

安徽省池州地区距今 3 万年以来 古植被演替过程及晚全新世人类活动的影响*

黄康有^{1,2}, 周怡君¹, 陈聪¹, 汤永杰¹, 岑彩凤¹

1. 中山大学地球科学与工程学院/广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室, 广东 珠海 519082
2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519082

摘要: 通过对长江下游安庆池州市地区钻孔岩芯开展古环境变化研究, 基于岩芯 5 个沉积物样品的 AMS¹⁴C 测年结果建立沉积深度-年龄框架, 根据孢粉分析结果探讨研究区域 MIS3 晚期以来古植被演变过程, 并分析了全新世晚期人类活动对植被的干扰信号。研究结果表明: 1) 在 MIS3 阶段晚期 (~30 540~25 330 cal a BP), 研究区域植被类型表现为常绿落叶阔叶混交林, 优势种类以壳斗科常绿类型青冈属和松属植物为主, 落叶栎属和栗/锥属植物相对较少, 反映了当时气候为温暖湿润; 2) 在 MIS2 阶段 (25 330~9 640 cal a BP), 研究区域植被以落叶阔叶林为主要特征, 该阶段气候从末次盛冰期时期的寒冷干燥逐渐转变为温凉湿润; 3) 在早-中全新世阶段 (9 640~5 180 cal a BP), 森林植被开始繁盛, 尤其是乔木类植物含量达到峰值, 反映出当时气候温暖潮湿; 4) 在晚全新世阶段 (5 180 cal a BP 以来), 禾本科植物花粉 (>40 μm) 剧增, 可能与当时稻作农业规模增大有关; 同时乔木类花粉锐减, 反映了人类活动对自然植被干扰强度增加。

关键词: 长江流域; MIS3 阶段; 孢粉分析; 古环境

中图分类号: P52 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137 (2022) 01-0151-10

Paleovegetation succession over the past 30 000 yr and human activities during the late Holocene in Chizhou city, Anhui Province

HUANG Kangyou^{1,2}, ZHOU Yijun¹, CHEN Cong¹, TANG Yongjie¹, CEN Caifeng¹

1. School of Earth Sciences and Engineering / Guangdong Provincial Key Laboratory of Geodynamics and Geohazards, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China
2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai 519082, China

Abstract: Based on AMS¹⁴C dating results of five samples of drilling core GMD06, the sedimentary framework of the age-depth of Chizhou, Anhui Province, was established. The pollen analysis data reveal the vegetation succession history in this Yangtze River basin since the late MIS3. During the late MIS3 period (~30 540 – 25 330 cal a BP), the vegetation type of the study area was evergreen deciduous broad-leaved mixed forest; the dominant species were *Cyclobalanopsis* and *Pinus*, while the *Quercus*-deciduous and *Castanea/Castanopsis* were relatively less; and the climate was warm-cool and humid. During the MIS2 period (25 330 – 9 640 cal a BP), the vegetation was mainly characterized by deciduous broad-leaved forest; the climate gradually changed from cold and dry to cool and wet during the last glacial maximum. During the early and middle Holocene (9 640 – 5 180 cal a BP), the vegeta-

* 收稿日期: 2021-05-10 录用日期: 2021-05-13 网络首发日期: 2021-07-14
基金项目: 国家自然科学基金 (42077414); 广东省引进人才创新创业团队项目 (2016ZT06N331);
2021年度广东省自然资源事务管理-生态林业建设专项资金 (2021GJGY001)
作者简介: 黄康有 (1979年生), 男; 研究方向: 第四纪地质学; E-mail: hkangy@mail.sysu.edu.cn

tion began to flourish, particularly, the tree pollen reached the peak; the climate was warm and humid. During the late Holocene (~5 180 cal a BP), the Poaceae (> 40 μm) pollen increase significantly which probably indicates the increased rice agricultural activities; coupled with the sharp decreasing of tree pollen, it suggests the intensified disturbance of natural vegetation by human activities.

Key words: the Yangtze River basin; MIS3; pollen analysis; paleoenvironment

长江发源于青藏高原地区,横穿中国中部地区,流经 11 个省,流域面积约占中国面积的 1/5。前人对长江中下游流域地区开展了大量的古环境与人类活动的研究,主要集中在长江中游的四川盆地、江汉盆地、洞庭湖盆地及长江下游的长江三角洲地区。孢粉是第四纪古环境与古气候定量重建中的重要研究指标之一,前人根据孢粉数据探讨了古气候演变过程,例如苏北盆地的孢粉分析与深海氧同位素曲线进行对比,推测出该地区的 6 次冷事件,可能对应于 Heinrich 事件^[1];根据长江三角洲地区全新世孢粉数据推断该地区植被与气候的演变过程:早全新世阶段,植被特征以亚热带阔叶落叶混交林或者针阔叶混交林为特征;中全新世阶段,气候温暖潮湿,植被繁茂;晚全新世阶段以来,气候温凉湿润,植被受人类活动的影响越来越明显,次生林比较发育^[2-3]。长江下游地区,巢湖沉积物反映了全新世以来古气候和

古环境与人类影响进行了研究^[4]。此外,前人通过长江三角洲地区新石器考古遗址古环境与人文历史耦合研究,建立了马家浜文化(7 000~5 800 cal a BP),崧泽文化(5 800~5 200 cal a BP)和良渚文化(约 5 200~4 000 cal a BP)和马桥文化(4 000~3 200 cal a BP)^[4]。

长江三角洲上游的安庆地区,晚第四纪以来古植被与古气候的研究成果仍然不多,本文根据安庆池州市地区钻孔岩芯材料孢粉分析结果,探讨研究区 MIS3 阶段以来古植被与古气候演变特征,为了解长江下游三角洲地区古植被与古气候演变过程、晚全新世人类活动对植被的干扰等研究提供重要的参考数据。

