



北京上宅遗址出土陶片的脂质分析与 先民生计策略

吕楠宁^{1,2}, 王涛^{3*}, 郁金城⁴, 饶慧芸¹, 韩宾², 杨益民^{2†}

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

2. 中国科学院大学人文学院考古学与人类学系, 北京 100049;

3. 首都师范大学历史学院, 北京 100048;

4. 北京市考古研究院, 北京 100009

* 通讯作者, E-mail: wangtao@cnu.edu.cn

† 通讯作者, E-mail: yiminyang@ucas.ac.cn

收稿日期: 2022-05-12; 收修改稿日期: 2023-03-12; 接受日期: 2023-05-21; 网络版发表日期: 2023-07-19

国家自然科学基金项目(批准号: 42072217)和中央高校基本科研业务费专项项目资助

摘要 作为多种史前文化的交汇处, 北京地区是史前时期文化交流和粟黍传播的重要研究区域. 尽管北京地区新石器时代早期的门头沟东胡林遗址已有粟黍遗存出土, 但是该区域新石器时代中晚期的粟黍遗存比较少, 中间存在约两千年的断层. 上宅遗址位于北京东部的平谷盆地, 地层年代延续较长, 但动植物大遗存发现较少, 先民生计策略较为模糊. 本文对该遗址新石器时代文化层出土陶片开展吸附脂质的提取和分析. 结果表明, 相关陶器用于加工黍、陆生非反刍动物的肉, 以及野生反刍动物的肉和奶, 为北京地区新石器时代中晚期旱作农业发展和生计策略提供了新的证据. 此外, 陶罐加工食物可能使用了石煮法.

关键词 上宅遗址, 旱作农业, 生计策略, 陶器脂质分析, 石煮法

1 引言

北京地区的新石器时代文化序列较为清晰, 新石器时代早期有门头沟东胡林遗址(11000~9000a BP)(赵朝洪, 2006)和怀柔转年遗址(10000a BP)(郁金城, 2002); 新石器时代中期和晚期的遗存稍多(7500~6000a BP), 以平谷上宅第一期文化至第三期文化(第3~8层)、北埝头F2类遗存和F1类遗存, 以及房山镇江营一期和二期遗存等为代表(郭京宁, 2005).

东胡林遗址出土了一些炭化的植物种子, 包括14粒粟、1粒黍和11粒狗尾草种子(赵志军等, 2020), 还在陶器内壁炭化物、石质工具和文化层中发现了粟、黍和小麦族植物的淀粉粒(Yang等, 2012), 说明先民在距今一万年前后就已经栽培并加工粟黍, 为这两种作物的驯化提供了关键信息. 该遗址还出土了大量打制石器, 以及石斧、石磨盘和石磨棒等磨制石器, 这些石器与农业、采集或狩猎有关; 出土动物遗骸中以鹿骨居多, 还有猪、獾和软体动物(赵朝洪, 2006); 总体

中文引用格式: 吕楠宁, 王涛, 郁金城, 饶慧芸, 韩宾, 杨益民. 2023. 北京上宅遗址出土陶片的脂质分析与先民生计策略. 中国科学: 地球科学, 53(8): 1808–1816, doi: 10.1360/SSTe-2022-0145

英文引用格式: Lyu N, Wang T, Yu J, Rao H, Han B, Yang Y. 2023. Pottery lipid analysis at the Shangzhai site, Beijing, and its implication for subsistence strategy. Science China Earth Sciences, 66(8): 1789–1797, <https://doi.org/10.1007/s11430-022-1121-4>

来看, 东胡林人的生业形态处于狩猎采集阶段. 上宅遗址第5层((7207±211)cal a BP和(6863±132)cal a BP)出土的一套石磨盘和石磨棒上发现了来自24粒橡子、10粒粟、6粒黍和一些块茎类、杂草类植物的淀粉粒, 体现了粟黍的加工, 反映该时期上宅先民的生业模式以采集与农业并重(杨晓燕等, 2009). 值得注意的是, 除了东胡林遗址和上宅遗址第5层的粟黍遗存外, 目前为止其他遗址还没有报道存在粟黍遗存, 包括比上宅第5层年代更早的6~8层(第8层上限约为7500a BP), 以及更晚的3~4层(第3层下限约为6000a BP). 因此, 东胡林遗址距上宅遗址第5层之间的两千年间, 北京地区粟黍利用的证据尚未发现.

上宅遗址位于北京市平谷盆地东部上宅村西北的二级阶地上, 北依燕山山脉南临沟河, 高出南边的沟河河床10~13m(图1). 该遗址于1984年文物普查时发现, 随后在1985~1987年间经历五次发掘. 遗址全部文化堆积分为8层, 其中3~8层为新石器时代文化堆积. 出土的遗物比较丰富, 包括石质和陶质的生产工具、陶质生活用具等(郁金城等, 1989). 目前上宅遗址有四个木炭标本的¹⁴C测年数据: T0508⑧, (6580±120)a BP; T0309⑦, (6540±100)a BP; T1⑤, (6340±200)a BP; T0706⑤, (6000±105)a BP(中国社会科学院考古研究所, 1991; 索秀芬, 2006). 经OxCal 4.4.4软件校正后年代分别为: T0508⑧, 7668~7266a BP; T0309⑦, 7605~7261a BP; T1⑤, 7590~6750a BP; T0706⑤, 7160~6570a BP(网络版附图S1, <http://earthcn.scichina.com>).

根据其他地区后岗类型的数据, 第3层绝对年代约为4600~4000BCE(韩建业, 2007). 综合来看, 上宅遗址新石器时代文化堆积的绝对年代约为7500~6000a BP. 环境考古研究显示, 上宅遗址的新石器时代是全新世气候最适宜期, 植被为针阔叶混交林和草原, 存在发展农业的自然条件. 先民可以在台地上种植作物, 下河捕捞, 上山采集狩猎, 过着农耕、渔猎与采集相兼的生活. 根据遗址剖面孢粉分析, 第5文化层偏晚阶段有禾本科的农作物花粉, 反映该时期已经存在垦殖活动(周昆叔, 2007).

