



福建省万寿岩遗址船帆洞植硅体组合特征及其环境意义

赵举兴, 陈泉霖, 张书光, 李长安, 林淑珍, 程 乔, 刘林敬

Phytolith assemblages and their environmental significance in the Chuanfan Cave, Wanshouyan Site, Fujian

ZHAO Juxing, CHEN Quanlin, ZHANG Shuguang, LI Chang'an, LIN Shuzhen, CHENG Qiao, and LIU Linjing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2022110101>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

南薇西含油气盆地地层层序及生储盖组合特征

Characteristics of stratigraphic sequence and the source-reservoir-cap assemblages in the Nanweixi petroliferous basin

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 163

珠江口内伶仃洋晚第四纪黏土矿物组成特征及对源区气候变化的指示

Late Quaternary clay minerals in the inner Lingdingyang of the Pearl River Estuary, southern China: Implications for paleoclimate changes at the provenance

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 202

江苏中部海岸晚第四纪沉积物的粒度与磁化率特征及其古环境意义

Characteristics of grain size and magnetic susceptibility of the Late Quaternary sediments from core 07SR01 in the middle Jiangsu coast and their paleoenvironmental significances

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 210

山东即墨马山粗面英安岩年代学与地球化学特征及其地质意义

Geochronology and geochemistry of Mashan trachydacite, JiMo District, Shandong Province and their geological implications

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(6): 138

西太平洋弧后盆地的热液系统及其岩浆环境研究

Seafloor hydrothermal system and its magmatic setting in the western Pacific back-arc basins

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 12

南海南部海陆过渡相烃源岩的两类分布模式

Two distribution patterns of the marine-continental transitional source rocks in the southern South China Sea

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(5): 173



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

赵举兴, 陈泉霖, 张书光, 等. 福建省万寿岩遗址船帆洞植硅体组合特征及其环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2023, 43(2): 192-199.
ZHAO Juxing, CHEN Quanlin, ZHANG Shuguang, et al. Phytolith assemblages and their environmental significance in the Chuanfan Cave, Wanshouyan Site, Fujian[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2023, 43(2): 192-199.

福建省万寿岩遗址船帆洞植硅体组合特征及其环境意义

赵举兴¹, 陈泉霖², 张书光¹, 李长安³, 林淑珍¹, 程乔¹, 刘林敬⁴

1. 福建省煤田地质勘查院, 福州 350005
2. 福建省煤田地质局, 福州 350000
3. 中国地质大学地理与信息工程学院, 武汉 430074
4. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061

摘要: 万寿岩遗址位于福建省三明市, 遗址之一的船帆洞中曾生活过两期古人类 (40~37 kaBP 和 30~29 kaBP)。在第一期古人类的文化层中发现的人工石铺地面在我国旧石器考古中属重要发现, 对研究末次冰期古人类生存环境具有重大意义。对船帆洞沉积物的植硅体分析显示, 尖型植硅体和棒型植硅体数量比较占优势, 扇型和块状植硅体含量其次, 短细胞植硅体形态中鞍型的含量较多。结合聚类分析结果可将剖面至下而上划分为5个气候带, 气候环境依次为凉干-冷干-冷偏干-凉偏干-温凉偏干。第一期古人类生活于带I底部, 为凉干背景下较温暖的气候环境; 第二期古人类生活于带IV上部, 为凉偏干背景下较温暖的气候环境。植硅体的变化特征较好地指示了H4和H3事件, 分别对应两期文化层。两次 Heinrich 事件改变了古人类的生存环境, 推测是两期古人类离开船帆洞的主要原因。

关键词: 植硅体; 孢粉; 古气候; 船帆洞; 万寿岩遗址

中图分类号: P532 文献标识码: A DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2022110101

Phytolith assemblages and their environmental significance in the Chuanfan Cave, Wanshouyan Site, Fujian

ZHAO Juxing¹, CHEN Quanlin², ZHANG Shuguang¹, LI Chang'an³, LIN Shuzhen¹, CHENG Qiao¹, LIU Linjing⁴

1. Fujian Exploration Institute of Coalfield Geology, Fuzhou 350005, China
2. The Coalfield Geology Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350000, China
3. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China
4. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China

Abstract: Two-stage cultural layers (40~37 kaBP and 30~29 kaBP) were identified in the Chuanfan Cave, Wanshouyan Site, Sanming, Fujian Province. The artificial pebble-laid living surface in the first cultural layer was an important discovery in paleolithic reconnaissance, which has great significance in investigating the living environment in the last glacial period. Systematic phytolith analysis of deposits in the Chuanfan Cave provided us an opportunity to reveal climatic change and the living environment of ancient humans since late Pleistocene. Results show that acicula and rhabdolith were dominant in all samples, followed by fan-shaped and blocky phytolith, and more saddle-shaped phytolith in short cell. Five climatic stages were divided from bottom to top according to phytolith assemblages: cool dry, cold dry, in relatively dry cold, relatively dry cool, and relatively warm dry. The first ancient human lived in the early stage I, which was relatively warm in cool-dry background. The second ancient human lived in the late stage IV, which was relatively warm in cool-relatively-dry background. Phytolith variation also indicated that the Heinrich events H4 and H3 correspond well to the two cultural layers. The climate tended to be cooler rapidly after the two Heinrich events, which changed the living environment of ancient humans and shall be the main reason for the ancient humans in the two stages to escape from the Chuanfan Cave.