1 研究区域概况

本研究钻孔位于长江中下游安徽省池州市,属于皖西南地区,是皖鄂赣三省交界处(图 1)。

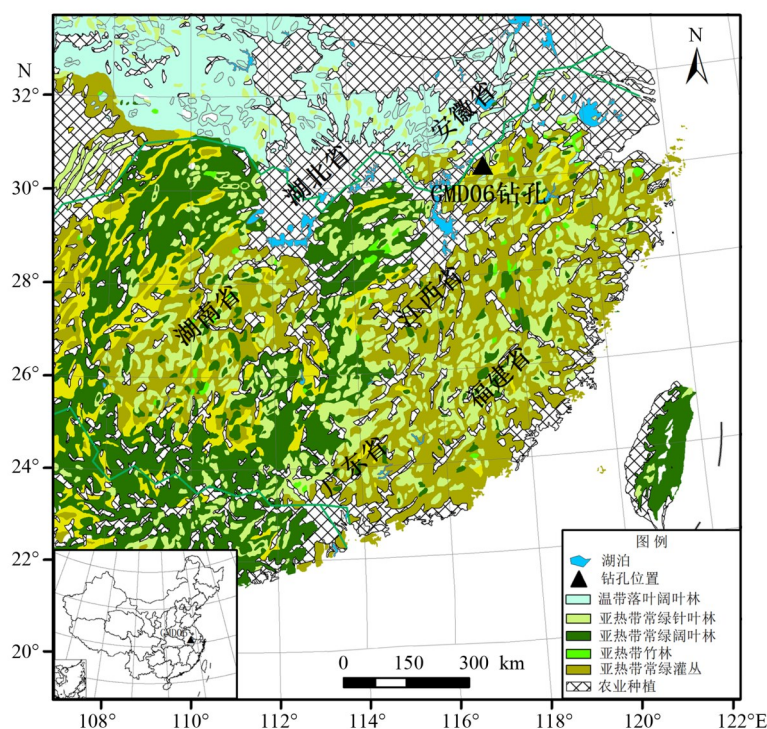


图 1 GMD06 钻孔位置图及亚热带地区植被类型分布图

Fig. 1 Subtropical vegetation map and location of core GMD06

池州市位于长江边缘, 西北部是大别山中低山区, 南部地区为长江滩涂、湖泊湿地分布区域。该区域气候属北亚热带季风湿润区, 年平均气温在 14.4~16.8℃, 年平均降雨量为 1 300~1 500 mm。池州市周边地区植被特征主要表现为北亚热带常绿-落叶阔叶混交林, 山地植被以落叶阔叶林、针叶林、针阔混交林、灌丛、山地草甸和沼泽植被等, 全市拥有种子植物 153 科 676 属 1 557 种, 主要的建群植物种类有: 松科(Pinaceae)、杉科(Taxodiaceae)、柏科(Cupressaceae)、壳斗科(Fagaceae)、胡桃科(Juglandaceae)、桦木科(Betulaceae)、山茶科(Theaceae)、杨柳科(Salicaceae)、榆科(Ulmaceae)、木兰科(Magnoliaceae)、樟科(Lauraceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、漆树科(Anacardiaceae)、楝科(Meliaceae)、山茱萸科(Cornaceae)、大戟科(Euphorbiaceae)、木犀科(Oleaceae)、山矾科(Symplocaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、豆科(Leguminosae)、忍冬科(Caprifoliaceae)和虎耳草科(Saxifragaceae)等^[5]。由于该区域人类活动频繁, 原生植被早已消失殆

尽, 目前主要分布次生植被为主。

2 材料与方法

本研究钻孔 GMD06 位于池州市贵池区马衙桥附近, 地理坐标为北纬 117.306 8°, 东经 30.651 4°; 海拔高程为 12 m。钻孔岩芯 GMD06 总长度 48 m, 根据岩性特征, 沉积物大致可以分为 7 层, 各层深度和岩性特征见图 2。第一层(0~40 cm): 耕植土, 主要为棕灰色黏土质粉砂, 多见植物根系; 第二层(40~300 cm): 棕色粉砂质黏土层, 夹粉砂薄层; 第三层(300~600 cm): 灰色淤泥质含粉砂黏土层; 第四层(600~710 cm): 灰黑色淤泥质黏土, 含炭化植物根茎; 第五层(710~2 100 cm): 灰棕色-灰色粉砂质黏土层逐渐过渡至青灰色黏土层; 第六层(2 100~2 800 cm): 棕黄色粉砂质黏土层, 局部花斑状; 第七层(2 800~4 800 cm), 从灰色粗砾石层过渡到暗红色砾石层。由于钻孔 2 400~4 800 cm 层含孢粉较少, 本文对岩芯深度 2 400 cm 以上的样品进行了详细的孢粉分析。

