

论文

# 甘肃临潭陈旗磨沟遗址人牙结石中淀粉粒反映的古人类植物性食物

李明启<sup>①②</sup>, 杨晓燕<sup>①</sup>, 王辉<sup>③</sup>, 王强<sup>①</sup>, 贾鑫<sup>④</sup>, 葛全胜<sup>①\*</sup>

① 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

② 中国科学院研究生院, 北京 100049;

③ 甘肃省文物考古研究所, 兰州 730000;

④ 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000

\* 联系人, E-mail: geqs@igsrr.ac.cn

收稿日期: 2009-10-14; 接受日期: 2010-03-05

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)资助

**摘要** 甘肃临潭齐家文化陈旗磨沟遗址是一处 4000 a BP 的墓葬群, 规模较大. 由于其独特的埋葬制度及丰富的具有代表性的器物类型而被评为 2008 年“中国十大考古发现”. 我们从墓葬编号 M187 和 M194 中获得了两个成人个体的 3 颗牙齿, 在不破坏牙齿的情况下, 采取多种方法对该遗址中古人类牙结石里的淀粉粒进行了提取和鉴定. 研究表明当时人类植物性食物具有多样化特征. 牙结石中包括了来自小麦属小麦(*Triticum aestivum*)、大麦属大麦(*Hordeum vulgare*)和青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum*)等中的一种或者多种、狗尾草属粟(*Setaria italica*)、荞麦属荞麦(*Fagopyrum esculentum*)、豆类及坚果类等植物的淀粉粒. 其中麦类植物、荞麦和粟的淀粉粒数量占到了淀粉粒总量的 70%, 可能为当时人类的主要植食来源; 坚果类、豆类植物也是当时人类的主要食物之一. 大量麦类植物淀粉粒的出现, 为研究麦作农业在中国的传播路线提供了证据, 而且从恢复的农作物种类来看, 当时农业具有多样性特征. 坚果类栎属(*Quercus*)、疑似银杏(*Ginkgo biloba*)淀粉粒的出现, 说明采集仍是农业的补充方式之一. 陈旗磨沟遗址古人牙结石中的淀粉粒组合, 反映了在距今 4000 年前, 甘肃临潭一带的齐家文化社会以多样性旱作农业为获取食物的主要方式, 但仍存在采集经济.

## 关键词

陈旗磨沟遗址  
齐家文化  
淀粉粒分析  
牙结石  
植物性食物

从 20 世纪 80 年代开始, 淀粉粒分析成为继孢粉分析和植硅体分析之后一项新的分析手段. 淀粉粒分析的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、考古器物中获取的古代植物种属的淀粉粒, 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、澳大利亚等地的农作物起源与传播、古代人类食谱、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<sup>[1-10]</sup>.

考古遗址利用浮选法获得的已经碳化的植物遗

存可能包含了当时遗址周边生长的未被人类食用的植物, 考古器物表面残留物分析所获得的信息也可能包含了来自周围土壤中的其他非利用植物的污染, 并且遗失了那些不需要加工而直接食用的植物信息, 如果实和块茎类食物等. 所以文化层土壤沉积中的植物遗存或考古器物残留物分析所反映的植食信息可能存在一定偏差<sup>[10]</sup>. 为了解决该问题, 一些研究人员开始关注人牙结石中的微体植物遗存<sup>[9-15]</sup>.

牙结石是磷酸钙在牙齿上沉积形成的, 在其形成过程中捕获了一些食物颗粒, 其中含有淀粉粒. 现代医学对牙结石形成过程的了解还很少, 因此还不能确定牙结石形成需要的时间. 但是牙结石形成过程在人的一生中一直在进行, 因此如果没有人为原因除掉牙结石, 它至少可以反映一个人生活多年的食物构成. 研究表明, 牙结石重度矿化, 能很好的在地层中保存下来<sup>[16]</sup>, 这也为淀粉粒提供了良好的保存介质. 古代人牙结石中的淀粉粒一旦被提取并鉴定出来, 就能为当时人类的食物构成提供最直接的证据. 近年来, Piperno 和 Henry 等<sup>[9,10]</sup>分别对叙利亚 Tell al-Raqa'i 区域和秘鲁北部 Nanchoc 流域考古遗址中的古人牙结石进行了淀粉粒提取和鉴定, 重建了两地古人类的部分食物构成. 但这方面的研究在国内暂时还没有开展.

