

仰韶文化的谷芽酒： 解密杨官寨遗址的陶器功能

刘莉 王佳静 赵雅楠 杨利平

摘要：黄河中游的仰韶文化在中期(庙底沟类型时期)迅速向周边地区扩张,表现之一为具有代表性的陶器组合出现在许多同时期的遗址中,包括小口尖底瓶、小口平底瓶和漏斗。我们对陕西高陵杨官寨遗址仰韶中期的这三种器物中的遗存进行了淀粉粒和植硅体分析,其结果揭示了它们作为酿酒器具的功用,并可藉此复原目前所知经科学鉴定的中国最早的谷芽酒(距今5700-5300年前)的酿制过程,即以黍和薏苡为基本原料,辅以野生小麦族种子、桔梗根、山药及百合等,在尖底瓶和平底瓶中酿制而成。这些植物原料包括栽培和野生种类,是新石器时代中国北方地区人群长期利用的食物资源。其中,黍在酿制谷芽酒中居于核心地位,对我们研究驯化黍的起源和传播有重要启示;薏苡作为普遍使用的酿酒原料,也有助于我们思考其驯化过程。结合以往的研究,谷芽酒应在仰韶文化人群的饮食和礼仪活动中具有重要地位。作为一处大型中心聚落,杨官寨遗址的统治阶层很可能将组织酿酒和宴饮活动作为获取与维护权力的重要手段之一。

关键词：淀粉粒分析;植硅体分析;尖底瓶;平底瓶;漏斗;酿酒

中图分类号：K871.13 **文献标识码：**A **文章编号：**1006-2335(2017)06-0026-07

一、研究背景

黄河中游的仰韶文化在中期(庙底沟类型时期)迅速向周边地区扩张,表现之一为具有代表性的陶器组合出现在许多同时期的遗址中,包括小口尖底瓶、小口平底瓶和漏斗。小口容器往往与储存液体有关,漏斗则主要用于向小口容器中注入液体。长期以来就有学者提出:仰韶文化的尖底瓶、平底瓶和漏斗可能为酿酒器,漏斗是用来将酒浆倒入尖底瓶或平底瓶中的^[1-3]。

但这些结论都是根据民族学资料或与世界其他地区考古资料进行类比得出的,未经科学验证。最近笔者对西安米家崖遗址仰韶晚期漏斗、尖底瓶和大口瓮的残留物作了分析,首次提供了这组陶器用于酿造谷芽酒的科学证据;对淀粉粒和植硅体的分析,证明米家崖人使用发芽的黍和大麦,并掺合薏苡及多种块根植物来酿酒^[4]。这一结果说明,植物残留物分析能够帮助我们有效判别陶器是否具有酿酒功用,是进一步

刘莉,女,美国斯坦福大学东亚语言与文化系教授、博导,研究方向为东亚考古;王佳静,女,美国斯坦福大学东亚语言与文化系博士生,研究方向为东亚考古;赵雅楠,女,中国社会科学院研究生院博士生,研究方向为史前考古;杨利平,男,陕西省考古研究院助理研究员,研究方向为陕西历史文物。

追溯中国北方地区酿酒源流的可行方法。因此,我们有目的地把研究重点放在对漏斗、尖底瓶和平底瓶的残留物遗存的分析上。笔者本文主要讨论陕西高陵杨官寨遗址仰韶中期陶器的淀粉粒和植硅体分析结果。

二、遗址概况和标本采集

杨官寨遗址是渭水流域以仰韶文化庙底沟时期为主,并包含有仰韶晚期遗存的超大型环壕聚落,壕内面积达24.5万平方米。截至目前已发掘出房址、灰坑、陶窑、墓葬等大量遗迹,并出土有五千多件陶器,主要器类包括瓶(尖底和平底)、罐、盆、钵、釜、灶、瓮、杯、盂、器座、鼓形器、器盖、漏斗、刀、环、纺轮等^[5-6]。3个¹⁴C数据显示该遗址仰韶中期的年代大约为距今5700~5300年^[7]。动物遗存的分析显示,当时的居民的肉食来源主要为家猪及少量野生动物^[8]。植物浮选遗存的分析尚未结束,但采自灰坑和黄土沉积的土壤标本中发现较多粟和黍的植硅体,其中黍的比例高于粟^[7]。总体看来,杨官寨是渭水流域仰韶中期的一处大型中心聚落,其生计方式是以种植粟黍、饲养家猪为主的旱作农业。

杨官寨既是大型中心聚落,又出土有较多的尖底瓶、平底瓶和漏斗,这就为我们研究仰韶时期的酿酒及宴饮活动提供了绝好的材料。

2014和2016年度,我们对杨官寨遗址仰韶中期陶器进行了残留物提取,包括3件漏斗和10件尖底/平底瓶。残留物样品的采集过程及分析方法为:(1)小型陶器残片使用超声波清洗仪震荡3分钟,大型陶器使用超声波牙刷清洗3分钟,以获得液体残留物;同时使用洁净的刀片在陶器表面直接刮取固体残留物。(2)在实验室通过EDTA($\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)清洗法和重液离心法分离残留物,使用比重为2.35的多钨酸钠重液(SPT)以便同时提取淀粉粒和植硅体,吸取分离后的残留物溶液滴在干净的载玻片上,干燥后滴加浓度50%的甘油溶液,加盖玻片,并用指甲油封片。(3)淀粉粒和植硅体的观察和记录使用蔡司生物显微镜(Carl Zeiss Axio Scope A1),配备有微分干涉相差(DIC)及偏振光装置。

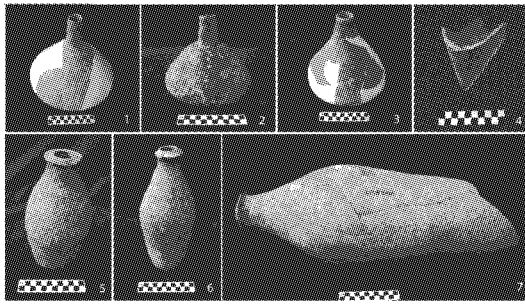
经过处理,不同器物上观察到的淀粉粒和植硅体数量不等;残留物数量极少的标本(0-3颗淀粉粒,极少量植硅体)不具备统计意义,因此本文仅对7件保存有较多残留物的器物进行分析与讨论,包括3件漏斗(FN1-3),2件尖底瓶(JDP1,2)和2件平底瓶(PDP1,2)(见表1;次页图1)。

三、酿酒过程造成淀粉粒损伤的实验考古分析

已有的研究成果表明,仰韶文化的酒属于

表1 杨官寨出土漏斗、尖底瓶、平底瓶残留物中淀粉粒记录

标本	出土单位	粟黍	蕙苡	小麦族	柘椴根	山药	百合	块根	未鉴定	总计	发酵	糊化
漏斗 FN1	G8:1	1	4	2		1		1	1	10	7	
漏斗 FN2	H776③:40		6	1	13	1		3	5	29	5	3
漏斗 FN3	H776④:43	4	2					2	5	13	6	
漏斗总数		5	12	3	13	2		6	11	52	18	3
漏斗总数(%)		9.6	23.1	5.8	25	3.8		11.5	21.2	100	34.6	5.8
尖底瓶 JDP1	G8-2④:139		1				2	7	3	13	4	
尖底瓶 JDP2		7	4	6				2	5	24	17	1
平底瓶 PDP1	H813:2		6	2	1				4	13	7	1
平底瓶 PDP2	G8-2④:59		6	1	35			18	4	64	19	1
尖-平底瓶总数		7	17	9	36		2	27	16	114	47	3
尖-平底瓶总数(%)		6.1	14.9	7.9	31.6		1.8	23.7	14	100	41.2	2.6
小计		12	29	12	49	2	2	33	27	166	65	6
总计(%)		7.2	17.5	7.2	29.5	1.2	1.2	19.9	16.3	100	39.2	3.6
出现率(ubiquity)		43%	100%	71%	43%	29%	14%	86%				
最小长度(cm)		7.05	12.52	10.94	6.68	19.04	40.98	5.1				
最大长度(cm)		13.63	23.83	30.32	24.68	20.26	45.26	58.81				
平均长度(cm)		10.82	17.29	19.28	15.82	19.65	43.12	16.63				



1-3: 漏斗(FN1-3);4: 尖底瓶(JDP2);5、6: 平底瓶(PDP1,2);
7: 尖底瓶(JDP1)。

图1 本文分析的杨官寨陶器

谷芽酒^[4]。在世界范围内,多种谷物均用于酿酒,如大麦、小麦、高粱、玉米、粟黍等;其酿造过程主要有三个步骤。(1)谷物发芽:目的是为了活化种子中的淀粉酶,而酶的功能是将淀粉转化为可发酵的糖。(2)糖化:是酶将淀粉转化为糖的过程;发芽谷物经过粗略捣磨后,放入大型器皿中,加入热水,温度保持在65~70摄氏度左右,经30分钟至4小时后制成醪液。(3)发酵:将醪液置于酿酒的容器中,酶继续对淀粉进行分解,同时利用酵母(可能为空气中的天然酵母,或存在于蜂蜜、野葡萄等植物中的酵母)将糖转化为酒精和二氧化碳,数日之后酿制成酒。由于发酵过程是在缺氧的环境中进行,酿酒容器需要封口^[9-12]。

根据民族学资料,酿酒者在发酵阶段往往向酿酒中加入一定比例的磨碎的、未经糖化的谷物或其他植物。例如:在中国陕西北部的榆林地区,人们有酿造小米浑酒的传统。根据本文第一作者的实地调查和以往发表的资料,浑酒的制法大致如下:(1)将小麦发芽后磨粉备用;(2)将脱壳黍磨成粉、蒸成糕备用;(3)以1:5的比例将发芽小麦粉与黍糕搅拌均匀,装入密封的坛子里,放置热炕头发酵,24小时后成酒。饮用时需加水煮开,成为微酸甜、淡黄色、粥状的低酒精饮料^[13]。这一类饮料应与仰韶文化的谷芽酒比较接近。又如,非洲埃塞俄比亚的民族用粟和高粱酿造谷芽酒;酿造时1/3为发芽的谷物,而2/3为未发芽、直接磨粉并烤熟的谷物^[13]。

上述酿造谷芽酒过程中的每一步骤都会对淀粉粒造成破坏,且损伤特征有别于一般的蒸、煮、烤^{[4][15-17]}。为了了解淀粉粒在酿酒过程中的形态变化,建立对比标本库,我们使用多种谷物和块根植物进行了一系列酿造谷芽酒的实验,包括粟、黍、大麦、小麦、赖草、披碱草、栝楼根、山药、百合等。根据实验结果,淀粉粒形态变化大致可归纳为与酿酒过程相应的三个阶段。第一阶段:在发芽过程中酶开始分解淀粉粒,在其表面留下的损伤痕迹包括中心凹陷、深沟及微型凹坑,但受损伤淀粉粒的数量比例较低。第二阶段:在糖化过程中,捣磨、加热及酶的作用使淀粉粒进一步受到破坏。其中一部分与发芽形成的损伤相同,但程度加深,如有些颗粒中心部分几乎完全缺失,仅保存边缘部分;另有一些淀粉粒出现部分表面缺失、部分层纹暴露、具有膨胀变形的糊化特征,消光十字模糊或消失等。这些可能是捣磨、糊化及酶分解所造成的综合性结果。第三阶段:醪液发酵使淀粉粒被进一步分解,上述的损伤特征更加明显,受损淀粉粒的总体比例增加,中心缺失而仅保存边缘的淀粉粒更多;但随着酿造时间的延续,更多的淀粉粒逐渐分解、消失(见次页图2)。由于酶分解淀粉的活动是一个持续进行的量变过程,这三个阶段淀粉粒的损伤形态具有一定的相似性。是否存在糊化淀粉粒可以作为第一阶段与第二、三阶段之间的区别;但第二、三阶段之间不易区分,因为糖化阶段出现的损伤特征在发酵阶段的初期仍继续存在^[18]。不过随着酿造时间的延长,淀粉粒损伤程度会增加,而总体数量会逐渐减少;同时,如果在发酵阶段向醪液中加入了其他植物,在残留物中也可能会表现出来。

不同植物的淀粉粒在发酵过程中被酶分解的速度和损伤形态也有区别^[19]。在我们的实验中,块根植物淀粉粒分解速度明显比谷物缓慢;当这两类植物放在同一容器中发酵数日后,前者的大多数仍保持较完整的形态,但后者已表现出明显损伤。另外,粟黍淀粉粒的分解速度超过薏苡。因此我们无法根据残留物中各种植物

淀粉粒数量的比例来复原这些植物在酿酒时所占有的绝对成分比例。再有,在酶的作用下,栝楼根的淀粉粒损伤表现有裂痕、中心凹陷、边缘破损;但百合和山药主要出现裂痕和边缘破损^[18]。

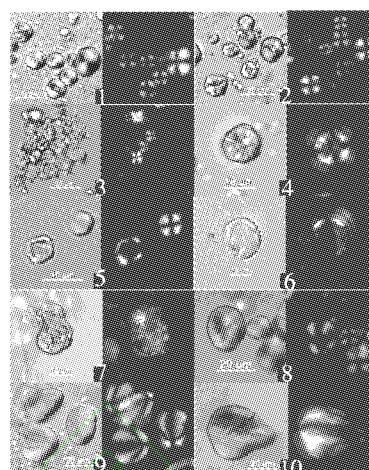
酿造谷芽酒的谷物并非必需脱壳,因此在酿酒器表面的残留物中可能有相应的颖壳植硅体,可与淀粉粒鉴定结果相参照。酿酒实验中观察到的这些现象,有助于我们分析古代陶器标本上的残留物遗存。

四、杨官寨陶器残留物分析

杨官寨陶器标本的残留物中共记录166颗淀粉粒,其中139颗(占比83.7%)可以鉴定为7种类型,包括粟黍(n=12)、薏米(n=29)、小麦族(n=12)、栝楼根(n=49)、山药(n=2)、百合(n=2)以及无法鉴定的块根植物(n=33)。有27颗(占比16.3%)淀粉粒缺少鉴定特征,归为无法鉴定类(表1,见前)。这些淀粉粒类型普遍见于中国北方新石器时期的石器和陶器残留物中,因此本文依据既已建立的标准进行鉴定,此不赘述^[20-26]。

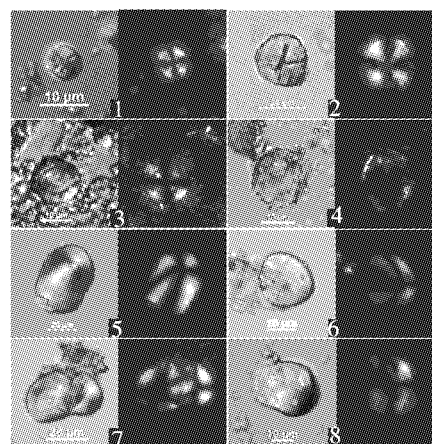
许多淀粉粒观察到各种损伤及变形特征。其中39.2%(n=65)的淀粉粒具有与上述酿酒实验标本中经过发芽、糖化、发酵后非常一致的损伤特征,即:淀粉粒表面出现中心凹陷、深沟及微型凹坑、部分缺失、部分层纹暴露、消光十字模糊或消失等,有些颗粒中心部分几乎完全缺失,仅保存边缘部分。另外有3.6%的淀粉粒(n=6)具有糊化特征,表现为膨胀变形、消光十字模糊或消失等,此类特征也见于前述的经糖化、发酵的对比标本中(见图2,图3)。

残留物中同时包含了较多数量的植硅体(n=405)。黍颖壳特有的 η 型植硅体在3个漏斗、2个平底瓶和1个尖底瓶中均有出现(n=10)。同时,哑铃型、多铃型和十字型等一些黍亚科中常见的植硅体出现最多(n=279),可能来源于黍和薏苡;其中一部分十字型植硅体的长或宽超过21微米,不见于黍,可能来自薏苡的内稃和外稃。在两件平底瓶中还发现了少量类似于小麦族的绞合状树枝纹饰植硅体(n=5),但是由于数量过少无法判断其种属(见图4)。



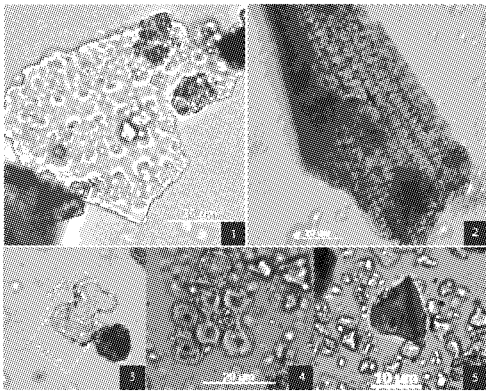
1.薏苡,发酵3天后有些淀粉粒表面出现凹坑和深沟;2.薏苡,发酵33天后淀粉粒普遍有更明显的凹坑和深沟;3.薏苡,发酵33天后一些淀粉粒受到严重分解后中心部分缺失,仅剩边缘;4.黍,糖化后表面出现凹坑和深沟;5.黍,糖化后中心部分破坏但边缘较完整;6.冰草,糖化后中心部破坏,边缘残破;7.赖草,糖化后表面出现凹坑,部分糊化;8.栝楼根,发酵34天后中心凹陷,边缘破损;9.山药,发酵5天后边缘破损,消光十字模糊;10.百合,发酵5天后出现深沟,边缘破损,消光十字模糊。

图2 实验酿酒过程中淀粉粒的损伤形态
(显示DIC和偏振光影像)



1.黍淀粉粒,表面有凹坑(JDP2);2.薏苡淀粉粒,表面有深沟(FN1);3.两颗出现不同程度中心凹陷的淀粉粒(FN2);4.淀粉粒中心部分几乎完全缺失,仅保存边缘(JDP2);5.百合淀粉粒,边缘破损(JDP1);6.山药淀粉粒,消光十字模糊;7.栝楼根淀粉粒,中心凹陷(FN2);8.小麦族淀粉粒,表面有凹坑,部分糊化(FN2)。

图3 杨官寨陶器上的淀粉粒,由于酶的作用产生各种形态的损伤(显示DIC和偏振光影像)



1.黍颖壳(FN1);2.小麦族树枝状纹饰(PDP1);3.十字型,类似薏苡(JDP2);4.哑铃型(FN2);5.帽型(FN2)。

图4 杨官寨陶器上的植硅体代表类型

淀粉粒和植硅体的组合中共有的植物种类为黍亚科和小麦族,可以相互印证。颖壳植硅体中没有发现粟,因此残留物中鉴定为粟黍的淀粉粒应来自于黍。如上所述,残留物中各种植物淀粉粒数量的比例不能准确代表这些植物在酿酒时所占有的绝对成分比例,原因有三:首先,在酿造过程中不同植物的淀粉粒被酶分解消化的速度不同。第二,不同植物的淀粉产出比不同,即同等质量的不同植物包含的淀粉粒数量不同。第三,这些器物很可能经过反复使用,所以我们分析所得的残留物成分是多次酿造活动的叠加结果。另外,我们也不能根据植硅体的数量来判断酿酒原料的比例,因为多数植硅体不能鉴定到种或属一级。杨官寨陶器所见的植硅体以黍亚科为主,但其中只有极少量可明确鉴定为黍和薏苡,因此无法判断这两种谷物在酿酒成分中各自所占的比例。

虽然对淀粉粒和植硅体的量化分析不能解决酿酒原料的成分比例问题,但我们参考不同植物微体遗存的出现率(ubiquity)及其酿造过程中的分解速度,仍然可以推测原料使用的大致情况。黍亚科(黍和薏苡)在植硅体组合中的出现率(100%)和数量比例(69%)最高,同时在淀粉粒组合中也是出现率最高的类型(100%)。其中黍的淀粉粒数量及出现率均低于薏苡,但这可能并不能代表在实际酿造过程中两种原料

的比例,因为黍淀粉粒被酶分解的速度快,因此在残留物中保存的相对较少。但黍无疑具有重要作用,原因在于:它是发谷芽的原料,而薏苡和块根植物都不具备这一性质。山药和百合无论是绝对数量还是出现率(29%;14%)都很低,因此这两种植物在酿酒原料中所占比例应较少。栝楼根的数量和出现率(43%)都高于山药和百合,但低于黍亚科,应是比较常用的辅助配料。杨官寨遗址陶器残留物中有一定数量比例(7.2%)和出现率(71%)的小麦族淀粉粒和极少量类似小麦族颖壳的植硅体(0.1%),但并没有发现可以确定为栽培小麦或大麦的植硅体,因此这些淀粉粒和植硅体可能来自于野生小麦族,也是酿酒的配料。

综合看来,杨官寨遗址以黍和薏苡为主,并加入栝楼根、山药和百合酿酒的情况与西安米家崖遗址相似。不同的是,米家崖陶器上发现有较多栽培大麦植硅体^[4]。本文分析的杨官寨陶器早于米家崖陶器数百年,现有的研究也表明前者所处的仰韶文化中期,栽培麦类植物尚未传入中国。但利用黍和薏苡,加之本地所产小麦族(如冰草、赖草、披碱草等)酿酒,可能是中国北方地区的古老传统。对栝楼根、山药和百合等块根植物的利用在中国北方地区可以追溯至旧石器时代晚期,并一直延续至新石器时代,地域范围有所扩展^[27-28]。总之,在仰韶时期,除了粟以外,几乎所有当时常见的、富含淀粉的谷物和块根植物都被用来酿酒。

五、讨论

由此看来,杨官寨陶器上发现的酿酒配料中,黍亚科植物(主要是黍和薏苡)是最基本的成分,仰韶中期时期的谷芽酒主要应是靠发芽的黍产生淀粉酶将淀粉转化为糖。残留物中小麦族淀粉粒和植硅体的发现也很值得注意;根据我们的实验,野生小麦族的种子发芽后也产生淀粉酶,因此在栽培大麦进入中国之前或许野生小麦族曾经用来制作谷芽酒;但对这方面的知识我们了解甚少。在酿制过程中,酿酒器需要密封,小口陶瓶的设计应是为了便于封口。酿

造数日之后,醪液中一部分醪渣会浮到表面(图5),这一现象也许可以解释为什么陶瓶口内壁会有较厚残留物。漏斗在酿酒过程中的功能十分明显:它是将大口陶器中糖化的醪液注入小口陶瓶的必需工具;因此漏斗上的残留物组合与陶瓶上的基本一致。总体来看,本文所分析的陶器残留物组合和淀粉粒损伤特征,显示这些器具与酿酒程序中的糖化和发酵有关。

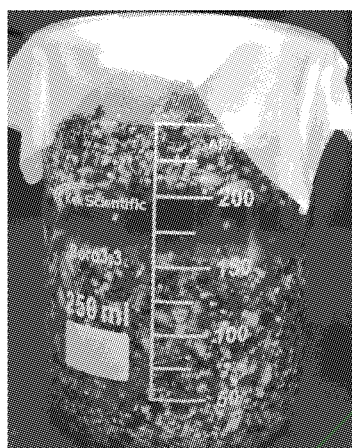


图5 黍和大麦醪液,发酵2天时部分醪渣浮上醪液表面

仰韶文化庙底沟时期向周边地区的扩张伴随着陶器和农业的传播,其中尖底瓶和平底瓶,以及黍是重要指示物。通过研究我们认识到,尖底瓶和平底瓶都具有酿酒的功用,而黍是酿酒的重要原料。仰韶中、晚期的尖底瓶一般大于仰韶早期的同类器,所以一定程度上反映了对酒需求的不断增加,以及群饮礼仪的流行^[29]。而这些社会生活的变化或许也说明了陶器与农业传播的部分动力。此外,同是酿酒器的平底瓶一般小于尖底瓶,其中的原因还有待于进一步研究。漏斗是仰韶文化酿酒器具组合的一部分,并传播到周边地区,其主要集中发现在关中和豫西地区^[30],最北达到内蒙古中南部的庙子沟遗址^[31];但漏斗发现的数量远远少于尖底瓶,这可能是由于漏斗多用其他材料制作,如竹、木等植物。

六、结语

本文对杨官寨遗址仰韶文化庙底沟类型三种陶器的残留物分析为陶器功能研究提供了一

个成功个案,其结果揭示了目前所知经科学鉴定的中国最早的谷芽酒(距今5700~5300年前)的酿制过程。此种谷芽酒以黍和薏苡为基本原料,并以野生小麦族种子、栝楼根、山药及百合等为辅助原料,糖化后经由漏斗注入尖底瓶和平底瓶中酿制而成。谷芽酒的植物原料包括栽培和野生种类,并且均是新石器时代中国北方人群长期利用的食物资源。其中黍在酿制谷芽酒中的核心地位对我们研究驯化黍的起源和传播有重要启示,薏苡作为普遍使用的酿酒原料也有助于我们研究其驯化过程。综合以往的研究,我们认为谷芽酒应在仰韶人群的饮食和礼仪活动中占有重要地位。杨官寨遗址作为一处大型中心聚落,组织酿酒和宴饮活动可能也是其社会统治阶层获取和维护权力的手段。因此,结合动、植物考古及聚落考古等多方面的研究成果,我们可以说生业状况和社会关系状况互为表里。酒的社会功能是新石器时代考古中值得进一步探究的课题。

[参考文献]

- [1]包启安.仰韶文化遗存与酿酒[J].中国酿造,2007,(1).
- [2]包启安.仰韶文化遗存与酿酒[J].中国酿造,2007,(2).
- [3]李仰松.对我国酿酒起源的探讨[J].考古,1962,(1).
- [4]Wang, Jiajing, Li Liu, Terry Ball, Linjie Yu, Yuanqing Li, and Fulai Xing. Revealing a 5,000-y-old beer recipe in China[J].*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2016,113(23).
- [5]王炜林,袁明,张鹏程,张伟,郭小宁.陕西高陵县杨官寨新石器时代遗址[J].考古,2009,(7).
- [6]王炜林,张伟,张鹏程,郭小宁,袁明,马明志.陕西高陵杨官寨遗址发掘简报[J].考古与文物,2011,(6).
- [7]张建平,吕厚远,吴乃琴,李丰江,杨晓燕,王炜林,马明志,张小虎.关中盆地6000-2100 cal. aB.P.期间黍、粟农业的植硅体证据[J].第四纪研究,2010,(2).
- [8]胡松梅,王炜林,郭小宁,张伟,杨苗苗.陕西高陵杨官寨环壕西门址动物遗存分析[J].考古与文物,2011,(6).
- [9]Hayden, Brian.Neil Canuel, and Shanse Jennifer. What was brewing in the Natufian? An archaeological as-

- assessment of brewing technology in the Epipaleolithic [J]. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2013,(20).
- [10]Dineley, Merryn. *The craft of the maltster, in Food and Drink in Archaeology 4* [M].W. Howard, K. Bedigan, and B. Jervis, Editors. 2015, Prospect Books: Exeter.
- [11]Dineley, Merryn. Who were the first maltsters? The archaeological evidence for fl oor malting [J].*Brewer and Distiller International*, 2016,February.
- [12]McGovern, Patrick E. *Uncorking the Past: The Quest for Wine, Beer, and Other Alcoholic Beverages* [M]. 2009,Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- [13]榆林饮品: 浑酒醪糟 [EB/OL].<http://sx.sina.com.cn/yulin/eat/2013-12-19/093411104.html>,2013.
- [14]Wayessa, Bula Sirika, Diane Lyons, and Brian Kooyman. Ethnoarchaeological Study of Brewing Technology in Wallaga Region of Western Oromia, Ethiopia[J].*Journal of African Archaeology*, 2015, 13(1).
- [15]Henry, Amanda G. , Holly F. Hudson, and Dolores R. Piperno. Changes in starch grain morphologies from cooking[J].*Journal of Archaeological Science*, 2008,(36).
- [16]Samuel, Delwen. Archaeology of ancient Egyptian beer [J].*Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 1996,(54).
- [17]Samuel, Delwen. *Brewing and Baking, in Ancient Egyptian Materials and Technology, P.T. Nicholson and I. Shaw, Editors* [M]. 2000, Cambridge University Press: Cambridge.
- [18]Wang, Jiajing, Li Liu, Andreea Georgescu, Vivienne V. Le, Madeleine H. Ota, Silu Tang, and Mahpiya Vanderbilt, Identifying ancient beer brewing through starch analysis: a methodology [J].*Journal of Archaeological science: Reports*, forthcoming.
- [19]Oates, Christopher G., Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis [J].*Trends in Food Science and Technology*, 1997,(8).
- [20]Liu, Li. Judith Field, Richard Fullagar, Sheahan Bestel, Xiaolin Ma, and Xingcan Chen, What did grinding stones grind? New light on Early Neolithic subsistence economy in the Middle Yellow River Valley, China [J].*Antiquity*, 2010, 84(325).
- [21]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. 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 [J]. *中国科学D辑: 地球科学*, 2009, 39(9).
- [22]杨玉璋, 李为亚, 姚凌, 程至杰, 张居中, 信应君. 淀粉粒分析揭示的河南唐户遗址裴李岗文化古人类植物性食物来源 [J]. *第四纪研究*, 2015, 35(1).
- [23]Liu, Li. Neil A. Duncan, Xingcan Chen, Hao Zhao, and Ping Ji, Changing patterns of plant-based food production during the Neolithic and early Bronze Age in central-south Inner Mongolia, China: An Interdisciplinary approach [J]. *Quaternary International*, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.002>.
- [24]Liu, Li. Sai Ma, and Jianxin Cui, Identification of starch granules using a two-step identification method [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2014,(52).
- [25]刘莉, 陈星灿, 赵昊. 河南孟津寨根、班沟出土裴李岗晚期石磨盘功能分析 [J]. *中原文物*, 2013, (5).
- [26]张永辉, 翁屹, 姚凌, 张居中, 周昱君, 方方, 崔炜. 裴李岗遗址出土石磨盘表面淀粉粒的鉴定与分析 [J]. *第四纪研究*, 2011, 31(5).
- [27]Liu, Li. A long process towards agriculture in the Middle Yellow River valley, China: Evidence from macro- and micro-botanical remains [J]. *Journal of Indo-Pacific Archaeology*, 2015, (35).
- [28]Liu, Li. Sheahan Bestel, Jinming Shi, Yanhua Song, and Xingcan Chen, Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(14).
- [29]刘莉. 早期陶器、煮粥、酿酒与社会复杂化的发展 [J]. *中原文物*, 2017, (2).
- [30]中国科学院考古研究所. 庙底沟与三里桥 [M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [31]内蒙古文物考古研究所. 庙子沟与大坝沟 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2003.

责任编辑: 施由明