



# 古代残留物分析在考古中的应用\*



杨益民 (中国科学院研究生院人文学院科技史与科技考古系)

**摘要** 动植物是人类社会发展的重要基石,它的利用是人类适应、改造和征服自然的物质基础,古代社会的方方面面都与之相关,因而动植物及其制品的残留物分析能提供古代社会丰富的信息。残留物分析重点在于从残留物中提取有机物,利用科学检测手段进行定性定量分析来判断残留物来源,从而了解古代动植物的加工、利用和相关载体的功能等。本文从DNA、淀粉粒、蛋白质、脂类、炭化物和酒等六个方面简要介绍了残留物分析的方法和进展,希望能促进残留物分析在中国的开展。

**关键词:** 残留物分析, 古代DNA, 淀粉粒, 蛋白质, 脂类, 炭化物, 酒, 陶器

**Abstract** Animals and plants are the foundation of development of human society, and their use is the material base of human to adapt, alter and conquer the nature, which is related to every aspect of ancient society, so residue analysis for animals, plants and their products can provide rich information about ancient society. The emphasis of residue analysis is to extract organic molecules from residue, whose origin will be judged through quantitative and/or qualitative scientific analysis in order to understand processing, use and related carriers of ancient animals and plants. In this article, the methods and developments of residue analysis have been outlined from six aspects: DNA, starch grains, protein, lipid, carbonized material and wine, and we hope it will promote residue analysis in China.

**Key words** residue analysis, ancient DNA, starch grains, protein, lipid, carbonized material, wine, pottery

## 前言

人类文明发展史在某种程度上是动植物利用的发展史。众所周知,大约在距今一万八千至一万二千年之间,人类社会从旧石器时代向新石器时代过渡。由于农业的出现和陶器的使用,使人类的生产和生活状况得到了极大的改善。人类在生存竞争中开始占据主动,其活动范围明显增大,人口也显著增多,从而给我们留下了海量的遗迹和遗物。先民在加工、利用动植物的过程中,一些有机物质可能残存或沉积在相关器物、土壤或遗迹现象之上,并历经长期的埋藏过程而保存下来。这些残留物分为可见的残留物(如液体、炭化物等)和不可见的微量残留物(如

脂类、酒石酸、树脂酸和植物微体化石等)<sup>①</sup>,前者在考古发掘中相对出土较少,而后者在石器、陶器上广泛存在,是残留物分析的重点。所谓残留物分析是指从残留物载体中提取有机物,利用科学检测手段进行定性定量分析判断残留物来源,从而了解古代动植物的加工、利用和相关载体的功能等。

残留物分析的进展与分析技术的进展密切相关。长期以来,残留物分析一直是国际科技考古领域的热点。由于古代社会的各个方面都离不开对动植物及其相关制品的利用,因此残留物分析涉及的领域很广,包括食品加工、器物功能、材料加工、驯化动植物传播、燃料、印刷、造纸、纺织、医药、化妆品和祭

\* 本工作由中科院知识创新方向性项目(KJCX3.SYW.N12)和中科院研究生院人才基金资助。

祀等。根据分子信息鉴别残留物来源的研究途径主要有五种:(1)生物标记物,如胆固醇是肉类的生物标记物,谷甾醇是植物的生物标记物,咖啡因是咖啡和茶的生物标记物,可可碱是巧克力的生物标记物<sup>②</sup>,以及双萜或三萜指示不同的树脂来源等;(2)有机分子分布组合(即“指纹”图谱),如根据不同氨基酸的组成比例判断蛋白质来源,根据饱和与未饱和脂肪酸的比例可以区分残留物来源为植物(鱼类)或其他动物;(3)脂类单体的碳同位素比值法,利用气相色谱-燃烧炉-同位素质谱(GC/C/IRMS)测试脂类单体的<sup>13</sup>C比值,据此可进一步细化脂类单体的生物来源<sup>③</sup>;(4)利用分子序列信息,如根据DNA的核酸序列、蛋白质的氨基酸序列,判断相应的生物种属。(5)植物微体化石,残留物中植硅体、淀粉粒或孢粉等微体化石能提供古代植物的种属或加工利用信息。

