃虫	4	<i>Rhabdonella amor</i>	变形条纹虫	32
<i>C. parva</i>	微细类铃虫	4	<i>R. conica</i>	圆锥条纹虫	4
<i>C. robusta</i>	强壮类铃虫	48	<i>R. cornucopia</i>	尖角条纹虫	8
<i>Coxiella laciniosa</i>	周齿螺纹虫	4	<i>R. elegans</i>	优雅条纹虫	20
<i>Cymatocylis parva</i>	微细波缘杯虫	8	<i>R. exilis</i>	纤弱条纹虫	16
<i>Cyttarocylis acutiformis</i>	尖形钟形虫	20	<i>R. parvula</i>	细小条纹虫	36
<i>C. eucreyphalus</i>	宽口钟形虫	8	<i>R. poculum</i>	杯状条纹虫	8
<i>Dadayiella cuspis</i>	尖顶类管虫	4	<i>R. sanyahensis</i>	三亚条纹虫	28
<i>D. ganymedes</i>	酒杯类管虫	84	<i>Salpingacantha unguiculata</i>	有爪角口虫	44
<i>D. pachytoecus</i>	厚趾类管虫	36	<i>Salpingella acuminata</i>	尖锐号角虫	100
<i>Dictyocysta elegans</i>	秀雅网袋虫	12	<i>S. decurtata</i>	截短号角虫	36
<i>D. lepida</i>	秀致网袋虫	8	<i>S. lineata</i>	线形号角虫	48
<i>D. minor</i>	小网袋虫	12	<i>S. minutissima</i>	小号角虫	28
<i>D. spinosa</i>	棘刺网袋虫	44	<i>Steenstrupiella gracilis</i>	纤弱细瓮虫	464
<i>Epiplocylis constricta</i>	缢缩网膜虫	4	<i>S. intumescens</i>	隆状细瓮虫	72
<i>Epiplocyloides reticulata</i>	网状拟网膜虫	32	<i>S. robusta</i>	强壮细瓮虫	12
<i>Eutintinnus apertus</i>	开孔真铃虫	12	<i>S. steenstrupii</i>	斯廷细瓮虫	64
<i>E. fraknoii</i>	佛氏真铃虫	16	<i>Undella hemispherica</i>	半球波膜虫	44
<i>E. haslae</i>	海斯勒真铃虫	64	<i>U. ostensfeldi</i>	奥氏波膜虫	36
<i>E. lusus—undae</i>	卢氏真铃虫	96	<i>U. turgida</i>	膨大波膜虫	80
<i>E. pacificus</i>	太平洋真铃虫	16	<i>Xystonella treforti</i>	屈弗平顶虫	48
<i>E. stramentus</i>	杆状真铃虫	16	<i>Xystonellopsis brandti</i>	勃兰氏拟平顶虫	20
<i>E. tubulosus</i>	管状真铃虫	60	<i>X. paradoxa</i>	谬悖拟平顶虫	36
<i>Metacylis mereschkowskii</i>	梅勒类杯虫	40	<i>X. tenuirostris</i>	细嘴拟平顶虫	20

A_{\max} : 最大丰度(ind./100 L)

