

中国南方狩猎采集者坚果利用及其在应对末次冰盛期气候的潜力

杨庆江¹, 赵克良^{2,3,4*}, 赵凌霄², 周新郢^{2,3}, 陆丽丽², 张雅平², 张立召², 王建², 鲁心怡¹, 李小强^{2,3}

1. 成都信息工程大学资源环境学院, 成都 610041

2. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044

3. 中国科学院大学, 北京 100049

4. Australian Research Centre for Human Evolution, Griffith University, Brisbane, QLD 4111, Australia

* 通讯作者, E-mail: zhaokeliang@ivpp.ac.cn

2025-06-26收稿, 2025-11-05修回, 2026-01-30接受, 2026-04-21网络版发表

国家自然科学基金青年项目(42307553)、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所稳定支持项目(110301ZZ11)、国家自然科学基金项目(T2192952、42471185)、国家重点研发计划项目(2022YFF0801502)和国家级大学生创新创业训练计划项目(202310621045)资助

摘要 中国南方狩猎采集者如何利用植物资源应对末次冰盛期(LGM)气候恶化仍然不清楚。本研究利用贵州毕节韦家洞的花粉与炭化植物浮选结果分析当地的植被-气候变化及狩猎采集者的植物利用模式,并结合公开发表的花粉记录与考古遗址信息评估可食用坚果在狩猎采集者适应LGM气候恶化中的潜在作用。花粉分析结果显示韦家洞周边在约30000–19500 cal yr BP植被以针叶林为主,气候寒冷;约19500–12500 cal yr BP,针叶林减少而阔叶林增加,表明气候呈变暖趋势。韦家洞的狩猎采集者在MIS 3末期采取了以利用富含脂肪的坚果为主的多元化植物开发策略,而在LGM则转向强化利用含单宁的橡子,以应对严酷气候条件。中国南方持续高覆盖率的坚果树为狩猎采集者提供了一种低成本适应LGM寒冷气候的策略,即优先采集坚果以应对冬季食物短缺。

关键词 植被变化, 坚果, 植物开发, 中国南方, LGM

1 引言

深入理解极端气候条件下人类与自然环境的关系,有助于增强人类应对未来气候变化的能力(DeMenocal, 2001; Kirch, 2005; IPCC, 2014; Sun等, 2019)。末次冰盛期(The Last Glacial Maximum, 缩写LGM, 约26000–18000 yr BP)是过去10万年以来最寒冷的时期,平均气温较当今低约6 °C(Tierney等, 2020; Seltzer等, 2021)。在此期间,冰川扩张、海平面下降及植被带迁移改变了全球陆海分布格局,重塑了全球生态系统(Yokoyama等, 2000; Hughes等, 2013; Shao等, 2018)。这一时期全球气候与植被的剧烈变迁极大地改变了人类栖息地的自然环境(Gautney, 2018; Margari等, 2023;

Timmermann等, 2024),进而导致人口急剧减少,并迫使部分族群长距离迁徙(Tallavaara等, 2015; Bennett等, 2021; Yu等, 2023)。

作为连接东亚、东南亚和南亚的重要枢纽,中国南方在早期人类扩散中发挥了重要作用(Bae等, 2017)。得益于独特的地理位置和多样的地形,中国南方通常被视为冰期生物避难所(Tang等, 2018; Zhang等, 2022)。近几十年来,中国南方陆续发现并发掘了大量考古遗址(Wang等, 2014; Tian等, 2024)。此外,随着放射性碳测年(¹⁴C)和光释光测年(OSL)技术的发展,域内众多洞穴考古遗址的年代得以精确测定和修正(Wu等, 2012; Hu等, 2019; Wang Y等, 2023; Cao等, 2024)。这些进展很大程度深化了我们对南方狩猎采集者的认识。

中文引用格式: 杨庆江, 赵克良, 赵凌霄, 周新郢, 陆丽丽, 张雅平, 张立召, 王建, 鲁心怡, 李小强. 2026. 中国南方狩猎采集者坚果利用及其在应对末次冰盛期气候的潜力. 中国科学: 地球科学, 56(5): 1713–1726, doi: 10.1360/N072025-0323

英文引用格式: Yang Q, Zhao K, Zhao L, Zhou X, Lu L, Zhang Y, Zhang L, Wang J, Lu X, Li X. 2026. Early nut exploitation and its potential for the adaptation of hunter-gatherers to climate change during the LGM in southern China. Science China Earth Sciences, 69(5): 1674–1686, <https://doi.org/10.1007/s11430-025-1858-0>

围绕获取食物而进行的各类活动是人类生存的重要组成部分(Lee和DeVore, 1968; Kelly, 2013; Bettinger等, 2015)。中国南方考古遗址发现的动物化石表明人类在LGM的动物性食物以大型哺乳动物为主(Song等, 2020; 郭远哲等, 2025)。贵州马鞍山遗址的动物考古研究则表明人类饮食中已出现小型哺乳动物, 这被视为狩猎采集者在LGM对气候恶化的广谱适应(Zhang等, 2010)。韦家洞出土的大型鹿类的死亡年龄结果表明狩猎者通过专门捕猎成年个体来适应LGM的严寒气候(郭远哲等, 2025)。然而, 关于狩猎采集者在LGM对植物资源利用的研究极少, 中国南方狩猎采集者如何利用植物资源应对LGM气候转冷目前仍不清楚。

植被是气候变化向人类传递信号的媒介。气候因素如温度和降水不仅直接影响植物群落的空间分布, 还会对依赖植物的动物组成和种群数量产生连锁效应(Carroll等, 2012; Marinova等, 2012; Potts, 2012)。而动植物资源的变化则会进一步影响人类的食物供应, 因此, 分析中国南方的植被变化可以从生态学视角理解史前人类生存策略。

本研究基于贵州毕节韦家洞(出土有人牙、大量动物骨骼及石器)的花粉记录与植物考古结果, 分析当地植被变迁与狩猎采集者的植物利用策略。此外, 通过整合化石花粉数据库、已发表的花粉记录及中国考古信息, 我们分析了可食用坚果树与考古遗址的时空分布, 并进一步评估可食用坚果在中国南方狩猎采集者适应LGM气候的潜力。

2 研究区概况

中国南方包括青藏高原以东, 秦岭淮河以南的区域, 主要由一系列山地丘陵、高原和零星分布在长江中下游及珠江流域的平原组成。该地区属于典型的季风气候区, 夏季高温多雨, 冬季温和湿润。中国南方植被景观以亚热带常绿阔叶林为主, 热带季雨林仅分布于西双版纳、雷州半岛、海南岛及台湾岛南部等华南南部边缘地带。为减缓水土流失, 部分人口稠密的低丘陵地区在20世纪后期就开始大规模种植针叶树, 在这些区域常绿针叶林成为植被景观的主体。值得一提的是, 得益于复杂地形和极高的生物多样性, 中国南方(尤其是西南地区)通常被认为是第四纪冰期生物避难所(Tang等, 2018; Zhang等, 2022)。

3 材料和方法

3.1 材料

韦家洞(27°16'02.66"N, 105°30'46.09"E, 海拔

1370 m)位于贵州省毕节市金海湖新区比西河东南岸, 西距毕节市区约20 km(图1A)。该洞穴内部形似口袋, 洞口面朝西北(图1B), 洞穴深约19.4 m, 洞口最大宽度约8.5 m, 最大高度约11.3 m(图1C), 洞内干燥。由于20世纪人为采硝, 洞穴地表几乎被完全破坏, 仅余少部分区域残留有下部原生地层。该洞穴经过多次考古发掘, 发现了人类牙齿、大量动物骨骼及石器(郭林等, 2021; 郭远哲等, 2025)。遗址周边生长的植物有松属(*Pinus*)、桦木属(*Betula*)、桤木属(*Alnus*)、榛属(*Corylus*)和栗属(*Castanea*)等乔木, 其北部丘间洼地则种植着玉米(*Zea mays*)、甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*)和大豆(*Glycine max*)。

韦家洞内进行了两处剖面的调查。韦家剖面2(WS2)位于洞口附近, 深度为140 cm。根据颜色、土壤结构及文化遗存, WS2剖面划分为四个层位(图1D): 第1层(0–20 cm): 黄色粉砂土, 含有少量角砾碎屑。第2层(20–65 cm): 灰黄色黏土质粉砂, 含大量木炭碎片及少量石器。第3层(65–110 cm): 红褐色粉砂, 可见较大角砾岩块与木炭碎片, 发掘过程中出土大量石器及动物骨骼, 并在80 cm深处发现一颗人类牙齿。第4层(110–140 cm): 角砾岩与粉砂混合层, 可见零星木炭碎片。

韦家剖面3(WS3)位于洞穴后部, 深约200 cm, 可分成4层(图1E): 第1层(0–120 cm): 扰动层。第2层(120–140 cm): 红褐色黏土, 可见大块角砾。第3层(140–160 cm): 黑色灰烬层, 含大量木炭。第4层(160–200 cm): 红褐色粉砂层, 含有大块角砾岩。

3.2 研究方法

3.2.1 AMS¹⁴C测年

从WS2和WS3剖面采集8个木炭、1个动物骨骼和1个炭化坚果壳样品被送往Beta实验室(美国迈阿密)进行AMS¹⁴C测年, 所有¹⁴C测试结果使用OxCal 4.4软件中的IntCal 20曲线校正, 误差为2 σ (Bronk Ramsey, 2009; Reimer等, 2020)。WS2剖面的年代-深度模型采用R软件中的rbacon包构建(Blaauw和Christen, 2011)。

3.2.2 花粉分析和坚果树的空间插值

本研究采用重液浮选法提取WS2剖面沉积土样中的花粉(Moore等, 1991; 李小强和杜乃秋, 1999), 前处理过程如下: 称取土样置于烧杯, 使用稀盐酸(HCl)去除土样中的碳酸钙; 加入石松孢子片(27560粒/片); 加入比重为2.0 g/cm³的ZnCl₂和KI/ZnI₂重液, 获取花粉混合物; 加入9:1醋酸酐和硫酸混合液水浴加热5分钟; 将花粉混合物清洗至中性并收集至圆底离心管内烘干。制片后使用

