

末次冰期以来湛江湖光岩玛珉湖 孢粉记录及古环境变化*

吕厚远 刘嘉麒 储国强 顾兆炎

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

Negendank J Schettler G Mingram J

(GeoForschungs Zentrum Potsdam D-14473 Potsdam, Germany)

摘要 通过对湛江湖光岩玛珉湖钻孔孢粉记录的研究认为,末次冰期以来,该区植被类型从早期的南亚热带季风常绿阔叶林依次演替为,中亚热带常绿-落叶阔叶林→南亚热带季风常绿阔叶林→中亚热带常绿-落叶阔叶-针叶混交林(湖边草地)→热带季雨林→半常绿季雨林。气候最寒冷的时期温度比目前至少降低了4—6℃以上。全新世早期相对干旱。

关键词 末次冰期后 孢粉记录 古植被变化 湖光岩玛珉湖 广东湛江

对于热带低纬度地区陆地末次冰期气候环境及植被变化的研究,目前仍然存在许多疑点。主要表现在:低纬度岛屿山地与平原地区孢粉记录所反映出的气候变化的矛盾,一些研究结果认为亚洲热带平原低地雨林和红树林在盛冰期基本上没有大的变化(Flenley, 1979; Caratini, 1991),冰期时温度基本维持不变,主要表现为湿度的变化(Wang *et al.*, 1990);而来自热带山地的孢粉记录表明,冰期时山地垂直植被带下移500—1 600 m不等(Webster *et al.*, 1978; Stuijts *et al.*, 1988; Flenley, 1996; 郑卓等, 1999; Zheng, 2000),意味着热带陆地温度将下降3—10℃。有的学者认为,热带山地垂直植被带的下降不仅仅与温度变冷有关,冰期大气CO₂浓度的减少对植被带的影响可以达到和气温下降相同的结果(Jolly, 1997; 郑卓, 1999)。另外,低纬度地区末次冰期陆地气候与海水温度变化的地质记录以及气候模型模拟结果仍然存在不少的分歧(CLIMAP Project members, 1976; Thunell *et al.*, 1996; Beck *et al.*, 1997; Webb *et al.*, 1997)。对于热带低纬度地区全新世不同时期的气候特点,特

别是湿度的变化还缺少深入的认识。因此,对于热带低纬度地区冰期以来气候、环境的研究,一直是过去全球变化研究的一个热点。

本文通过对我国广东湛江湖光岩玛珉湖孢粉记录的研究,试图为讨论热带低纬度地区末次冰期以来的气候环境变化提供新的证据。

1 研究地点、材料和方法

湖光岩玛珉湖位于雷州半岛湛江市西南部(110°17'E, 21°9'N),多年年均温度23℃,年降水量1 600 mm,干湿季分明,处于南亚热带到热带北部的气候过渡区,植被为半常绿季雨林。湖光岩玛珉湖是一个近圆形的湖泊,周围有低平的环形围墙,最大海拔高度87.6 m,面积约4.7 km²,湖水面积约2.23 km²。最大水深20 m。1997年初夏,由中国科学院地质研究所与德国国家地球科学研究中心联合对湖光岩玛珉湖进行了钻探,为了便于岩芯相互补充和对比,分别在湖区不同的部位钻取了7个对比孔,总共取芯201 m。A、B、C孔和D、E、F孔分别集中在两个不同的水域,

收稿日期: 2001-10-30

* 国家自然科学基金(No. 49971077; No. 49894174)资助课题。

井位最深处水深 20 m, G 孔位于相对浅的水域 (刘东生等, 1998; Liu *et al.*, 2000)。

湖光岩玛珉湖 B 孔共采集到 44 个保存完好的陆生植物的茎、叶和果实样品, 部分样品由北京大学 AMS¹⁴C 实验室进行测年, 另外部分 B 孔样品和 C 孔样品由德国国家地球科学研究中心负责测年。插图 1 是已完成的 17 个测年数据的年代校正结果及随沉积厚度变化的曲线。校正年龄随沉积物深度变化的拟合方程为: $Y = -94.872 + 4.78879X + 0.0174769X^2 - 3.94772E - 06X^3$ [其中 Y: 校正年龄 (Cal a BP), X: 深度 (cm)]。

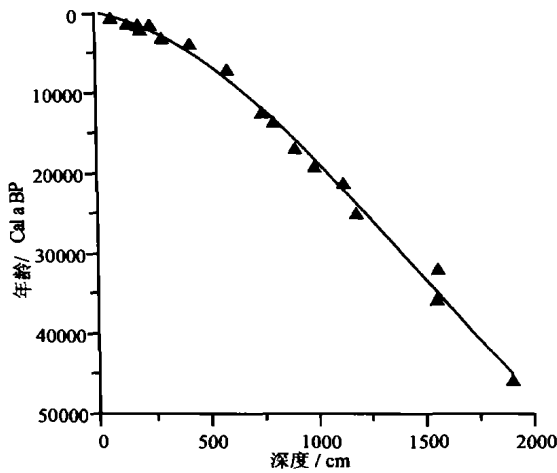


插图 1 湖光岩玛珉湖沉积深度随 AMS¹⁴C 测年的年代校正结果变化曲线
Curve of the calibrated AMS¹⁴C ages with sediment core depth

