



小米能否制作面条的实验研究:兼论喇家面条的成分^{*}

◆ 葛 威	(中国科学技术大学科技考古实验室)	译
◆ 刘 莉	(澳大利亚拉筹伯大学考古系)	校
◆ 陈星灿	(中国社会科学院考古研究所)	著
◆ 金正耀	(中国科学技术大学科技考古实验室)	

摘 要:根据中国西北部喇家遗址出土的面条状遗存,面条的历史被追溯到 4000 年前。喇家面条被描述为由带壳的小米磨成的粉制成面团并通过反复拉伸或挤压的方法制作而成。为了了解这种面条制作工艺,我们进行了面条试制实验和煮面实验,并记录了面条中的淀粉粒在烹调过程中发生的形态变化。研究表明,纯的粟黍面粉制成的面团不能拉伸成面条,煮过的粟黍淀粉粒形态也与喇家“面条”遗存中的“淀粉粒”不符。我们认为来自喇家“面条”的小米颖壳植硅体及似淀粉粒的颗粒是否来自面条需要进一步研究。

关键词:面条;古代淀粉粒;糊化淀粉粒;粟;黍;喇家遗址;考古学;中国

Abstract The earliest noodles have been dated to 4000 years ago, based on the discovery of remains at Lajia in north western China. The Lajia noodles were described as having been made by repeatedly stretching dough composed of millet flour with husks. In order to try to understand this manufacturing technique we carried out simulation experiments in noodle-making and documented morphological changes in noodle starches caused by cooking. Our research demonstrates that it is impossible to stretch pure millet dough into noodles. We conclude that the husk phytoliths and starch-like granules said to be from the Lajia noodle remains may actually not have been part of the noodles themselves.

Key words Noodles ; Ancient starch ; Gelatinized starch ; Millet ; Lajia site ; Archaeology ; China

前 言

面条是世界上最受欢迎的主食之一。在中国,有关小麦粉制作面条的文字记录到汉代才出现。但是青海喇家的齐家文化遗址的陶碗中出土的面条状遗存将这一历史上溯到了 4000 年前。吕厚远等学者根据淀粉粒和植硅体分析,认为喇家面条是由未脱壳小米(包括粟和黍)面粉制成的面团经反复拉伸而成。但是,目前尚无资料表明中国存在这种制作小米面条的方法。

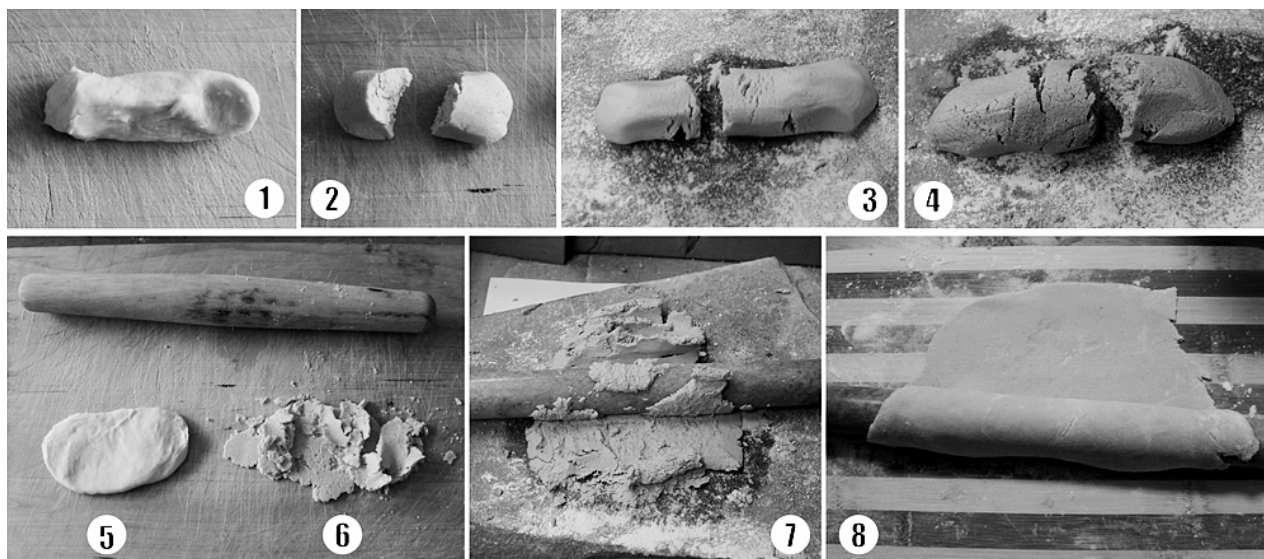
为了检验有关小米制作面条的方法,我们进行

了相关的模拟实验。我们尝试用不同原料的面粉制作面条,并检测分析了原料中的淀粉粒在制作及煮食面条等过程中的形貌变化。本文将报告上述实验的结果并据此对前人关于喇家面条的研究中存在的问题展开讨论。

面条的特性

面条自古以来就是世界上很多地区的主食,其原料和制作方法千差万别。从原料而言,虽然小麦粉最常用,但并不局限于此。通过采用不同的工艺,人们也可以用大米、荞麦等种子磨成的面粉以及从

^{*} 本文原载《Archaeometry》(Wei Ge, Li Liu, Xingcan Chen and Zhengyao Jin. Can noodles be made from millet? An experimental investigation of noodle manufacture together with starch grain analyses. First published online: 28 JUN 2010 | DOI: 10.1111/j.1475-4754.2010.00539.x)。



图一 分别用不同原料试制面条实验

1~4. 不同原料面团拉伸实验。1. 小麦面团;2. 粟面团;3. 黍面团;4. 粟黍混和面团(各占一半)。

5~8. 不同原料面团擀面实验。5. 小麦面皮;6. 粟面皮;7. 粟黍面皮(各占一半);8. 粟黍麦混合面皮(25%粟+25%黍+50%麦)

马铃薯等原料中提取的淀粉制作面条。

食品科学的研究表明面筋蛋白在制作面条和面包这一类食品的过程中对于形成面团的拉伸性和弹性起到至关重要的作用。面筋蛋白仅存在于小麦、大麦及黑麦等麦类的种子中。小米,包括粟和黍,以及其它一年生的小型禾本科种子均不含面筋蛋白,因此不适合制作面条或面包。但是,这并不排除可以在面条的配料中加入一定比例的小米面粉。洛伦兹(Lorenz)和迪尔萨佛(Dilsaver)曾经报道在制作面条时最多可以用60%的黍面粉代替小麦粉,即在这一比例下仍然可以通过一个挤压成型设备将混合面团制作成面条形状。但是,他们也发现,当替换量大于40%时,挤压变得困难而且制作出的面条很粗糙,并认为这是由于黍面粉中含有较高灰分造成的。以上研究说明小米面粉由于自身生化组分的缺陷而不适于制作面条。

模拟实验

我们的实验包括两部分:一部分是面条试制和水煮实验;另一部分是对水煮前和水煮后的面条淀粉粒进行的检测和形态比较。

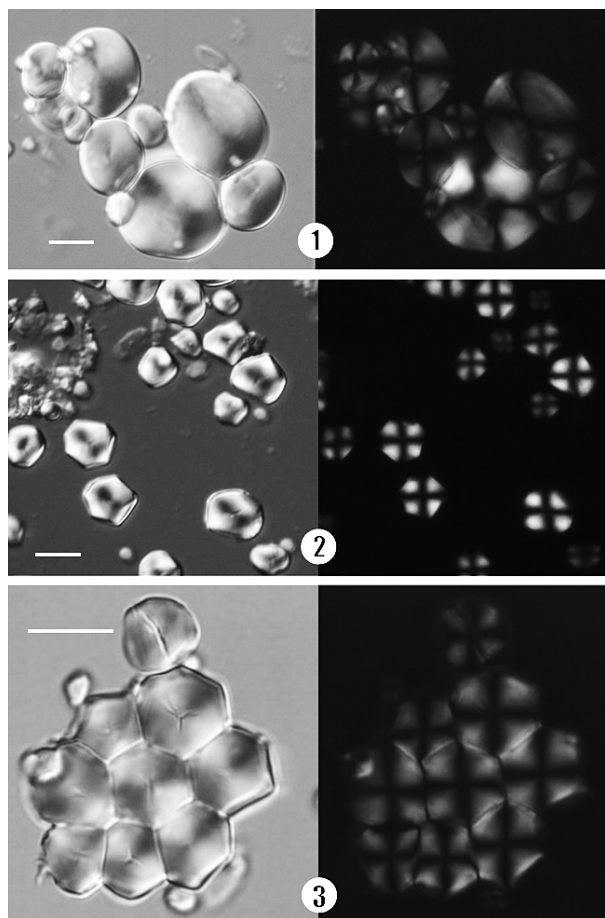
材料和方法 实验所用材料包括中国出产的脱壳粟、黍及小麦种子,还有购于澳大利亚一处市场的小麦面粉。粟和黍的种子先用杵臼碾磨20分钟,并将碾磨后的粟黍面粉用 $212\mu\text{m}$ 孔径筛过滤,以获取精细面粉。然后,将面粉以适当比例与水混合揉制面团并试制面条。

结果 结果表明,粟和黍的面团非常粗糙、易碎,拉伸性很差,当试图拉伸时很容易断裂。在用擀面杖擀时即成碎片状。很显然,无论是单独的粟或黍还是它们的混合面粉都无法用传统方法擀制成面条。但是,当我们掺入同样分量的小麦粉后,发现面团的拉伸性能得到很大改善。在这种情况下,用手擀法制得粟麦、黍麦以及粟黍麦的混合面条,但仍然不如纯小麦粉制得的面条精细(图一)。这与洛伦兹和迪尔萨佛所报道的关于黍面条的研究结果是一致的。之后,对制得的小麦面条及粟黍麦混合面条均进行了烹饪实验。其方法为先将水烧开,然后下入面条,再煮5分钟后出锅。

淀粉粒分析

方法 分别对碾磨前的种子、碾磨后的面粉以及水煮后的面条进行取样。使用配备有微分干涉差(DIC)及偏振光装置的Zeiss Axioskop A1型显微镜,分别在DIC和偏振光下对样品进行观察并记录形貌变化。主要记录的指标包括:形状和大小的变化、表面特征的变化、脐点的变化、轮纹可见性的改变、消光性能的变化等。

结果 我们对来自未加工的粟、黍和小麦种子及其碾磨后所得面粉的淀粉粒进行了形态比较(图二)。鲍伯特(Babot)指出,由于碾磨过程所施加在种子上的摩擦力作用,谷物面粉中的淀粉粒会呈现一些形貌变化。我们注意到,通常以聚集态存在的粟和黍的淀粉粒在摩擦力的作用下分离成为单个



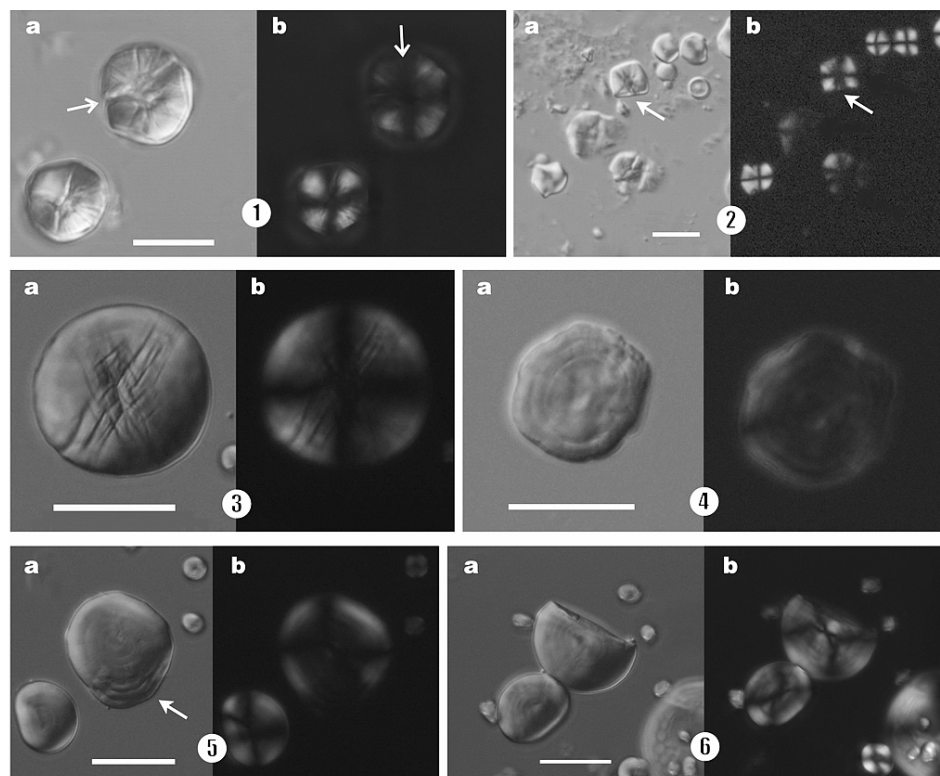
图二 未加工的淀粉粒

1. 小麦(*T. aestivum*); 2. 粟(*S. italica*); 3. 黍(*P. miliaceum*).左为 DIC 下图像, 右为偏光下图像。比例尺: 10 μm

淀粉粒, 有的出现发自脐点的辐射状裂痕 (图三, 1a、2a)。商业途径获得的小麦粉中的淀粉粒显示更为强烈的形态变化: 小麦淀粉粒的完整性受到破坏, 表现为颗粒的开裂和破碎, 甚至断裂 (图三, 6a); 有的淀粉粒表面出现方向不一致的刻痕 (图三, 3a), 有的边缘变得不规则 (图三, 4a), 还有的局部的轮纹变得异常清晰 (图三, 5a)。与此同时, 这些损伤的淀粉粒还显示出消光特性的改变, 表现为消光臂变宽和消光区域扩大 (图三, 1b、2b、4b、5b)。消光特性的改变反映了淀粉粒晶体结构的破坏。有研究表明, 玉米淀粉粒在微细化过程中表面变得粗糙, 结晶程度不断降低, 最终转化成非晶态, 我们的实验结果与其是一致的。

对煮熟后的小麦面条及麦、粟和黍的混合面条进行了取样、制片及镜检。小麦面条样品的视野中多呈胶体状, 仅有少量淀粉粒保留有膨胀变形的颗粒轮廓 (图四, 1), 没有发现显示消光特性的颗粒。这表明, 面条经过水煮后, 其中的淀粉粒几乎完全糊化。混合面条的情况与之类似, 其中的淀粉粒也大多糊化 (图四, 3、6), 即使是很罕见的情况下发现了尚存轮廓的颗粒结构, 在偏振光下也不再具有消光特性 (图四, 2、4、5)。

根据亨利(Henry)等人 对小麦、黍及其它几种作物的种子和面粉进行的加热实验, 当加热的时间



图三 碾磨后的淀粉粒

1. 粟;

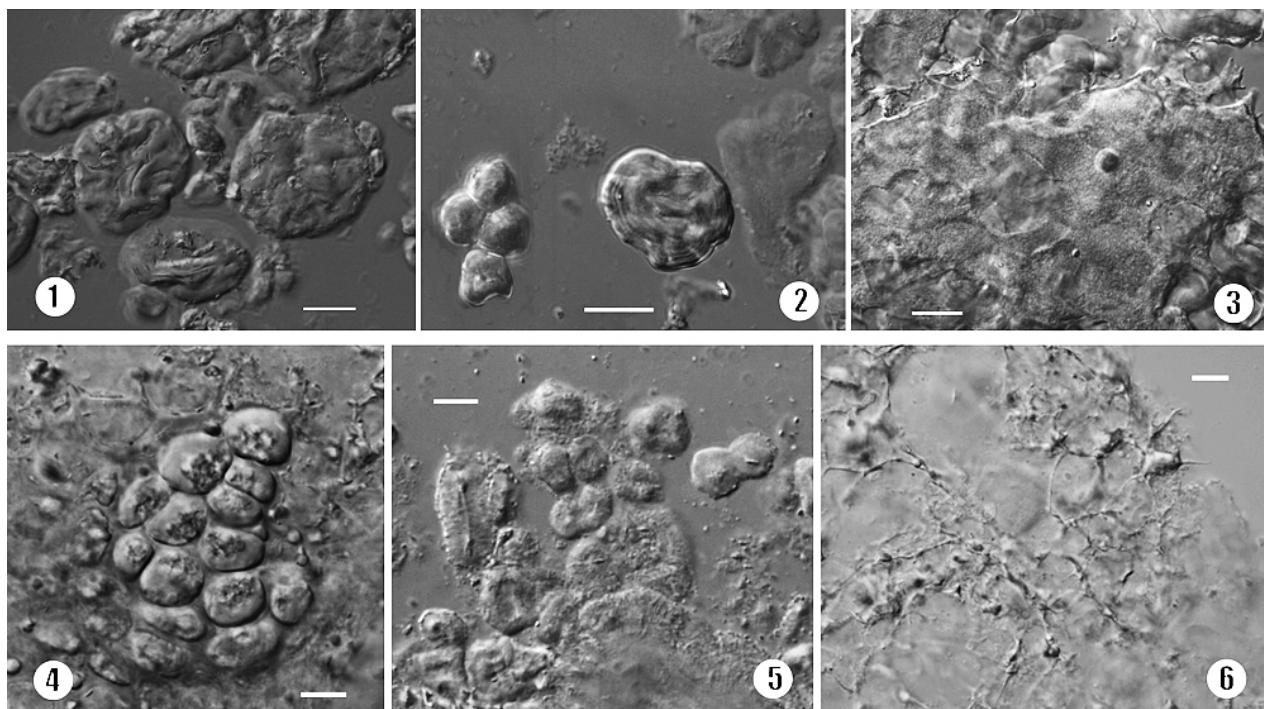
2. 黍;

3~6. 小麦。

1~2 中箭头示辐射状裂隙和消光十字的变形;

5 中箭头示局部异常清晰的纹。

比例尺: 1~2 10 μm ,3~6 20 μm



图四 不同原料制作的面条水煮后的淀粉粒

1.小麦面条； 2~3.粟麦混合面条； 4~6.粟黍麦混合面条。 比例尺:1~3 20 μm ,4~6 10 μm

较短且温度较低时,淀粉粒的损伤特征不明显,特别是在普通光镜下更看不出糊化或膨胀现象。但是,当在偏振光下观察时,则可观察到消光臂变宽或消光区域的扩大。消光十字的消失通常可以作为加热损伤的可靠指标。在我们的实验中,煮熟的面条中发现了仍然保持轮廓的淀粉粒却失去消光特性,这与亨利等人的观察相符合。

我们的面条加热实验中淀粉粒的糊化程度很高,这可能是由两方面的原因造成的。首先,面粉中的淀粉粒事先经过了比较强烈的碾磨,淀粉粒的晶体结构已经遭到一定程度的破坏。其次,开水煮面方法使面条中的淀粉粒处于相对均一的加热条件下,使得面条中的淀粉粒在水煮后呈现相近的糊化程度。根据托马斯(Thomas)和阿特维尔(Atwell)的研究,当在大量的水中加热时,淀粉粒的晶体结构更容易遭到破坏。亨利也提到碾磨后的面粉比整粒的种子中的淀粉粒达到糊化所需的时间更短。我们的实验与这些观察结果都是符合的。

综上,我们的模拟实验表明:(1)用脱壳后的粟或黍加工的面粉无法制成面条,除非加入一定量的小麦粉;(2)碾磨导致淀粉粒在形态及消光特性上的改变;(3)开水煮面5分钟后,面条中的淀粉粒几乎全部糊化;(4)水煮后的面条中仍然可见少量淀粉粒,但其形状发生了改变,同时消光十字消失。

喇家面条

在以上实验研究的基础上,我们来讨论喇家面条的成分问题。喇家遗址位于青海省民和县一处黄河岸边的台地上,是一处由地震及洪水造成的灾难遗址,保存有垂死挣扎的人骨架等灾难场景,被称为“东方的庞贝”^⑪。面条状遗存发现于一件倒扣的陶碗中,该陶碗位于一个小广场上的地面建筑内^⑫。吕厚远等人对碗内遗存进行了淀粉粒和植硅体分析,根据所发现的小米淀粉粒和丰富的小米颖壳植硅体推断面条成分为粟和黍,并进一步认为面条是通过反复拉伸面团的方法制成,类似“拉面”。这个发现一度引起新闻媒体的广泛关注,宣称是世界上最古老的面条。

但是,我们发现在喇家面条的相关报道中存在诸多让人混淆之处。首先是它的取样方法。仅据研究者发表的面条相片来看,我们会以为图片上的面条状遗存就是实验室工作取样的对象,其实不然。面条状遗存发现于一处房屋基址中,倒扣在一个陶碗中。相片是在面条刚发现的时候就拍摄的,当时面条看上去状态还很完好。之后,发掘者将碗重新扣上,并带到实验室。而在重新打开碗时,可能是由于风化和挤压,面条状遗物已经“荡然无存”,仅残留泥土物质^⑬。在这种情况下,研究者共取了6个

样,其中3个来自与面条最近的那一层附着层,另外3个是在接近陶器口部与面条关系不太大的土层^③。在喇家面条文章第4段中提到“*We analysed the phytoliths and starch grains present in the sediment associated with the noodles.*”翻译为“我们分析了与面条有关的沉积物中存在的植硅体和淀粉粒”。而在第6段则说“*The starch grains found in the noodle sample ...*”意为“在面条样品中发现的淀粉粒”。这些陈述让人弄不清淀粉粒分析的取样部位究竟是面条本身还是碗底沉积物,亦或两者都有。如果淀粉粒和大量粟的植硅体是来自沉积层的或来自面条和沉积层,它们都不能代表面条的成分。因为沉积层中的物质可能与面条毫无关系。如果样品是完全来自面条的,那我们需要知道研究者是如何在“面条状遗物已经荡然无存”的情况下从风化的泥土样品中取样而避免污染的。

报道中的第二个问题是关于糊化淀粉粒的描述存在错误。根据食品科学的研究,在水环境中加热淀粉粒会导致晶体结构破坏,进而糊化^{④、⑤},伴随着偏光下消光十字的消失^⑥。前人的研究以及我们的上述模拟实验都表明了这一特性。然而,喇家面条研究文章中图1的说明文字中却这样描述:“*Although the lamellae characteristics of noodle starch were mostly lost as a result of gelatinization during cooking, their size and cross-shaped birefringence under polarized light are similar to those of starch from the millets.*”[2: 967]^⑦翻译为“虽然面条中淀粉粒由于加热糊化的原故,其轮纹特征几乎全部消失了,但它们的大小以及偏光下的消光十字都和小米的相似”。

这里面的内容可以概括为三点:(1)本来这些淀粉粒应该有轮纹的,由于煮面的原因,而糊化消失了。(2)虽然没有了轮纹,但是这些淀粉粒在偏光下的消光十字仍然存在。(3)这些淀粉粒的大小和消光十字的形状与粟和黍的淀粉粒相似。根据我们的研究和文献中的报道,这些关于糊化淀粉粒特征的描述是自相矛盾的。

不同种属来源的淀粉粒具有不同的糊化温度,一般在50-80℃[17: 23-8]。粟的起始和最终糊化温度分别为55℃和62℃。黍的糊化温度与其相似,分别为56.1℃和61.2℃^⑧。按照中国传统的煮面方法,一般是先将水在容器中烧开,之后放入面条再煮几分钟。水在海平面处的沸点是100℃(1个标准大气压),因气压的变化而在不同海拔高度有不同

的沸点。喇家遗址位于青藏高原。据报道,喇家附近西宁地区(海拔为2200米)的井水沸点为93℃^⑨。喇家遗址所处的海拔为1800~1900米,该地水的沸点应该和西宁的沸点接近。这一温度远远超过了粟和黍淀粉粒的糊化温度。如果喇家面条经过了水煮,其淀粉粒应该呈现糊化特征。前人的研究和我们在第三章的模拟实验都表明,糊化会造成淀粉粒消光特性的显著变化,即使是短时的加热,粟和黍的淀粉粒也会呈现明显的变化。而喇家面条文章中的每个淀粉粒均呈现清晰的消光十字,这与前人及本文关于糊化淀粉粒的研究结果是矛盾的。

轮纹是在显微镜下观察淀粉粒时所看到的围绕脐点的层状结构。并非所有的淀粉粒都可以看到清晰的轮纹,轮纹的可见与否是进行淀粉粒鉴定的重要指标之一^⑩。我们收集并观察了中国出产的近20个粟及黍栽培种的淀粉粒,均没有发现轮纹。在喇家面条研究者后来所发表的文章中涉及的现代粟黍淀粉粒也没有轮纹^{⑪、⑫}。亨利等人对10种旧大陆出产的植物淀粉粒进行了不同方式的烹饪实验,并观察淀粉粒的形态变化。他们发现淀粉粒的轮纹在经过短时加热后变得更清晰了。以上关于轮纹的研究结果与喇家面条文章中的相关描述相矛盾。

喇家面条论文的第三个问题是其结论中的两个观点:第一点是说喇家面条的成分是粟/黍,基于对来自沉积层的大量颖壳植硅体以及淀粉粒的鉴定,第二点是完全排除了麦类成分,因为缺少相关证据。而这两个主要结论都是值得商榷的。

粟和黍的种子都外被颖壳。由于含有较高的硅成分,颖壳难以下咽,并且一般不作为人类的食物成分^⑬。不管是粒食还是面食,脱壳都是对粟和黍进行处理的一个必要工序。如果大量的植硅体(多达每克 9.81×10^4 粒和 4.36×10^4 粒)果真来自面条的话,就意味着喇家先民碾磨制粉的粟和黍种子未经脱壳。这似乎有悖常理。我们的模拟实验显示,即使是脱壳后制得的粟/黍面粉仍然非常粗糙,无法制作面条。用没有脱壳的粟/黍面粉制作面条势必更加困难。另外,虽然现代北方地区有使用机械压制粗粮面条的工艺,但我们不能因此推测这种机械在4000年前的喇家就已存在。况且现代压制的粗粮面条也不加工未脱壳的面粉。

喇家遗址缺乏大麦和小麦证据,但这并不足以完全排除这两种植物作为喇家面条成分的可能性。喇家遗址坐落在黄河上游地区,年代大约在距今

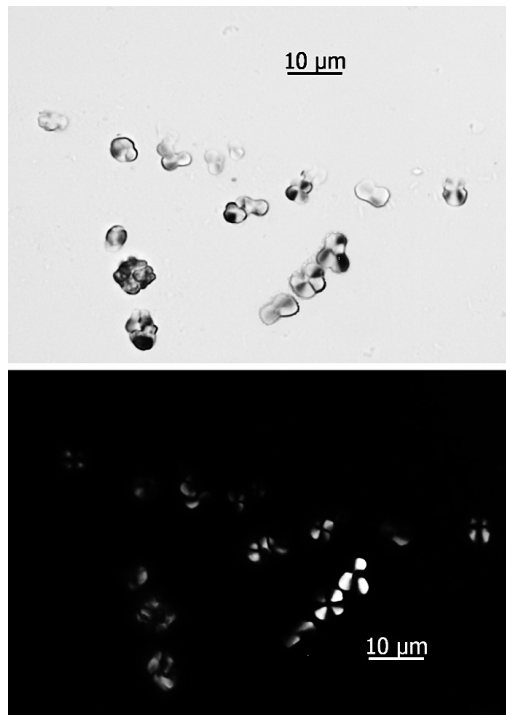
4000 年。目前的考古资料显示,在比其更早的龙山时代(5000~4000 BP),小麦和大麦遗存已经在黄河流域的考古遗址中普遍存在^[24]。在喇家遗址东南方向不足 300 公里的天水西山坪遗址曾出土中国最早的大麦(4600 cal. BP)和早期小麦(4650 cal. BP)的炭化种子^[25]。说明这一带比较适于种植麦类作物,并有较长的种植历史。在喇家遗址所进行的初步的浮选工作发现了粟、黍以及苜蓿的种子,但没有大麦或小麦^[26]。鉴于同一时期甚至更早的时期,在喇家遗址周围的区域已经发现了小麦遗存,发掘者叶茂林^[12]认为小麦也有可能是喇家先民食物结构的一部分。很难想象,如果有更适宜制作面条的小麦粉,喇家先民却选择相对难以作为面条原料的粟和黍面粉。一种可能的解释是,喇家面条确由麦类面粉制成,只是由于煮食过程中的糊化,淀粉粒均已解体,消光十字也不可见,从而造成在分析时被忽略。

讨论和结论

根据我们的试制面条模拟实验,淀粉粒在碾磨以后,不仅表面特征发生了明显的改变,消光特性也改变很多。就消光特性而言,主要表现为由于晶体结构受损而导致的消光区域的扩大。在水煮 5 分钟以后,面条中几乎所有的淀粉粒均已糊化成胶体状。即使是少量仍然保留了颗粒状,外形也发生了扭曲,同时消光十字不可见。这些形态学的改变都没有出现在喇家面条文章所报道的似淀粉粒的颗粒上。在前人所报道的喇家面条“淀粉粒”图片中[2: Fig. 1d],所有的颗粒在偏光下呈现清晰的消光十字,表明这些颗粒晶体结构完好无损。

我们试制面条的实验还表明,用粟和黍的脱壳种子磨成的面粉无法通过传统方法制作面条,更不用说没有脱壳的种子。另外,面条碗里发现的谷子颖壳植硅体是否真的来自面条也值得怀疑。面条在碗里是和土壤沉积物混在一起的,而土壤中的植硅体很容易通过流水作用发生转移^[27]。考虑到喇家遗址曾被洪水破坏,这一情况很有可能发生在面条与其周围土壤之间。因此,我们不能排除从碗里提取的植硅体并非来自面条的可能性。

此外,喇家面条文章中所报道的颗粒是否真是淀粉粒值得怀疑。我们在这些颗粒上观察到几处不同于淀粉粒的现象。第一,颗粒的消光臂在交叉处较细,远端则呈弥散状。而一般的粟淀粉粒其脐点处和外面的消光臂是等宽的,仅有极个别在边缘处



图五 陕西柿子滩遗址出土磨盘上提取到的矿物颗粒

变宽。第二点,有几个颗粒的边缘向外延伸出三角形刺状物,这是我们在一般淀粉粒上都没有见过的。第三点,颗粒的表面特征,特别是消光十字,与我们在进行古代样品镜检时经常发现的一类矿物颗粒非常相似。例如,我们在对山西柿子滩遗址出土的一块磨盘进行残留物分析时,就曾发现很多类似淀粉粒的颗粒(图五)。这些颗粒数量非常多,常在视野中呈环形分布,其大小与粟的淀粉粒近似,而且在偏光下呈现十字消光,很容易在普通光学显微镜下被误判为淀粉粒。但是当在 DIC 下观察时,可以发现它们的表面非常平坦,没有淀粉粒所具有的立体特征,故而予以排除。除了矿物颗粒外,土壤中还广泛存在真菌的分生孢子、石膏球晶等也会在偏光下呈现消光十字,而造成与淀粉粒的混淆和误判^[28,29]。不管怎样,喇家面条的“淀粉粒”需要重新检验。

综上所述,我们有以下结论:首先,小米面粉本身的特性决定了其不适合或很难制作面条,更不可能使用含有大量颖壳成分的小米面粉制作面条。第二,从原始的报道中,我们不能确定所分析的样品是否来自面条本身。第三,加热后的淀粉粒形态特征发生了很大改变,特别是消光十字的消失,这些现象与喇家面条文章对于其发表的淀粉粒图像的解释不相符合。第四,不能确定所报道的似淀粉粒的颗粒是否真的是淀粉粒,因为它们显示一些非淀

粉粒的特征。为了更好地理解喇家面条的成分,有必要对其重新进行取样分析。

致谢:作者感谢贝喜安(Sheahan Bestel)在样品处理中给予的帮助及理查德·迈多(Richard Meadow)提供的建设性建议和对英文原稿的修改,感谢两位匿名审稿人提供的有益评论。本研究得到中国国家留学基金和澳大利亚研究基金会探索基金(DP0450025)的支持。

注释:

Fu, B.X., Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. Food Research International, 2008. 41: p. 888~902.

Lu, H., et al., Millet noodles in late Neolithic China. Nature, 2005. 437(13):p. 967~968.

Ciclitira, P.J., H.J. Ellis, and K.E.A. Lundin, Gluten-free diet—what is toxic? Best Practice & Research Clinical Gastroenterology, 2005. 19(3):p. 359~371.

Shewry, P.R., et al., The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2002. 357: p. 133~142.

Lorenz, K. and W. Dilsaver, Rheological Properties and Food Applications of Proso Millet Flours Cereal Chemistry, 1980. 57(1):p. 21~24.

Babot, M.d.P., Starch grain damage as an indicator of food processing, in Phytolith and starch research in the Australian-Pacific-Asian regions: the state of the art, D. M. Hart and L. A. Wallis, Editors. 2003, Pandanus Books: Canberra. p. 69~81.

Tamaki, S., M. Hisamatsu, and K. Teranishi, Structural Change of Maize Starch Granules by Ball-mill Treatment. starch, 1998. 50: p. 342~348.

Henry, A.G., H.F. Hudson, and D.R. Piperno, Changes in starch grain morphologies from cooking. Journal of Archaeological Science, 2008. 36: p. 915~922.

Thomas, D.J. and W.A. Atwell, Starches 1999, St. Paul: Eagan Press.

中国社会科学院考古研究所甘青工作队、青海省考古与文物研究所:《青海民和喇家遗址 2000 年发掘简报》,《考古》2002 年第 12 期。

⑪ 夏正楷、杨晓燕、叶茂林:《青海喇家史前灾害事件》,《科学通报》2003 年第 11 期。

⑫ 叶茂林:《喇家遗址与饮食文明——青海喇家遗址史前饮食文化的考古发现》,科技部社会发展科技司、国家文物局博物馆与社会文物司:《中华文明探源工程文集:社会与精神文化卷 I》,第 602~618 页., 科学出版社 2009 年。

⑬ 叶茂林:《破解千年面条之迷》,《百科知识》2006 年第 4 期。

⑭ Biliader is, C.G., T.J. Maurice, and J.R. Vose, Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. Journal of Food Science, 1980. 45(6): p. 1669~1674.

⑮ McGee, H., On food and cooking: The science and lore of the kitchen. 1984, New York: Charles Scribner's Sons.

⑯ Lineback, D.R. and E. Wongsrikasem, Gelatinization of starch baked products. Journal of Food Science, 1978. 45(1):p. 71~74.

⑰ McNair, J.B., The differential analysis of starches Botanical Series 1930, Chicago: Chicago Field Museum of Natural History.

⑱ McDonough, C.M., L.W. Rooney, and S.O. Serna-Saldivar, The millets, in Handbook of cereal science and technology, Karel Kulp and J.G. Ponte, Editors. 2000, Marcel Dekker, Inc.: New York. p. 184.

⑲ 雷风、马详成、严发兰:《西宁地区水及乙醇水溶液密度、沸点的测定》,《青海畜牧兽医学院学报》1997 年第 1 期。

⑳ Field, J., Starch grain analysis, in Encyclopedia of Archaeology, D.M. Pearsall, Editor. 2008, Academic Press: New York. p. 2081~2082.

㉑ 杨晓燕、郁金城、吕厚远等:《北京平谷上宅遗址磨盘棒功能分析:来自植物淀粉粒的证据》,《中国科学 D 辑:地球科学》2009 年第 9 期。

㉒ 杨晓燕、孔昭宸、刘长江等:《中国北方现代粟、黍及其野生近缘种的淀粉粒形态数据分析》,《第四纪研究》2010 年第 2 期。

㉓ Lorenz, K. and W. Dilsaver, Proso Millets. Milling characteristics, Proximate Compositions, Nutritive Value of Flours. Cereal Chemistry, 1980. 57(1):p. 16~20.

㉔ 靳桂云:《中国早期小麦的考古发现与研究》,《农业考古》2007 年第 4 期。

㉕ Li, X., J. Dodson, and X. Zhou, Early cultivated wheat and broadening of agriculture in Neolithic China. The Holocene, 2007. 17(5):p. 555~560.

㉖ 赵志军:《青海喇家遗址尝试性浮选的结果》,《中国文物报》2003 年 9 月 19 日。

㉗ Fishkis, O., J. Ingwersen, and T. Streck, Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. Geoderma, 2009. 151: p. 168~178.

㉘ Haslam, M., Potential misidentification of in situ archaeological tool-residues: starch and conidia. Journal of Archaeological Science, 2006. 33: p. 114~121.

㉙ Loy, T., Optical Properties of Potential look-alikes, in Ancient Starch Research, R. Torrence and H. Barton, Editors. 2006, Left Coast Press: Walnut Creek, CA. p. 123~124.

(责任编辑:周广明)