

广州地区晚第四纪孢粉气候研究*

王晓静¹, 王建华¹, 曹玲珑², 阳杰³, 杨小强¹, 彭卓伦¹, 金钢雄¹

(1. 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275;

2. 国家海洋局南海工程勘察与环境研究院, 广东 广州 510300;

3. 国家海洋局南海环境监测中心, 广东 广州 510300)

摘要: 利用广州地区南北2个不同沉积地貌区的钻孔进行孢粉分析, 结合测年和沉积信息, 分析了广州所代表的珠江三角洲地区晚更新世以来的沉积环境和气候变化。孢粉分析结果显示: 在晚更新世珠江三角洲地区气候经历了偏冷干-偏凉干-暖湿-热湿-偏凉干-冷干的变化过程, 末次冰期对本区具有明显影响, 使全新世和晚更新世孢粉组合表现出一定的差异; 全新世气候明显转暖湿, 整体上以暖湿为主, 但出现了一些小的气候波动事件, 最明显的是在2250 a BP前后偏凉干的变化; 该区在晚更新世和全新世各经历过一次海侵, 两孔反映的气候期和海平面变化较为一致, 气候和海平面变化也有很好的对应。两孔在地层、沉积相和孢粉特征上的差异是地理位置、沉积环境和基座地貌等差异造成的。

关键词: 古气候; 孢粉; 沉积; 晚第四纪; 珠江三角洲

中图分类号: P53 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2010)03-0113-09

Late Quaternary Pollen Records and Climate Significance in Guangzhou

WANG Xiaojing¹, WANG Jianhua¹, CAO Linglong², YANG Jie³, YANG Xiaoqiang¹,
PENG Zhuolun¹, JIN Gangxiong¹

(1. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, SOA, Guangzhou 510300, China;

3. South China Sea Environment Monitoring Center, SOA, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Through the pollen analysis, combined with the informations on dating and sedimentation of two drilling cores located at different deposition-geomorphological area in the northern and southern part of Guangzhou, the deposition environmental and climatic changes since the late Pleistocene in Guangzhou, the Pearl River Delta, are suggested. Pollen records show that the climate during the late Pleistocene changed as below: partially dry-cold, slightly cool-dry, warm-humid, hot-moisture below, partially cool-dry, cold-dry. The obvious influence from the Last Maximum Glaciation resulted in the difference of pollen assemblage characteristics between the Holocene and the late Pleistocene. The climate became generally warm and humid in the Holocene, but being altered with some minor climatic fluctuation events, e. g. the most obvious partial dry-cool transition around 2250a BP. Two transgressions have affected the delta during the late Pleistocene and the Holocene. Not only the variations of climatic and sea-level changes of two cores are consistent each other, but also a good correspondence between climate and sea-level change is shown. The differences on stratigraphy, sedimentary facies and pollen characteristics of two cores were resulted from the distinctive location, sedimentary environment and the topography of deposi-

* 收稿日期: 2010-03-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40252004, 40772113); 中国地质调查局基金资助项目(1212010511106-02)

作者简介: 王晓静(1979年生), 女, 博士研究生; 通讯作者: 王建华; E-mail: adswjh@mail.sysu.edu.cn

tional bed.

Key words: paleoclimate; pollen; sedimentation; Late Quaternary; the Pearl River delta

第四纪气候尤其是晚更新世以来的气候研究是现代研究的热点之一,近年来国际第四纪气候研究已经有了很多新的材料和方法,研究精度也在不断提高。我国第四纪气候和环境变化研究在西北、黄土、华北、长江三角洲地区已有较为成熟的研究,相比较华南和珠江三角洲地区的研究则稍显薄弱。

广州地区位于珠江三角洲中北部,除北部山地和丘陵台地外,大部分地区为珠江三角洲冲积平原。而珠江三角洲地处我国南海陆架边缘,海陆相互作用强烈,第四纪沉积发育^[1-2]。这些海陆相互作用形成的沉积物记录着丰富的区域、全球环境演化信息,是恢复区域的环境演变及其全球变化研究的良好信息载体。因此,选取广州地区的沉积作为研究对象对于研究珠江三角洲具有很好的代表性和典型性。前人已经对华南地区晚第四纪沉积做了一定的研究,对于地层、沉积、海侵旋回和海平面变化有了一定的认识^[1-5],多数支持珠江三角洲是晚第四纪约 45 ka BP 以来的沉积,经历了两次显著的海侵旋回。

在珠江三角洲地区气候研究方面,李平日^[2-3]通过孢粉分析认为珠江三角洲全新世经历了“凉干-热湿-暖热波动”的变化过程,总变温幅度在 4~6 °C,且孢粉分析的结果与考古及史料记载的冷暖变化与是基本相符;也有研究认为孢粉组合很难判断暖热波动^[6-8];郑卓等^[9]在珠江三角洲北部地区孢粉研究中,认为全新世的孢粉除栲属、常绿栎类外,还有杜英属、棕榈科等,而山地针叶树则大多消失,孢粉气候与全新世海侵同步变化;张伟强^[10]则认为全新世至 2.5 ka BP 持续波动升温,而难以识别 8.5~3 ka BP 的大暖期;2.5 ka BP 才开始降温;部分学者认为全新世气候变化不明显^[11-12]。