湖光岩玛珉湖沉积物有机质含量丰富, 为了获取清晰的孢粉图像和完整的孢粉组合, 对氢氟酸及氧化剂的用量进行了多次实验*, 获得了非常理想的结果。除个别样品孢粉含量在 10 000 粒/g 左右外, 绝大部分样品达到 100 000—900 000 粒/g。

每个样品中孢粉鉴定统计数量的多少, 某种程度上影响着孢粉组合的稳定性, 对于孢粉类型众多的热带地区样品, 统计多少数量才能比较准确地反映孢粉组合特征? 本文从不同的层位选择了 5 个样品, 计算每鉴定 50 个孢粉出现的新孢粉种属的数量以及每种孢粉百分比的变化。插图 2-a 显示出随孢粉统计量的增加, 孢粉类型增加的情况。结果表明在我国南方热带地区第四纪湖泊沉积物中, 至少要统计到 800 粒以上, 才能基本上保证孢粉类型的代表性。插图 2-b 是 A102 号样品随孢粉鉴定数量的

增加, 几种孢粉种属百分含量的变化曲线, 从图中可以看出, 在孢粉统计数量达到 600 粒以前, 泪杉 (*Dacrydium*)、禾本科 (*Gramineae*) 的百分含量是不稳定的, 泪杉的百分含量从 1% 变化到 2.8%, 禾本科的百分含量从 54% 变化到 47%, 直到孢粉统计数量达到 800 粒以上, 它们的百分含量才相对稳定下来。因此本文的每个样品的孢粉鉴定数量保证在 850—1 400 粒。为了解植被变化的总体趋势, 本文首先对 B 孔以及 A 孔上部和 C 孔下部共 31 个样品进行了孢粉分析。

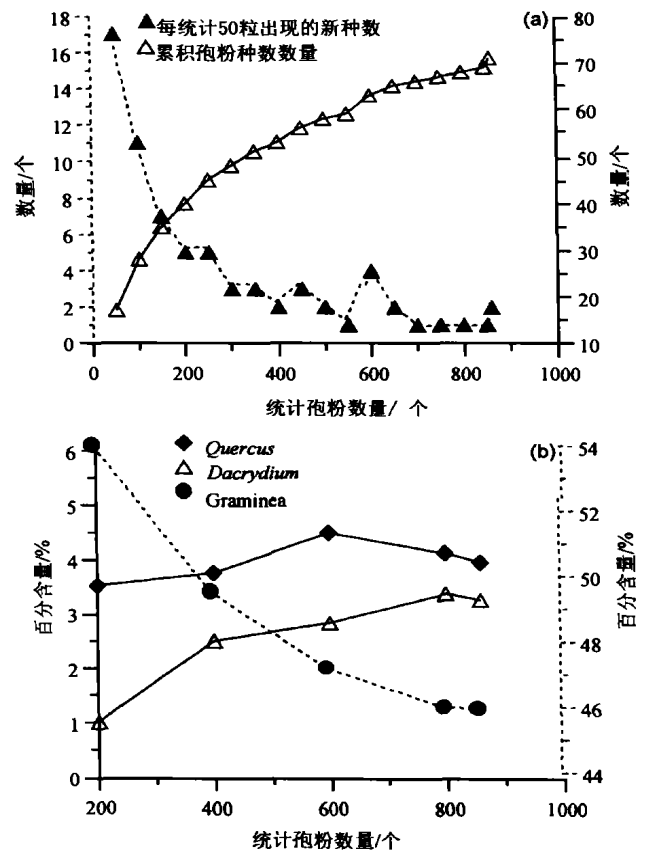


插图 2 孢粉种属数量及百分含量随鉴定数量的增加而变化的曲线
Relationships of the plant species numbers and relative abundances with identified pollen grains

2 孢粉种类

湖光岩玛珉湖沉积样品中, 共鉴定出 150 多类常见的孢粉种属, 以及部分尚难以准确鉴定的类型。

在裸子植物花粉中, 主要有: 松属 (*Pinus*)、陆均松属 (*Dacrydium*)、罗汉松属 (*Podocarpus*)、油杉属 (*Keteleeria*)、冷杉属 (*Abies*)、铁杉属 (*Tsuga*)、杉科

* 吕厚远. 关于湖光岩玛珉湖孢粉实验室分析方法与数量统计的一点体会. 中国孢粉学分会通讯, 1999, 2.

(Taxodiaceae)、苏铁科(Cycadaceae)等。*Pinus* 广泛分布在我国北方温带和低纬度山地针叶林中,在我国南方虽然有些种有很强的指示性,如海南五针松(*P. fenzeliana*)、南亚松(*P. finlaysoniana*),但现代花粉学很难把它们鉴定出来;*Dacrydium* 和 *Podocarpus* 是山地雨林的代表性种属,目前我国只有一种陆均松(*D. pierrei*)生长在海南岛海拔 500—1 600 m 的山地雨林中(王伏雄等,1995;Sun *et al.*,1999),Zheng 曾对我国南方第四纪地质记录中 *Dacrydium* 孢粉进行了详细研究,认为该植物在 30 000 a BP 可以分布到 24°N 的我国云南、广东等地(Zheng,1991a)。*Podocarpus* 分布的范围相对要广得多,在我国主要分布在长江以南地区,某些种类常在海拔 400—1 600 m 的山地与常绿阔叶树组成混交林(王伏雄等,1995;Sun *et al.*,1999)。*Keteleeria* 主要分布在我国南方温暖山地(王伏雄等,1995)。在海南岛山地雨林中,*Pinus*, *Dacrydium*, *Podocarpus*, *Keteleeria* 都是常见的针叶树植物,考虑到 *Pinus* 的分布范围较广,在本文统计地层中山地雨林针叶植物的变化中,没有包括 *Pinus* 的类型。在我国南方,*Abies* 和 *Tsuga* 是典型的山地针叶树植物,在湖光岩地层中,只有个别层位发现少量的 *Abies* 和 *Tsuga* 花粉。不同种属的 Taxodiaceae 花粉,常常难以进行进一步的区分,部分种属分布在长江以南的温暖地区,但到北回归线附近基本上是它们的分布南限了,如杉木(*Cunninghamia lanccolata*)。

