

# 南海低纬地区 15kaBP 以来高分辨率孢粉记录及植被、气候演变

张玉兰<sup>1</sup>, 彭学超<sup>2</sup>, 赵晶<sup>1</sup>

1. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092; 2. 广州海洋地质调查局, 广州, 510760

**摘要:** 本文依据南海低纬地区 SA09-090 孔高分辨率的孢粉记录, 从下至上划分了 4 个孢粉组合带, 从孢粉成分的变化, 重建了 15kaBP 以来的植被和气候变化历史。研究结果发现: 15.0—12.5kaBP 期间研究区花粉主要来自当地出露的陆架, 揭示出出露的陆架植被类型是以热带低山雨林和低地雨林为主。海滨地区生长着茂盛的红树林, 当时气温比现在低一些, 但无明显变干现象。12—10kaBP 期间植被中低山雨林花粉增多, 红树植物花粉减少, 这说明此时海平面上升, 气温也回升, 花粉源区变远。全新世时(10kaBP 至今), 花粉主要来源于加里曼丹岛和周围岛屿, 植被以低山雨林和海滨红树植物为主, 但花粉浓度大幅降低, 这种花粉浓度降低说明海平面继续上升, 研究区距离花粉源区越来越远。全新世中期时为热、湿的气候环境, 后期与现今相近。

**关键词:** 南海; 低纬地区; 孢粉; 植被; 气候

中图分类号: P736.221 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)05-0067-07

## High-resolution palynological record and evolution of vegetation and climate in the low latitude of the South China Sea since 15 kaBP

ZHANG Yu-lan<sup>1</sup>, PENG Xue-chao<sup>2</sup>, ZHAO Jing<sup>1</sup>

1. School of Ocean & Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China

**Abstract:** Based on the high resolution pollen record at the Core SA09-090, which was in the low latitude of the South China Sea, four pollen zones are distinguished in an ascending order. According to the pollen composition in each zone, the vegetation evolution and climate change since 15kaBP is reconstructed. The research shows that at the stage of 15.0–12.5kaBP, the pollen in the research area mainly came from the continental shelf when it was above the sea level. This indicates that the vegetation on the continental shelf that was above the sea level was mainly tropical low-mountain rainforest and lowland rainforest. Many mangroves lived in the coastal area. The temperature was a little lower than today's, but there was no clear evidence of aridity. At the stage of 12–10kaBP, the amount of pollen from lowland rainforest increased, and the amount of pollen from the mangroves decreased. This indicates that the sea level rose in that period, and the temperature rose, too. The pollen source became far away. At the Holocene (10kaBP to now), the pollen mainly came from Borneo and the islands around it. The concentration of the pollen decreased significantly. That suggests that the sea level kept rising, the study area is even far away from the pollen resource. It was hot and wet in the middle of the Holocene, and remained so in the late period of the Holocene.

**Key words:** South China Sea; low latitude area; sporopollen; vegetation; climate

南海位于西太平洋-东印度洋暖池的中间过渡带, 是当今世界海洋中海-气交换最为活跃的地带, 为厄尔尼诺-南方涛动现象的“动力泵”所在地<sup>[1-2]</sup>, 也是东亚夏季风发源地<sup>[3-5]</sup>。特别需要注意到是南海

收稿日期: 2010-09-19; 修订日期: 2011-04-06。卢冰编辑

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971035)

作者简介: 张玉兰(1946—), 女, 教授, 主要从事孢粉、藻类、海洋地质研究。E-mail: zhangyl@tongji.edu.cn

热带低纬度地区在全球热量的再分配中具有举足轻重的作用,南海不仅是影响东亚季风环境变化的重要区域,而且汇集、沉积、保存着南海及周边沿岸生态环境演化的重要信息<sup>[6-13]</sup>。有关南海地区及周边沿海陆地第四纪环境变迁过程、规律及机制研究,一直是国际学术界关注的焦点<sup>[1-5]</sup>。但迄今,由于样品采集的困难,对热带海洋低纬度地区开展研究很少。研究南海低纬地区晚第四纪以来的生态环境变化与全球气候环境变化之间的关系和机制,有望为我国古环境研究做出突破性贡献。

