论文

新疆罗布泊地区晚更新世末期人类活动新证据

李康康^{1,2,3}, 秦小光^{1,2*}, 杨晓燕⁴, 许冰^{1,3}, 张磊¹, 穆桂金⁵, 魏东⁶, 王春雪⁶, 吴勇⁷, 田小红⁷, 林永崇⁵, 李文⁵, 刘嘉麒^{1,3}, 焦迎新⁸

1. 中国科学院地质与地球物理研究所新生代地质与环境院重点实验室, 北京 100029;

2. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101;

5. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

6. 吉林大学考古学院, 长春 130012;

7. 新疆文物考古研究所, 乌鲁木齐 830011;

8. 若羌县文物局, 若羌 841800

* 通讯作者, E-mail: xiaoguangqin@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2017-11-14; 收修改稿日期: 2018-07-02; 接受日期: 2018-08-08; 网络版发表日期: 2018-09-19

科技部科技基础性工作专项项目(编号: 2014FY210500)和国家自然科学基金项目(批准号: 41372187)资助

摘要 罗布泊地区位于中国新疆塔里木盆地的最东端, 是古代中国与中亚诸国之间东西交往、青藏高原与蒙古高原之间南北来往的重要节点和枢纽。以往该地区人类活动的研究主要集中在青铜时期(小河-古墓沟)和汉晋时期(楼兰), 而对于罗布泊地区石器时代人类活动却少有报道。文章针对野外考察新发现的一处埋藏石制品, 通过对剖面沉积环境、年代学和石制品功能分析, 获得了该地区早期人类活动的直接证据。沉积剖面粒度指标指示当时这里为水动力弱的湖心环境, 表明该标本为原地埋藏、未经二次搬运, 推测是当时古人在湖区活动的遗落物。根据石制品地层关系和沉积地层AMS¹⁴C年代学结果以及石制品表面淀粉粒提取和微痕观测的结果, 可以确认在晚更新世末期(约13cal ka BP)罗布泊地区存在古人采集小麦族(Tribe Triticeae)植物和根茎类植物等作为植物性食物并利用石制品进行简单加工的行为。晚更新世末期罗布泊西岸入湖三角洲地区环境条件适宜, 可能已是一处人类活动较频繁的绿洲湿地区。

关键词 罗布泊, 石制品, 淀粉粒和微痕, 晚更新世末期, 绿洲

1 引言

中国晚更新世末期的人类活动考古研究覆盖地理范围广阔, 然而新疆地区对于这一时期的古人类活动

报道相对较少(张川, 1997; 刘学堂, 2012; 朱之勇和高磊, 2015)。已见报道的新疆早期石器时代遗址, 如塔什库尔干吉日孕勒遗址、和什托洛盖镇骆驼石遗址、塔里木南缘石器点以及吐鲁番故城沟西台地石器点等

中文引用格式: 李康康, 秦小光, 杨晓燕, 许冰, 张磊, 穆桂金, 魏东, 王春雪, 吴勇, 田小红, 林永崇, 李文, 刘嘉麒, 焦迎新. 2019. 新疆罗布泊地区晚更新世末期人类活动新证据. 中国科学: 地球科学, 49: 398–407, doi: 10.1360/N072017-00208

英文引用格式: Li K, Qin X, Yang X, Xu B, Zhang L, Mu G, Wei D, Wang C, Wu Y, Tian X, Lin Y, Li W, Liu J, Jiao Y. 2018. Human activity during the late Pleistocene in the Lop Nur region, northwest China: Evidence from a buried stone artifact. Science China Earth Sciences, 61: 1659–1668, <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9257-3>

(黄慰文等, 1988; 张川, 1997; 水涛, 2008; Derevianko 等, 2012; 朱之勇和高磊, 2015), 其年代均是根据地貌学或石器类型学推测, 相对范围较大. 近期报道的阿勒泰地区吉木乃通天洞遗址的旧石器文化层约距今45ka (于建军, 2018), 是新疆境内唯一发现的有确切年代最早的旧石器时代洞穴遗址.