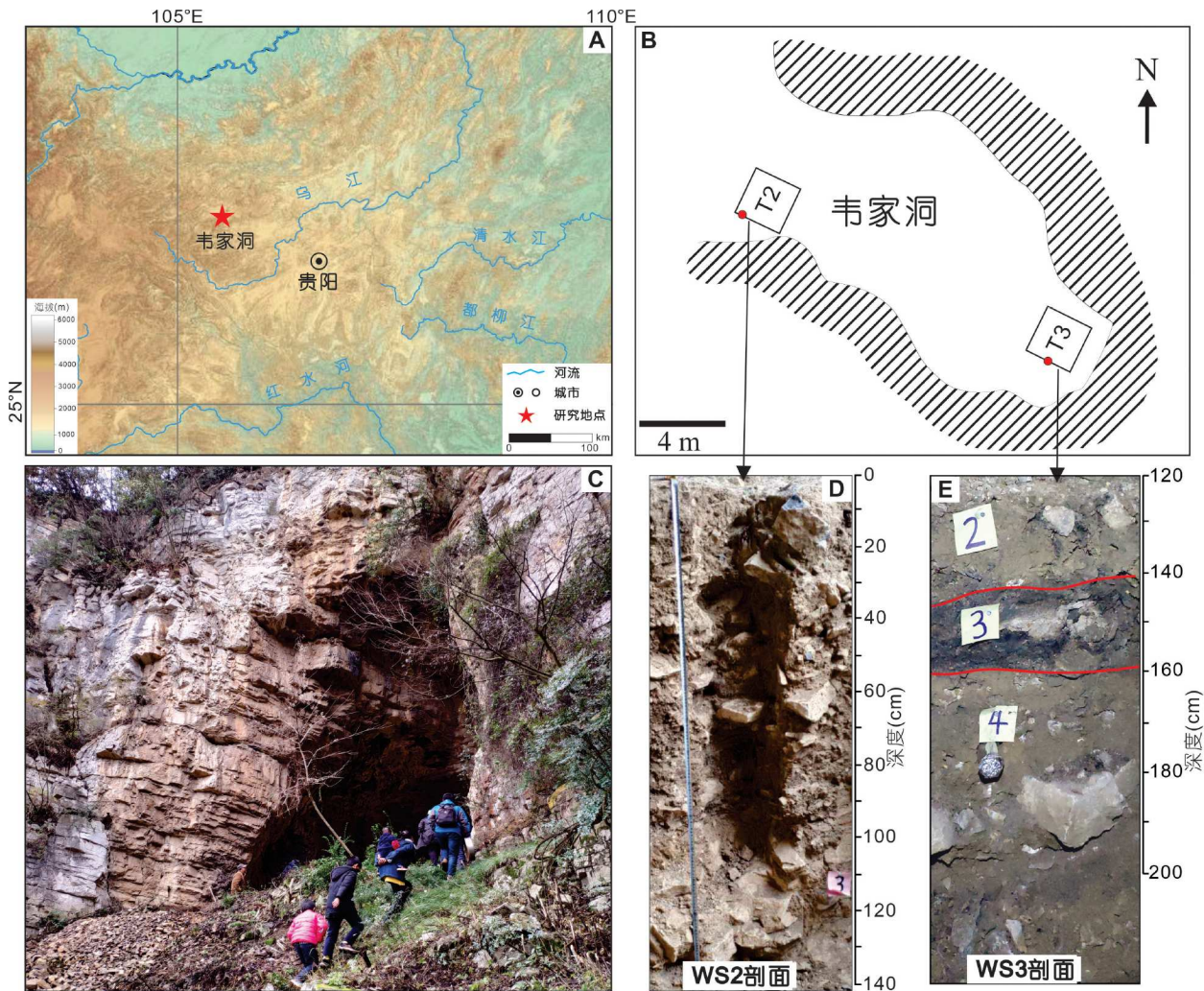


图1 韦家洞遗址位置和剖面信息。(A) 韦家洞的空间位置；(B) 韦家洞平面图；(C) 韦家洞洞口；(D) 韦家剖面2(WS2剖面)；(E) 韦家剖面3(WS3剖面)

Zeiss Axioplan Imaging 2显微镜在400倍镜下鉴定；鉴定结果输入Tilia软件计算百分比、聚类分析和绘图。前处理和鉴定均在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所花粉实验室完成。尽管大多样品至少执行了两次甚至四次花粉提取(每次50克)，以期识别足够数量的花粉，但由于洞穴沉积物中花粉浓度极低，WS2剖面平均每个样品仅鉴定出139粒花粉。

为评估影响WS2剖面花粉组合的主要因素，花粉鉴定结果的百分比数据被导入Origin 2022软件，利用其内置的主成分分析(PCA)工具进行计算并制图。

在中国南方，常见的可食用坚果包括橡子和板栗(壳斗科)、榛子(榛属)和核桃(胡桃属、山核桃属和喙核桃属)(王慧强, 2006)。为了分析坚果树的空间分布，本研究从中国地层花粉数据集(周伯睿等, 2023)(<https://www.plant-ecology.com>)及其他已发表花粉记录中选取

28000–15000 yr BP之间110个花粉记录，通过ArcGIS 10.8软件的克里金插值法对坚果树的空间分布进行模拟。由于青藏高原和新疆地区考古遗址数据匮乏，这些区域的插值结果将不会呈现。

考虑到大多数考古遗址未进行花粉分析，本研究中考古遗址的坚果树比例从坚果树的空间插值结果中提取。此外，考古遗址周边坚果树变化率由考古遗址末次盛冰期(LGM)与28000 yr BP的坚果树比例差值与考古遗址28000yr BP的坚果树比例的比值计算获得。

$$\text{变化率}_{\text{坚果}} = \frac{\text{坚果}_{\text{LGM}} - \text{坚果}_{28000 \text{ yr BP}}}{\text{坚果}_{28000 \text{ yr BP}}} \quad (1)$$

式中，变化率_{坚果}为考古遗址周边坚果树自28000 yr BP到LGM期间的变化比率，坚果_{LGM}为考古遗址周边在LGM期间的坚果树平均百分比，坚果_{28000 yr BP}为考古遗址周边在28000 yr BP的坚果树百分比。

3.2.3 炭化植物遗存浮选

本研究共计采集8个浮选样品，并采用小桶浮选法(Struever, 1968)进行浮选。其中WS2剖面按20 cm间距采集了7个样品，另一个样品属于WS3剖面存在大量炭化遗存的第3层(140–160 cm)。每个样品约含20 L土壤与炭化遗存的混合物，浮选工作在临近的河边进行。浮选获得的炭化遗存被收集到布袋阴干，送至中国科学院古脊椎动物与古人类研究所，使用Leica M205c体视显微镜进行鉴定与测量。

3.2.4 考古遗址信息收集

考古遗址的坐标以及测年结果等信息来源于公开发表的论文和数据集。考古遗址的¹⁴C年代采用Oxcal 4.4软件的IntCal 20曲线重新校正(Bronk Ramsey, 2009; Reimer等, 2020)。根据考古遗址的测年结果，本研究统计了30000–11500 yr BP期间每隔500年的考古遗址数量。

4 结果

4.1 韦家剖面的测年结果

韦家剖面的所有测年结果如表1和图2所示，其中8个AMS¹⁴C测年结果由郭林等(2021)完成。WS2剖面0–20 cm的测年结果表明该层位明显受到扰动。WS2剖面的贝叶斯深度-年代模型显示20–30 cm的年代约为12500 cal yr BP，而剖面底部年代约为30000 cal yr BP。WS3剖面的第3层(140–160 cm)的年代为28750–27180 cal yr BP。这些结果表明韦家洞自MIS 3至末次冰消期被狩猎采集者占据。

4.2 WS2剖面的孢粉分析结果

WS2剖面共鉴定松属(*Pinus*)和云杉属(*Picea*)2种针

叶树类花粉，阔叶树类花粉包括榛属(*Corylus*)、椴树属(*Tilia*)、栎属(*Quercus*)、栗属/锥栗属(*Castanea/Castanopsis*)、柳属(*Salix*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)、杜鹃花科(*Ericaceae*)，草本植物花粉包括紫菀型(*Aster* type)、蒲公英型(*Taraxacum* type)、蒿属型(*Artemisia* type)、蓝刺头型(*Echinops* type)、败酱科(*Valerianaceae*)、苋科(*Amaranthaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、麻黄属(*Ephedra*)、葱属(*Allium*)、禾本科(*Poaceae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、蓼属(*Polygonum*)。整体上，WS2剖面花粉组合以针叶树类为主(平均54.5%)，其中松属占50.3%。阔叶树花粉以榛属、栎属和杜鹃花科为主，平均占比分别为10.7%、7.5%和6.9%。草本花粉以紫菀型、禾本科和蒿属为主，平均占比分别为5.9%、4.2%和3.2%(图3)。

根据花粉数据的聚类分析结果，WS2剖面的花粉序列可以划分为以下几个阶段(以下各带描述中括号内百分比为平均值)(图3)：

阶段 I (140–80 cm, ~30000–19500 cal yr BP)：该阶段主要特征为高比例的针叶树(66.3%)，包括松属(59.5%)和云杉属(6.8%)；阔叶树花粉占比相对较低(18.6%)，以榛属(6.4%)、杜鹃花科(5%)和栎属(4.2%)为主；草本植物以紫菀型(5.3%)和禾本科(5.2%)为主。本阶段可进一步划分为三个亚阶段：阶段 I a(140–120 cm, ~30000–26000 cal yr BP)针叶树比例从39.5%增加至62.6%，阔叶树比例从37.2%降至16.5%，草本植物占比保持稳定；阶段 I b(120–100 cm, ~26000–20200 cal yr BP)针叶树比例增至68.2%，阔叶树与草本植物分别降至20.2%和11.5%；阶段 I c(100–80 cm, ~20200–19500 cal yr BP)耐寒的云杉属增至平均值11%，针叶树平均比例达79.6%，与此同时阔叶树比例急剧下降。