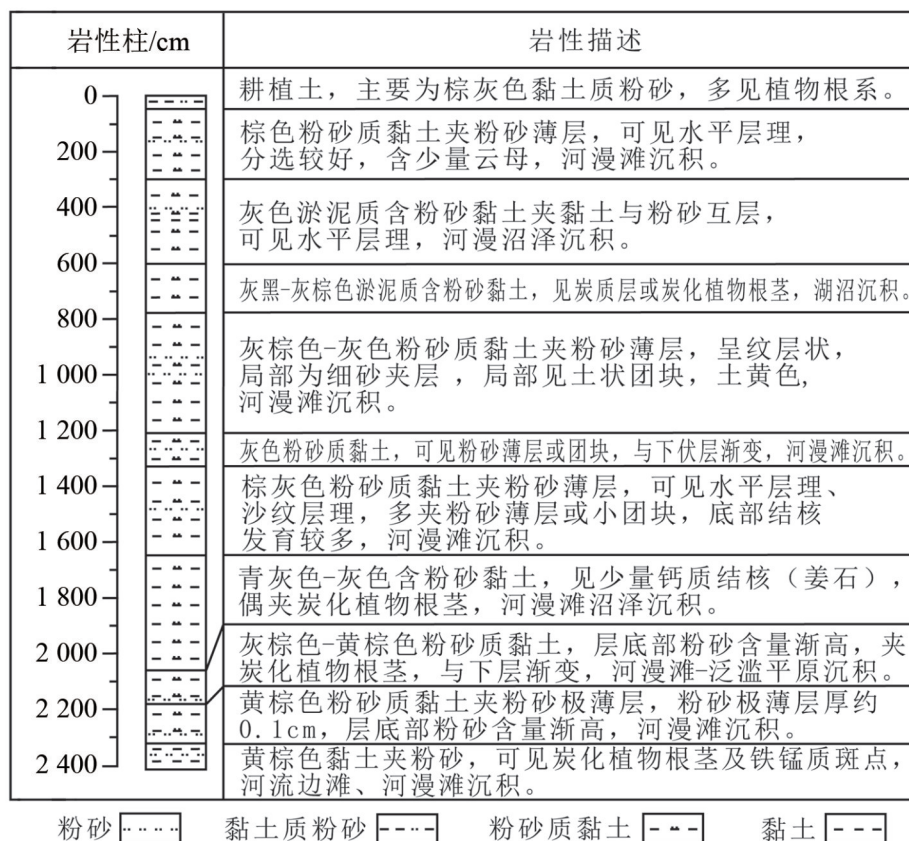


图2 GMD06 钻孔岩芯剖面图及岩性描述

Fig. 2 Lithology of core GMD06

为了建立钻孔的年代框架,本研究选择沉积物深度分别为 660、1 245、1 640、2 020 和 2 230 cm 处的 5 个沉积物送至美国迈阿密 Beta 实验室进行

AMS¹⁴C 测年(表 1),根据 5 个碳同位素年龄测试数据,使用 Bacon 软件建立了深度-年龄的框架模型^[6],年龄与钻孔深度大致呈线性分布(图 3)。

表 1 GMD06 钻孔 AMS¹⁴C 测年结果

Table 1 AMS¹⁴C results of core GMD06

样品编号	深度/cm	测年材料	¹⁴ C 年龄/a BP	校正年龄/cal a BP
GMD-01	660	黏土	3 520±30	3 790
GMD-02	1 245	黏土	8 750±30	9 742
GMD-03	1 640	黏土	14 860±30	17 969
GMD-04	2 020	黏土	20 940±70	25 154
GMD-05	2 230	黏土	22 920±90	27 326

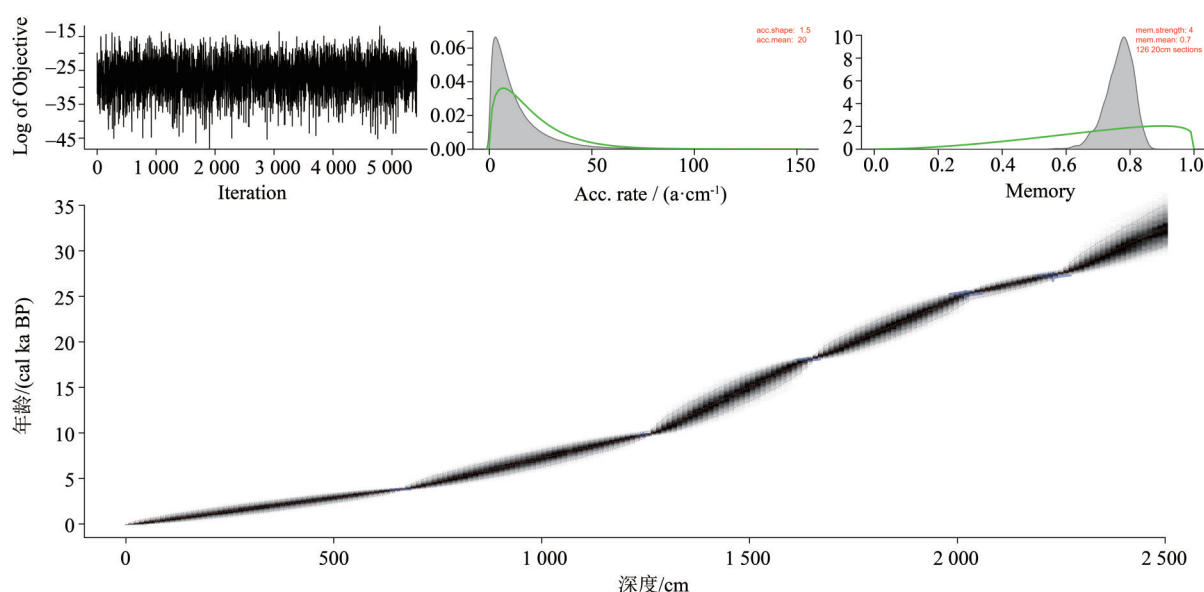


图 3 GMD06 钻孔深度-年龄框架模型

Fig. 3 Age-depth model of core GMD06

本研究的孢粉分析方法采用常规的重液浮选和氢氟酸法^[7-8],孢粉提取在中山大学第四纪古环境孢粉实验室完成。本研究对 24 m 岩芯以 40 cm 间隔进行取样,总共获得 60 个孢粉样品。其中每个样品取样 5~15 g(黏土或粉砂质样用 5 g,对于含砂量偏多的样品,适当增加一些量),并加入一片石松孢子(27 637 粒)片剂计算孢粉浓度,每个样品孢粉统计在 300 粒以上。孢粉花粉鉴定参考了《中国植物花粉形态》^[9]和《中国第四纪孢粉图鉴》^[10]。孢粉种类百分比含量计算以陆生植物种类总和为基数计算,最后使用 Tilia 软件对主要孢粉种类百分比含量进行绘制图谱,结合 CONISS 聚类分析进行孢粉带划分^[11]。

本文通过主成分分析方法研究区域孢粉种类与气候因子之间的相关关系,利用 Canoco 5 软件进行分析,选取孢粉组合中百分比比较高的花粉类型作为代表性类型进行主成分分析^[12]。

