

自编实验教材之——

陶器实验分析

王青

山东大学历史文化学院考古系

2008年7月

目录

一、陶器产地分析

二、陶器残留物分析

一、陶器产地分析

我国最早借用到自然科学的技术来研究古物的，大概要数科学家王琏，他早在本世纪 20 年代初，就对中国的一些古代铜钱作了定量的化学分析。而在史前陶器研究中引入自然科学的办法，我国则从安特生对仰韶村的发掘就开始了。当时安特生很注意陶器化学成分的分析，于是专门请了人来做这方面的工作。一位奥国的陶瓷化学家梅耶斯保（Meyersberg）取了仰韶村出土和秦王寨出土的两组彩陶残片作了分析，推定出这两处陶器的烧制温度，仰韶村的大致是摄氏 1300—1400℃ 的高温，而秦王寨的则大致需要 1100—1200℃ 的温度。而中国自己这方面的研究，周仁堪称这方面先驱，严济慈在《中国古陶瓷研究论文集》的序言中说：“周仁先生是我国现代钢铁冶金学和陶瓷学的开拓者之一。”在周仁的主持下，中国古陶瓷研究取得了突出的成就，而于 1960 年发表的《中国历代名窑陶瓷工艺的初步科学总结》作为一部中国古陶瓷科学技术史，影响极为深远。

对于史前陶器而言，周仁和他的同事们同样给予了极大的关注，于 1964 年发表的《我国黄河流域新石器时代和殷周时代制陶工艺的科学总结》便是一项重要的研究成果。其实在这项研究中，他们综合运用到了理化分析、民族考古学和实验考古学的方法，勾勒出了黄河流域新石器时代到殷周时代的制陶工艺状况。而在理化分析的方面，他们测定了所选陶片和有关原料的化学组成。且为了判断黄河流域一带哪些土可能成为当时的制陶原料，他们还对一些原料进行了主要工艺性能的测定，包括可塑性和玻化温度的范围。他们还观察了陶片的显微结构，主要关注点是在是否含有高岭石或莫来石。并选取了部分陶片进行物性测试，包括硬度和显孔隙度。通过他们的这些努力，他们在这篇文章里给出了很多重要的研究结论，例如对于陶土，他们证明了在黄河流域，使用最多的制作陶器的原料不是含有细砂的普通黄土，而是红土，沉积土、黑土和其他粘土；对于麝和料，他们则区分出了有意识配进去的沙粒和原来就存在于陶土中的沙粒；至于烧成温度，他们给出的数据是：灰陶和红陶的烧成温度范围是 950—1050℃，黑陶则大约在 1000℃ 左右，殷代硬陶的烧成温度为 1180℃，而战国侯马釉陶的烧成温度则高达 1230℃。在他们的影响下，一系列的地区性研究开展开来了，比如：《河姆渡遗址陶器的研究》、《罗家角陶片的初步研究》、《甘肃古代各文化时期制陶工艺研究》、《江西万年新石器时代粗陶的研究》、《山西襄汾陶寺遗址陶片的测试和分析》等等。

随着科学技术大量的被引进到考古学的领域，现在我们发现陶器研究中的科学分析手段已经十分丰富了（表一）。而如果说前面谈到的一些研究可能由于自然科学和考古学的磨合程度的问题，大家的感觉更象一种科技史式的研究，那么，随着学科的积淀和发展，我们现在已经可以看到一些可以称为磨合大致成功的范例了。

由严文明参与的《古代陶器的长石分析与考古研究》通过利用 X 射线定量物相分析和计算机分峰模拟技术来研究古陶残片及陶土中长石的种类和含量，而得到了一些与古陶产地

有关地信息，从而为古文化的交流等问题提供相关的帮助。在文中，研究者专门选取了来自安徽含山凌家滩、潜山薛家岗和江苏南京北阴阳营的三组陶片，并分别在凌家滩和北阴阳营两遗址内选取了一些陶粘土来进行测试。测试出的结果是凌家滩的陶器是古代当地先民制造的，薛家岗和北阴阳营的泥质陶也应是当地制造的，而同时可以看见可能有部分北阴阳营的泥质陶传播到了薛家岗。研究者在文末谈到，这次研究的数据相对还比较少，而且与考古研究还没有很密切的结合，故而目前对古文化的交流的问题还有待深入，但是可以确信的是通过这样的方法来获取古陶产地的信息则是完全可能的。

表一：陶器科学测定方法

	成分	结构	烧成温度	年代测定	残留物鉴定
穆斯堡尔谱技术	X		X	X	
X 射线衍射	X		X		
X 射线荧光分析	X				
X 射线探针	X				
X 射线电子光谱	X				
质子引发 X 射线放射	X				
原子吸收光谱	X				
原子发射光谱	X				
电子显微镜		X	X		
电子探针	X				
X 射线照相术		X			
中子活化分析	X				
光学发射光谱	X				
色质联用技术					X
核磁共振分析		X			X
热反应分析			X		
偏振光显微镜	X				
电子共振			X		
热膨胀分析			X		
热释光分析				X	
热磁分析				X	