阶段 II (80–50 cm, ~19500–17500 cal yr BP)：针叶树比例显著下降，其中松属(45.6%)和云杉属(3.3%)均减

表1 韦家洞剖面的AMS¹⁴C测年结果

实验室编号	剖面	深度(cm)	测年材料	年代(yr BP)	校正年代(cal yr BP)	参考文献
Beta-515829	2	0–20	木炭	150±30	200±30	本研究
Beta-515830		20–40	木炭	11060±30	13000±90	郭林等, 2021
Beta-515316		40–50	木炭	14260±40	17340±160	郭林等, 2021
Beta-507541		60–70	木炭	15370±50	18710±90	郭林等, 2021
Beta-515317		80	木炭	16080±40	19430±150	郭林等, 2021
Beta-507543		80–90	木炭	16810±60	20340±160	郭林等, 2021
Beta-772446		100–120	橡子壳	16150±50	19480±60	本研究
Beta-515831	3	100–120	木炭	16830±50	20360±140	郭林等, 2021
Beta-772447		120–140	木炭	25260±11	29550±170	本研究
Beta-507548		140–160	骨	\	27390±210	郭林等, 2021
Beta-507547		140–160	木炭	\	27560±170	郭林等, 2021
Beta-649878		140–160	坚果壳	24260±110	28400±350	本研究

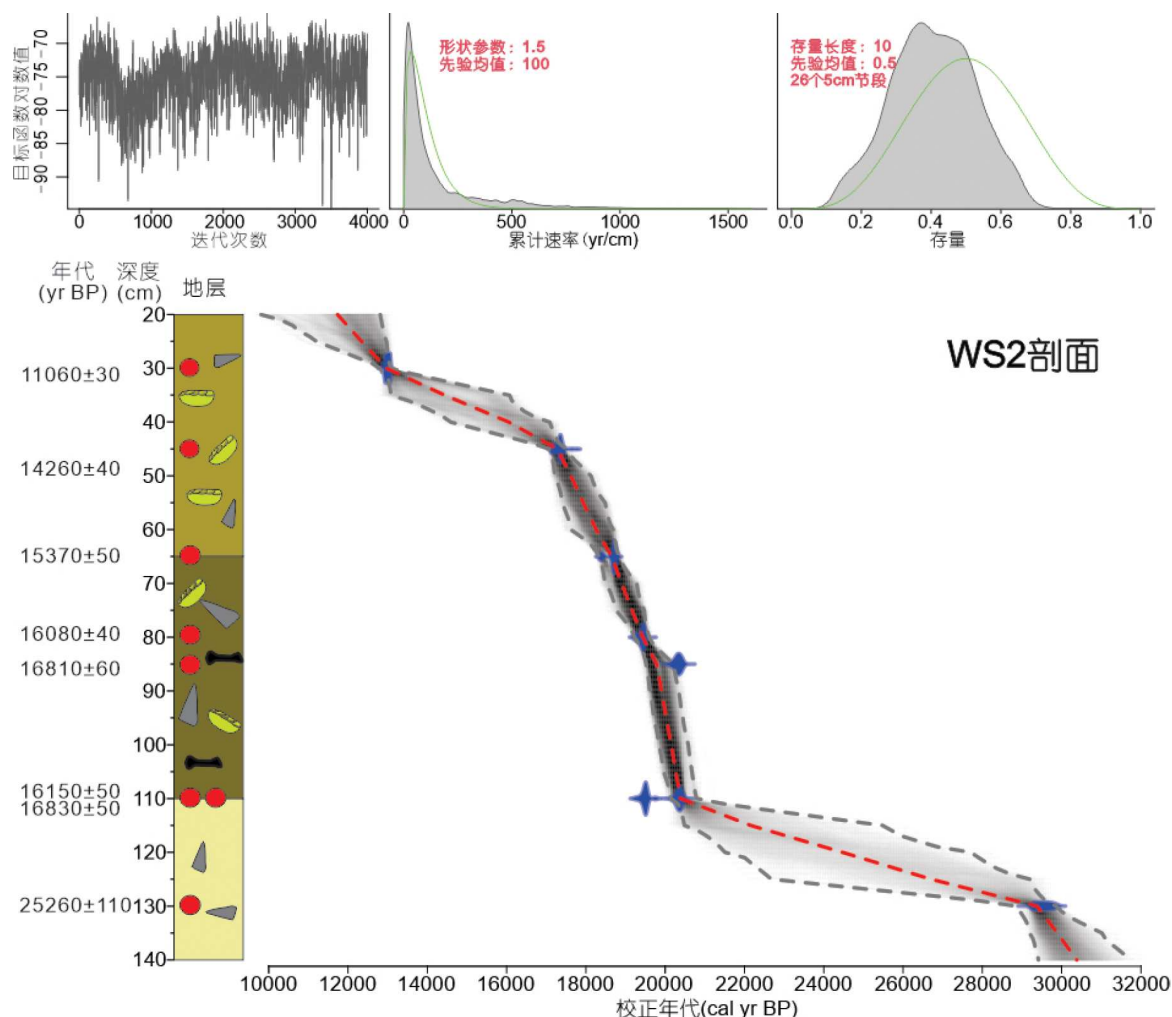


图2 WS2剖面贝叶斯年代-深度模型

少；阔叶树比例从18.6%增加至36.7%，以榛属(14.2%)和杜鹃花科(11.5%)为主；草本植物占比在本阶段保持稳定。

阶段Ⅲ(50–20 cm, ~17500–12500 cal yr BP)：针叶树比例进一步降至36.6%，云杉属在约17000 cal yr BP后消失；阔叶树比例增至41.1%，主要包括榛属(15.6%)、栎属(13.4%)和杜鹃花科(6.4%)；紫菀型等草本植物在本带呈逐步上升趋势。

WS2剖面花粉数据的PCA分析结果显示第一主成分解释了总方差32.7%(图4)，其中松属与耐寒的云杉属处于负载荷区，分布广泛的类群处于正载荷区，这表明第一主轴代表的因素是温度。

4.3 韦家洞遗址文化层浮选结果

在韦家洞剖面的文化层中，大量坚果壳及一些植物种子被鉴定，包括榛子、橡子、葡萄籽(*Vitis* sp.)及十字

花科(Brassicaceae)种子(图5)。这些炭化植物遗存表面未发现人工加工痕迹。

榛子壳：文化层中共发现31块榛子壳碎片。榛子壳内部有管状结构，横截面可见孔洞(图5A和5C)，部分壳表面因管状结构暴露而形成平行条纹(图5B)。榛子富含油脂，能为狩猎采集者提供必需脂肪(Bunn和Ezzo, 1993; Ben-Dor等, 2011; Shea, 2011; Riehl等, 2015)。

橡子壳：文化层中发现18块橡子壳碎片，表面可见明显纤维结构(图5D和5E)。橡子主要提供碳水化合物和淀粉，脂肪含量极低(Mason, 1992)，食用前需用水浸泡去除单宁酸(Kelly, 2013)。