3 孢粉分析结果

本研究对池州市 GMD06 钻孔 60 个孢粉样品共鉴定出 78 个孢粉类型,包括 6 种针叶植物花粉类型、43 种阔叶植物花粉类型、18 种草本植物花粉类型、4 种藻类和 7 种蕨类孢子。其中,主要的针叶植物花粉类型包括松属(*Pinus*)、冷杉属(*Abies*)、云杉属(*Picea*)、铁杉属(*Tsuga*)、杉科(*Taxodiaceae*)和柏科(*Cupressaceae*)等;主要的阔叶植物花粉类型

有青冈属(*Cyclobalanopsis*, 包括常绿栎类)、栎属(*Quercus*, 指栎属落叶类)、冬青属(*Ilex*)、杜英属(*Elaeocarpus*)、栗属(*Castanea*, 包括锥属(*Castanopsis*)类)、枫香树属(*Liquidambar*)、榆属(*Ulmus*)、桤木属(*Alnus*)、榛属(*Corylus*)、桦木属(*Betula*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)等;主要的草本花粉主要有禾本科(*Poaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、菊科(*Compositae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)和香蒲属(*Typha*)等;藻类孢子包括盘星藻、双星藻和环纹藻等;蕨类孢子以单缝孢子(*Monolete*)、三缝孢子(*Triletes*)、金毛狗属(*Cibotium*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)为主。根据孢粉种类百分比含量, 基于 CONISS

聚类分析结果将孢粉谱自下而上分为 5 个孢粉组合带(图 4)。

1) 孢粉带 I (2 400~2 035 cm, 30 540~25 330 cal a BP): 该孢粉带以阔叶乔木占主导, 约占 52.9%, 其中主要为常绿青冈属(22.0%)、落叶栎属(12.3%)和栗/锥属(10.3%); 其次是草本植物花粉, 约占 23.6%, 其中禾本科(11.2%)、莎草科(4.2%)、蒿属(3.6%)、菊科(1.9%)为主; 针叶类的平均含量为 14.6%, 其中以松属(9.2%)花粉为绝对优势; 蕨类孢子平均含量为 8.9%, 以三缝孢子(4.6%)和单缝孢子(1.2%)为主。

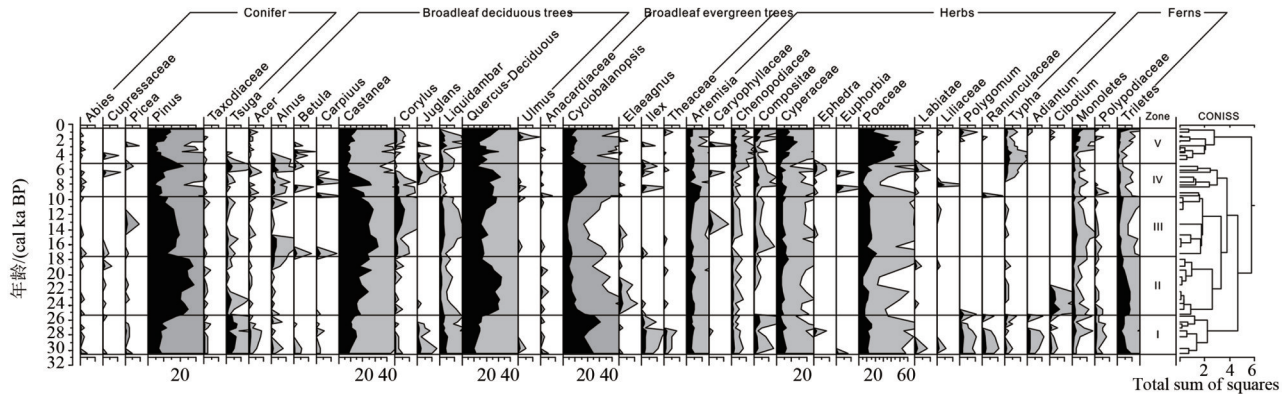


图 4 GMD06 钻孔孢粉百分比图谱 (阴影表示含量值增大 2 倍)

Fig. 4 Pollen percentage diagram of core GMD06 (Exaggeration is two times in shadow)

2) 孢粉带 II (2 035~1 625 cm, 25 330~17 610 cal a BP): 该孢粉带, 阔叶乔木占主导, 平均含量为 51.4%; 以落叶栎属(平均含量为 25.5%, 在 14.5%~29.1% 之间)和栗/锥属(平均含量为 18.0%, 在 13.5%~22.5% 之间)占优势, 同时也有少量常绿类型的青冈属(平均含量为 7.0%, 在 4.5%~9.7% 之间)占优; 其次是针叶树花粉, 平均含量为 24.2%, 以松属(平均含量 22.9%, 在 18.3%~27.5% 之间)绝对占优; 草本植物花粉占 17.2%, 以禾本科(平均含量为 8.7%, 在 5.8%~11.3% 之间)、莎草科(平均含量为 4.0%, 在 2.9%~4.6% 之间)、蒿属(平均含量为 3.84%, 在 2.3%~5.3% 之间)占优; 蕨类孢子平均含量为 8.5%, 以三缝孢子(平均含量为 6.1%, 在 3.4%~8.1% 之间)和单缝孢子(平均含量为 1.1%, 在 0.4%~1.9% 之间)和金毛狗属 *Cibotium* (平均含量为 1.6%, 在 0%~5.8% 之间)占优。

导, 而且含量相比上一孢粉带有所升高, 平均含量为 56.2%, 以栗/锥属(平均含量为 23.9%, 16.7%~29.5%)、落叶栎属(平均含量为 18.5%, 在 14.6%~26.5%), 常绿类型的青冈属(平均含量为 5.3%, 在 3.5%~7.1% 之间)含量相对较低; 其次是草本植物花粉, 平均含量为 24%, 以禾本科(平均含量为 13.5%, 在 8.3%~19.6% 之间)、莎草科(平均含量为 4.8%, 在 3.4%~5.8% 之间)、蒿属(平均含量为 3.9%, 在 2.2%~7.5% 之间)、菊科(平均含量为 1.2%, 在 0.4%~2.5% 之间)占优; 针叶类花粉平均含量为 15.4%, 主要以松属(平均含量为 15.2%, 在 9.9%~23.0% 之间)为主; 蕨类孢子平均含量为 4.3%, 相比上一孢粉带有所减少。