动物考古学、植物考古学与动植物加工有关的工具或容器分析, 以及人骨同位素分析是探讨动植物资源利用的主要方法(赵志军, 1992; 袁靖, 1995; 胡耀武等, 2008). 尽管上宅遗址出土的动植物遗存有限, 也没有发现人骨, 但是出土了一些陶片. 陶器在使用过程中, 所加工动植物的脂质分子可能吸附于内壁孔隙中. 由于脂质具有疏水性, 从而降低了它被水浸而流失的可能性, 可历经长期埋藏而保存至今(Evershed, 1993, 2008); 并且, 陶器的多孔微观结构对吸附的脂质有良好的保护作用(Heron等, 1991). 对这些残留的脂质采用合适的方法加以提取后, 可借助气相色谱与质谱联用仪(GC-MS)和气相色谱-燃烧炉-质谱联用仪(GC-C-IRMS)分析. GC-MS可以分离并分析复杂的脂质混合物, 根据脂质分布和测定的特异性生物标记物可以判断动植物来源; GC-C-IRMS可以提供特定脂肪酸的¹³C同位素值, 据此进一步判断动物类别. 通过识别

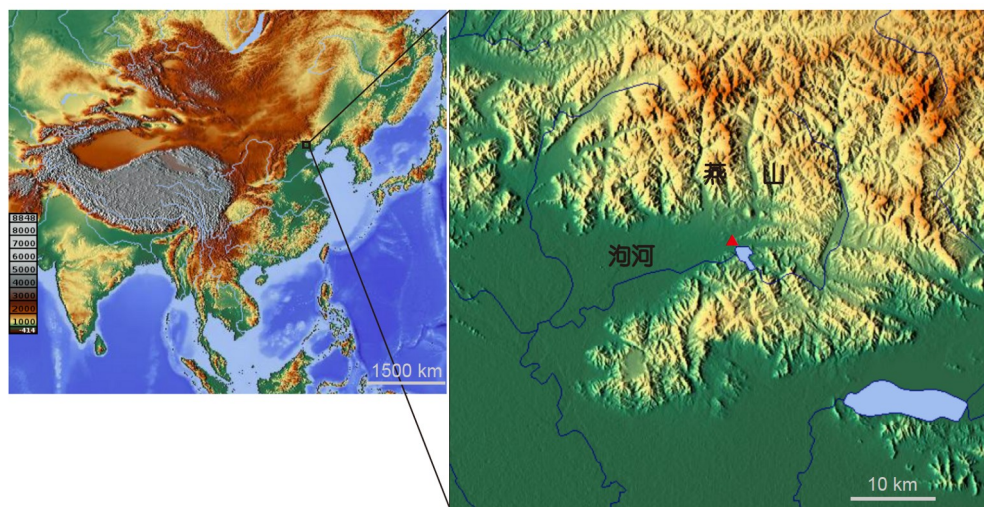


图1 上宅遗址(▲)的地理位置示意图

脂质来源, 可以了解古代动植物的加工、利用和陶器功能(Heron和Evershed, 1993; Evershed, 2008; 杨益民, 2008, 2021). 鉴于此, 本文选取上宅遗址出土的陶片作为研究对象, 开展吸附脂质分析, 探讨上宅先民的动植物利用和生计策略.

2 材料与方法

上宅遗址出土陶器的类型包括罐、钵、碗、杯、勺、器盖等. 本次共取12件陶片(编号SZ1~12), 来自陶罐(8件)和陶钵(4件), 涵盖上宅遗址新石器时代各文化层(3~8层)(表1, 附图S2). 样品的制备和分析流程可分为三个部分, 首先获取陶片粉末, 然后用有机溶剂提取其中吸附的脂质成分, 最后进行仪器分析并根据数据对脂质来源加以鉴别.

2.1 样品制备

样品制备流程参考前人研究(Correa-Ascencio和Evershed, 2014). 首先, 用电钻将陶片内壁表面打磨掉约1~3mm以避免埋藏环境引入的污染, 继续打磨并收集1g陶片粉末; 然后, 将这1g陶片粉末加入玻璃离心管A中, 加4mL甲醇, 超声15min; 再加800μL浓硫酸, 70℃加热4h; 冷却后将玻璃离心管A离心(3000r min⁻¹, 5min), 取上清液转移到玻璃离心管B中. 玻璃离心管B

中加入正己烷萃取(4mL×2次, 2mL×1次), 涡旋并静置后, 取上层液体, 通过玻璃吸管过滤再导入试管C中, 将试管C中萃取液缓慢氮吹干. 加250μL正己烷重溶并转移到进样瓶D中, 同时加入10μg C₃₆烷烃作为内标. 提取古代样品的同时, 制备一个经历相同步骤的空白样品作对照.

2.2 仪器分析

GC-MS设备为Agilent 7890A/5975C型气相色谱-质谱联用仪, 色谱条件: HP-5HT弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm×0.10μm); 载气为高纯氦气; 不分流模式, 进样量1μL; 进样口温度260℃; 接口温度280℃; 升温程序: 50℃保持2min, 以10℃ min⁻¹升温至320℃, 保持5min. 质谱条件: 离子源为EI源, 电子能量为70eV, 离子源温度230℃, 四极杆温度150℃. GC-C-IRMS测试所用设备为Isoprime 100型同位素质谱仪, Agilent 7890B色谱仪; 同位素质谱仪与色谱仪接口为Isoprime GC 5 (850℃). 色谱条件: HP-5型色谱柱(30m×0.32mm×0.25μm); 升温程序: 100℃保持1min, 以10℃ min⁻¹升温至300℃, 保持20min; 载气为高纯氦气. 质谱条件: 电子能量为80eV; 测试误差范围±0.5‰, 仪器精密度为0.2‰. 测试后用已知δ¹³C值的标准样品校正; 碳同位素值以相对国际碳标准VPDB的δ¹³C值表示.