葡萄种子：WS3黑灰层(140–160 cm)中发现4粒炭化葡萄籽(图5F)，其两片腹侧内褶已损毁，仅存种脐形态。中国大多数野生葡萄可直接鲜食。

十字花科种子：WS3黑灰层(140–160 cm)中发现2粒炭化十字花科种子(图5G和H)，其中一粒长1.8 mm、宽

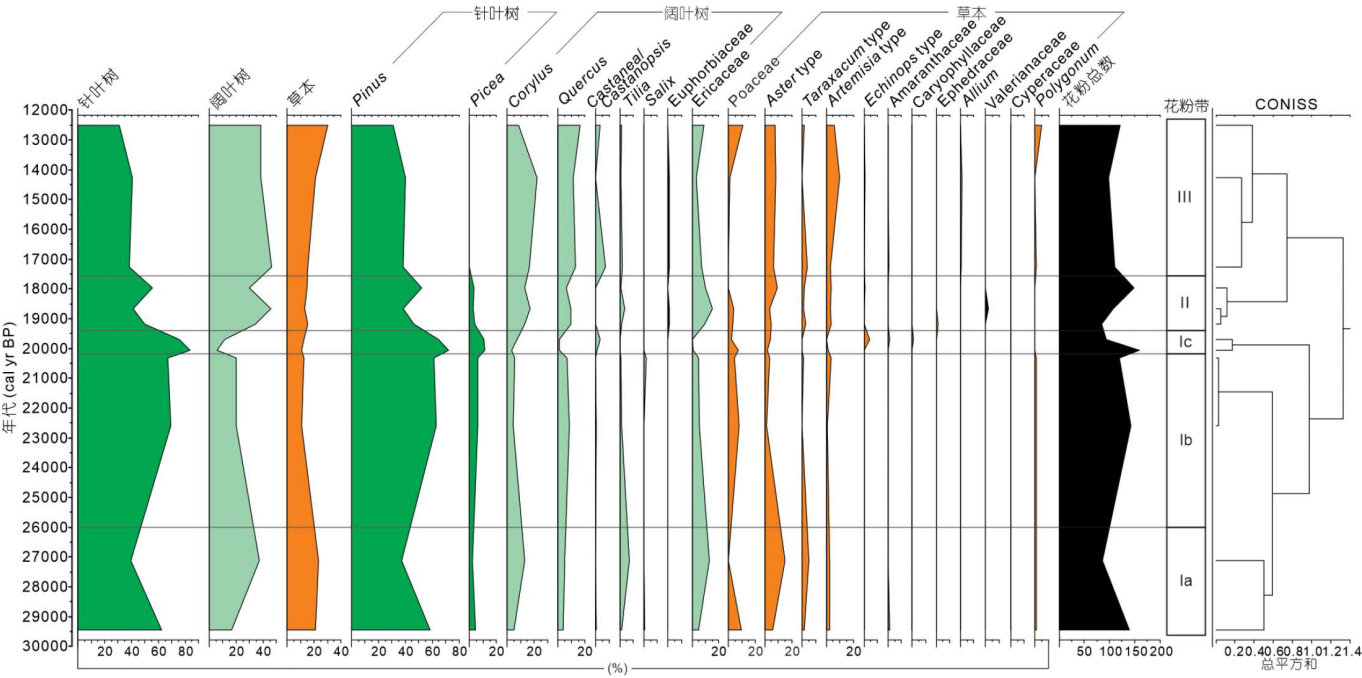


图3 WS2剖面花粉谱

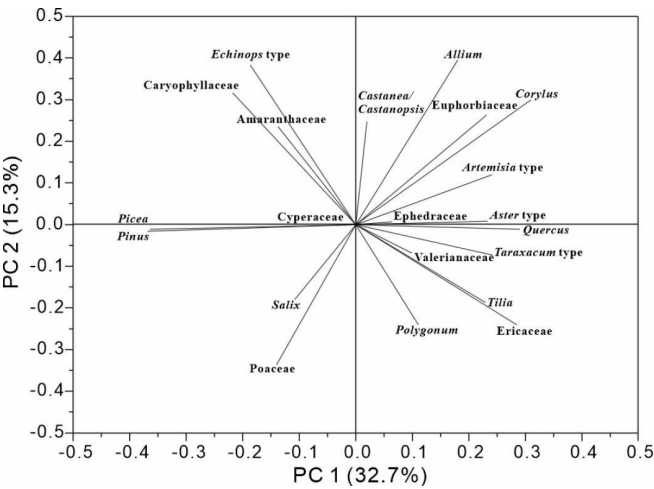


图4 WS2剖面花粉组合的PCA结果

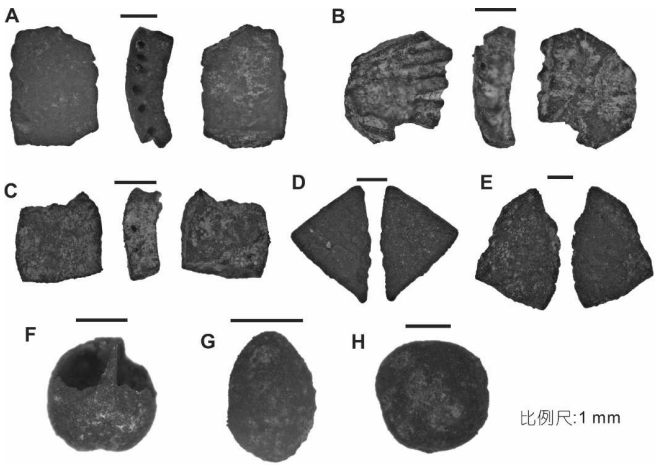


图5 韦家洞发现的炭化植物遗存。(A) 榛子壳 (WS3剖面140–160 cm); (B, C) 榛子壳(WS2剖面40–60 cm); (D) 橡子壳(WS3剖面140–160 cm); (E) 橡子壳(WS2剖面80–100 cm); (F) 葡萄种子 (WS3剖面140–160 cm); (G, H) 十字花科种子(WS3剖面140–160 cm)

1.2 mm, 另一粒长宽均为2.5 mm。

未知植物：135块碎片因缺乏显著特征无法鉴定(表2)。

4.4 考古遗址的空间分布

中国境内共发现55处末次盛冰期考古遗址(图6)。除位于季风区边缘的金斯太遗址外, 其余54处遗址均分布在中国的季风区内。北方地区共有25处考古遗址, 其中14处出土有细石器; 以广西、云南、贵州和四川为主的

西南地区是考古遗址分布最密集的区域, 其他季风区遗址分布则相对稀疏。

5 讨论

5.1 韦家洞周边的植被-气候变化

洞穴沉积物中提取的花粉能否代表洞外植被长期存

表2 韦家洞遗址文化层浮选结果

编号	剖面	深度(cm)	榛子壳	橡子壳	葡萄种子	十字花科种子	未知植物
1	2	0–20	0	0	0	0	0
2		20–40	0	0	0	0	1
3		40–60	3	4	0	0	11
4		60–80	0	0	0	0	10
5		80–100	0	3	0	0	22
6		100–120	0	2	0	0	12
7		120–140	0	0	0	0	0
8	3	140–160	28	9	4	2	79
合计	\	\	31	18	2	3	135

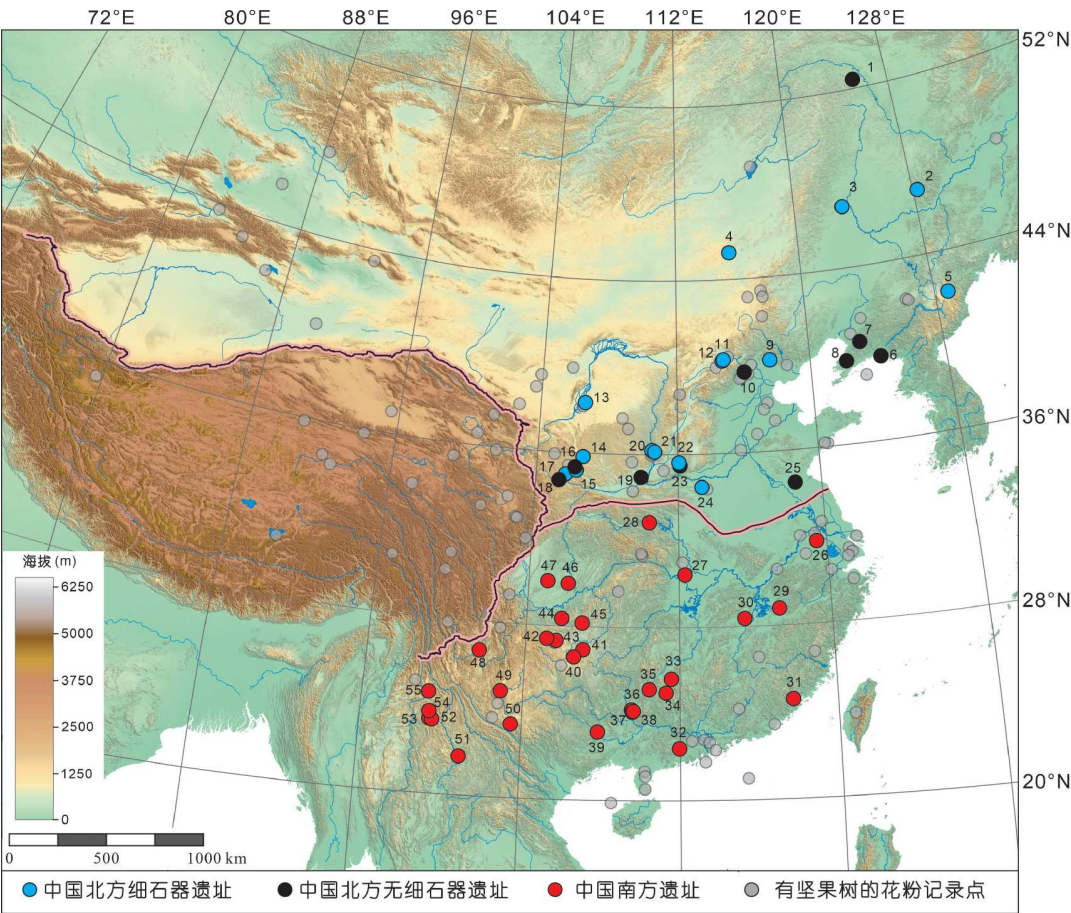


图6 本研究涉及的孢粉记录点和我国LGM考古遗址的分布。考古遗址：(1) 柿子滩；(2) 桃山；(3) 枫林；(4) 金斯太；(5) 大洞；(6) 前阳洞；(7) 小孤山；(8) 古龙山；(9) 孟家泉；(10) 山顶洞；(11) 二道梁；(12) 油坊；(13) 水洞沟；(14) 彭阳；(15) 石峡口；(16) 苏苗源头；(17) 徐家城；(18) 大地湾；(19) 育红河；(20) 龙王辿；(21) 柿子滩；(22) 下川；(23) ；(24) 西施；(25) 黑龙潭；(26) 和尚墩；(27) 滴水岩；(28) 鸡公山；(29) 仙人洞；(30) 上湖；(31) 莲花池山；(32) 独石仔；(33) 玉蟾岩；(34) 尖山洞；(35) 庙岩；(36) 鲤鱼嘴；(37) 白莲洞；(38) 通天岩；(39) 娅怀洞；(40) 招果洞；(41) 打儿窝岩厦；(42) 老鸦洞；(43) 韦家洞；(44) 穿洞；(45) 马鞍山；(46) 铜梁；(47) 鲤鱼桥；(48) 回龙湾；(49) 龙潭山；(50) 马鹿洞；(51) 娜咪因洞；(52) 硝洞；(53) Dedan Cave；(54) 佛洞地；(55) 老虎洞

在争议。近几十年来，为评估洞穴沉积物中花粉重建植被的可靠性，相关学者在全球范围内开展了大量洞穴内外表土样品的对比研究(Burney和Burney, 1993; Carrión

等, 1999; Fiacconi和Hunt, 2015)。而韦家洞内外表土相似的花粉谱也进一步证明了其沉积物花粉记录在重建洞外植被的可靠性(Yang等, 2021)。