综上,前人虽然利用孢粉、有孔虫等生物化石对本区的气候进行过一定探讨,但孢粉分析的年代分辨率普遍较低,加上珠江三角洲地处亚热带,气候变化不如温带地区敏感和明显,较小的气候变化幅度不足以改变整体的植被分带,所以对于华南地区的气候研究仍然存在一定的模糊和不确定性。因此,本文利用广州地区南北 2 个不同地貌区的孢粉分析结果,结合沉积和测年数据,综合探讨本区的气候和环境变迁。

1 研究区概况及钻孔概况

1.1 研究区概况

广州地区位于珠江三角洲中北部,接近珠江流域下游入海口,濒临南海。地理范围是 112°57' - 114°3' E, 北纬 22°26' - 23°56' N, 年降水量 1982.7 mm、年均温 22 °C, 雨热充足, 河网纵横, 属亚热带典型的季风海洋气候, 地带性植被主要为亚热带常绿阔叶林, 但目前基本以次生和人工林为主。广州地区地势东北高, 西南低, 大部分地区由珠江三角洲冲积平原组成。第四系可划分为三角洲平原区和河谷平原区, 第四系平均厚度约为 25 m, 最大厚度为 63.6 m, 第四系样品的最老年龄为 45 120 ± 910 aBP。三角洲主要是在晚更新世中期即末次亚间冰期 (MIS3) 以来的沉积。

1.2 钻孔概况

本次在广州东南部和北部取得钻孔岩心 GZ-2 和 GZ-4。其中 GZ-2 钻孔位于珠江三角洲腹地广州南部万顷沙苏十顷收费站正东 400 m 处 (22°42.339'N, 113°30.831'E), 地面标高约 1 m, 孔深 40.93 m, 穿透整个第四系, -40.35 m 以下基底为全风化花岗岩, 取芯率 >99%。GZ-4 钻孔位于广州西北部江高镇镇政府西南 200 m 处 (113°12.338'E, 23°16.218'N), 地面标高 4 m, 孔深 31.39 m, 其中 -31.02 m 以下为白垩系-古近系红色砂砾岩, 取芯率 >95%。(图 1)

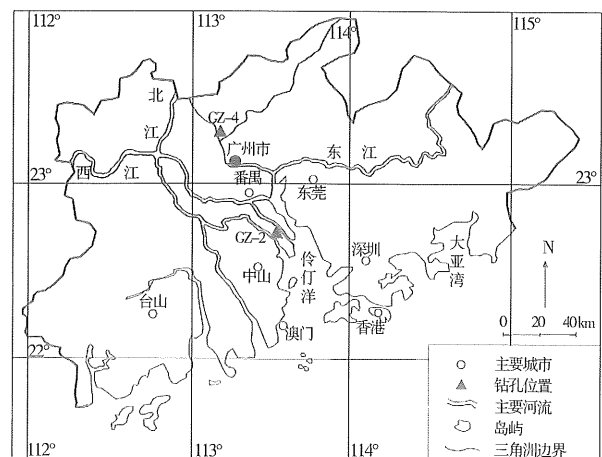


图 1 研究区域地理和钻孔位置

Fig. 1 Geography of studied area and location of cores in the Pearl River delta

2 钻孔年代及地层分析

2.1 GZ-2 孔

GZ-2 孔全长 40.93 m，穿透整个第四系，岩芯（图 2）在室内开孔取样，取样间隔为 10 cm。有效测年年龄有 5 个 AMS¹⁴C 测年（有机碳）、1 个常规¹⁴C 测年和 1 个光释光测年结果。

从¹⁴C 测年结果看，本区的第四纪沉积可划分为上更新统和全新统。从岩性看，在 -15.37 m 处可能存在一个沉积间断面，界面之上是深灰色粘土，之下则为浅灰色粉砂质细砂；且磁化率、粒度、古地磁参数及有孔虫、海绿石等均在此发生较大变化；此外，在界面上覆地层中，草本和蕨类孢粉含量开始逐渐增多，而海桑属红树花粉和山地陆

均松花粉则基本消失，这与下伏地层有明显不同。前人研究认为^[13-14]，海桑和陆均松在华南沿海第四系一般仅出现在更新统中。因而基本可以断定 -15.37 m 为晚更新世和全新世的分界线。

古地磁结果（图 2）显示，绝大多数样品磁倾角为正向，说明均为布容正极性期沉积。将磁倾角值的变化与标准古地磁极性年表对比^[15]，并结合¹⁴C 测年结果以及古地磁事件在我国的相应记录^[16-17]，推测了 12 ~ 11ka BP 期间的哥德堡（Gothenburg）极性漂移事件和 38 ~ 37ka BP 之间的 Laschamp 事件在岩心中的对应记录；另外，根据磁学参数的明显突变和转折与磁性事件的对应，推断出 3 个磁学年龄值^[18]。

