

澠池丁村遗址仰韶文化的曲酒和谷芽酒*

刘 莉¹ 李永强² 侯建星³

1.美国斯坦福大学东亚语言与文化系; 2.中国社会科学院考古研究所, 北京 100101;

3.澠池县文化广电和旅游局, 河南 澠池 472499

Abstract: Our non-destructive, multi-proxy approach (analyzing starch granules, phytoliths, yeasts and molds) shows great potential to identify different types of microfossils related to the fermentation process which are preserved in pottery residues. We examined nine Neolithic *jiandiping* amphorae from a middle Yangshao culture site at Dingcun in Mianchi, Henan (ca. 6000–5100 cal. BP), and revealed the evidence of ancient beer as well as brewing techniques. The Yangshao people there used amphorae to make cereal-based fermented beverages with millet, rice, Job's tears, wild Triticeae grass seeds and snake gourd roots. They employed two fermentation techniques, using *qu* starter and using malts. The *qu* starter may have been made of several molds, including *Monascus*, *Aspergillus* and *Mucor*, while using rice as ingredient. Making fermented beverages with *Monascus* mold and rice may have originated in the Lower Yangzi River region, and reached the Yellow River region together with rice domestication in the Neolithic period. Dingcun is only 10 km away from the famous Yangshao type site, and its fermentation method can represent the development state of alcohol brewing technology in the core area of the Yangshao culture 6000 years ago.

Keywords: Dingcun site, Yangshao culture, Brewing technique, Fermentation technique, *Monascus*, Neolithic *jiandiping* amphorae

摘要: 本文采用对陶器进行非损伤性、多学科综合分析的方法(分析淀粉粒、植硅体、酵母和霉菌), 识别残留物中与发酵过程相关的多种微型植物和微生物化石。通过对河南澠池丁村仰韶文化遗址中九个尖底瓶的残留物(距今6000—5100年)的分析, 获得了古代酿酒技术的证据。丁村的仰韶人用尖底瓶制作谷物发酵酒, 酿酒原料主要为黍、大米、薏苡、野生小麦族种子和栝楼根。他们采用了两种发酵技术, 以酒曲或发芽谷物作为发酵剂。制作酒曲的主要菌种可能是红曲霉, 同时也包括少量曲霉和毛霉, 主要原料可能为大米。利用红曲霉和小米制曲酿酒可能起源于长江下游地区, 随着水稻栽培的传播在新石器时期就已到达黄河流域。丁村距离著名的仰韶遗址仅10公里之遙, 其酿酒方法可代表仰韶文化核心地区6000年前酿酒技术的发展状态。

关键词: 丁村遗址; 仰韶文化; 酿酒; 发酵方法; 红曲霉; 尖底瓶

一 引言

中国以其悠久的酿酒历史而闻名于世, 黄淮

流域最早的酒遗存可追溯到9000年前的河南舞阳贾湖遗址^[1]。对陶器上微体化石遗存的分析表明, 新石器时代早期的人们使用小口鼓腹罐来制作谷物发酵饮料, 并且在大约8000年前就已经掌

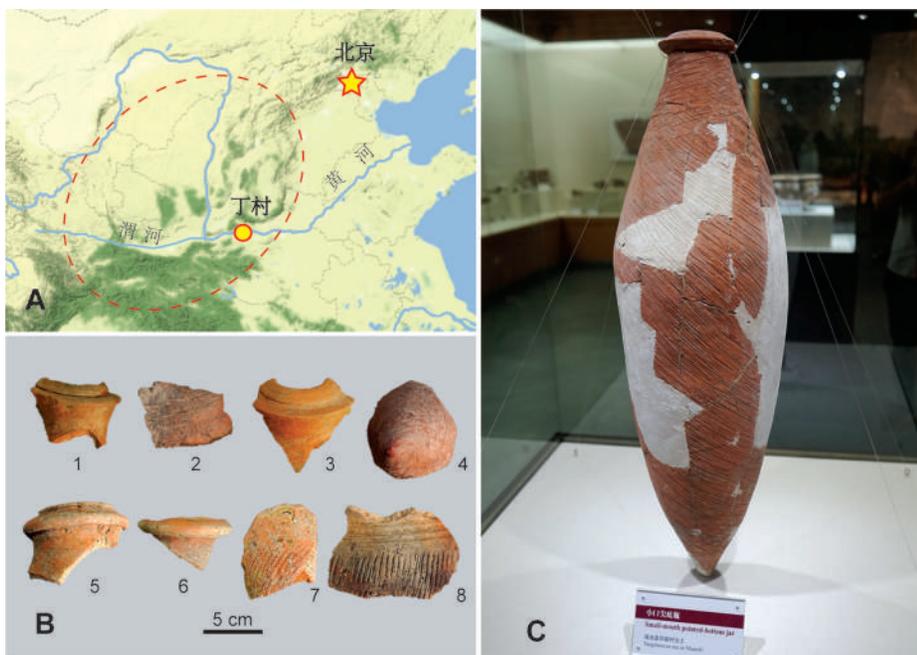
*本文得到斯坦福大学斯坦福考古中心何勉君中国考古项目基金的支持。

握了两种发酵技术。这一进展的例证来自渭河流域宝鸡关桃园陶器中发现的曲酒残留物（以发霉谷物和草曲为发酵剂）和临潼零口遗址陶器中发现的谷芽酒残留物^[2]。在新石器时代中期，小口尖底瓶作为一种新的陶器类型出现在黄河中游的仰韶文化分布地区（距今约7000—4900年）。（图一：A、C）以往对渭河流域仰韶文化早、中、晚期遗址（半坡、姜寨、杨官寨、米家崖、新街）的尖底瓶

残留物分析证明，这类陶器用于发酵和储存酒精饮料，酿造以黍为主要原料的曲酒和谷芽酒^[3]。

小口尖底瓶的造型与其功能有关：小口窄颈有利于密封，以尽可能排出空气，因而形成发酵过程中所需的厌氧环境，并防止产酸微生物的繁殖；而其锥形底部有利于醪液中渣滓（谷壳、酵母等）的沉淀和分离^[4]。在发酵过程中，尖底瓶可能与其他类型陶器一起使用，如用于浸泡和糖化谷物的大口瓮，用于将醪液从大口瓮转移到小口尖底瓶的漏斗，以及用于加热醪液的陶灶。在西安米家崖遗址的两个灰坑中各发现了这样一套酿酒陶器^[5]，对这些陶器的残留物分析，获得了酿造发酵饮料的明确证据^[6]。在所有这些可能与酒精生产有关的陶器类型中，尖底瓶最为重要，它用于酿酒、储酒，同时也可能用于啜酒群饮^[7]。

仰韶文化早期主要以渭河流域为中心，代表了一个以种植粟、黍为主的农业社会。其物质文化在中期（庙底沟期）向周边地区扩张（距今6000—5100年），延伸到黄河流域中上游的广大



图一 遗址位置和本文分析的陶器标本

A. 仰韶文化庙底沟期遗址分布范围（虚线）及丁村遗址的地理位置 B. 本文分析的部分丁村陶片（1-7. 小口尖底瓶口沿、器身及器底；8. 陶罐） C. 澠池仰韶遗址出土的尖底瓶（高71厘米，仰韶文化博物馆藏）

地区。这种物质文化扩张背后的动因可能包括农业人口的迁移，技术和思想的传播，或多种因素的结合。无论何种原因，尖底瓶的存在与仰韶文化共始终，是构成其核心文化的最重要因素之一。尖底瓶与仰韶物质文化共同传播也意味着酿酒技术的扩散。值得注意的是，尖底瓶的体积随着时间的推移而增加，在庙底沟阶段许多尖底瓶的高度接近1米（图一：C），这表明对酒精饮料的需求不断增加，可能是为了满足大型宴饮仪式的需要。然而，这些假设需要检验。本文以河南省澠池县丁村仰韶文化遗址为研究对象，该遗址处于仰韶文化庙底沟类型的核心地区。（图一：A）我们旨在回答两个问题：（1）丁村的尖底瓶是否与酿酒有关？（2）如果是，涉及哪些发酵方法？

二 考古背景及分析方法

丁村新石器遗址发现于1962年，包括仰韶和龙山早期的遗存。遗址位于丁村村东北的台

地上,南部曾经有一条小河流经,但现在已经成为水库^[8]。丁村遗址以东约10公里处便是著名的仰韶遗址,是J.G.安特生于1921年发现的中国第一个新石器时代遗址。随着仰韶遗址发现100周年的临近,人们对了解古代仰韶人的生活方式有了越来越浓厚的兴趣。但是,作为举世闻名的文化遗产,仰韶遗址受到特殊保护,无法从遗址上移走文物进行分析研究。2018年,本文的第三作者注意到丁村水库附近散布了大量仰韶文化陶器碎片,并意识到丁村的考古遗存有助于揭示仰韶人生活的重要信息。因此我们对该地点进行了初步调查,在黄土断面的地层中发现了仰韶文化陶器遗存,并从遗址地层和附近地面收集了一些包括尖底瓶在内的陶片。根据尖底瓶口沿的特征,这些陶片的年代可定为仰韶文化庙底沟期。

我们分析了九个尖底瓶陶片。首先将它们分别用自来水冲洗以除去器表的浮土,然后将每个陶片分别放入干净的装有蒸馏水的塑料袋中,将其浸入超声波清洗机中清洗3分钟,并将溶液保存在试管中。残留物样品的处理涉及两个步骤:(1) EDTA清洗法:在装有残留物的试管中加入4ml EDTA ($\text{Na}_2\text{EDTA}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 溶液(0.1%),震荡2小时;(2)重液分离法:加入比重为2.35的多钨酸钠(sodium polytungstate)使用离心机分离,以同时获得标本中的淀粉粒、植硅体和真菌。微体植物及真菌的鉴定是基于斯坦福大学考古中心的现代标本库,包括1100多件植物和真菌标本,并参考以往发表的文献^[9]。我们对实验室的设备和环境定期清洁和检查,以防止环境中淀粉粒对标本的污染。

我们测试了三个控制标本,其中一个为陶罐(炊具)上的残留物(控制1),两个是从未清洗的陶片上刮下的土壤沉积物(控制2、3)。处理控制标本和残留物标本的步骤相同。结果显示,控制标本中的微体化石数量比残留物中的低得多,并且两组微体化石的组合也有明显区别,这一结果支持了残留物样品中微化石的原生性(见下文)。

三 结果

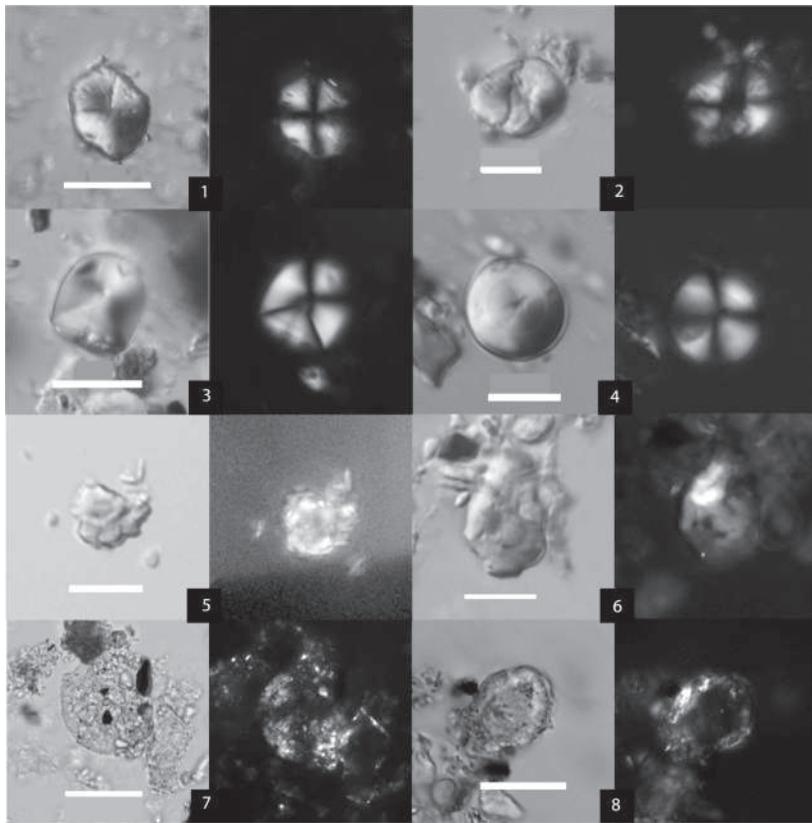
利用谷物酿酒涉及两个独立的生化步骤。

(1)糖化:谷物中的淀粉通过淀粉酶的水解转化为可发酵的糖;(2)发酵:酵母将糖转化为乙醇和二氧化碳。酿造谷芽酒时,糖化(通过谷物发芽)和发酵(通过添加酵母)是先后连续进行的。但是,如果采用曲作为发酵剂,糖化和发酵两个过程同时发生。这是因为曲是由发霉的谷物(或加草曲)制成,其中含有丰富的微生物(霉菌,酵母菌和细菌)。在曲酒的酿造过程中,霉菌产生的各种酶促进糖化,同时酵母将糖转化为酒^[10]。为了研究考古学遗存中存在的酒残留物,并进一步了解发酵技术,我们建立了一套分析方法,有助于判断容器上的残留物中是否存在酿酒证据,如下所述。(1)如果淀粉粒显示的损伤特征是由于酶分解和糖化作用,以及低热温度糊化($65^\circ\text{C}\sim 70^\circ\text{C}$)造成,可以此判断是经过了酿酒的糖化过程;(2)酵母的存在是发酵酒的有力证据;(3)如果酿造的是谷芽酒,容器残留物中可能包括较多谷物颖壳植硅体,因为谷物发芽不需脱壳;(4)另一方面,如果是用曲(包括草曲)作为发酵剂酿酒,则残留物中可能会发现真菌成分(菌丝、孢子和孢子囊等)和草类植硅体;(5)对淀粉粒和植硅体类型的种属来源的鉴定,可提供有关酿酒原料的信息。据此,必须对来自淀粉粒,植硅体和真菌的多种证据进行综合分析,才能回答有关器物的酿酒功能以及酿造方法的问题。

(一) 淀粉粒遗存

总共记录了187个淀粉粒,其中133个(71.1%)可划分为四种类型,并与某些植物种属相对应。许多淀粉粒($n=54$; 28.9%)损伤严重或缺乏鉴定特征,归于无法鉴定(未鉴定)之类。(图二,表一)

I型淀粉粒鉴定为黍亚科,出现在8个样品中,是出现率最高的类型(Panicoideae; $n=50$; 占总数26.7%; 出现率89%; 长度范围7.77~



图二 丁村陶器中具有发酵特征的淀粉粒

1、2. 粟黍或薏苡，显示有微型坑、深沟槽、中心部凹陷 3、4. 栝楼根，包括钟形和圆形、表面有微型坑 5、6. 稻米，无消光十字，但可见双折射光泽 7. 小麦族，显示暴露的层纹 8. 未鉴定，膨胀、中空，周边有双折射光泽（比例尺：2、6：10微米；其他：20微米）

21.98 μm)。颗粒大多呈多面体状，脐点居中，消光十字为“十”形。它们可能来自黍 (*Panicum miliaceum*)，粟 (*Setaria italica*) 和薏苡 (*Coix lacryma-jobi*)^[11]。由于大多数颗粒受到严重破坏，因此无法进一步鉴定到属。

Ⅱ型淀粉粒鉴定为水稻，在3个样品中发现，是数量最多的类型 (*Oryza* sp.; n=54; 占总数量28.9%；出现率33%；长度范围2.79~7.24 μm)。颗粒小且呈多面体，以复粒形式出现 (n=5)。水稻淀粉粒粒形很小，不易发现；尤其是在发酵损伤的情况下，其粒形模糊，消光十字全无，只能看到双折射光泽，很难鉴定。(图二：5、6与图三：3比较)因此，水稻淀粉粒的实际数量很可能超过记录的数量。

Ⅲ型淀粉粒为小麦族，出现在7个样品中，是出现率居第二位的类型 (Triticeae; n=20; 占

总数10.7%；出现率78%；长度范围16.04~41.39 μm)。颗粒形状为透镜体，脐点居中，消光十字为“十”或“X”形。它们很可能来自野生小麦族植物，例如冰草属，披碱草属和赖草属，这些都常见于中国北方地区^[12]，但我们无法进一步鉴定到属。

Ⅳ型淀粉粒鉴定为栝楼根，出现在4个样品中 (*Trichosanthes kirilowii*; n=9; 占总数4.8%；出现率44%；长度范围8.75~23.22 μm)。这种块根的淀粉粒包括有多种形态，如钟形、圆形、多面体和复粒组合。脐点居中或偏心，十字消光臂或直或弯曲。栝楼在中国北方常见^[13]，其根部又称天花粉，具有药用功能，古代被用作救荒食物^[14]。

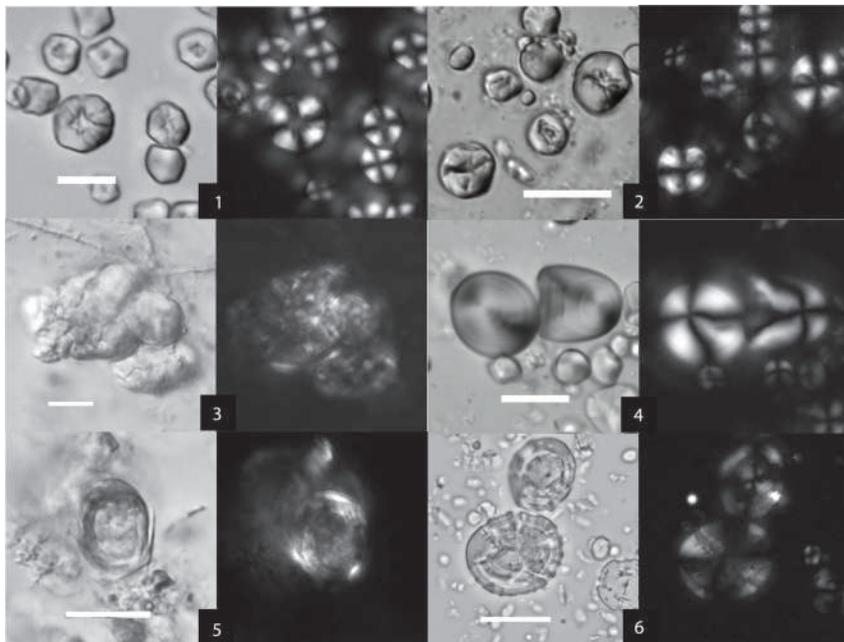
这些植物作为酿酒原料也发现在黄河流域其他仰韶遗址

出土的酿酒陶器中^[15]。

绝大多数淀粉粒被破坏 (n=165; 88.3%)，表现出酶分解和/或糊化的特征，与我们现代对标本中的酿酒发酵的淀粉粒损伤形态相似。(图三)它们可以进一步分为经过发酵 (n=146; 78.1%) 和经过烹饪 (n=19; 10.2%) 两种类型。发酵破坏是由于酶分解和糖化作用引起的低热温度糊化所致。前者包括微型坑、深沟、边缘缺失、中央凹陷或在偏振光下消光十字消失；后者的特征是中等程度的膨胀，中心凹陷，通常在淀粉粒边缘仍保留有双折射光泽，但中心区域黑暗^[16]。与此不同，由于烹饪(蒸或煮)而引起的糊化淀粉显示出相当均匀的膨胀表面^[17]。值得注意的是，经过发酵的淀粉颗粒有时也表现出类似于蒸煮的糊化模式，但是经过蒸煮的淀粉粒不见发酵糊化的特征。在丁村残留物中，显示有发酵

表一 丁村陶器中的淀粉粒记录

植物分类	黍亚科	稻米单粒 (复粒群)	小麦族	栝楼根	未鉴定	淀粉粒 总计	发酵 损伤	蒸煮 损伤	损伤 总计
残留物标本									
POT1	4	16 (3)	6		20	46	44	2	46
POT2	5			3		8	1		1
POT3	3		4	2	1	10	4		4
POT4	11		2	3	9	25	19	2	21
POT5	13			1	4	18	1	15	16
POT6	5	7 (1)	2		4	18	17		17
POT7	2		1		2	5	5		5
POT8	7		4		13	24	23		23
POT9		31 (5)	1		1	33	32		32
总数	50	54	20	9	54	187	146	19	165
总数%	26.7%	28.9%	10.7%	4.8%	28.9%	100.0%	78.1%	10.2%	88.3%
出现率N	8	3	7	4	8	9	9	3	9
出现率%	89%	33%	78%	44%	89%	100%	100%	33%	100%
最小长度 (微米)	7.77	2.79	16.04	8.75					
最大长度 (微米)	21.98	7.24	41.39	23.22					
平均长度 (微米)	12.00	4.44	24.56	14.28					
控制标本									
Cont1	1					1			
Cont2						0			
Cont3			2		1	3			



图三 现代对比标本中经过酿酒发酵的淀粉粒

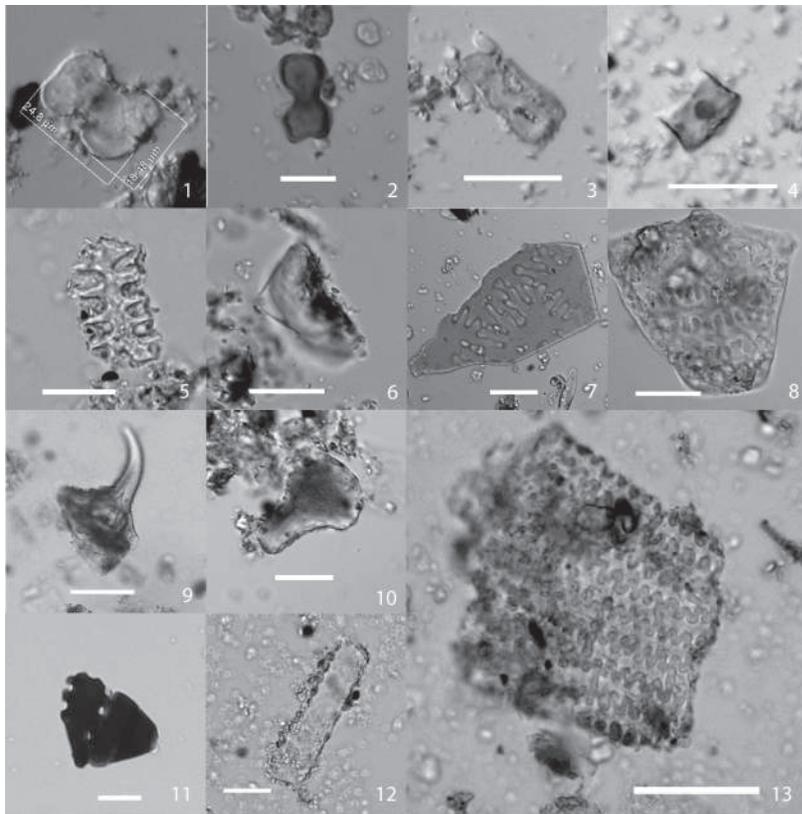
1. 黍 2. 薏苡 3. 大米 4. 栝楼根 5. 粟 6. 小麦 (比例尺: 1、3: 10微米; 其他: 20微米)

特征的淀粉粒比例很高, 而只有极少数有蒸煮损伤的特征, 这表明尖底瓶的功能与酒发酵有关。在三个控制标本中仅发现了四颗淀粉粒, 远低于残留物中的淀粉粒数量, 证明残留物中的淀粉粒不可能是周围环境的污染。(表一)

(二) 植硅体遗存

丁村标本中发现了大量的植硅体 (n=540), 大部分来自禾本科植物茎叶 (> 70%)。在6个样品中发现了黍族 (Paniceae) 颖壳植硅体, 其中包括12个η型的黍颖壳和20个只能鉴定到黍族的颖壳。没有发现Ω型的典型粟 (*Setaria italica*) 颖壳植硅体。这种组合表明尖底瓶中黍族植物的主要类型为黍。值得注意的是, 这些包含有黍族植硅体的标本中也发现有黍亚科淀粉粒。同样, 从陶1和陶4中发现了两个稻壳的双峰植硅体, 与陶1和陶6中稻米淀粉粒的存在相呼应。

四个样品中均出现了早熟禾亚科植物颖壳的树枝型 (显示为硅化骨架和单细胞), 也与小麦族淀粉粒的存在相互印证。我们使用鉴定小麦族颖壳植硅体的统计学程序^[18], 从两个样品中测量了136个树枝型植硅体的波瓣。将结果与统计数据库进行比较, 该数据库包括中国北方现代生长的野生和驯化小麦族植物的9个属中的20



图四 丁村陶器中的植硅体

1. 大型变体1十字型(薏苡) 2. 哑铃型 3. 多铃型 4. 帽型 5. 野生小麦族树枝型 6. 水稻双峰型(只有一个峰可见) 7. η型黍颖壳 8. 未定的黍族颖壳 9. 毛细细胞 10. 扇型 11. 菊科 12. 波状棒型 13. 野生小麦族绞合树枝型硅化骨架(比例尺: 9、13: 50微米; 2、11: 10微米; 其他: 20微米)

个种。遗憾的是,丁村树枝型植硅体与我们当前数据库中的任何物种都不匹配,也许来自某种我们标本库中缺失的野生小麦族植物。将来需要从中国北方收集更多的样品以扩大数据库的对比标本量。

其他禾本科植硅体形态主要包括十字型、哑铃型、帽型和扇形。十字型植硅体中有多种形态,其中有些长度和宽度均大于 $18\mu\text{m}$,属于大型变体1型(Variant 1 cross)。这类大型的十字型不见于粟黍,但存在于薏苡植硅体中^[19]。薏苡植硅体的存在支持薏苡淀粉粒的鉴定,但是这种植物在黍亚科组合中的比例较低。谷物中的植硅体和淀粉粒出现的情况基本可以互为佐证,可判断残留物中存在黍、野生小麦族、稻米和薏苡。在三个样品中发现了来自菊科植物的不透明穿孔片状,但我们无法更精确地确定其分类。值得注

意的是,黍和小麦族的颖壳植硅体同时存在于四个样品中(陶1、4、7、8),表明这些谷物可能经过发芽用作糖化剂;但其中有些也有可能是脱壳不净所致。(图四)

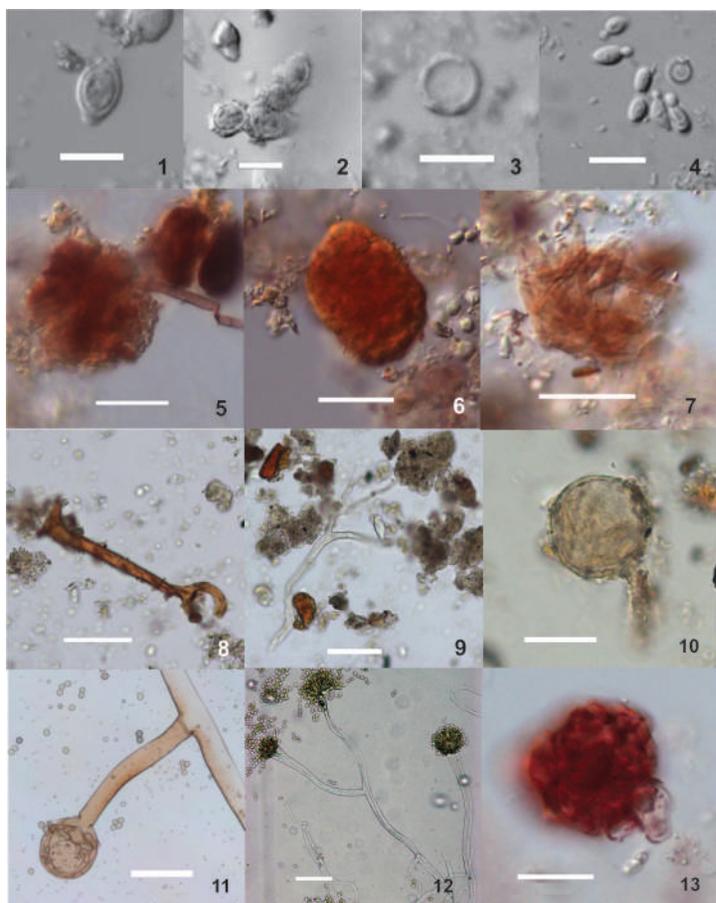
三个控制标本中的植硅体数量很少($n=3-23$),主要来自植物茎叶,仅有一个来自水稻颖壳。显然,控制标本的植硅体组合与残留物样品的植硅体组合差异很大,和淀粉粒组合区别的情况一致。(表二)

(三) 真菌遗存

总共记录了264个真菌单位,包括酵母细胞($n=49$),菌丝($n=86$),菌丝体($n=14$),红曲霉(*Monascus sp.*)闭囊壳($n=90$),其他霉菌孢子囊($n=3$),其他霉菌孢子囊连接孢囊梗($n=14$)和孢子($n=8$)。(表三)酵母细胞为圆形或椭圆形(长度 $5.56\sim 11.75\mu\text{m}$),其中有些显示

为芽殖状态($n=14$),其特征是母细胞上有一个或多个小突起,或者在较大母细胞上附着较小细胞。它们在形态上与酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)具有可比性,酿酒酵母是酒发酵中最常用的酵母菌种。(图五:1、2与图五:4比较)与我们的对比标本相比,它们比现代驯化培养的酿酒酵母($4.39\sim 8.71\mu\text{m}$)大,但与陕西北部榆林地区石峁农村酿造的小米浑酒中的野生酿酒酵母($3.47\sim 12.16\mu\text{m}$)相似,表明丁村酵母可能是野生菌种。

霉菌出现在每个样品中,但大部分比较残破。其中具备鉴定特征的个体主要是红曲霉的闭囊壳。形状为圆形或椭圆形,内部包含有若干小圆球形子囊,颜色为红色、红褐色及紫红色,有些与菌丝相连;这些特征与现代标本中的紫色红曲霉(*Monascus purpureus*)相似。(图五:5、6



图五 丁村陶器中的真菌(1-3, 5-10)与现代标本(4, 11-13)对比丁村样品: 1. 芽殖过程中的酵母细胞 2. 一群酵母细胞 3. 孢子(1-3与4比较) 4. 现代酿酒酵母细胞(椭圆形)芽殖状态和曲霉孢子(圆形) 5. 类似红曲霉闭囊壳与菌丝相连 6. 类似红曲霉闭囊壳(5、6与13比较) 7. 菌丝体 8. 类似毛霉, 孢子囊连接孢囊梗(与11比较) 9. 类似曲霉, 带有顶囊的分枝状分生孢子梗(与12比较) 10. 带有孢囊梗的孢子囊, 种属不明现代标本: 11. 毛霉 *Mucor* sp. 12. 米根霉 *A. oryzae* 13. 紫色红曲霉 *M. purpureus* (比例尺: 1-4: 10微米; 5-7、13: 20微米; 8-12: 50微米)

与图五: 13比较) 一些菌丝体呈红褐色, 与红曲霉的菌丝相似。(图五: 7) 另一些菌丝很宽, 无分隔, 呈褐色, 与孢囊相连; 孢囊梗无分支, 无假根。这些特性与毛霉 (*Mucor*) 一致^[20]。(图五: 8与图五: 11比较) 还有一些显示为带有顶囊的无色透明分生孢子梗, 并可见圆形分生孢子, 比较现代标本, 与米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 的形态最为相似。(图五: 9与图五: 12比较) 红曲霉是酿造红曲酒的主要霉菌, 一般认为起源于长江下游地区, 近代也主要流行于浙江、福建一带。米曲霉是中国酒生产中最常用的

霉菌之一, 而毛霉在现代酒曲中也很常见^[21]。丁村样品中霉菌的存在表明使用曲作为发酵剂, 其中包含了多种霉菌, 以红曲霉为主。

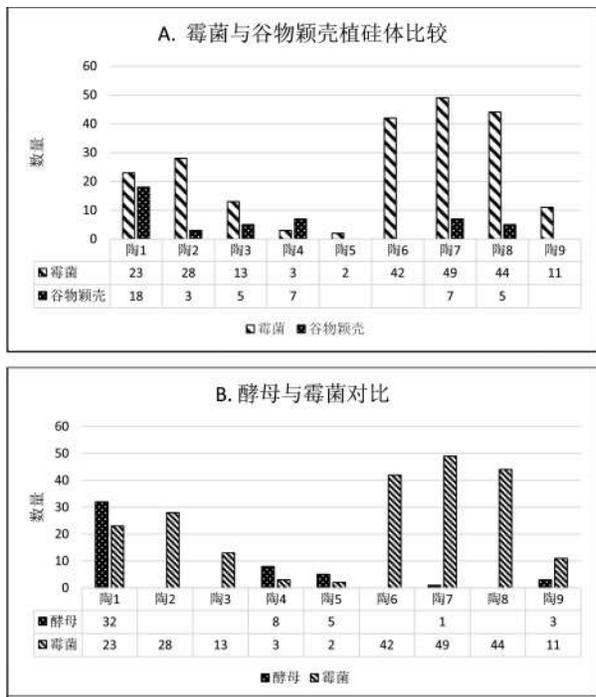
四 讨论

结合来自淀粉粒、植硅体和真菌的多种证据, 我们可以观察到以下现象。

首先, 所有样品中均有显示发酵损伤特征的淀粉粒(表一), 表明所有9个尖底瓶均用于酿酒发酵。植物原料成分包括黍、薏苡、大米、野生小麦族和栝楼根, 这些植物也在黄河流域其他仰韶文化遗址的尖底瓶中发现^[22]。显然, 丁村尖底瓶与其他地区同类仰韶陶器的酿酒功能一致。

其次, 所有样品均显示出与酒发酵有关的微生物, 例如酵母、真菌孢子、孢子囊和菌丝等, 从而进一步支持了淀粉粒分析的结果。大多数酵母细胞在形态上与酿酒酵母相似, 并且与野生种大小更为接近。霉菌中存在多种类型, 其中绝大多数为红曲霉, 也包括少量米曲霉和毛霉。红曲霉作为主要菌种的出现, 值得特别注意。红曲霉有产生红色色素的性能, 常作为天然色素; 用之酿酒可产出色泽鲜艳的红酒; 它也有抑菌

防腐的作用, 并具有多种药用功能。红曲霉属包括若干种, 用于发酵食品的主要有紫色红曲霉和红色红曲霉 (*M. anka*)。其中紫色红曲霉是制曲酿酒的主要菌种, 而传统培养红曲霉曲的原料为蒸熟的大米^[23]。红曲霉与大米之间的密切关系十分重要。丁村尖底瓶中发现有大米淀粉粒和水稻颖壳中的双峰型植硅体, 与红曲霉的存在相互印证。虽然不是每个标本中都发现有大米淀粉粒, 但如上所述, 经酿酒发酵的大米淀粉粒难以确认, 因此影响了鉴定数量。稻米颖壳植硅体的数量也很少, 可能是因为酿酒只用脱壳后的大米。



图六 不同种类微体化石遗存的比较（数据根据表三）
A：霉菌与颖壳植硅体比较，显示曲是主要发酵剂，有时也可能利用发芽谷物。B：酵母与霉菌比较，显示在陶1中酵母数量多，但在陶2、3、6-8中霉菌数量多。

总之，这种以红曲霉为主要发酵剂，同时以黍和大米等谷物为主要酿酒原料的方法是丁村仰韶酒的特征。

第三，如果以残留物中出现较多谷物颖壳植硅体作为酿造谷芽酒的标志，以酿酒霉菌的出现作为酿造麴酒的标志，我们可以将标本中谷物颖壳植硅体与霉菌的出现进行比较，并观察到两种模式：（1）所有的样品中都有霉菌，数量不等（n=2-49），但是都包括有红曲霉；而谷物颖壳植硅体只见于六个样品（陶1、2、3、4、7、8），包括黍，小麦族和水稻（n=3-18）。这些植硅体有可能代表使用发芽谷物为糖化剂，但也有些颖壳数量较少的样品也许只是脱壳不净的结果。（图六：A）另外，虽然我们可以观察到两种酿酒方法，但残留物分析只能说明某一器物中酿酒历史的总和，而无法区别在同一容器中，这两种方法是一次酿造时同时使用，还是数次酿造时分别使用。不过我们至少可以说，酿酒方法包括用曲作为发酵剂和用发芽谷物作为发酵剂。

第四，九个样品表现出不同的微化石组合，

例如陶1中酵母细胞数量非常高，而陶2、3、6、7、8则富含霉菌。（图六：B）这种情况有可能由于受到某些未知因素的影响，但也可能与陶器废弃前经历的酒发酵过程处于不同阶段有关。根据我们数据库中的酿酒标本，霉菌在醪液发酵的早期阶段比较丰富，但酵母菌在后期阶段占据主导地位。

第五，大多数样品中含有大量的植硅体，主要是来自茎叶的棒型硅化骨架或单细胞。尤其是陶8，显示出这类植硅体数量极高（n=168）（表二），这件标本中同时也存在数量较多的霉菌（n=44）。这种组合可能表明使用了某些草本植物作为曲发酵剂的一部分，在古代文献中称为草曲^[24]。在陕西宝鸡关桃园新石器时代早期的陶器中发现了类似的现象，是使用草曲的最早实例^[25]，而在现代中国南方和台湾原住民中，仍然普遍存在使用草曲酿酒的方法^[26]。

五 结论

酿酒是人类历史上最重要的发明之一，但考古学家在探索古代发酵技术的过程中遇到了很多挑战。比如古代酒液很少能保存至今，因此不易得到酒标本，而用复杂的设备检测酒器样品化学成分的技术复杂且成本较高。本文的研究展示了一种非破坏性的方法，通过使用较简单的设备来分析器物上附着的残留物，也可发现古代酒生产的证据。我们的多学科分析方法（淀粉、植硅体和真菌）显示出巨大潜力，可识别保存在陶器残留物中与谷物发酵过程相关的不同类型的微化石。不仅可鉴定酿酒原料，而且可区分是使用发芽谷物或是利用曲酿酒的不同方法。

我们的研究结果证实丁村遗址的尖底瓶是酿酒器。仰韶人采用曲发酵剂和发芽谷物两种酿酒技术，用黍、大米、薏苡、野生小麦族种子和栝楼根为原料制作发酵酒。制曲的主要菌种为红曲霉，也有少量曲霉和毛霉，很可能以大米为原料，同时也加入草类茎叶。谷芽可能由黍和小麦族制成。

表二 丁村陶器的植硅体记录

植硅体形态型	陶1	陶2	陶3	陶4	陶5	陶6	陶7	陶8	陶9	总计	%	控制1	控制2	控制3
硅化骨架														
η型(黍颖壳)	7		4				1			12	2.2			
未确定黍族硅化骨架 (黍族颖壳)	7	3	1	4			1	4		20	3.7			
长方形绞合状树枝型 (早熟禾亚科颖壳)	2						3			5	0.9			
长方形圆齿状纹饰型 (主要来自禾本科颖壳)		2					1			3	0.6			1
长方形光滑状/曲波状纹饰 (主要来自禾本科茎叶)	13	7	12	2	1	2	9	3	1	50	9.3			
长方形不规则纹饰 (禾本科)				3						3	0.6			
不透明穿孔片状 (可能来自菊科花序)			4	3					1	8	1.5			
气孔细胞Stoma sheet	2										0.0			
未鉴定硅化骨架		1		1		1				3	0.6			
单细胞植硅体														
双峰型(水稻颖壳)	1			1						2	0.4			
凹型哑铃型 Scooped bilobate (稻亚科)	1										0.0			
哑铃型(黍亚科)	14	2	3	7				2		28	5.2		1	
多铃型(黍亚科)	1									1	0.2			
十字型(黍亚科)	4	1	3	3	2		1			14	2.6			
十字型变体1型(薏苡)	1										0.0			
帽型(禾本科)	3	1	1	2		1				8	1.5			
扇型 (禾本科叶表皮机动细胞)	2	1				3	4	15	1	26	4.8		1	1
长方形树枝型 (早熟禾亚科颖壳)	1			2			2	1		6	1.1			1
光滑状/曲波状棒型 (主要来自禾本科茎叶)	39	23	35	2		15	37	165	14	330	61.1	3	21	12
毛状体		1	2					8	1	12	1.1			
毛细胞(真双子叶植物)	3	1	1							1	0.2			
总数	101	43	66	30	3	22	59	198	18	540	100	3	23	15

表三 丁村陶器的真菌记录

	酵母(芽殖状态)	菌丝	菌丝体	红曲霉闭囊壳	其他霉菌孢子囊	其他霉菌孢子囊连孢囊梗	孢子	总计
陶1	32(12)		5	18				67
陶2		16	5	2		5		28
陶3		1	3	9				13
陶4	8(2)			1			2	13
陶5	5			2				7
陶6		19		17	2	4		42
陶7	1	27	1	17		1	3	50
陶8		23		14	1	4	2	44
陶9	3			10			1	14
总计	49(14)	86	14	90	3	14	8	264
%	18.6%	32.6%	5.3%	34.1%	1.1%	5.3%	3.0%	100.0%

先秦文献《尚书·说命》中有“若作酒醴，尔惟曲蘖”的记载，意为用蘖（发芽谷物）制作醴和用曲制作酒。使用谷芽酿酒往往能生产出低酒精度的饮料，而使用曲发酵剂会提高酒精含量。这两种技术在丁村都被使用，表明6000年前的仰韶人可能已经在尝试各种酿造方法以获得最佳酒液，或者是在不同的场合、为了不同的需要而酿制不同类型的酒。丁村距著名的仰韶遗址仅10公里之遥，其酿酒方法可代表仰韶文化核心地区6000年前酿酒技术的发展状态。同时，这一时期的尖底瓶器形普遍很大，可能反映了竞争性的宴饮活动流行，而在盛宴中能够提供更高精度饮料的能力成为追求的目标。这样的盛宴可能涉及来自较广泛地区的人群，从而促进区域间文化互动。

根据明代《天工开物》的记载，“古来曲造酒，蘖造醴。后世厌醴味薄，遂至失传，则并蘖法亦亡”。显然，在历史时期由于酿酒技术的改进导致曲酒的繁荣发展和谷芽酒（醴）的逐渐衰落，主要原因是曲酒可以达到更高的酒精含量。如今，类似于醴的发酵饮料已很少见，但是在中国北方一些偏远地区的农家至今仍然保留酿造谷芽酒的传统，例如陕北民间就有使用发芽小麦或玉米为糖化剂酿造的小米浑酒。但相比之下，曲酒已成为现代中国南北地区最主要的酒精饮料，包括蒸馏酒（白酒）和发酵酒（黄酒），是当今中国人盛宴中的首选。

总之，丁村仰韶酒的特征为：发酵剂以红曲霉、曲霉和毛霉为主，同时使用发芽谷物和草本植物茎叶；可能利用野生酵母；酿酒原料以黍和小米等谷物为主，并加入少量薏苡和栝楼根一类的块根植物。利用红曲霉和小米制曲酿酒可能起源于长江下游地区，在近代也主要流行于中国东南沿海地区；但是这一酿酒方法很可能随着水稻栽培的传播在史前时期就已到达黄河流域，并且影响了仰韶文化先民的酿酒传统。

附记：我们感谢河南浉池仰韶酒业侯建光、韩素娜、陈蒙恩、胡晓龙和杨青莉，提供酿酒技

术的参考资料及酿酒过程中真菌繁殖状态的标本，并协助鉴定真菌遗存。我们也感谢两位匿名审稿人对原英文稿提出的非常有建设性的意见。本文在原英文文章基础上，根据最近对红曲霉鉴定的结果改写。

- [1] McGovern, Patrick, Zhang, Juzhong, Tang, Jigen, Zhang, Zhiqing, Hall, Gretchen, Moreau, Robert, Nunez, Alberto, Butrym, Eric, Richards, Michael, Wang, Chen-shan, Cheng, Guangsheng, Zhao, Zhijun, Fermented beverages of pre- and proto-historic China. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, 17593-17598 (2004).
- [2] [25] Liu, Li, Wang, Jiajing, Levin, Maureen J., Sinnott-Armstrong, Nasa, Zhao, Hao, Zhao, Yanan, Shao, Jing, Di, Nan, Zhang, Tianen, The origins of specialized pottery and diverse alcohol fermentation techniques in Early Neolithic China. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116, 12767-12774 (2019).
- [3] [15] [22] 王佳静, 刘莉, Ball, Terry, 俞霖洁, 李元青, 邢福来. 揭示中国5000年前酿造谷芽酒的配方 [J]. *考古与文物*, 2017 (6); 刘莉, 王佳静, 赵雅楠, 杨利平. 仰韶文化的谷芽酒: 解密杨官寨遗址的陶器功能 [J]. *农业考古*, 2017 (6); 刘莉, 王佳静, 赵昊, 邵晶, 邱楠, 冯索菲, 陕西蓝田新街遗址仰韶文化晚期陶器残留物分析: 酿造谷芽酒的新证据 [J]. *农业考古*, 2018 (1); 刘莉, 王佳静, 刘慧芳. 半坡和姜寨出土仰韶文化早期尖底瓶的酿酒功能 [J]. *考古与文物*, 2021 (2).
- [4] 包启安. 仰韶文化遗存与酿酒 [J]. *中国酿造*, 2007 (2).
- [5] 陕西省考古研究院, Ed., 西安米家崖: 新石器时代遗址2004~2006年考古发掘报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [6] 王佳静, 刘莉, Ball, Terry, 俞霖洁, 李元青, 邢福来. 揭示中国5000年前酿造谷芽酒的配方 [J]. *考古与文物*, 2017 (6).
- [7] 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).
- [8] 方西生. 河南浉池县考古调查 [J]. *考古*, 1964 (9).
- [9] Lu, Houyuan, Zhang, Jianping, Wu, Naiqin, Liu, Kam-biu, Xu, Deke, Li, Quan, Phytolith analysis for

- the discrimination of Foxtail millet (*Setaria italica*) and Common millet (*Panicum miliaceum*). PLoS ONE4, e4448 (2009); Piperno, Dolores R., *Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists* (Altamira Press, Lanham, 2006); Madella, M., Alexandre, A., Ball, T., International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*96, 253–260 (2005); St-Germain, Guy, Summerbell, Richard, *Identifying Fungi: A Clinical Laboratory Handbook* (Star Publishing Company, Belmont, CA, 2011); 岑沛霖, 蔡谨. 工业微生物学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [10] Jin, Guangyun, Zhu, Yang, Xu, Yan, Mystery behind Chinese liquor fermentation. *Trends in Food Science and Technology*63, 18–28 (2017); Zheng, Xiao-Wei, Tabrizi, Minoos Rezaei, Nout, M. J. Robert, Han, Bei-Zhong, Daqu—A Traditional Chinese Liquor Fermentation Starter. *Journal of the Institute of Brewing*117, 82–90 (2011).
- [11] Liu, Li, Ma, Sai, Cui, Jianxin, Identification of starch granules using a two-step identification method. *Journal of Archaeological Science*52, 421–427 (2014).
- [12] Wu, Z. Y., Raven, P. H., Hong, D. Y., *Flora of China. Vol. 22 (Poaceae)* (Science Press and Missouri Botanical Garden Press, Beijing and St. Louis, 2006).
- [13] Wu, Z. Y., Raven, P. H., Hong, D. Y., Eds., *Flora of China. Vol. 19 (Cucurbitaceae through Valerianaceae, with Annonaceae and Berberidaceae)* (Science Press and Missouri Botanical Garden Press, Beijing and St. Louis, 2011).
- [14] 朱橚 (著), 王锦秀, 汤彦承 (译注). 救荒本草译注 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2015.
- [16] Wang, Jiajing, Li Liu, Andreea Georgescu, Vivienne V. Le, Madeleine H. Ota, Silu Tang, and Mahpiya Vanderbilt, 2017, Identifying ancient beer brewing through starch analysis: A methodology. *Journal of Archaeological Science: Reports* 15: 150–160.
- [17] Henry, Amanda G., Hudson, Holly F., Piperno, Dolores R., Changes in starch grain morphologies from cooking. *Journal of Archaeological Science*36, 915–922 (2009).
- [18] Ball, Terry, Vrydaghs, Luc, Mercer, Tess, Pearce, Madison, Snyder, Spencer, Lisztes-Szabo, Zsuzsa, Peto, Akos, A morphometric study of variance in articulated dendritic phytolith wave lobes within selected species of Triticeae and Aveneae. *Vegetation History and Archaeobotany*26, 85–97 (2017).
- [19] Duncan, Neil A., Starbuck, John, Liu, Li, A Method to Identify Cross-Shaped Phytoliths of Job’s Tears, *Coix lacryma-jobi* L., in Northern China. *Journal of Archaeological science: Reports*24, 16–23 (2019).
- [20] St-Germain, Guy, Summerbell, Richard, *Identifying Fungi: A Clinical Laboratory Handbook* (Star Publishing Company, Belmont, CA, 2011).
- [21] Jin, Guangyun, Zhu, Yang, Xu, Yan, Mystery behind Chinese liquor fermentation. *Trends in Food Science and Technology*63, 18–28 (2017); 包启安, 周嘉华. 酿造 [M]. 郑州: 大象出版社, 2007.
- [23] 包启安, 周嘉华. 酿造 [M]. 郑州: 大象出版社, 2007.
- [24] 凌纯声. 中国酒之起源 [C] //民族学研究所集刊 (29). 台北: 民族学研究所, 1958: 883–901; Huang, H. T., *Science and Civilization in China: Vol 6, Biology and Biological Technology, Part V: Fermentations and Food Science* (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).
- [26] 凌纯声. 中国酒之起源 [C] //民族学研究所集刊 (29). 台北: 民族学研究所, 1958: 883–901; 俞为洁. 酿造江南米酒的草麴 [J]. 东方美食 (学术版), 2003 (4).

(责任编辑: 刘丁辉)