

# 夏季南海西部今生颗石藻<sup>\*</sup>

孙 军<sup>1</sup> 安佰正<sup>1</sup> 戴民汉<sup>2</sup> 李铁刚<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室 厦门 361005)

**摘要** 首次报道了南海西部上层水体今生颗石藻的物种组成、群落结构和分布。根据 2007 年 9 月在南海西部海域(11°—15°N, 110°—114°E)32 个站位采集的 200 m 以浅 208 个颗石藻样品在偏光显微镜下的分析结果, 研究了该海域颗石藻群落特征, 并进行了颗石藻与环境因子的典范对应分析(CCA)。调查区共发现 20 种今生颗石藻, 其优势物种为赫氏艾密里藻 *Emiliania huxleyi* (Lohmann) Hay et Mohler、大洋桥石藻 *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner、深水花球藻 *Florisphaera profunda* Okada et Honjo、纤细伞球藻 *Umbellosphaera tenuis* (Kamptner) Paasche 和艾氏桥石藻 *Gephyrocapsa ericsonii* McIntyre et Bé。本次调查中, 今生颗石藻的细胞丰度在 2.97—32960.06 cells/L 之间, 平均值为 3340.75 cells/L。整个研究海域中, 今生颗石藻的分布呈现出一定的团块分布现象, 调查区大部分站位均是赫氏艾密里藻和大洋桥石藻占有较高的相对细胞丰度, 这两种藻的分布刻画了整个今生颗石藻群落在调查区的分布, 它们多分布在 50 m 和 75 m 水层, 且集中在西北部和西南部, 水柱积分颗石藻平面分布也是如此。与以上两种藻的分布不同, 深水花球藻则多分布于 50 m 以深至 200 m, 特别是 50—75 m 水层的西北和东南部海域, 而纤细条伞球藻则多集中在调查区 25 m 水层的北部海域。

**关键词** 今生颗石藻, 南海西部, 物种组成, 分布, 赫氏艾密里藻, 大洋桥石藻

**中图分类号** P593

当今海洋碳循环研究是热点问题, 今生颗石藻(living coccolithophore)在海洋碳循环中起重要作用, 尤其是其特有的碳酸盐反向泵(carbonate counter pump)机制使得今生颗石藻在海洋碳循环中的作用更加扑朔迷离(孙军, 2007)。颗石藻(coccolithophore)是海洋重要的初级生产者之一, 在分类上属于定鞭藻门(Haptophyta)颗石藻纲(Coccolithophyceae)(Silva et al, 2007)。颗石藻产生由碳酸钙构成的外壳(颗石粒, coccolith), 颗石藻死后这些碳酸钙会沉积到海底, 颗石藻碳酸钙的生产可占现代海洋中真光层生源碳酸盐输出的 20%—80%(Baumann et al, 2004), 在海洋碳循环中扮演着重要的角色。厘清中国近海今生颗石藻分布及其碳酸盐生产过程对中国海碳循环研究起到重要作用。

中国邻近太平洋今生颗石藻的研究起步较晚, 经典的调查由 Okada 等(1973, 1975)与 Honjo 等(1974)所完成。Okada 等(1977)与 Reid(1980)详细报道了太平洋具有的今生颗石藻物种。中国海早期对颗石藻的研究, 大部分集中在对化石颗石藻或海底表层沉降物中颗石藻的分布等研究(Zhang et al, 1986; 成鑫荣, 1991; 钟石兰等, 2001; 曹奇原等, 2002; 陈芳等, 2002; Tanaka, 2003; Fernando et al, 2007; 王勇军等, 2007), 但是, 对今生颗石藻(living coccolithophore)的自然分布研究则很少, 只有日本进行过较系统的研究(Okada et al, 1975; Furuya et al, 1996; Hagino et al, 2000, 2005), 中国(包括中国台湾)(Yang et al, 2003; 孙军等, 2003a; 钟权伟, 2005<sup>1)</sup>; 乐凤凤等, 2006; 孙军等, 2007; 王俊等, 2008; 周成旭等, 2010)有过零星报道。

\* 国家自然科学基金项目, 40776093、405210003 和 90711006 号; 中国科学院知识创新重点项目, KZCX2-YW-QN205 号; 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2009CB421202 号。

通讯作者: 孙军, 博士, 研究员, E-mail: phytoplankton@163.com

1) 钟权伟, 2005. 南海北部海域钙板金藻群落的时空变异. 硕士论文, 台湾: 中山大学海洋生物研究所, 1—115

收稿日期: 2010-04-18, 收修改稿日期: 2011-03-08

### 南海颗石藻的分布情况(尤其是垂直分布情况)

至今不是十分清楚: Chen 等(1982)、Cheng(1992)、Cheng 等(1997)调查了南海北部沉积物中的古生颗石藻的物种组成, 而今生颗石藻最近的研究包括: Okada 等(1975)对南海水体中出现的颗石藻物种, Yang 等(2003)对南海北部水体的调查, 台湾中山大学海洋生物研究所钟权伟的硕士毕业论文中涉及 5 次南海北部表层水体(钟权伟, 2005<sup>1)</sup>)的调查和作者在南海北部 2 次调查结果的零星初步报道(乐凤凤等, 2006; 孙军等, 2007)。

由于今生颗石藻还没有国际统一的定量采样和样品分析方法, 本研究中作者应用国际普遍认可并较真实反映定量信息的偏光显微镜分析法(Bollmann *et al*, 2002), 首次研究了今生颗石藻在南海西部越南近岸海域的分布(特别是垂直分布), 并对其环境意义进行了探讨, 为在中国近海开展今生颗石藻的钙化作用及今生颗石藻群落对全球气候变化的响应等后续研究提供基础资料。

## 1 采样站位、取样与研究方法

### 1.1 航次调查和样品采集

调查海域位于南海西部( $11^{\circ}$ — $15^{\circ}$ N,  $110^{\circ}$ — $114^{\circ}$ E), 共设站位 32 个(图 1), 调查时间为 2007 年 8 月 15 日至 9 月 8 日。采水层次为 0 m、25 m、50 m、75 m、100 m、150 m 和 200 m。颗石藻取样方法为: 从 30 L Go-Flo 瓶取 1 L 海水装入 PE 瓶中, 加入适量弱碱性的福尔马林固定, 使甲醛终浓度为 1%—2%