南海 SA09-090 孔位于 111.54°E、4.77°N (图 1),水深 96m,钻孔长 518cm,共取样 103 个,每一个样间隔 5cm。对所有样品进行了孢粉分析,经鉴定大部分样品含较丰富的孢粉,为南海低纬地区的孢粉及古环境研究新添了宝贵资料。

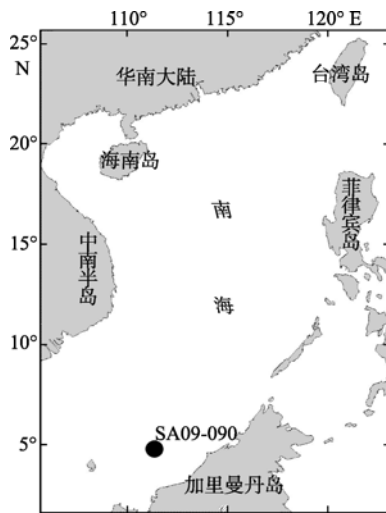


图 1 SA09-090 钻孔位置图

Fig.1 Location of Core SA09-090 in the South China Sea

## 1 花粉来源及现代植被概况

SA09-090 孔位于加里曼丹岛(旧称婆罗洲)以北(图 1),其西南部为著名的巽他陆架。现代南海南部的花粉主要来源于巽他陆架南部岛屿和加里曼丹岛<sup>[16-17]</sup>,加里曼丹岛很可能是 SA09-090 孔柱状沉积中花粉的主要源区<sup>[16-17]</sup>,加里曼丹岛的主要植被类型为热带低地雨林<sup>[18]</sup>。海拔 1200m 以下的低地地带,以龙脑香科 Dipterocarpaceae 植物为主,并包括多种热带成分,如无患子科 Sapindaceae、桑科 Moraceae、楝科 Meliaceae、茜草科 Rubiaceae、芸香科 Rutaceae 等植物;海拔 1200—1500cm 之间,植被主要为热带低山雨林,以栲属 *Castanopsis*、栎属 *Quercus*、茶科 Theaceae、桃金娘科 Myrtaceae 及杜英科

Elaeocarpaceae 等植物为主;热带高山雨林位于海拔 1500—3000m 或 3500m 的地带,由罗汉松属 *Podocarpus*、及陆均松属 *Dacrydium* 植物构成;当海拔超过 3000m 或 3500m 时,热带亚高山森林开始出现,植被以叶枝杉 *Phylla cladus*、鸡毛松 *Dacrycarpus* 及杜鹃属 *Rhododendron* 植物的一些成分为主;红树林主要分布在加里曼丹岛的东南岸,其中以木榄属 *Bruguiera*、海榄雌属 *Avicennia*、红树属 *Rhizophora*、海桑属 *Sonneratia* 等植物最为常见<sup>[19-20]</sup>。

## 2 材料和方法

SA09-090 孔由广州海洋地质局采集,共采 103 个样品。将所有样品烘干后分别称取 10g 样品(不足 10g 的样品则称取其全部)粉碎、过筛,放入塑料烧杯中,在上述样品中加入浓度为 15% 的 HCl(加入石松孢子计算孢粉浓度用),以去除钙质,放置一昼夜,并经几次水洗呈中性后离心脱水;再加入浓度为 55% 的 HF,放置 3 昼夜;将样品加水、换水 4 次以上直至水洗至中性,然后将样品放在超声波发生器中,用 10 $\mu$ m 尼龙筛震荡过滤,滤得孢粉富集于小试管中,加入甘油水,制片并在显微镜下进行孢粉观察和鉴定。

本孔的部分样品作了加速器质谱(accelerator mass spectrometry)AMS<sup>14</sup>C 测年(表 1)。

表 1 SA09-090 孔加速器质谱 <sup>14</sup>C 测年结果  
Tab.1 AMS (Accelerator Mass spectrometry) <sup>14</sup>C dating of SA09-090 in the South China Sea

深度/cm	材料	<sup>14</sup> C 测年结果/kaBP	误差/ka
102—106	腹足类	9.335	0.040
200—205	腹足类+有孔虫	10.620	0.050
401—404	碳屑	12.755	0.045
501—503	碳屑	12.730	0.055