罗布泊地区位于新疆塔里木盆地的最东端(图1), 是古代中国与中亚诸国之间东西交往、青藏高原与蒙古高原之间南北往来的重要通道(王守春, 1996). 该地区古代人类活动主要集中在罗布泊西岸的入湖三角洲地区, 其中青铜时期的小河文化和汉晋时期的楼兰文化最受关注(陈宗器, 1936; 王炳华, 1983a, 1983b; 侯灿, 1984; 贝格曼, 2013; 牛耕, 2004; 贾红娟等, 2011; Qin等, 2011; Zhang等, 2012; Yang等, 2014; Xu等, 2017). 在该地区地表散落有大量的石制品, 表明该地区石器时代应存在大量的人类活动. 但针对该地区石器时代的人类活动研究报道较少, 且由于缺乏明确石器地层关系, 其年代也仅是依据石制品考古类型学推测的结果(夏训诚等, 2007). 2016年10月, 在楼兰古城

附近一处雅丹地层内采集到一件石制品(图2), 该石制品具有明显人为磨制痕迹(图3), 这为了解该地区早期人类活动提供了新的契机. 因此, 对该剖面开展了剖面沉积环境研究和石制品-地层年代学分析, 同时结合石制品功能分析, 以期罗布泊地区早期人类活动提供直接证据.

2 样品点概况

罗布泊地区现年降雨量20mm左右, 蒸发量高达3000mm以上, 为极端干旱区(夏训诚等, 2007). 地质时期的罗布泊曾是古塔里木河和孔雀河的尾间湖(夏训诚等, 2007), 近代湖泊干涸后湖区发育大面积的盐壳. 罗布泊地区存在强烈风蚀作用, 形成壮观的雅丹地貌(Lin等, 2018; Dong等, 2012).

文中的石制品标本发现点(89°51'15.86"E, 40°28'39.28"N)位于楼兰古城西南6.65km, 其周围有大量枯死的胡杨红柳, 部分雅丹顶部还存有芦苇枯枝, 北面1.5km处有一较大的古河道. 在该地区地表常见散落

图1 研究点位置

白色三角形为遗址点, 红星为石制品点. 蓝色的罗布泊于1972年干涸, 底图来自www.ovital.com

图2 石制品露头 and 沉积剖面粒度变化曲线
黑色三角形为¹⁴C测年样位置

图3 石制品照片与表面编号示意图

SMP01-06为表面编号, (b)为(a)中点线区1的放大图, (c)中点线区2为下文微痕观测区域

的石制品、陶片、铜器和铁器残渣等, 其中最近的一处新发现古人类遗存点(铜器、陶器和石器混合出现)约700m。石制品埋藏于雅丹地层中(图2), 雅丹剖面高85cm, 石制品标本上覆地层沉积物厚70cm, 周围雅丹

的高度均不超过2m。

石制品岩性为黑色杂砂岩, 六面体条石状, 长28cm, 宽9~10cm, 厚3cm, 一端约9cm部分暴露在雅丹地层外(图2)。将其6个面实验室依次编号SMP01~06,

各个面特征描述见表1. 石制品具有明显人工特征(图3a和b), 中间存在一道尚未断开的垂直裂隙(图3d). 其中SMP02表面光滑, 并可见明显人工痕迹的圆弧形构造(图3c), 倾角在4°左右, 此面应该为使用面. SMP04表面凹凸不平(图3c和d), 可能是石料获取时的断面或者是后期使用过程中沿裂隙发育的断面. 因此, 根据该石制品岩性和形态特征初步推测为研磨类器物.

3 方法

3.1 沉积环境的粒度分析

前人的研究显示, 细粒沉积物粒度多组分分布可作为判断不同沉积环境和水动力条件的有效指标(殷志强等, 2008, 2009). 通过对出土石制品的剖面的沉积环境分析, 可以为判断石制品是否为原地埋藏提供直接证据. 剖面沉积物主要由土黄色粉砂质黏土物质组成, 胶结程度低. 对该剖面由下到上按5cm间距进行系统采样, 共采样品17个.

利用激光粒度仪MS3000进行剖面沉积物粒度分析, 具体处理方法如下: 根据样品的粗细取样品0.1~1g放入烧杯, 加10~20mL浓度为30%的双氧水煮沸, 使其充分反应后, 给烧杯注满蒸馏水并静置24h. 抽去蒸馏水, 加入10mL浓度为0.05mol L⁻¹的六偏磷酸钠分散剂并用超声波清洗机振荡10min后测量, 每个样品均测量多次.

3.2 年代学分析

文中选取了石制品出土剖面不同深度的3个沉积物样品(TS04、TS05和TS16)进行¹⁴C年代测定, 其中TS04采样深度对应石制品埋藏位置(图2). 样品预处理

按标准酸洗方法提取沉积物有机质, 然后按照AMS标准测量¹⁴C年龄. ¹⁴C测量年龄利用 $\delta^{13}\text{C}$ 进行同位素分馏校正得到同位素校正年龄后, 再利用Calib7.0.4软件IN-TCAL13数据库进行校正得到日历校正年龄(Reimer等, 2013). 样品年龄测试均在美国Beta实验室完成.