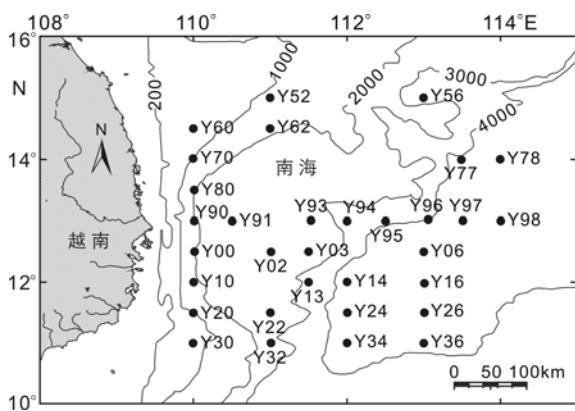


图 1 南海西部颗石藻取样站位(等深线数值单位: m)

Fig.1 Sampling stations for living coccolithophores in the western South China Sea

(Bollmann *et al*, 2002)。

### 1.2 今生颗石藻样品分析

实验室中, 取 400—800 ml 颗石藻亚样品过滤到聚碳酸酯膜上(直径 25 mm, 孔径 0.2  $\mu$ m, Millipore), 过滤压力<100 mmHg。过滤后立即用弱碱性的蒸馏水润洗滤膜以除去多余的盐分。滤膜放入事先编号的塑料培养皿中, 烘箱中 40℃下烘干。从滤膜上剪取适当大小, 用中性树胶固定到载玻片上并封片。烘箱中 60℃下烘干。颗石藻的数量统计在 Leica(DMRX)偏光显微镜 1000 $\times$ 放大倍率下进行。每样品至少检测 300 个颗石粒或 100 个颗石球(Bollmann *et al*, 2002)。优势物种使用扫描电镜 SEM 进行鉴定(Winter *et al*, 1994a), 分类鉴定依据颗石藻的形态进行(Heimdal, 1993; Jordan *et al*, 1994)。

颗石藻丰度计算公式为:

$$A = \frac{a \times S \times 1000}{N \times b \times s}$$

其中  $A$  为颗石藻细胞丰度(cells/L),  $N$  为每个玻片上统计的视野个数,  $a$  为  $N$  个视野中的颗石藻数量,  $b$  为过滤的样品体积(ml),  $S$  为滤膜有效过滤区域面积,  $s$  为偏光显微镜 1000 $\times$ 下的单个视野面积。依据每单位细胞所含颗石粒(coccolith)数量将不成颗石球(coccospHERE)的各物种颗石粒转换为细胞数量(coccospHERE cell/L), 颗石藻丰度主要依据本研究测量计数所得, 若有无法估计者则依据其他文献进行转换(Yang *et al*, 2003; 钟权伟, 2005<sup>1)</sup>)。

### 1.3 今生颗石藻群落分析

对浮游植物群落结构进行多样性指数和优势度分析, 各指数如下: 物种多样性指数的计算采用香农-威纳指数( $H'$  Shannon-Wiener index)(Shannon, 1949)

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

物种均匀度采用 Pielou 指数( $J$ )(Pielou, 1969)计算公式为:

$$J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

优势度指数( $Y$ ), 其计算公式为(孙军等, 2003b):

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

上式中:  $N$  为采集样品中所有物种的总个体数,  $S$  为样品中的物种总数,  $n_i$  为第  $i$  种的总个体数,  $P_i = n_i/N$  为

1) 钟权伟, 2005. 南海北部海域钙板金藻群落的时空变异. 硕士论文, 台湾: 中山大学海洋生物研究所, 1—115

第  $i$  种在样品中的细胞丰度概率,  $f_i$  为该种在各样品中出现的频率。

#### 1.4 今生颗石藻水柱积分生物量

今生颗石藻水柱积分生物量按下式计算:

$$A_{\text{int}} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{A_i + A_{i+1}}{2} \times (D_{i+1} - D_i)$$

其中,  $A_{\text{int}}$  为今生颗石藻水柱积分生物量( $\text{cells}/\text{m}^2$ );  $A_i$  为第  $i$  层的细胞丰度( $\text{cells}/\text{m}^3$ );  $D_i$  为第  $i$  层的采样深度(m);  $n$  为采样层数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 调查区水文环境

南海位于热带季风气候区, 夏季, 西南季风驱动中南半岛海域表层水(高温、低盐)沿岸线向东北输送(南沙西部沿岸流), 与南下的南海中西部的大陆架流(低温、高盐)相遇, 演变为东向流动(北南沙海流)。同时季风等还引起近岸水体辐散, 导致上升流及伴生的冷涡出现。冷涡中心常是高盐区域, 为带有高营养盐的底层水, 常形成高生产力区(方文东等, 1997; 薛惠洁等, 2001; 柴扉等, 2001)。

### 2.2 颗石藻群落物种组成

本次调查中颗石藻常见种有 20 种, 为大洋桥石藻(*Gephyrocapsa oceanica*), 赫氏艾密里藻(*Emiliania huxleyi*)、艾氏桥石藻(*Gephyrocapsa ericsonii*)、深水花球藻(*Florisphaera profunda*)、纤细伞球藻(*Umbellospphaera tenuis*)、艾氏桥石藻(*Gephyrocapsa ericsonii*)和美丽条结藻(*Syracospaera pulchra*)等(表 1)。赫氏艾密里藻为优势种, 其相对细胞丰度为 37.1%, 出现频率为 0.98; 大洋桥石藻为次优势种, 其相对细胞丰度为 38.4%, 出现频率为 0.93; 深水花球藻虽然也有较高的出现频率(0.88), 但其相对细胞丰度较低(4.95%)。

本次调查的优势种, 与以前的研究结果是基本一致的(表 2)。同本研究最相近的关于南海北部水体今生颗石藻的研究(Yang et al, 2001; Yang et al, 2003; Chen et al, 2007)表明, 南海北部的陆架区以大洋桥石藻和赫氏艾密里藻为优势种, 而在营养盐相对很低的海盆区则以伞球藻(*Umbellospphaera spp.*)为优势种。Winter 等(1994b)依据迄今关于今生颗石藻世界范围的调查, 将太平洋与大西洋颗石藻的分布, 依据纬

表 1 2007 年夏季南海西部今生颗石藻常见种  
Tab.1 Common living coccolithophores of the western South China Sea in summer, 2007