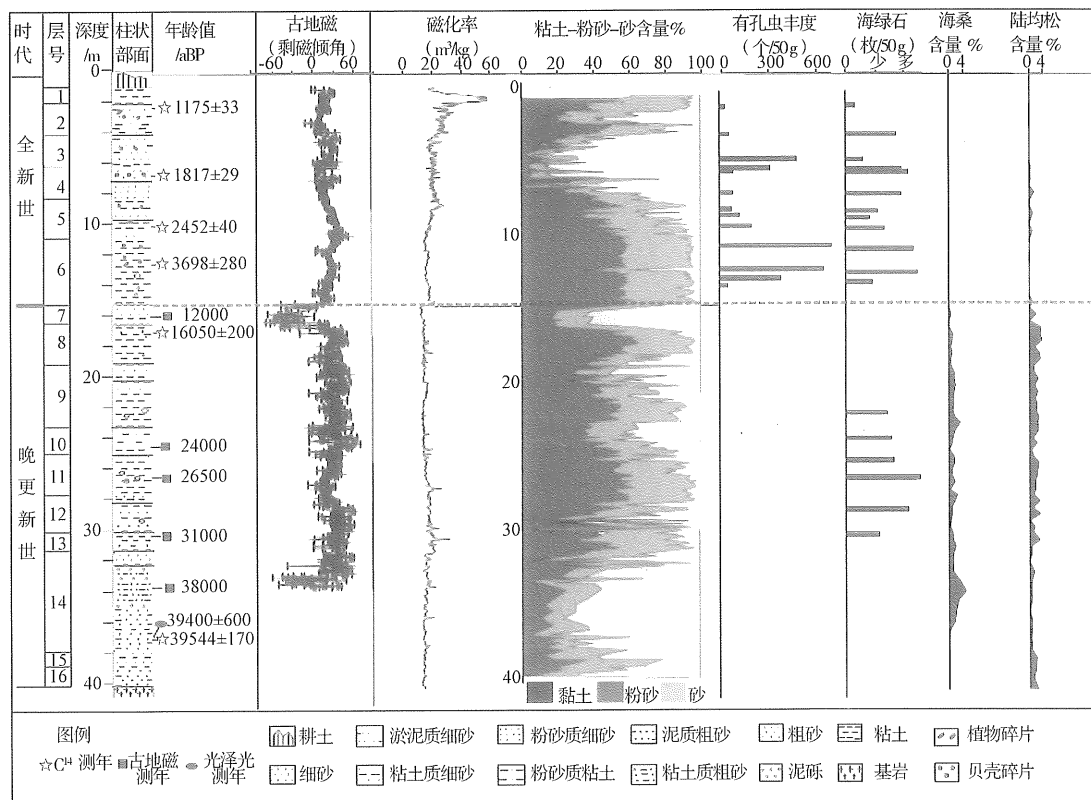


图 2 GZ-2 孔地层和年代框架

Fig. 2 Stratigraphy and chronology of core GZ-2 in Wanqingsha of south Guangzhou

综合以上测年结果和分析，对可信年龄进行内插和外延，构成本次研究的年代框架（图 2）。

假定相邻两个测年控制点之间的沉积速率是平均的，推测出本区第四系沉积开始于 42 ka BP 前后，与珠江三角洲最早沉积区同期沉积，并没有超出晚更新世中期；在更新统地层中，在底部自下而上发育了一套由粗砂到粉砂和粘土的的沉积；更新

统顶部（-16.65 ~ -15.37 m 段）为黄灰色粉砂质细砂，属于三角洲平原河流相，与珠江口海域钻孔常有的花斑状粘土属于同期产物^[19-20]，对应于 MIS2。推测末次盛冰期前后，本区大部暴露地表遭受剥蚀，部分地区出现间断性的陆相沉积，多个沉积间断出现在晚更新世末（约 21 和 18 ka BP 前后、16 ~ 12 ka BP 左右）和早全新世（约 11 ~ 6 ka

鉴定结果显示，大部分样品含孢粉丰富，反映了晚更新世以来本地气候以暖湿为基本特征，以南亚热带常绿林为主要的景观植被。

3.2 GZ-4 孔

GZ-4 孔从 -29.9 ~ -2.5 m 共鉴定分析孢粉样品 23 个，-14 m 以下含砾中粗砂取样间隔较大，-14 m 以上取样精度为 0.4 ~ 0.6 m/样。23 个样品中，共鉴定孢粉 2 248 粒，平均约 98 粒/样。总孢粉分属 136 个属种，其中木本植物 86 个，草本植物 30 个，蕨类孢子 20 个。孢粉组成以木本和草本为主，孢粉浓度、常绿木本和落叶木本的种类、蕨类的种类都明显少于 GZ-2 孔，蕨类含量基本在 20% 以下，除 -7.3 m 附近和 -6 m 以上地层，草本类均比较占优势。

GZ-4 孔中孢粉较贫乏，植物种类主要以中亚热带木本以及草本为主，组合中木本植物花粉与草

本植物花粉含量相接近，交互波动，蕨类植物孢子平均含量 < 15%。主要木本植物类型有松、栲/栎、阿丁枫、柃、常绿栎、其他低含量分子有金缕梅、枫杨、夹竹桃、落叶栎、桦、陆均松等。草本类主要有禾本科，其次是蒿属、藜科、莎草科，其余分子含量很低，蕨类总含量低。

相对于 GZ-2 孔，GZ-4 孔孢粉种类和数量都明显偏少，在一定阶段表现出亚热带山地常绿林的特征，在一定程度上也说明了晚第四纪以来广州南北的沉积环境具有较明显的差别。