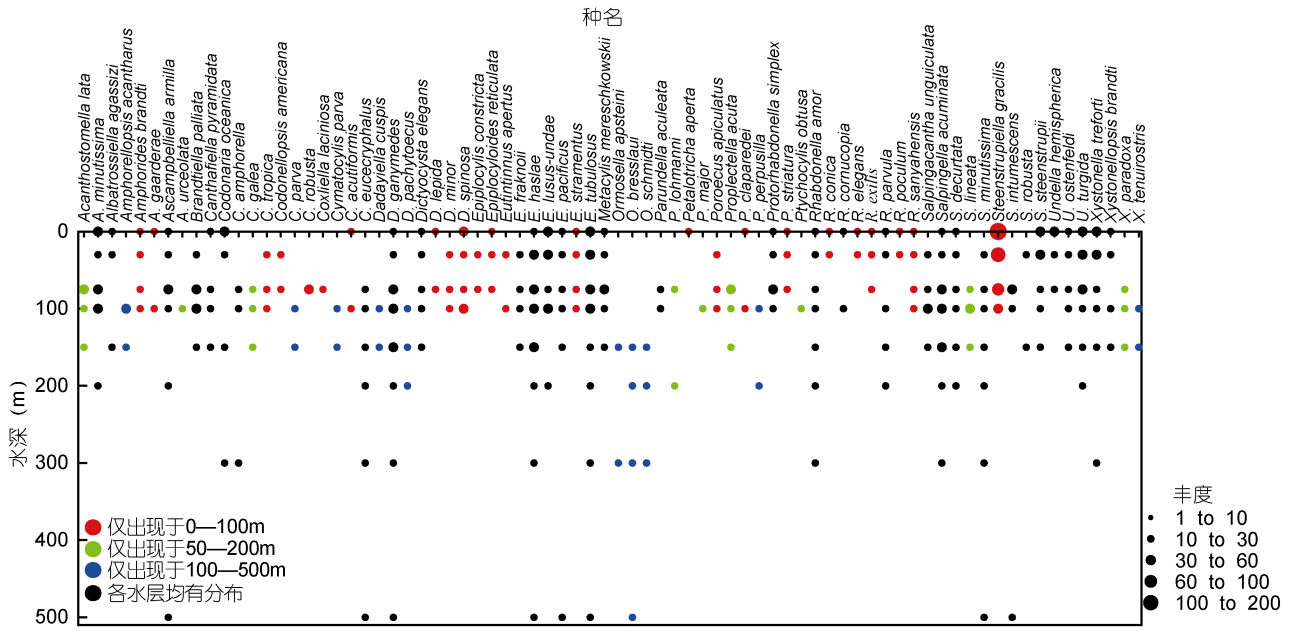


图 8 砂壳纤毛虫丰度(ind/100 L)在 0—500 m 垂直分布

Fig.8 Vertical distribution of tintinnids (ind/100 L) in 0—500 m

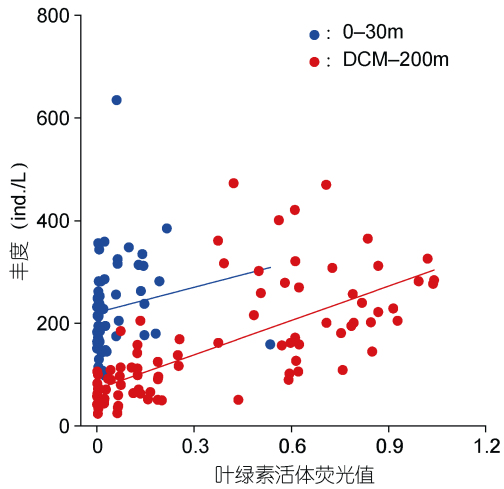


图 9 纤毛虫丰度(ind./L)与叶绿素活体荧光值的相关关系

Fig.9 The correlation between the ciliates abundance (ind./L) and the Chl a in vivo fluorescence

在 DCM, 初级生产者的大量存在可以解释作为摄食者的纤毛虫出现高丰度值。本文发现纤毛虫的丰度在表层出现高值与其他研究不同。Dolan 等(1995)把中缢虫(*Mesodinium* spp.)和螺体虫(*Laboea*)作为自养纤毛虫进行研究, 其垂直分布为表层高。本研究没有发现这两个类群。在表层叶绿素浓度很低的情况下存在纤毛虫丰度高值可能三个原因: (1) 表层的叶绿素浓度虽低, 但是初级生产力可能很高, 从而支持高浓度的纤毛虫; (2) 表层的叶绿素浓度和初级生产力都低, 但是细菌丰度高, 其生产力支持了纤毛虫高