在被子植物的木本花粉类型中,一些中亚热带山地或温带植物花粉类型,在湖光岩样品中尽管含量不多,但它们在某些层位集中出现对于恢复当时的气候环境有着重要的意义。常见的种属有:水青冈属(*Fagus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、化香属(*Platycarya*)、栎木属(*Alnus*)、枫杨属(*Pterocarya*)、胡桃属(*Juglans*)、桦属(*Betula*)、榛属(*Corylus*)、山核桃属(*Carya*)、榆属(*Ulmus*)等。其中 *Fagus*,在湖光岩剖面的中部,相对其它中亚热带山地或温带植物花粉类型含量丰富,在每克干样中含量达到 2 000—4 000 粒左右,且能连续出现。*Fagus* 在我国有 5 种,分布于 30°N 以南的亚热带地区,在 25°N 集中分布,*Fagus* 的物种丰度与 1 月份的温度成负相关,与最大月份的降水成正相关(刘茂松等 1998),反映了其耐冷喜湿的生态习性,其最佳的气候指标范围为年均温度 14—17 °C,年均降水量在 1 100—1 400 mm (倪健等,1997)。

亚热带常绿阔叶树花粉常见有:常绿栎属(*Quercus*)、栲-石栎属(*Castanopsis - Lithocarpus*)、蕈树属(*Altingia*)、枫香属(*Liquidambar*)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、杨梅属(*Myrica*)、芸香科(Rutaceae)、冬青属(*Ilex*)、木犀科(Oleaceae)、漆树科(Anacardiaceae)、紫金牛科(Myrsinaceae)、五加科(Acanthopanax)、无患子科(Sapindaceae)、山矾科(Symplocos)、同花属(*Homalanthus*)、大风子科(Flacourtiaceae)、黄杞属(*Engelhardia*)、卫矛科(Celastraceae)、防己科(Menispermaceae)。实际上,许多 *Castanopsis-Lithocarpus* 等植物在热带山地雨林中也有分布,但它们绝大多数是常绿阔叶林的优势种和建群种(倪健等,1997)。

生长于热带低地或沟谷雨林的木本植物花粉类型常见有:榕树属(*Ficus*)、杜英属(*Elaeocarpus*)、蒲桃属(*Syzygium*)、桑科(Moraceae)、野桐属(*Mallotus*)、叶下珠属(*Phyllanthus*)、山黄皮属(*Randia*)、假木荷属(*Craibiodendron*)、夹竹桃科(Apocynaceae)、老虎刺属(*Pterolobium*)、棕榈科(Palmae)、银柴属(*Aporosa*)、山龙眼属(*Helicia*)、桃金娘属(*Rhodomyrtus*)、巴豆属(*Croton*)、大戟科(Euphorbiaceae)、山麻杆属(*Alchornea*)、黑面神属(*Breynia*)、野牡丹科(Melastomataceae)等。

草本植物花粉主要有苋科(Amaranthaceae)、蓼属(*Polygonum*)、藜科(Chenopodiaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)、唇形科(Labiatae)、菊科(Compositae)、鸢尾属(*Iris*)、十字花科(Cruciferae)、露兜草属(*Pandanus*)、茜草科(Rubiaceae)、马鞭草科(Verbenaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)、伞形科(Umbelliferae)、禾本科(Gramineae)、蒿属(*Artemisia*)等;一些湿生或水生植物花粉如:莎草科(Cyperaceae)、睡莲属(*Nymphaea*)、鸭趾草属(*Commelin*)、拨荇属(*Smilax*)、天南星属(*Arisaema*)、三白草科(Saururaceae)、香蒲属(*Typha*)、狐尾草属(*Myriophyllum*)、眼子菜属(*Potamogeton*)、泽泻属(*Alisma*)、菖蒲属(*Acorus*)等。

蕨类孢子中,由于一些单缝孢类难以进一步区分,归于单缝孢类(Monolete-spores),其它常见的类型有芒萁属(*Dicranopteris*)、凤尾蕨属(*Pteris*)、水龙骨属(*Polypodium*)、里白属(*Hicriopteris*)、海金沙属(*Lygodium*)、铁线蕨属(*Adiantum*)、毛蕨属(*Cyclosorus*)、金毛狗属(*Cibotium*)、桫欏属(*Cyathea*)、莎草蕨属(*Schizaea*)、卷柏属(*Sellaginella*)、紫萁属(*Osmunda*)、蕨属(*Pteridium*)、鳞盖蕨

