

文章编号: 0529-6579 (1999) 06-0094-05

# 我国热带地区 40 万年以来古气候的定量恢复<sup>\*</sup>

郑 卓<sup>1</sup>, GUIOT Joël<sup>2</sup>

(1. 中山大学地球科学系, 广州 510275; 2. Laboratoire Historique et Palynologie, France)

**摘 要:** 在中国南方和热带亚洲 265 个现代孢粉数据的基础上, 采用类比法对雷州半岛的第四纪孢粉分析数据进行了孢粉-气候的定量转换, 获得近 40 万年来的年均温度和年降雨量古气候曲线. 这些结果为第四纪海陆古气候对比、热带地区冰期-间冰期的气候演变等研究提供了新的依据. 温度变化的 4 个降温期分别与深海同位素阶段 10、8、6 和 4~2 可以对比. 冰期与间冰期之间的年均温度变化幅度约为  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , 末次盛冰期达到  $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ . 而年降雨量的变化较小, 除末次冰期有短暂的干旱期外, 降雨量一般均高于 1 500 mm.

**关键词:** 中国热带; 古气候; 量化; 第四纪

**中图分类号:** P 532 **文献标识码:** A

全球气候变化对热带地区生态系统的影响一直以来引起众多科学家的关注. 第四纪冰期与间冰期的气候变化对我国南方乃至东南亚热带地区的影响也是当前古环境研究的热点. 利用孢粉化石还原过去的植被和气候是研究古环境变化的重要方法之一, 但在热带地区利用孢粉组合变化还原古气候一直以来是一个难以攻破的难题, 特别是在解释气候变化方面常常存在不少人为因素. 王开发等<sup>[1]</sup>认为华南热带地区第四纪末次冰期年均温下降约  $2^{\circ}\text{C}$ , 冰期-间冰期表现为干、湿交替的气候环境, 作者<sup>[2]</sup>根据雷州半岛的孢粉分析得出气温下降幅度可达  $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ . 文献 [3~5] 认为, 末次盛冰期亚洲热带垂直植被带下降了 500~1 200 m 不等, 因此推论热带山地冰期的气温下降幅度约为  $3\sim 8^{\circ}\text{C}$ . 为了更确切地定量恢复我国热带地区晚第四纪的气候变化, 本文利用雷州半岛的第四纪孢粉分析数据<sup>[2,6]</sup>和中国南方以及热带亚洲的现代孢粉数据进行了孢粉-气候的定量转换, 首次获得近 40 万年来的年均温度和降雨量古气候曲线. 这些结果为进一步揭开热带地区冰期-间冰期的古气候面貌提供了新的证据.

## 1 研究方法

前人的研究已经证实, 不同孢粉组合反映了不同的气候环境. 因而, 可以用一系列数理方法将孢粉变量定量转换成气候变量. 目前, 利用孢粉定量计算古气候无论在温带还是

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家自然科学基金 (49671074) 资助项目

收稿日期: 1999-09-29 郑卓, 男, 1956 年生, 副教授.

在热带已有过不少成功的例子，如北美<sup>[7]</sup>、印度<sup>[8]</sup>、欧洲<sup>[9]</sup>、非洲<sup>[10]</sup>等地都早有类似的工作。本文采用 Guiot 的类比法来进行古气候重建<sup>[11]</sup>，即用欧氏距离，将多变量古孢粉数据与现代孢粉数据进行相似性类比，由此获得最相似的 5 个现代孢粉组合，从而获得现代样品分布点的气候数值，取其平均值。

由于热带—亚热带地区植被的物种分异度较高，而有些植物的花粉具有超代表性，另一些则花粉数量很低，本文把现代和古代的孢粉百分比数据进行了对数转换，以降低超代表性孢粉的权重和提高代表性极低的花粉类型的权重。另外，由于人为干扰会破坏现代孢粉与气候变量之间的关系，为了减低这些干扰，在计算权重时采用了第四纪孢粉时间序列分析，即孢粉的权重取决于第四纪序列中各孢粉之间互相关矩阵的第一个特征值。