而陆巍则通过对北辛文化和山东龙山文化的陶器进行了化学成分的测试后，再对数据进行聚类分析来解决一些问题。他选取了来自两个遗址的陶片：山东滕县北辛遗址和山东胶县三里河遗址。对这两组陶片进行了化学组成成分的分析后，再对其进行聚类分析，最后发现相距 150 公里、相隔 2500 年的北辛遗址和三里河墓葬其陶片的主要化学成分基本一致，

而又进一步做出推论：“2500 年间，这一地区的制陶业，其主要精力不在于改变和掺杂陶土的化学成分，而更多的关注于复杂的造型、形态、纹饰和制作工艺的进步”。

由社科院考古所和中国科技大学科技考古研究室合作研究的大汶口文化大口尊的产地问题是我们最近看到的又一个这方面的尝试。这次研究利用到了等离子体发射光谱 (ICP)、岩相分析并结合 Fisher 判别分析对安徽蒙城尉迟寺遗址及山东莒县周家庄、大朱家村遗址出土的新石器时代大汶口文化大口尊的产地和文化渊源做了初步的研究。判别分析的结果指出，山东莒县遗址所出陶大口尊在判别分析分布图上分布集中，反映了当地是就地取土，就地烧制的。而安徽蒙城尉迟寺遗址所出的陶器则分布较散，研究者给出了两种可能：一当是由于其所处特殊的地理位置带来的文化交流所致；二则可能是粘土本身的差异性造成的。

二、陶器残留物分析

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){1}，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{2}，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 $\delta^{13}C$ 比值，据此可进一步细化脂类单体的生物来源{3}；(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。

以下从 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。

1. 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^[4]，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 *Martinella 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^[5]，经比照分析，发现这些古代明胶的制作原料之一鱼鳔，取自于一种英文名为 *Rhodeus Ocellaus* 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。

2. 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^{[6][7][8]}。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^[9]。

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{10}。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 μ 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{11}。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倮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{12}。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。

3. 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{13}。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{14}。

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，并同时将释放出来的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{15}。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[16]。

4. 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[17]。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。

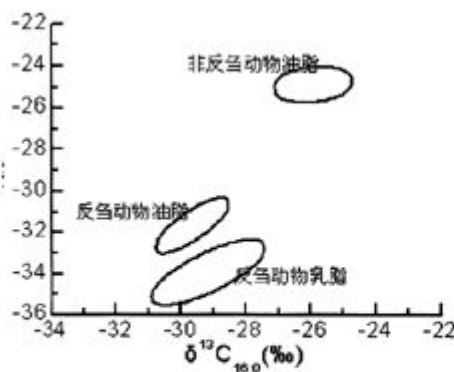
脂类分析的手段主要为 GC-MS 和 GC-C-IRMS（气相色谱-同位素质谱联用）。气相色谱的原理为：待分离的各种有机物质在气体流动相和固定相中的分配系数、吸附能力等亲和能力存在差异，混合物在流动相的带动下在两相间经过反复多次的分配平衡，使得各组分被固定相保留的时间不同，从而按一定次序由固定相中先后流出。根据柱后检测方法可以判别各色谱峰的分子结构或碳同位素比值；根据残留物中脂肪酸的含量比例，可以推断残留物来源大类，如 16 烷酸和 18 烷酸的含量比值，较低指示动物来源，较高指示植物来源[18]。

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 $\delta^{13}\text{C}$ 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[19]。在古代美洲地区，作为 C4 植物的玉米，与以 C3 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——C4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值则约为 -12.5% ，而 C3 植物的平均值约为 -26.5% [20]，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 C4 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[21][22]。在古代欧洲地区，没有 C4 植物被驯化，人类的生存环境是以 C3 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，C16: 0）和 18 烷酸（硬脂酸，C18: 0）。饲养实验表明：以 C3 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 ^{13}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，

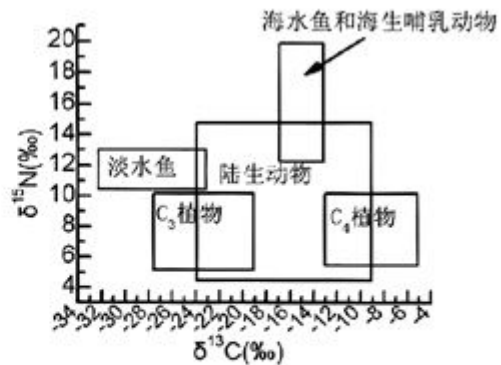
结合动物考古学的证据，证明英国地区在新石器时代农业传入之际，养牛不仅仅是为了获取肉食，牛奶已成为饮食的一部分{3}。

5.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。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）{23}，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。



图一 以 C3 植物为食物链底层的反刍动物脂肪、反刍动物乳糖和非反刍动物脂肪中 C16:0 和 C18:0 脂肪酸



图二 动植物的 δ¹³C 和 δ¹⁵N 分布范围 (摘自文献⑥)

来源期刊分布范围(摘自文献⑥)

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 C3 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 C4 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 13C 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{24}。

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 C4 类植物（如《说文》中“簋，黍稷方器也”）。2005 年山西省绛县西周倬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，暗示古代样品中含有动物蛋白。至于 δ¹⁵N 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‰{23}。古代样品的 δ¹³C 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{25}。

6.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 年山西省绛县西周倬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{28}。Mc.Govern 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{29}。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{30}。

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{31}。