陈旗磨沟遗址位于甘肃临潭洮河南岸的马蹄形山间台地上, 海拔 2000 多米. 遗址属于齐家文化墓葬群, 根据已有齐家文化 <sup>14</sup>C 年代<sup>[17]</sup>, 将该遗址年代初步定为 4000 a BP 左右. 2008 年 7 月到 11 月, 甘肃省考古研究所对其墓地进行了抢救性发掘, 清理出齐家文化墓葬 346 座. 由于其规模较大、埋葬制度和独特, 且有代表性的器物类型丰富, 具有重要的历史和文化价值, 被评为 2008 年“中国十大考古发现”. 该地现在属高寒半湿润气候区, 年均温在 3.2℃ 左右, 年降水量约 380~670 mm, 主要种植有小麦、大麦、青稞、蚕豆、扁豆、粟、黍、荞麦、高粱、玉米和马铃薯等作物. 本文选择了编号为 M187 和 M194 墓葬中 2 个个体的 3 颗牙齿作为研究对象, 从 3 颗牙齿的牙结石里提取植物淀粉粒, 以期能对当时人类的植物性食物构成有些许了解.

## 1 材料和方法

陈旗磨沟遗址 3 颗人牙编号分别为 T1~3(图 1).

针对这些出土人骨的体质人类学研究还在进行, 我们还不能确定这 2 个个体的性别, 但可以肯定均为成年人.

在不破坏牙齿的前提下, 我们对所选取的 3 颗牙齿采用了不同方法来提取淀粉粒. 方法如下:

首先采用文献[9]的方法对 T1 上的牙结石进行了淀粉粒提取, 即对牙齿进行清洗后, 用小刀将牙结石直接刮在载玻片上进行显微镜观察.

对于牙齿 T2, 首先按照文献[9]方法提取, 但未发现淀粉粒, 于是对已经做好的载玻片进行了如下处理:

1) 用镊子将做好的盖玻片和载玻片分离, 放在 200 mL 烧杯中, 加入少量超纯水淹没盖玻片和载玻片.

2) 用超声波振荡清洗(500 W×50% 功率, 10 min).

3) 将清洗完毕的盖玻片和载玻片从烧杯中取出, 烧杯中的溶液倒入 50 mL 离心式管中, 用六偏磷酸钠(Calgon)分散牙结石, 之后用超纯水对 Calgon 清洗三遍.

4) 加 1.3 g/cm<sup>3</sup> CsCl 溶液, 振荡, 离心(2500 rpm, 12 min), 倒掉上清液, 再加入 1.8 g/cm<sup>3</sup> 的 CsCl 重液, 振荡, 离心(2000 rpm, 10 min), 保留上清液, 并重复一遍, 然后用超纯水清洗四遍, 制片.

另外又用一种方法处理了该牙齿: 将用小刀刮过的牙齿放在 200 mL 烧杯中, 在超声波清洗机中清洗(500 W×50% 功率, 10 min), 然后倒入 50 mL 离心式管中, 其余同上述 3~4 步骤.

由于对古人牙结石里淀粉粒的提取方法, 还处于初期探索阶段, 为了给以后研究提供更可行有效的方法, 牙齿 T3 按如下方法进行处理:

1) 用软牙刷和超纯水去除牙齿上粘附的土壤和其他颗粒.

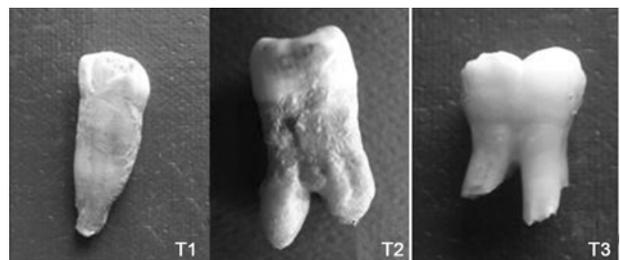


图 1 陈旗磨沟遗址 M187 和 M194 墓葬选取的 3 颗人牙

2) 放在超声波清洗仪中清洗(500 W×80%功率, 15 min).