物种	丰度百分比(%)	出现频度	优势度
赫氏艾密里藻 <i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay et Mohler	36.782	0.97	0.35544
大洋桥石藻 <i>Gephyrocapsa oceanica</i> Kamptner	38.067	0.92	0.35139
深水花球藻 <i>Florisphaera profunda</i> Okada et Honjo	4.906	0.86	0.04198
纤细伞球藻 <i>Umbellospphaera tenuis</i> (Kamptner) Paasche	5.428	0.54	0.02949
艾氏桥石藻 <i>Gephyrocapsa ericsonii</i> McIntyre et Bé	6.558	0.33	0.02176
美丽条结藻 <i>Syracospaera pulchra</i> Lohmann	2.770	0.51	0.01412
粗壮环翼球藻 <i>Algirosphaera robusta</i> (Lohmann) Norris	3.438	0.12	0.00413
深水花球藻长变种 <i>Florisphaera profunda</i> var. <i>elongata</i> Okada et McIntyre	0.368	0.18	0.00065
细孔钙盘藻 <i>Calcidiscus leptopus</i> (Murray et Blackman) Loeblich et Tappan	0.107	0.26	0.00028
喇叭盘球藻 <i>Discosphaera tubifera</i> (Murray et Blackman) Ostenfeld	0.157	0.13	0.00020
反仔卵石藻 <i>Oolithotus antillarum</i> (Cohen) Reinhardt	0.192	0.08	0.00015
卡特旋筏球藻 <i>Helicopontosphaera carteri</i> (Wallich) Kamptner	0.073	0.20	0.00014
希布格膀球藻 <i>Umbilicosphaera sibogae</i> (Weber-van Bosse) Gaarder	0.082	0.16	0.00013
迭叶膀球藻 <i>Umbilicosphaera foliosa</i> (Kamptner ex Kleijne) Geisen	0.058	0.08	0.00005
穆氏舟管藻 <i>Calciosolenia murrayi</i> Gran	0.041	0.09	0.00004
杆形棒球藻 <i>Rhabdosphaera clavigera</i> Murray et Blackman	0.034	0.02	0.00001
轮状条结藻 <i>Syracospaera rotula</i> Okada et McIntyre	0.019	0.03	0.00001
双束杯球藻 <i>Calicasphaera disconstricta</i> Kleijne	0.038	0.00	—
盘孔筏球藻 <i>Pontosphaera discopora</i> Schiller	0.004	0.02	—
不规则伞球藻 <i>Umbellospphaera irregularis</i> Paasche	0.006	0.01	—

度划分成五大区(latitudinal zone), 分别是亚极地区(Subarctic)、温带区(Temperate)、亚热带区(Subtropical)、热带区(Tropical)和亚南极区(Subantarctic)。南海被划归亚热带区, 其特征是物种在垂直分布上多样性明显, 代表物种基本上属于全颗石藻(holococcolithophore), 如表层(0—80 m)以喇叭盘球藻(*Discosphaera tubifera*)、杆形棒球藻(*Rhabdosphaera clavigera*), 中层(80—120 m)以纤细伞球藻, 深层(120—220 m)则以四角环翼球藻(*Algirosphaera quadricornu*)、深水花球藻、脆卵石藻(*Oolithotus fragilis*)、扇形剑石藻(*Gladiolithus flabellatus = Thorosphaera flabellata*)为主, 还有一些非分层出现的物种, 如旋球藻(*Helicosphaera spp.*)和条结藻(*Syracosphaera spp.*)。表 2 中所示赫氏艾密里藻和大洋桥石藻是南海主要的今生颗石藻物种, 而这两个物种确恰恰又没出现在 Winter 等(1994b)所列亚热带代表物种中, 所以南海北部颗石藻具有独特的生理生态

习性, 这可能和南海是个相对封闭的边缘海有关。因此对南海颗石藻物种组成和丰度的时空分布, 特别是垂直分布, 以及这些关键物种的生长和钙化作用具有重要意义。

为方便比较, 将各站位今生颗石藻进行水柱积分(0—200 m), 其物种百分比组成如图 2。由图 2 可见, 赫氏艾密里藻和大洋桥石藻是普遍存在的优势类群, 而深水花球藻则在调查区东北部的 Y77、Y97 和 Y98 站位上占优, 另外两个物种纤细伞球藻和艾氏桥石藻则在调查区西南部上升流以外的区域普遍存在。还有一种常见种——美丽条结藻也普遍存在, 但是细胞丰度在整个今生颗石藻群落中比例不大。

### 2.3 颗石藻细胞丰度分布

**2.3.1 不同水层分布** 调查区各站各采样水层今生颗石藻与优势种赫氏艾密里藻、大洋桥石藻、深水花球藻和纤细伞球藻的细胞丰度分别见图 3—7。

表 2 南海颗石藻群集历史资料的比较

Tab.2 Comparison for historical data of coccolithophores assemblage in the South China Sea

采样时间	样品	观测方法	优势种	调查区域	文献资料
2007 年夏季	水体	偏光	<i>E. huxleyi</i> , <i>G. oceanica</i> , <i>F. profunda</i>	南海西部	本研究
1969 年 6 月	水体	偏光	<i>G. oceanica</i>	南海南部	Okada <i>et al</i> , 1975
1991 年	沉积物	偏光	<i>E. huxleyi</i> , <i>F. profunda</i> , <i>G. oceanica</i>	南海中、北部	成鑫荣, 1991
1996 年 3 月	水体	SEM	<i>E. huxleyi</i> , <i>G. oceanica</i> , <i>U. spp.</i>	南海东北部和中部	Yang <i>et al</i> , 2003
1996 年夏季	水体	SEM	<i>E. huxleyi</i> , <i>P. vandelii</i> , <i>U. spp.</i>	台湾东北部	Yang <i>et al</i> , 2001
1998 年	沉积物	偏光	<i>E. huxleyi</i> , <i>F. profunda</i> , <i>G. oceanica</i>	南海西部	Fernando, 2007
2002 年	沉积物	偏光	<i>E. huxleyi</i> , <i>F. profunda</i> , <i>G. oceanica</i>	3°—18°N, 108°—15°E	陈芳等, 2002
2002 年	水体	SEM	<i>E. huxleyi</i> , <i>G. oceanica</i> , <i>G. ericsonii</i>	南海北部	Chen <i>et al</i> , 2007
2007 年	沉积物	偏光	<i>E. huxleyi</i> , <i>F. profunda</i> , <i>G. oceanica</i>	整个南海海域	王勇军等, 2007