本文收集的现代孢粉数据分布于中国大陆黄河以南和日本南部、台湾、海南岛及热带亚洲地区，共 265 个样品，其中约 1/2 的数据为本实验室取样和分析所获得，其余由国内外孢粉学同行提供，部分数据来自于发表的文献。这些样品所代表的植被类型从暖温带针叶—阔叶混交林一直到热带雨林。由于热带—亚热带地区植物种类复杂，265 个样品中共鉴定孢粉种类超过 400 个，因此有必要进行筛选，以便获得最具有气候指示意义的种类。我们首先删除了全部孢子和水生植物花粉，因为它们在很大程度上受沉积条件的影响，而与气候的相关性较差。另外，利用主成分分析等方法，共选择了 70 个载荷值较高的孢粉类型。这些孢粉种类基本上可以代表亚洲热带至亚热带的各主要植被类型。

现代孢粉样品采集点相关地区的气象数据包括年均温和年降雨量，共 78 个点。孢粉样点的气象数值采用了内插法计算获得。多元回归分析的结果表明，现代孢粉数据具有清楚的气候信息，用现代的 265 个样品进行气候转换的结果显示，利用孢粉数据计算出来的气候值与气象观测值十分接近，两者的年均温相关系数为 0.94，年降雨量达到 0.97（图 1）。可见，采用上述方法来推算古气候是可信的。

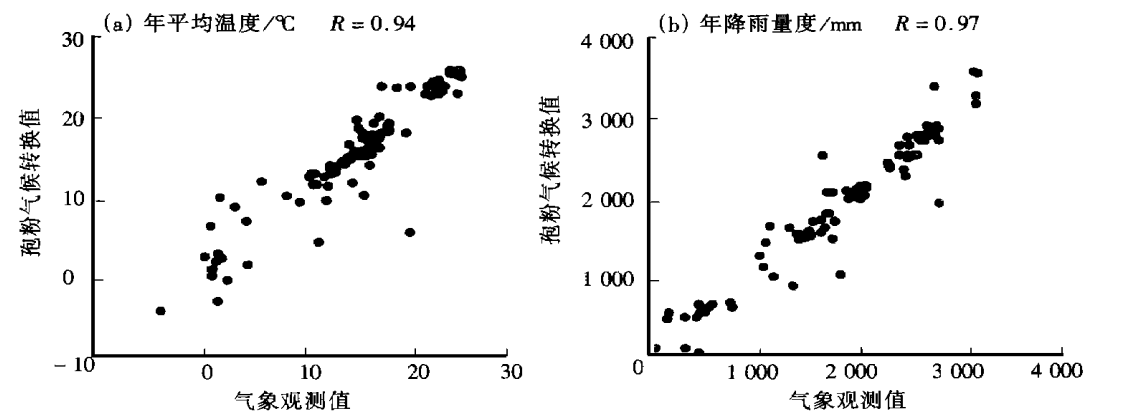


图 1 采用孢粉数据推算的年均温和年降雨量与实际气象观测值之间的相关关系

Fig 1 Correlation of annual mean temperature and precipitation  
between reconstructed values after pollen data and meteorological observation

2 结果与讨论

在我国东南部热带地区，如雷洲半岛和海南岛北部分布有不少断陷火山口<sup>[12]</sup>，其中

的第四纪湖相沉积物记录了中更新世以来的地质历史<sup>[13]</sup>. 本文的第四纪孢粉数据取自雷洲半岛田洋火山口湖, 根据古地磁、<sup>14</sup>C、热释光、钾氩法、气候对比等数据, 其底部年代达 40 万年<sup>[2, 9]</sup>, 田洋地区位于北纬 20°30′, 海拔 90 m, 现代的年平均温度 23.3℃, 年降雨量 1 300~1 600 mm, 雨量集中在夏季 (5~9 月). 研究表明, 采用数学方法重建的古气候值与直接采用孢粉含量变化推论的结果<sup>[3]</sup>基本上可以对比, 但也存在一些区别. 总体上综合反映了如下环境变化特征 (图 2).