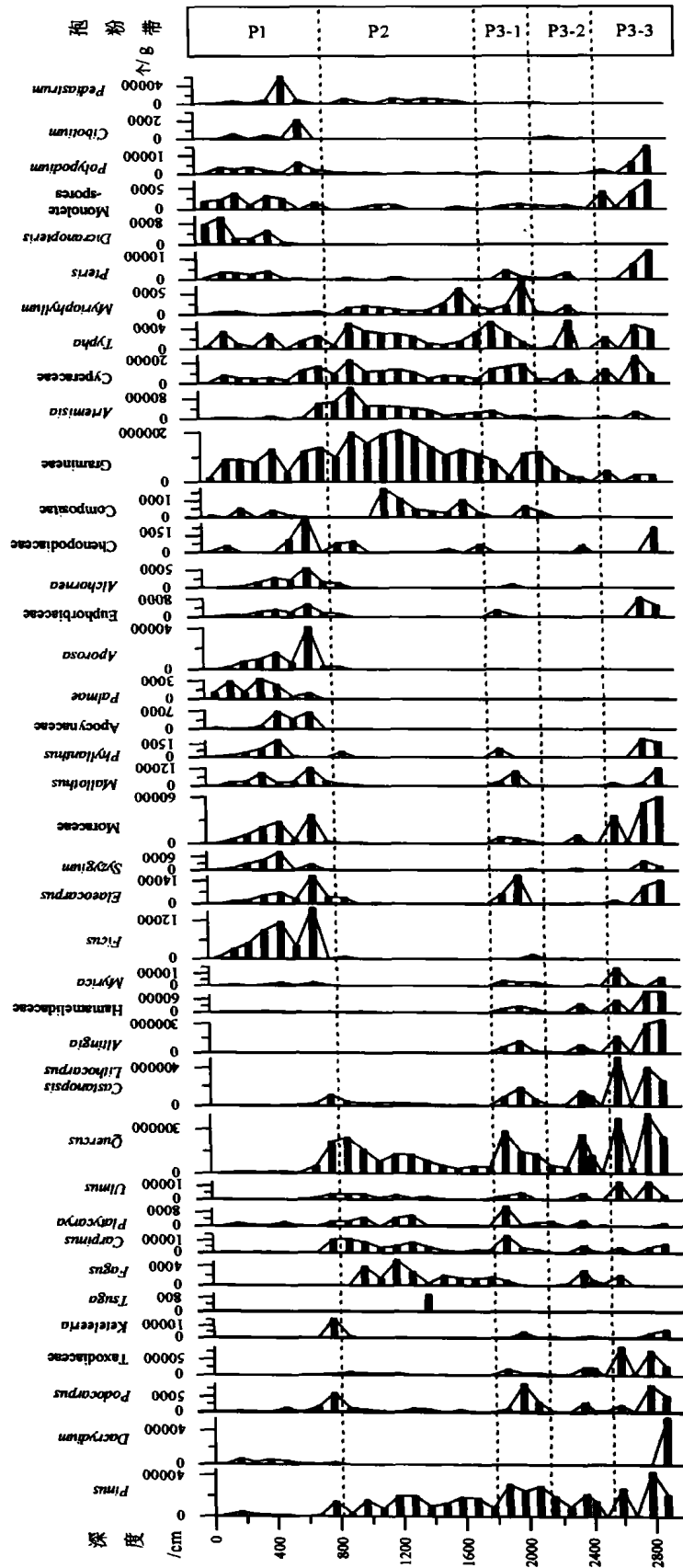


插图 3 湖光岩玛珉湖典型孢粉种类浓度的变化图式
 Pollen concentration diagram of common species recorded by sediments of the Huguangyan Maar Lake

属 (*Microlepia*) 等。

在湖光岩样品中还常见一些淡水生藻类化石, 主要有盘星藻 (*Pediastrum*) 和双星藻 (*Zegnema*)。

3 孢粉组合特征

插图 3 是典型孢粉种类的浓度变化图式。插图

4 为几种主要生态类型的孢粉含量变化图式、信息函数变化曲线及所对应的主要植被类型, 其中信息函数是反映生物群落复合分异度的常用指标, 信息函数值(分异度)越大反映了生物群落种类越多而且分布越复杂。

