

甘肃酒泉西沟村魏晋墓铜甗釜残留物的脂质分析

任 萌¹, 罗武干^{1,2}, 赵亚军³, 麦慧娟^{1,2}, 饶慧芸^{1,2}, 杨益民^{1,2}, 王昌燧^{1,2}

(1. 中国科学院大学人文学院科技史与科技考古系, 北京 100049;

2. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044; 3. 甘肃省文物考古研究所, 甘肃兰州 730050)

摘要: 残留物分析可为器物用途提供直接证据。铜甗是古代重要的炊具之一, 其用途在文献上有较多记载, 但残留物分析甚少。甘肃酒泉西沟村魏晋墓 M5 出土铜甗釜(分体甗)下半部分的釜内存有一些白色膏状残留物, 为了解其生物来源和该器物的功能, 本工作利用红外光谱、脂质分析及单体脂肪酸稳定碳同位素等方法进行了综合分析。结果表明, 这些白色膏状残留物应为反刍动物油脂, 推测是蒸制铜甗中的牛肉或羊肉时渗流下来而成, 这为该釜甗组合作为炊蒸器用于加工肉食提供了有力证据。鉴于墓 M5 具有浓郁的游牧文化风格, 而铜甗是典型的中原汉人炊具, 这也反映了魏晋时期当地汉人与北方游牧民族在饮食文化方面的交流与融合。

关键词: 铜甗釜; 残留物; 脂质分析; 单体脂肪酸稳定碳同位素; 饮食文化

中图分类号: K875.2 **文献标识码:** A

0 引 言

釜和甗是古代炊具, 上甗下釜组合为分体甗, 其功能与现代蒸锅相近, 二者以多孔的箅相隔, 蒸气通过箅孔将食物蒸熟。关于其功能和使用方式, 《博物图录》记载“甗之为器, 上若甗而足以炊物, 下若鬲而足以饪物, 盖兼二器而为之。”此外, 考古出土的铜甗常见炙痕、烟炆痕^[1,2], 也反映了甗是用于炊蒸的实用器。

遗址中出土器物功能的研究一直是考古学研究的重点之一, 传统的研究方法是根据器物形态, 参考考古文献和民族学的资料加以推断, 能得到的信息比较有限, 而残留物分析则能够从分子层面提供信息, 在考古学研究中具有重要的意义。古代人类在从事生产活动与日常生活中, 一些有机物可能会保存在相关器物或工具上; 通过一定的分离和鉴定技术, 可以探明残留物的种类来源, 从而揭示与人类活动相关的动植物及其利用情况, 为器物功能解读提供更为准确的信息^[3]。目前残留物研究主要针对生物标记物^[4]、糖类(淀粉)^[5-9]、蛋白质^[10-16]和脂类等四方面。脂类物质是生物体的重要组成, 包括脂肪酸和醇形成的酯类及其衍生物, 不同生物所含脂类

物质的成分和比例有所差异, 可用于区分生物种类^[17]。脂质分析的主要手段为气相色谱-质谱联用(GC-MS)和气相色谱-同位素质谱仪(GC-C-IRMS), 已成功鉴别了叶片的角质层蜡^[18,19]、桦树皮焦油^[20,21]、树脂^[22,23]、蜂蜡^[21,23]和降解的动物脂肪^[24-26]等。20 世纪 90 年代, GC-C-IRMS 技术开始应用于古代残留物的分析中, 通过测试脂类单体的 $\delta^{13}\text{C}$ 比值, 可为样品生物来源的判断提供更多依据^[27,28]。

1993 年 8 月至 11 月, 甘肃省考古研究所在酒泉市西沟村发掘清理了 7 座魏晋时期的墓葬, 其中 5 号墓(M5)出土一套铜甗釜, 在下面的铜釜内发现有白色的膏状残留物。本工作通过红外光谱分析判断残留物为油脂类物质, 进而利用气相色谱-质谱联用和气相色谱-同位素质谱仪分析该样品, 以期鉴别铜釜中盛放食物的生物来源。