4 孢粉气候带谱分析

4.1 GZ-2 孔

根据 GZ-2 孔孢粉百分比在地层剖面上的波动，并结合岩性，可以划分出 8 个孢粉组合带。如图 4 所示。

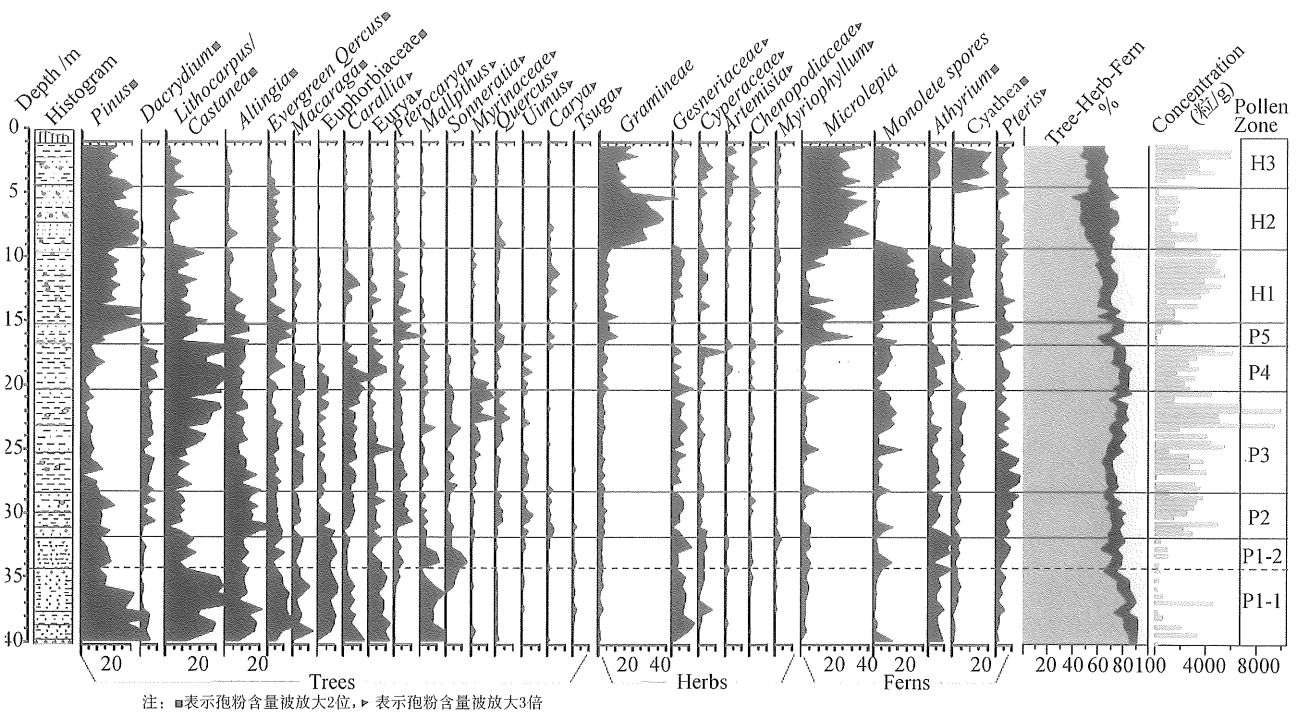


图 4 GZ-2 孔孢粉百分比图式

Fig. 4 Pollen diagram of core GZ-2

上更新统孢粉自下而上主要有 4 个比较明显的孢粉带：

孢粉带 P1 (-39.9 ~ -31.8m)：孢粉浓度在上更新统中最低。木本植物占绝对优势，常绿类栲/栎、阿丁枫、常绿栎、柃等亚热带常绿阔叶植物(均为 5% ~ 8%)，为最主要的建群种，偶见落叶植物木本分子，裸子植物以松和陆均松为主，松含量 8% ~ 25%，为上更新统中最高段，蕨类和草本

含量较低，在 10% 以下。体现了亚热带常绿林为主，伴有针叶林的森林植被景观，蕨类和草本不发育，整体上气候比较偏凉干。但后阶段 (P1-2) 相对于前阶段 (P1-1) 有逐渐转暖湿的趋势。

孢粉带 P2 (-31.8 ~ -28.4 m)：孢粉总浓度明显上升，随蕨类百分比的增加，木本总比重稍有下降，但是木本尤其是栲、常绿栎、阿丁枫等亚热带常绿种仍是最主要种类，各种常绿类树种均很发

育, 松属含量则略有下降, 草本类变化不明显, 蕨类稍有增加。整体上显示了比上一段 P1 偏暖湿的气候特征。

孢粉带 P3 (-28.4 ~ -20.3 m): 该带木本-草本-蕨类总体含量和 P2 相近, 但孢粉浓度继续升高, 为更新统最高值。阿丁枫、常绿栎、栲、血桐、桉、杜英等亚热带植物仍是主要的建群树种, 以海桑为主的红树植物花粉含量也基本达到整个剖面的最大值(2%~4%); 各种落叶类很少出现, 松属含量明显下降(<8%), 蕨类中三缝孢子明显增多。总体上, 这一阶段显示了南亚热带~热带常绿林为主, 林下蕨类发育的植被特征, 显示气候热湿。