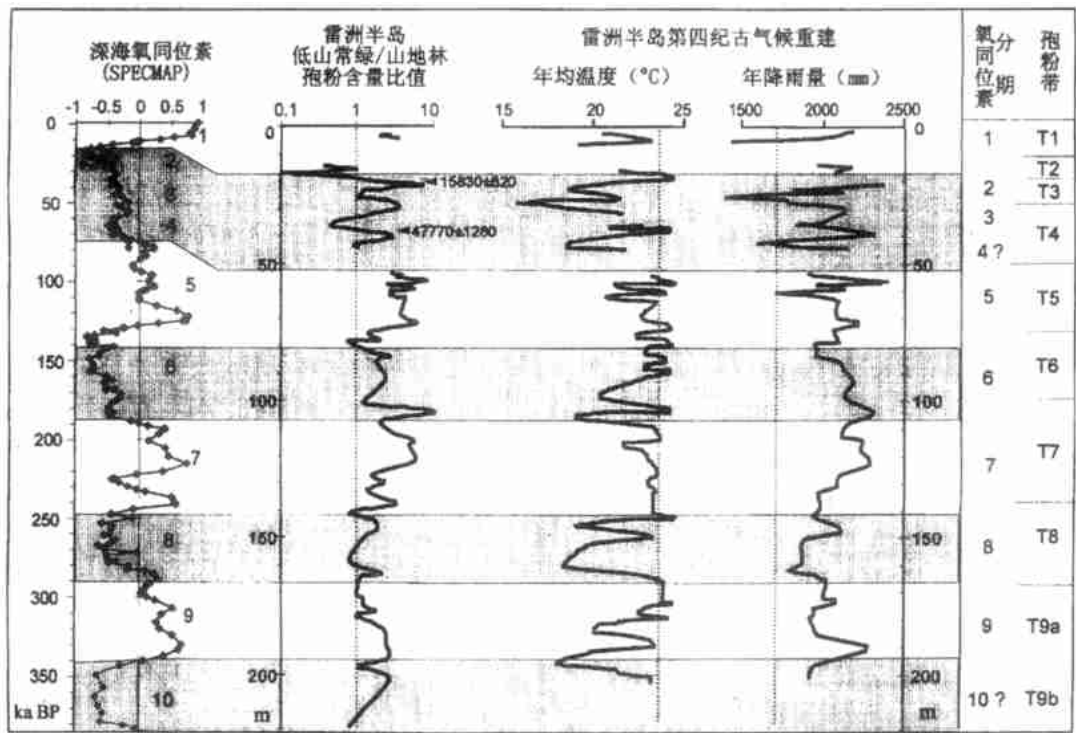


图 2 雷州半岛 40 万年以来的古气候重建及其与深海氧同位素曲线的对比

Fig 2 Reconstruction of climate since 400 ka B.P. in Leizhou Peninsula  
and its correlation with marine oxygen isotope

- (1) 根据温度变化曲线, 近 40 万年存在 4 次降温事件, 分别与深海氧同位素阶段的 10、8、6 及 4~2 大致可以对比.
- (2) 晚第四纪冰期与间冰期气候的波动幅度在该区约为  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , 即第四纪冰期的年平均温度大约比现在低 4~6℃, 末次盛冰期的降温幅度可达到 5~8℃, 但在末次盛冰期中有冷暖的高频率急剧波动. 间冰期的古温度则与现代相似 (高低不大于 1℃).
- (3) 第四纪冰期阶段热带孢粉古气温的次一级变化特征表明, 陆地植被对气候的敏感性与深海氧同位素次一级阶段所得出的结果可能有一定的差异性. 由于雷洲半岛的植被主要受南海古水温制约, 而南海海区仍没有完整的 40 万年的表层古水温研究结果, 该海陆对比的研究有待今后进一步加强.
- (4) 年降雨量并不一定随温度的降低而减少, 即两者之间的对应关系并不十分明显. 近 40 万年来仅有两次降雨量下降期, 一次在氧同位素阶段 8, 降雨量从  $> 2\,000\text{ mm}$  减少

到 1 800 mm. 另一次降雨量下降则发生在末次冰期, 但末次冰期的年降雨量变化与温度一样, 呈现出剧烈的动荡, 个别短暂时期可低于 1 500 mm, 但很快急剧反弹. 需要指出的是, 在末次冰期之前的整个晚更新世年降雨量虽然有变化, 但总的都高于现代的 1 300 ~ 1 600 mm, 而且最高可达 2 200 ~ 2 300 mm 左右. 这说明在冰期阶段增强的北方冬季风虽然在北方使干旱区扩大, 但并不足以明显影响热带北缘沿海地区的年降雨量.

(5) 晚更新世降雨量较高的结论与当时植被中出现的大量山地雨林成分相互吻合. 证明了晚更新世的大部分时期降雨丰富、干湿季节性没有现代明显, 较适应低山雨林植物群落的生长.