1 样品与实验

1.1 样品介绍

铜甗釜出土于甘肃酒泉市果园乡西沟村, 大约位于酒泉市西北 7.5 km。该地区是荒漠戈壁滩与戈壁所分割包围的成片黄土堆积, 在戈壁滩和

收稿日期: 2015-01-05; 修回日期: 2015-09-27

基金项目: 国家自然科学基金资助(41172164), 中国科学院战略性先导科技专项资助(XDA05130303)

作者简介: 任 萌(1991—), 女, 中国科学院大学科技史与科技考古系 2013 级硕士研究生, 从事残留物分析, E-mail: renmeng13@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 杨益民, E-mail: yiminyang@ucas.ac.cn

黄土堆积层内有许多古代墓冢分布。墓 M5 是 1993 年发掘墓葬中规模最大的魏晋画像砖墓,墓室用青灰条砖砌成,有前、中、后三室。墓 M5 早期被盗,墓主人遗骸残乱不全,随葬有陶器、铜器、铁器等。铜甗釜(编号为 M5:3)发现于前室二层台上东侧,器形保存完整。甗呈碗型,侈口深腹平底,底部有长条形算孔;釜呈扁圆形,直口,圆鼓腹,小平底,釜腰有一圈状棱。出土时按照“上甗下釜”的组合套接在一起,并放置在一陶质灶台上



图 1 陶灶和铜甗釜^[29]

Fig. 1 Pottery hearth and bronze Zengfu

(图 1 和图 2)^[29]。

该器物出土后保存在库房,2010 年甘肃省博物馆对这套青铜器进行保护修复,器物表面存在大面积硬结物,通体锈蚀。甗腹内有多处绿色瘤状锈蚀与层状锈蚀,算孔多被甗底部的层状锈蚀遮挡(图 3a 和图 3b);铜釜有孔洞,釜身、釜底有补铸的痕迹;移开铜甗后,发现铜釜内堆积有近 8cm 的白色膏状残留物(图 3c 和图 3d),而且有食物变质的味道,为本研究用的样品。



图 2 铜甗釜(M5:3)

Fig. 2 Bronze Zengfu (M5:3)



a: 铜甗侧视图, b: 铜甗俯视图, c: 铜釜侧视图, d: 铜釜俯视图

图 3 铜甗和铜釜

Fig. 3 Bronze Zeng and Fu

1.2 红外光谱分析

用手术刀刮取少量内部的残留物样品,避免从表面取样,以降低外来因素的影响。将样品置于玛瑙研钵中研细,加入干燥的溴化钾粉末,混合均匀后继续研磨,将研磨好的样品压制成透明薄片,进行红外光谱测试。测试所用设备为 Thermo 公司 Nicolet Nexus-6700 型傅立叶红外光谱仪。样品和背景扫

描次数 32 次;波数范围 $4000 \sim 400\text{cm}^{-1}$;分辨率 4cm^{-1} 。

1.3 脂类物质提取和分析

取 1~2mg 样品,加入 3mL CHCl_3 /甲醇(2:1, V/V),超声振荡 20min;3000r/min 离心 3min,取上清液;用 N_2 吹干溶剂,得到脂类物质。

加入 1mL 2mol/L 的 KOH-乙醇溶液,70℃ 水浴

1h;加入1mol/L稀盐酸,调节pH值至3~4,取上层清液用N₂吹干;加入1mL 0.5mol/L的H₂SO₄-甲醇溶液、少量无水NaSO₄,吹氮以排除空气,70℃恒温反应1h,使其转化为脂肪酸甲酯;加入1mL正己烷及2mL蒸馏水,萃取有机相,进行GC-MS和GC-IRMS测试。

GC-MS分析所用设备为Agilent 7890A/5975C型气相色谱-质谱联用仪,色谱条件:HP-5MS弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm);载气为高纯氦气;分流比为10:1;进样量1μL;进样口温度250℃;接口温度280℃;升温程序:60℃保持2min,以20℃/min升温至150℃,再以4℃/min升温至290℃,保持10min。质谱条件:离子源为EI源,电子能量为70eV,离子源温度230℃,四极杆检测器。