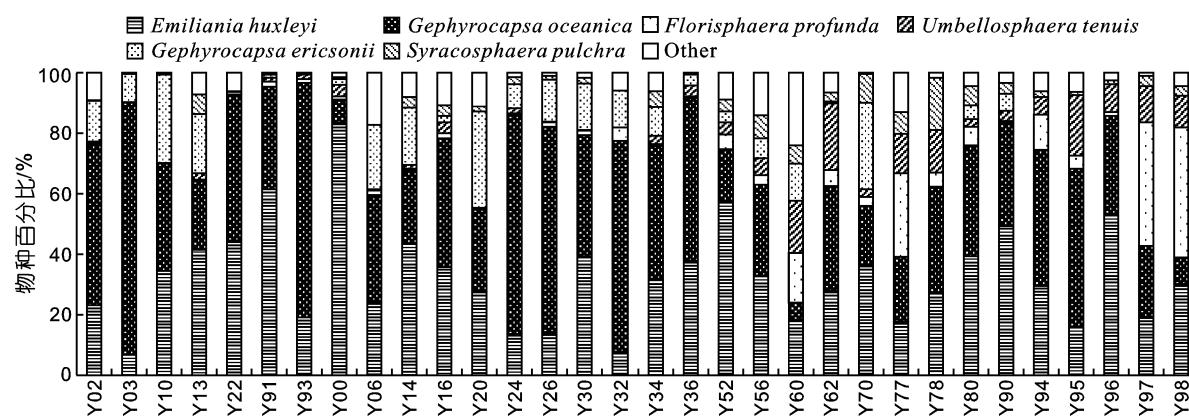


图 2 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅今生颗石藻物种组成

Fig.2 Species composition of living coccolithophores in upper water (<200 m depth) in the western South China Sea in summer, 2007

本次调查中, 今生颗石藻的细胞丰度在 2.97—32960.06 cells/L 之间, 平均值为 3340.75 cells/L。赫氏艾密里藻的细胞丰度在 2.96—11046.79 cells/L 之间, 平均值为 1251.63 cells/L。大洋桥石藻的细胞丰度在 3.46—16223.65 cells/L 之间, 平均值为 1358.15 cells/L。深水花球藻的细胞丰度在 0.44—5163.11 cells/L 之间, 平均值为 190.09 cells/L。细条伞球藻的细胞丰度在 4.21—7141.58 cells/L 之间, 平均值为 334.58 cells/L。优势种的丰度如下: 调查区赫氏艾密里藻(图 4)和大洋桥石藻(图 5)分布范围和趋势基本相似, 多分布在 50 m 和 75 m 水层, 且集中在西北部和西南部, 水柱积分颗石藻平面分布也是如此。调查区大部分站位均是赫氏艾密里藻和大洋桥石藻占有较

高的相对细胞丰度, 这两种藻的分布刻画了整个今生颗石藻群落在调查区的分布(图 3)。与以上两种藻的分布不同, 深水花球藻则多分布于 50 m 以深至 200 m, 特别是 50—75 m 水层的西北和东南部海域(图 6), 而细条伞球藻则多集中在调查区 25 m 水层的北部海域(图 7)。

整个研究海域中, 今生颗石藻的分布呈现出一定的团块分布现象, 这可能是颗石藻分布不仅受到营养盐等环境因子的影响, 还受到西南部湄公河、西南部南沙西部沿岸流和东南部北南沙海流两支流系以及中北部上升流冷涡边缘混合作用的影响。受南沙西部沿岸流影响, 西南部 75 m 深度和底层都有颗石藻细胞丰度高值区出现, 这主要是赫氏艾密里藻和

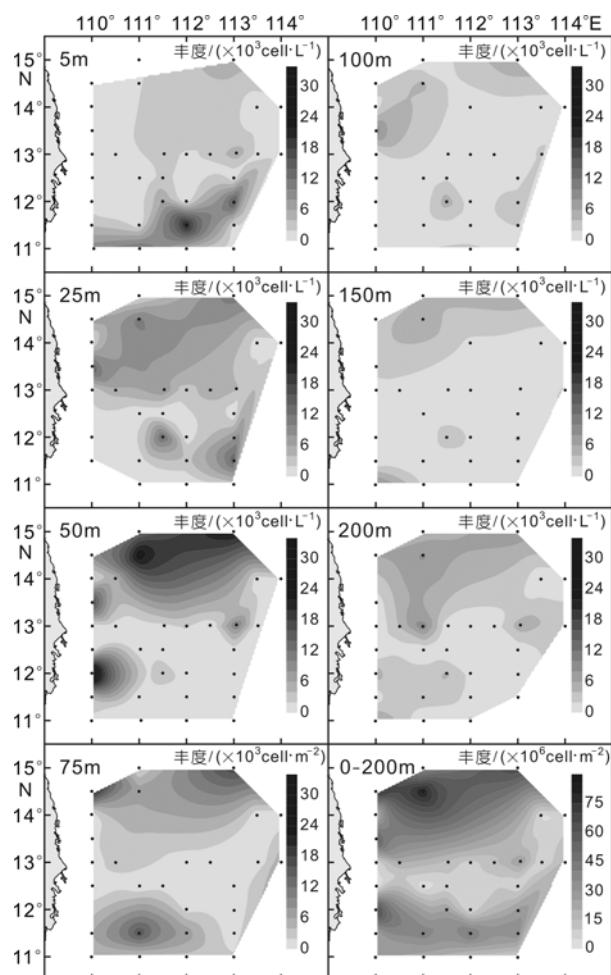


图 3 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅各水层今生颗石藻平面分布

Fig.3 Horizontal distribution of living coccolithophores at different water depth layer (<200 m) in the western South China Sea in summer, 2007