丰度值; (3) 表层的纤毛虫营混合营养(Stoecker *et al*, 1990; Stoecker, 1991); (4) 上述两种原因都有。

查明纤毛虫在表层出现丰度高值的原因具有重要意义。自从微食物环概念提出(Azam *et al*, 1983)以来, 细菌向纤毛虫传递的能量一直被认为很小, 原因是细菌个体微小, 不能被纤毛虫摄食, 只能通过鞭毛虫作为中介, 导致营养级过多, 能量传递总效率较低。因此, Williams(1984)曾经将细菌生产比作皇帝的新装, Strom(2000)将从 DOM 向经典食物链的传递比喻为浮游生态系统的飞轮: 对系统的稳定很重要, 但是没有能量输出。如果纤毛虫丰度表层高是因为细菌生产力, 那么对细菌生产向高营养级传递能量的认识就会得到改变。

3.2 砂壳纤毛虫的垂直分布模式

本研究发现大洋砂壳纤毛虫的不同种类分布的水层不同, 有的种类仅在表层(100m 以浅)分布, 有的种类仅在深层分布(100m 以深)。对于这个结果, 首先要注意方法上的不足。由于采水的方法有检测限的问题, 所以本文中丰度为零并不一定说明这个种在这个水深没有分布, 也有可能是有分布但丰度低于检测限。在这种情况下, 丰度较高的种的垂直分布比较可信, 丰度低的种可能由于采样体积较少导致丰度低于检测限而使得结果不可信。因为砂壳纤毛虫的总丰度从表层到底层降低, 所以深层分布(100m 以深)的种的丰度较低, 因而深层分布的种的分布规律误

差较大一些。

Kršinić(1982)在亚德里亚海的研究将检出的 72 种砂壳纤毛虫垂直分布分呈 5 种类型(类群 I—V), 有 42 种仅分布在 0—100m 水层(类群 I)中, 6 种分布在 50—200m 水层(类群 II), 8 种分布于 100—600m 水层(类群 III), 2 种分布于 600m 以深水层(类群 IV), 15 种则在各水层均有分布(类群 V)。本研究结果中的砂壳纤毛虫也可以分到其中的四种类群(无类群 IV), 其中类群 I 有 24 种, 类群 II 有 9 种, 类群 III 有 10 种, 类群 V 有 33 种。而个别种如罗氏拟波膜虫, 我们将其划分为类群 II, Kršinić(1982)则将其分为类群 III, 这可能由于砂壳纤毛虫在不同海区的最适生境不同。对于 Kršinić(1982)的划分, 本研究的资料对类群 I、II、III、V 的划分比较可信, 由于深度低于 200 m 后丰度较小, 所以不能进行类群 IV 的划分。

4 结论

本研究发现在从台湾南部到雅浦海山海区的断面上浮游纤毛虫丰度的垂直分布模式为表层和 DCM 各有一个峰值; 在 0—200m 同水层中不同粒级无壳纤毛虫丰度, 10—50 μm 粒级无壳纤毛虫所占比例随水层增加而逐渐升高; 砂壳纤毛虫的垂直分布有四种模式, 有些种类分布在 100m 以浅(如热带铃壳虫、长芒孔铃虫等), 有些种类分布在 100m 以深(如微细类铃虫、罗氏拟波膜虫等), 有些种类位于 50—200m (如周齿螺纹虫、钝笛杯虫等), 有些种类则在各水层均有分布(如秀雅网袋虫、微细波缘杯虫等)。