同一脂肪酸甲酯样品在GC-MS分析后,进行脂类单体碳同位素分析。GC-IRMS测试所用设备为Isoprime100型同位素质谱仪(Isoprime, England),色谱分析采用Agilent 7890A型气相色谱仪(Agilent Technology, USA),HP5型色谱柱(30m×0.25mm×0.25μm);升温程序:100℃保持2min;以20℃/min升温至180℃;再以3℃/min升温至230℃,保持5min;载气为高纯氦气,载气流量1.4mL/min;色谱与质谱的接口温度为850℃。样品重复测试2次,误差范围±0.5‰,测试后用已知δ¹³C值的标准样品(IAEA国际原子能组织)标定;仪器分析精度为0.2‰;碳同位素分析结果以相对VPDB的δ¹³C值表示。

2 结果与讨论

2.1 红外光谱

图4为样品的红外光谱图,2961cm⁻¹、2920cm⁻¹及2846cm⁻¹附近的吸收峰是甲基、亚甲基C—H键伸缩振动峰,以亚甲基为主;1470~1379cm⁻¹附近为甲基、亚甲基的变形振动峰;1740cm⁻¹处为脂肪族酯类的羰基C=O键伸缩振动峰;1180cm⁻¹附近较宽的吸收峰为酯的C—O键伸缩振动谱带;721cm⁻¹附近的吸收峰显示有(CH₂)_n长碳链存在^[30],这些吸收峰及其归属总结于表1。鉴于此,推测样品中含有较多油脂类物质。

由于古代样品组成复杂,尤其是有机物质在埋藏过程中易降解,单纯以红外光谱解析不能作为其鉴别特征。为进一步确定样品中油脂的种类和来源,对样品进行脂类物质的提取,用于GC-MS和GC-IRMS分析。

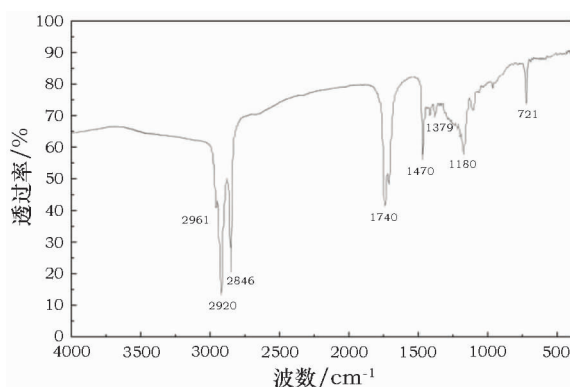


图4 样品红外光谱图

Fig. 4 Infrared spectra of the sample

表1 样品红外光谱吸收峰

Table 1 The assignment of absorption bands in IR spectra of the sample

吸收峰位置/cm ⁻¹	归属
2961~2846	CH ₃ 、CH ₂ 伸缩振动
1740	脂肪族酯类羰基 C=O 伸缩振动
1470~1379	CH ₃ 、CH ₂ 弯曲振动
1180	酯的 C—O 键伸缩振动
721	长链 (CH ₂) _n , n > 5

2.2 有机残留物脂质分析

图5为样品脂肪酸甲酯的GC-MS分析图,检测出的脂肪酸主要为十六烷酸(C_{16:0})和十八烷酸(C_{18:0}),且C_{16:0}/C_{18:0}的比值较低,符合降解的动物脂肪特征^[31,32]。新鲜动物油脂所含的主要脂肪酸成分为软脂酸(C_{16:0})、硬脂酸(C_{18:0})等饱和脂肪酸,以及部分油酸(C_{18:1})、棕榈油酸(C_{16:1})、亚油酸(C_{18:2})、亚麻酸(C_{18:3})等不饱和脂肪酸,其中C_{18:1}是动物脂肪中最常见的不饱和脂肪酸。然而在长期埋藏过程中,不饱和脂肪酸的分解比饱和脂肪酸快,因此古代样品中往往只剩下饱和脂肪酸^[32-34]。铜釜内的残留物样品仅检测到了少量的C_{18:1}脂肪酸,这是该样品中唯一检测到的不饱和脂肪酸,可见其历经了较大程度的老化降解。