注:测试结果由北京大学加速器质谱完成。

广州海洋地质调查局用沉积物作了 <sup>14</sup>C 测年,在 440—443cm 处测得年龄(13.6 $\pm$ 0.18)kaBP。用内插法,粗略推算 400cm 处与 440cm 处测年相差 0.945ka,相当于 2.36ka·m<sup>-1</sup>,这样孔底部 518cm 处的年龄约在 15.96kaBP,所以孔底部年代约为 15kaBP。

## 3 SA09-090 孔沉积物孢粉记录

SA09-090 孔柱状样品岩性是: 0—60cm 为青灰色钙质生物黏土质粉砂,块状构造; 60—105cm 为青灰色钙质生物砂-粉砂-黏土; 105—165cm 为青灰色钙质生物砂质粉砂,块状构造; 165—212cm 为青灰色钙质生物黏土质粉砂,斑块状构造; 212—

305cm 为青灰色含钙质生物粉砂质砂, 块状构造; 305—380cm 为一黄灰色黏土质粉砂, 纹层状构造, 含少量植物碎屑(炭屑); 380—443cm 为一青灰色粉砂质黏土, 含少量植物碎屑(炭屑); 443—518cm 为

黄灰色黏土质粉砂, 纹层状构造, 软塑。从 5cm 处采样, 共采 103 个样品。大部分样品含较丰富的孢粉, 根据孢粉组合特征从下至上划分出 4 个孢粉组合带(见图 2、图 3)。