3) 倒入 50 mL 离心式管中, 离心(3500 rpm, 10 min), 倒掉上清液.

4) 加入 5%的 Calgon, 振荡, 离心(2500 rpm, 1 min, 倒掉上清液), 再加入 5%的 Calgon, 振荡, 并静置 10 h.

5) 然后用超纯水清洗两遍, 离心(3500 rpm, 10 min), 倒掉上清液.

6) 再用 10%的 HCl 浸泡 12 h, 之后用超纯水清洗溶液至中性, 然后制片观察.

为了识别从牙齿上提取的淀粉粒, 我们对从所研究区域和我国其他地区收集的来自禾本科、豆科、壳斗科等 20 多个属 60 多个种的植物淀粉粒形态数据进行了分析, 部分淀粉粒形态见图 2. 同时鉴定中还参考了北美和澳洲的淀粉粒文献<sup>[1-8,18]</sup>.

上述所有实验所用器具均在使用前经过高温蒸煮和超声波清洗, 每个样品在提取淀粉粒前所有器具也经过了同样处理, 以避免外界污染和样品之间的交叉污染.

## 2 结果

通过实验分析, 从 3 颗牙齿上提取淀粉粒共 48 颗, 其中从 T1 上提取 10 颗, T2 上提取 22 颗, T3 上提取 16 颗. 其中, 6 颗淀粉已被破坏, 其他的淀粉粒可以分为 7 类.

第 1 类: 6 颗. 淀粉粒成多边形, 脐点居中, 开放, 有放射状裂隙, 无层纹. 长轴在 13.3~18.5  $\mu\text{m}$  之间变化, 短轴在 12.1~16.4  $\mu\text{m}$  之间变化(图 3(a)和(b)). 已有的现代植物淀粉粒数据表明, 多边形的淀粉粒大多来自于禾本科植物种子, 比如粟 (*Setaria italica*)、黍 (*Panicum miliaceum*)、稻 (*Oryza sativa*)、高粱 (*Sorghum bicolor*)和玉米 (*Zea mays*)<sup>[1-8,19-22]</sup>. 另外, 荞麦 (*Fagopyrum esculentum*)和山楂 (*Crataegus pinnatifida*) 等的淀粉粒也是多边形. 但是稻、燕麦、荞麦和山楂等植物的淀粉粒平均粒径小于该类淀粉; 高粱虽然与此类淀粉粒粒径相近, 但高粱大多具有放射状或者线形裂隙, 而且高粱的淀粉粒粒径较大者具有层纹(图 2(d)); 玉米起源于美洲, 直到大约 16 世纪初传入我国<sup>[23]</sup>, 而黍淀粉粒平均粒径 7  $\mu\text{m}$ , 单颗最大粒径 11.08  $\mu\text{m}$ , 并且大多表面没有裂隙. 根据我们对

来自中国北方 6 个现代粟样品的淀粉粒分析结果, 粟的淀粉粒平均粒径在 9~12  $\mu\text{m}$ , 单颗最大值 19.34  $\mu\text{m}$ , 特征粟淀粉粒表面光滑, 裂隙明显(图 2(a)). 此类淀粉与粟类淀粉在形状大小和表面特征上均吻合, 所以将此类淀粉粒鉴定为粟.

第 2 类: 5 颗. 淀粉粒也多边形, 脐点居中, 开放. 表面中间有一凹坑, 无裂隙, 无层纹. 长轴在 8.2~11.9  $\mu\text{m}$  之间变化, 短轴在 7.7~11.7  $\mu\text{m}$  之间(图 3(c)和(d)). 此类淀粉粒虽然也为多边形, 但在形态特征和粒径大小上与第一类存在明显的差别. 据已有现代淀粉粒表面特征及大小, 将该类淀粉可能来自于荞麦.