3.3 石制品功能分析

石制品是人类活动的物质载体, 对石制品功能的分析是我们了解古人类认知能力和生业方式的关键. 石制品表面淀粉粒和微痕分析是研究石器功能的重要方法(沈辰和陈淳, 2001; 杨益民, 2008; 高星和沈辰, 2008; 关莹和高星, 2009; 杨晓燕等, 2009; 张晓凌等, 2010a; Liu等, 2010, 2011, 2013). 淀粉粒分析是指通过对石制品表面淀粉粒的提取与鉴定, 以进行石器功能分析、解读古代人类饮食结构和古环境重建等(Piperno和Holst, 1998; Piperno等, 2004; 杨晓燕等, 2006, 2009; Barton等, 1998; Barton, 2007; 李明启等, 2010; Yang等, 2012; 万智巍等, 2012). 微痕分析是对石制品作显微观察, 分析留在表面的细微使用痕迹来确定其用途(沈辰和陈淳, 2001).

微痕分析的实验方法参考前人(张晓凌等, 2010a, 2010b)的实验方法, 使用NikonSMZ1500体视显微镜, 以破损和磨损痕迹为主要观察对象.

在从石制品提取淀粉粒的实验过程中, 为确定是石制品本身表面残留还是沉积物后期污染, 我们分别提取其表面附着黏土样品和超声波振荡样品, 二者作对比分析. 样品制备: 首先提取石制品表面附着黏土样品. 将石制品各个面的附着沉积物用小刀轻轻剔在干净的纸张上(SMP06除外), 装入样品袋, 并编号S1~S5(表1). 同时对石制品周边沉积物进行采样, 获取

表1 石制品表面形态和检出淀粉粒个数^{a)}

面号/样品号	特征描述	淀粉粒个数
SMP01/T1	较平整光滑, 出露近1/3, 可见裂隙发育	1
SMP02/T2	较平整光滑, 出露近1/3, 有明显的弧形(倾角约4°)结构, 疑似为使用面, 并可见两条裂隙	1
SMP03/T3	长侧面, 较光滑, 出露近1/3	—
SMP04/T4	长侧面, 凹凸不平, 出露近1/3, 可能是石料获取时的断面或者是后期使用过程中沿裂隙发育的断面	4
SMP05/T5	短侧面, 较平整, 完全埋藏	3
SMP06/T6	短侧面, 有棱角, 完全暴露	—
S1~S6	S1~S5分别为SMP01~05的附着黏土样品、S6为标本周围沉积物样品, 作对比分析	—

a) T1~T5为超声波样品, S1~S6为对比分析样品, “—”代表未发现淀粉粒

一个样品, 编号S6. 每处理完一个面及时更换小刀和纸张, 防止交叉污染. 然后将石制品冲洗干净, 除掉表面黏土附着物, 按以下步骤提取超声波样品:

(1) 将标本放入合适的容器中, 加入超纯水, 淹没待分析的表面.

(2) 将装有标本的容器放入超声波水槽中, 在40kHz/200W功率下震荡10min.

(3) 从超声波水槽中取出容器, 用煮过的坩埚钳将标本取出. 取出时用超纯水冲洗标本待分析表面.

(4) 将烧杯中的溶液静置24h充分沉淀. 标本6个面均按以上实验步骤操作, 共获取6个超声波样品, 编号T1~T6(表1).

淀粉粒提取: 提取淀粉粒按照如下流程进行:

(1) 将S1~S6和T1~T6分别放入在50mL离心试管中, 加入5mL 6%的双氧水. 震荡后放置30min, 待离心试管中的残留物与双氧水充分混合, 直到反应停止, 比如没有气泡产生.

(2) 加入超纯水至45mL, 配重(使放入离心机对称转子上的试管质量差控制在0.5g~1g以内, 下同), 然后以3000r min⁻¹离心10min. 倒掉上清液, 再用超纯水清洗至中性.

(3) 向试管内加入5mL 10%的盐酸溶液, 震荡后静置30min, 待残留物与盐酸溶液充分混合后加入超纯水清洗至中性.

(4) 再向试管内加入5mL 5%的六偏磷酸钠, 震荡后静置2h, 加入超纯水至45mL, 配重, 然后以3000r min⁻¹离心10min. 倒掉上清液, 再用超纯水清洗至中性.

(5) 加入5mL 1.8g cm⁻³的氯化铯重液, 震荡后立即以3000r min⁻¹离心10min, 吸取上清液转移到事先准备好的15mL塑料离心管中, 吸出时不要扰动离心试管底部的残留物.