孢粉带 P4 (-20.3 ~ -16.65 m): 孢粉浓度较之前的高值明显降低, 木本类仍然保持了上一段的高值, 落叶类和针叶类以及草本类略有增加, 蕨类含量略有下降, 显示气候偏凉干。本段仍可见少量红树类花粉, 根据沉积相分析, 该段主要为夹大量黄绿色泥砾的平原河流细砂沉积, 推测这些孢粉和泥砾来自周边下伏地层的风化剥蚀。

孢粉带 P5 (-16.65 ~ -15.37m): 本段孢粉贫乏, 孢粉浓度极低, 各类孢粉浓度与上覆、下伏地层相比均有明显的变化, 孢粉种类很少, 松属、鳞盖蕨比重显著增大, 其余种类含量很低。由于沉积相指标显示本段为局部的陆相沉积, 本段中出现的零星海桑红树类植物花粉可能来自周边前期沉积物的再搬运。本期为晚更新世末末次冰期晚期, 对应 MIS2, 气候冷干。

全新统可分为3个主要孢粉带:

孢粉带 H1 (-15.37 ~ -9.3 m): 与孢粉稀少的下伏风化地层比较, 本层孢粉浓度从下部向上部迅速增大, 木本和蕨类的百分含量增大, 木本占50%~65%, 栲、常绿栎、阿丁枫、杜英等亚热带常绿树种仍是主要的建群树种, 桦、榆、落叶栎、桉木、胡桃等北亚热带落叶树种也有一定的含量, 松也占12%~20%; 虽然海桑红树花粉和陆均松在此层及以上的地层基本消失, 但是竹节树、红树科等其它红树花粉也达到约3%; 草本中禾本科、苦苣苔、莎草2%~6%, 蕨类中的芒萁、桫欏、三缝孢子等都有急剧的增长。整体显示了南亚热带-热带常绿阔叶林和落叶林及其灌草混生的植被特征, 代表暖湿气候。

孢粉带 H2 (-9.3 ~ -4.9 m): 本段孢粉总浓度比 H1 带明显减少, 木本总含量减少, 最显著的特征是禾本科和芒萁的大量增加; 木本植物中栲、

常绿栎、阿丁枫等亚热带常绿林的相对数量较之前有所下降, 但是绝对数量仍然比较高; 落叶类百分比比较小; 除松属外, 其他木本花粉的绝对浓度明显增加, 基本不见红树花粉; 禾本科(25%~38%)和三缝孢子芒萁(20%~35%)急剧增长, 使其他草本和蕨类相对含量降低。显示气候较之前略偏凉干。

孢粉带 H3 (-4.9 ~ -1.4 m): 孢粉浓度再次增长, 木本花粉含量较 H2 略有上升, 占孢粉总量的48~56%, 落叶类含量仍很低, 禾本科含量较 H2 的高峰期稍有下降, 莎草、蒿、藜、苦苣苔、狐尾藻等水生草本的花粉百分比稍有增加; 芒萁仍然很发育, 鳞盖蕨、单缝孢、桫欏、凤尾蕨等蕨类比重明显增加, 蕨类植物总量达剖面最高, 出现了一定量的红树类花粉。显示了较暖湿的气候特征。

综上, 广州南部万顷沙钻孔 GZ-2 晚第四纪孢粉沉积反映, 其气候在晚更新世经历了偏凉干-暖湿-热湿-偏凉干-冷干的过程, 末次冰期在对本区也有明显表现, 使一些物种退出本区, 全新世气候逐渐转暖, 中全新世最为暖湿, 晚全新世初期有一偏凉干的过程, 随后气候再次转暖, 并逐渐接近现代。

4.2 GZ-4 孔

总体上, GZ-4 孔孢粉相对贫乏, 孢粉浓度低。相对于 GZ-2 孔, 孢粉属种也明显减少, 在 GZ-2 孔出现的棕榈、橄榄、胡椒等南亚热带、热带属种在 GZ-4 孔基本没有出现, 可能 GZ-4 孔的沉积物主要来源于比三角洲南部平原偏冷的山地地区。

GZ-4 孔孢粉种类和数量相对较少, 但是孢粉组合和变化仍然可以揭示出一定的气候波动变化(图5):

孢粉带 J1 (-31 ~ -13.3 m): 孢粉浓度不高, 在此层顶部约-13.8~-13.3 m 处, 孢粉浓度很低, 木本-草本-蕨类的含量相对稳定, 蕨类含量约占10%, 木本和草本类相当, 约占30%~45%; 木本除了松属、栲/栎、枫香、桉、常绿栎, 其他常绿类和落叶类含量很低, 草本中除禾本科外, 其余藜科、蒿属、莎草等含量也非常低, 蕨类含量低, 植物种类相对较少; 显示植被以亚热带山地植被常绿林和落叶林类型为主, 气候总体偏凉干。

孢粉带 J2 (-13.3 ~ -10.1 m): 本层自下而上, 孢粉浓度逐渐增大, 以木本和草本为主, 下部孢粉组合中木本含量高于草本, 上部草本略高于木本; 松属含量逐渐减少, 栲/栎、枫香、常绿栎、