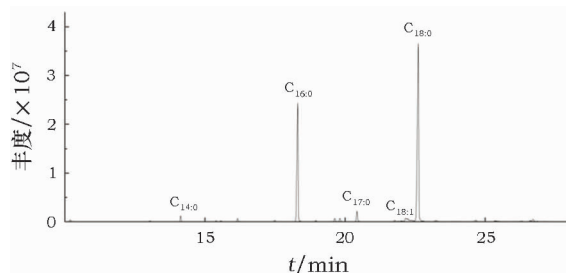


图5 样品脂肪酸甲酯的总离子流图

Fig. 5 Total ion chromatogram (TIC) of the fatty acid methyl esters from the sample

由于在埋藏过程中发生降解,动物脂肪样品中通常仅含有饱和脂肪酸,因此很难通过脂肪酸的组成及含量来区分动物种类;古代脂质样品中含有大量的 C_{16:0} 和 C_{18:0} 脂肪酸,通过测定其单体碳同位素值,可进一步推测有机残留物的生物来源。Copley 等通过测定现代动物脂肪的 C_{16:0} 和 C_{18:0} 脂肪酸的 δ¹³C 值,表明反刍动物(牛羊)和非反刍动物(猪)。其体脂(adipose fat)与乳脂(milk fat)所含的 C_{16:0} 和 C_{18:0} 由于合成路径的差异而存在¹³C 分馏现象,因此反刍动物乳脂(牛羊奶)、反刍动物体脂(牛羊油)和非反刍动物体脂(猪油等)具有不同的 δ¹³C_{16:0} 和 δ¹³C_{18:0} 分布。Δ¹³C = 0‰ 可区分反刍与非反刍动物的体脂,Δ¹³C = -3.3‰ 用于区分反刍动物的体脂与反刍动物的乳脂(Δ¹³C = δ¹³C_{18:0} - δ¹³C_{16:0}),且现代标准样品的 δ¹³C 值通过增加 1.2‰ 来矫正,以消除工业革命以来化石燃料的影响。结果如图 6 所示^[27]。

表 2 主要脂肪酸单体碳同位素组成

Table 2 The δ¹³C values of the major fatty acid components (C_{16:0} and C_{18:0}) (‰, VPDB)

δ ¹³ C/‰	C _{16:0}	C _{18:0}
C 脂肪酸甲酯	-27.76	-29.73
C 脂肪酸	-26.89	-29.07

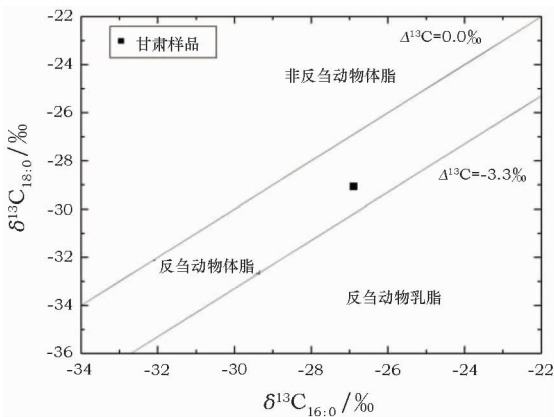


图 6 样品中 δ¹³C_{16:0} 和 δ¹³C_{18:0} 值

Fig. 6 Plot of the δ¹³C values of the C_{16:0} and C_{18:0} fatty acids obtained from the sample

在脂肪酸碳链上引入一个甲基的过程为甲酯化反应,忽略反应过程中碳同位素分馏效应,脂肪酸甲酯碳同位素、甲醇碳同位素和脂肪酸单体碳同位素值的关系如式(1)和(2)。式中, n 为脂肪酸的碳原子数目^[35],测得本实验衍生用的甲醇 δ¹³C 值为 -41.65‰,则:

$$n\delta^{13}C_{酸} + \delta^{13}C_{甲醇} = (n + 1)\delta^{13}C_{甲酯} \quad (1)$$

$$\delta^{13}C_{酸} = \frac{1}{n} [(n + 1)\delta^{13}C_{甲酯} + 41.65] \quad (2)$$

样品中 C_{16:0} 和 C_{18:0} 脂肪酸的 δ¹³C 值位于反刍动物体脂的分布范围,说明它应该为牛羊油脂。鉴于甗釜是用于蒸炊的专门器具,推测该白色残留物是由于加热蒸制铜甗中的牛肉或羊肉时油脂渗流下来所成。