Key words: phytolith; pollen; paleoclimate; Chuanfan Cave; Wanshouyan Site

资助项目: 福建省自然科学基金“基于万寿岩船帆洞沉积物的古人类生存环境研究”(2021J01349); 国家自然科学基金“锡林郭勒草原全新世古植被演替过程及其对气候变化的响应”(42177428); 福建省煤田地质局科研项目“福建省万寿岩洞穴年代序列及晚更新世晚期以来环境演化”

作者简介: 赵举兴(1986—), 男, 博士, 高级工程师, 从事第四纪古气候、古环境, 第四纪地层研究, E-mail: zhaojuxing1986@126.com

收稿日期: 2022-11-01; **改回日期:** 2023-02-07. 文凤英编辑

万寿岩遗址是我国南方典型的洞穴旧石器时代遗址,遗址之一的船帆洞内发现的距今4万年左右的人工石铺地面在我国旧石器考古中属于重要发现,对研究末次冰期古人类生存环境和文化演进具有重要意义;此外某些石制品的制作工艺和类型与台湾岛发现的锐棱砸击石片和石核相同,为闽台史前文化渊源提供了实物证据^[1]。

由福建省博物馆、三明市文物管理委员会办公室和三明市博物馆3个单位联合组成的发掘队于1999年和2004年先后两次对船帆洞进行了发掘,其成果主要包括以下3个方面:(1)基本查明洞穴沉积物的地层结构;(2)认为船帆洞存在过两期古人类,并采用¹⁴C测年的方法确定了两期文化层的年代;(3)对船帆洞沉积物进行了孢粉测试,为晚更新世晚期以来的气候变化提供了证据^[1-4]。

气候环境变化是影响人类社会变革和发展的重要因素,旧石器时代人类起源迁徙、新石器时代文化文明演变和历史时期王朝兴衰更替与气候环境变化都具有密切联系^[5]。

植硅体是发育在高等植物细胞及细胞间隙的一种具有特殊形态的二氧化硅矿物^[6],具有颗粒小、产量高、分布广、抗风化、分类意义明确等特点,被广泛应用于环境考古尤其是恢复古气候环境的研究中^[7-11]。此外,相对于孢粉,植硅体的原地埋藏特征更加明显。因此,植硅体研究已经越来越广泛应用于环境考古工作,用于补充和完善古环境重建^[12-15]。

前人在船帆洞发掘过程中曾鉴定植硅体样品5件^[1],但仅1件分析出植硅体,其余4件样品未发现。本次研究对船帆洞沉积物进行了系统的植硅体样品采集、鉴定和统计,这对研究该地区晚更新世晚期以来气候变化、分析船帆洞两期古人类的生存环境以及古人类离开洞穴的原因具有重要意义。

1 遗址概况

万寿岩遗址的主体——万寿岩是一座圆锥状灰岩孤峰,位于三明市岩前镇(图1A),地理坐标26°16'13"N、117°29'37"E。孤峰上分布有两层水平洞穴,上层洞穴以灵峰洞为代表,下层洞穴以船帆洞为代表(图1B)。万寿岩所在岩体由二叠系船山组(P_{1c})灰岩组成,该组灰岩以厚—巨厚层灰岩为主,夹中厚层微晶灰岩。灰岩发育有两组走向为NNW和NE的剪切型节理,其中以NNW节理最为发育,节理产状为NE65°∠80°,在岩体中部形成70 m宽的密集裂隙,延伸350 m^[16]。万寿岩南侧发

育沙溪河的支流渔塘溪。渔塘溪发育有两级河流阶地,二级阶地以北为山前洪积扇,洪积扇北侧边界位于万寿岩坡脚处(图1C、D)。

万寿岩一带出露的地层为漳平组(J_{2z})石英砂岩、梨山组(J_{1l})粉砂岩、文笔山组(P_{2w})页岩、船山组(P_{1c})灰岩、林地组(C_{1l})石英砾岩和第四系(Q)冲积物与洪积物,并发育一条北西向330°的充水断裂(图1C)。

2 剖面特征及样品采集

船帆洞洞底海拔标高214 m,洞口宽大,朝西,高出洞外地表3 m。洞的进深49 m,宽30 m,洞高3~7 m,洞内面积约1300 m²,东壁和东南壁发育直通灵峰洞的支洞,这些支洞是上层洞穴向下的溶蚀通道;北壁和西北壁同样发育支洞,但支洞位置低于地表,是船帆洞向下的溶蚀通道。

船帆洞现保留剖面4处,其中洞口剖面沉积物最完整(图2),船帆洞的大部分研究成果都出自该剖面。根据剖面颜色及岩性,前人将洞口附近的地层从上到下划分为10层,其中5层分为5A和5B两个小层,6层分为6A—6E共计5个小层。洞口剖面包括其中的3~7层,厚2.1 m;其中5层仅含5B层,6层包含全部5个小层。洞口剖面是前人对船帆洞沉积物进行地层划分的标准剖面,因此在挖掘结束后得以保留。

本次工作保留了前人的地层划分方案^[3],在此基础上对各层沉积物进行了详细观察、测量与采样。样品采集采用刻槽法,采样间距为5 cm(图3)。1层和2层为近现代扰动地层,前人在发掘过程已对这两层沉积物进行了清除;5A层分布非常局限,并未在洞口剖面发现。洞口剖面上到各层岩性描述如下:

3层为深灰褐色砂质黏土层。含大量烧土、灰烬以及宋、元时期砖瓦、瓷片,同时见大量灰岩碎块,因受人类活动扰动,该层未取样。最厚处35 cm。

4层为浅黄褐色砂质黏土层。含大量灰岩碎块,体积较3层变小。厚16~31 cm,采集粒度样品5件,取样处厚24 cm。

5B层为浅褐色黏土层,含灰岩碎块。该层是船帆洞地层序列中的上文化层,前人对层内炭屑进行¹⁴C测试,年龄为30~29 kaBP。层内出土哺乳动物化石12种,啮齿类3种(竹鼠(*Rhizomys* sp.)、黑鼠(*Rattus* sp.)和豪猪(*Hystrix* sp.)),灵长类1种(硕猴(*Macaca robustus*)),食肉类4种(鬣狗