表 1 上宅遗址陶片样品出土背景及形态特征

编号	出土单位	器型	样品描述
SZ1	T1206⑧	筒形罐腹壁	夹粗砂红褐陶, 粒径大小不一, 外壁自上而下施有宽约1.2cm的弦纹, 1.7cm的滚压麻点状纹饰, 0.8cm的竖向划纹, 0.7cm的斜向划纹
SZ2	T1207⑧	筒形罐底	夹粗砂红褐陶, 粒径大小不一, 可见泥片贴筑痕迹, 素面
SZ3	T0307⑦	圈足钵残底	夹细砂褐陶, 底部有较为明显的圈足拼接痕迹, 外壁饰之字纹
SZ4	T0407⑦(1)	圈足钵口沿	夹细砂红褐陶, 方唇, 素面, 内壁为黑色. 麝和料中有滑石粉
SZ5	T0609⑥(1)	罐底	夹砂红褐陶, 内壁为黑色, 可见明显拼接痕迹
SZ6	T0507④	罐底	夹粗砂红褐陶, 断面可见明显泥片贴筑痕迹, 外壁饰斜向刮条纹
SZ7	T0507⑤	罐腹壁	夹粗砂红陶, 内壁黑色, 外壁抹压条纹, 可见明显泥条盘筑痕迹, 泥条宽约2.3~2.6cm
SZ8	T0606⑤(1)	浅腹钵	泥质红褐陶, 素面
SZ9	T0707④B(1)	罐腹壁	夹粗砂红褐陶, 素面
SZ10	T0807⑤	罐口沿	夹粗砂红褐陶, 内壁黑色, 外壁饰横向抹压条纹
SZ11	T0207③	红陶钵口沿	泥质红褐陶
SZ12	85T0307③(灰)	罐口沿	夹粗砂褐陶, 内壁黑色, 外壁饰三角划纹

3 结果与讨论

3.1 油脂来源分析

在空白样品中未检测到脂质组分. 在所有陶片样品的提取物中都检测到了多种类型的脂质(表2), 大多数样品含有饱和脂肪酸(SFA)、不饱和脂肪酸(UFA)、二元羧酸(DI)、支链饱和脂肪酸(br); 其中, 二元羧酸由含有不饱和双键的脂肪酸氧化降解生成(Regert等, 1998). 以上脂质是常见的动植物油脂降解产物. 此外, 还有来源于植物的五环三萜类化合物.

脂质中以偶碳数的饱和脂肪酸为主, 大部分样品中棕榈酸(Palmitic acid, P, C_{16:0})和硬脂酸(Stearic acid, S, C_{18:0})含量最高. 棕榈酸和硬脂酸是动植物油脂中的

主要脂肪酸, 二者含量的比值P/S(C_{16:0}/C_{18:0})能反映动植物油脂的来源. 经计算, 2件样品的P/S比值>4, 10件样品的P/S比值≤2.1, 后者中4件样品的P/S值≤1(表2); P/S>4是植物油脂来源的强有力指示性标准, P/S<1则为动物油脂来源的指示性标准(Romanus等, 2007; Dunne等, 2016; Drieu等, 2021), 而4>P/S>1则可能是动植物油脂混合物. 壬二酸(Azelaic acid)与棕榈酸的含量比值(A/P)也是油脂鉴定的标准之一, 即A/P>0.3可认为是植物干性油(Wei等, 2015). 由于大部分样品不含壬二酸或A/P值较低(<0.3), 因此绝大多数样品应非干性油. 综合上述标准, 可初步判断陶片SZ1、SZ5和SZ9提取物为植物油脂, SZ2、SZ3、SZ4和SZ10的

表 2 上宅遗址陶片样品的主要脂质^{a)}

编号	脂质							动植物来源
	脂质含量 (μg g ⁻¹)	主要脂质成分	P/S	A/P	δ ¹³ C _{16:0} (‰)	δ ¹³ C _{18:0} (‰)	Δ ¹³ C(‰)	
SZ1	22.8	SFA(C _{10:0} ~C _{18:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1})	4.0	0	—	—	—	植物油脂
SZ2	102.6	SFA(C _{11:0} ~C _{26:0} , C _{28:0}); br(C _{17:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{20:1} , C _{22:1}); DI(C ₇ ~C ₁₀); C ₁₈ APAAs; Lup.; A, M, B	0.8	0.14	-29.47	-30.53	-1.1	反刍动物体脂, 黍
SZ3	104.9	SFA(C _{9:0} ~C _{25:0}); br(C _{15:0} , C _{17:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1}); DI(C ₈ , C ₉); A, M, B	0.8	0.21	-29.83	-31.74	-1.9	反刍动物体脂, 黍
SZ4	79.2	SFA(C _{9:0} ~C _{22:0}); br(C _{17:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1}); A, M	1.0	0	-27.28	-29.82	-2.5	反刍动物体脂, 黍
SZ5	60.0	SFA(C _{12:0} , C _{15:0} , C _{16:0} , C _{18:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1})	12.6	0	—	—	—	植物油脂
SZ6	61.9	SFA(C _{9:0} ~C _{30:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{21:1} , C _{22:1}); DI(C ₈ , C ₉ , C ₁₆); A, M	1.3	0.30	-28.79	-29.08	-0.3	反刍动物体脂, 黍, 植物油脂
SZ7	72.3	SFA(C _{9:0} ~C _{28:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{20:1} , C _{22:1}); DI(C ₈); A, M	1.4	0	-30.11	-29.07	1.1	非反刍动物油脂, 黍, 植物油脂
SZ8	27.1	SFA(C _{12:0} , C _{14:0} ~C _{16:0} , C _{18:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1})	1.1	0	-28.65	-33.58	-4.9	反刍动物乳脂, 植物油脂
SZ9	27.0	SFA(C _{12:0} ~C _{18:0} , C _{20:0} , C _{22:0} , C _{24:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1}); DI(C ₉); Camp.	2.1	0.70	-31.31	-30.86	0.5	植物油脂
SZ10	176.4	SFA(C _{9:0} ~C _{28:0} , C _{30:0}); br(C _{15:0} , C _{17:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{22:1}); DI(C ₈ ~C ₁₁ , C ₁₃); Phy.; C ₁₈ APAAs; A, M, B	0.5	0.01	-29.56	-31.90	-2.3	反刍动物体脂, 黍
SZ11	34.5	SFA(C _{10:0} ~C _{28:0} , C _{30:0}); br(C _{15:0} , C _{17:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{20:1} , C _{22:1}); DI(C ₈ ~C ₁₀); Stig.; A, M	1.6	0.09	-27.79	-29.73	-1.9	反刍动物体脂, 黍, 植物油脂
SZ12	40.8	SFA(C _{8:0} ~C _{28:0}); UFA(C _{16:1} , C _{18:1} , C _{22:1}); DI(C ₈ , C ₁₀)	1.4	0	-30.80	-26.24	4.6	非反刍动物油脂, 植物油脂