铜釜在埋藏过程中相对封闭,仅甗底的算孔是其与外界环境接触的通道,但算孔周围只有锈蚀产物,未发现类似的残留物,在墓葬其他地方也未见相关动物遗存;而且红外光谱和脂质分析结果显示,样品所含的油脂具有较大程度的降解,这也很难在出土后的保存过程中引入。因此,实验测得的反刍动物油脂为外来污染的可能性极小,应为古代烹饪加工的食品残留物。此外,由于器物表面有大面积硬结物和锈蚀,已无法判断是否存在烟熏火灼的痕迹;但据釜身及釜底的补铸痕迹推测,该器物应该为实用器。

3 讨论

自新石器时代出现以来,甗主要用于蒸制粮食类食物^[36,37],对于其蒸肉的记载相对较少,这与汉族的饮食习惯有关。西汉王朝将河西走廊纳入版图后,中原迁入的农耕民族与当地的游牧民族杂居相处,农耕与畜牧并举,饮食方式也趋于融合。在魏晋南北朝之前,汉人的饮食结构以粮食为主,蔬菜和肉食为辅,烹饪方法主要为蒸、煮、羹、濯、脍、脯、菹等;而北方游牧民族的饮食结构重食畜肉,饮乳酪,炙、炮、羌煮为食物加工的主要方式^[38],牛、猪、羊、鸡是当时主要的肉食来源,与牛羊相比,猪出现的比例较小,暗示在河西地区人类的饮食习惯中,牛羊肉更受偏爱^[39]。

酒泉西沟村魏晋墓 M5 前室的画像砖以羊群、马群等再现了当时畜牧业的繁荣,表现出较多的游牧文化特征^[40];而“甗”是中原农耕民族的饮食文化特征之一,用它来蒸制牛羊肉,表明汉人与北方游牧民族的饮食交流与融合并不是简单地模仿,而是互相学习,并结合本民族的饮食特点加以改造。北魏末年《齐民要术》中记载“蒸脍法:好肥脍一头,洗净垢,煮令半熟,以豉汁渍之。生秣米一升,勿令近水,浓豉汁渍米,令黄色,炊作饭,复以豉汁洒之。细切姜、桔皮各一升,葱白三寸四升,桔叶一升,合著甗中,密覆,蒸两三炊久。复以猪膏三升,合豉汁一升酒,便熟也。蒸熊、羊如脍法”。这些将肉放在甗中蒸的描述,为当时的釜甗组合用于蒸制肉食提供了佐证。

陶器和铜器在加工食物时,脂类物质往往会沉

积或吸附于使用的器物之上,为残留物分析的主要对象之一。通过分析其分子组成及单体碳同位素比值,可以确定有机残留物的生物来源,为器物功能及其使用情况提供直接的化学证据,从而为进一步探究古代人类的生活方式、古代社会的经济形态和农业起源与传播等研究提供资料,相关分析在国内开展较少,有着很大的应用前景。

4 结 论

通过红外光谱及脂质分析,对魏晋时期河西走廊地区西沟墓地中墓 M5 出土的古代铜甗釜内残留物进行了综合分析。样品的红外光谱显示其中含有长链脂肪酸甘油酯,并对提取到的脂类物质进行 GC-MS 与 GC-IRMS 分析,依据 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 脂肪酸单体 $\delta^{13}C$ 值,表明该样品为反刍动物油脂,结合甗釜是用于蒸制的专门炊具,推测该铜釜内的白色膏状残留物是由于加热蒸制铜甗中牛肉或羊肉时的油脂渗流下来而成,这为釜甗组合用于加工牛羊肉食提供了化学证据。墓 M5 具有浓郁的游牧民族特征,而铜甗是典型的中原汉人炊具,这反映了魏晋时期汉人与北方游牧民族饮食文化的交流与融合。

参考文献:

- [1] 洛阳博物馆. 洛阳庞家沟五座西周墓的清理[J]. 文物, 1972, (10):20-32.
Luoyang Museum. The clearing of five Western Zhou tombs in Luo Yang[J]. Cult Relics, 1972, (10):20-32.
- [2] 中国社会科学院考古研究所安阳工作队. 1980年河南安阳大司空村 M539 发掘简报[J]. 考古, 1992, (6):509-517.
Anyang team at Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. A brief excavation report on M539 located in Anyang, Henan Province[J]. Archaeology, 1992, (6):509-517.
- [3] 杨益民. 古代残留物分析在考古中的应用[J]. 南方文物, 2008, (2):20-26.
YANG Yi-min. Application of remains analysis into the archaeology[J]. Relics from South, 2008, (2):20-26.
- [4] Evershed R P. Organic residue analysis in archaeology: the archaeological biomarker revolution[J]. Archaeometry, 2008, 50(6):895-924.
- [5] 杨晓燕, 蒋乐平. 淀粉粒分析揭示浙江跨湖桥遗址人类的食物构成[J]. 科学通报, 2010, 55(7):596-602.
YANG Xiao-yan, JIANG Le-ping. Starch grain analysis reveals ancient diet at Kuahuqiao site, Zhejiang Province[J]. Chin Sci Bull, 2010, 55(7):596-602.
- [6] 杨晓燕, 吕厚远, 刘东生, 等. 粟、黍和狗尾草的淀粉粒形态比较及其在植物考古研究中的潜在意义[J]. 第四纪研究, 2005, 25(2):224-227.
YANG Xiao-yan, LYU Hou-yuan, LIU Dong-sheng, et al. Micromorphology characteristics of starch grains from *Setaria italica*, *Panicum miliaceum* and *S. viridis* and its signification for archaeobotany[J]. Quat Sci, 2005, 25(2):224-227.
- [7] 杨晓燕, 吕厚远, 夏正楷. 植物淀粉粒分析在考古学中的应用[J]. 考古与文物, 2006, (3):87-91.
YANG Xiao-yan, LYU Hou-yuan, XIA Zheng-kai. Starch grain analysis in archeology[J]. Archaeol Cult Relics, 2006, (3):87-91.
- [8] Ratnayake W S, Jackson D S. A new insight into the gelatinization process of native starches [J]. Carbohydr Polym, 2007, 67(4):511-529.
- [9] 孙红燕, 龚德才, 黄文川, 等. 长沙风篷岭汉代漆器制作工艺中淀粉胶黏剂的分析[J]. 文物保护与考古科学. 2011, 23(4):52-58.
SUN Hong-yan, GONG De-cai, HUANG Wen-chuang, et al. Analysis of the starch adhesive in Han Dynasty lacquer excavated from the Fengpengling site in Hunan[J]. Sci Conserv Archaeol, 2011, 23(4):52-58.
- [10] 苏伯民, 真贝哲夫, 胡之德, 等. 克孜尔石窟壁画胶结材料的 HPLC 分析[J]. 敦煌研究, 2005, (4):57-62.
SU Bo-min, Tetuo Sinkei, HU Zhi-de, et al. HPLC analysis of binding medium of pigments of wall-painting at Kizil grottoes[J]. Dunhuang Res, 2005, (4):57-62.
- [11] Sister D, Andreas T, Kyriaki B, et al. The byzantine wall paintings from the protaton church on Mount Athos, Greece: tradition and science [J]. J Archaeol Sci, 2007, 34(12):1971-1984.
- [12] 洪川, 蒋洪恩, 杨益民, 等. 酶联免疫吸附测定法在古代牛奶残留物检测中的应用[J]. 文物保护与考古科学, 2011, 23(1):25-28.
HONG Chuan, JIANG Hong-en, YANG Yi-min, et al. Application of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) method in the detection of ancient milk residues[J]. Sci Conserv Archaeol, 2011, 23(1):25-28.
- [13] 颜菲, 葛琴雅, 李强, 等. 应用酶联免疫吸附法(ELISA)初探古代墓葬壁画胶结材料中的狗胶原蛋白[J]. 文物保护与考古科学, 2014, 26(1):71-75.
YAN Fei, GE Qin-ya, LI Qiang, et al. Application of ELISA to detect dog collagen in the binding media in ancient tomb mural paintings[J]. Sci Conserv Archaeol, 2014, 26(1):71-75.
- [14] 梁一鸣, 杨益民, 伊弟利斯·阿不都热苏勒, 等. 小河墓地出土草篓残留物的蛋白质组学分析[J]. 文物保护与考古科学, 2012, 24(4):81-85.
LIANG Yi-ming, YANG Yi-min, Idriss, et al. Proteomic analysis of residues in grass basket excavated from Xiao-He graveyard [J]. Sci Conserv Archaeol, 2012, 24(4):81-85.
- [15] Tyede H. Schmidt-Schultz, Michael S. Bone protects proteins over thousands of years: extraction, analysis, and interpretation of extracellular matrix proteins in archeological skeletal remains[J]. Am J Phys Anthropol, 2004, 123:30-39.
- [16] RAO Hui-Yun, YANG Yi-min, Idelisi A, et al. Proteomic identification of adhesive on a bone sculpture-inlaid wooden artifact from the Xiaohu Cemetery, Xinjiang, China[J]. J Archaeol Sci, 2015, 53:148-155.