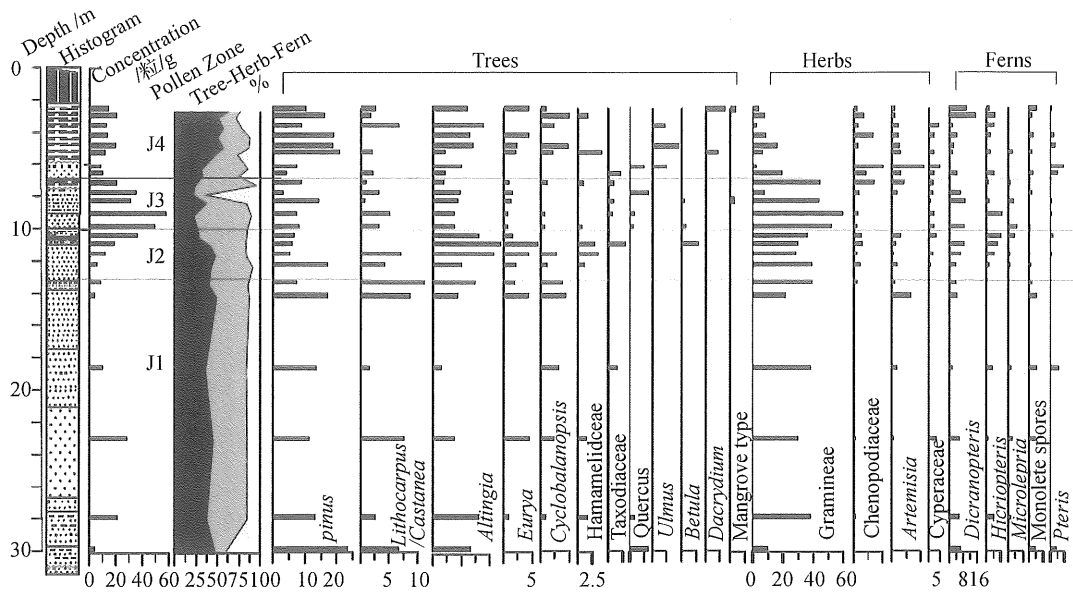


图 5 GZ-4 孔孢粉百分比图式

Fig. 5 Pollen diagram of core GZ-4

莎草科、芒箕、里白等逐渐增多，禾本科变化不明显。植被为南亚热带森林和灌草，显示气候由偏凉干逐渐转暖湿。

孢粉带 J3 (-10.1 ~ -6.8 m)：自下向上，孢粉浓度逐渐减少。孢粉组合中，木本含量随草本含量的增长而略有减少，落叶栎、藜科、蒿属在顶部较纯的花斑状粘土中增加，以禾本科为主的草本类成为最主要的植被组成，但藜科、蒿属等草本类含量并不多，蕨类含量仍然较低。显示了亚热带草原为主的植被景观。判断此时气候相对 J2 期略有转凉。

孢粉带 J4 (-6.8 ~ -2.2 m)：孢粉浓度很低，自下而上，木本类和蕨类百分含量增多，草本类则相对减少；栲、阿丁枫、枞、常绿栎、金缕梅等常绿木本含量较 J3 带时增加，出现了一些落叶栎、桦木科和陆均松；草本中禾本科明显减少，蒿属、藜科、莎草含量相对增长，阳生蕨类芒箕也增多，可见此期气候总体偏暖湿，且中后期比前期暖湿度高。

综上，本区自晚更新世以来，在 52 ~ 32 ka BP 期间，气候总体偏凉干，但中间出现了两次较短的偏暖时期，孢粉组合显示了亚热带山地森林和林下灌草为主的植被类型，在暖期主要发育河漫滩草甸或者沼泽相草地；32 ~ 22 ka BP 期间逐渐转暖湿，中亚热带森林和草地植被发育。

5 气候变化与海平面变化的对应关系

气候变化是导致海平面波动和植被组合发生变

化的原动力。

对比 GZ-2 和 GZ-4 孔，其岩性、孢粉组合和类型均有一定的差异，应是局部地貌、沉积环境和物源差异产生的，但是气候变化应该是一致的，气候类型也应该是相近的。因此可以将此二孔结合起来探讨本区晚第四纪以来的气候和环境演变（图 6）。

珠江三角洲地区在晚更新世以来曾发生过两次明显的海侵，且在滨海和内陆河谷区对应发育了相应的沉积地层，在内陆河谷主要经历了由山区河流-平原河流-湖泊沉积的沉积变迁；而在滨海地区发育了两套由粗到细海侵地层，晚更新世以来本区海平面与长江三角洲及其红海高分辨率海平面变化具有较好的一致性^[23-26]；此外，我们根据阔叶树种在木本中的百分比值以及孢粉百分浓度，以及湿生的草本和蕨类的含量变化等指标，综合拟合了珠江三角洲地区气候曲线，该曲线与前人的研究结果具有相近性^[27-28]，与海平面变化曲线也有很好的相关性。结合本区晚更新世以来的植被-气候-沉积相及海平面的变化，发现气候-环境-海平面之间具有较好的对应。

低海平面期，气候往往偏冷干，陆相河流作用占主导，在内陆河谷区发育河流相沉积，也会存在地层裸露地表、沉积物被侵蚀风化的痕迹，最常见的就是花斑粘土沉积，在本区主要表现在 I 和 V 阶段。但在阶段 I，根据北部钻孔的沉积相及其孢粉变化，发现在整体偏冷干和凉干的气候阶段，仍然