a) “—”表示未检测; SFA, saturated fatty acid, 饱和脂肪酸; UFA, unsaturated fatty acids, 不饱和脂肪酸; DI, dicarboxylic acids, 二元羧酸; br, branched chain acids, 支链饱和脂肪酸; (Cn:x)中n表示碳原子个数, x表示不饱和键个数; A, β-myrrin ME; B, α-myrrin ME; M, miliacin; Lup., Lup-20(29)-en-3-one; Camp., Campesterol; Stig., Stigmasta-3,5-diene; Phy., Phytanic acid; P/S=Palmitic acid/Stearic acid; A/P=Azelaic acid/Palmitic acid; Δ¹³C=δ¹³C_{18:0}-δ¹³C_{16:0}

提取物为动物油脂, 其余样品为动植物油脂混合物。SZ2、SZ3、SZ10提取物中奇数碳直链饱和脂肪酸 $C_{15:0}$ 和 $C_{17:0}$ 及其对应支链脂肪酸的含量较为显著, 符合典型反刍动物体脂的特征(Christie, 1978; Dudd等, 1999), 说明这三件样品以反刍动物体脂来源为主。

邻烷基苯基烷酸(ω -(*o*-alkylphenyl)alkanoic acids, APAAs)是由相应碳链长度的不饱和脂肪酸受热降解而产生的一种含苯环的脂肪酸, 自然界中不存在, 在埋藏环境中十分稳定(Hansel等, 2004)。常见的APAAs根据碳原子个数(n)不同可分为 $n \leq 18$ 和 $n \geq 20$ 两类, C_{20} APAA和 C_{22} APAA在淡水动物和海产品中含量显著, C_{16} APAA和 C_{18} APAA等链长较短的APAA也存在于富含不饱和脂肪酸的陆生动物组织中。因此, 有无 C_{20} APAA等长链APAA是鉴定水产品的重要标准之一, 有研究进一步指出 C_{20} APAA/ C_{18} APAA ≥ 0.06 作为鉴别水产品的标准之一(Bondetti等, 2021)。此外, 异戊二烯酸4,8,12-三甲基十三烷酸(4,8,12-trimethyltridecanoic acid, 简称4,8,12-TMTD)仅存在于水产品中, 也是鉴定水产品的重要标准(Evershed等, 2008)。本研究中共12件样品均未检测到 C_{20} 或碳链更长的APAAs和4,8,12-TMTD, 仅在样品SZ2、SZ6、SZ10中检测到 C_{18} APAA, 因此其来源可能不是水产品。此外, 样品SZ10(图2a)中还检测到了甲酯化的植烷酸(Hexadecanoic acid, 3,7,11,15-tetramethyl-, methyl ester, Phytanic acid)。植烷酸也是一种异戊二烯酸, 常见于水产品提取物中, 但反刍动物的血浆、组织、乳脂或乳制品中

也含有微量植烷酸(Corr等, 2008; Heron和Craig, 2015)。根据上述讨论, 本文所分析的样品应该没有水产品来源。

不同动物组织的脂肪酸 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 由于代谢差异而产生不同的脂肪酸单体碳同位素值, Copley等(2003)根据这一原理对以 C_3 植物为食的现代非反刍动物(猪)体脂、反刍动物(山羊、绵羊和牛)体脂和乳脂进行了区分(图3)。该模型已在许多研究中得到广泛应用, 如果数据正向偏离了以 C_3 植物为食的动物油脂置信椭圆范围, 则认为其食谱中包含了 C_4 植物(Han等, 2022)。

本文10件陶片提取物的 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 浓度超过 $5 \mu\text{g g}^{-1}$, 满足开展脂肪酸单体碳同位素分析的条件。 $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ 值和 $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ 值范围分别为 $-32 \sim -27\text{‰}$, $-32 \sim -26\text{‰}$ (表2)。按照 $\Delta^{13}\text{C} (= \delta^{13}\text{C}_{18:0} - \delta^{13}\text{C}_{16:0})$ 值可以分为三类(图3)(Copley等, 2003)。第一类 $\Delta^{13}\text{C} > -0.3\text{‰}$, 样品SZ7、SZ9和SZ12落在该范围, 其中SZ9以植物油脂为主, 其脂肪酸单体碳同位素值也落在 C_3 植物范围内; SZ7和SZ12以动物油脂为主, 位于淡水资源和陆生非反刍动物重叠的区域, 因此可能来源于二者之一或者为二者的混合物(Lucquin等, 2016)。由于样品SZ7和SZ12中没有检测到水产品的生物标记物, 因此更可能为陆生非反刍动物; 此外, 由于与非反刍动物猪体脂的脂肪酸单体碳同位素值置信椭圆范围存在一定差距, 推测很可能是鸟类、兔科或马科等非反刍动物体脂及其混合物(Evershed等, 2002; Bull等, 2009; Drieu等, 2021)。第二类, $-0.3\text{‰} > \Delta^{13}\text{C} > -3.3\text{‰}$, 样品SZ2、