亚洲热带地区海域和陆地生物群对第四纪气候变化的响应近十多年来成为第四纪全球古环境研究的热点之一, 并成为验证全球气候模拟的关键之一. 本研究结果首次定量分析了华南热带地区近 40 万年来气候变化规律, 这对进一步理解陆地植被变化以及印度季风和东亚季风的演化都有十分重要的意义.

### 参考文献:

- [ 1 ] 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.
- [ 2 ] ZHENG Zhuo, LEI Zuo-qi. A 400 000 year record of vegetational and climatic changes from a volcanic basin, Leizhou Peninsula, Southern China [ J ]. *Paleogeogr Paleoclimat Paleoecol*, 1999, 145: 339 ~ 362.
- [ 3 ] FLENLEY J R. Problem of the Quaternary on mountains of the Sunda ~ Sahul region [ J ]. *Quaternary Science Review*, 1996, 15: 549 ~ 555.
- [ 4 ] FLENLEY J R. The equatorial rain forest: a geological history [ M ]. London: Butterworths, 1979. 90 ~ 162.
- [ 5 ] 郑卓. 亚洲热带山地垂直植被带对晚第四纪气候变化的响应 [ J ]. *地理研究*, 1999, 18 (1): 96 ~ 104.
- [ 6 ] 郑卓, 雷作淇. 雷州半岛南部近 40 万年以来的古植被与古生态 [ J ]. *中山大学学报论丛*, 1992 (1): 149 ~ 160.
- [ 7 ] WEBB R S, ANDERSON K H, WEBB. Pollen response surface estimates of late Quaternary changes in the moisture balance of the northeastern United States [ J ]. *Quat Res*, 1993, 40: 213 ~ 227.
- [ 8 ] SWAIN R M, KUTZBACH J E, HASTENRATH S. Estimates of Holocene precipitations for Rajasthan, India, based on pollen and lake level data [ J ]. *Quat Res*, 1983, 19: 1 ~ 17.
- [ 9 ] GUIOT J, PONS P., de BEAULIEU J L, RIELLE M. A 140 000-year continental climate reconstruction from two European pollen records [ J ]. *Nature*, 1989, 338 (6213): 309 ~ 313.
- [ 10 ] BONNEFILE R, ROELAND J C, GUIOT J. Temperature and rainfall estimates for the past 40 000 yrs in equatorial Africa [ J ]. *Nature*, 1990, 346: 347 ~ 349.
- [ 11 ] GUIOT J. Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data [ J ]. *Palaeogeogr Palaeoclim Palaeoecol*, 1990, 80: 49 ~ 69.
- [ 12 ] 黄镇国, 蔡福祥, 韩中元等. 雷琼第四纪火山 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1993. 107 ~ 179.
- [ 13 ] 陈俊仁, 黄成寥, 林茂福等. 广东田洋火山湖第四纪地质 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1990. 1 ~ 64.

## A 400 000-year Paleoclimate Reconstruction in Tropical Region of China

ZHENG Zhuo<sup>\*</sup>, GUIOT Joël

**Abstract:** The periodic changes that characterized the Late Quaternary were recorded in tropical China. A preliminary study on quantitative climatic reconstruction over the last 400 000 years was carried out based on 265 modern pollen samples collected in China and Southeast Asia. The quantitative temperature and rainfall estimates improve the correlation between marine and land records and help to better understand the climatic changes during glacial—interglacial episodes and the evolution of southeast Asian monsoon climate. Four principal stages of dropping in temperature were recognized, which could be correlated with SPECMAP oxygen isotopic stages (OIS) 10, 8, 6 and 4~2. Nevertheless, many  $\delta^{18}\text{O}$  substages into which the marine record was divided were inappropriate for comparing our temperature curve. The temperature changes between glacial and interglacial were generally within  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The temperature was  $5\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$  lower during the last glacial maximum, but with high frequent fluctuations. Unlike the temperature estimates, only two falls in rainfall were recognized, the first in OIS 8 and the second in OIS 4~2. It is important to point out that during most of the late Pleistocene the annual rainfall was higher than nowadays (1300~1600 mm). Persistence of high precipitation over multiple glacial—interglacial cycles from OIS 10 to 5 might be the main cause that resulted in many mountain rain forest elements surviving until the last glacial maximum.

**Keywords:** tropic of China; paleoclimate; quantification; Quaternary

<sup>\*</sup> Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China