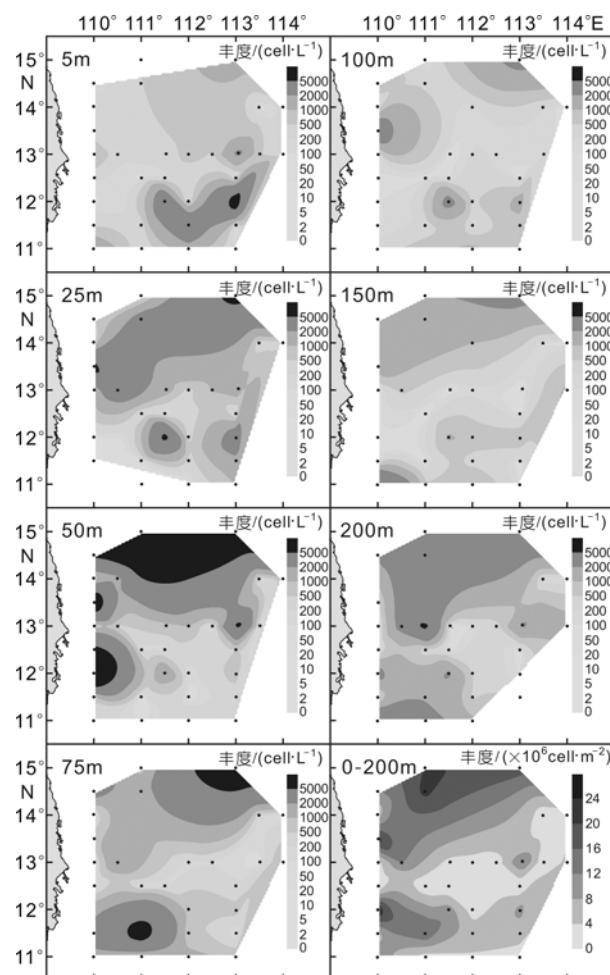


图 4 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅各水层赫氏艾密里藻平面分布

Fig.4 Horizontal distribution of *Emiliania huxleyi* at different water depth layer (<200 m) in the western South China Sea in summer, 2007

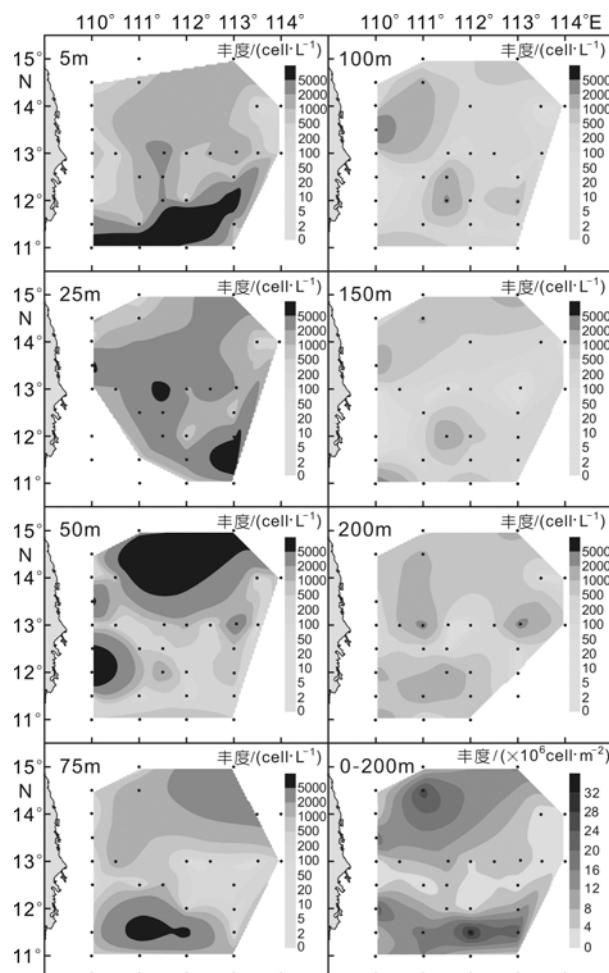


图 5 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅各水层大洋桥石藻平面分布

Fig.5 Horizontal distribution of *Gephyrocapsa oceanica* at different water depth layer (<200 m) in the western South China Sea in summer, 2007

大洋桥石藻的贡献(图 4、图 5);而在受其影响稍弱的北部外海区域则颗石藻主要分布在近表层水体中。

**2.3.2 南海西部今生颗石藻常见种垂直分布** 调查区水体中今生颗石藻各优势物种的垂直分布如图 8。赫氏艾密里藻(图 8a)、深水花球藻(图 8c)和艾氏桥石藻(图 8e)多分布在 75 m 水层, 更多呈现萌生种类的特性, 特别是深水花球藻基本上分布在 75 m 以深水体。而大洋桥石藻(图 8b)和纤细伞球藻(图 8d)则多分布在 25 m 水层, 为阳生物种, 美丽条结藻(图 8f)的垂直分布介于这两类物种之间, 多分布在 50 m 水层。另外, 图 8 中各物种在 200 m 水层略有升高, 这估计是由于作者在计算时将颗石粒折算为颗石球, 高估了沉降到 200 m 的死亡并破碎了的颗石藻丰度。

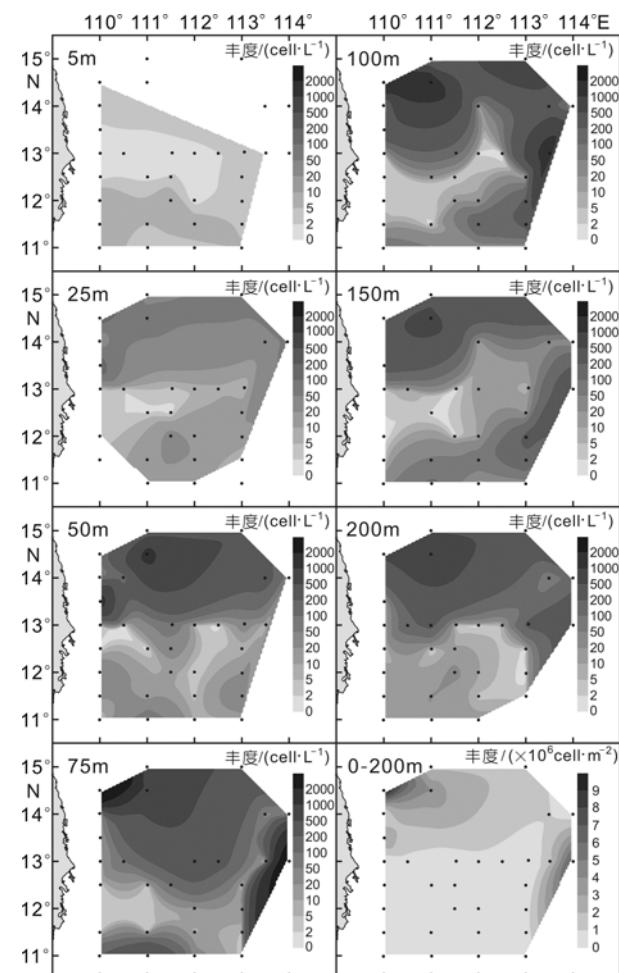


图 6 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅各水层深水花球藻平面分布

Fig.6 Horizontal distribution of *Florisphaera profunda* at different water depth layer (<200 m) in the western South China Sea in summer, 2007

