

南海深海 69 站柱状沉积中的孢粉记录与气候变化*

张玉兰

(同济大学海洋与地球科学学院, 上海, 200092)

摘要: 通过对南海 69 站深海柱状剖面的孢粉、藻类研究, 根据孢粉成分的变化将该孔沉积层从下至上划分为 5 个孢粉组合带: 1 带: *Quercus*(常绿)-*Pinus-Cyathea-Artemisia* 孢粉带(552.5—470cm); 2 带: *Pinus-Podocarpus-Quercus*-*Polypodiaceae* 孢粉带(470—350cm); 3 带: *Quercus*(常绿)-*Castanopsis-Pinus*-*Polypodiaceae* 孢粉带(350—250cm); 4 带: *Pinus-Podocarpus-Artemisia*-*Polypodiaceae* 孢粉带(250—140cm); 5 带: *Podocarpus-Cyathea-Quercus*(常绿)-*Pinus*-*Polypodiaceae* 孢粉带(140—0cm)。并相应恢复了南海东部 64 000 a 以来 3 个植被、气候、古环境演替阶段: 热带季雨林、热带北缘半常绿季雨林和热带季雨林。结合氧同位素测定资料, 对 69 站柱状地层时代作了划分: 孢粉 1 带相当于氧同位素 3 期, 时代为 Q_3^{3-2} ; 孢粉 2—4 带相当于氧同位素 2 期, 时代为 Q_3^{3-3} ; 孢粉 5 带为氧同位素 1 期, 时代为 Q_1 。

关键词: 南海; 沉积物; 孢粉记录; 气候

中图分类号: P736.221 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2009)03-0054-05

Palynological records of deep-sea sediments at Core 69 in the South China Sea and indications for climate changes

ZHANG Yu-lan

(School of Ocean & Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: During the sporopollen and algae research of the deep-sea sediments at Core 69 in the South China Sea, five sporopollen zones have been distinguished in ascending order as Zone 1 (552.5—470 cm): *Quercus* (evergreen)-*Pinus-Cyathea-Artemisia*, Zone 2 (470—350 cm): *Pinus-Podocarpus-Quercus*-*Polypodiaceae*, Zone 3 (350—250 cm): *Quercus* (evergreen)-*Castanopsis-Pinus*-*Polypodiaceae*, Zone 4 (250—140cm): *Pinus-Podocarpus-Artemisia*-*Polypodiaceae*, and Zone 5 (140—0 cm): *Podocarpus-Cyathea-Quercus* (evergreen)-*Pinus*-*Polypodiaceae*. The sporopollen zones reflect three evolution stages of vegetation, climate and paleoenvironment in the South China Sea since 64 000 yr BP as follows: hot and wet tropical monsoon rainforest, semievergreen monsoon rainforest of northern tropics, and return to hot and wet tropical monsoon rainforest.

Stage 1: During this period, the vegetation was characterized by tropical monsoon rainforest, reflecting a hot and wet climate when the sea level rose. There were many evergreen tree species. The tree layer was dominated by *Dacrydium*, *Podocarpus*, evergreen *Quercus*, *Pinus*, *Elaeocarpus*, *Magnolia*, *Castanopsis*, *Palmae*, *Myrica* and *Altingia*, among others. The herbage layer under canopy included *Gramineae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae* and *Cyperaceae*. The ferns were dominated by *Polypodiaceae*, *Microlepia*, *Cyathea*, *Diplopterygium* and *Pteris*. Mangrove plants grew along the coastal areas.

Stage 2: The vegetation was semievergreen monsoon rainforest of northern tropics. This stage was indicated by the palynological Zones 2 to 4. The elements of evergreen *Quercus*, *Castanopsis*, *Pinus* and

收稿日期: 2008-10-11; **修订日期:** 2008-11-15。卢冰编辑

基金项目: 国家自然科学基金资助(40276021)、华东师范大学河口海岸国家重点实验室基金(200704)

作者简介: 张玉兰(1946—), 女, 大学, 江苏启东人, 教授。主要从事孢粉、藻类, 海洋地质方面研究。E-mail: zhangyl@mail.tongji.edu.cn

* 张卫东同志参加部分研究工作, 国家海洋局第二海洋研究所在样品采集过程中给予的帮助和支持, 在此一并致谢!

Magnolia from the southern subtropical zone increased in the vegetation, whereas the elements of *Elaeocarpus*, *Dacrydium* and *Palmae* from the tropical zone decreased. The herbage layer under canopy consisted of Gramineae, *Artemisia* and Cyperaceae, among others. The ferns were dominated by Polypodiaceae, *Pteridium*, *Cyathea*, *Diplopterygium* and *Adiantum*. Mangrove plants grew along the coastal areas. The vegetation was characterized by the northern tropical semievergreen monsoon rainforest, reflecting a slightly dry and warm climate when the sea level dropped.

Stage 3: The vegetation was again tropical monsoon rainforest. Indicated by palynological Zone 5, the vegetation mainly consisted of *Dacrydium*, *Podocarpus*, *Altingia*, *Palmae*, Lauraceae, *Magnolia*, Sapindaceae, evergreen *Quercus*, *Castanopsis* and *Myrica*, among others. The herbage layer under canopy was dominated by Gramineae, Umbelliferae, Chenopodiaceae and *Artemisia*. The ferns included Polypodiaceae, *Cyathea*, *Dicranopteris*, *Diplopterygium* and *Pteris*. Mangrove plants grew along the coastal areas. All of these showed a hot and wet environment when the sea level rose.

Combined the sporopollen and algae data with oxygen isotope dating, a stratigraphic division was done for the Core 69 in the South China Sea. Palynological Zone 1 corresponds to oxygen isotope period 3, and its stratigraphic time is Q_3^{3-2} ; Palynological Zones 2 to 4 correspond to oxygen isotope period 2, and its stratigraphic time is Q_3^{3-3} ; Palynological Zone 5 corresponds to oxygen isotope period 1, and its stratigraphic time is Q_4 .

Key words: South China Sea; sediment; palynological record; climate

海洋沉积的孢粉研究虽开展得较晚，但在近几十年来得到迅速发展，各国的孢粉工作者对地中海、北海、亚速尔海、鄂霍次克海、白令海、日本海、智利海盆、加利福尼亚湾、太平洋西部、大西洋北部等海区都已进行了孢粉研究，并取得了令人瞩目的成果。自 1970 年以来，中国学者也先后对东海、黄海、渤海、南海的海底表层沉积物和柱状剖面样品进行了系统或部分海区的孢粉研究^[1-4]。

以后随着海洋研究的深入，对海南岛周围、南海东部地区也做了一些孢粉研究工作^[5-10]。随着大洋钻探的开展，中国首次在南海中南部进行深海钻探，获取了一些钻井样品和相关孢粉研究成果^[11-19]。

南海 69 站位于 118°49′00″E，20°07′10″N，水深 2 971m，共分析 55 个样品(见图 1)，每个样间隔约 10cm。对 55 个样品所作的孢粉分析显示，绝大部分样品含丰富孢粉，为南海深海沉积的孢粉研究新添了宝贵资料。

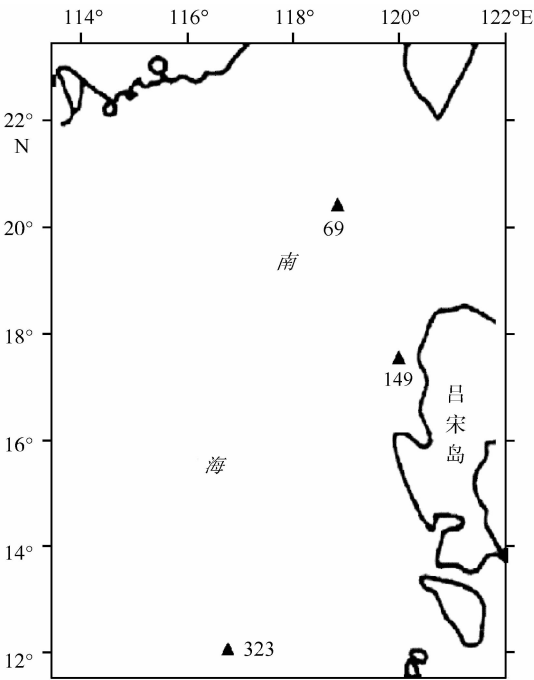


图 1 南海 69 站位置图

Fig. 1 Location of Core 69 in the South China Sea

1 样品处理与分析

把从 69 站采集的 55 个柱状样品烘干称样，每样称取 10g，粉碎过筛后放入塑料烧杯中，加入 15% 的 HCl，放置一昼夜去除钙质；然后水洗几次呈中性后离心脱水，再加入浓度为 55% 的 HF，放置 2 昼夜，后加水换水 4 次以上，水洗至中性，离心脱水；再加重液浮选(重液用 KI、CdI 配制，比重 2.1 左右)，吸取上面孢粉及有机质，小试管离心再富集；洗净重液后加入甘油水，制片，即可镜下观察鉴定。

2 69 站孢粉记录

69 站柱状样品岩性是，0—10cm 为灰黄色深海粘土，10—560cm 为深灰色钙质粘土。从 12.5cm 处开始采样，共分析 55 个样品，见较多的

孢粉化石，根据孢粉组合特征自下而上划分 5 个孢粉带(见图 2)：

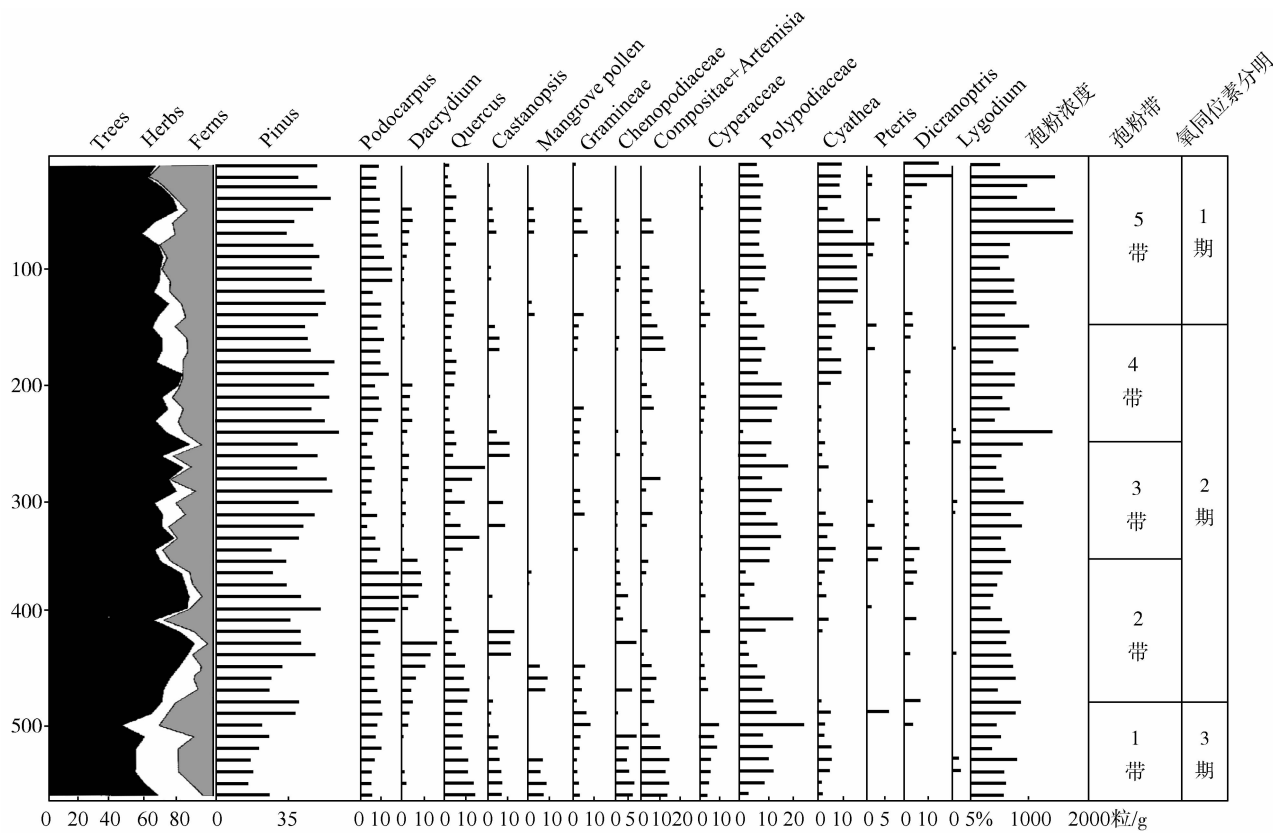


图 2 69 站柱状剖面孢粉图式
Fig. 2 Diagram of palynology of Core 69 in the South China Sea

1 带：*Quercus*(常绿)-*Pinus*-*Cyathea*-*Artemisia* 孢粉带(552.5—470cm)。

本带木本植物花粉为 44.44%—68.63%，其中含量高的是松属、常绿栎、罗汉松花粉，其次是桫、泪杉、红树植物花粉；其中红树植物花粉见有红树、木榄、秋茄、角果木、桐花树、海桑，偶见有大戟科、五加科、樟科、紫树等花粉。草本植物花粉含量为 8.82%—30.22%，以菊科和蒿属为主，另见有禾本科、藜科、莎草科。蕨类植物孢子含量为 15.1%—33.33%，以水龙骨科为主，其次为桫椤，还见有海金砂、芒萁、石松、里白、紫萁等。孢粉成分反映当时气候热而略湿。

2 带：*Pinus*-*Podocarpus*-*Quercus*-*Polypodiaceae* 孢粉带(470—350cm)。

本组合中木本植物花粉为 63.83%—88.52%，松的花粉含量最高，其次是罗汉松、泪杉、云杉、冷杉、红树植物花粉。罗汉松、泪杉、云杉和冷杉花粉比 1 带增加，红树植物花粉则有所减少，常绿栎、桫属花粉含量减少，木兰、大戟科、杜英、番荔枝、楝属花粉少见。草本植物花粉为 1.45%—21.35%，明显比 1 带减少，有一定的莎草科，菊科花粉，蒿属花粉显著减少。蕨类植物孢子为

3.28%—30.85%，以水龙骨科为主，桫椤少见，芒萁断续分布，有少量的凤尾蕨、里白属，偶见铁线蕨孢子。孢粉成分反映当时气候暖热而稍干。

3 带：*Quercus*(常绿)-*Castanopsis*-*Pinus*-*Polypodiaceae* 孢粉带(350—250cm)。

本组合木本植物花粉为 64.15%—85.93%，松花粉的含量仍是最高，起伏大，总的趋势是增加，其次常绿栎、桫属、罗汉松、泪杉，常绿栎、桫属花粉较 2 带有所增加，罗汉松、泪杉则略有减少，红树植物花粉消失，还见有少量其他花粉如木兰、大戟科、杜英、木犀、楝属、紫树、蕁树属、棕榈科等。草本植物花粉为 1.90%—24.84%，草本植物花粉中菊科和蒿属大量减少，另外，有一定的禾本科、藜科、莎草科、伞形花科。蕨类植物孢子含量为 7.22%—31.18%，蕨类孢子以水龙骨科为主，还有较多的桫椤。孢粉成分反映当时气候暖热而稍湿。

4 带：*Pinus*-*Podocarpus*-*Artemisia*-*Polypodiaceae* 孢粉带(250—140cm)。

本带木本植物花粉含量为 62.56%—80.84%，木本植物花粉中松属占绝对的优势，罗汉松花粉比 3 带稍有增加，而常绿栎、桫属花粉有所减少。草

本植物花粉为 1.02%—15.66%，草本植物花粉中菊科、蒿属、莎草科、禾本科、藜科均有一定含量。蕨类植物孢子为 16.11%—24.55%，以水龙骨科为主，桫欏较 3 带有明显的增加，还见有凤尾蕨、芒萁等孢子。孢粉成分反映当时气候稍热而稍干。

5 带：*Podocarpus-Cyathea-Quercus*（常绿）-*Pinus*-Polypodiaceae 孢粉带（140—0cm）。

本带以木本植物花粉占首位，占 56.3%—77.68%，蕨类孢子含量其次。为 16.31%—40%，草本植物花粉数量较少，为 0%—20%。木本植物花粉中喜热湿的罗汉松，常绿栎类花粉数量比前期增加，还有一些木兰、楝、泪杉以及红树植物花粉，松属花粉绝对含量还是最高。草本植物花粉中数量稍多的有菊科、藜科、禾本科。蕨类孢子中喜热的桫欏比前期增加，还有一定量水龙骨科孢子，另见少量凤尾蕨、铁线蕨、紫萁、芒萁等孢子。孢粉成分反映当时气候炎热而湿润。

3 地层时代初步划分

南海 69 站样品除进行孢粉、藻类研究外，还作了氧同位素测定，测定数据见表 1。

表 1 南 69 站氧同位素($\delta^{18}\text{O}$) 分期表
Tab. 1 Oxygen isotope dating of Core 69 in the South China Sea

井深/cm	氧同位素分期	绝对年龄/Ka BP
4—142.5	1	12
142.5—247.5	2	18
247.5—470	2	
470—547	3	

结合氧同位素测年资料和孢粉组合带所反映的气候变化，将 69 站地层初步划分如下：孢粉 1 带相当于氧同位素 3 期，时代为 Q_3^{3-2} ；孢粉 2—4 带相当于氧同位素 2 期，时代为 Q_3^{3-3} ；孢粉 5 带为氧同位素 1 期，时代为 Q_4 。

4 孢粉组合反映的古植被、古气候和古环境演变

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有密切依赖关系，植被是反映气候变化的温度计。南海 69 站划分的孢粉组合带反映南海陆缘古植被、古气候、古环境演变经历如下几个阶段：

第 1 阶段：热带季雨林阶段。

本阶段以常绿乔木种类多为特征，喜热湿的泪杉、罗汉松相对多，还有较多的常绿栎类和一定数量杜英、木兰属、栲属、棕榈科、杨梅、蕁树属等生长；常绿针叶的松也较多，海滨有红树植物生长。林下草本植物有禾本科、蒿属、藜科，在低凹的湿地有一些莎草科、香蒲属生长；蕨类植物中水龙骨科、鳞盖蕨、桫欏属、里白属、凤尾蕨属数量较多。反映当时陆缘植被为热带季雨林，气候炎热而潮湿，海平面上升^[20]。与前人研究的南海沉积物所反映的海平面变化一致^[21]。本阶段对应于孢粉 1 带，其时代相当于氧同素 3 期。

第 2 阶段：热带北缘半常绿季雨林阶段。

本阶段植被成分中南亚热带常绿栎类、栲、木兰、松等数量较多，热带成分杜英、泪杉、棕榈科等有所减少。林下草本植物有禾本科、蒿属、莎草科等；蕨类植物中水龙骨科、蕨属、桫欏、里白、铁线蕨数量较多；还有一些海滨红树植物和出现少量山地针叶树。此阶段出现少量高山山地针叶树花粉，反映台湾、菲律宾等地山地植被带下移。正如郑卓^[22]在研究中提到的中国热带低海拔丘陵地区冰期气候表现为山地雨林垂直植被带下移，在亚热带地区则以铁杉属、山毛榉属、桦属、冷杉属以及其它落叶阔叶成分增加为特征。反映此时气候变凉，可能与末次冰期气候相当，为暖热、稍干气候（气候曾有波动，经历暖热、稍干—暖热、稍湿—暖热、稍干），海平面下降，海滨红树林相对发育。此阶段对应于 2—4 孢粉带，其时代相当于氧同位素 2 期。

第 3 阶段：热带季雨林阶段。

植被中喜热湿成分如泪杉、罗汉松、蕁树属、棕榈科、樟科、木兰、无患子科数量增多，亚热带的常绿栎、栲、杨梅等也有一定数量。草本植物有禾本科、伞形科、藜科、蒿属等生长；蕨类植物中水龙骨科、桫欏、芒萁、里白、凤尾蕨数量较多；海滨红树植物也有一定数量；孢粉组合中还有一定数量海生甲藻。反映当时气候热而湿润，海平面上升，后期与现今气候相近。此阶段对应于孢粉 5 带，其时代相当于氧同位素 1 期。

参考文献：

[1] 王开发,王永吉,徐家声,等. 黄海沉积孢粉藻类组合[M]. 北京: 海洋出版社, 1987.
[2] 王开发,孙煜华,张玉兰,等. 东海沉积孢粉藻类组合[M]. 北京: 海洋出版社, 1987.
[3] 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 年.

[4]王开发, 张玉兰, 蒋辉, 等. 渤海沉积孢粉藻类组合与环境[M]. 北京: 地质出版社, 1993 年.

[5]张玉兰, 封卫青, 王开发, 等. 从海南岛全新世孢粉研究看海滨红树林的演化[J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 117—122.

[6]张玉兰, 张卫东, 王开发, 等. 南海东北部表层沉积的孢粉与陆缘植被关系的研究[J]. 海洋通报, 2002, 21(4): 28—36.

[7]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]. 海洋地质及第四纪地质, 2003, 23(1): 73—76.

[8]张玉兰, 龙江平. 海南岛周边近海表层沉积中的孢粉及其与周边植被的关系[J]. 海洋学研究, 2007, 25(3): 23—31.

[9]张玉兰, 龙江平. 南海北部 B106 站柱状沉积的孢粉与藻类及其古环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(5): 9—14.

[10]张玉兰. 南海东部深海沉积物中孢粉与古环境研究[J]. 同济大学学报, 2003, 31(5): 554—557, 609.

[11]孙湘君, 李逊. 南海现代花粉传播动力与途径在南北海城的差异[J]. 中国科学: D 辑, 1997, 41(6): 494—498.

[12]袁金红, 罗运利, 徐兆良, 等. 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]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(3): 75—81.

[13]王晓梅, 孙湘君. 南海哭他陆架末次冰期以来的孢粉记录初步研究[J]. 地球科学进展, 2005, 20(8): 833—839.

[14]SUN XIANG-JUN, LI XUN, LUO YUN-LI. Vegetation and climate on the sunda shelf of the South China Sea during the Last Glaciation-Pollen Results from station 1962[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(6): 746—752.

[15]WANG L, SARNTHEIN M, ERLKENKEUSER H, et al. East Asian monsoon climate during the late Pleistocene : High-resolution sediment records from the South China Sea [J]. Marine Geology, 1999, 156(3/4): 245—284.

[16]SUN X, LI X, LUO Y, et al. The vegetation and climate at the last glaciation on the emerged continental shelf of the South China Sea[J]. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 2000, 160: 301—316.

[17]HEUSSER L E, GEER G. Direct correlation of terrestrial and marine palaeoclimatic records from four glacial-interglacial cycles-DSDP site 594 southwest Pacific[J]. Quaternary Science Reviews, 1994, 13: 273—282.

[18]黄 翡, 孙湘君. 南海北部更新世高分辨率孢粉序列与气候变化[J]. 微体古生物学报, 2002, 19(3): 256—262.

[19]张卫东, 张玉兰, 王开发, 等. 南海东北部表层沉积的孢粉与陆缘植被关系的研究[C]. 中国海洋学文集, 2002, 14: 23—30.

[20]TIJI H D. Sea level changes in the technically stable Malay-Thai peninsula[J]. Quatern int, 1996, 31: 95—101.

[21]KUNAI, H. Quaternary stratigraphy[J]. Quaternary Research. 1991, 30(3): 131—140.

[22]ZHANG ZHOU. Late Quaternary vegetation and climate changes in the tropical and subtropical areas of China[J]. Acta Micropalaeontological Sinica, 2000, 17(2): 125—146.