第 3 类: 25 颗. 淀粉粒成圆形或者近圆形, 脐点居中, 闭合. 有的有层纹, 无裂隙. 表面有凹坑. 有的淀粉粒旋转后成椭圆形, 并有一条纵向裂隙. 长轴在 10.4~38.9  $\mu\text{m}$  之间变化, 短轴在 8.8~36.4  $\mu\text{m}$  之间变化(图 3(e)~(i)). 这些特征与禾本科小麦族植物(小麦属小麦(*Triticum aestivum*)、大麦属大麦(*Hordeum vulgare*)和青稞(*Hordeum vulgare var. nudum*)等中的一种或者多种)的淀粉粒相同. 由于已知小麦族植物淀粉粒表面特征及大小非常相似, 要将其进行区别, 需要进一步的工作.

第 4 类: 3 颗, 为肾形或者椭圆形, 脐点居中. 有些隐约能看到层纹, 其中两颗有放射状裂隙, 另外 1 颗边缘周围有一突起的棱, 中间下凹. 长轴分别为 24.9, 25.5 和 17.6  $\mu\text{m}$ , 短轴分别为 18.7, 20.1 和 12.4  $\mu\text{m}$ (图 3(j)~(l)). 根据已有现代植物淀粉粒数据分析, 该类淀粉与来自豆类植物的淀粉粒相同. 其中一粒与现代鹰嘴豆属(*Cicer*)回回豆(*Cicer arietinum*)和鹰嘴豆(*Cicer arietinum*)的淀粉粒特征非常接近, 该粒可能来自于鹰嘴豆属.

第 5 类: 1 颗. 近椭圆形, 其中一端较尖, 脐点居中, 闭合. 无层纹, 无裂隙, 并且表面中间有一长条形凹痕. 长轴为 21.9  $\mu\text{m}$ , 短轴为 15.3  $\mu\text{m}$ (图 3(m)). 该类淀粉粒与来自银杏(*Ginkgo biloba*)果实的淀粉粒特征及大小极其相似, 很可能为银杏. 但由于只有 1 颗, 暂存疑.

第 6 类: 1 颗, 为葫芦形, 脐点居中, 闭合, 无层纹. 旋转后仍为葫芦形, 但在其大头一端出现裂隙. 表面比较光滑. 长轴为 25.9  $\mu\text{m}$ , 短轴为 11.3  $\mu\text{m}$ (图 3(n)). 该粒淀粉与栎属(*Quercus*)淀粉粒特征和大小