深水花球藻在本次调查中有着高的出现频率和相对低的细胞丰度。成鑫荣(1991)和陈芳等(2002)的研究认为深水花球藻有着较好的抗溶性, 其丰度与沉积物碳酸盐含量呈负相关, 故而在深海海盆的表层沉积物深水花球藻作为优势种出现, Fernando 等(2007)和王勇军等(2007)也证实了这一点。成鑫荣(1991)和陈芳等(2002)还认为表层沉积物的颗石藻群集会受到陆源物质的稀释作用影响。作者的研究与以上结论比较相符, 深水花球藻的分布基本上在水比较深的区域(图 1 和图 6)。

**2.3.3 南海西部今生颗石藻现存量** 调查区今生颗石藻 200 m 以浅的水柱积分生物量(integrated biomass)在  $0.51 \times 10^6$ — $81.87 \times 10^6$  cells/m<sup>2</sup> 之间, 平均为

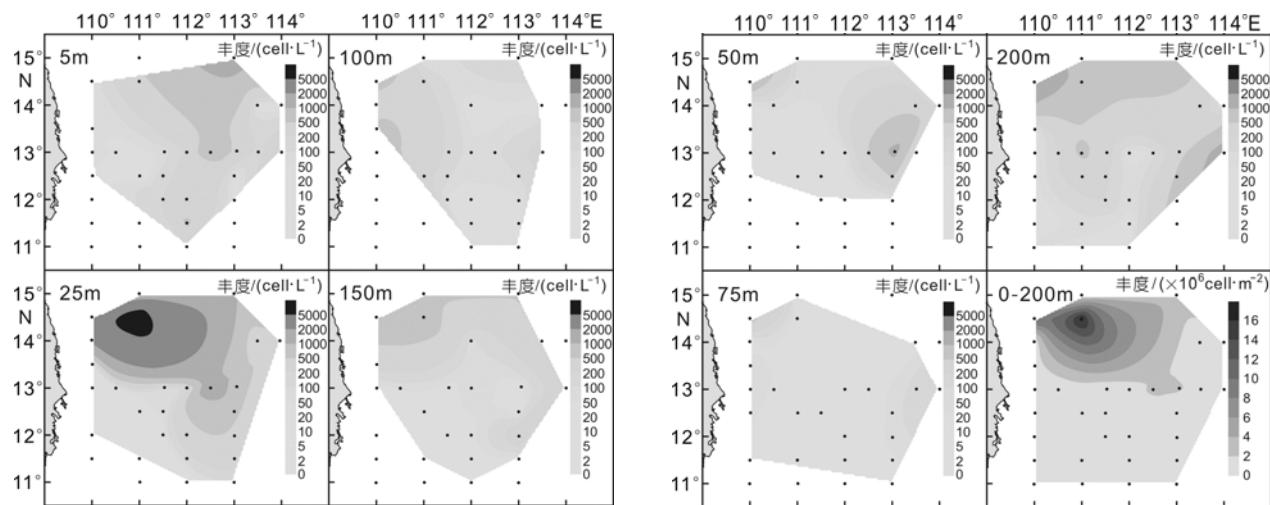


图 7 2007 年夏季调查区各站 200 m 以浅各水层细条伞球藻平面分布

Fig.7 Horizontal distribution of *Umbellosphaera tenuis* at different water depth layer (<200 m) in the western South China Sea in summer, 2007

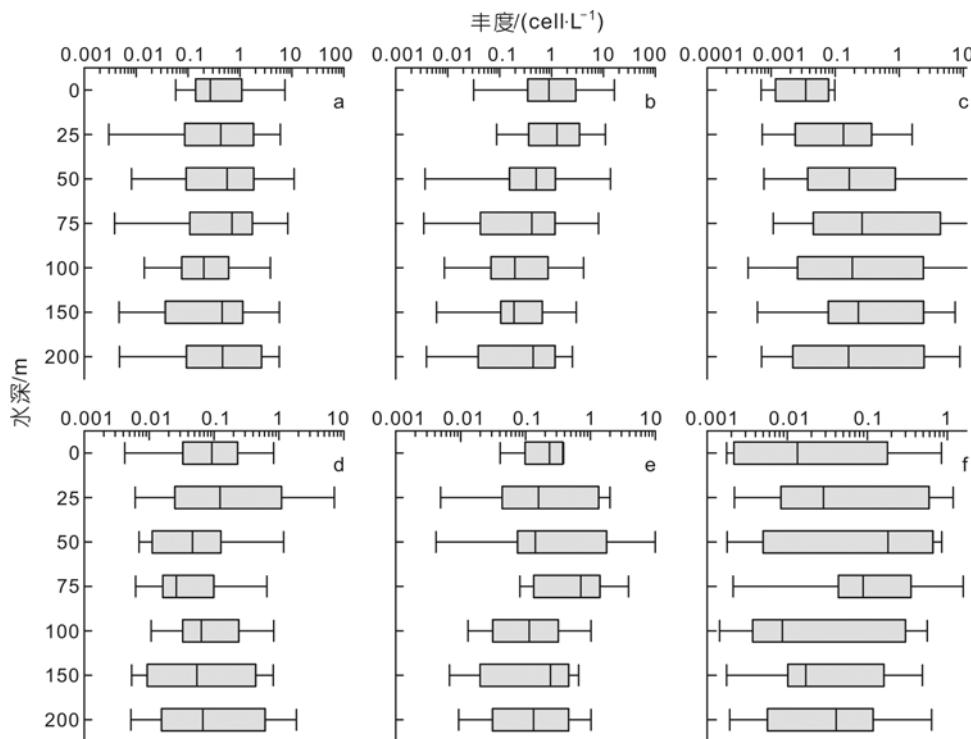


图 8 2007 年夏季南海西部今生颗石藻垂直分布的 Box-Whisker 统计图(a. 赫氏艾密里藻; b. 大洋桥石藻; c. 深水花球藻; d. 纤细伞球藻; e. 艾氏桥石藻; f. 美丽条结藻)