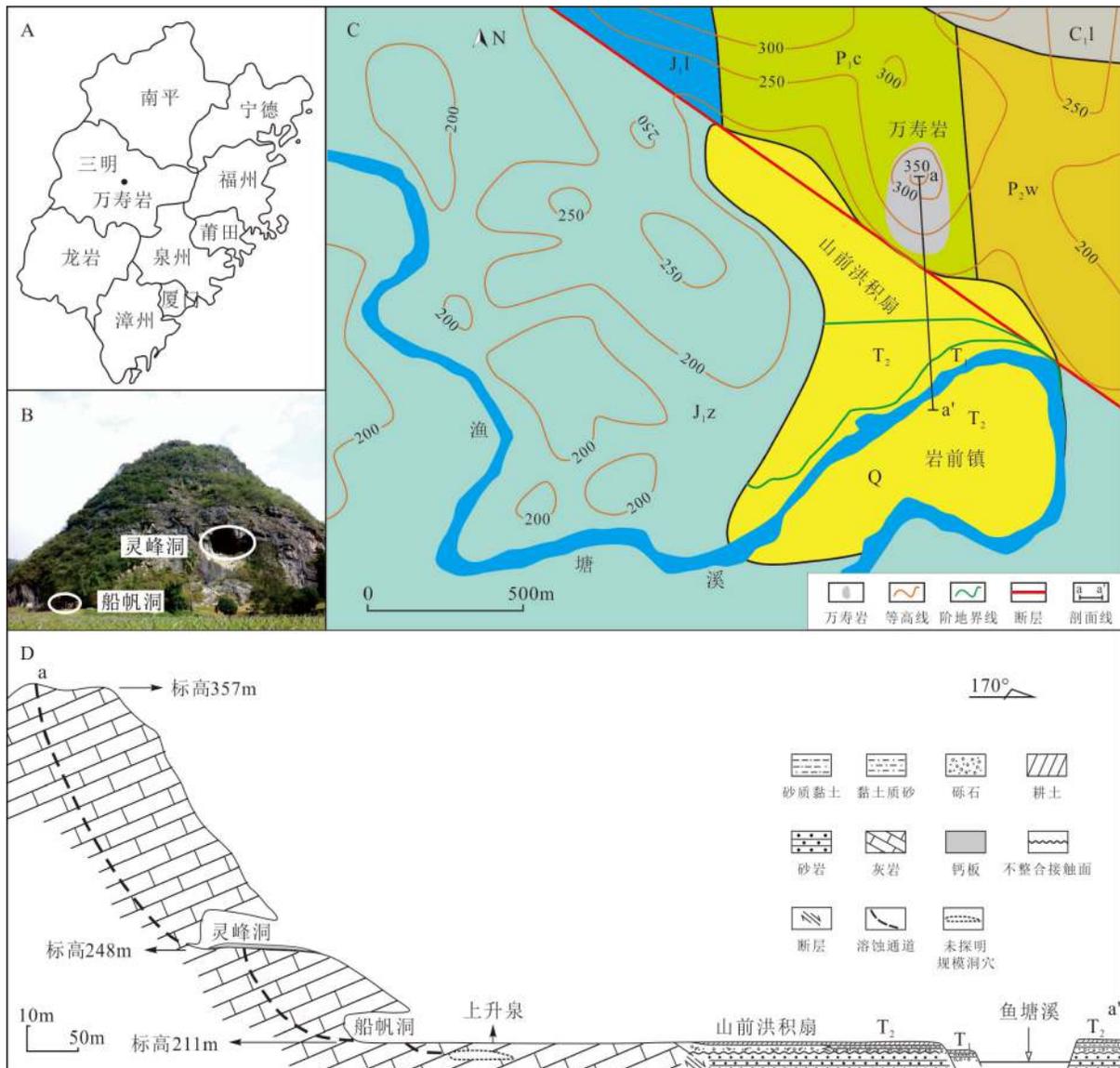


图1 万寿岩区域地质概况(据文献[17]修编)

A.万寿岩地理位置,B.万寿岩遗址照片,C.实测剖面图,D.区域地质略图。

Fig.1 Regional geological condition of the study area (modified from reference [17])

A: Location of Wanshouyan Site; B: photos of Wanshouyan Site; C: the section measured; D: the regional geologic map.

(*Crocota* sp.)、熊(*Ursus* sp.)、狼(*Canis lupus*)和普通狐狸(*Vulpes vulgaris*)，偶蹄类3种(野猪(*Sus srofa*)、鹿(*Muntiacus* sp.)、斑鹿(*Cervus* sp.)、和水牛(*Bubalus* sp.))^[1]。厚25~55 cm，采集粒度样品6件，取样处厚27 cm。

6A层为浅黄色黏土层。厚28~19 cm，采集粒度样品4件，取样处厚19 cm。

6B层为浅褐色砂质黏土层，颜色略深于5B层，该层表面为黑灰色，刻槽后沉积物颜色为浅褐色。厚11~27 cm，采集粒度样品6件，取样处厚27 cm。

6C层为黄褐色黏土层，偶见石英颗粒。厚40~50 cm，采集粒度样品10件，取样处厚50 cm。

6D层为黄褐色黏土层，颜色略深于6C层，偶见石

英颗粒。该层厚度变化不大，采集粒度样品3件，厚15 cm。

6E层为褐色黏土层，偶见钙核，底部出土零星石制品及哺乳动物化石。厚10~13 cm，采集粒度样品2件，取样处厚10 cm。

7层为褐色黏土层，底部为人工石铺地面。该层是船帆洞地层序列中的下文化层，前人对层内炭屑进行¹⁴C测试，年龄为40~37 kaBP。层内出土哺乳动物化石15种，其中翼手类2种(南蝠(*Ia io*)和菊头蝠(*Rhinolophus* sp.))，啮齿类3种(竹鼠(*Rhizomys* sp.)、黑鼠(*Rattus* sp.)和豪猪(*Hystrix* sp.))，灵长类1种(猕猴(*Macaca* sp.))，食肉类4种(鬣狗(*Crocota* sp.)、棕熊(*Ursus actor*)、虎(*Panthera tigris*)和犬(*Canidae indet*))，奇蹄类2种(华南巨貘(*Megatapirus argustus*)和中国