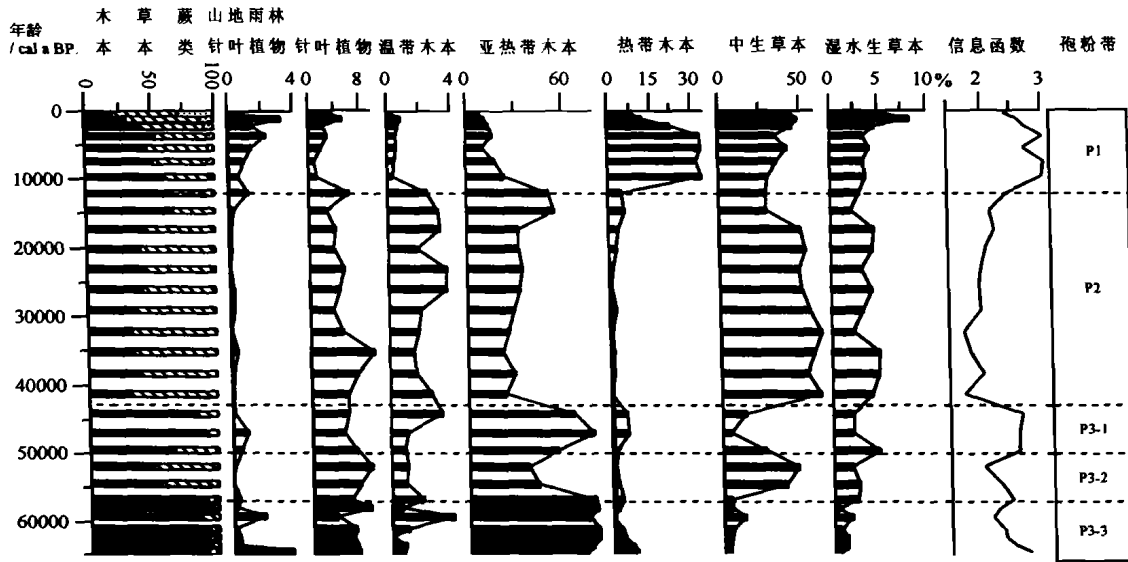


插图 4 湖光岩玛珥湖几种主要生态类型的孢粉含量变化图式
Pollen percentage diagram of common ecotypes in the Huguangyan Maar Lake

根据孢粉组合变化, 可以划出 3 个孢粉组合带: P 3 带(29—18 m, 65—42.5 Cal ka BP)

该带孢粉组合以木本植物花粉占绝对优势, 达到孢粉总数的 60%—90% 以上, 草本植物花粉含量次之, 蕨类孢子含量稀少。木本植物中, 以亚热带常绿阔叶木本植物花粉占优势。根据组合变化, 可分为 3 个亚带:

P 3-3 亚带(29—25.5 m, 65—56 Cal ka BP), 木本植物花粉以 *Quercus*, *Castanopsis-Lithocarpus*, *Atingia* 含量为主, 花粉浓度达到 200 000—400 000 粒/g, 其次为 *Moraceae*, *Hamamelidaceae*, 花粉浓度达到 30 000—60 000 粒/g; *Elaeocarpus*, *Myrica*, *Syzygium*, *Mallothus* 等有少量分布; 裸子植物花粉以 *Pinus*, *Podocarpus*, *Taxodiaceae* 为主, 花粉浓度达到 5 000—40 000 粒/g, 在该带的下部, *Dacrydium* 花粉含量达到整个剖面的最大值, 花粉浓度达到 40 000 粒/g 以上。草本植物花粉常见 *Gramineae*, *Artemisia*, *Cyperaceae*, 但含量较少。蕨类孢子以 *Pteris*, *Polypodium* 和一些单缝孢子类为主, 最高含量分别达到 10 000 粒/g 以上。

P 3-2 亚带(25.5—21.5 m, 56—50 Cal ka BP), 亚热带常绿阔叶木本植物花粉明显减少, 从 P 3-3 带的 75% 下降到 35% 左右, 草本花粉从 P 3-3 带的不到 10% 上升到 45% 以上, 针叶植物花粉也有少量增加。在反映相对温凉环境的木本花粉类型中, 出现了少量的 *Fagus*, *Alnus* 和 *Platycarya* 等。该带总的孢粉浓度含量有明显的降低。

P 3-1 亚带(21.5—17.5 m, 50—42.5 Cal ka BP), 亚热带常绿阔叶木本植物花粉再次增加, 占孢粉总数的 70% 以上, 出现少量的热带或亚热带植物花粉, 如: *Elaeocarpus*, *Myrica*, *Mallothus*。针叶植物花粉中, *Pinus*, *Podocarpus* 的花粉浓度分别增加到 30 000 粒/g 和 7 000 粒/g 以上。草本植物总的花粉百分含量减少, 但湿生-水生草本花粉有所增加。

P 2 带(17.5—8 m, 42.5—14 Cal ka BP)

本带草本花粉含量占优势, 含量一般在 50%—65% 左右, 木本花粉含量明显减少, 含量一般在 30%—50% 左右, 蕨类孢子含量稀少。草本植物以 *Gramineae* (100 000—200 000 粒/g)、*Artemisia* (30 000—80 000 粒/g)、*Cyperaceae* (1 000—2 000

粒/g)为主,水生草本植物 *Myriophyllum* 在本带的中下部含量最高,达到(5 000 粒/g);本带木本植物花粉最明显的特点是,中亚热带山地或温带的木本植物花粉明显增多,亚热带常绿阔叶木本植物花粉下降到 30%—40%左右,南亚热带或热带的花粉几乎完全消失。从 18 m 左右向上一些典型的温带的木本植物花粉如: *Quercus* (落叶), *Ulmus*, *Pterocarya*, *Carpinus*, *Fagus*, *Tsuga* 依次演替,在 14 m 左右向上反向演化,同时 Gramineae 和 *Artemisia* 花粉也经历了一个从增加到减少的过程。本带也是孢粉浓度最高的时期,相对 P 3、P 1 孢粉带孢粉浓度高出一倍以上。孢粉组合指示了明确的植被演化趋势,反映出气候由暖变冷、由冷变暖的一个完整的过程。本带孢粉组合的分异度明显降低。

P 1 带(8—0 m, 14—0 Cal ka BP)