3) 孢粉带 III (1 625~1 235 cm, 17 610~9 640 cal a BP): 该孢粉带仍然以阔叶乔木在该区域占主

4) 孢粉带 IV (1 235~800 cm, 9 640~5 180 cal a BP): 该带孢粉组合, 阔叶乔木类增加, 平均含量为 62.7%; 其中以常绿的青冈属(平均含量为 15.5%, 在 9.3%~17.9% 之间)增加最为显著; 但是整个孢粉谱当中, 依然以落叶类乔木占主导, 落叶栎属(平均含量为 22.1%, 在 11.9%~29.7% 之

间)和栗/锥属(平均含量为 13.6%, 在 6.4%~25.3% 之间)。同时, 也有少量的其他落叶类成分, 例如桤木属(1.7%)、榛属(1.4%)和胡桃属(1.0%)等。针叶树植物花粉平均含量为 10.4%, 并以松属(平均含量为 9.7%, 在 4.3%~20.7% 之间)占主要。草本植物花粉, 平均含量为 24.1%, 以禾本科(平均含量为 9.6%, 在 5.0%~16.9% 之间)、莎草科(平均含量为 4.0%, 在 1.7%~6.3% 之间)、蒿属(平均含量为 5.2%, 在 2.0%~9.2% 之间)、菊科(平均含量为 1.7%, 在 0.4%~3.2% 之间)占优; 蕨类孢子含量相对较低, 平均含量仅为 2.8%, 其中以三缝孢子(平均含量 1.3%, 在 0.6%~1.9% 之间)和单缝孢子(平均含量为 1.1%, 在 0.8%~1.9% 之间)为主。

5) 孢粉带 V (800~0 cm, 5 180 cal a BP 至今): 该孢粉带最显著的特点是草本植物花粉锐增, 其平均值为 48.3%; 其中主要是禾本科(平均含量为 38.9%, 在 14.8%~43.2% 之间)的含量剧增, 莎草科、藜科和蒿属也占有一定的优势; 其次是阔叶乔木, 平均值为 48.3%, 以落叶栎属(平均值为 18.3%, 在 11.9%~27.5% 之间)、栗/锥属(平均值为 8.9%, 在 6.6%~12.4% 之间)和常绿青冈属(平均值为 7.7%, 在 5.0%~9.9%)占优势; 针叶树花粉平均含量为 8.2%, 主要以松属为主; 蕨类孢子平均含量为 4.6%, 以三缝孢子(平均含量为 4.6%, 在 0.5%~1.8% 之间)和单缝孢子(平均含量为 2.6%, 在 0.5%~3.6% 之间)为主要成分。

4 讨论

4.1 孢粉组合的主成分分析

为了探讨孢粉组合中不同种类之间的相互关系, 并解读优势孢粉类型所指示的气候因子, 本文使用 Canoco 5 软件进行对孢粉数据进行主成分分析(PCA); 本研究选取了 29 个含量较高的花粉种类进行主成分分析, 选择 48 个样品进行对应性分析(由于 12 个样品统计数少于 50 粒)。分析结果显示, 前四个主成分轴的特征值分别是 0.52、0.24、0.104 和 0.08, 其中第一主成分和第二主成分总和为 76% (图 5)。第一主成分轴(PCA axis 1)的正方向的孢粉种类主要为喜冷干的蒿属、藜科和禾本科, 第一主成分轴的负方向为喜湿的阔叶树类花粉; 第二主成分轴(PCA axis 2)的正方向的花

粉种类主要是常绿类型的青冈属、冬青属和铁杉属, 第二主成分轴负方向为落叶栎属、栗/锥属和松属等。由此可见, 第一主成分轴可能指示的是降雨因子, 而第二主成分轴指示的是温度因子。根据 PCA 分析结果散点图可以划分 3 个孢粉组合类型, 将钻孔孢粉组合划分为 4 个演变阶段(图 5): 落叶栎属-栗/锥属组合带, 代表冷干气候特征; 常绿青冈属-冬青属-铁杉属组合带, 代表暖湿气候特征; 禾本科-莎草科-藜科组合带代表最为冷干的气候环境。

4.2 古植被演替及人类活动

根据安庆池州市 GMD06 钻孔孢粉带以及主成分分析结果, 同时结合前人在研究区域的孢粉记录探讨长江下游地区古植被与古气候演变过程(图 6)。整个钻孔剖面的孢粉种类反映出亚热带常绿-落叶阔叶混交林为主, 植物种类相对丰富, 气候整体特征以暖湿-冷干-凉湿-暖湿的演变过程。因此, 本文根据孢粉组合变化可以将植被及气候变化分为 4 个阶段:

1) MIS3 阶段(2 400~2 035 cm, 30 540~25 330 cal a BP): 在这个阶段当中, 该地区孢粉组成以栎属的常绿类型、栗属、枫香属和松属等种类为主, 反映当时植被类型为亚热带常绿-落叶阔叶混交林(图 6)。在中国中部地区, 从低纬度向高纬度的植被演变主要表现为从常绿阔叶林逐渐向常绿落叶阔叶混交林的演变特征, 例如雷州半岛地区 MIS3 阶段的植被仍然以常绿阔叶林为特征^[13], 而中国东南部武夷山脉地区植被特征主要以栎属的常绿类型、栲属和阿丁枫属为优势种的常绿阔叶林, 同时也存在少量的落叶成分^[14]; 然而在北亚热带高山沼泽的孢粉记录却表现为: MIS3 阶段主要发育了以冷杉属和云杉属为优势植物的针阔叶落叶混交林^[15]。不过, 在西部高山地区, 由于海拔因素影响, 植被发育相对差一下, 例如青藏高原东缘地区的若尔盖草原地区仅分布有较小范围森林植被, 大部分地区以草原植被类型为主^[16]。不过在西南地区, 高山湖泊的孢粉记录表明在该时期的植被以针阔叶混交林为特征, 其中高山硬叶栎类比例相对较高(含量在 50% 以上)^[17-18], 气候特征为温凉偏干。其实, 在本研究的孢粉谱当中, 以常绿栎属、栗/栲属与落叶栎交替增长为特征, 也表明了当时气候波动频繁。尽管当时植被类型