存在一定的气候波动,在相对偏暖的阶段,发育一些较薄层的河漫滩或湖泊相沉积,草本类相应增多。

海侵初期,气候处于由偏冷干逐渐转到暖湿,此时海平面逐渐上升,在滨海地区一般发育三角洲前缘沉积;在晚更新世海侵期,内陆河谷区受侵蚀基准面的上升影响而发育湖相沉积。主要表现在 II 和 VI 阶段。

海侵盛期时,往往处于一个气候旋回中最暖湿,甚至达到湿热的时期,在滨海地区沉积粘土质的三角洲前坡相-河口湾相,此时陆地各类植被均很茂盛和发育,物种丰富。内陆区受影响,发育细粒的湖泊相沉积,如 III 和 VII 阶段。但在这些高海平面期中也存在一定的海平面波动,海平面略微下降

时会发育一些三角洲前缘相沉积,如晚更新世海侵期 III 阶段。

海退期开始时,气候往往由暖湿转为偏凉,滨海地区发育三角洲前缘相或河湖相沉积。植被中山地类和草本类成分增加。主要表现在 IV、VIII 和 IX 的前段。全新世晚期, VIII 和 IX 段,海平面逐渐下降,并接近现今的高度,气候总体偏暖湿,但存在明显的波动,海退前期有一个明显的偏凉的过程,之后逐渐转暖,并接近现代。此期海退在一定程度上促进了本区农业耕作文化的发展,在 IX 段后期,三角洲滨海地区泥沙淤积加强,逐渐转为三角洲平原,人类农业种植活动也加强,禾本科、马尾松、桑属、蕨类芒箕等的增多显示植被构成中人类活动的影响增强。

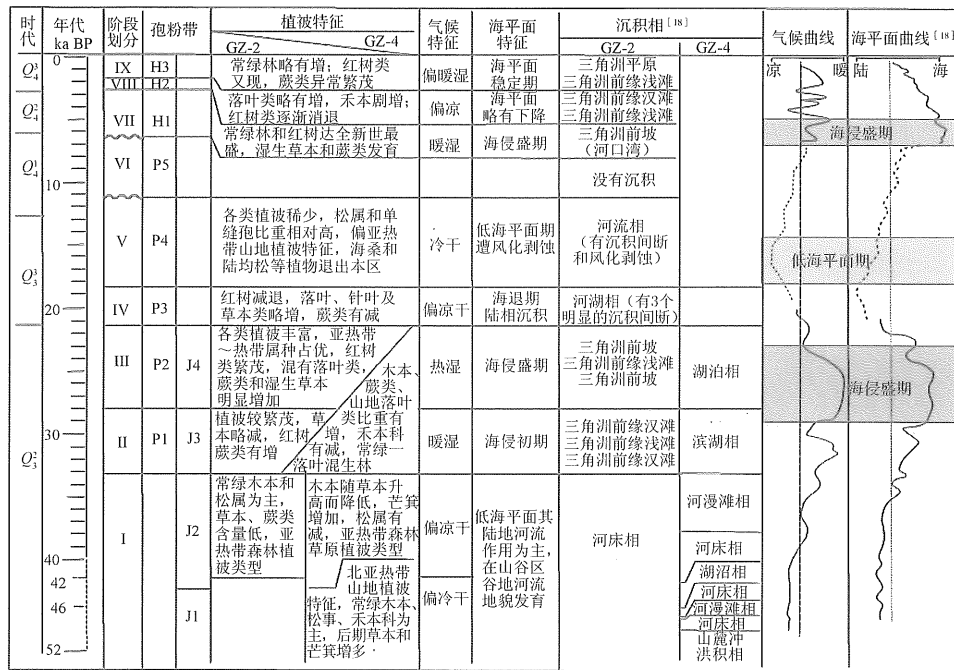


图 6 广州地区晚第四纪植被-气候-海平面特征

Fig. 6 Vegetation, climate and sea level change of late Quaternary in Guangzhou area

6 结论

通过广州南部万顷沙钻孔 GZ-2 和北部江高 GZ-4 孔晚第四纪沉积物孢粉分析,推断广州所在的珠江三角洲地区在晚更新世经历了偏冷干-偏凉干-暖湿-热湿-偏凉干-冷干的气候过程。全新世气候逐渐转暖,中全新世最为暖湿,其后有一次偏凉干的转折,晚全新世气候逐渐恢复暖湿并接近现代,在这些大的气候期中存在一些小气候波动。

总体上,在 GZ-2 孔和 GZ-4 孔,相同时期的气候和沉积类型变化具有很好的对应性,与全球气候和全球海平面变化也基本一致。孢粉和沉积类型都受到气候的控制,但是在沿海地区更多地受到海平面波动带来的河水、海水沉积动力变化作用影响;而在内陆区沉积类型受地形和地貌影响更强。

由于亚热带地区植物种类丰富,气候变化也不如中纬度地区敏感,因而一般的气候波动并不能使孢粉组合发生显著的改变,目前有关孢粉气候研究水平也很难达到对气候指标和变化幅度的精确定