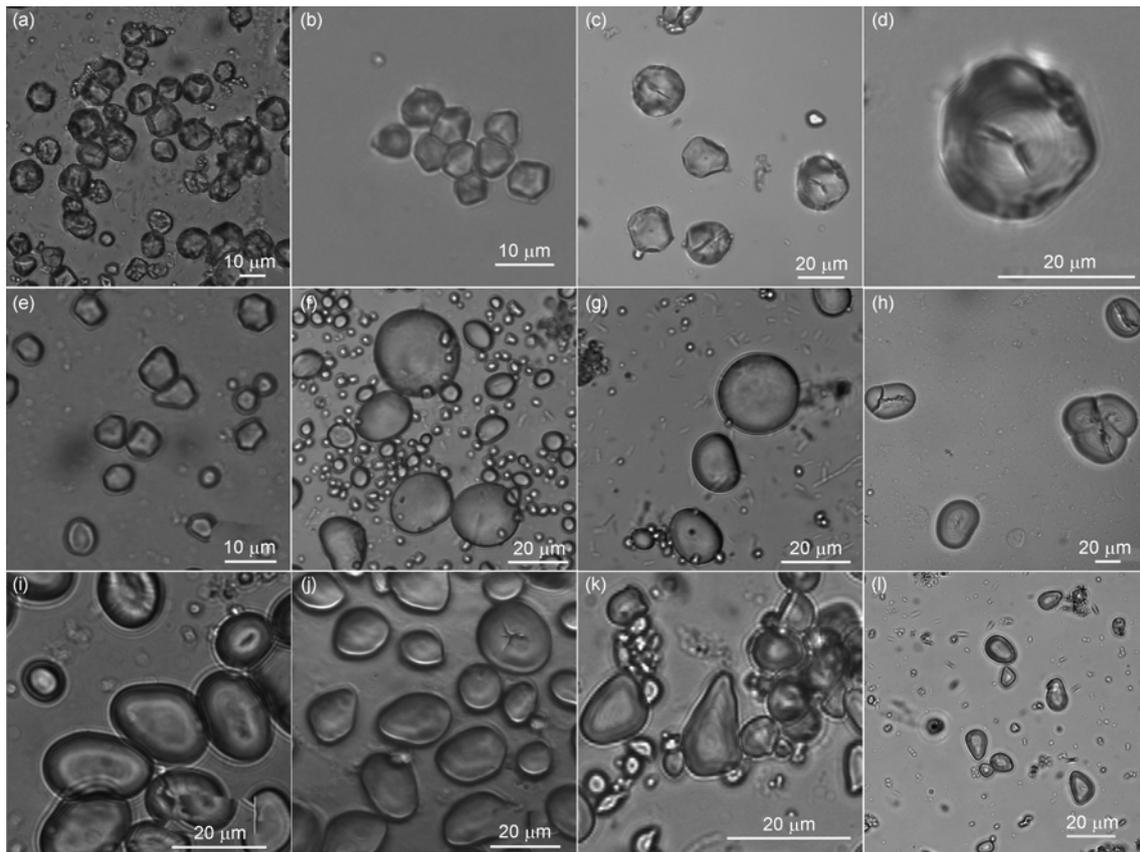


图2 现代部分植物淀粉粒图谱

(a) 粟(*Setaria italica*), 采自河北, 淀粉粒平均粒径( $10.32 \pm 2.15$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=100$ ); (b) 黍(*Panicum miliaceum*), 采自甘肃, 淀粉粒平均粒径( $7.22 \pm 1.60$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=100$ ); (c)和(d) 高粱(*Sorghum bicolor*), 采自北京, 淀粉粒平均粒径( $16.72 \pm 5.53$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=160$ ); (e) 荞麦(*Fagopyrum esculentum*), 采自甘肃, 淀粉粒平均粒径( $7.06 \pm 1.49$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=330$ ); (f) 小麦(*Triticum aestivum*), 采自青海, 淀粉粒平均粒径( $18.68 \pm 8.75$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=113$ ); (g) 大麦(*Hordeum vulgare*), 采自甘肃, 淀粉粒平均粒径( $17.41 \pm 4.65$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=109$ ); (h) 赤小豆(*Vigna umbellata*), 采自甘肃, 淀粉粒长轴平均粒径( $33.44 \pm 10.0$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=118$ ); (i) 回回豆(*Cicer arietinum*), 采自甘肃, 淀粉粒长轴平均粒径( $15.84 \pm 5.76$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=136$ ); (j) 银杏(*Ginkgo biloba*), 采自甘肃, 淀粉粒长轴平均粒径( $15.31 \pm 4.18$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=108$ ); (k) 板栗(*Castanea mollissima*), 采自北京, 淀粉粒平均粒径( $11.52 \pm 2.61$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=50$ ); (l) 麻栎(*Quercus acutissima*), 采自北京, 淀粉粒平均粒径( $10.74 \pm 3.34$ )  $\mu\text{m}$  ( $n=50$ )

接近, 但只有 1 颗, 暂存疑.

第 7 类: 1 颗. 圆形, 中间有一线状痕迹, 脐点居中, 闭合. 旋转成椭圆形、半球形、扇形等形状, 椭圆形时有一纵向裂隙. 无层纹. 长轴为 11.4  $\mu\text{m}$ , 短轴 10.1  $\mu\text{m}$ (图 3(o)). 该淀粉粒特征与现代块茎类淀粉比较相似, 此淀粉粒可能来自块茎类.

### 3 讨论

在不破坏牙齿的前提下, 我们对这 3 颗人牙采用了不同的提取方法, 并均获得了一定数量的淀粉粒, 表明这几种方法都是可行的. 但是不同方法之间存

在着一定的差异. 对于 T2, 按照提取 T1 的方法并没有观察到淀粉粒, 但是经过超声波振荡和 Calgon 分散后, 淀粉粒便从牙结石中释放出来了, 说明直接用小刀刮取牙结石, 观察到的淀粉粒有限, 会遗漏很多有用的信息. 无论从土壤还是古代器物上提取淀粉粒, 都应当尽量避免使用酸碱等物质以防止淀粉粒被破坏, 但 T3 中淀粉粒的提取方法说明, 在室温条件下, 浓度为 10% 的稀盐酸对淀粉粒的破坏作用几乎可以忽略, 这一点 Henry 等<sup>[10]</sup>在其文章中也已讨论过.