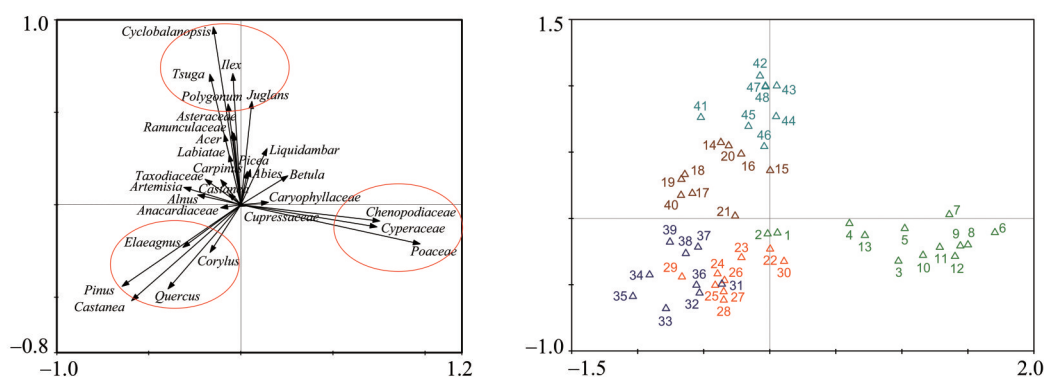


图 5 GMD06 钻孔孢粉种类 PCA 排序结果

Fig. 5 Principal correspondence analysis (PCA) based on pollen data from core GMD06

主要以阔叶森林为主, 但是在此阶段后期, 草本类的蒿属、藜科等旱生草本含量也有一定的比例; 因此, 反映了此阶段后期的气候为温凉干燥的特征。

2) MIS2 阶段 (2 035~1 235 cm, 25 330~9 640 cal a BP): 此阶段植被与气候可以划分为两个时期; ① 在 LGM (25 330~17 610 cal a BP) 时期的孢粉组成主要以松属为代表的针叶类和栎属的落叶类型大量增加为主要特征, 表明当时植被类型为针阔叶落叶混交林 (图 6)。在华南亚热带地区, LGM 时期植被向低纬度迁移, 尤其是落叶类成分从北亚热带占优势向低纬度地区渗透; 例如在雷州半岛湛江湖光岩玛珉湖的孢粉结果当中, 尽管 LGM 时期植被仍然以亚热带常绿阔叶林为主, 但是孢粉谱当中含有相当数量的落叶类成分^[13, 19]; 武夷山的沼泽剖面在 LGM 时期的主要孢粉种类是以水青冈属和桤木属为优势, 表明当时该地区的植被类型为落叶阔叶林^[14]; 然而, 北亚热带地区大九湖在 LGM 时期主要以草本类花粉占优势, 主要种类以莎草科和禾本科为主, 同时发育了马先蒿属、蒿属、藜科、石竹科和伞形科等种类, 揭示了当时该区域的植被为荒漠草地^[20]。② 随着气候逐渐回暖, 尽管落叶栎属含量变化较小, 但是壳斗科喜湿的栗属植物持续增加; 表明了当时气候从冷干向凉湿的方向转变, 植被也逐渐向全新世过渡。实际上, 华南亚热带地区的孢粉结果也显示了在冰消期期间森林植被逐步向北扩张, 例如武夷山水竹洋钻孔的孢粉揭示了在冰消期 (~1 600~11 800 cal a BP) 植被由落叶阔叶林演替为伴生少量落叶阔叶类的常绿阔叶林, 尤其是喜凉

而偏湿气候的桤木属和水青冈属植物大量增加, 表明当时冰消期温度回升偏湿^[14]; 而北亚热带的大九湖地区, 由桦木属、鹅耳枥属、榛属和栎属的落叶类型构成的温带落叶阔叶林开始繁盛^[15]。

3) 全新世适宜期阶段 (1 235~800 cm, 9 640~5 180 cal a BP): 冰期结束之后, 在早中全新世阶段温度和降水大幅增加, 因此植被开始繁盛。本研究中早全新世阶段乔木植物含量达到了峰值, 主要的种类由壳斗科的常绿栎属增加, 同时落叶栎属也有所增加, 反映研究区域的植被类型为常绿落叶阔叶混交林 (图 6)。在北亚热带大九湖地区, 早全新世阶段常绿乔木类的金缕梅科、荚蒾属、常绿栎和栲属等显著增加并达到峰值, 而温带落叶类开始减少, 因此植被特征以常绿落叶阔叶林为特征^[20]。南亚热带山地沼泽孢粉结果显示, 在早中全新世阶段的植被以常绿阔叶林为主^[21]; 珠江三角洲地区的孢粉记录显示, 该阶段发育了亚热带季风常绿阔叶林和热带季雨林, 气候炎热多雨而潮湿^[22]。在东南部地区南漪湖孢粉分析结果表明, 在早中全新世阶段 (9 100~6 600 a BP) 大暖期阶段, 地带性植被优势种以青冈属和栎属为特征的亚热带常绿阔叶林, 当时的气候温暖湿润。而鄱阳湖钻孔的孢粉结果显示, 在 8 700~7 300 a BP 时期的植被类型也是常绿阔叶林, 气候温暖湿润^[23]。

4) 晚全新世阶段 (800~0 cm, 5 180 cal a BP~至今): 该阶段的孢粉组合当中, 乔木类植物花粉逐渐减少, 尤其是在中全新世大暖期之后, 由于东亚夏季风逐渐减弱, 降雨量逐渐减弱, 因此植被群落以落叶栎属、栗/锥属和青冈属以及松属为