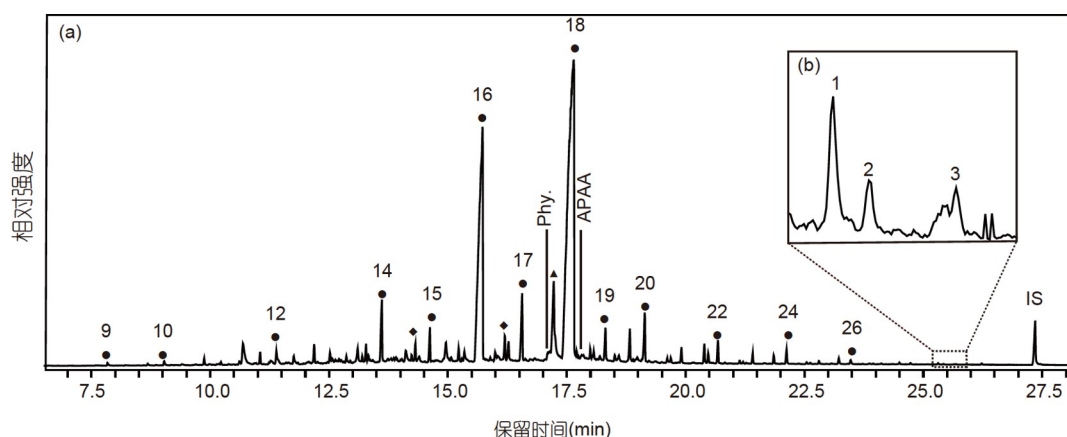
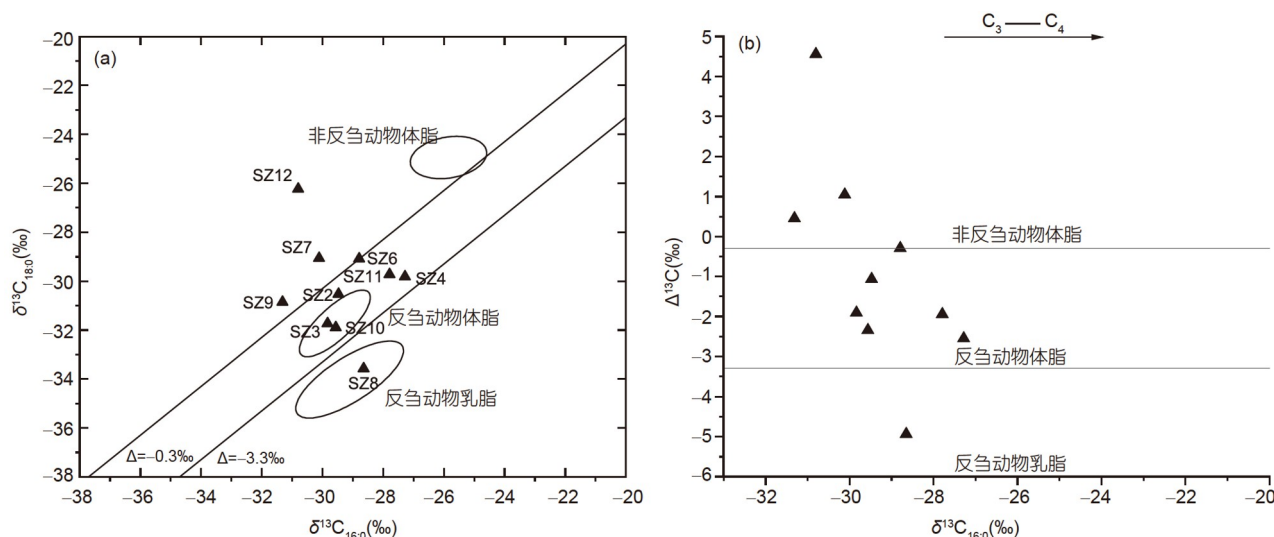


图2 SZ10部分离子流图

(a) SZ10主要脂质, 包括饱和脂肪酸(●)、支链饱和脂肪酸(◆)、单不饱和脂肪酸(▲)、Phytanic acid植烷酸(Phy.)、 C_{18} 邻烷基苯基烷酸(APAA)、 C_{36} 烷烃内标(IS)。 (b) 五环三萜类化合物: 1, β -amyrin ME; 2, Miliacin, 黍素; 3, α -amyrin ME

图 3 $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ 和 $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ 值散点图

(a) $\delta^{13}\text{C}_{16:0}$ - $\delta^{13}\text{C}_{18:0}$ 置信椭圆由上至下分别代表非反刍动物体脂(猪体脂)、反刍动物(牛和羊)体脂和乳脂, 数据基于 C_3 类植物喂养的现代动物;
 (b) $\Delta^{13}\text{C} = \delta^{13}\text{C}_{18:0} - \delta^{13}\text{C}_{16:0}$, 图中两条直线分别对应 $\Delta = -0.3$ ‰, $\Delta = -3.3$ ‰

SZ3、SZ4、SZ6、SZ10、SZ11落在该范围, 属于反刍动物体脂; 且由图3b可以看出, 样品所代表的反刍动物以食用 C_3 类植物为主。中国北方常见的反刍动物有牛、羊、鹿等, 动物考古研究表明, 反刍动物里面家养牛和羊最早被引进中国, 均在距今5600~5000年前出现在甘青一带, 而后在距今4500~4000年之间进入中原(Yuan, 2021), 均晚于样品的年代。因此, 上宅遗址中的第二类样品应该是以 C_3 类植物为食的野生反刍动物, 如鹿。第三类 $\Delta^{13}\text{C} < -3.3$ ‰, 仅样品SZ8, 其 $\Delta^{13}\text{C}$ 值为 -4.9 ‰, 低于牛羊体脂 $\Delta^{13}\text{C}$ 值下限 -3.3 ‰(Copley等, 2003), 也低于鹿体脂 $\Delta^{13}\text{C}$ 值下限 -4.3 ‰(Craig等, 2012; Carrer等, 2016), 因此推测SZ8来源于野生反刍动物乳脂。北京地区新石器时代的动物遗存鉴定数据较少, 但东胡林遗址出土鹿骨数量较多(赵朝洪, 2006); 燕山北面兴隆洼文化和赵宝沟文化时期的遗址均出土了大量鹿骨(于博文, 2020), 反映在当时的燕山南北地区鹿是比较常见的野生反刍动物, 上宅地区也应该有鹿的存在; 因此, 进一步推测SZ8的脂质来源应为鹿的乳脂。考虑到当时的驯养技术和条件, 可能是把野生的鹿圈养后取奶。民族学显示, 用驯鹿奶制作的驯鹿奶茶是狩猎民族鄂温克人自古以来的传统饮料, 此外, 驯鹿奶还可制作乳酪品(卡丽娜, 2004)。