麦类植物的淀粉粒占到了总量的 50% 以上(表 1), 表明当时麦类植物已经成为人类日常饮食的一个主

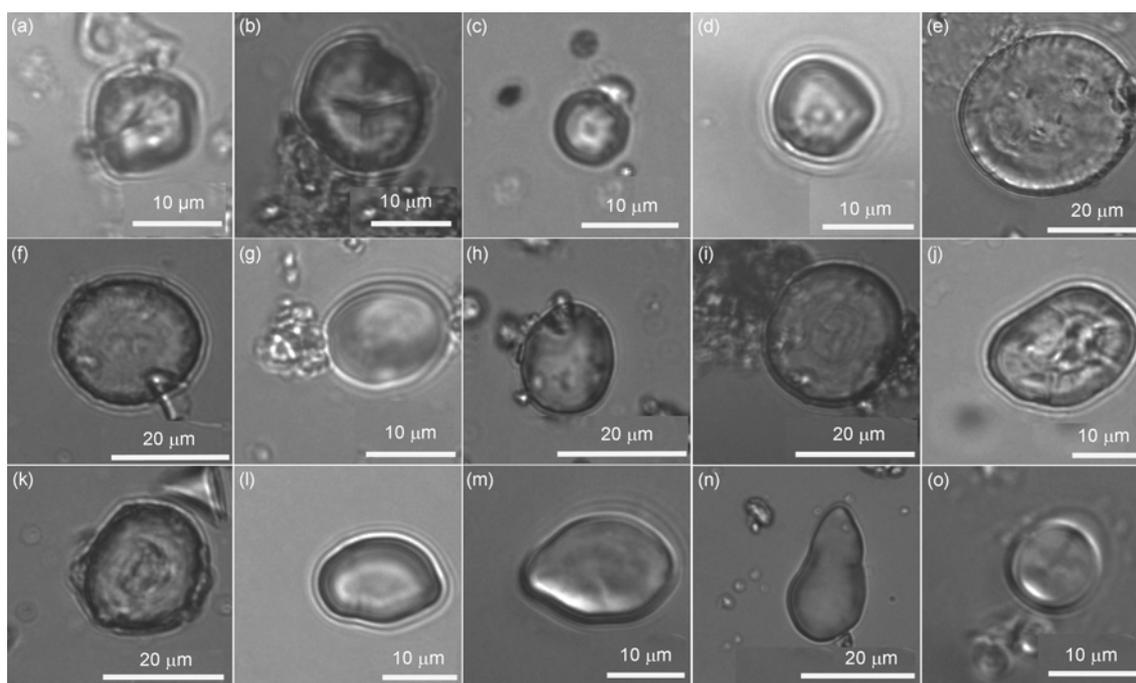


图3 牙齿上提取的淀粉粒

(a)和(b) 第1类淀粉粒; (c)和(d) 第2类淀粉粒; (e)~(i) 第3类淀粉粒; (j)~(l) 第4类淀粉粒; (m) 第5类淀粉粒; (n) 第6类淀粉粒; (o) 第7类淀粉粒

表1 陈旗磨沟遗址古人牙结石中提取淀粉粒的种属、数量和大小特征

	粟 ( <i>Setaria italica</i> )	麦类	荞麦( <i>Fagopyrum esculentum</i> )	豆类	栎属 ( <i>Quercus</i> )	银杏 ( <i>Ginkgo biloba</i> )	块根类	其他
数量	6	25	5	3	1	1	1	6
长轴范围(μm)	13.3~18.5	10.4~38.9	8.2~11.9	17.6~25.5	25.9	21.9	11.4	
短轴范围(μm)	12.1~16.4	8.8~36.4	7.7~11.7	12.4~20.1	11.3	15.3	10.1	