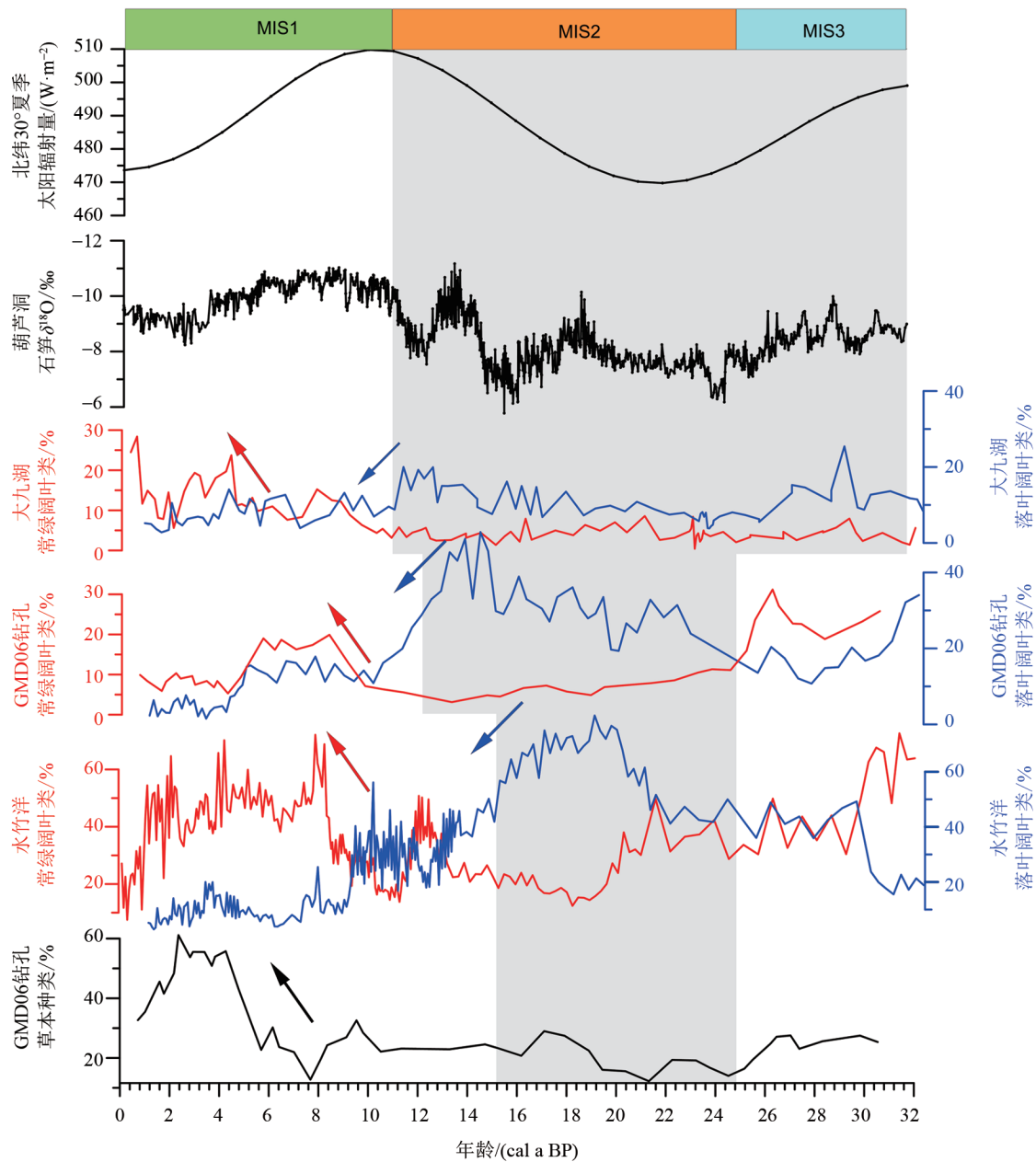


图6 GMD06钻孔孢粉记录与其他孢粉记录、洞穴石笋氧同位素^[29]及北纬30°夏季太阳辐射量^[30]综合对比图

Fig. 6 Variation of ecological pollen groups, stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ values from Dongge & Hulu caves^[29] and summer insolation of 30°N ^[30]

Red curve: evergreen elements, blue curve: deciduous elements.

主要优势的特征；尤其在晚全新世(3 000 cal a BP以来)，孢粉组合当中禾本科和莎草科大量地增加，指示当时大面积的稻作农耕出现(禾本科)，蕨类孢子数量大量增加，人类活动频繁导致森林植被覆盖度减少(图6)。其实，在长江中下游地区，大量的研究表明晚全新世阶段，人类活动频繁导致森林植被遭受干扰^[24]；尽管如此，但是也有研究表明：尽管稻作驯化在全新世初期和早期就有记载，但是这些活动人类活动在最

初对原始植被的影响仍然有限，在许多自然剖面的孢粉组合中很少有显示出人类活动对植被影响的结果^[21]。不过，前人在长江下游地区开展古环境与人类活动的相关关系研究当中的结果表明，可能相对海面变化引起的水文变化可能促进了引起新石器时代农业发展，例如宁绍平原水稻种植、人口增长和文化发展兴起与中断在一定程度上跟当时海陆分布有关^[25-26]。在长江下游鄱阳湖钻孔孢粉结果显示，在7 300~2 400 a BP时期，植被为

以青冈属为主的常绿阔叶林,气候相对暖湿稳定;但是在大约2 400 a BP以来,孢粉谱当中以松属及蕨类孢子大量增加为主要特征,反映了当时人类活动以农业生产为主,对森林植被破坏较为严重^[27]。然而,太湖平原西北部卜弋桥ZK01钻孔剖面的孢粉记录反映了在3 900 a BP左右出现人类活动对原始林的大规模扰动和破坏^[28]。

5 结 论

长江中下游安庆池州市GMD06钻孔孢粉分析结果,记录了距今约30 000 cal a BP以来的植被演替过程,主要获得以下结论:

1) 长江下游地区 MIS3 阶段晚期植被主要以常

绿落叶阔叶混交林为主,植被组成以常绿类青冈属、落叶栎属、栗/锥属和针叶类松属为优势种,当时气候特征表现为温凉湿润,整体上与中国东部地区植被分布格局相吻合。

2) 研究区域 MIS2 阶段植被以针阔叶落叶混交林为主要特征,常绿栎类植物大幅度减少,气候特征从LGM时期冷干向冰消期凉湿转变。

3) 在早-中全新世阶段,森林植被迅速恢复,研究区域发育了常绿落叶混交林,优势种类以常绿类青冈属、栗/锥属和落叶栎属为主,气候特征为温暖湿润;晚全新世以来,人类农耕规模进一步扩大,对原生植被的干扰进一步加剧。

参考文献:

- [1] 萧家仪,王丹,吕海波,等. 苏北盆地晚更新世以来的孢粉记录与气候地层学的初步研究[J]. 古生物学报, 2005, 44(4): 591-598.
- [2] SHU J, WANG W. A unique middle Pleistocene beech (*Fagus*)-rich deciduous broad-leaved forest in the Yangtze Delta plain, East China: Its climatic and stratigraphic implication [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 56: 180-190.
- [3] WANG W, SHU J, CHEN W, et al. Holocene environmental changes and human impact in the Yangtze River Delta area, East China[J]. *Quaternary Sciences*, 2010, 30(2): 233-244.
- [4] CHEN W, WANG W M, DAI X R. Holocene vegetation history with implications of human impact in the Lake Chaohu area, Anhui Province, East China[J]. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2009, 18(2): 137-146.
- [5] 张乐勤. 安徽池州森林植被碳储量调查及分析[J]. 植物学报, 2011, 46(5): 544-551.
- [6] BLAAUW M, CHRISTEN J A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process[J]. *Bayesian Anal*, 2011, 6(3): 457-474.
- [7] FÆGRI K, KALAND P E, KRZYWINSK K. *Textbook of pollen analysis* [M]. John Wiley & Sons Ltd, 1989.
- [8] MOORE P D, WEBB J A, COLLISON M E. *Pollen analysis* [M]. Oxford, U K: Blackwell Scientific Publications, 1991.
- [9] 王伏雄,等. 中国植物花粉形态 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1995.
- [10] 唐领余,等. 中国第四纪孢粉图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [11] GRIMM E C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares [J]. *Computer & Geoscience*, 1987, 13: 13-35.
- [12] BRAAK T, SMILAUER P. *CANOCO reference manual and user's guide: software for ordination* [CP]. Version 5. Microcomputer Power Ithaca. New York, 2012.
- [13] ZHANG J, LU H, JIA J, et al. Seasonal drought events in tropical East Asia over the last 60 000 y [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(49): 30988-30992.
- [14] YUE Y, ZHENG Z, HUANG K, et al. A continuous record of vegetation and climate change over the past 50 000 years in the Fujian Province of eastern subtropical China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 365: 115-123.
- [15] 萧家仪,商志远,舒强,等. 中国南方内陆山地末次冰盛期植被特征及古环境意义 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(5): 651-660.
- [16] XIAO J Y, SHANG Z Y, SHU Q, et al. The vegetation feature and palaeoenvironment significance in the mountainous interior of southern China from the Last Glacial Maximum [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2018, 61(1): 71-81.
- [16] 沈才明,唐领余,王苏民,等. 若尔盖盆地RM孔孢

- 粉记录及其年代序列[J]. 科学通报, 2005, 50(3): 246-254.
- [17] ZHANG X, ZHENG Z, HUANG K, et al. Sensitivity of altitudinal vegetation in southwest China to changes in the Indian summer monsoon during the past 68 000 years[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, 239: 106359.
- [18] XIAO X, YAO A, HILLMAN A, et al. Vegetation, climate and human impact since 20 ka in central Yunnan Province based on high-resolution pollen and charcoal records from Dianchi, southwestern China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, 236: 106297.
- [19] 吕厚远, 刘嘉麒, 储国强, 等. 末次冰期以来湛江湖光岩玛珉湖孢粉记录及古环境变化[J]. 古生物学报, 2003, 42(2): 284-291.
- [20] LI J, ZHENG Z, HUANG K, et al. Vegetation changes during the past 40 000 years in Central China from a long fossil record[J]. *Quaternary International*, 2013, 310: 221-226.
- [21] 王伟铭, 李春海, 舒军武, 等. 中国南方植被的变化[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(8): 1308-1320.
- [22] 黄康有, 何嘉卉, 宗永强, 等. 珠江三角洲三水盆地早全新世以来孢粉分析与古环境重建[J]. 热带地理, 2016, 36(3): 364-373.
- [23] 萧家仪, 吴玉书. 根据花粉与藻类化石组合探讨滇池 Q₃晚期的湖泊环境变迁[J]. 湖泊科学, 2015, 2(2): 25-30.
- [24] WANG X C, MO D W, LI C H, et al. Environmental changes and human activities at a fortified site of the Liangzhu culture in eastern China: Evidence from pollen and charcoal records[J]. *Quaternary International*, 2017, 438: 189-197.
- [25] 覃军干. 宁绍平原及邻区晚更新世以来的孢粉学研究及古环境意义[D]. 上海: 同济大学, 2006: 13-129.
- [26] QIN J G, TAYLOR D, ATAHAN P, et al. Neolithic agriculture, freshwater resources and rapid environmental changes on the lower Yangtze, China[J]. *Quaternary Research*, 2011, 75(1): 55-65.
- [27] 吴艳宏, 羊向东, 朱海虹. 鄱阳湖湖口地区 4500 年来孢粉组合及古气候变迁[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 29-34.
- [28] 舒军武, 王伟铭, 陈炜. 太湖平原西北部全新世以来植被与环境变化[J]. 微体古生物学报, 2007, 24(2): 210-221.
- [29] LASKAR J, ROBUTEL P, JOUTEL F, et al. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth [J]. *Astron Astrophys*, 2004, 428: 261-285.
- [30] WANG Y J, CHENG H, EDWARDS R L, et al. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu cave, China [J]. *Science*, 2001, 294: 2345-2348.

(责任编辑 秦社彩)