本文从DNA、淀粉粒、蛋白质、脂类、炭化物和酒等六个方面简要介绍残留物分析的方法和进展,希望引起人们对残留物分析的重视,促进残留物分析在中国的开展。

### 残留物中的DNA分析

古代DNA为提取自古人类或古代动植物的DNA片段。1985年PCR技术出现以后,科学家才有可能从各种各样的古代遗留材料中提取DNA开展扩增,并进行序列分析和种属鉴定。残留物中古代DNA研究,比生物材料方面晚了近十年。然而,由于其样品来源的特殊性,如羊皮卷、鱼胶、陶器、石器、岩画等,使我们获得了一个探索历史的新视野。

德国某些科学家采用不同方法从陶器内有机残留物中提取古代DNA<sup>④</sup>,对其中的植物叶绿体rbcL基因运用PCR方法扩增,再将DNA测序结果和标准序列作比照分析,居然判断出它的种属是Martindella Obovata。这是一种类似爬山虎的攀缘植物,其广泛分布于洪都拉斯到巴西一带。它所结的果实可以提炼出一种用作眼膏的药剂,据说,美洲印第安人至今仍在使用这种药剂。这些科学家还对一个所谓的香肠腿(Sausage End)作了分析,据说,这种香肠腿可能是史前先民用兽皮做的容器支脚。从靠近容器结合部的内表面刮下一点样品,将最终测得的样品DNA序列和有关基因库作对照检索,结果判断为鼠尾草属植物,而且更接近于野生的鼠尾草,由此推测当时人们可能采集这种植物为食。

黏合剂广泛应用古代书籍、绘画、乐器、泥塑和家具的裱装或制作之中。科学家从古代明胶(用作

胶粘剂和印刷油墨)和现代鱼胶中分别提取出DNA<sup>⑤</sup>,经比照分析,发现这些古代明胶的制作原料之一鱼膘,取自于一种英文名为Rhodeus Ocellatus的鱼,而在此之前人们普遍认为明胶只能由鲟鱼的鱼鳔制作。显然,这类古代DNA分析,可以帮助我们确定某些古代原料的种属和来源,深化甚至纠正我们关于这些古代原料加工工艺的认识。类似的从艺术品上提取出古代DNA,并结合其他考古信息进行综合分析,对推测艺术品的制作工艺、制作地和交流路线等,同样能提供有益的启示。

### 残留物中的淀粉粒分析

淀粉是葡萄糖分子聚合而成的多糖,直链淀粉和支链淀粉通过氢键连接形成淀粉粒。生淀粉粒在正交偏光显微镜下,呈消光十字。利用这个性质,可以很好地鉴别淀粉粒。在透射光下,不同植物的淀粉粒在形态、类型、大小、层纹和脐点等方面有不同的特征。根据这些形态特征可以进行植物种属的鉴定<sup>⑥⑦</sup>。分析器物或遗迹上的淀粉粒残留,可以获得先民利用植物的信息。吕厚远等人在分析青海喇家遗址发掘出来的面条时,曾用淀粉粒和植硅体等手段判别面条原料为粟<sup>⑧</sup>。

需要指出的是,现在的淀粉粒研究大多针对生淀粉粒和种属鉴定。而淀粉粒一旦受热膨胀,其消光十字会部分或者完全丢失。当淀粉粒完全失去消光十字特性后,将无法在正交偏光显微镜下准确地加以鉴定,更谈不上形态特征的鉴定。近年来,利用刚果红染色法可以有效判断淀粉粒的加工状态——受到破坏的淀粉粒能用刚果红进行染色,根据其受到破坏(这里所谓的破坏主要缘自物理加工或烹煮加热等)的方式和程度的不同,在正交偏光显微镜下将呈现不同的特征,即未被破坏的淀粉粒不染色。由物理加工导致的破坏程度较浅时,在透射光下,染色后的淀粉粒呈淡红色,而在正交偏光下,仍保留消光十字。由物理加工或部分糊化导致的破坏程度较深时,在透射光下,染色后的淀粉粒呈较深红色,而在正交偏光下,尚保留有修正的消光十字。完全糊化时,在透射光下,染色后的淀粉粒呈深红色,而在正交偏光下,将失去消光十字,常有明亮的金色或者橙红色光亮<sup>⑨</sup>。因此,利用此方法可以判断器物残留淀粉粒的状态。我们对雕龙碑遗址出土的若干陶器、石器进行了淀粉粒分析,在大多数器物上均发现有经加工的淀粉粒残留,尤其是陶研磨棒和刻槽盆上发现有加工过的和未受破坏的淀粉粒,这表明它们是植物加工工具。在刻槽盆残片上还发现大量直径小