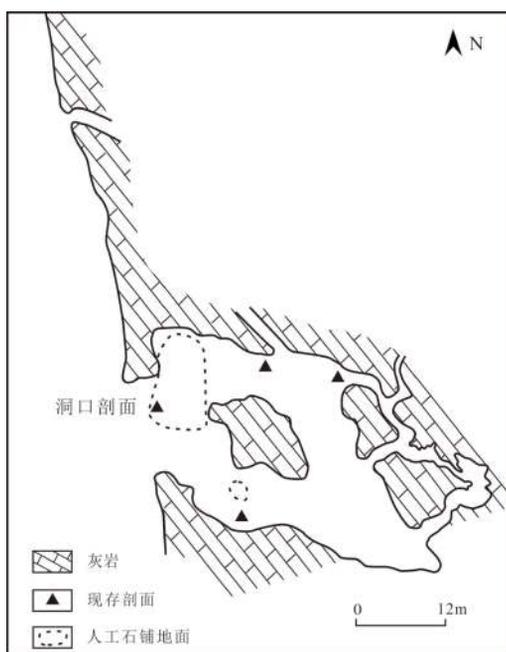


图 2 船帆洞现存剖面位置图

Fig.2 Location of the profiles in the Chuanfan Cave

3 样品及结果

3.1 样品处理及数据分析

本次工作共采集植硅体样品 38 件, 样品分析鉴定在中国地质科学院水文地质环境地质研究所完成。主要步骤如下: (1) 将样品置于烘箱内烘干并称重记录, 每个样品称重 10 g 左右; (2) 将烘干的样品置于 15 mL 的 PCV 试管中并加入浓度为 10% 的 HCl, 以去除样品中的钙和铁; (3) 加入浓度为 10% 的 H₂O₂ 以去除样品中的有机质; (4) 用密度为 2.35 的重液浮选离心, 所得到的沉淀物为植硅体; (5) 向植硅体中加入石松孢子片, 加入适量的稀盐酸溶解并用蒸馏水洗至中性; (6) 向所得混合物中加入无水乙醇至适合的浓度后制成玻片。植硅体鉴定和统计在江南 BM2000 显微镜下放大 400 倍完成, 每个样品统计 300 粒以上。

犀 (*Rhinoceros sinensis*), 偶蹄类 3 种 (斑鹿 (*Cervus* sp.)、羊 (*Capra* sp.) 和水牛 (*Bubalus* sp.))^[1]。出露厚度 5~13 cm, 本次采集粒度样品 2 件, 取样处厚 10 cm。

温暖指数用于反映植硅体组合与温度之间的关系, 其计算公式为: 温暖指数 = 示暖性植硅体 / (示暖性植硅体 + 示冷性植硅体)^[18]。根据现代土中植硅体的分布规律^[6, 19-20], 方型、扇型、哑铃型、鞍型

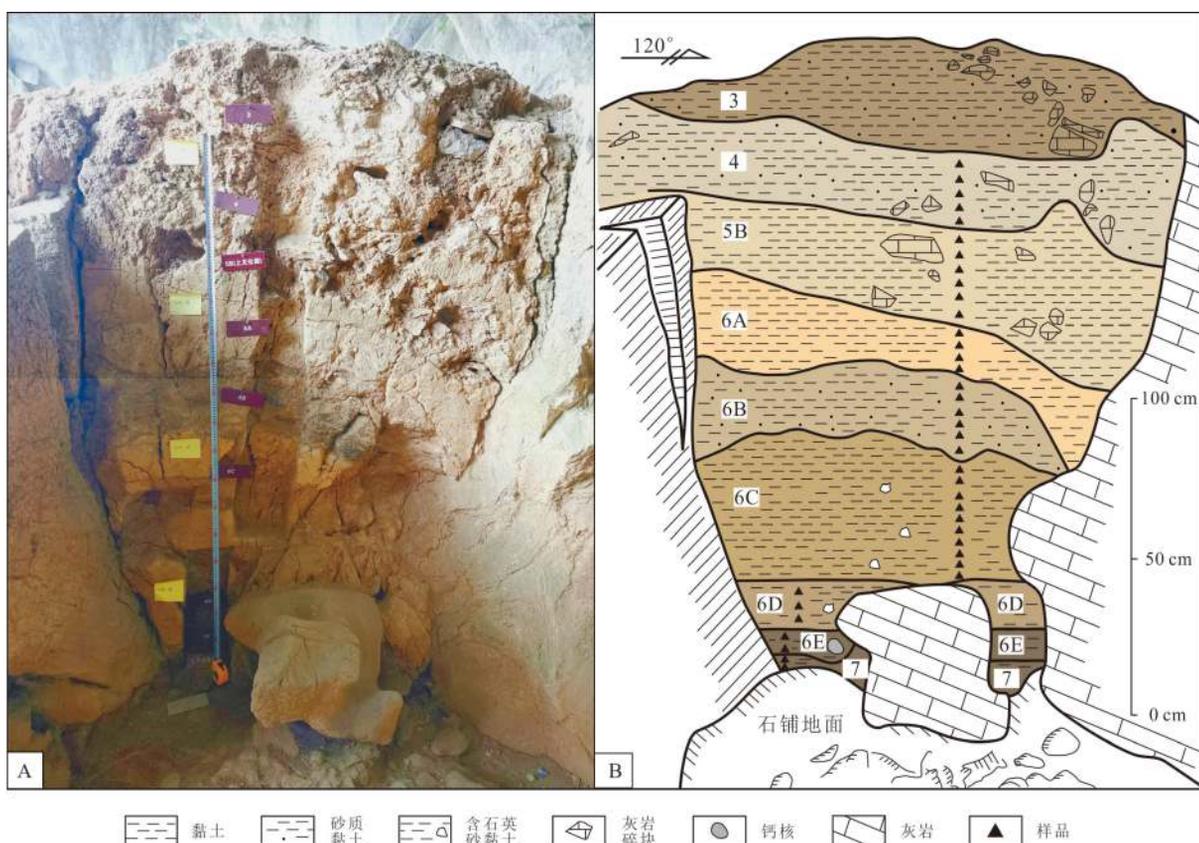


图 3 船帆洞洞口剖面照片 (A) 及采样位置图 (B)

Fig.3 Photo (A) and sampling locations (B) of the outcrop section in the Chuanfan Cave

等植硅体可作为示暖型植硅体,棒型、尖型、齿型和帽型等植硅体可作为示冷型植硅体。

3.2 植硅体组合特征

本次研究共鉴定出 16 种植硅体类型,包括尖型、棒型(光滑棒型、刺状棒型、突起棒型)、扇型、块状(长方型、正方形、不规则块状)、短细胞植硅体(尖顶帽型、平顶帽型、多边帽型、鞍型、哑铃型、齿型)、刺球、海绵骨针。通过显微镜共鉴定植硅体 8721 粒,平均每个样品约为 230 粒。其中以尖型和棒型植硅体为主,其次为扇型和块状植硅体,短细胞植硅体形态中鞍型的含量较高,其他类型植硅体含量较少。

根据镜下植硅体鉴定统计分析结果,运用 Tilia 软件绘制植硅体百分比含量图,结合 Coniss 聚类分析结果,将洞口剖面 2.1m 的剖面划分为 5 个组合带,自下而上各植硅体组合带特征及所反映的气候分述如下(图 4)。