Fig.8 Box-Whisker plot of living coccolithophores vertical distribution at different water depth layer (<200m) in the western South China Sea in summer, 2007 (a. *Emiliania huxleyi*; b. *Gephyrocapsa oceanica*; c. *Florisphaera profunda*; d. *Umbellosphaera tenuis*; e. *Gephyrocapsa ericsonii*; f. *Syracosphaera pulchra*)

$25.34 \times 10^6 \text{ cells/m}^2$ , 高值区集中在调查区受南沙西部沿岸流影响的西北部和湄公河冲淡水影响的西南部, 而在受上升流及北南沙流影响的区域则相对较少(图

3)。从其他各优势种的水柱积分生物量来看, 分布趋势大致相似, 调查区今生颗石藻多分布在高温、高盐和低光的水体中。

#### 2.4 南海西部今生颗石藻群落多样性

对调查区今生颗石藻群落多样性的研究表明: 香农-威纳指数和物种均匀度 Pielou 指数的分布趋势基本一致, 这里只表述均匀度指数在各水层的分布(图 9)。均匀度指数表征了群落的稳定性(孙军等, 2004), 从图 9 可以明显看出, 受南海西部各流系、水团和上升流影响的区域均为较低的均匀度。表层湄公河冲淡水对调查区西南部有明显影响, 从 150 m 至 25 m 之间受南沙西部沿岸流、南海中西部的大陆架流、上升流和北南沙海

流影响的调查区西南侧大部分区域群落稳定性较低, 而东北部则受这些水团流系影响较小, 多样性和群落稳定性较高。

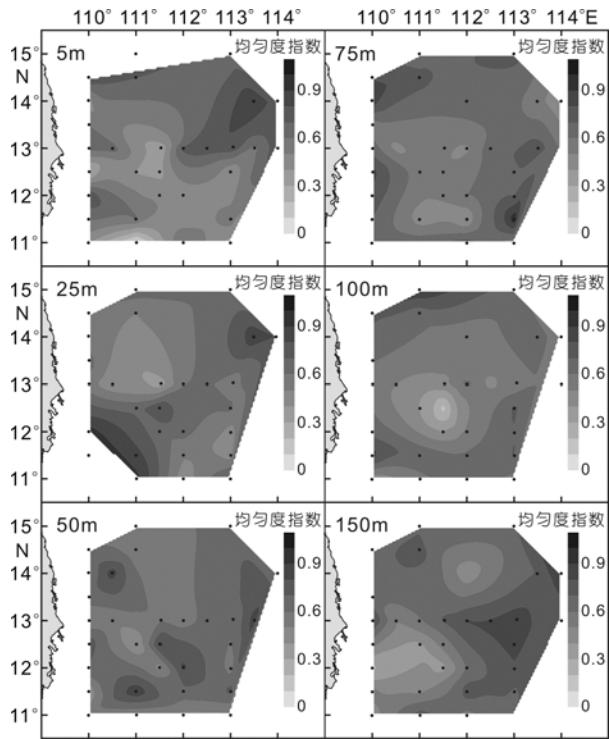


图 9 2007 年夏季调查区 150 m 以浅不同水层 Pielou 均匀度指数平面分布

Fig.9 Horizontal distribution of Pielou's evenness index at different water depth layer (<150 m) in the western South China Sea in summer, 2007

由于国内南海今生颗石藻的研究还刚刚起步, 各主要物种和关键类群的自然分布还很匮乏, 今后需要大量时空尺度上的扩展调查和研究, 更进一步的新理论和技术层面的研究亟待加深。

**致谢** 航次由厦门大学海洋环境科学中心创新群体项目提供, 现场样品采集工作由何青和丁昌玲完成, 于心科研究员、孙晗杰和栾青杉对论文的完成提供了相应帮助, 谨致谢忱。

## 参 考 文 献

- 王俊, 左涛, 陈瑞盛, 2008. 黄海球石藻的种类组成. 海洋水产研究, 29(5): 137—138
- 王勇军, 陈木宏, 陆钧等, 2007. 南海表层沉积物中钙质超微化石分布特征. 热带海洋学报, 26(5): 26—34
- 方文东, 郭忠信, 黄羽庭, 1997. 南海南部海区的环流观测研究. 科学通报, 42(21): 2264—2271
- 乐凤凤, 孙军, 宁修仁等, 2006. 2004 年夏季中国南海北部的浮游植物. 海洋与湖沼, 37(3): 238—248
- 成鑫荣, 1991. 南海中、北部表层沉积中钙质超微化石的分布. 海洋与湖沼, 22(4): 377—383
- 孙军, 刘东艳, 王宗灵等, 2003a. 春季赤潮频发期东海微型浮游动物摄食研究. 应用生态学报, 14(7): 1073—1080
- 孙军, 刘东艳, 宁修仁等, 2003b. 2001/2002 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物. 海洋与湖沼, 34(5): 519—532
- 孙军, 刘东艳, 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62—75
- 孙军, 宋书群, 乐凤凤等, 2007. 2004 年冬季南海北部浮游植物. 海洋学报, 29(5): 132—145
- 孙军, 2007. 今生颗石藻的有机碳泵和碳酸盐反向泵. 地球科学进展, 22(12): 1231—1239
- 陈芳, 黄永祥, 段威武等, 2002. 南海西部表层沉积中的钙质超微化石. 海洋地质与第四纪地质, 22(3): 35—40
- 周成旭, 蒋莹, 湛交等, 2010. 颗石藻 *Pleurochrysis carterae* 形成休眠体的环境诱因分析. 海洋与湖沼, 41(6): 834—841
- 钟石兰, 汪亚平, 高抒等, 2001. 胶州湾表层沉积颗石藻 *Gephyrocapsa oceanica* 的分布模式及其与环境的关系. 古生物学报, 40(4): 505—513
- 柴扉, 薛惠洁, 侍茂崇, 2001. 南海升降流区域分布及形成机制分析. 中国海洋学文集. 北京: 海洋出版社, 13: 117—127
- 曹奇原, 苍树溪, 李铁刚等, 2002. 冲绳海槽北部表层沉积物中的钙质超微化石及其环境特征. 海洋与湖沼, 33(6): 600—607
- 薛惠洁, 柴扉, 徐丹亚等, 2001. 南海海流数值计算. 中国海洋学文集. 北京: 海洋出版社, 13: 1—13
- Baumann K H, Böckel B, Frenz M et al, 2004. Coccolith contribution to South Atlantic carbonate sedimentation. In: Thierstein H R, Young J R ed. Coccolithophores. From Molecular Processes to Global Impact. Berlin: Springer, 367—402
- Bollmann J, Cortés M Y, Haidar A T et al, 2002. Techniques for quantitative analyses of calcareous marine phytoplankton. Marine Micropaleontology, 44: 163—185
- Chen M P, Shieh K S, 1982. Recent nannofossil assemblages in sediments from Sunda Shelf to Abyssal Plain, South China Sea. Proceedings of the National Science Council (ROC), Part A, 6: 250—285
- Chen Y L, Chen H Y, Chung C W, 2007. Seasonal variability of coccolithophore abundance and assemblage in the northern South China Sea. Deep-Sea Research II, 54: 1617—1633
- Cheng X R, 1992. Calcareous nannofossil in surface sediments of central and northern parts of the South China Sea. Journal of Micropaleontology, 11: 167—176
- Cheng X R, Wang P X, 1997. Controlling factors of coccolith distribution in surface sediments of the China seas: marginal sea nannofossil assemblages revisited. Marine Micropaleontology, 32: 155—172
- Fernando A G S, Peleo-Alampay A M, Wiesner M G, 2007. Calcareous nannofossils in surface sediments of the eastern and western South China Sea. Marine Micropaleontology, 66: 1—26
- Furuya K, Kurita K, Odate T, 1996. Distribution of Phytoplankton in the East China Sea in the Winter of 1993. Journal of Oceanography, 52: 323—333