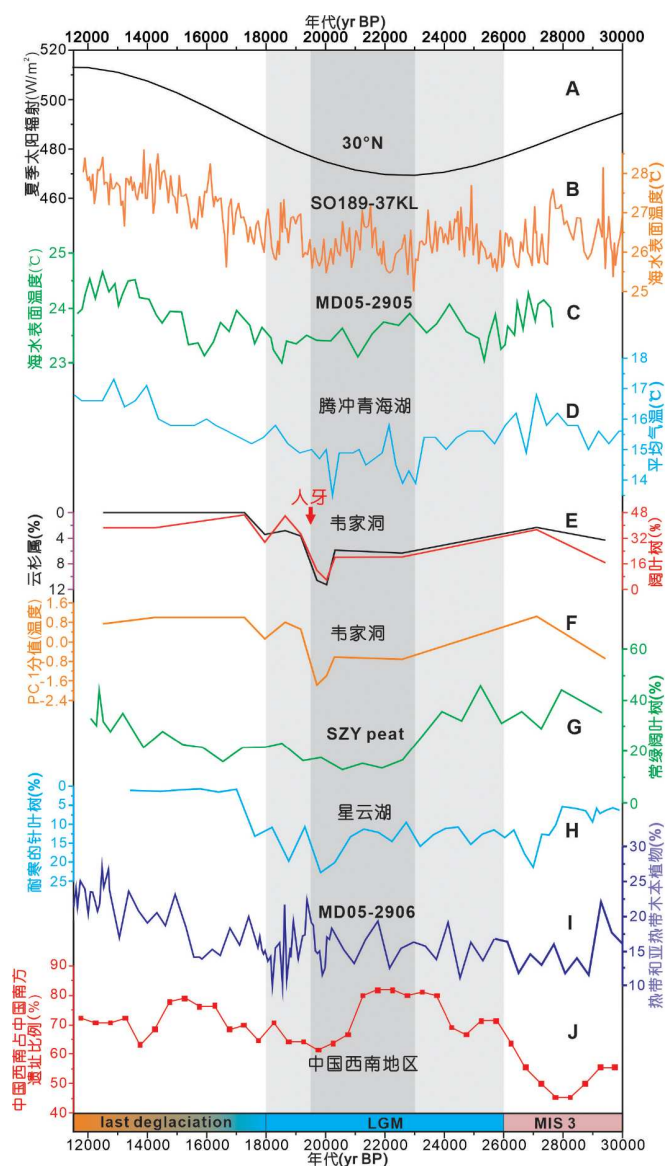


图7 中国南方30000–11500 yr BP植被-气候记录与考古遗址的对比。(A) 30°N太阳辐射(Laskar等, 2004); (B) 热带印度洋SO189-37KL钻孔海水表面温度(SST)(Mohtadi等, 2014); (C) 南海MD05-2905钻孔海水表面温度(SST)(Dai和Weng, 2015); (D) 中国西南腾冲青海湖平均气温(Zhao等, 2021a); (E) WS2剖面阔叶树和云杉属花粉比例; (F) WS2剖面花粉主成分分析PC 1分值; (G) 中国东南SZY泥炭落叶阔叶树和杜鹃花科花粉比例(Yue等, 2012); (H) 中国西南星云湖阔叶树花粉比例(Chen等, 2014); (I) 南海北部MD05-2906钻孔热带和亚热带木本植物花粉比例(Dai等, 2015); (J) 中国西南地区考古遗址占中国南方考古遗址的比例

深海氧同位素第3阶段(MIS 3)以剧烈气候波动为典型特征(Wang等, 2001; Rasmussen等, 2006)。WS2剖面的花粉结果显示, 阔叶树比例从约30000 yr BP的16.5%显著上升至约27200 yr BP的37.2%(图7E), 反映了MIS 3阶段末期不稳定的植被景观。在约26000–19500 yr BP期间, 高比例的针叶树和低PC 1分值表明当地植被以针叶林为

主, 气候较为寒冷(图7E和7F)。值得注意的是, 在约20200–19500 yr BP, 耐寒的云杉属比例增至11%, 阔叶树比例急剧下降。在约19500–17500 yr BP, 云杉属比例下降, 韦家洞周边阔叶树比例则有所回升(图7E和7F)。在约17500–12500 yr BP, 针叶树进一步减少, 云杉属消失, 同时阔叶树比例增至41.1%, 这种花粉组合表明, 在末次冰消期韦家洞周边气候较前阶段更为温暖。WS2剖面的花粉记录揭示该区域被针阔混交林覆盖, 气候变化对植被景观的影响主要体现在针叶树与阔叶树的比例消长上。

在中国南方其他地区, 云南星云湖的耐寒针叶树(Chen等, 2014)(图7H)、四川干池泥炭的常绿阔叶树(Deng等, 2022)、福建SZY泥炭地的常绿阔叶树(Yue等, 2012)(图7G)以及南海北部MD05-2906钻孔的热带亚热带树种(Dai和Weng, 2015)(图7I), 均与WS2剖面的阔叶树变化呈现显著同步性。这种协同变化揭示了中国南方地区具有一致的植被-气候变化过程。

WS2剖面花粉记录的PCA结果表明温度是韦家洞周边植被的主要影响因素(图4)。然而, 中国南方植被变化较30°N夏季太阳辐射滞后约1000年(Laskar等, 2004)(图7A)。这种滞后现象说明太阳辐射变化可能在更大尺度影响植被演变, 而热量则依赖其他途径传输至中国南方。作为地球表面最热区域, 热带在全球热量再分配中起着关键作用(Schneider等, 2014)。腾冲青海湖年均气温与南海、印度洋等热带海域的海水表面温度具有高度一致性(Mohtadi等, 2014; Dai和Weng, 2015; Zhao等, 2021a)(图7B–7D), 这表明中国南方直接受到低纬度热带海洋影响, 而亚洲季风可能扮演了热量传输媒介的角色。

5.2 中国南方韦家洞的狩猎采集者对坚果的利用

在前农业社会, 采集野生植物资源在狩猎采集者的生存模式中扮演了关键作用(Isaac, 1971; Perera等, 2011; Humphrey等, 2014; Riehl等, 2015; Dunne等, 2016; Crombé等, 2023)。由于植物性食物供应的季节性以及动物冬季迁徙、冬眠及活动范围缩小等现象的存在(Li等, 2001; Si等, 2018; Bu等, 2023; Wang M等, 2023), 狩猎采集者在冬季常面临食物短缺的挑战。因此, 易获取且耐储存的可食用坚果自然成为人类青睐的食物(Goren-Inbar等, 2002; Fuller和Qin, 2010; Perera等, 2011; Pollegioni等, 2017; Wang和Jiang, 2022)。韦家洞的坚果遗存占可鉴定植物遗存总量的90.7%(表2), 表明从MIS 3末期至末次冰消期, 坚果始终是洞穴占据者食谱的重要组成部分。

MIS 3阶段被普遍认为是气候相对温暖的时期，其间伴随着一系列Dansgaard-Oeschger (DO)暖事件和Heinrich (H)冷事件(Wang等, 2001; Rasmussen等, 2006)。WS3剖面的黑灰层(140–160 cm)的测定年代为28750–27180 yr BP, 与DO 3事件时段吻合。WS2的花粉记录显示韦家洞周边在约27200 cal yr BP阔叶树显著增加, 指示当时温暖的气候(图3)。该层位鉴定出4种植物遗存, 表明MIS 3末期韦家洞周边植物性食物资源相对丰富, 狩猎采集者采取了多元化植物开发策略。此外, WS2剖面的花粉谱显示约27200 yr BP榛属和壳斗科花粉占比分别为12.8%和4.7%(图3), 说明当时榛树比橡树数量更丰富。然而, 单株成年榛树的榛子年产量通常低于3 kg, 而橡树可达20 kg以上(Xie等, 2004, 2012; Gea-Izquierdo等, 2006; Koenig等, 2013), 这意味着当时该地区橡子实际供应远高于榛子。因此, 榛子在已鉴定植物遗存中的高占比, 反映了在气候适宜条件下狩猎采集者刻意优先选择富含脂肪的坚果, 而非数量更多的橡子(表2)。这种策略在重庆铜梁遗址(约25800±630 cal yr BP)亦有体现, 尽管文化层中壳斗科和胡桃属花粉占比分别达20.4%和17.8%(张森水等, 1982), 但却发现了大量完整核桃, 以及仅1个完整橡子及1个南酸枣种子。

LGM寒冷气候对韦家洞周边植被景观的影响表现为针叶树增加与阔叶树减少(图3)。由于中国南方的针叶树叶和种子难以被人类和大部分动物利用, 这种植被变化通常会降低当地的生物承载力和生物多样性(Fleming, 1973; Pagel等, 1991; Tsujino和Yumoto, 2014)。WS2剖面的花粉记录显示, 壳斗科花粉百分比在LGM期间升至6.8%, 花粉浓度也微增至3.9粒/克; 而榛树比例从约27200 yr BP的12.8%骤降至LGM的8.4%, 花粉浓度从10.1降至4.9粒/克。这些结果表明, 相较于27200 yr BP, 韦家洞周边在LGM的橡子供应可能略有增加, 但榛子的供应却显著下降。此外, 坚果也是某些动物(如松鼠)的重要越冬食物, 这导致LGM期间人类可获取的坚果资源, 尤其是富含脂肪的榛子将进一步缩减。这意味着在LGM榛子已无法满足狩猎采集者的需求, 导致其群体规模缩减, 并迫使他们不得不更多利用含单宁的橡子以应对严峻的生存环境, 尽管处理橡子需要付出更高时间成本。这种资源利用策略使得WS2中部文化层(60–120 cm)的三个浮选样品中, 要么缺乏可鉴定植物遗存, 要么仅发现少量橡子壳(表2)。

5.3 坚果在中国南方狩猎采集者应对末次冰盛期寒冷气候中潜力

LGM寒冷气候给狩猎采集者带来巨大生存挑战。由

于中国北方植被景观向草原演变, 狩猎采集者通过提高流动性(追踪大型哺乳动物)和开发新植物资源等策略应对食物短缺(Cordain等, 2002; Liu等, 2013; Yi等, 2016; Zhao等, 2021b; Grimaldi等, 2023)。