带 I: 包含 10 件样品(7、6E、6D 层全部和 6C 层底部 3 件样品),深度 210~165 cm,植硅体浓度为 $2.0 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^3$ 粒/g,均值 1312 粒/g。本带为尖型-棒型-块状-鞍型-扇型-哑铃型组合带。尖型含量最为丰富(42.51%~73.63%,均值 57.72%),棒型含量次之(16.48%~44.42%,均值 29.07%),其余形态

含量分别为块状(0~13.07%,均值 5.96%),鞍型(0~6.19%,均值 3.67%),扇型(0~6.53%,均值 3.35%),哑铃型(0~1.43%,均值 0.19%)。此外本带还出现少量的海绵骨针,其平均含量约为 0.17%,指示意义较小。温暖指数范围 0.04~0.21,均值 0.13。本带以生长在相对寒冷环境下的尖型和棒型植硅体为主,其次是生长在湿润环境下的扇型植硅体,据此推断当时气候类型为凉干。

带 II: 包含 10 件样品(6C 层上部 7 件和 6B 层下部 3 件样品),深度 160~118 cm,植硅体浓度为 $5.0 \times 10^2 \sim 1.0 \times 10^3$ 粒/g,均值约为 1044 粒/g。本带为尖型-棒型-块状-扇型-鞍型-帽型组合带。尖型植硅体含量仍为最高(38.46%~66.18%,均值 54.53%),棒型植硅体的含量次之(12.71%~39.45%,均值 27.80%),其余形态植硅体含量分别为块状 0~17.58%,均值 5.21%,扇型 0~11.05%,均值 4.27%,鞍型均值 3.63%,哑铃型均值 3.34%,齿型和哑铃型的平均含量较少,分别约为 0.87%和 0.14%。此外还有少量的刺球和海绵骨针。温暖指数为 0~0.20,均值 0.13。与带 I 相比,本带植硅体类型仍以尖型和棒型为主,本带植硅体浓度有所下降,具有冷干指示意义的帽型和齿型植硅体百分含量有所增加,据此推断该时段气候类型为冷干。

带 III: 包含 4 个样品(6B 层上部 3 件和 6A 层底

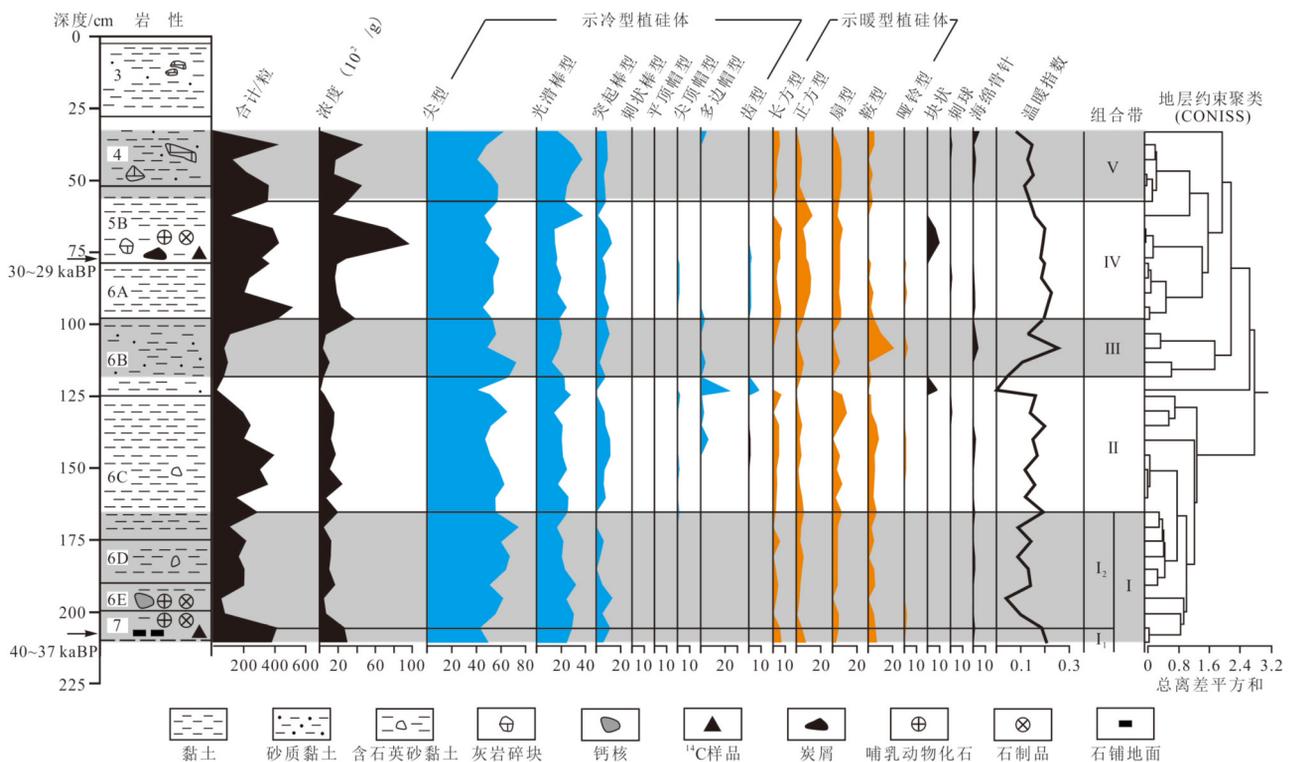


图 4 船帆洞植硅体含量及温暖指数曲线变化
Fig.4 Phytolith and warmth index in the Chuanfan Cave

部 1 件样品), 深度 113~98 cm, 植硅体浓度为 $2.0 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^3$ 粒/g, 均值 1395 粒/g。本带为尖型-棒型-鞍型-块状-扇型-帽型组合带。尖型植硅体含量有所上升(47.69%~72.34%, 均值 57.19%), 棒型植硅体的含量有所下降(13.83%~30.80%, 均值 23.38%), 鞍型植硅体的百分含量增幅较大, 达到所有样品中的峰值(0~20%, 均值 8.34%), 其余形态植硅体含量分别为: 块状均值 4.73%, 扇型.93%~6.07%, 均值 3.46%, 帽型 0~3.19%, 均值 1.52%。温暖指数范围 0.11~0.25, 均值 0.17。虽然哑铃型和海绵骨针的百分含量比较低, 均值分别为 0.38% 和 1.00%, 但是从整个植硅体百分比图来看, 在本带二者尤为突出。据此推断本带气候类型为冷偏干。