于 $5\mu\text{m}$ 具备芋类植物特征的生淀粉粒,以及烹煮过的淀粉粒残留。表明这类器物可能是芋类植物的加工工具,同时也曾加工或装盛烹煮过的植物,反映了古代陶器用途的多样性。显然用淀粉粒的刚果红染色法可以了解先民对相关植物的机械加工烹饪活动,增强对器物功能的认识<sup>⑩</sup>。利用糊化淀粉粒的刚果红染色特征,我们对山西省绛县西周棚国墓地出土的荒帷印痕进行了分析,在沾有朱砂的印痕土样中发现完全糊化的淀粉粒,而其他无印痕的填土中未发现这种淀粉粒,这表明该荒帷石染法染色过程中使用的胶结物为淀粉类黏合剂<sup>⑪</sup>。因此,汉代郑玄认为《考工记》中“钟氏染羽”是使用糊化的粟为黏合剂进行朱砂染色,这种观点确有可能。

### 残留物中的蛋白质分析

蛋白质是生物组成的重要部分,在利用动植物制品时往往会留下相应痕迹。由于不同的蛋白质中各种氨基酸的含量有差异,人们自然想到用不同氨基酸含量来鉴别蛋白质来源。苏伯民等人在分析克孜尔石窟壁画胶结材料时,用HPLC(液相色谱)分析不同氨基酸的含量组成,将古代样品与现代牛皮胶、桃胶和蛋清的氨基酸组成比例进行比较,发现古代样品更接近牛皮胶,从而推断石窟颜料中所含胶结材料为动物胶<sup>⑫</sup>。Daniilia等人分析希腊Protaton教堂拜占庭时期壁画胶结材料时,用GC-MS(气质联用)分析氨基酸含量,并用主成分分析来处理蛋清、动物胶、干酪素和古代样品的氨基酸含量,发现颜料中所含胶结材料为蛋清和动物胶的混合物<sup>⑬</sup>。

由于氨基酸序列具有种属特异性,因而可以用现代蛋白质分析技术——酶联免疫吸附实验(ELISA)对古代残留的蛋白质进行种属鉴定。该方法基本原理为:让抗原与某种固相载体表面结合,加入从样本中提取的蛋白质溶液,若溶液中含有相应抗原,那么它会与固相表面的抗体结合。洗去未结合成分,加入该抗原特异的酶标记抗体,再洗去未结合的酶标记抗体,最后加入酶反应的底物。它受酶的催化作用变为有色产物,产物的量与受检物质的量直接相关,可根据颜色反应的深浅进行定性或定量分析。如果样本中无相应抗原,那么固相表面无抗原结合,加入的酶标记抗体则无法结合在固相上,会被洗去;当加入无色底物后,将没有酶进行催化,因此不显色。酶催化频率较高,可极大地放大信号,从而提高了检测敏感度。该方法操作较简单,成本不高,国外已用于石器、陶器残留物中血液、胶原、蛋清和牛奶分析,国内尚未见相关报道。Craig等人对陶片中

吸附的蛋白质,利用氢氟酸降解蛋白质和矿物质结合的复合体,并同时释放出蛋白质与固相载体结合,再进行免疫检验,从而在陶片上检测出那些部分降解蛋白质所隐含的抗原。该方法用于检测陶片是否吸附牛奶干酪素,从而判断陶器是否用于牛奶的加工和饮用<sup>⑭</sup>。Heginbotham等人结合ELISA和间接免疫荧光技术(IFA)对一个17世纪法国橱柜上人物图案绘画所用的黏合剂进行分析,证实为蛋清。并指出这些方法可有效区分不同的蛋白质类黏合剂,包括胶原、蛋清和干酪素,效果优于传统的光学显微观察和GC-MS,而且要求的样本量更低,适用于文物保护<sup>⑮</sup>。