3.2 粟黍的传播

7件陶片中发现了多种三萜类化合物, 除了植物油脂中常见的菜油甾醇(Campesterol)和豆甾二烯(Stigmasta-3,5-diene)外, 还有图2b中所展示的三种五环三萜类化合物(pentacyclic triterpene methyl ethers, PTMEs), 分别被鉴定为 β -amyrin ME(olean-12-en-3 β -ol ME, M^+440 , m/z , 425,218,203,189,109(100%))、milia-cin(olean-18-en-3 β -ol ME, M^+440 , m/z , 425,204,189(100%), 177, 黍素)、 α -amyrin ME(urs-12-en-3 β -ol ME, M^+440 , m/z , 425,218(100%),203,189,109)。这三种PTMEs均在黍中被检测到过, 被认为是黍的生物标记物(Bossard等, 2013; Heron等, 2016; Courel等, 2017; Ganzarolli等, 2018), 而且可以被吸附到陶器内部孔隙中(Heron等, 2016)。黍素结构中第三号碳位上(C-3)存在一个甲氧基基团, 使得黍素对生物降解有很强的抵抗力(Jacob等, 2005)。前人工作表明, 黍素在粟和黍的现代样品中含量均十分显著, 可以根据与其他萜类的组合进一步区分黍和粟(Lu等, 2009): β -amyrin ME和 α -amyrin ME仅见于现代黍的提取物中, 现代粟中不含, 而且粟含有一种特有的化合物, 其碎片离子质量数为 M^+440 , m/z , 425, 397 (100%), 365, 261, 229, 218, 204, 189, 175, 161, 135。根据这一原则, 7件含PTMEs的

陶片可以分为两类, 第一类仅含有 β -amyrin ME和miliacin(4件), 第二类含有 β -amyrin ME, α -amyrin ME, miliacin(3件); 这两种类型的组合均不含粟特有的化合物, 而是指向黍来源。这7件吸附了黍的陶片涵盖上宅遗址的3~8文化层, 说明在距今7500~6000年前, 上宅地区先民食用黍。

中国北方是以种植粟和黍为代表的旱作农业的起源地, 在旱作农业起源和发展阶段, 北方地区许多遗址出土了粟黍遗存(赵志军, 2020)。以磁山遗址和裴李岗文化相关遗址为代表的中原地区和以兴隆沟遗址为代表的东北地区出土的粟黍遗存的年代最早(何红中, 2010)。但是, 有关粟黍在北方的具体起源地和传播路线等问题尚存在争议。目前可能的起源地包括太行山地区、宝鸡渭水流域、关中地区、泰山-沂蒙地区、西辽河上游地区、桑干河-永定河和大清河-拒马河流域(李国强, 2018)。上宅遗址最早的地层比东胡林遗址的下限年代晚约1500年, 目前北京地区尚没有这期间的粟黍遗存出土, 上宅遗址发现的黍是否为北京地区旱作农业的延续仍有待验证。根据考古学文化面貌, 上宅最早的第8层遗存与东北地区属于同一文化系统, 4~7层遗存与由兴隆洼文化发展而来的赵宝沟文化相似(郭京宁, 2005; 韩建业, 2007), 因此上宅地区种植黍可能受到了赵宝沟文化的影响。

3.3 器物功能

陶罐和陶钵都吸附了动植物油脂。陶罐多夹粗砂, 可能为耐火的炊器, 陶钵为夹细砂或泥质陶, 可能为盛器。部分陶罐内壁呈黑色, 且质地细腻光滑, 如SZ5、SZ7、SZ10、SZ12(附图S2), 结合侧面观察, 内壁应该经过了渗碳工艺处理或涂抹了一层薄薄的涂敷层, 使得陶器内壁致密而不易渗漏(李文杰和黄素英, 1985; 谭宇羚和汪常明, 2022), 也或许还起到防止食物黏附的作用。类似案例还有浙江跨湖桥遗址(8000~7000a BP)和河姆渡遗址(7000~5000a BP)出土的陶器, 兴隆洼文化时期(8000~7500a BP)的陶钵(崔剑锋等, 2022), 以及年代更早的上山遗址(10000~8500a BP)出土的陶盆和陶罐(浙江省文物考古研究所和浦江博物馆, 2016)。可见, 新石器时代先民已经掌握了一些使内壁更加致密的制陶工艺。

此外, 部分陶罐外壁均无火烧痕迹, 而内壁有裂痕, 上宅遗址出土的其他陶罐中很多也存在此类现象,

这可能是在陶器内添加热源来加热食物, 即内加热法所致, 例如石煮法。石煮法指的是将高温的石头投入容器中, 将食物加热变熟, 或炖或煮, 适合熬多油脂的汤或煮淀粉类植物籽粒粥(刘莉, 2006; 于春, 2012)。石煮法所用陶器一般敞口、平底、厚胎, 陶胎夹杂羴合料, 敞口方便搅拌, 平底可以更好地承受石头投入的冲击, 还可以均匀地吸收石头发出的热量并扩散, 夹粗砂可以缓解反复受热开裂的问题。这些特征与上宅遗址出土陶罐的特征相符, 结合在其中发现的动植物油脂推测, 上宅人可能在陶罐中采用了石煮法加热食物。石煮法的应用早有先例, 东胡林遗址火塘以及共存的有明显火烧痕迹的石块应当是东胡林先民使用石煮法的遗迹; 东胡林遗址陶器和上山遗址出土陶器(袁广阔和王涛, 2017), 以及兴隆沟遗址第一地点兴隆洼文化中期的陶罐特征也与石煮法所用陶器特征一致(崔剑锋等, 2022)。

4 结论

新石器时代是以粟黍为代表的旱作农业起源与发展的重要时期, 上宅遗址出土陶片的脂质分析表明, 上宅地区先民在新石器时代中晚期(7500~6000a BP)食用黍, 为新石器时代中晚期旱作农业在北京地区的发展提供了重要信息。

脂质组成和脂肪酸单体碳同位素值显示, 陶片中吸附的动物油脂主要来源于以 C_3 植物为食的野生反刍动物油脂, 说明野生反刍动物是先民重要的肉食来源。此外, 还发现一件样品来源可能是鹿的乳脂, 说明先民对野生动物资源的利用涉及了次级产品的开发。结合其他考古学证据, 推测上宅先民实行采集、狩猎和旱作农业并行的生业经济模式。