要组成部分。根据已有的考古发现, 在大约 5000 年前后从西北进入中国<sup>[24]</sup>, 并且在龙山时代(4600~4000 a BP)<sup>[25]</sup>, 小麦在黄河流域大范围出现, 而且从胶州赵家庄等遗址中出土的碳化小麦形态看, 当时小麦已经完全驯化成熟<sup>[24]</sup>。此外, 在甘肃境内多处遗址发现小麦、大麦等小麦族作物, 如甘肃天水西山坪遗址在 4650~4300 a BP 期间种植了小麦、青稞等多种粮食作物<sup>[26]</sup>、甘肃民乐东灰山(5000~4500 a BP)遗址中含有大麦、小麦等农作物遗存<sup>[27,28]</sup>。因此可以确定甘肃临潭陈旗磨沟遗址中小麦族植物应为栽培作物小麦属小麦, 或者大麦属大麦、青稞中的一种或多种, 而不是小麦族的野生植物种。另外, 学术界关于麦作农业进入中国后的传播路线一直存在争论, 陈旗磨沟遗址麦类作物的发现, 证明甘肃临潭地区曾

经是其传播路线上的一个点, 这为研究麦作农业的传播提供了证据。

此外, 在陈旗磨沟遗址人类牙齿上还发现了大量的粟和荞麦淀粉粒(表 1)。现在已知的中国境内最早的粟出现在兴隆沟遗址<sup>[29]</sup>和河北磁山遗址<sup>[30]</sup>, 距今 8000 多年, 到 3500 a BP 前后种植水平应该已经相当成熟, 成为先民的一种重要的粮食作物。研究认为, 荞麦起源于喜马拉雅山, 云贵川高原及其边缘地区可视为荞麦多样性中心与起源地<sup>[23]</sup>。卜慕华<sup>[31]</sup>认为甜荞和苦荞是我国史前或土生植物, 至少在 3500 年前的殷商时代就有种植。粟和荞麦淀粉粒的大量发现, 说明当时粟和荞麦是主要食物作物。该遗址中荞麦的发现也为荞麦的起源与传播提供了相应的证据。

在牙结石中发现的淀粉粒, 麦类(小麦、大麦和

青稞)、粟和荞麦的淀粉粒占 70%, 最多的是麦类作物, 共 25 颗, 约 52% (表 1). 这说明当时先民种植农作物的种类多样化, 农作方式可能是麦类作物、粟和荞麦等旱作作物混作模式. 同时也反映了麦类、粟和荞麦是当时先民的主要植食食物.

另外, 还有少量的可能是豆类、栎属和块茎类植物的淀粉, 反映了当时人类食物的多样性. 同时也说明了先民们除了种植农业外, 还靠采集一些植物种子或者果实作为食物, 采集经济在当时应该也是农业种植的一种重要补充方式.

淀粉粒在持续加热过程中会产生糊化现象, 从而受到破坏. 不同种属的淀粉粒具有不同的糊化温度<sup>[1]</sup>. 先民在进食之前, 必定对一些种属的食物进行蒸煮, 那些糊化温度比较低的食物, 其淀粉粒可能已经糊化而无法保存或者鉴定, 所以, 我们提取的食物信息仅仅是其中很少的一部分.

**致谢** 甘肃省文物考古研究所潘玉灵女士与韩华先生在采集样品时给予帮助, 三位匿名审稿专家提出宝贵意见, 在此一并致谢.

## 4 结论

陈旗磨沟遗址古人牙结石中含有丰富的淀粉粒, 包括了来自麦类植物作物以及狗尾草属粟、荞麦属荞麦、豆类及坚果类等植物的淀粉粒. 其中麦类植物(小麦、大麦或青稞中的一种或多种)、荞麦和粟的淀粉粒数量占到了淀粉粒总量的 70%, 可能为当时人类的主要植食来源; 坚果类、豆类植物也是当时人类的主要食物之一, 反映了当时人类食谱具有多样化特征.

从恢复的农作物种类来看, 陈旗磨沟遗址在 4000 a BP, 农作物种类具有多样性特征. 栎属、银杏等类淀粉粒的出现, 说明采集仍是当时先民获取食物方式之一, 也是农业种植的补充方式之一. 陈旗磨沟遗址古人牙结石中的淀粉粒组合, 反映了在距今 4000 年前, 甘肃临潭一带的齐家文化社会以多样性旱作农业为获取食物的主要方式; 但仍存在采集经济.