### 残留物中的脂类分析

在残留物的各种载体中,陶器作为多孔材料,在其使用过程中,能从储存或加工(如烹调)的食物(肉类、粮食作物、蜂蜜和牛奶等)中吸附相当数量的脂类分子。陶器器壁较小的孔隙能保护脂类分子免于微生物的侵蚀,同时由于疏水性,脂类分子不易从上述孔隙中受水的淋滤作用影响而流失出去,因此在长期的埋藏过程中,陶器所吸附的脂类分子能较好地保存下来,从而成为残留物分析的主要对象之一<sup>⑯</sup>。对陶器残留物进行提取并开展化学分析,确定残留物来源,可以进一步揭示考古出土陶器所携带的潜信息,了解陶器的功能和使用方式,细化古代人类的食谱,进而探索古代人类的生存方式、农业的起源和传播及古代社会的经济形态等。

脂类分析的手段主要为GC-MS和GC-C-IRMS(气相色谱-同位素质谱联用)。气相色谱的原理为:待分离的各种有机物质在气体流动相和固定相中的分配系数、吸附能力等亲和能力存在差异,混合物在流动相的带动下在两相间经过反复多次的分配平衡,使得各组分被固定相保留的时间不同,从而按一定次序由固定相中先后流出。根据柱后检测方法可以判别各色谱峰的分子结构或碳同位素比值,根据残留物中脂肪酸的含量比例,可以推断残留物来源大类,如16烷酸和18烷酸的含量比值,较低指示动物来源,较高指示植物来源<sup>⑰</sup>。

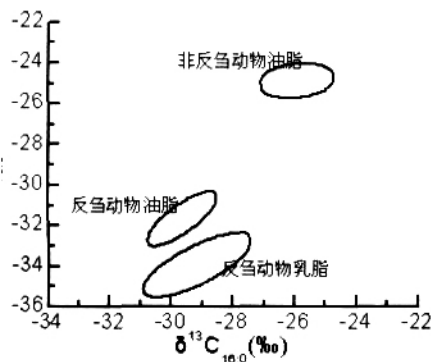
脂类单体的碳同位素比值法最近十年才用于多种古代残留物分析。在蜂蜡残留物方面,根据脂肪烃、脂肪酸的分布模式,以及特定脂肪烃、特定脂肪醇的 $^{13}\text{C}$ 比值可以认定蜂蜡的使用。而古代人类在利用蜂蜜的过程中,无法将蜂蜜与蜂蜡完全分离,因而陶器残留物中蜂蜡的存在与否,就成为人类利用蜂蜜的指示标识之一。由此,古希腊地区一种陶器



被鉴定为当时人工养蜂用的蜂巢<sup>19</sup>。在古代美洲地区,作为C<sub>4</sub>植物的玉米,与以C<sub>3</sub>植物为食物网底层的人类生存环境,在 $\delta^{13}\text{C}$ 比值上有鲜明对比——C<sub>4</sub>植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值则约为-12.5‰,而C<sub>3</sub>植物的平均值约为-26.5‰<sup>20</sup>,这种差异在各自的脂类单体 $\delta^{13}\text{C}$ 比值上也有所体现,研究表明,正三十二烷醇(n-dotriacontanol)在玉米这类禾本科黍型植物中含量较多,其 $\delta^{13}\text{C}$ 比值可用来指示残留物来源是否包括C<sub>4</sub>类植物,这个方法被用来探讨美国密西西比河流域的印第安人如何用陶器加工玉米<sup>21,22</sup>。在古代欧洲地区,没有C<sub>4</sub>植物被驯化,人类的生存环境是以C<sub>3</sub>植物为食物网底层,猪、牛和羊等家畜为人类提供了肉食、乳品、毛皮制品和动力。在肉食和乳品的储存、加工过程中,陶器扮演了重要的角色,并能吸收相关产品中包含的饱和脂肪酸——16烷酸(软脂酸, C<sub>16:0</sub>)和18烷酸(硬脂酸, C<sub>18:0</sub>)。饲养实验表明,以C<sub>3</sub>植物为食物链底层的反刍动物(牛羊)和非反刍动物(猪),其动物脂肪和乳脂所包含的软脂酸和硬脂酸由于其合成路径的差异而存在 $\delta^{13}\text{C}$ 分馏现象,因此在软脂酸和硬脂酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 值二维散点图上,反刍动物脂肪(牛羊肉类)、反刍动物乳脂(奶制品)和非反刍动物脂肪(猪肉类)位于不同区域(图一)。基于此,根据陶片残留物中相应脂肪酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 值即可判断其来源。Evershed等人通过陶器残留物的脂肪酸分析,结合动物考古学的证据,证明英国地区在新石器时代农业传入之际,养牛不仅仅是为了获取肉食,牛奶已成为饮食的一部分<sup>23</sup>。