此外, 结合制陶工艺、裂痕等信息, 我们认为上宅先民使用作为炊器的陶罐加热食物的方法可能为石煮法。

致谢 感谢首都师范大学闫铭协助挑选样品, 感谢审稿人和责任编辑对本文修改提出宝贵建议。

参考文献

崔剑锋, 肖红艳, 刘国祥. 2022. 从烧烤到炖煮——兴隆沟遗址出土

- 不同时代陶器的制作工艺与使用方式比较研究. 考古学研究, 13: 683–694
- 郭京宁. 2005. 自然环境与北京地区的新石器时代文化. 首届“地球科学与文化”学术研讨会暨中国地质学史专业委员会第17届学术年会论文集. 215–219
- 韩建业. 2007. 试论北京地区的新石器时代文化. 文物春秋, 5: 13–19
- 何红中. 2010. 中国古代粟作研究. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学. 13–27
- 胡耀武, Richards M P, 刘武, 王昌燧. 2008. 骨化学分析在古人类食物结构演化研究中的应用. 地球科学进展, 3: 228
- 卡丽娜. 2004. 驯鹿鄂温克人文化研究. 博士学位论文. 北京: 中央民族大学. 72
- 李国强. 2018. 北方距今八千年前后粟、黍的传播及磁山遗址在太行山东线的中转特征. 南方文物, 1: 229–251, 188
- 李文杰, 黄素英. 1985. 浅说大溪文化陶器的渗碳工艺. 江汉考古, 4: 46–51
- 刘莉. 2006. 植物质陶器、石煮法及陶器的起源: 跨文化的比较. 西部考古, 1: 32–42
- 索秀芬. 2006. 燕山南北地区新石器时代文化研究. 博士学位论文. 吉林: 吉林大学. 51
- 谭宇玲, 汪常明. 2022. 广西仫佬族煤砂陶渗碳工艺调查研究. 陶瓷科学与艺术, 3: 16–18
- 杨晓燕, 郁金城, 吕厚远, 崔天兴, 郭京宁, 刁现民, 孔昭宸, 刘长江, 葛全胜. 2009. 北京平谷上宅遗址磨盘磨棒功能分析: 来自植物淀粉粒的证据. 中国科学D辑: 地球科学, 39: 1266–1273
- 杨益民. 2008. 古代残留物分析在考古中的应用. 南方文物, 2: 20–25
- 杨益民. 2021. 中国有机残留物分析的研究进展及展望. 人类学学报, 3: 535–545
- 于博文. 2020. 辽西地区新石器时代的生业研究. 硕士学位论文. 辽宁: 辽宁师范大学. 14–24
- 于春. 2012. 四川汉源县商周遗址卵石堆积与石煮法. 四川文物, 4: 37–42
- 郁金城, 王武钰. 北京市文物研究所, 北京市平谷县文物管理所. 1989. 北京平谷上宅新石器时代遗址发掘简报. 文物, 8: 1–8, 16
- 郁金城. 2002. 从北京转年遗址的发现看我国华北地区新石器时代早期文化的特征. 北京文物与考古, 5: 37–43
- 袁广阔, 王涛. 2017. 试论早期陶器起源与形成的途径. 洛阳考古, 4: 29–32
- 袁靖. 1995. 研究动物考古学的目标、理论和方法. 中国历史博物馆馆刊, 1: 59–68
- 赵朝洪. 2006. 北京市门头沟区东胡林史前遗址. 考古, 7: 3–8, 97–98
- 赵志军, 赵朝洪, 郁金城, 王涛, 崔天兴, 郭京宁. 2020. 北京东胡林遗址植物遗存浮选结果及分析. 考古, 7: 99–106
- 赵志军. 1992. 植物考古学概述. 农业考古, 1: 26–31
- 赵志军. 2020. 新石器时代植物考古与农业起源研究. 中国农史, 3: 3–13
- 浙江省文物考古研究所, 浦江博物馆. 2016. 浦江上山. 北京: 文物出版社. 67–106
- 中国社会科学院考古研究所. 1991. 中国考古学中碳十四年代数据集(1965~1991). 北京: 文物出版社. 17–18
- 周昆叔. 2007. 上宅新石器文化遗址环境考古. 中原文物, 2: 19–24
- Bondetti M, Scott E, Courel B, Lucquin A, Shoda S, Lundy J, Labrado C, Drieu L, Craig O E. 2021. Investigating the formation and diagnostic value of ω -(*o*-alkylphenyl)alkanoic acids in ancient pottery. *Archaeometry*, 63: 594–608
- Bossard N, Jacob J, Le Milbeau C, Sauze J, Terwilliger V, Poissonnier B, Vergès E. 2013. Distribution of miliacin (olean-18-en-3 β -ol methyl ether) and related compounds in broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) and other reputed sources: Implications for the use of sedimentary miliacin as a tracer of millet. *Org Geochem*, 63: 48–55
- Bull I D, Berstan R, Vass A, Evershed R P. 2009. Identification of a disinterred grave by molecular and stable isotope analysis. *Sci Justice*, 49: 142–149
- Carrer F, Colonese A C, Lucquin A, Petersen Guedes E, Thompson A, Walsh K, Reitmaier T, Craig O E. 2016. Chemical analysis of pottery demonstrates prehistoric origin for high-altitude alpine dairying. *PLoS One*, 4: E0151442
- Christie W W. 1978. The composition, structure and function of lipids in the tissues of ruminant animals. *Prog Lipid Res*, 2: 111–205
- Copley M S, Berstan R, Dudd S N, Docherty G, Mukherjee A J, Straker V, Payne S, Evershed R P. 2003. Direct chemical evidence for widespread dairying in prehistoric Britain. *Proc Natl Acad Sci USA*, 100: 1524–1529
- Corr L T, Richards M P, Jim S, Ambrose S H, Mackie A, Beattie O, Evershed R P. 2008. Probing dietary change of the Kwāday Dān Ts'inchī individual, an ancient glacier body from British Columbia: I. Complementary use of marine lipid biomarker and carbon isotope signatures as novel indicators of a marine diet. *J Archaeol Sci*, 35: 2102–2110
- Correa-Ascencio M, Evershed R P. 2014. High throughput screening of organic residues in archaeological potsherds using direct acidified methanol extraction. *Anal Methods*, 6: 1330–1340
- Courel B, Schaeffer P, Adam P, Motsch E, Ebert Q, Moser E, Féliu C, Bernasconi S M, Hajdas I, Ertlen D, Schwartz D. 2017. Molecular, isotopic and radiocarbon evidence for broomcorn millet cropping in Northeast France since the Bronze Age. *Org Geochem*, 110: 13–24
- Craig O E, Allen R B, Thompson A, Stevens R E, Steele V J, Heron C. 2012. Distinguishing wild ruminant lipids by gas chromatography/combustion/isotope ratio mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 26: 2359–2364
- Drieu L, Lucquin A, Cassard L, Sorin S, Craig O E, Binder D, Regert M. 2021. A Neolithic without dairy? Chemical evidence from the