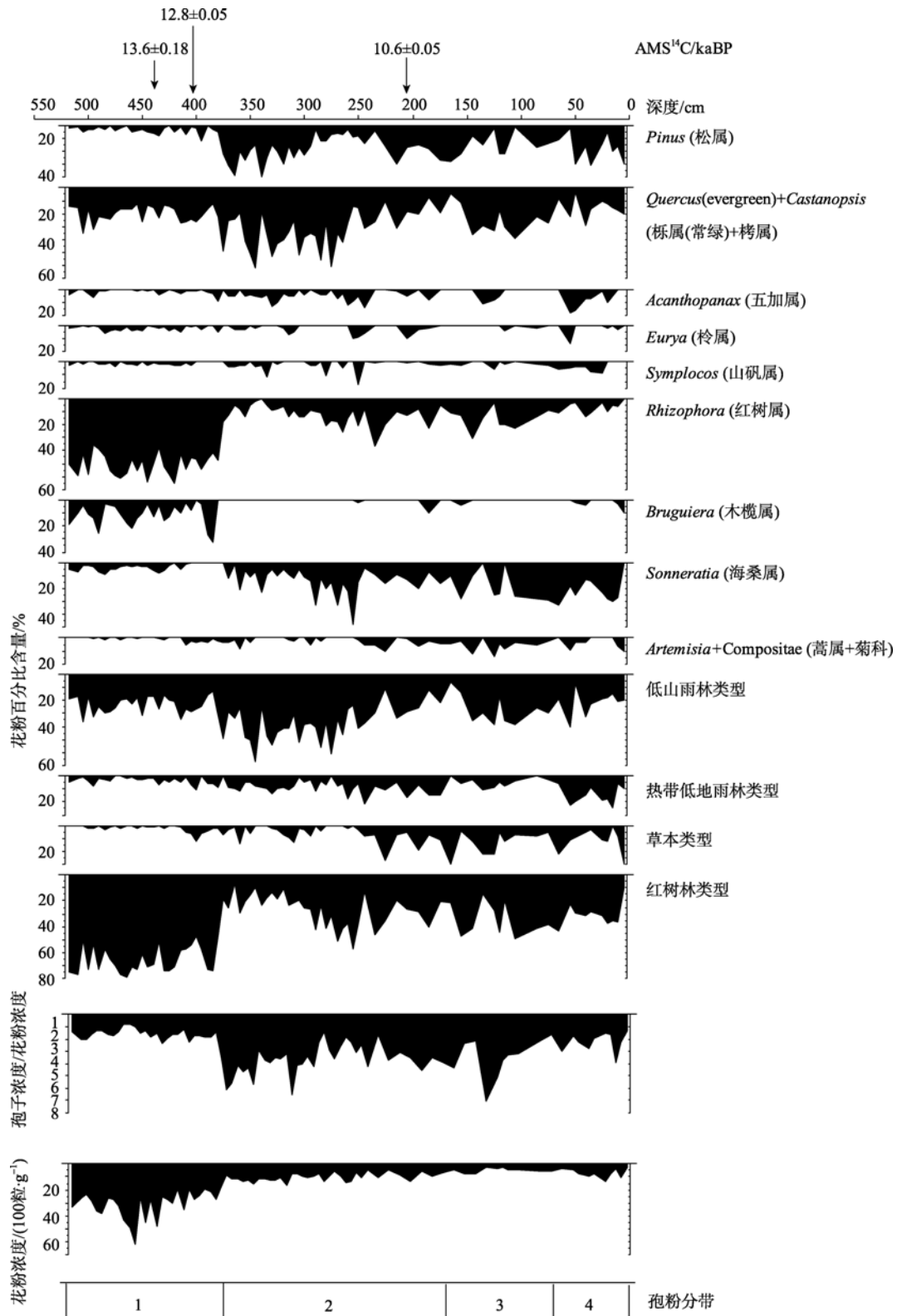


图 2 南海 SA09-090 井花粉百分比图式

Fig. 2 Diagram of palynology at Core SA09-090 in the South China Sea

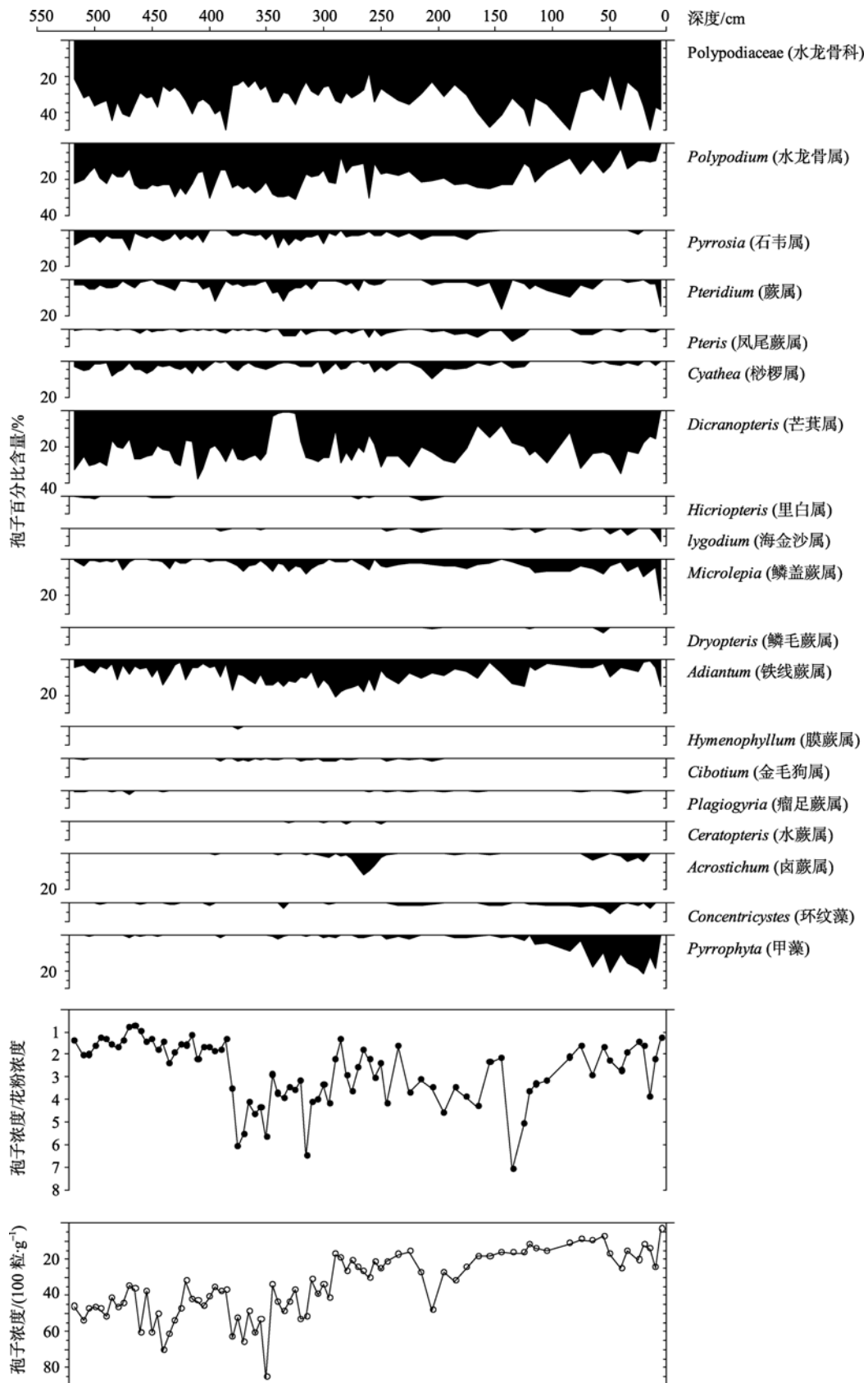


图3 SA09-090井孢子百分比图式

Fig. 3 Diagram of spore at Core SA09-090 in the South China Sea

### 3.1 孢粉1带(518—380cm)

440cm处  $^{14}\text{C}$  测年为(13.6±0.18)kaBP, 401—

404cm处 AMS $^{14}\text{C}$  测年为(12.755±0.045)kaBP。

此带中木本植物花粉占绝对优势(占花粉总数

的 87.6%—100%), 其中以红树植物花粉和热带低山雨林为主。红树植物花粉达花粉总数的 47.19%—78.47%, 数量多的种属有红树属 *Rhizophora*、海桑属 *Sonneratia*、木榄属 *Bruguiera*、水椰属 *Nypa* 等。低山雨林花粉中数量较多的是常绿栎类 *Quercus evergreen*、栲属 *Castanopsis*、柃木属 *Eurya*、杜英属 *Elaeocarpus*、山矾属 *Symplocos* 等, 还有一些针叶的松属 *Pinus*。低地雨林植物花粉有五加属、楝属 *Melia*、木兰属 *Magnolia*、大戟属 *Euphorbia*、杨梅属 *Myrica* 等。草本植物花粉数量较少, 见有少量禾本科 Gramineae、莎草科 Cyperaceae 等。蕨类孢子数量与花粉数量比在 0.8—2.26 之间。花粉浓度较高, 为 1780—6160 粒·g<sup>-1</sup>, 从下向上渐变低。

### 3.2 孢粉 2 带(380—180cm)

在 200—205cm 处 AMS<sup>14</sup>C 年龄为 (10.62±0.05)kaBP。

本带中木本植物花粉还是占花粉的绝对优势 (占花粉总数的 73.21%—100%), 草本植物花粉数量较少。木本植物花粉中热带低山雨林植物花粉增多。低山雨林花粉中数量较多的是常绿栎类最高达花粉总数的 61.11%, 还有一些栲属、柃木属、山矾属, 及一些针叶的松属。红树植物花粉中数量多的种属有红树属、海桑属、木榄属等。组合中还有一定量的低地雨林植物花粉如五加属、楝属、木犀属 *Osmanthus*、大戟属、冬青属 *Ilex* 等。草本植物花粉中数量稍多的有禾本科、莎草科、蒿属 *Artemisia* 等。花粉浓度较 1 带低, 大部分在 1000 粒·g<sup>-1</sup> 左右。蕨类孢子数量与花粉数量比在 1.37—6.5 之间, 蕨类孢子含量大大多于花粉。

### 3.3 孢粉 3 带(180—70cm)

本带中还是木本植物花粉占优势 (占花粉总数的 70.2%—95.6%), 草本植物花粉数量较少。木本植物花粉中红树植物花粉和热带低山雨林植物花粉数量较多。红树植物花粉中数量多的种属有海桑属、红树属, 还有一些木榄属、水椰属等。热带低山雨林花粉主要有常绿栎类、柃木属、山矾属、杜英属等, 还有相当数量针叶的松属。低地雨林植物花粉中数量稍多的有五加属、楝属、木犀属、大戟属、冬青属、杨梅属 *Myrica* 等。草本植物花粉中数量稍多的有禾本科、莎草科、蒿属等。花粉浓度在整个层段都较低, 为 233—784 粒·g<sup>-1</sup>。蕨类孢子数量与花粉数量比在 1.64—7.1 之间, 在 125—135cm 处蕨类孢子含量是花粉含量的 7 倍。

### 3.4 孢粉 4 带(70—0cm)

本带中还是木本植物花粉居多 (占花粉总数的 70%—100%)。木本植物花粉中红树植物花粉数量稍多, 其次是热带低山雨林植物花粉, 还有一定量的低地雨林植物花粉。红树植物花粉中数量多的种属有海桑属、红树属, 还有一些木榄属、水椰属等。热带低山雨林花粉数量多的种属有常绿栎类, 还有一些柃木属、山矾属、杜英属、栲属等, 及较多数量针叶的松属, 偶见罗汉松属花粉。热带低地雨林植物花粉中数量稍多的有五加属、楝属、木犀属、大戟属、冬青属、杨梅属。草本植物花粉中数量稍多的有禾本科、莎草科、蒿属、藜科 Chenopodiaceae 等。花粉浓度比 3 带稍高一些, 为 263—1103 粒·g<sup>-1</sup>, 蕨类孢子数量与花粉数量比在 1.3—3.9 之间。

## 4 讨论

### 4.1 15—10kaBP 期间的植被与气候

孢粉学研究古环境的理论依据是植物与其孢粉、植物与气候等生态环境的密切依赖关系, 植被是反映气候变化的温度计。用海洋沉积物的孢粉数据来解释古植被与古气候时, 首先要考虑孢粉的来源问题。从现代南海南部海域花粉分布规律得知, 现代该海域花粉主要由河流从南部诸岛屿带来 (主要是加里曼丹岛)<sup>[21]</sup>, 由于经长途搬运, 到达现代海域的花粉数量很少, 花粉浓度较低, 而在冰期时, 加里曼丹岛周边的岛屿、巽他陆架大面积出露成陆, 能为南部海域提供大量花粉<sup>[10]</sup>。因此, 在孢粉 1 带 (15—12.5kaBP 年龄, 用内插法推得) 期间, 花粉浓度较高, 最高地方达 6160 粒·g<sup>-1</sup>。下部花粉浓度高, 向上浓度逐渐降低。而且组合中有大量红树植物花粉出现, 红树植物花粉最高达花粉总数的 78.47%, 从而推测当时钻孔所在地很可能就是红树林海滩附近, 研究区已出露成陆 (沉积物中含植物炭屑)。组合中还有一定量低山雨林植物花粉和低地雨林植物花粉, 而且低山雨林植物花粉相对高一些, 说明物源区离研究区较近, 有足够的孢粉来源。蕨类孢子由于比重轻, 它会被流水带到离岸较远的地方, 所以在沉积物中表现超代表性, 孢子含量高, 比花粉浓度高 1—2 倍。所以, 在本研究区在 15—12.5kaBP 期间大量花粉来自加里曼丹岛及其周边岛屿和研究区已出露成陆的地方, 反映大陆架上的植被以低地雨林和低山雨林为主, 出露地的沿岸生长了大量的红树植物。当时气温比现在低, 但没明显变干迹象, 与西太平洋暖池某些地点<sup>[24-26]</sup>的孢粉资料显示在盛

冰期时广泛分布的草原植被景观表现气温低又气候变干的现象不同。与本孔同样的情况在南海南部陆坡 17964<sup>[17]</sup>、18287<sup>[21]</sup>柱状样中都有反映,在东南亚地区也早有记录,如爪哇岛西部<sup>[22]</sup>、苏门答腊岛的北部<sup>[23]</sup>也都发现末次冰期的降温现象。

孢粉 2 带中(12.5—10kaBP)低山雨林成分增多,红树植物花粉相对减少,花粉浓度也降低到 1 带的 1/2—1/3。花粉浓度的变小说明海平面不断上升,研究区剖面离花粉源区逐渐变远。植被中热带低山雨林花粉中数量较多的有常绿栎类、山矾属、桉木属等,针叶的松也有相当的数量。低地雨林植物中有一些五加属,楝属等,说明气温升高,海平面上升。

#### 4.2 全新世时的植被与气候

全新世早—中期,第 3 孢粉带(10—3.7kaBP)花粉以低山雨林植物花粉和红树植物花粉居多。花粉浓度大幅降低,为 233—784 粒·g<sup>-1</sup>,只有第 1 带的几分之一到十几分之一(见图 2),这种花粉浓度大幅度降低反映了海平面上升迅速,以至于研究区完全被海水淹没,花粉主要来源于加里曼丹岛及其周围岛屿,气候也比前期暖一些,特别是到全新世中期喜热、湿的芒萁属、鳞盖蕨属、桫欏属等(图 3)蕨类孢子数量较多,反映当时为热、湿环境。南海全新世中期的气候变化事件可能在一定程度上与黑潮变迁的历史相对应,在大约 9.4—6.4kaBP 期间,黑潮温度大幅度下降,主流轴可能东移,甚至退出了冲绳海槽,受其影响不仅东海、南海许多地区全新世早期气温有所降低,从 6.4kaBP 之后,黑潮主流轴重新进入冲绳海槽,导致海水温度回升<sup>[27]</sup>,这与研究区中全新世气温回升时间大体一致。这个中全新世

升温事件在很多地区都有发现,如北玻利维亚<sup>[28]</sup>和秘鲁<sup>[29]</sup>等地区温度升高 2—3 。

全新世晚期第 4 孢粉带(3.7kaBP 至今),植被以热带低山雨林为主,雨林中主要植物是常绿栎类,还有一些桉木属、山矾属、杜英等植物,还有数量较多针叶的松,偶见罗汉松等,林下有禾本科、蒿属、藜科等草本植物生长,低地雨林区生长着五加、木兰、杨梅、大戟科等植物,海滨生长着海桑、红树、木榄等红树植物,可能和加里曼丹岛现今的植被景观相近,为热、湿的气候环境。

#### 5 结语

通过对南海低纬地区 SA09-090 孔 15kaBP 以来的高分辨率的孢粉记录研究,可以得出:

在(15.0—12.5kaBP)期间研究区花粉主要来自当地出露的陆架,揭示出出露的陆架植被以热带低地雨林和低山雨林为主的植被类型。海滨地区生长着茂盛的红树林,从本孢粉带中高含量红树林花粉可推测,研究区很可能就在出露的红树林海滩附近,当时气温比现在低一些,但无明显变干现象。

在(12—10kaBP)时植被中低山雨林花粉增多,红树植物花粉减少,花粉浓度也降低,这说明此时海平面开始上升,气温也回升,花粉源区变远。

全新世时(10kaBP 至今),花粉主要来源于加里曼丹岛和周围岛屿,植被以低山雨林和海滨红树植物为主,但花粉浓度大幅降低,这种花粉浓度降低说明海平面继续上升,研究区距离花粉源越来越远。全新世中期为热、湿的气候环境,后期与现今相近。

#### 参考文献

- [1] 陈木宏,涂霞,郑范,等.南海南部近 20 万年沉积序列与古气候变化关系[J].科学通报,2000,45(5):542-548.
- [2] 汪品先.低纬过程的轨道驱动[J].第四纪研究,2006,26(5):694-701.
- [3] 翦知潜,王律江,KIENAST M.南海晚第四纪表层古生产力与东亚季风变迁[J].第四纪研究,1999,19(1):32-40.
- [4] 汪品先.十五万年来的南海[M].上海:同济大学出版社,1995:1-184.
- [5] WANG L, SARNTHEIN M, ERLLENKEUSER H, et al. East Asian monsoon climate during the Late Pleistocene: high-resolution sediment records from the South China Sea[J]. Marine Geol, 1999, 156(1-4): 245-284.
- [6] WANG C H, CHEN M P. Upper Pleistocene oxygen and carbon isotopic changes of core SCS-15B at the South China Sea[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1990, 4(3): 243-246.
- [7] WANG P, WANG L, BIAN Y, et al. Late quaternary paleoceanography of the South China sea: surface circulation and carbonate cycles[J]. Marine Geol, 1995, 127(1-4): 145-145.
- [8] 汪品先,赵泉鸿,翦知潜,等.南海三千万年的深海记录[J].科学通报,2003,48(21):2206-2215.
- [9] 王开发,蒋辉,张玉兰.南海及沿岸地区第四纪孢粉藻类与环境[M].上海:同济大学出版社,1990:1-161.
- [10] SUN XIANGJUN, LI XU, YUNLI, et al. The vegetation and climate at the last glaciation on the emerged continental shelf of the South China Sea [J]. Palaeogeography, Palaeoclima-

- tology, *Palaeoecology*, 2000, 160(3-4): 301-316.
- [11] 张玉兰. 南海深海柱状沉积物中孢粉和藻类研究及古环境意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(1): 73-76.
- [12] 张玉兰. 南海 184 站深海沉积中孢粉、藻类研究及古环境分析[J]. *微体古生物学报*, 2008, 25(1): 97-101.
- [13] 蓝东兆, 程兆第, 刘师成. 南海晚第四纪沉积硅藻[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.1-138.
- [14] 汪品先, 翦知潜. 寻求高分辨率的古气候记录[J]. *第四纪研究*, 1999, 19(1): 1-17.
- [15] 汪品先, 翦知潜, 赵泉鸿, 等. 南海演变与季风历史的深海证据[J]. *科学通报*, 2003, 48(21): 2228-2239.
- [16] SUN XIANGJUN, LI XUN, LUO YUNLI. Vegetation and climate on the Sunda Shelf of the South China Sea during the Last Glaciation pollen results from station 17962[J]. *Acta Botanica Sinica-Chinese*, 2002, 44(6): 746-752.
- [17] 李逊, 孙湘君. 南海南部末次冰期以来的孢粉记录及其气候意义[J]. *第四纪研究*, 1999, 19(6): 526-535.
- [18] 袁金红, 罗运利, 徐兆良, 等. 3.0—2.0MaBP 南海南部深海沉积物孢粉记录及其对全球气候变化的响应[J]. *海洋地质及第四纪地质*, 2005, 25(3): 75-81.
- [19] WHITMORE T C, BURNHAM C P. Tropical rain forests of the Far East[M]. Oxford: Clarendon Press, 1975: 155-253.
- [20] WHITMORE T C. Tropical rain forests[M]. Oxford: Clarendon Press, 1990.1-20.
- [21] 王晓梅, 孙湘君, 汪品先, 等. 末次冰消期以来巽他陆架高分辨率的孢粉记录[J]. *中国科学: D 辑*, 2007, 37(1): 71-76.
- [22] VAN DER KAARS W A, DAM M A C. A 135,000-year record of vegetational and climatic change from the Bandung area, West-Java, Indonesia [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1995, 117(1-2): 55-72.
- [23] NEWSOME J. Late Quaternary vegetational history of the Central Highlands of Sumatra. I. Present vegetation and modern pollen rain [J]. *Journal of Biogeography*, 1988, 15: 363-386.
- [24] VAN DER KAARS S. Marine and terrestrial pollen records of the last glacial cycle from the Indonesian region: Bandung Basin and Banda Sea[J]. *Palaeoclimates*, 1998, 3: 209-219.
- [25] CARATINI C, TISSOT C. Paleogeographical evolution of the Mahakam delta in Kalimantan, Indonesia during the quaternary and late pliocene [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1988, 55(1-3): 217-228.
- [26] HOPE G, TULIP J. A long vegetation history from lowland Irian Jaya, Indonesia [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1994, 109(2-4): 385-398.
- [27] 翦知潜, YOSHIKI S, 汪品先, 等. 黑潮主流轴近两万年来来的位移 [J]. *科学通报*, 1998, 43(5): 532-536.
- [28] GRAF K. Palynological investigations of two post-glacial peat bogs near the boundary of Bolivia and Peru[J]. *Journal of Biogeography*, 1981, 8: 353-368.
- [29] THOMPSON L G, MOSLEY-THOMPSON E, DAVIS M E, et al. Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru[J]. *Science*, 1995, 269(5220): 46-50.