本带最明显的特征是,热带花粉含量急剧增加,亚热带花粉迅速减少,山地雨林针叶植物在后期有所增加,蕨类孢子含量在上部达到最大值。

大致以 4 m(距今 4 000 a 左右)为界,分上下两个阶段,下部 *Quercus*, *Castanopsis-Lithocarpus* 快速减少, *Moraceae*, *Hamamelidaceae*, *Ficus*, *Elaeocarpus*, *Syzygium*, *Mallothus*, *Phyllanthus*, *Palmae* 等热带、南亚热带植物类型花粉迅速增加。*Pinus* 花粉减少,但山地雨林针叶植物花粉逐渐增多。草本植物含量减少, Gramineae 花粉含量从 P 2 带的 200 000 粒/g 下降到 100 000 粒/g 左右。在 P 2 组合带含量较高的 *Artemisia* 在本带只是零星出现,蕨类孢子含量开始增多。值得注意的是在该带的下部, *Chenopodiaceae*, *Cibotium* 和 *Pediastrum* 的含量达到整个剖面的最大值,分别为 2 000 粒/g、2 000 粒/g 和 60 000 粒/g。上部热带、南亚热带植物类型迅速减少,山地雨林针叶植物花粉、草本植物、特别是湿生草本植物花粉有所增加,蕨类植物孢子增加明显,特别是芒萁属 (*Dicranopteris*) 达到 8 000 粒/g 以上。

4 末次冰期以来植被与气候变化

根据孢粉组合的变化,我们可以了解植被演替的大致过程和气候变化的状况。在 P 3 孢粉组合带沉积时期,早期(65—56 Cal ka BP),以 *Quercus*, *Castanopsis-Lithocarpus*, *Atingia* 为优势种,

Moraceae, *Hamamelidaceae*, *Elaeocarpus*, *Myrica*, *Syzygium*, *Mallothus* 以及热带山地雨林成分 *Dacrydium* 等在下部含量较多,说明当时的降水季节性不如现代明显,相对湿度较大,气候温暖潮湿是早期气候的特点,植被类型为南亚热带季风常绿阔叶林。中期(56—50 Cal ka BP),草本植物和针叶植物花粉明显增多,亚热带木本植物花粉含量降低,孢粉浓度及信息函数值减少,但针叶植物花粉总的含量并不高,一般不超过 10%左右,而草本植物花粉却达到 45%—50%以上,反映了周围的植被面貌曾一度变化为中亚热带常绿、落叶阔叶林到湖滨低地稀树草地的景观,显示气温明显下降的趋势。在时间上大致对应了深海氧同位素阶段 4 全球气温降低的时段 (Martinson *et al.*, 1987)。晚期(50—42.5 Cal ka BP),亚热带木本植物花粉含量再次增加,草本花粉减少,少量的山地雨林或低地雨林的成分出现,与早期(65—56 Cal ka BP)的植被类型比较相似,但该期水生草本植物花粉有明显的增加,湖面水域扩大。

P 2 孢粉组合带形成时期,木本植物花粉从前期的 60%—80% 以上迅速下降到 45% 以下,在木本植物花粉中,中亚热带山地甚至温带的成分集中出现,而且不同种属花粉依次出现,反映了一个明显的植被、气候的演替过程。这种植被的演替实际上从 P 1-3 孢粉组合带的晚期就已经开始了,从插图 3 可以看出, *Quercus*, *Ulmus*, *Pterocarya*, *Carpinus*, *Fagus*, *Tsuga* 依次出现,然后又反向依次消失。Gramineae 和 *Artemisia* 达到整个剖面的最高值。该段沉积物有机质碳同位素的值达到 -18‰ 左右,表明以草本植物为代表的 C 4 植物的生物量达到 66% 左右*。本带孢粉浓度特别是草本孢粉浓度的增加,表明湖面下降,水面减少,湖滨面积扩大,草本植物得以大面积生长。形成湖边低地的草地植被群落。根据郑卓(个人交流)最新对我国东部现代孢粉分布规律的研究以为, *Artemisia* / Gramineae 的比值的大小大体上可以反映气候温度的变化,比值越高气候温度越低。根据一些温带木本植物花粉和 *Artemisia* 花粉增加的层位,表明气候最冷的时间大约发生在 16—27 Cal ka BP。该带热带木本植物花粉几乎完全消失,整个植被类型与 P 1 带的早、晚期相比发生了根本的变化,由于湖面下降,湖滨边缘出露,形成大面积的草地群落,湖区周边高地为中亚热带常绿—落叶阔叶—针叶混交林植被类型。这类植

* 刘强,顾兆炎,刘嘉麒等,2001,湛江湖光岩玛珥湖沉积物有机碳同位素的记录。

被类型目前分布在我国长江以南的浙江及福建北部地区等中亚热带地区,初步估计冰期最盛期湖光岩地区的气候温度大约下降 4—6 °C 左右。说明在我国南方低纬度地区冰期时期不仅降水量减少而且温度也有明显下降。