- [17] 崔 品. 脂类物质分析技术运用于考古学的方法探索[D]. 中国科学技术大学,2010.
CUI Pin. Methodological study on the application of lipid analysis into archaeology [D]. University of Science and Technology of China, 2010.
- [18] Evershed R P. Lipids as carriers of anthropogenic signals from pre-history [J]. Philos T Roy Soc B, 1999, **354**(1):19-31.
- [19] Charters S, Evershed R P. Simulation experiments for determining the use of ancient pottery vessels; the behaviour of epicuticular Leaf Wax during boiling of a leafy vegetable [J]. J Archaeol Sci, 1997, **24**(1):1-7.
- [20] Martine R. Investigating the history of prehistoric glues by gas chromatography – mass spectrometry [J]. J Sep Sci, 2004, **27**(3):244-254.
- [21] Francesca M, Erika R, Maria P C. Chemical study of triterpenoid resinous materials in archaeological findings by means of direct exposure electron ionisation mass spectrometry and gas chromatography/mass spectrometry [J]. Rapid Comm Mass SP, 2006, **20**(11):1787-1800.
- [22] Evershed R P. Archaeological frankincense [J]. Nature, 1997, **390**(12):667-668.
- [23] Kimpe K, Jacobs P A, Waelkens M. Mass spectrometric methods prove the use of beeswax and ruminant fat in late Roman cooking pots [J]. J Chromatogr A, 2002, **968**:151-160.
- [24] Dudd S N, Evershed R P. Evidence for varying patterns of exploitation of animal products in different prehistoric pottery traditions based on lipids preserved in surface and absorbed residues [J]. J Archaeol Sci, 1999, **26**(12):1473-1482.
- [25] Hansel F A, Evershed R P. Formation of dihydroxy acids from Z – monounsaturated alkenoic acids and their use as biomarkers for the processing of marine commodities in archaeological pottery vessels [J]. Tetrahedron Lett, 2009, **50**(40):5562-5564.
- [26] Kedrowski B L, Crass B A, Behm J A, *et al.* GC/MS Analysis of fatty acids from ancient hearth residues at the swan point archaeological Site [J]. Archaeometry, 2009, **51**(1):110-122.
- [27] Copley M S, Berstan R, Dudd S N, *et al.* Direct chemical evidence for widespread dairying in prehistoric Britain [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, **100**(4):1524-1529.
- [28] Hayes J M, Katherine H F, Brian N P, *et al.* Compound – Specific isotopic analysis: A novel tool for reconstruction of ancient biogeochemical process [J]. Adv Org Geochem, 1990, (16):1115-1128.
- [29] 马建华,赵吴成. 甘肃酒泉西沟村魏晋墓发掘报告 [J]. 文物, 1996, (7):4-38.
MA Jian-hua, ZHAO Wu-cheng. Report on the excavation of Wei Jin tombs in Jiuquan City, Gansu Province [J]. Cult Relics, 1996, (7):4-38.
- [30] 黄鸣龙. 红外线光谱与有机化合物分子结构的关系 [M]. 北京: 科学出版社, 1958: 15-19.
HUANG Ming-long. The relation between Infrared spectra and molecular structure of organic compounds [M]. Beijing: Science Press, 1958: 15-19.
- [31] Buckley S A, Clark K A, Evershed R P. Complex organic chemical balms of Pharaonic animal mummies [J]. Nature, 2004, **431**(7006):294-298.
- [32] Kedrowski B L, Crass B A, Behm J A. GC/MS analysis of fatty acids from ancient hearth residues at the Swan point archaeological site [J]. Archaeometry, 2009, **51**(1):110-122.
- [33] 魏永生,郑敏燕,耿 薇,等. 常用动、植物食用油中脂肪酸组成的分析 [J]. 食品科学, 2012, **33**(16):188-193.
WEI Yong-sheng, ZHENG Min-yan, GENG Wei, *et al.* Fatty acid composition analysis of common animal fats and vegetable oils [J]. Food Sci, 2012, **33**(16):188-193.
- [34] Chang K, Jiang L, Du F, *et al.* Chemical classification on animals and plants for exploitation based on analysis of fatty – acid compositions of their oils [C]// IPCBEE. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering (49), Singapore: IACSIT Press. 2012: 100-104.
- [35] 金 爽,周卫荣,凡小盼,等. 蚁鼻钱铜范浇铸隔离层的模拟制备与分析 [J]. 中国钱币, 2009, **105**(2):18-21.
JIN Shuang, ZHOU Wei-rong, FAN Xiao-pan, *et al.* A study of the casting techniques of the ant – nose coins [J]. China Numismat, 2009, **105**(2):18-21.
- [36] 张 静. 商周青铜甗初论 [D]. 西北大学, 2002.
ZHANG Jing. The preliminary discussion on bronze Yan in Shang and Zhou Dynasty [D]. Northwest University, 2002.
- [37] 付 琳. 甗形器研究 [J]. 中国国家博物馆馆刊, 2014, (3): 6-19.
FU Lin. Research on Yan – Shaped pottery steamers [J]. J Nat Museum China, 2014, (3): 6-19.
- [38] 王 玲.《齐民要术》与北朝胡汉饮食文化的融合 [J]. 中国农史, 2005, (4):13-19.
WANG Ling. Qi Min Yao Shu and the dietary culture integration of Hu and Han nationality in the North Dynasty [J]. Agr Hist China, 2005, (4):13-19.
- [39] 赵雪野. 从画像砖看河西魏晋社会生活 [J]. 考古与文物, 2007, (5):81-84.
ZHAO Xue-ye. The social activities of Wei and Jin Dynasties in Hexi areas [J]. Archaeol Cult Relics, 2007, (5):81-84.
- [40] 马建华. 甘肃酒泉西沟魏晋画像砖墓的农牧图 [J]. 农业考古, 1997, (1):42-47.
MA Jian-hua. Agriculture and animal husbandry figures on mural tombs of Wei and Jin Dynasties in Xigou Village, Jiuquan City, Gansu Province [J]. Ag Archaeol, 1997, (1):42-47.