带 IV: 包含 9 件样品(6A 层上部 3 件和 5B 层全部样品), 深度 94~57 cm, 植硅体浓度为 $1.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^3$ 粒/g, 均值约为 3420 粒/g。本带为尖型-棒型-块状-扇型组合带, 植硅体形态的主要成分仍是尖型和棒型。尖型含量有所下降(44.02%~58.01%, 均值 51.97%), 棒型含量略增加(14.94%~49.89%, 均值 27.06%), 块状(4.80%~28.39%, 均值 13.81%) 和扇型(3.16%~7.07%, 5.25%) 均有所增加。短细胞形态的总平均百分含量约为 1.79%, 由于含量较低, 在此不做单一分析。此外还有少量的刺球和海绵骨针。温暖指数为 0.14~0.23, 均值 0.19, 据此推断该时段气候类型为凉偏干。

带 V: 包含 5 件样品(4 层全部样品), 深度 52~29 cm, 植硅体浓度为 $2.0 \times 10^2 \sim 4.0 \times 10^3$ 粒/g, 均值 2981 粒/g。本带为尖型-棒型-块状-扇型-鞍型-帽型组合带。尖型含量几乎没有变化(40%~61.54%, 均值 51.56%), 棒型植硅体含量增加(20.72%~46.36%, 均值 34.21%), 块状(2.22%~8.20%, 均值 5.44%) 和扇型(0~6.67%, 4.65%) 均有所下降, 短细胞形态主要是鞍型和帽型植硅体, 二者均值分别为 2.27% 和 0.77%, 还有少量的刺球和海绵骨针。温暖指数为 0.08~0.15, 均值 0.12, 据此推断本带气候类型为温凉偏干。

4 讨论

4.1 两期古人类生活期间的气候特征

植硅体组合特征显示, 40~29 kaBP 万寿岩地区共经历了 5 次气候变化, 总体气候特征以凉干为主, 从带 I 到带 V 先后为凉干、冷干、冷偏干、凉偏干和温凉偏干。

第一期古人类生活于带 I 底部, 时间为 40~37 kaBP, 在剖面上处于第 7 层与第 6E 层底部。人工石铺地面、绝大部分的石制品和哺乳动物化石均存在于第 7 层, 6E 层底部仅出土零星石制品及哺乳动物化石, 因此第 7 层更能代表第一期古人类的文化层。因此, 带 I 可以细分为两段, 带 I₁ 为第 7 层, 带 I₂ 为 6E、6D 和 6C 层底部, 这与聚类分析的结果一致(图 4)。带 I₁ 示暖性植硅体平均含量 19.70%, 示冷性植硅体平均含量 80.18%, 温暖系数均值 0.20。因此带 I₁ 即第一期古人类生存的气候条件为凉干背景下较温暖的阶段。

第二期古人类生活于带 IV 上部, 时间为 30~29 kaBP, 在剖面上处于第 5B 层。该层示暖性植硅体平均含量 17.24%, 示冷性植硅体平均含量 80.24%, 温暖系数均值 0.18。因此第二期古人类生存的气候条件为凉偏干背景下较温暖的阶段。

4.2 植硅体特征对 Heinrich 事件的响应

自北大西洋深海沉积首次揭示末次冰期存在着 Heinrich 事件以来^[21], 我国在黄土沉积^[22]、南海陆架沉积物^[23]、内陆湖泊沉积物^[24-25] 以及洞穴石笋^[26-28] 中都发现了 Heinrich 事件记录。6 次 Heinrich 事件的年代随着研究的进展稍有修正, 但基本框架没变^[29-31], 其中 H3 为 29~31 kaBP, H4 为 37~38 kaBP^[32]。

船帆洞中两期古人类的生存时间分别为 30~29 kaBP 和 40~37 kaBP, 从植硅体组合的特征来看, 这两期古人类离开船帆洞的时间, 恰恰是气候快速变冷的时候。第一期古人类(7 层)期间, 温暖系数均值 0.20, 在之后的 6E 层底部迅速降至 0.10, 在 6E 层上部更是降至 0.04。6E 层相比 7 层示冷型植硅体含量增加了 17.2%, 示暖型植硅体减少了 64.0%。第二期古人类(5B 层)具有同样的表现。根据聚类分析结果, 在 5B 层上部, 发生了明显的气候变冷情况, 导致 5B 层上部两个样品与 4 层进行了聚类。5B 层上部相比 5B 层下部示冷型植硅体含量增加了 10.1%, 示暖型植硅体减少了 20.0%。由于 5A 层的分布非常局限, 仅出现于 1 个探方中, 该层出土极少的石器和化石^[33], 这与 7 层和 6E 层的情况极其相似。因此, 我们认为剖面中的 6E 层和 5B 层上部分别指示了 H4 和 H3 事件。

4.3 气候变化对古人类生存环境的影响

温暖湿润气候期与文化繁盛期几乎同步^[10]、适宜的气候环境保证了没有发生因环境剧变引起的

文化衰落和先民迁徙^[34]以及由于气候变化引起的生存环境改善使得文化迅速发展^[35],都说明了气候变化对人类生存环境的影响。

Heninrich事件是第四纪重要的气候快速变冷事件。寒冷的气候环境并不是简单的气候冷暖变化,而是影响了生物、水、大气等表生地球系统的气候变化事件,改变了该区的植被类型和生物群落的变迁^[10]。根据前人的孢粉研究工作^[1],船帆洞第一期古人类生存的7层中全部为草本植物,主要为蒿属、禾本科和藜科,6E层则变为草本植物+木本植物,主要为蒿属、禾本科,仅一个样品中检出藜科,同时桑科含量大幅提高。第二期古人类生存的5B层中段和下段,草本植物占绝对优势,主要为蒿属、藜科、禾本科以及凤丫蕨属,5B层上段尽管草本植物占绝对优势,但蕨类和木本植物都大幅度提升,还出现了大量的水龙骨科,都说明了两期古人类在洞穴生活前后的植被类型发生了较大变化。此外,7层到6E层和5B层中段和下段到5B层上段的孢粉变化还显示,气候变得更加湿润,降水增多。降水增多的直接后果是船帆洞顶板漏水情况加剧,使洞穴不再适宜古人类居住,而不是加剧了古洪水的规模和频率(该问题将在另文讨论)。植被类型的变化和降水的增多都说明古人类的生存条件发生了较大的改变,因此,H4和H3事件是两期古人类离开船帆洞的主要原因。