相较于中国北方, 中国南方在LGM仍维持了森林景观(王伟铭等, 2019)。几种可食用坚果树是中国南方森林中常见的阔叶树种(萧家仪等, 2018; 周伯睿等, 2023)。空间插值结果显示, 坚果树覆盖率在LGM呈现自中国南方向北方减少的规律(图8A和8B)。考古遗址周边在LGM坚果树比例与纬度呈显著线性关系(图8C), 中国南方考古遗址周边的坚果树覆盖率远高于中国北方。这种高覆盖率意味着坚果具备成为LGM中国南方狩猎采集者的常备食物的潜力。值得注意的是, 部分区域LGM坚果树比例甚至高于MIS 3末期(图8D), 这意味着在这些区域坚果在一定程度上能够弥补因动物性食物与其他植物性食物减少造成的部分供给缺口。

此外, 中国南方的坚果树的覆盖率相对稳定。坚果树变化率(式(1))用于评估LGM考古遗址周边坚果树覆盖率相较于28000 yr BP的增减幅度。该变化率与考古遗址点的坚果树比例存在明显的线性关系(图8F), 其中中国南方地区坚果树变化率介于-0.47至0.57之间, 且多数遗址点的变化率趋近于零, 显著高于中国北方地区(图8E)。这些结果表明, 相较于MIS 3末期, 中国南方大多数考古遗址点在LGM维持甚至扩大了坚果树的覆盖率。这表明坚果有很大的潜力作为狩猎采集者应对LGM冬季食物短缺的关键食物资源。

中国南方稳定的高比例的坚果树意味着狩猎采集者及其后代能够通过更多依赖耐储存坚果来应对末次冰期季节性食物短缺。这一策略能够极大地降低因深度调整生业模式可能带来的风险。得益于这种低成本的应对气候恶化的方案的存在, 中国南方的狩猎采集者缺乏剧烈改变生存策略与石器技术的内在动力(高星和裴树文, 2006; 王幼平, 2021), 这与细石器流行的北方地区形成显著差异(Yi等, 2016; 王幼平, 2018; Zhao等, 2021b; Grimaldi等, 2023)。

强化坚果资源开发的策略在LGM可能已经被中国南方狩猎采集人群广泛采纳。在MIS 3末期, 中国南方气候相对温暖, 尽管中国东南存在明显的坚果树高值分布区(图9A), 但考古遗址在整个南方均匀分布, 表明此时坚果在狩猎采集者食谱中占比可能不高。自LGM以来, 中国西南地区考古遗址比例显著增加(图7J), 遗址高密度区与中心点呈现西移趋势(图9), 这与坚果树比例高值区的西移相吻合。此外, 中国南方考古遗址的坚果树比例平均为33.2%, 且绝大多数遗址(90.9%)分布在坚果树分

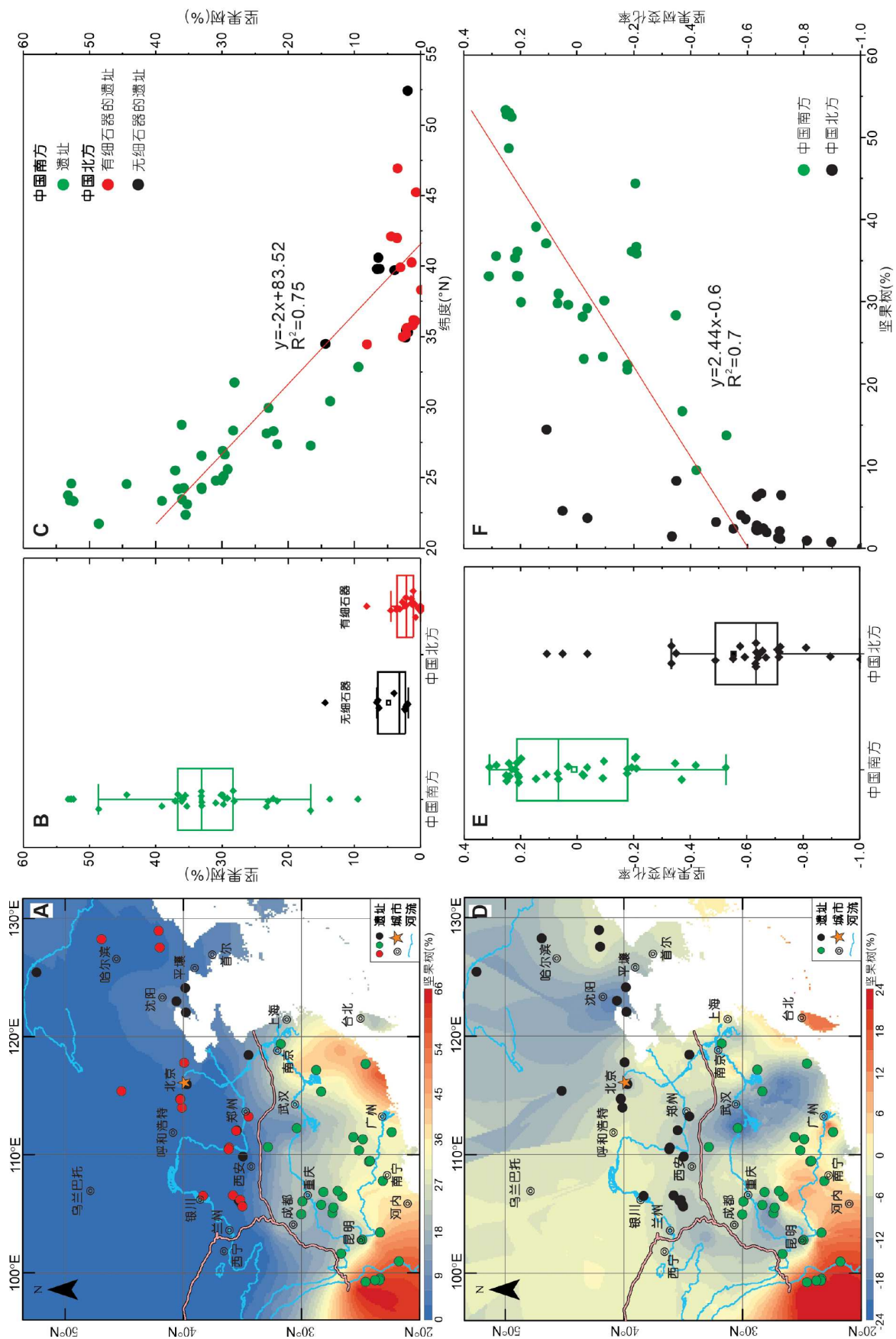


图8 中国东部坚果树百分比和变化率空间分布特征。(A) 坚果树在LGM的空间分布;(B) 考古遗址所在地坚果树比例;(C) 考古遗址所在地坚果树比例与纬度的关系;(D) 28000 yr BP与LGM两个时期坚果树百分比差异的空间特征;(E) 考古遗址所在地坚果树比例变化率;(F) 考古遗址所在地坚果树比例变化率与纬度的关系