### 古代炭化物分析

在新石器时代,陶器是加工食物的主要器具。

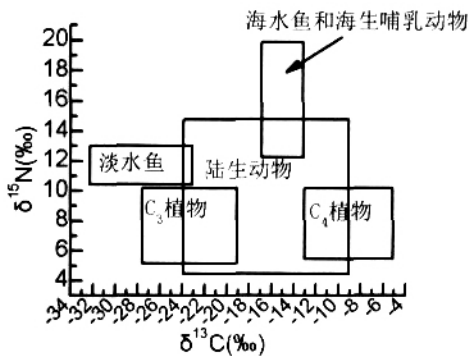


图一 以C<sub>3</sub>植物为食物链底层的反刍动物脂肪、反刍动物乳脂和非反刍动物脂肪中C<sub>16:0</sub>和C<sub>18:0</sub>脂肪酸的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布范围(摘自文献<sup>24</sup>)

陶器上残余的食物经历长期的埋藏过程后,有可能形成可见的炭化残留物。在炭化过程中,一般认为碳氮同位素不会发生分馏,因此可以基于动植物的碳氮同位素分布模式(图二)来判别炭化物的食物来源。骨胶原的碳氮同位素分析可以重建古代先民或动物的食谱(Paleodiet)<sup>25</sup>,而炭化物分析提供了古代菜肴(Paleocuisine)方面的信息,前者是宏观上的食物结构,后者是微观上的烹饪原料。虽然它们的分析手段一样,但分别提供不同层面上的信息。

Morton等人对北美安大略湖南岸和北岸AD600前后不同遗址中的陶器炭化物进行了碳氮同位素分析,结果表明炭化物主要来自于C<sub>3</sub>类植物、食草动物的肉和淡水鱼类,在AD600玉米种植引入该地区后,炭化物来源中开始含有少量的C<sub>4</sub>类植物(玉米)。同时期的人类骨胶原分析表明,在AD600后,玉米占人类食谱的比例逐渐增大,从0%到50~60%,而残留物来源中玉米的比例远小于此。导致这种差异的可能原因是,陶器没有用于煮玉米,而玉米的消耗方式可能为烧烤玉米棒、面粉研磨和酿酒等。此外,炭化残留物中那些富集 $\delta^{13}\text{C}$ 的碳元素,其中大部分可能来自于以玉米为食的动物(如狗或熊),而不是煮玉米的结果<sup>26</sup>。

鼎簋是周代贵族墓中常见的陪葬用品。根据文献记载,鼎用于煮肉,簋用于盛放黍稷等C<sub>4</sub>类植物(如《说文》中“簋,黍稷方器也”)。2005年山西省绛县西周棚国墓地发掘出土的一个铜簋中保存有大量的炭化物,我们对此进行了碳氮含量和同位素分析,以明确样品来源的种类和组成。与现代大米、小米(黍粟)相比,古代样品的C/N比值较小,暗示古



图二 动植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分布范围(摘自文献<sup>27</sup>)

代样品中含有动物蛋白。至于  $\delta^{15}\text{N}$  值,古代样品也高于现代大米、黍粟,这就进一步说明古代样品中含有动物蛋白,因为氮元素在不同营养级之间存在着同位素的富集现象,沿营养级上升时,每上升一格,大约富集 3~4‰<sup>②</sup>。古代样品的  $\delta^{13}\text{C}$  落在 C3 植物范围内,这说明古代样品的植物来源为 C3 植物,肉类来源应该是以 C3 植物为食物链底层的动物。因此推测铜簋内曾盛有煮熟的大米及肉类——“羹”,这与文献记载相悖,说明古代铜簋使用存在多样化现象<sup>③</sup>。