Analysis of lipids in the organic residue in a bronze Zengfu from the Wei and Jin Dynasties in Gansu Province

REN Meng¹, LUO Wu-gan^{1,2}, ZHAO Ya-jun³, MAI Hui-juan^{1,2}, RAO Hui-yun^{1,2},
YANG Yi-min^{1,2}, WANG Chang-sui^{1,2}

(1. Department of Scientific History and Archaeometry, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins of Chinese Academy of Sciences, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China;

3. Gansu Institute of Antiquity and Archaeology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Organic residue analysis can provide direct evidence for the function of excavated vessels. “Yan” is one of the important utensils in ancient times. Its function was widely recorded, although residue analysis was rare. In this paper, the white grease residue found in the bronze vessel “Fu” (the lower part of the detachable “Yan”) from Xigou Village, Jiuquan, Gansu Province, was analyzed using infrared spectroscopy, fatty acid analysis and compound-specific stable carbon isotope analysis to reveal the origin of the residue, as well as the function of the vessel. The results show that the white grease is probably ruminant adipose fat, which indicated that the residue was dripped oil caused by steaming beef or mutton in the “Zeng”. This study provides an evidence for the assembly of “Zengfu” as a steamer for meat processing, and also suggests a communication and integration in dietary culture between Han and northern nomadic people of the Wei and Jin dynasties, given that the tomb possesses a more nomadic style.

Key words: Zengfu; Residue; Lipid analysis; Compound-specific stable carbon isotope analysis; Diet culture

(责任编辑 马江丽)