量,因而本文所反映的气候波动也是相对的。但是,一些植物对气候和环境具有较为明确的指示意义,例如,滨海红树植物海桑目前只一般生长在年均温 $>24^{\circ}\text{C}$ 的热带地区,陆均松目前只生长在海南岛均温 $>20^{\circ}\text{C}$ 、海拔500 m以上的山地。这两种植物在末次冰期后基本退出本区,而不出现在全新统地层中,据此可以推断末次冰期时本区降温幅度较大,按纬度推测,降温幅度可达 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$,此外,晚更新世海侵盛期与中全新世大暖期的气候环境区别可能在于前者年温差较小,而后者年温差较大,且中全新世珠江三角洲年均温度可能要比现在的 22°C 高出 2°C 左右。

致谢:感谢中山大学郑卓教授对本文提出的宝贵意见。

参考文献:

- [1] 黄镇国,李平日,张仲英,等. 珠江三角洲的形成发育演变[M]. 广州:科学普及出版社广州分社,1982:1-274.
- [2] 李平日,郑建生,方国祥. 广州地区第四纪地质[M]. 广州:华南理工大学出版社,1989:53-81.
- [3] 李平日,彭乔年,郑洪汉. 珠江三角洲一万年环境演变[M]. 北京:海洋出版社,1991:1-23.
- [4] 蓝先洪. 珠江三角洲晚第四纪沉积特征[J]. 沉积学报,1996,14(2):155-161.
- [5] 方国祥,李平日,黄光庆. 珠江三角洲8000年来海平面变化[J]. 地理研究,1991,10(4):1-11.
- [6] 沈才明,王开发,陈培虹. 珠江三角洲第四纪晚期孢粉组合[J]. 热带海洋,1989,8(4):61-69.
- [7] 雷作洪,郑卓. 黄茅海晚第四纪孢粉组合与环境变迁[J]. 热带海洋,1990,9(4):24-27.
- [8] 陈木宏,赵焕庭,温孝胜,等. 伶仃洋 L_2 和 L_{16} 孔第四纪有孔虫群与孢粉化石带特征及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1994,14(1):11-21.
- [9] 郑卓,王建华. 珠江三角洲北部晚第四纪孢粉植物群的古环境意义[J]. 热带海洋,1998,17(3):1-9.
- [10] 张伟强,黄镇国. 珠江三角洲晚第四纪气候波动的新认识[J]. 热带地理,2005,25(4):298-300,321.
- [11] SHI Yafeng, KONG Zhaochen, WANG Sumin, et al. The important climatic fluctuations and events in China during the Holocene Mega thermal [J]. Science in China: Series B, 1992,22(12):1300-1308.
- [12] 张玉兰,余素华. 深圳地区晚第四纪孢粉组合及古环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):109-114.
- [13] 孙绍先. 海桑属花粉在南海晚第四纪地层中的分布及意义[J]. 热带海洋,1991,10(1):21-25.
- [14] 郑卓,周昆叔. 海桑属花粉在广东沿岸晚更新世地层的发现[J]. 中山大学学报:自然科学版,1995,34(4):88-92.
- [15] HARLAND W B. A geologic time scale [C]//Cambridge Earth Science Series. Cambridge: Cambridge University Press, 1982: 28-35.
- [16] LI P Y, LIU B Z, LIU L J, et al. Magnetostratigraphy of the coastal loess of Dalian, China and its paleoclimatic significance [J]. Acta Oceanologica Sinica,1996, 15(4): 493-513.
- [17] 丛友滋,李文勤. 南黄海海岸沉积岩芯磁性地层及气候地层的分析结果[J]. 古地理学报,1984,39(1):105-114.
- [18] 王建华,曹玲珑,王晓静,等. 珠江三角洲万顷沙地区晚第四纪沉积相与古环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质,2009,29(6):35-41
- [19] 黄镇国,蔡福祥. 珠江口晚第四纪埋藏风化层及其环境意义[J]. 第四纪研究,2007,27(5):828-833.
- [20] 余素华,张玉兰,杨晓强,等. 深圳湾北岸新民孔岩心晚更新世以来的环境记录[J]. 海洋地质与第四纪地质,2003,23(2):9-18.
- [21] 邝桂荣. 珠江三角洲的沙丘遗址与贝丘遗址[J]. 岭南文史,1998(3):29-31.
- [22] 郑卓,邓韞,张华,等. 华南沿海热带-亚热带地区全新世环境变化与人类活动的关系[J]. 第四纪研究,2004,24(4):387-393.
- [23] SIDDALL M, ROHLING E J, ALMOGI-LABIN A, et al. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle [J]. Letters to Nature,2003,423:853-858.
- [24] ZHAO Baocheng, WANG Zhanghua, CHEN Jing, et al. Marine sediment records and relative sea level change during late Pleistocene in the Changjiang delta area and adjacent continental shelf [J]. Quaternary International, 2008, 186:164-172.
- [25] 王建华,王晓静,曹玲珑,等. 珠江三角洲GZ-2孔全新世孢粉特征及古环境意义[J]. 古地理学报,2009,11(6):661-669
- [26] 曹玲珑. 广州地区晚第四纪若干沉积记录与古环境演变研究[D]. 中山大学,2008.
- [27] 郑卓. 潮汕平原近五万年来的孢粉植物群与古气候[J]. 微体古生物学报,1991,8(4):461-480
- [28] ZHENG Zhuo, LI Qianyu. Vegetation, climate, and sea level in the past 55,000 years, Hanjiang delta, southeastern China [J]. Quaternary Research, 2000, 53:330-340