### 古 酒 分 析

酿酒是先民较早掌握的生物加工技术。古代西方以葡萄酒的生产闻名,而中国古代则以谷物发酵酒为主要特色。酒的主要成分为水和酒精,在长期的埋藏过程中容易挥发,但在特殊的密闭情况下,还有可能保存下来。对古代液体的分析,可以利用顶空进样-气相色谱来判断酒精含量和各种酒中常见的挥发及半挥发成分,从而判断是否为酒。结合有机酸分析,可以判别酒的种类。酒石酸在葡萄酒中含量较高,而现代米酒、啤酒等谷物发酵酒中同样含有酒石酸。对曾经装酒的陶器,往往能吸附难以挥发的酒石酸或酒石酸盐,如从陶片中萃取出来的有机物包含酒石酸,常可推测相应陶器和酿酒或盛酒相关。

2005 年山西省绛县西周虢国墓地发掘出土的两个酒器铜盃和铜觶中,我们发现器物内壁与填土的接触面有一黑色薄层,对此用快速溶剂萃取法提取有机残留物,进而再利用 HPLC 进行定性分析,发现其中含有酒石酸,说明它们下葬时有可能盛有酒<sup>④</sup>。McGovern 等人在分析两份商周时期酒器中的液体时,也发现有酒石酸。碳同位素分析进一步表明,那份商代液体酒的酿酒原料主要为 C3 类作物,那份周代液体酒的酿酒原料主要为 C4 类作物<sup>⑤</sup>。Guasch-Jane 等人用 LC/MS/MS(液质联用)分析图坦卡蒙墓中双耳细颈罐(amphorae)中的酒残留物,根据残留物颜色,以及红葡萄酒的标志物为酒石酸和丁香酸,发现墓中白葡萄酒和红葡萄酒分开摆放,可能有特殊的目的<sup>⑥</sup>。

除了化学分析外,植物微体化石在酒残留物研究中亦能发挥作用。葡萄表皮的 Vitis 孢粉在古代的酿酒工艺下会保留在最终成品葡萄酒中,Rosch 发现在特定的环境下,酿酒原料中的孢粉能保存下来并得以鉴定,从而根据孢粉组合可以判断蜂蜜酒或葡萄酒<sup>⑦</sup>。

### 结 语

古代社会的方方面面都涉及动植物及其制品的利用,因而残留物分析的领域十分广阔,上文只是谈到了一部分,还有很多应用没有提到。显然,残留物分析能提供古代社会丰富的信息,然而目前中国的古代残留物分析工作开展甚少,与国际先进水平存在一定差距,尚需人们更多的重视和实践。

### 注 释:

① Reber, Eleanor Ann. Maize Detection in Absorbed Pottery Residues: Development and Archaeological Application. Harvard University, Department of Anthropology, PhD Dissertation, 2001.

② W. Jeffrey Hurst, Stanley M. Tarka Jr, Terry G. Powis et al. Cacao usage by the earliest Maya civilization. *Nature*, 2002, 418 (6895): 289~290.

③ M. S. Copley, R. Berstan, S. N. Dudd, et al. Direct Chemical Evidence For Widespread Dairy-ing In Prehistoric Britain. *PNAS*, 2003, 100 (4): 1524~1529.

④ Joachim Burger, Susanne Hummel, Bernd Herrmann. Species Determination and STR-genotyping from Ancient DNA in Art and Artifacts. *Thermochimica Acta*, 2000, 365: 141~146.

⑤ G. Hodgins, R. Desalle, C. McGlinchey. In: Conference Ancient DNA, Oxford. July 1995.

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》,《第四纪研究》2005 年 25 (2)。

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》,《考古与文物》2006 年第 3 期。

⑧ 吕烈丹:《考古器物的残余物分析》,《文物》2002 年第 5 期。

⑨ Houyuan Lu, Xiaoyan Yang, Madin Ye. Millet Noodles in Late Neolithic China. *Nature* 2005, 437 (7061): 967~968.

⑩ Lamb J, Loy T H. Seeing red: the Use of Congo Red Dye to Identify Cooked and Damaged Starch Grains in Archaeological Residues. *Journal of Archaeological Science*, 2005, 32 (10): 1433~1440.