P 1 孢粉组合带形成时期,早期,热带、亚热带植物类型迅速增加,山地雨林针叶植物花粉逐渐增多,草本植物含量减少。植被迅速演变为热带季雨林植被类型;晚期,热带、亚热带植物类型开始减少,蕨类草丛发育,草地面积增大,演变为半常绿季雨林和灌草丛,大约 4 m 以上的沉积物中, *Dicranopteris* 和 *Palmae* 含量增加也可能与人类活动有关。值得注意的是在该带的早期,热带、亚热带植物花粉含量最高的时期, *Chenopodiaceae* 却呈现出一个最大值,它的出现应该说明是短期的气候干旱期或者是由于明显的季节性降水的结果,但随后 *Pediastrum* (盘星藻)迅速增加到 60 000 个/g 以上,孙湘君等(1987)对现代滇池水中盘星藻的研究表明:盘星藻在水下 5—6 m 处极度富集,5 m 以上逐渐消失,也说明当时湖光岩的水深比现在(20 m)浅 10—15 m 左右,这就意味着早期是气温高但降水并不是最大的时期。

5 讨论与结论

Zheng 等(1999)对海南岛及雷州半岛的古环境的研究表明,在末次冰期该区的山地林线下降 600—800 m。在台湾岛,山地温带森林在末次冰期期间至少下降了 850 m(Huang *et al.*, 1997)。在中国南部,冰期时期,特别是在 24—18 ka BP,一些典型的温带森林的植物种类(如 *Fagus*, *Carpinus*, *Betula*, *Alnus*, *Quercus*(落叶)和 *Abies*)在沿海平原地区有较高的含量(Zheng, 1991b),在海岸带低地和末次冰期陆架暴露区一度发育了草原或稀树草原的植被类型(Sun *et al.*, 2000; Zheng, 2000)。南海是中国南部重要的水气来源,在冰期时期南海海面下降(>100 m)(Wnag *et al.*, 1995),海面温度降低(>5 °C)(Thunell *et al.*, 1996),冬季风加强(Huang *et al.*, 1997),是造成该区冰期环境相对干旱、寒冷的重要的气候背景(黄镇国等, 2000)。

末次冰期以来,湛江湖光岩地区的主要植被类型虽然发生了多次变化,但在气候最寒冷的冰盛期该区仍然以森林植被为主,在湖滨边缘地区由于湖面下降,滩地出露,出现大面积的草地,但这并不意

味着在广大的低纬度地区发育草原或稀树草原。湛江湖光岩地区的植被变化从早期(65—56 Cal ka BP)的亚热带季风常绿阔叶林依次演替为,亚热带常绿、落叶阔叶林(56—50 Cal ka BP)→亚热带季风常绿阔叶林(50—42.5 Cal ka BP)→亚热带常绿—落叶阔叶—针叶混交林(湖边草地)(42.5—14 Cal ka BP)→热带季雨林(14—5 Cal ka BP)→半常绿季雨林(5—0 ka BP)。气候最寒冷的时间大约发生在 24—27 Cal ka BP (¹⁴C age 20.4—23 ka BP),当时所呈现出的亚热带常绿—落叶阔叶—针叶混交林植被类型与全新世早期的热带季雨林相比有根本性的差别,气候温度至少降低了 4—6 °C 以上,说明在我国南方热带低地地区,冰期气候的确有显著的下降,并且在气候最寒冷的时期降水量也有明显降低。值得注意的是在全新世早期降水量可能并没有随着气候温度的增高而增加,或者当时季节性降水明显造成一些干旱性草本植物得以季节性生长。

感谢 郑卓教授为本文提供了宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- Beck J W, Recy J, Taylor F, 1997. Edwards L R, Cabioch G, Abrupt changes in early Holocene tropical sea surface temperature derived from coral records. *Nature*, **385**: 705—707.
- Caratini C, Tissot C, 1988. Paleogeographical evolution of the Mahakam delta in Kalimantan, Indonesia during the Quaternary and Late Pliocene. *Review of Paleobotany and Palynology*, **55**: 217—228.
- CLIMAP Project members, 1976. The surface of the Ice-Age Earth. *Science*, **191**: 1131—1137.
- Flenley J R, 1996. Problem of the Quaternary on mountains of the Sunda-Sahul region. *Quaternary Science Review*, **15**: 549—555.
- Flenley J R, 1979. *The Equatorial Rain Forest: A Geological History*. London, Butterworths. 162 pp.
- Huang C Y, Liew P M, Zhao M *et al.*, 1997. Deep sea and lake records of the southeast Asian paleomonsoons for the last 25 thousand years. *Earth Planet Sci. Let.*, **146**: 59—72.
- Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang (黄镇国, 张伟强), 2000. The shift of tropical zone during the last glacial maximum in China. *Acta Geogr. Sinica*, **55**: 587—595.
- Jolly D, Haecltine A, 1997. Effect of low glacial atmospheric CO₂ on tropical African montane vegetation. *Sciences*, **76**: 786—788.
- Liu Jiaqi, Lu Houyuan, Negendank J *et al.*, 2000. Periodicity of Holocene climatic variations in the Huguangyan Maar Lake. *Chinese Science Bulletin*, **45**(18): 1712—1717.
- Liu Maosong, Hong Bigong (刘茂松, 洪必恭), 1998. The distribution