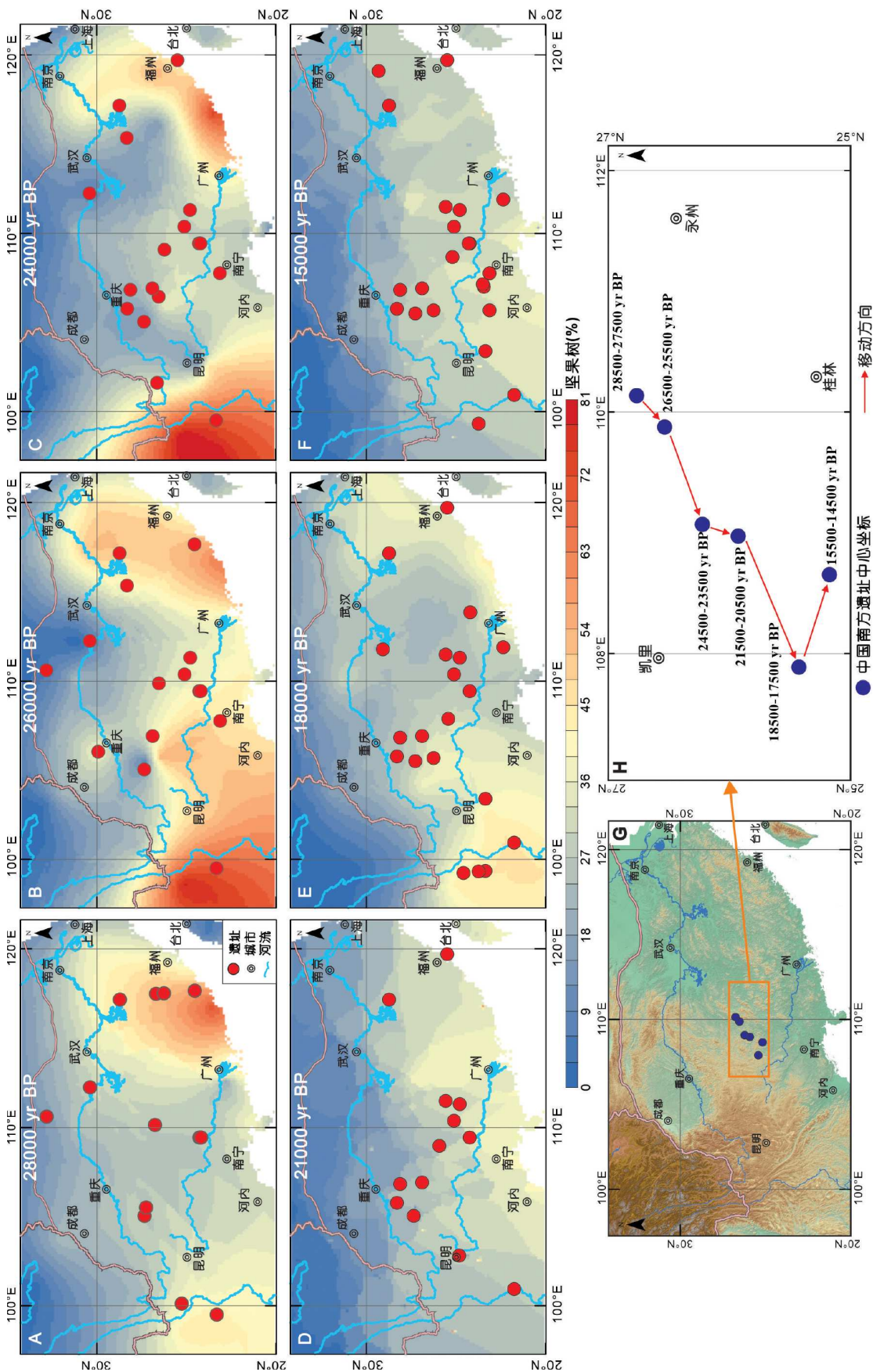


图9 MIS 3末期至末次冰消期中国南方考古遗址时空分布以及它们的中心点坐标变化

布的显著高值区(比例>20%)(图8A和8B)。这些现象暗示坚果在南方狩猎采集者适应LGM寒冷气候过程中可能发挥了重要作用。

值得注意的是,末次冰消期西南地区考古遗址比例并未出现显著下降(图9F),且遗址中心点也未返回至MIS 3末期的位置(图9H),表明坚果在冰消期仍是狩猎采集者的重要食物来源。这一现象可能与南方狩猎采集者食物供给系统的进一步恶化有关,如图9F所示,末次冰消期坚果树比例未能恢复至MIS 3末期水平;同时广谱革命在更多区域发生(Prendergast等, 2009; Lu等, 2023),表明大型哺乳动物种群无法满足增长的人口需求,或其数量在末次冰消期未见回升。坚果与大型哺乳动物的双重短缺可能引发更严重的生存危机,促使狩猎采集者继续滞留坚果丰产区,甚至开始开发新的耐储存食物,如野生水稻(张文绪和袁家荣, 1998; Zhao, 1998; Wu等, 2020; Zhang等, 2024),尽管其颗粒很小且属于回报率较低的食物(Kelly, 2013)。

6 结论

贵州毕节韦家洞的花粉和植物考古数据被用于分析当地的植被-气候变化以及人类对于植物的开发策略。结果显示韦家洞周边植被在约30000–26000 cal yr BP不稳定;植被在约30000–19500 cal yr BP以针叶林为主,当地气候寒冷,尤其在约20200–19500 cal yr BP耐寒云杉属比例达到最高,气候最为寒冷;而在约19500–12500 cal yr BP针叶树减少与阔叶树增加表明气候呈现变暖趋势。浮选结果显示榛子、橡子及葡萄等植物性食物是韦家洞狩猎采集人群食谱的重要组成部分。韦家洞的狩猎采集者在MIS 3末期采取了以利用富脂肪坚果为核心的多元化资源利用策略,而在LGM转向加强开发高单宁的橡子,以应对气候恶化导致的食物短缺。空间插值进一步表明,中国南方稳定的高覆盖率坚果树为狩猎采集者提供了一种通过优先开发坚果资源来应对LGM冬季食物短缺的可行的低成本适应策略。

致谢 感谢中国科学院古脊椎动物与古人类研究所郭林博士在野外工作的帮助以及高星研究员在中国北方细石器特征方面提供的建设性建议,感谢两位匿名评审专家提出的宝贵意见。

参考文献

- 高星, 裴树文. 2006. 中国古人类石器技术与生存模式的考古学阐释. 第四纪研究, 26: 504–513
- 郭林, 赵凌霞, 郑远文, 等. 2021. 贵州毕节韦家洞古人类遗址年代测定及人牙的形态学意义. 人类学学报, 40: 931–942

- 郭远哲, 赵凌霞, 仪明洁, 等. 2025. 贵州韦家洞遗址大型鹿科动物的死亡年龄. 人类学学报, 44: 674–687
- 李小明, 杜乃秋. 1999. 第四纪花粉的无酸碱分析法. 植物学报, 41: 109–111
- 王慧强. 2006. 中国坚果资源与坚果产业研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学
- 王伟铭, 李春海, 舒军武, 等. 2019. 中国南方植被的变化. 中国科学: 地球科学, 49: 1308–1320
- 王幼平. 2018. 华北细石器技术的出现与发展. 人类学学报, 37: 565–576
- 王幼平. 2021. 砾石工业传统与华南旧石器晚期文化. 南方文物, (1): 91–97
- 萧家仪, 商志远, 舒强, 等. 2018. 中国南方内陆山地末次冰盛期植被特征及古环境意义. 中国科学: 地球科学, 48: 651–660
- 张森水, 吴玉书, 于浅黎, 等. 1982. 铜梁旧石器遗址自然环境的探讨. 古脊椎动物与古人类, (2): 165–179, 193–196
- 张文绪, 袁家荣. 1998. 湖南道县玉蟾岩古栽培稻的初步研究. 作物学报, 24: 416–420
- 周伯睿, 廖梦娜, 李凯, 等. 2023. 中国地层花粉数据集. 植物生态学报, 47: 1453–1463
- Bae C J, Douka K, Petraglia M D. 2017. On the origin of modern humans: Asian perspectives. *Science*, 358: 1269
- Ben-Dor M, Gopher A, Hershkovitz I, et al. 2011. Man the fat hunter: The demise of *Homo erectus* and the emergence of a new hominin lineage in the Middle Pleistocene (ca. 400 kyr) Levant. *PLoS ONE*, 6: e28689
- Bennett M R, Bustos D, Pigati J S, et al. 2021. Evidence of humans in North America during the Last Glacial Maximum. *Science*, 373: 1528–1531
- Bettinger R L, Garvey R, Tushingham S. 2015. Hunter-Gatherers: Archaeological and Evolutionary Theory. New York: Springer
- Blauw M, Christen J A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal*, 6: 457–474
- Bronk Ramsey C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51: 337–360
- Bu H, Hopkins III J B, Li S, et al. 2023. Seasonal distribution and activity patterns of mesopredators and their prey in Southwest China. *J Mammalogy*, 104: 941–950
- Burney D A, Burney L P. 1993. Modern pollen deposition in cave sites: Experimental results from New York State. *New Phytol*, 124: 523–535
- Bunn H T, Ezzo J A. 1993. Hunting and scavenging by Plio-Pleistocene hominids: Nutritional constraints, archaeological patterns, and behavioural implications. *J Archaeol Sci*, 20: 365–398
- Cao Y, Zhang X, Sun X, et al. 2024. OSL re-dating and paleoclimate of Laoya Cave in Guizhou Province, southwest China. *Quat Int*, 707: 50–59
- Carroll F A, Hunt C O, Schembri P J, et al. 2012. Holocene climate change, vegetation history and human impact in the Central Mediterranean: Evidence from the Maltese Islands. *Quat Sci Rev*, 52: 24–40
- Carrión J S, Munuera M, Navarro C, et al. 1999. The palaeoecological potential of pollen records in caves: the case of Mediterranean Spain. *Quat Sci Rev*, 18: 1061–1073
- Chen X, Chen F, Zhou A, et al. 2014. Vegetation history, climatic changes and Indian summer monsoon evolution during the Last Glaciation (36,400–13,400 cal yr BP) documented by sediments from Xingyun Lake, Yunnan, China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 410: 179–189
- Cordain L, Eaton S B, Miller J B, et al. 2002. The paradoxical nature of hunter-gatherer diets: Meat-based, yet non-atherogenic. *Eur J Clin Nutr*, 56: S42–S52
- Crombé P, Storme A, Perdaen Y, et al. 2023. The changing role of hazelnuts (*Corylus avellana*) in the Mesolithic diet: The Scheldt basin (W Belgium) as a case-study. *Quat Sci Rev*, 317: 108295
- Dai L, Weng C Y. 2015. Marine palynological record for tropical climate variations since the late last glacial maximum in the northern South China Sea. *Deep-Sea Res Part II-Top Stud Oceanogr*, 122: 153–162