## 参考文献

- 1 Torrence R, Barton H. Ancient Starch Research. Walnut Creek: Left Coast Press. 2006. 1—256
- 2 Perry L. Starch analysis reveal multiple functions of quarts “manioc” grater flakes from the Orinoco Basin, Venezuela. *Interciencia*, 2002, 27: 635—639
- 3 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
- 4 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
- 5 Piperno D R, Holst I. The presence of starch grains on prehistoric stone tools from the humid Neotropics: Indications of early tubre use and agriculture in Panama. *J Archaeol Sci*, 1998, 25: 765—776
- 6 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
- 7 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
- 8 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: 5006—5011
- 9 Piperno D R, Dillehay T D. Starch grains on human teeth reveal early broad crop diet in northern Peru. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105: 19622—19627
- 10 Henry A G, Piperno D R. Using plant microfossils from dental calculus to recover human diet: A case study from Tell al-Raqa’I, Syria. *J Archaeol Sci*, 2008, 35: 1943—1950
- 11 Lalueza Fox C, Pe’rez-Pe’rez A. Dietary information through the examination of plant phytoliths on the enamel surface of human dentition. *J Archaeol Sci*, 1994, 21: 29—34
- 12 Lalueza Fox C, Juan J, Albert R M. Phytolith analysis on dental calculus, enamel surface, and burial soil: Information about diet and paleoenvironment. *Am J Phys Anthropol*, 1996, 101: 101—113
- 13 Juan-Tresserras, Lalueza C, Albert R M, et al. Identification of phytoliths from prehistoric human dental remains from the Iberian Peninsula

- and the Balearic Islands. In: Pinilla A, Juan-Tresserras J, Machado M J, eds. Primer Encuentro Europeo Sobre el Estudio de Fitolitos. Madrid: Gráficas Fersa'n, 1997. 197—203
- 14 Scott C L, Magennis A. A phytolith and starch record of food and grit in Mayan human tooth tartar. In: Pinilla A, Juan-Tresserras J, Machado M J, eds. Primer Encuentro Europeo Sobre el Estudio de Fitolitos. Gráficas Fersa'n, 1997. 211—218
- 15 Gobetz K E, Bozarth S R. Implications for late Pleistocene mastodon diet from opal phytoliths in tooth calculus. *Quat Res*, 2001, 55: 115—122
- 16 Lieverse A R. Diet and the aetiology of dental calculus. *Int J Osteoarcheol*, 1999, 9: 219—232
- 17 谢端琚. 甘青地区史前考古. 北京: 文物出版社, 2002. 111—136
- 18 Reichert E T. The Differentiation and Specificity of Starches in Relation to Genera, Species, etc. Washington DC: The Carnegie Institution of Washington, 1913. 1—900
- 19 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: 224—227
- 20 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: 153—158
- 21 杨晓燕, 蒋乐平. 淀粉粒分析揭示浙江跨湖桥遗址人类的食物构成. *科学通报*, 2010, 55: 596—602
- 22 杨晓燕, 郁金城, 吕厚远, 等. 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. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 39: 1266—1273
- 23 董玉琛, 郑殿升. 中国作物及其野生近缘植物(粮食作物卷). 北京: 中国农业出版社, 2006. 1—605
- 24 靳桂云. 中国早期小麦的考古发现与研究. *农业考古*, 2007, (4): 11—20
- 25 严文明. 龙山文化和龙山时代. *文物*, 1981, (6): 41—48
- 26 李小强, 周新郢, 周杰, 等. 甘肃西山坪遗址生物指标记录的中国最早的农业多样化. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37: 934—940
- 27 李璠. 甘肃省民乐县东灰山新石器遗址古农业遗存新发现. *农业考古*, 1989, (1): 56—69
- 28 李水城, 莫多闻. 东灰山遗址碳化小麦年代考. *考古与文物*, 2004, (6): 51—60
- 29 赵志军. 从兴隆沟遗址浮选结果谈中国北方旱作农业起源问题. 见: 南京师范大学, 编. 东亚古物(A 卷). 北京: 文物出版社, 2004. 188—199
- 30 Lu H Y, Zhang J P, Liu K B, et al. Earliest domestication of common millet (*panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 7367—7372
- 31 卜慕华. 我国栽培作物来源的探讨. *中国农业科学*, 1981, 14: 86—95