- of Fagaceae in China and its relationship with climatic and geographic characters. *Acta Phytocol. Sinica*, **22**(1): 41—50. (in Chinese)
- Liu Tungsheng, Liu Jiaqi, Lü Houyuan (刘东生, 刘嘉麒, 吕厚远), 1998. Progress in high-resolution alaeoenvironment research from Maar Lake, Quaternary. *Sciences*, **4**: 289—296. (in Chinese)
- Martinson D G, Pisias N G, Hays J D *et al.*, 1987. Age dating and the Orbital theory of the ice age: Development of a high-resolution 0 to 300 000 year chronostratigraphy. *Quat. Res.*, **27**: 1—29.
- Ni Jian, Song Yongchang (倪健, 宋永昌), 1997. The water-temperature distributional groups dominants and companions of subtropical evergreen broadleaved forest in China. *Acta Phytocol. Sinica*, **21**(4): 349—359. (in Chinese)
- Stuijts I, Newsome J C, Flenley J R, 1988. Evidence for late Quaternary vegetational change in the Sumatran and Javan highlands. *Review Paleobot. Palyn.*, **55**: 207—216.
- Sun Xiangjun, Li X, 1999. A Pollen record of the last 37 ka in deep sea core 17940 from the northern slope of the South China Sea. *Mar. Geol.*, **156**: 227—244.
- Sun Xiangjun, Wu Yushu (孙湘君, 吴玉书), 1987. The histories of the vegetable and environmental changes in Dianchi Lake, Yuannan during Holocene. In: Sino-Australia joint group of Quaternary Research, *Proceeding of Symposium of Sino-Australian Quaternary Research*. Beijing: Science Press. 28—41. (in Chinese)
- Sun Xiangjun, Lia Xu, Luo Yunli *et al.*, 2000. The vegetation and climate at the last glaciation on the emerged continental shelf of the South China Sea. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, **160**: 301—316.
- Thunell R C, Mao Q, 1996. Sea surface temperature of the western equatorial Pacific Ocean during the Young Dryas. *Quat. Res.*, **46**: 72—76.
- Thunell R C, Miao Q, 1996. Sea surface temperature of the western equatorial Pacific Ocean during the Younger Dryas. *Quat. Res.*, **46**: 72—77.
- Wang Fuhsung, Chien Naifen, Zhang Yulong *et al.* (王伏雄, 钱南芬, 张玉龙等), 1995. *Pollen flora of China (Second Edition)*. Beijing: Science Press. 31—32. (in Chinese)
- Wang Kaifa, Jiang Hui, Zhang Yulan, 1990. *Quaternary Spore, Pollen and Algae from the Nanhai Sea and the Coastal Region and their Environments*. Shanghai: Publishing House of Tongji University. 144p.
- Wang P, Wang L, Bian Y *et al.*, 1995. Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: p. surface circulation and carbonate cycles. *Mar. Geol.*, **127**: 145—165.
- Webb R S, Rind D H, Lehman S J, 1997. Influence of ocean heat transport on the climate of the last glacial maximum. *Nature*, **385**: 695—699.
- Webster P J, Stretten N A, 1978. Late Quaternary ice age climates of tropical Australasia interpretations and reconstructions. *Quat. Res.*, **10**: 279—309.
- Zheng Zhuo (郑卓), 1991a. Repartition de Dacrydium (Podocarpaceae) Au Quaternaire superieur en Chine meridionale d'apres l'analyse pollinique. *Palynosciences*, (1): 167—186.
- Zheng Zhuo (郑卓), 1991b. Pollen flora and paleoclimate of the Chaoshan Plain during the last 50 000 years. *Acta Micropalaeont. Sinica*, **8**(4): 461—480. (in Chinese)
- Zheng Zhuo (郑卓), 1999. Response of altitudinal belts of vegetation to the late quaternary climatic changes in tropical Asia. *Geographical Research*, **1**: 96—104. (in Chinese)
- Zheng Zhuo (郑卓), 2000. Vegetation and climate since the late Pleistocene in southern China. *J. Geosci. China*, **2**(1): 7—20.
- Zheng Zhuo (郑卓), Lei Zuoqi, 1999. A 400 000 year record of vegetational and climatic changes from a volcanic basin, Leizhou Peninsula, Southern China. *Paleogeogr., Paleoclimat., Paleoecol.*, **145**: 339—362.

A STUDY OF POLLEN AND ENVIRONMENT IN THE HUGUANGYAN MAAR LAKE SINCE THE LAST GLACIATION

LU Hou-Yuan, LIU Jia-Qi, CHU Guo-Qiang and GU Zhao-Yan,
(*Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Neigendank J, Schettler G and Mingram J
(*GeoForschungszentrum Potsdam D-14473 Potsdam, Germany*)

Key words Holocene, pollen record, vegetation change, Huguangyan Maar Lake, Guangdong

Abstract

A new pollen record from the Huguangyan Maar Lake (110° 17'E, 21° 9'N) in the Leizhou Peninsula, Guangdong Province, China, provides information on vegetation and climate changes since the last glaciation. Six major significant changes in pollen associations indicate the history and the process of vegetation successions, those are the southern subtropical evergreen monsoon forest, middle subtropical evergreen and deciduous broad-leaved

forest, southern subtropical evergreen monsoon forest, middle subtropical evergreen-deciduous broad-leaved and conifer mixed forest, tropical seasonal rain forest, and the semi-evergreen seasonal rain forest. The pollen record suggests that the temperature dropped 4—6 °C during the coldest epoch of the last glaciation than that of today. The climate in early Holocene was drier in this region.