- Dai L, Weng C, Mao L. 2015. Patterns of vegetation and climate change in the northern South China Sea during the last glaciation inferred from marine palynological records. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 440: 249–258
- Deng Y, Ma C, Huang M, et al. 2022. Vegetation and climate changes since the Last Glacial Maximum inferred from high-resolution pollen records from the Sichuan Basin, southwest China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 606: 111231
- DeMenocal P B. 2001. Cultural responses to climate change during the late Holocene. *Science*, 292: 667–673
- Dunne J, Mercuri A M, Evershed R P, et al. 2016. Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery. *Nat Plants*, 3: 1–6
- Fiacconi M, Hunt C O. 2015. Pollen taphonomy at Shanidar Cave (Kurdish Iraq): An initial evaluation. *Rev Palaeobot Palynol*, 223: 87–93
- Fleming T H. 1973. Numbers of mammal species in North and Central American forest communities. *Ecology*, 54: 555–563
- Fuller D Q, Qin L. 2010. Declining oaks, increasing artistry, and cultivating rice: The environmental and social context of the emergence of farming in the Lower Yangtze Region. *Environ Archaeol*, 15: 139–159
- Gautney J R. 2018. New world paleoenvironments during the Last Glacial Maximum: Implications for habitable land area and human dispersal. *J Archaeol Sci Rep*, 19: 166–176
- Gea-Izquierdo G, Cañellas I, Montero G. 2006. Acorn production in Spanish holm oak woodlands. *For syst*, 15: 339–354
- Goren-Inbar N, Sharon G, Melamed Y, et al. 2002. Nuts, nut cracking, and pitted stones at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Proc Natl Acad Sci USA*, 99: 2455–2460
- Grimaldi S, Santaniello F, Cohen D J, et al. 2023. Last glacial maximum microblade production at Shizitan 29 and its implications for North China pressure technology. *J Field Archaeology*, 48: 161–179
- Hu Y, Marwick B, Zhang J F, et al. 2019. Late Middle Pleistocene Levallois stone-tool technology in southwest China. *Nature*, 565: 82–85
- Hughes P D, Gibbard P L, Ehlers J. 2013. Timing of glaciation during the last glacial cycle: Evaluating the concept of a global 'Last Glacial Maximum' (LGM). *Earth-Sci Rev*, 125: 171–198
- Humphrey L T, De Groote I, Morales J, et al. 2014. Earliest evidence for caries and exploitation of starchy plant foods in Pleistocene hunter-gatherers from Morocco. *Proc Natl Acad Sci USA*, 111: 954–959
- IPCC. 2014. 2014: Summary for Policymakers. Technical Report. Cambridge: Cambridge University Press. 1–32
- Isaac G. 1971. The diet of early man: Aspects of archaeological evidence from lower and middle Pleistocene sites in Africa. *World Archaeol*, 2: 278–299
- Kelly R L. 2013. The Lifeways of Hunter-gatherers: The Foraging Spectrum. Cambridge: Cambridge University Press
- Koenig W D, Díaz M, Pulido F, et al. 2013. Acorn production patterns. In: Campos P, Huntsinger L, Oviedo J H, eds. Mediterranean Oak Woodland Working Landscapes: Dehesas of Spain and Ranchlands of California. Dordrecht: Springer Netherlands. 181–209
- Kirch P V. 2005. Archaeology and global change: The Holocene record. *Annu Rev Environ Resour*, 30: 409–440
- Laskar J, Robutel P, Joutel F, et al. 2004. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astron Astrophys*, 428: 261–285
- Lee R B, DeVore I. 1968. Man the Hunter. Chicago: Aldine Publishing Company
- Li Q, Sun R, Huang C, et al. 2001. Cold adaptive thermogenesis in small mammals from different geographical zones of China. *Comp Biochem Physiol Part A-Mol Integr Physiol*, 129: 949–961
- Liu L, Bestel S, Shi J, et al. 2013. Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110: 5380–5385
- Lu Y, Gao F, Wang Y, et al. 2023. Diversification of faunal exploitation strategy and human-climate interaction in Southern China and Southeast Asia during the last deglaciation. *Quat Sci Rev*, 322: 108420
- Margari V, Hodel D A, Parfitt S A, et al. 2023. Extreme glacial cooling likely led to hominin depopulation of Europe in the Early Pleistocene. *Science*, 381: 693–699
- Marinova E, Tonkov S, Bozilova E, et al. 2012. Holocene anthropogenic landscapes in the Balkans: The palaeobotanical evidence from southwestern Bulgaria. *Veget Hist Archaeobot*, 21: 413–427
- Mason S L R. 1992. Acorns in Human Subsistence. London: University College London
- Mohtadi M, Prange M, Oppo D W, et al. 2014. North Atlantic forcing of tropical Indian Ocean climate. *Nature*, 509: 76–80
- Moore P D, Webb J A, Collison M E. 1991. Pollen Analysis. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications
- Pagel M D, May R M, Collie A R. 1991. Ecological aspects of the geographical distribution and diversity of mammalian species. *AmNaturalist*, 137: 791–815
- Perera N, Kourampas N, Simpson I A, et al. 2011. People of the ancient rainforest: Late Pleistocene foragers at the Batadomba-lena rockshelter, Sri Lanka. *J Hum Evol*, 61: 254–269
- Pollegioni P, Woeste K, Chiocchini F, et al. 2017. Rethinking the history of common walnut (*Juglans regia* L.) in Europe: Its origins and human interactions. *PLoS ONE*, 12: e0172541
- Potts R. 2012. Evolution and environmental change in early human prehistory. *Annu Rev Anthropol*, 41: 151–167
- Prendergast M E, Yuan J, Bar-Yosef O. 2009. Resource intensification in the Late Upper Paleolithic: A view from southern China. *J Archaeol Sci*, 36: 1027–1037
- Rasmussen S O, Andersen K K, Svensson A M, et al. 2006. A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination. *J Geophys Res*, 111: D06112
- Reimer P J, Austin W E N, Bard E, et al. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62: 725–757
- Riehl S, Marinova E, Deckers K, et al. 2015. Plant use and local vegetation patterns during the second half of the Late Pleistocene in southwestern Germany. *Archaeol Anthropol Sci*, 7: 151–167
- Schneider T, Bischoff T, Haug G H. 2014. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. *Nature*, 513: 45–53
- Seltzer A M, Ng J, Aeschbach W, et al. 2021. Widespread six degrees Celsius cooling on land during the Last Glacial Maximum. *Nature*, 593: 228–232
- Shao Y, Anhäuser A, Ludwig P, et al. 2018. Statistical reconstruction of global vegetation for the last glacial maximum. *Glob Planet Change*, 168: 67–77
- Shea J J. 2011. The Paleoanthropology and Archaeology of Big-Game Hunting: Protein, Fat or Politics? New York: Springer Science and Business Media, LLC
- Si Y, Xu Y, Xu F, et al. 2018. Spring migration patterns, habitat use, and stopover site protection status for two declining waterfowl species wintering in China as revealed by satellite tracking. *Ecol Evol*, 8: 6280–6289
- Song Y, Xie G, Zhao W. 2020. Preliminary study on the faunal remains unearthed from Yahuaidong site, Longan County, Guangxi. *Quat Sci*, 40: 343–353
- Struever S. 1968. Flotation techniques for the recovery of small-scale archaeological remains. *Am Antiq*, 33: 353–362
- Sun Q L, Liu Y, Wünnemann B, et al. 2019. Climate as a factor for Neolithic cultural collapses approximately 4000 years BP in China. *Earth-Sci Rev*, 197: 102915
- Tallavaara M, Luoto M, Korhonen N, et al. 2015. Human population dynamics in Europe over the Last Glacial Maximum. *Proc Natl Acad Sci*

- USA, 112: 8232–8237
- Tang C Q, Matsui T, Ohashi H, et al. 2018. Identifying long-term stable refugia for relict plant species in East Asia. *Nat Commun*, 9: 4488
- Tian C, Liang H, Yao Y, et al. 2024. New evidence for a 30–10 ka lithic assemblage at Jianshan Cave, Guangxi, South China. *Archaeological Res Asia*, 40: 100563
- Tierney J E, Zhu J, King J, et al. 2020. Glacial cooling and climate sensitivity revisited. *Nature*, 584: 569–573
- Timmermann A, Raia P, Mondanaro A, et al. 2024. Past climate change effects on human evolution. *Nat Rev Earth Environ*, 5: 701–716
- Tsujino R, Yumoto T. 2014. Habitat preferences of medium/large mammals in human disturbed forests in Central Japan. *Ecol Res*, 29: 701–710
- Wang C, Lu H, Zhang J, et al. 2014. Prehistoric demographic fluctuations in China inferred from radiocarbon data and their linkage with climate change over the past 50,000 years. *Quat Sci Rev*, 98: 45–59
- Wang M, Nie Y G, Swaisgood R R, et al. 2023. Stable seasonal migration patterns in giant pandas. *Zool Res*, 44: 341–348
- Wang J, Jiang L. 2022. Intensive acorn processing in the early Holocene of southern China. *Holocene*, 32: 1305–1316
- Wang Y, Zhang X, Sun X, et al. 2023. A new chronological framework for Chuandong Cave and its implications for the appearance of modern humans in southern China. *J Hum Evol*, 178: 103344
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. 2001. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China. *Science*, 294: 2345–2348
- Wu X, Zhang C, Goldberg P, et al. 2012. Early pottery at 20,000 years ago in Xianrendong Cave, China. *Science*, 336: 1696–1700
- Wu Y, Xie G, Mao L, et al. 2020. Phytolith evidence for human-plant subsistence in Yahuai Cave (Guangxi, South China) over the past 30000 years. *Sci China Earth Sci*, 63: 1745–1757
- Xie M, Zheng J, Me G, et al. 2004. European hazelnut in China: Present situation and future perspectives. In: Proceedings of the VI International Congress on Hazelnut. Tarragona-Reus. 686: 35–40
- Xie M, Zheng J, Wang D M. 2012. Achievements and perspective in hazelnut breeding in China. In: Proceedings of the VIII International Congress on Hazelnut. 1052: 41–43
- Yang Q J, Zhao K L, Zhou X Y, et al. 2021. Evaluation of the potential of surface pollen spectra from caves in SW China for vegetation reconstruction. *Quat Int*, 591: 119–128
- Yi M, Gao X, Li F, et al. 2016. Rethinking the origin of microblade technology: A chronological and ecological perspective. *Quat Int*, 400: 130–139
- Yokoyama Y, Lambeck K, De Deckker P, et al. 2000. Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima. *Nature*, 406: 713–716
- Yu Y, He F, Vavrus S J, et al. 2023. Climatic factors and human population changes in Eurasia between the Last Glacial Maximum and the early Holocene. *Glob Planet Change*, 221: 104054
- Yue Y, Zheng Z, Huang K, et al. 2012. A continuous record of vegetation and climate change over the past 50,000 years in the Fujian Province of eastern subtropical China. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 365–366: 115–123
- Zhang H, Lu J, Tang S, et al. 2022. Southwest China, the last refuge of continental primates in East Asia. *Biol Conservation*, 273: 109681
- Zhang J, Jiang L, Yu L, et al. 2024. Rice's trajectory from wild to domesticated in East Asia. *Science*, 384: 901–906
- Zhang Y, Stiner M C, Dennell R, et al. 2010. Zooarchaeological perspectives on the Chinese Early and Late Paleolithic from the Ma'anshan site (Guizhou, South China). *J Archaeol Sci*, 37: 2066–2077
- Zhao C, Rohling E J, Liu Z, et al. 2021a. Possible obliquity-forced warmth in southern Asia during the last glacial stage. *Sci Bull*, 66: 1136–1145
- Zhao C, Wang Y, Gu W, et al. 2021b. The emergence of early microblade technology in the hinterland of North China: A case study based on the Xishi and Dongshi site in Henan Province. *Archaeol Anthropol Sci*, 13: 98
- Zhao Z J. 1998. The Middle Yangtze region in China is one place where rice was domesticated: Phytolith evidence from the Diaotonghuan Cave, Northern Jiangxi. *Antiquity*, 72: 885–897

(责任编辑: 鹿化煜)