参 考 文 献

- 张武昌, 于莹, 肖天, 2015. 海洋浮游无壳寡毛类纤毛虫图谱. 北京: 科学出版社, 1—135
- 张武昌, 丰美萍, 于莹等, 2012. 砂壳纤毛虫图谱. 北京: 科学出版社, 1—499
- 徐兆礼, 陈亚瞿, 1989. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鲶渔场的关系. 生态学杂志, 8(4): 13—15
- Azam F, Fenchel T, Field J G *et al*, 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 10: 257—263
- Dolan J R, Marrasé C, 1995. Planktonic ciliate distribution relative to a deep chlorophyll maximum: Catalan Sea, N. W. Mediterranean, June 1993. *Deep Sea Res Part I*, 42(11—12): 1965—1987
- Kršinić F, 1982. On vertical distribution of tintinnines (Ciliata, Oligotrichida, Tintinnina) in the open waters of the South Adriatic. *Mar Biol*, 68(1): 83—90
- Lynn D H, 2008. *The Ciliated Protozoa: Characterization, Classification, and Guide to the Literature*. Netherlands: Springer, 1—605
- Pierce R W, Turner J T, 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev Aquat Sci*, 6: 139—181
- Putt M, Stoecker D K, 1989. An experimentally determined carbon: volume ratio for marine “oligotrichous” ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol Oceanogr*, 34(6): 1097—1103
- Sohrin R, Imazawa M, Fukuda H *et al*, 2010. Full-depth profiles of prokaryotes, heterotrophic nanoflagellates, and ciliates along a transect from the equatorial to the subarctic central Pacific Ocean. *Deep Sea Res Part II*, 57(16): 1537—1550
- Stoecker D K, Silver M W, 1990. Replacement and aging of chloroplasts in *Strombidium Capitatum* (Ciliophora: Oligotrichida). *Mar Biol*, 107(3): 491—502
- Stoecker D K, 1991. Mixotrophy in marine planktonic ciliates: Physiological and ecological aspects of plastid-retention by oligotrichs. In: Reid P C, Turley C M, Burkill P H eds. *Protozoa and Their Roles in Marine Processes*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 161—179
- Strom S L, 2000. Bacterivory: interactions between bacteria and their grazers. In: Kirchman D L ed. *Microbial Ecology of the Oceans*. New York: Wiley-Liss, 351—386
- Utermöhl H, 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton-Methodik. *Mitt Int Ver Theor Angew Limnol*, 9: 1—38
- Wang Panxian, 2013. Oceanography from inside the ocean. *Adv Earth Sci*, 28(5): 517—520
- Williams P J L, 1984. Bacterial production in the marine food chain: the emperor's new suit of clothes?. In: Fasham M J R ed. *Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems: Theory and Practice*. New York: Plenum Press, NATO Conference Series IV: 271—299

VERTICAL DISTRIBUTION OF PLANKTONIC CILIATES IN TROPICAL WESTERN PACIFIC

WANG Chao-Feng^{1, 2, 3}, ZHAO Li^{1, 2}, ZHAO Yuan^{1, 2}, LI Hai-Bo^{1, 2, 3}, CHEN Xue^{1, 2, 3},
ZHANG Shan^{1, 2}, ZHANG Wu-Chang^{1, 2}, XIAO Tian^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory of Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract We investigated the full-depth abundance and biomass of planktonic ciliates in the Yapu Seamount area and along a transect from south Taiwan to Yapu Seamount in Western Pacific from December 2014 to January 2015. Abundance and biomass ranged from 0 to 635 ind./L, and from 0 to 1.53 $\mu\text{g C/L}$, respectively. High abundance and biomass were found in the upper 200 m. The abundance of tintinnid ranged from 0 to 45 ind./L, taking 0—14.62% of the total ciliates abundance in all stations across all layers in 0—200 m. The vertical distribution of planktonic ciliates abundance showed “bimodal-peak” pattern in this area. Ciliates abundance was high in the surface and the deep chlorophyll maximum (DCM) layers. In taxonomy, 76 tintinnid species of 33 genera were identified. The dominant species in the Yapu Seamount were *Steenstrupiella gracilis*, *Eutintinnus lusus-undae*, *Eutintinnus tubulosus*, and *Undella turgida*; and in the Western Pacific were *Steenstrupiella gracilis*, *Eutintinnus haslae*, *Dadayiella ganymedes*, and *Salpingella acuminata*. Some species occupied in waters shallower than 100 m and others in waters deeper than 100 m. Therefore, the depth 100 m was the border where tintinnid species composition changed.

Key words planktonic ciliate; abundance; biomass; vertical distribution; Yapu Seamount; Western Pacific