- Hagino K, Okada H, Matsuoka H, 2000. Spatial dynamics of coccolithophore assemblages in the Equatorial Western-Central Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 39: 53—72
- Hagino K, Okada H, Matsuoka H, 2005. Coccolithophore assemblages and morphotypes of *Emiliania huxleyi* in the boundary zone between the cold Oyashio and warm Kuroshio currents off the coast of Japan. *Marine Micropaleontology*, 55: 19—47
- Heimdal B R, 1993. Modern coccolithophorids. In: Tomas C R ed. *Identifying Marine Phytoplankton*. United Kingdom: Academic Press, 147—247
- Honjo S, Okada H, 1974. Community structure of coccolithophores in the photic layer of the mid-Pacific. *Micropaleontology*, 29:209—230
- Jordan R W, Kleijne A, 1994. A classification system for living coccolithophores. In: Winter A, Siesser W G ed. *Coccolithophores*. United Kingdom: Cambridge University Press, 83—105
- Okada H, Honjo S, 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Research*, 20: 355—374
- Okada H, Honjo S, 1975. Distribution of Coccolithophores in Marginal Seas along the Western Pacific Ocean and in the Red Sea. *Marine Biology*, 31: 271—285
- Okada H, McIntyre A, 1977. Modern coccolithophores of the Pacific and North Atlantic Oceans. *Micropaleontology*, 23(1): 1—55
- Pielou E C, 1969. An introduction to mathematical ecology . New York: Wiley-Interscience, 294
- Reid F M H, 1980. Coccolithophorids of the north Pacific central gyre with notes on their vertical and seasonal distribution. *Micropaleontology*, 26(2): 151—176
- Shannon C E, WEAVERW, 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana L: University of Illinois Press, 125
- Silva P C, Thronsen J, Eikrem W, 2007. Revisiting the nomenclature of haptophytes. *Phycologia*, 46(4): 471—475
- Tanaka Y, 2003. Coccolith fluxes and species assemblages at the shelf edge and in the Okinawa Trough of the East China Sea. *Deep-Sea Research II*, 50(2003): 503—511
- Winter A, Siesser W G, 1994a. Atlas of living coccolithophores. In: Winter A, Siesser W G ed. *Coccolithophores*. United Kingdom: Cambridge University Press, 107—160
- Winter A R, Jordan W, Roth P H, 1994b. Biogeography of living coccolithophores in ocean waters. In: Winter A, Siesser W G ed. *Coccolithophores*. Cambridge: Cambridge University Press, 161—177
- Yang T N, Wei K Y, Gong G C, 2001. Distribution of coccolithophorids and coccoliths in surface ocean off northeastern Taiwan. *Botanical Bulletin of Academic Sinica*, 42: 287—302
- Yang T N, Wei K Y, Chen L L, 2003. Occurrence of coccolithophorids in the northeastern and central South China Sea. *Taiwania*, 48: 29—45
- Zhang J J, Siesser W G, 1986. Calcareous nanoplankton in continental-shelf sediments, East China Sea. *Micropaleontology*, 32(3): 271—281

## LIVING COCCOLITHOPHORES IN THE WESTERN SOUTH CHINA SEA IN SUMMER 2007

SUN Jun<sup>1</sup>, AN Bai-Zheng<sup>1</sup>, DAI Min-Han<sup>2</sup>, LI Tie-Gang<sup>1</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071;

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, 361005)

**Abstract** We carried out an investigation on living coccolithophores (LC) and their community structure in western South China Sea (11°—15°N, 110°—114°E) in summer 2007. 208 samples from the upper seawaters (less than 200 m depth) were taken at 32 grid stations. A total of 20 taxa belonging to *Coccolithophyceae* were identified by filtered samples under polarizing microscope. The common species were *Emiliania huxleyi* (Lohmann) Hay et Mohler, *Gephyrocapsa oceanica* Kamptner, *Florisphaera profunda* Okada et Honjo, *Umbellosphaera tenuis* (Kamptner) Paasche and *Gephyrocapsa ericsonii* McIntyre et Bé, etc. among which *E. huxleyi* and *G. oceanica* were dominated. The average cell abundance of LC was ranged from 2.97—32960.06 cells/L, with an average 3340.75 cells/L during this investigation. The space pattern of LC was patchiness and mosaicism with relative high density. *E. huxleyi* and *G. oceanica* were distributed widely and abundantly at each station, which can represent the pattern of LC during the investigation, and mostly thrived at 50 and 75 m depth in the northwest and southwest part of the survey area. Differently with the above two coccolithophores, *F. profunda* was mainly distributed in water depth deeper than 50 m, especially between 50 and 75m in the northwest and southeast part of the survey area, and *U. tenuis* in shallow water above 25m depth in the north part of the survey area.

**Key words** Living coccolithophore, Western South China Sea, Species composition, Distribution, *Emiliania huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica*