

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

杨晓燕^{①*}, 郁金城^②, 吕厚远^③, 崔天兴^④, 郭京宁^②, 刁现民^⑤, 孔昭宸^⑥,
刘长江^⑥, 葛全胜^①

① 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

② 北京市文物研究所, 北京 100001;

③ 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

④ 北京大学考古文博学院, 北京 100871;

⑤ 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;

⑥ 中国科学院植物研究所, 北京 100091

* E-mail: yangxy@igsrr.ac.cn

收稿日期: 2008-10-24; 接受日期: 2009-03-31

国家自然科学基金(批准号: 40771205)、国家杰出青年科学基金(批准号: 40625002)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-315-5)资助

摘要 关于史前考古遗址出土的磨盘和磨棒的功能, 一直众说纷纭. 过去一直认为是一种加工谷物的农具, 近年来虽有异议, 但缺乏直接证据. 本文利用淀粉粒分析对北京平谷上宅遗址(7500~7000 cal a BP)出土的一件磨盘和一件磨棒进行了研究. 从石器表面残留物上提取出的淀粉粒, 可分为 9 类 12 种. 在可鉴定的淀粉粒中, 最多的是来自栎属 (*Quercus*)果实(橡子)的淀粉粒; 其次是来自粟 (*Setaria italica*) 的淀粉粒. 栎属中包括蒙古栎(*Q. mongolicus*)、麻栎(*Q. acutissima*)和榭树(*Q. dentata*)的淀粉粒, 另有一定数量的黍(*P. miliaceum*)和小豆属(*Vigna*)淀粉粒, 其余杂草类及可能为块茎类的淀粉粒无法更进一步鉴定归属. 磨盘磨棒上植物种类的多样性表明这些器物不是只用来加工谷物, 更不能作为农业出现的标志. 这些石器被用于加工各种需要碾磨和脱粒的植物果实或者块茎. 同时磨盘磨棒上的植物组合也反映了 7000 年前, 北京平原上人类社会的经济方式以采集与农业并重, 日常饮食包括了粟、黍、橡子以及一些块茎类和杂草类植物的种子和果实, 当时的气候条件较今温暖湿润.

关键词

淀粉粒分析
磨盘磨棒
上宅遗址
北京平谷

中国史前考古遗址出土的磨盘和磨棒, 传统上被认为是用来进行谷物加工的工具, 是农业经济出现的标志^[1~3]. 近年来随着一些旧石器晚期遗址中磨盘磨棒的出现^[4,5], 以及对以往考古资料的整理和更多的民族学资料的研究, 有的学者对中国农业社会

的出现时间以及新石器时代磨盘磨棒的功能进行了重新思考, 提出中国真正的农业社会应该在距今 6000~5000 年才出现^[6,7], 而磨盘磨棒更多的是被用来加工坚果^[7]. 但无论哪种观点, 都是建立在推论上, 没有直接的证据.

淀粉是葡萄糖分子聚合而成的长链化合物,以淀粉粒的形式贮藏在植物的根、茎及种子等器官的薄壁细胞细胞质中.不同种属的植物淀粉具有不同的形态特征,因此可以根据淀粉粒的形态特征进行植物种类的鉴定.淀粉粒分析是继孢粉分析和植硅体分析之后,在最近 10 多年新兴的一项技术.其基本思路就是通过建立现代植物种属的淀粉粒形态标准,用于鉴定从土壤地层、考古器物以及牙垢中获取的古代淀粉粒的种属,以进行古环境重建、古代人类对植物的利用以及考古器物的功能分析.这项技术至今已在美洲、澳洲等地的农作物起源与传播、石器功能分析及古环境重建研究中得到广泛应用,并取得了显著成果^[8~15].

同孢粉和植硅体一样,国际上的研究证明,淀粉可以在考古遗物和地层中长时间的保存(科学家曾经从南非一个 200 万年前的石器上提取出淀粉粒^[16]);而且植物籽粒和果实中的淀粉粒数量极其丰富,针尖大的一块面团,就包含了成百上千个淀粉粒,这为研究者从考古遗址中寻找淀粉粒提供了极大的方便.如果人类加工的食物是坚果类、块茎类或者脱壳的种籽时,加工器物上就不会含有植硅体,但是却包含了大量的淀粉粒,这是淀粉粒分析方法的优势.当然,与植硅体耐酸碱,耐高温不同,持续高温可导致淀粉粒产生变形,糊化而不可鉴别.

国内关于淀粉粒分析在上述研究中的应用才刚

刚起步,除了介绍这种方法的文章以外^[17,18],真正的研究论文少之又少^[19].本文利用淀粉粒分析,对北京平谷上宅遗址出土的磨盘和磨棒残留物进行了研究,一方面为了了解当时人类对周围植物的利用情况,另一方面旨在为中国考古学中具有争议性的问题提供直接的证据.

1 研究材料

上宅遗址位于北京市平谷县沟河北岸的台地前缘,1985~1987 年北京市文物研究所与平谷县文物管理所联合对此遗址进行了发掘.遗址的文化层一共可以分为 8 层,4~7 层为上宅遗址典型代表,出土石器陶器 3000 多件^[20].石器中有数量较多的石磨盘和石磨棒.北京大学 ^{14}C 年代实验室对采自文化层的木炭样品进行了年代测定,第 5 层两个样品年代结果为(6340±200) a BP和(6000±105) a BP,第 7 层测年结果(6540±100) a BP^[20].以上均为未校正年代.将上述年代利用 Calpal 软件进行校正,校正后年代为第 5 层(7207±211) cal a BP和(6863±132) cal a BP,第 7 层(7443±93) cal a BP.

本文对来自第 5 层的一件磨盘和一件磨棒进行了研究(图 1).磨盘编号 86T0509⑤:31,为花岗岩琢磨而成,长 18 cm,宽 26.6 cm,厚 6.2 cm,残品(图 1(a), (b)).磨棒编号 87T0911⑤:1,为花岗岩制成,截面近圆形,一侧面磨得非常光滑,其他部分布满点状

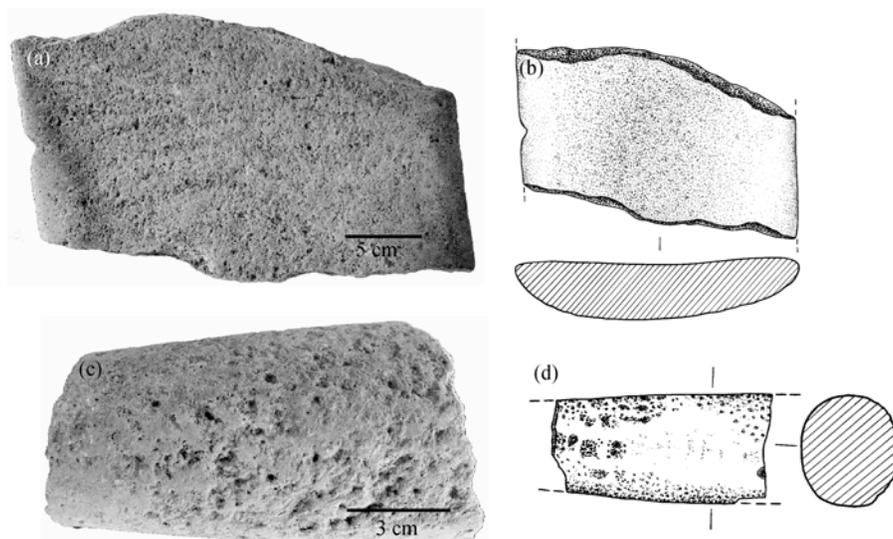


图 1 北京平谷上宅遗址出土的磨盘和磨棒

坑, 似乎通体进行了琢磨. 该磨棒长 14.3 cm, 直径 5.4~6.4 cm, 残品(图 1(c), (d)).

2 研究方法

为了鉴定从石器上提取出来的淀粉粒, 我们首先尽可能多的建立了中国北方现代主要淀粉类植物的淀粉粒形态特征数据库和图谱(图 2), 主要有禾本科黍属(*Panicum*)、狗尾草属(*Setaria*)、稻属(*Oryza*)、黑麦草属(*Lolium*)和山羊草属(*Aegilops*), 壳斗科的栎属(*Quercus*)、栗属(*Castanea*)、榛属(*Corylus*), 胡桃科胡桃属(*Juglans*), 豆科小豆属 (*Vigna*)等近 20 个属 40 多个种, 其中部分现代数据已经发表^[21,22]. 淀粉在造粉体中积累时, 先形成淀粉粒的核心, 称为脐点, 然后环绕着脐点由内向外沉积, 形成许多明暗相间的

同心轮纹, 称层纹, 通过脐点则有各种各样的裂隙. 淀粉粒的特征数据包括每种植物 100~150 颗淀粉粒平均粒径、形状、脐点位置、脐点状态、层纹状态和通过脐点的裂隙特征等. 鉴定时还参照了美国 Smithsonian National Museum of Natural History 生物考古实验室近 40 个科属的近 200 种植物淀粉形态图谱以及其他国内外现代植物淀粉粒形态方面的文献^[8-15].

石器上淀粉粒的提取按照如下流程进行:

- 1) 用煮过的坩埚钳将石器放入合适的烧杯中.
- 2) 给烧杯中加入超纯水, 淹没待清洗的面.
- 3) 将装有石器的烧杯放入超声波水槽中, 在 40 KHz/200 W 功率下清洗 10 分钟.
- 4) 从超声波水槽中取出烧杯, 用煮过的坩埚钳将石

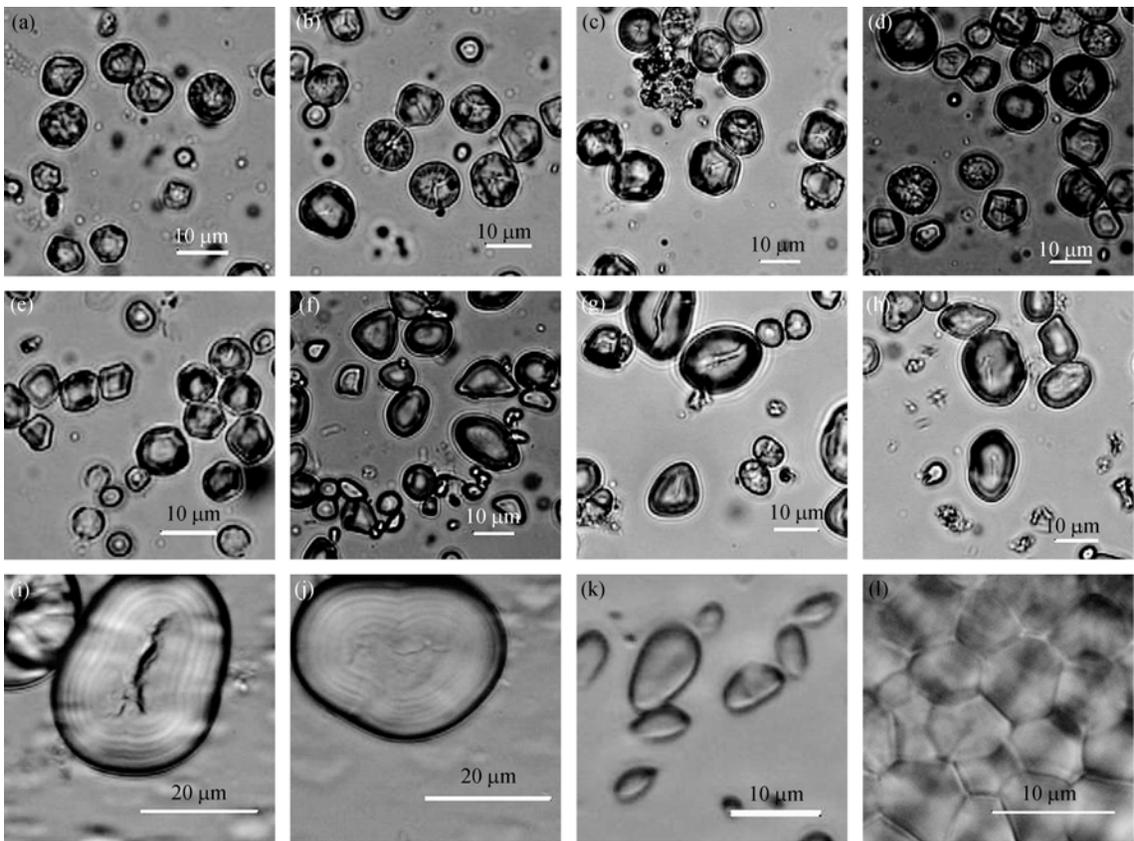


图 2 现代部分植物淀粉粒特征图谱

(a) 狗尾草(*Setaria viridis*), 采自河北, 5 μm 以上淀粉粒平均粒径(7.91 ± 1.36) μm ($n=100$), 表面多褶皱; (b) 粟(*Setaria italica*), 采自河北, 5 μm 以上淀粉粒平均粒径(10.32 ± 2.15) μm ($n=100$), 表面光滑, 大部分具有通过脐点的深裂隙; (c) 粟, 采自内蒙, 5 μm 以上淀粉粒平均粒径(11.74 ± 1.66) μm ($n=100$); (d) 粟, 采自河南, 5 μm 以上淀粉粒平均粒径(9.68 ± 2.16) μm ($n=100$); (e) 黍(*Panicum miliaseum*), 采自河北, 5 μm 以上淀粉粒平均粒径(7.55 ± 1.40) μm ($n=100$); (f) 板栗(*Castanea mollissima*); (g) 槲栎(*Quercus aliena*); (h) 麻栎(*Quercus acutissima*); (i) 扁豆 (*Lens culinaris*); (j) 小豆(*Vigna angularis*); (k) 蕨麻(*Potentilla anserina*); (l) 荞麦(*Fagopyrum esculentum*)

器从烧杯中取出。取出时,用超纯水在烧杯口冲洗石器。

- 5) 将烧杯中的溶液静置 24 小时以使淀粉粒充分沉淀。如果只是少量的溶液,可以马上离心以节省时间。
- 6) 用移液管吸取或者轻轻倒掉烧杯中的上清液。将剩余液体轻轻倒入塑料离心试管中。清洗烧杯,将清洗的水也倒入离心试管中。
- 7) 用超纯水加满离心试管,在 1000 rpm 转速下离心 10 分钟。
- 8) 轻轻倒掉上清液。
- 9) 如果沉淀物很干净,用 10%甘油装片,观察。如果不干净,加入适量的比重为 $1.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 氯化铯重液,充分震荡混合。
- 10) 称量。对称离心。在 1500 rpm 转速下离心 5 分钟。
- 11) 将上清液轻轻倒入另一个新的带有相同编号的塑料离心试管中。
- 12) 重复 9)~11)。
- 13) 用超纯水加满新的离心试管,在 1500 rpm 转速下离心 5 分钟。
- 14) 将上清液轻轻倒入装有废重液的容器中。
- 15) 重复 13)和 14)两遍。
- 16) 将新试管中的物质搅拌均匀,吸取两滴滴于载玻片上,待快干时,滴一滴 10%甘油装片。剩余的提取物风干保存。
- 17) 在偏光显微镜下进行观察。

如果清洗的石器很大,则直接放入超声波中清晰。步骤如下:

- 1) 用沸水清洗超声波水槽。
- 2) 将石器放入水槽中,加入超纯水,水面浸过清洗面。
- 3) 在 40 KHz/200 W 下清洗 10 分钟。
- 4) 将石器取出,并在拿出水面的时候进行清洗。
- 5) 将水槽中的液体倒入烧杯中,静置 24 小时。
- 6) 重复上述 6)~17)。

对考古样品所获得的提取物装片观察时,首先在 $200\times$ 偏光显微镜下寻找具有十字消光特征的淀粉粒,找到后在 $400\times$ 非偏光镜下对淀粉粒的形状、大小、脐点位置、脐点状态和表面特征等进行观察记录,与现代样品进行对比鉴定。

利用残留的淀粉粒进行石器功能分析,最理想的采样方式是在考古遗址发掘时现场对石器进行采集,同时对石器周边沉积物进行采样,将沉积物中淀

粉粒与石器表面淀粉粒进行对比,以确定石器表层的淀粉粒是来自沉积物的后期污染还是使用时的残留。但是一般情况下,当石器送到实验室进行分析时,通常都已经按照考古发掘的传统流程进行了清洗。如果分析的石器已经清洗,可以取同一层位的其他非使用工具的石块进行同样的分析,分析结果作为背景值。或者将石器使用面和非使用面分开进行清洗。假设石器的表面积所接触的沉积物相同,非使用面上的淀粉粒将作为背景值与使用面的淀粉种类和数量进行对比。上宅遗址发掘于 20 世纪 80 年代,石器发掘出来后即进行了人工清洗,然后一直存放在库房中。我们在进行实验室分析时,将石器非使用面和使用面分开进行。磨盘使用面样品实验室编号 SA,非使用面 SB;磨棒使用面样品编号 MA,非使用面样品编号 MB。共获得 4 个样品。

现代样品淀粉粒形态分析与磨盘上淀粉粒的显微镜观察在美国 Smithsonian National Museum of Natural History 的生物考古实验室完成;磨盘与磨棒淀粉粒提取、磨棒上淀粉粒的显微镜观察在中国科学院地质与地球物理研究所古生态实验室完成。

3 结果

磨盘使用面 SA 样品中共观察到 26 颗淀粉粒。分为 6 类:

A 类(图 3(a)~(c)): 共观察到 9 粒。椭球形或者多面体,粒径范围 $11.58\sim 22.01 \mu\text{m}$ 。脐点居中,开放并大多具有穿过脐点的横向或者深 Y 型裂隙。同时可见到淀粉粒表面具有细密放射状裂隙到达颗粒边缘。此类为典型的来自狗尾草属粟(*Setaria italica*)的淀粉粒。

B 类(图 3(d)): 共观察到 2 粒。镜下呈圆角椭圆形,粒径分别为 $23.19 \mu\text{m}$ 和 $23.95 \mu\text{m}$ 。脐点居中,开放,有线性裂隙或者小 Y 型裂隙通过。围绕脐点生长有层纹,这些层纹在偏光下观察更为清楚。此类为豆科小豆属小豆(*Vigna angularis*)的淀粉粒。

C 类: 共观察到 4 粒。其共同特点是呈长椭圆形且在偏光下具有 X 型消光特征。具体可分为 2 个亚类。C1 类 2 粒,规则椭圆形,长轴长分别为 $15.01 \mu\text{m}$ 和 $16.99 \mu\text{m}$ 。脐点居中,开放,有径向裂隙通过。无层纹,但在颗粒表面有细密放射线沿裂隙分布(图 3(e))。

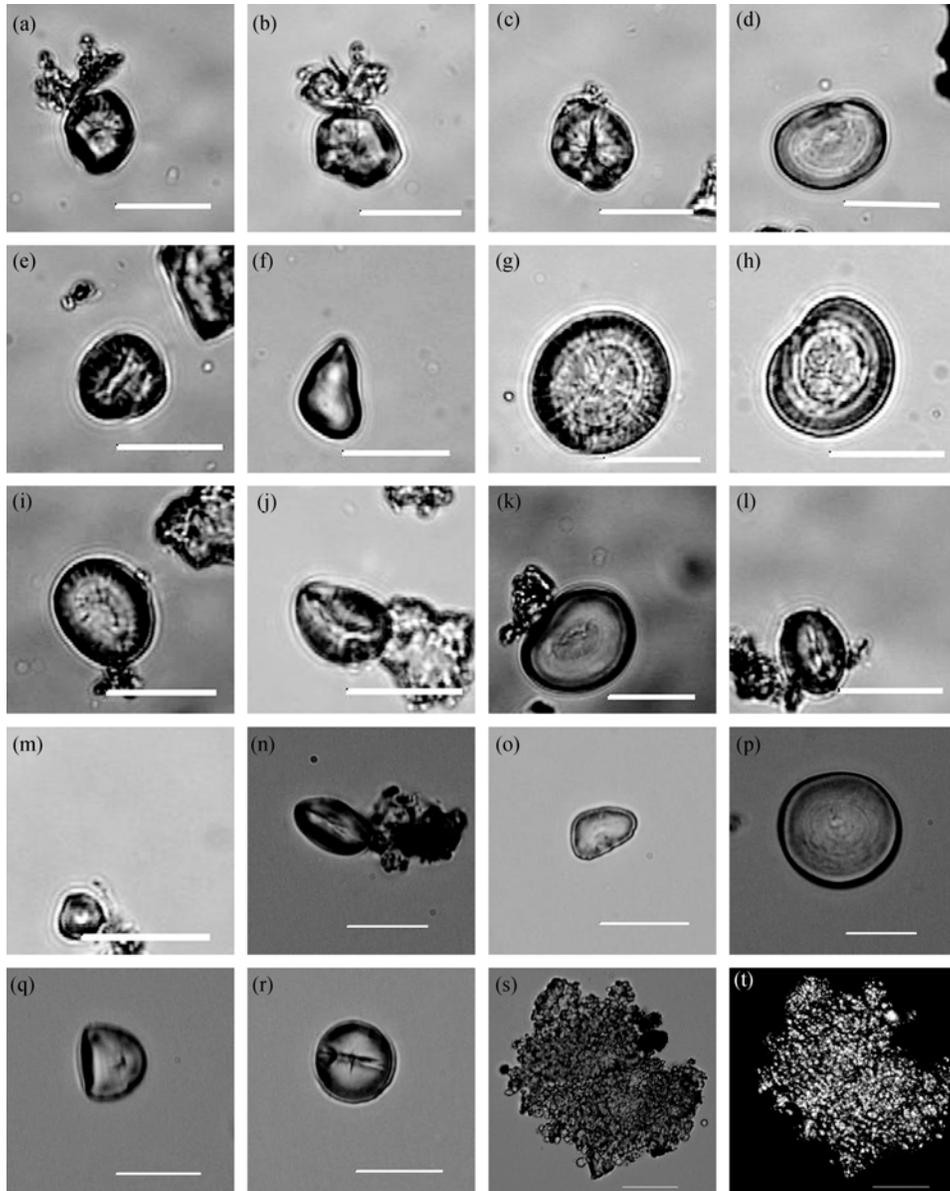


图3 上宅遗址磨盘磨棒上的淀粉粒
(a)~(r) 标尺长为 20 μm; (s), (t) 标尺为 50 μm

C2类2粒, 1粒为圆角椭圆形, 长轴长度 17.93 μm, 脐点偏于一端, 闭合, 无裂隙, 无层纹. 1粒为泪滴状, 长轴长度 8.78 μm, 脐点偏于一端且闭合(图3(f)). C类淀粉粒均具有栎属果实淀粉粒的特征, C1类与蒙古栎 (*Q. mongolicus*) 果实淀粉粒特征吻合, C2类与麻栎 (*Q. acutissima*) 果实淀粉粒特征相符^[22].

D类 (图3(g), (h)): 共观察到7粒. 镜下呈圆形或椭圆形, 粒径范围 18.11~29.15 μm. 脐点居中且开

放, 有小 Y 型裂隙通过. 围绕脐点生长有同心层纹. 颗粒表面中间凹陷, 边缘凸起呈环状, 且从脐点到边缘具有细密放射线. 此类淀粉粒特征非常明显, 但是我们现有的数据库, 包括美洲和澳洲的数据库中均没有此类淀粉, 目前还无法鉴定.

E类: 观察到2粒. 镜下呈近圆饼状 (图3(i)), 长轴长 19.60 μm. 脐点居中且开放, 表面具有细密放射线. 此类淀粉粒轻轻转动后, 侧面呈椭圆形, 有一道

长而深的径向凹槽连接长轴两端. 侧面形态不稳定 (图 3(j)). 此类淀粉粒在浙江跨湖桥遗址陶釜残留物中也有发现¹⁾, 但以现有数据库还无法鉴定.

磨盘非使用面 SB 样品中共观察到 8 颗淀粉粒, 可以分为 5 类. 2 粒(图 3(k))与 SA 样品中 B 类(图 3(d))相同, 粒径分别为 26.17 μm 和 24.76 μm . 1 粒(图 3(l))与 SA 样品 C1 类(图 3(e))相同, 长轴长度 16.68 μm . 1 粒与 SA 样品中 D 类相同, 粒径 24.02 μm . 1 粒与 E 类相同, 粒径 25.32 μm . 另外 2 粒淀粉粒是 SA 样品中没有出现的, 定为 F 类, 描述如下:

F 类 (图 3(m)): 呈多面体或球形, 脐点居中且非常开放, 粒径分为 6.86 μm 和 6.98 μm . 表面光滑. 此类淀粉粒与来自黍 (*Panicum miliaceum*) 的淀粉粒形态相同, 定为黍.

磨棒使用面 MA 样品中观察到近 30 颗单粒淀粉和由几百个淀粉粒组成的复粒淀粉. 有 5 粒淀粉粒或由于保存不完整或由于特征不明显无法分类, 其余淀粉粒可分为 6 类. 其中, 1 粒为 A 类, 粒径为 16.44 μm . 3 粒为 F 类, 粒径分别为 14.48 μm , 8.57 μm 和 9.30 μm . 14 粒为 C 类, 均为各种各样的椭圆形, 其中 C2 类 5 粒, 粒径范围 6.8~17.41 μm , 平均粒径(13.83 \pm 2.8) μm . 其余划分为 C3 类 1 粒, 规则椭球形 (图 3(n)), 长轴长度 19.55 μm , 脐点居中且开放, 有径向裂隙穿过脐点, 无层纹. C4 类 8 粒, 圆角椭圆形 (图 3(o)), 长轴长度范围 7.81~15.11 μm , 平均长度(10.56 \pm 1.32) μm , 脐点居中开放, 有径向裂隙穿过脐点, 无层纹. C4 与榭树 (*Q. dentata*) 果实淀粉粒相似, C3 可能来自榭树或者榭栎 (*Q. aliena*) 中的某一种^[22], 因为只有 1

粒, 无法确定.

剩余淀粉粒类型可划分为:

G 类 (图 3(p)): 1 粒. 圆饼状, 粒径 33.03 μm , 脐点居中且开放, 围绕脐点有同心层纹. 暂时无法鉴定.

H 类 (图 3(q), (r)): 2 粒. 显微镜下观察为半球体, 脐点居于球面顶部, 轻轻转动则变为球形, 脐点居中. 两淀粉粒直径长度为 7.57 μm 和 6.69 μm . 此类淀粉具有块茎类植物淀粉粒的特征, 但具体归属尚不清楚. 图 3(q)为镜下形态, 3(r)为转动后形态.

I 类 (图 3(s), (t)): 几百个淀粉粒组成, 周围分布有单粒淀粉. 单粒淀粉粒径平均值为(6.50 \pm 1.22) μm . 淀粉粒成多面体, 夹角尖锐. 禾本科很多植物种子淀粉粒具有此类特征, 如黑麦草属 (*Lolium*) 和燕麦属 (*Avena*); 蓼科荞麦属 (*Fagopyrum*) 种子淀粉粒也与此类似, 但由于基础工作有限, 此类淀粉存疑. 图 3(s) 为偏光下特征.

磨棒非使用面 MB 样品中共观察到 10 颗淀粉粒. 3 粒同 G 类, 粒径分别为 24.43 μm , 28.90 μm 和 32.89 μm . 1 粒同 F 类, 粒径为 13.13 μm , 通过脐点有微小 Y 型裂隙. 4 粒同 C 类, 其中 C2 类 2 粒, 粒径分别为 22.72 μm 和 19.20 μm . C3 类 1 粒, 粒径 16.77 μm ; C4 类 1 粒, 粒径 11.01 μm . H 类 2 粒, 直径长度分别为 13.77 μm 和 12.57 μm .

磨盘和磨棒上除 I 类淀粉粒以外, 共观察到 71 粒淀粉. 所有淀粉粒可分为 9 类 12 种 (表 1). 其中, 最多的是来自 C 类栎属果实(也就是橡子)的淀粉粒, 共 24 颗, 其次是来自 A 类粟的淀粉粒 10 颗.

表 1 磨盘和磨棒上的淀粉粒

		A	B	C				D	E	F	G	H	I	其他	合计
				C1	C2	C3	C4								
磨盘	SA	9	2	2	2			7	2					2	26
	SB		2	1				1	1	2				1	8
磨棒	MA	1			5	1	9			3	1	2	>200	5	27(除 I 类)
	MB				2	1	1			1	3	2			10
合计		10	4	3 9 2 10				8	3	6	4	4	>200	8	71(除 I 类)
				24											

1) 杨晓燕, 蒋乐平. 淀粉粒分析揭示浙江跨湖桥遗址古人类食物构成. 待投稿

4 讨论与结论

从表 1 可以看出, 磨盘使用面淀粉粒数量是非使用面淀粉粒数量的 3 倍以上, 磨棒使用面的淀粉粒含量也是非使用面的近乎 3 倍。所以可以肯定, 使用面上的淀粉粒大部分还是来自于磨盘和磨棒加工的食物, 而不是文化层沉积物中的污染。况且, 这还没有考虑提取淀粉粒的磨棒非使用面的面积是使用面的 3 倍之多。其实, 即使是非使用面的淀粉粒, 也有可能来自磨盘磨棒的使用过程中。因为在处理食物过程中, 操作者的双手会同时接触食物和石器, 磨盘磨棒肯定也被将要处理的和已经处理好的食物所包围。这样即使是非使用面, 也会附着有淀粉。

在磨盘和磨棒中, 各有一种植物在非使用面上的淀粉粒的数量要大于使用面上的数量(F 和 G 类), 共有 3 种淀粉粒的数量在这两个面上是相等的 (B, C1 和 H 类)。最保守的分析, 去掉这 5 种植物, 磨盘和磨棒上提取出来的植物种类依然有 7 种, 包括了各种需要去壳和碾压的种子和果实。植物种类的多样性, 代表了上宅遗址磨盘和磨棒在用途上的多样性,

也证明了以前对磨盘磨棒功能的推断是不完善的。但上宅遗址磨盘和磨棒加工食物的多样性能否代表整个华北甚至中国北方史前同类器物, 或者磨盘磨棒在食物加工上有没有像有的学者提出的存在时间或者空间上的差异^[23], 还有待今后的进一步研究。

来自北京上宅遗址磨盘和磨棒的淀粉粒, 还反映了距今 7000 年前后华北地区人类社会的经济模式和人类日常生活的食物组成。由于淀粉粒的来源既有栽培的粟和黍, 又有采集到的橡子, 而且橡子种类与数量在可鉴定的淀粉粒中占有很大比例, 可以推断, 农业和采集在当时的社会经济中都占有重要地位。这也说明, 真正的农业社会在距今 7000 年前还没有形成。而当时先民的食物组成, 当包括粟、黍、橡子以及一些块茎类和杂草类植物的种子和果实。

同时, 这些淀粉粒也反映了距今 7000 年前, 华北平原分布有典型的落叶阔叶地带性植被——栎林。这些森林主要包括了蒙古栎林、槲栎林、柞树林和麻栎林等, 反映出较今温暖湿润的气候特征, 这与以前对该遗址所做的孢粉分析结果相吻合^[24]。

致谢 感谢美国 Smithsonian Institution 为本课题的研究提供的资助、Smithsonian National Museum of Natural History 的 Archaeobiology Lab 为本次研究提供的各种方便、D. R. Piperno 教授和 L. Perry 博士在实验中给予的热情指导。

参考文献

- 1 陈文华. 农业考古. 北京: 文物出版社, 2002
- 2 宋兆麟. 史前食物的加工技术——论磨具与杵臼的起源. 农业考古, 1997, (3): 187—195
- 3 周昕. 新石器时代的石磨盘、石磨棒. 古今农业, 2000, (3): 1—8
- 4 中国社会科学院考古研究所, 陕西省考古研究所. 陕西省宜川县龙王辿旧石器时代遗址. 考古, 2007, (7): 3—8
- 5 山西省临汾行署文化局. 山西吉县柿子滩中石器文化遗址. 考古学报, 1989, 3: 305—323
- 6 秦岭, Fuller Q D, Harvey E. 河姆渡遗址的生计模式——兼谈稻作农业研究中的若干问题. 东方考古(第 3 集). 北京: 科学出版社, 2006. 307—350
- 7 刘莉. 中国史前的碾磨石器、坚果采集、定居及农业起源. 见: 石兴邦, 编. 纪念何炳棣先生 90 华诞论文集(待刊)
- 8 Torrence R, Barton H. Ancient Starch Research. Walnut Creek: Left Coast Press. 2006
- 9 Perry L. Starch analysis reveal multiple functions of quarts “manioc” grater flakes from the Orinoco Basin, Venezuela. Interciencia, 2002, 27(11): 635—639
- 10 Perry L, Dickau R, Zarrillo S, et al. Starch fossils and the domestication and dispersal of chili peppers (*Capsicum* spp. L.) in the Americas. Science, 2007, 315: 986—988[[doi](#)]
- 11 Piperno D R, Husum-Clary K, Cooke R G, et al. Pre-ceramic maize from central Panama: evidence from phytoliths and pollen. Am Anthropol, 1985 87: 871—878[[doi](#)]
- 12 Piperno D R, Holst I. The presence of starch grains on prehistoric stone tools from the hu mid Neotropics: indications of early tubre

- use and agriculture in Panama. *J Archaeol Sci*, 1998, 25: 765—776[[doi](#)]
- 13 Piperno D R, Ranere A J, Holst I, et al. Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest. *Nature*, 2000, 407: 894—897[[doi](#)]
- 14 Piperno D R, Weiss E, Holst I, et al. Processing of wild cereal grains in the Upper Palaeolithic revealed by starch grain analysis. *Nature*, 2004, 430: 670—673[[doi](#)]
- 15 Zarrillo S, Pearsall D M, Raymond J C, et al. Directly dated starch residues document early formative maize (*Zea mays* L.) in tropical Ecuador. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105(13): 5006—5011[[doi](#)]
- 16 Torrence R, Barton H. *Ancient Starch Research*. Walnut Creek: Left Coast Press, 2006. 19
- 17 吕烈丹. 考古器物的残余物分析. *文物*, 2002, (5): 83—91
- 18 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, (3): 87—91
- 19 Lü H Y, Yang X Y, Ye M L, et al. Millet noodles in Late Neolithic China. *Nature*, 2005, 437: 967—968[[doi](#)]
- 20 北京市文物研究所, 北京市平谷县文物管理所. 北京平谷上宅新石器时代遗址发掘简报. *文物*, 1989, (8): 1—11
- 21 杨晓燕, 吕厚远, 刘东生, 等. 粟、黍及狗尾草的淀粉粒微形态分析及其在植物考古中的潜在意义. *第四纪研究*, 2005, 25 (2): 224—227
- 22 杨晓燕, 孔昭宸, 刘长江, 等. 中国北方主要坚果类淀粉粒形态对比. *第四纪研究*, 2009, 29(1): 153—158
- 23 刘国祥. 赵宝沟文化经济形态及相关问题讨论. 见: 刘国祥, 编. *东北文物考古论集*. 北京: 科学出版社, 2004. 87—109
- 24 周昆叔. 上宅新石器文化遗址环境考古. *中原文物*, 2007, (2): 9—24