⑪ 陶大卫、杨益民、黄卫东等:《虢龙碑遗址出土器物残留淀粉粒的分析》(待刊)。

⑫ 马颖、杨益民、宋建忠等:《西周虢国墓地出土荒帷印痕的科技分析》(待刊)。

⑬ 苏伯民、真贝哲夫、胡之德等:《乾孜尔石窟

壁画胶结材料的 HPLC 分析》,《敦煌研究》2005 年第 4 期。

⑭ Sister Daniilia, Andreas Tsakalof, Kyriaki Bairachtari, et al.. The Byzantine Wall Paintings from the Protaton Church on Mount Athos, Greece: Tradition and Science. *Journal of Archaeological Science*, 2007, 34 (12):1971~1984.

⑮ Oliver E. Craig, Matthew J. Collins. An Improved Method for the Immunological Detection of Mineral Bound Protein using Hydrofluoric Acid and Direct Capture. *Journal of Immunological Methods*, 2000, 236:89~97.

⑯ Arlen Heginbotham, Victoria Millay and Michael Quick. The Use of Immunofluorescence Microscopy (IFM) and Enzyme-linked Immunosorbent Assay (ELISA) as Complementary Techniques for Protein Identification in Artists' Materials. 2004 WAG Postprints, Portland, Oregon.

⑰ Evershed, R. P., Heron, C., Charters, S., and Goad, L. J., 1992, The Survival Of Food Residues: New Methods Of Analysis, Interpretation And Application, in New developments in archaeological science: a joint symposium of the Royal Society and the British Academy, February 1991, 187~208.

⑱ Stephen A. Buckley, Katherine A. Clark, Richard P. Evershed. Complex Organic Chemical Balms of Pharaonic Animal Mummies. *Nature*, 2004, 431 (7006):294~299.

⑲ Richard P. Evershed, Stephanie N. Dudd, Virginia R. Anderson-Stojanovic, et al. New Chemical Evidence for the Use of Combed Ware Pottery Vessels as Beehives in Ancient Greece. *Journal of Archaeological Science*, 2003, 30 (1):1~12.

⑳ Kohn J M. You are What You Eat. *Science*, 1999, 15: 335~336.

㉑ E. A. Reber, Richard P. Evershed. How Did Mississippians Prepare Maize? The Application of Compound-Specific Carbon Isotope Analysis To Absorbed Pottery Residues From Several Mississippi

Valley Sites. *Archaeometry*, 2004, 46 (1):19~33.

㉒ Reber Eleanor A, Dudd Stephanie N, Van Der Merwe Nikolaas J., et al. Direct Detection of Maize li Pottery Residues via Compound Specific Stable Carbon Isotope Analysis. *Antiquity*, 2004, 78 (301):682~691.

㉓ 胡耀武、王昌燧:《中国若干考古遗址的古食谱分析》,《农业考古》2005 年第 3 期。

㉔ June D. Morton, Henry P. Schwarcz. Palaeodietary Implications from Stable Isotopic Analysis of Residues on Prehistoric Ontario Ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 2004, 31 (5):503~517.

㉕ 杨益民、金爽、谢尧亭等:《犍县侗国墓地铜簋的残留物分析》(待刊)。

㉖ R. P. Evershed, R. Berstan, F. Grew, et al. Formulation of a Roman cosmetic. *Nature*, 2004, 432 (7013):35~36.

㉗ Shannon Coyston. Noble Chemists and Archaeologists: Chemical Analyses of Food Residues from Ancient Maya Vessels. McMaster University, Department of Anthropology, PhD Dissertation, 2002.

㉘ 杨益民、郭怡等:《出土青铜酒器残留物分析的尝试》,《南方文物》2008 年第 1 期。

㉙ Patrick E. McGovern, Juzhong Zhang, Jigen Tang, et al. Fermented Beverages of Pre- and Proto-historic China. *PNAS*, 2004, 101:17593~17598.

㉚ Maria Rosa Guasch-Jane, Cristina Andres-Lacueva, Olga Jauregui. First Evidence of White Wine in Ancient Egypt from Tutankhamun's Tomb. *Journal of Archaeological Science*, 2006, 33 (8):1075~1080.

㉛ Manfred Rosch. Pollen Analysis of the Contents of Excavated Vessels- Direct Archaeobotanical Evidence of Beverages. *Veget Hist Archaeobot*, 2005, 14 (3):179~188.

(责任编辑:周广明)