- content of ceramics from the Pendimoun rock-shelter (Castellar, France, 5750–5150 BCE). *J Archaeol Sci-Rep*, 35: 102682
- Dudd S N, Evershed R P, Gibson A M. 1999. Evidence for varying patterns of exploitation of animal products in different prehistoric pottery traditions based on lipids preserved in surface and absorbed residues. *J Archaeol Sci*, 26: 1473–1482
- Dunne J, Mercuri A M, Evershed R P, Bruni S, Di Lernia S. 2016. Earliest direct evidence of plant processing in prehistoric Saharan pottery. *Nat Plants*, 16194
- Evershed R P, Copley M S, Dickson L, Hansel F A. 2008. Experimental evidence for the processing of marine animal products and other commodities containing polyunsaturated fatty acids in pottery vessels. *Archaeometry*, 50: 101–113
- Evershed R P. 1993. Biomolecular archaeology and lipids. *World Archaeol*, 25: 74–93
- Evershed R P. 2008. Organic residue analysis in archaeology: The archaeological biomarker revolution. *Archaeometry*, 50: 895–924
- Evershed R P, Dudd S N, Copley M S, Mutherjee A. 2002. Identification of animal fats via compound specific $\delta^{13}\text{C}$ values of individual fatty acids: Assessments of results for reference fats and lipid extracts of archaeological pottery vessels. *Doc praeh*, 29: 73–96
- Ganzaroli G, Alexander M, Chavarria Arnau A, Craig O E. 2018. Direct evidence from lipid residue analysis for the routine consumption of millet in Early Medieval Italy. *J Archaeol Sci*, 96: 124–130
- Han B, Sun Z, Chong J, Lyu N, Rao H, Yang Y. 2022. Lipid residue analysis of ceramic vessels from the Liujiawa site of the Rui State (early Iron Age, north China). *J Quat Sci*, 37: 114–122
- Hansel F A, Copley M S, Madureira L A S, Evershed R P. 2004. Thermally produced ω -(*o*-alkylphenyl)alkanoic acids provide evidence for the processing of marine products in archaeological pottery vessels. *Tetrahedron Lett*, 45: 2999–3002
- Heron C, Craig O E. 2015. Aquatic resources in foodcrusts: Identification and implication. *Radiocarbon*, 57: 707–719
- Heron C, Evershed R P, Goad L J. 1991. Effects of migration of soil lipids on organic residues associated with buried potsherds. *J Archaeol Sci*, 18: 641–659
- Heron C, Evershed R P. 1993. The Analysis of organic residues and the study of pottery use. *Archaeol Method Theor*, 5: 247–284
- Heron C, Shoda S, Breu Barcons A, Czebreszuk J, Eley Y, Gorton M, Kirleis W, Kneisel J, Lucquin A, Müller J, Nishida Y, Son J, Craig O E. 2016. First molecular and isotopic evidence of millet processing in prehistoric pottery vessels. *Sci Rep*, 6: 38767
- Jacob J, Disnar J R, Boussafir M, Spadano Albuquerque A L, Sifeddine A, Turcq B. 2005. Pentacyclic triterpene methyl ethers in recent lacustrine sediments (Lagoa do Caçó, Brazil). *Org Geochem*, 36: 449–461
- Lu H, Zhang J, Liu K, Wu N, Li Y, Zhou K, Ye M, Zhang T, Zhang H, Yang X, Shen L, Xu D, Li Q. 2009. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106: 7367–7372
- Lucquin A, Gibbs K, Uchiyama J, Saul H, Ajimoto M, Eley Y, Radini A, Heron C P, Shoda S, Nishida Y, Lundy J, Jordan P, Isaksson S, Craig O E. 2016. Ancient lipids document continuity in the use of early hunter-gatherer pottery through 9,000 years of Japanese prehistory. *Proc Natl Acad Sci USA*, 113: 3991–3996
- Regert M, Bland H A, Dudd S N, Bergen P F V, Evershed R P. 1998. Free and bound fatty acid oxidation products in archaeological ceramic vessels. *Proc R Soc Lond B*, 265: 2027–2032
- Romanus K, Poblome J, Verbeke K, Luypaerts A, Jacobs P, De Vos D, Waelkens M. 2007. An evaluation of analytical and interpretative methodologies for the extraction and identification of lipids associated with pottery sherds from the site of Sagalassos, Turkey. *Archaeometry*, 49: 729–747
- Wei S, Li Y, Ma Q, Lou S, Schreiner M. 2015. Characterization of Tang Dynasty lamp oil remains by using pyrolysis gas chromatography and mass spectrometry. *J Anal Appl Pyrolysis*, 116: 237–242
- Yang X, Wan Z, Perry L, Lu H, Wang Q, Zhao C, Li J, Xie F, Yu J, Cui T, Wang T, Li M, Ge Q. 2012. Early millet use in northern China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109: 3726–3730
- Yuan J. 2021. A zooarchaeological study on the origins of animal domestication in ancient China. *Chin Ann Hist Sci Tech*, 1: 1–26

(责任编辑: 秦岭)