5 结论

(1)船帆洞剖面的植硅体以尖型和棒型数量比较占优势,扇型和块状含量其次,短细胞植硅体形态中鞍型的含量比较突出。根据组合特征,剖面由下而上划分为5个气候带,从带I到带V的气候环境先后为凉干、冷干、冷偏干、凉偏干和温凉偏干。

(2)植硅体的变化反映出4.0~2.9 kaBP区域的气候条件以凉干为大背景,两期古人类均生活在凉干背景下较温暖的气候环境中。

(3)植硅体的变化指示了H4和H3事件,分别对应两期文化层。两次Heinrich事件改变了古人类的生存环境,表现在植被类型和降水条件都发生了较大改变,是两期古人类离开船帆洞的主要原因。

致谢:福建省原文物局局长郑国珍教授多次为作者进行答疑,福建省自然资源厅一级调研员冯岩对项目开展给予大力支持,万寿岩遗址博物馆李顺亮馆长、朱凯副馆长在采样过程中予以协助,中

山大学张增杰副研究员、中国地质科学院水文地质环境地质研究所毛欣博士在论文写作过程中多次与作者交流探讨,福建省196地质大队张涛和周东两位同志参与测量剖面,在此一并表示感谢。

参考文献 (References)

- [1] 福建省文物局,福建博物院,三明市文物管理委员会.福建三明万寿岩旧石器时代遗址:1999—2000、2004年考古发掘报告[M].北京:文物出版社,2006. [Fujian Provincial Bureau of Cultural Relics, Fujian Museum, Sanming Cultural Relics Management Committee. Wanshouyan Paleolithic Cave Site in Sanming, Fujian Province: Report on Excavating in 1999-2000 and 2004[M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 2006.]
- [2] 梁诗经,陈泽霖,黄泉祯.福建三明万寿岩船帆洞砾石层成因[J].福建地质,2001,20(1):1-6. [LIANG Shijing, CHEN Zelin, HUANG Quanzhen. The origin of gravel beds in Chuanfan cave of Wanshouyan hill in Fujian province [J]. Geology of Fujian, 2001, 20(1): 1-6.]
- [3] 李建军,范雪春.船帆洞旧石器遗址洞穴形成过程与地层划分[J].人类学学报,2006,25(2):153-160. [LI Jianjun, FAN Xuechun. Formation and stratigraphy of the Chuanfan cave [J]. Acta Anthropologica Sinica, 2006, 25(2): 153-160.]
- [4] 陈子文,李建军,范雪春.万寿岩旧石器时代遗址埋藏学研究[J].人类学学报,2006,25(3):220-226. [CHEN Ziwen, LI Jianjun, FAN Xuechun. A taphonomic study of the Wanshouyan Paleolithic site [J]. Acta Anthropologica Sinica, 2006, 25(3): 220-226.]
- [5] 吕厚远.周期性气候变化与人类适应[J].人类学学报,2022,41(4):731-748. [LYU Houyuan. Periodic climate change and human adaptation [J]. Acta Anthropologica Sinica, 2022, 41(4): 731-748.]
- [6] 王永吉,吕厚远.植物硅酸体研究及应用[M].北京:海洋出版社,1993. [WANG Yongji, LYU Houyuan. The Study of Phytolith and Its Application[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993.]
- [7] 张玉兰,张敏斌,宋建.从广富林遗址中的植硅体组合特征看先民农耕发展[J].科学通报,2003,48(3):287-290. [ZHANG Yulan, ZHANG Minbin, SONG Jian. Development of ancestors' cultivation revealed in Phytolith assemblages from Guangfulin relics [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(3): 287-290.]
- [8] 杨晓燕,夏正楷,崔之久.第四纪科学与环境考古学[J].地球科学进展,2005,20(2):231-239. [YANG Xiaoyan, XIA Zhengkai, CUI Zhijiu. Applications of Quaternary sciences to environmental archaeology [J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(2): 231-239.]
- [9] Lu H Y, Wu N Q, Liu K B, et al. Phytoliths as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in China II: Palaeoenvironmental reconstruction in the Loess Plateau [J]. Quaternary Science Reviews, 2007, 26(5-6): 759-772.
- [10] 吕厚远,张健平.关中地区的新石器古文化发展与古环境变化的关系[J].第四纪研究,2008,28(6):1050-1060. [LÜ Houyuan, ZHANG Jianping. Neolithic cultural evolution and Holocene climate change in the Guanzhong Basin, Shaanxi, China [J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(6): 1050-1060.]

- [11] 温昌辉, 吕厚远, 左昕昕, 等. 表土植硅体研究进展[J]. 中国科学:地球科学, 2018, 48(9): 1125-1140. [WEN Changhui, LÜ Houyuan, ZUO Xinxin, et al. Advance of research on modern soil phytolith [J]. Science China (Terrae), 2018, 48(9): 1125-1140.]
- [12] 黄翡, Lisa K, 熊尚发, 等. 内蒙古中东部全新世草原植被、环境及人类活动[J]. 中国科学D辑:地球科学, 2004, 34(11): 1029-1040.
- [13] Piperno D R. Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists[M]. Lanham: AltaMira Press, 2006.
- [14] Song Z L, McGrouther K, Wang H L. Occurrence, turnover and carbon sequestration potential of phytoliths in terrestrial ecosystems [J]. *Earth-Science Reviews*, 2016, 158: 19-30.
- [15] Lu H Y. New methods and progress in research on the origins and evolution of prehistoric agriculture in China [J]. *Science China Earth Sciences*, 2017, 60(12): 2141-2159.
- [16] 李建军, 陈子文, 余生富. 灵峰洞: 福建省首次发现的旧石器时代早期遗址[J]. *人类学学报*, 2001, 20(4): 247-255. [LI Jianjun, CHEN Ziwen, YU Shengfu. Lingfengdong: the first Lower Paleolithic site found in Fujian province [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2001, 20(4): 247-255.]
- [17] 黄光明, 李长安, 赵举兴. 福建三明万寿岩层状洞穴发育过程及其工程地质意义[J]. 第四纪研究, 2018, 38(2): 521-528. [HUANG Guangming, LI Chang'an, ZHAO Juxing. Development process of layered karst caves and its implication of engineering geology, Wanshouyan, Fujian province [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, 38(2): 521-528.]
- [18] 王伟铭, 刘金陵, 周晓丹. 南京直立人洞穴沉积的植硅体气候指数研究[J]. *科学通报*, 2003, 48(18): 2005-2009. [WANG Weiming, LIU Jinling, ZHOU Xiaodan. Climate indexes of phytoliths from *Homo erectus*' cave deposits in Nanjing [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(18): 2005-2009.]
- [19] Lu H Y, Wu N Q, Yang X D, et al. Phytoliths as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in China I: Phytolith-based transfer functions [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25(9-10): 945-959.
- [20] An X H. Morphological characteristics of phytoliths from representative conifers in China [J]. *Palaeoworld*, 2016, 25(1): 116-127.
- [21] Heinrich H. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the North-east Atlantic Ocean during the past 130, 000 years [J]. *Quaternary Research*, 1988, 29(2): 142-152.
- [22] 郭正堂, 刘东生, 吴乃琴, 等. 最后两个冰期黄土中记录的Heinrich型气候节拍[J]. 第四纪研究, 1996, 16(1): 21-30. [GUO Zhengtang, LIU Tungsheng, WU Naiqin, et al. Heinrich- rhythm pulses of climates recorded in Loess of the last two glaciations [J]. *Quaternary Sciences*, 1996, 16(1): 21-30.]
- [23] 吕厚远, 郭正堂, 吴乃琴. 黄土高原和南海陆架古季风演变的生物记录与Heinrich事件[J]. 第四纪研究, 1996, 16(1): 11-20. [LÜ Houyuan, GUO Zhengtang, WU Naiqin. Paleomonsoon evolution and Heinrich events: Evidence from the Loess Plateau and the South China Sea [J]. *Quaternary Sciences*, 1996, 16(1): 11-20.]
- [24] 顾兆炎, 赵惠敏, 王振海, 等. 末次间冰期以来新疆巴里坤湖蒸发盐的沉积环境记录[J]. 第四纪研究, 1998, 18(4): 328-334. [GU Zhaoyan, ZHAO Huimin, WANG Zhenhai, et al. Evaporation salt records of environmental response to climate change in Barkol Lake Basin, northwestern China [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, 18(4): 328-334.]
- [25] 明庆忠, 苏怀, 史正涛, 等. 云南小中甸盆地湖相沉积记录的最近5次Heinrich事件[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 123-130. [MING Qingzhong, SU Huai, SHI Zhengtao, et al. Last five Heinrich events revealed by lacustrine sediments from Xiaozhongdian Basin in Yunnan province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 123-130.]
- [26] 张美良, 袁道先, 林玉石, 等. 广西灌阳县响水洞石笋的同位素年龄及古气候意义[J]. 中国岩溶, 1998, 17(4): 311-318. [ZHANG Meiliang, YUAN Daoxian, LIN Yushi, et al. Ages and Paleoclimatic meanings of a stalagmite from Xianshui cave at Guanyang county, Guilin [J]. *Carsologica Sinica*, 1998, 17(4): 311-318.]
- [27] 袁道先, 覃嘉铭, 林玉石, 等. 桂林20万年石笋高分辨率古环境重建[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1999: 17-28. [YUAN Daoxian, QIN Jiamei, LIN Yushi, et al. High Resolution Paleo-Environmental Reconstruction Up to 20, 000 Years B. P. with Speleothems from Guilin[M]. Guangxi Teachers University Press, 1999: 17-28.]
- [28] 汪永进, 吴江滢, 吴金全, 等. 末次冰期南京石笋高分辨率气候记录与GRIP冰芯对比[J]. 中国科学D辑, 2001, 44(1): 14-23. [WANG Yongjin, WU Jiangying, WU Jinqian, et al. Correlation between high-resolution climate records from a Nanjing stalagmite and GRIP ice core during the last glaciation [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2001, 44(1): 14-23.]
- [29] Bond G, Heinrich H, Broecker W, et al. Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic Ocean during the Last Glacial Period [J]. *Nature*, 1992, 360(6401): 245-249.
- [30] Bond G, Broecker W, Johnsen S, et al. Correlations between climate records from North Atlantic Sediments and Greenland ice [J]. *Nature*, 1993, 365(6442): 143-147.
- [31] 鹿化煜, 周杰. Heinrich事件和末次冰期气候的不稳定性[J]. 地球科学进展, 1996, 11(1): 40-44. [LU Huayu, ZHOU Jie. Heinrich events and instability of palaeoclimate in Last Glacial Period [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, 11(1): 40-44.]
- [32] Dansgaard G, Johnsen S J, Clausen H B, et al. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record [J]. *Nature*, 1993, 364(6434): 218-220.
- [33] 陈子文, 李建军, 余生富. 福建三明船帆洞旧石器遗址[J]. 人类学学报, 2001, 20(4): 256-270. [CHEN Ziwen, LI Jianjun, YU Shengfu. A Paleolithic site at Chuanfandong in Sanming City, Fujian province [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2001, 20(4): 256-270.]
- [34] 刘林敬, 萧家仪, 华国荣, 等. 南京牛头岗遗址植硅体分析及环境考古意义[J]. 古生物学报, 2009, 48(1): 123-130. [LIU Linjing, XIAO Jiayi, HUA Gurong, et al. Phytolith analysis and its environmental implications at Niutougang Neolithic site in Nanjing [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2009, 48(1): 123-130.]
- [35] 王淑云, 莫多闻, 孙国平, 等. 浙江余姚田螺山遗址古人类活动的背景分析: 植硅体、硅藻等化石证据[J]. 第四纪研究, 2010, 30(2): 326-334. [WANG Shuyun, MO Duowen, SUN Guoping, et al. Environmental context of ancient human activity in Tianluoshan Site, Yuyao city, Zhejiang province: Fossil evidence of phytolith and diatom [J]. *Quaternary Sciences*, 2010, 30(2): 326-334.]