(6) 加入超纯水至14mL, 并用振荡器震荡后, 配重, 然后以3000r min⁻¹离心10min, 用吸管吸取上清液丢弃, 重复3次, 依次吸取1/3、1/2、2/3上清液. 剩余溶液够做片即可.

显微镜观察: 取离心试管中的一部分提取物做观察片, 随后加入50%的甘油, 用指甲油封片, 放置24h. 首先, 在200倍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倍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(杨晓燕等, 2006, 2009, 2010; 万智巍等, 2016)进行对比鉴定.

4 结果

4.1 沉积环境和年代

出土石制品的剖面粒度特征比较单一, 无明显较大变化, 粒度主要分布在1~10 μ m(图2和4). 结合前人建立的不同沉积环境的粒度识别标志(殷志强等, 2008, 2009), 该沉积剖面为水动力弱的湖心相沉积.

¹⁴C年代测试结果见表2. 干涸之前的罗布泊为盐湖, 沉积地层中极少有植物残体, ¹⁴C测年多采用沉积物有机质(夏训诚等, 2007; Ma等, 2008; Jia等, 2017), 但可能存在碳库效应的影响. 罗布泊湖区地表严重盐壳化, 其碳库效应无法通过²¹⁰Pb/¹³⁷Cs建立表层沉积碳库进行校正, 只能参考附近湖泊的碳库年龄. 罗布泊干涸之前孔雀河是其主要入湖河流之一, 博斯腾湖是孔雀河的源头, 其具有较高的碳库年龄1140a(陈发虎等, 2007; Huang等, 2009). 采用博斯腾湖的碳库年龄值进行校正, 也是尽可能最大程度上去除碳库效应的影响. TS04和TS05年龄虽然因不明原因倒转, 但都在13cal ka BP以上, 即使是剖面顶部的年龄也在12.7cal ka BP以上. 而且石制品对应深度的沉积物年龄应该晚于石制品的使用年龄, 因此, 可以确定石制品对应的年代为晚更新世末期, 约13cal ka BP前后.

4.2 淀粉粒和微痕分析

4.2.1 淀粉粒分析

超声波振荡样品(T1~T6)中共发现9个淀粉粒(图5), 石制品表面黏土样品(S1~S5)和周围沉积物样品

图4 剖面粒度分布曲线

表 2 ¹⁴C 测年样品年龄数据表^{a)}

样品编号	深度(cm)	材料	¹⁴ C 年龄(a BP)	日历校正年龄2σ区间(cal a BP) [*]	日历校正平均年龄(cal a BP) [*]
TS16	10	有机质	11950±40	12756~12677	12716±40
TS05	65	有机质	13500±40	14688~14132	14410±40
TS04	70	有机质	12340±40	13139~12997	13068±40

a) ^{*}为利用博斯腾湖的碳库年龄1140a校正结果

图 5 石制品提取的淀粉粒

(a)~(c), (a')~(c'): A 类淀粉粒; (d)~(g), (d')~(g'): B 类淀粉粒; (h)~(i), (h')~(i'): C 类淀粉粒. (a)~(i) 为非偏光镜照片, (a')~(i') 为偏光镜照片

(S6)中均未发现淀粉粒. 从而说明这些残留物来自石制品裂隙和凹凸不平的表面凹坑, 是石制品使用后的残留, 指示石制品可能是古人用来加工植物性食物的工具.

提取的淀粉粒可分为三类:

A类: 共观察到3粒(图5a~c), 在光学显微镜下观察, 该类淀粉颗粒的二维形状主要表现为近圆形或椭圆形, 脐点居中, 在正交偏光下观察其十字消光臂呈X型. 经测量, 该类淀粉的长轴粒径分布在22.9~25.97μm, 这些特征与现代禾本科早熟禾亚科小麦族的淀粉粒特征相同. 小麦族(Tribe Triticeae)植物主要包括羊草(*Leymus chinensis*)、粗山羊草(*Aegilops tauschii*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、黑麦(*Secale*

cereale)、青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum*)、小麦(*Triticum aestivum*)和大麦(*Hordeum vulgare*)等植物, 由于小麦族淀粉粒特征高度相似, 还需进一步工作才能将其区分.

B类: 共观察到4粒(图5d~g), 形态特征大多呈圆形、近圆形和多边形, 脐点居中闭合, 表面有通过脐点较弱的线型或Y型裂隙. 长轴粒径分布在13.1~21.05μm, 该类淀粉粒与现代根茎类植物淀粉粒较相似. 其中图5d~f可能为何首乌属(*Fallopia multiflora*)的淀粉粒; 图5g不能确定, 因为很多根茎类植物的淀粉粒都有这种形态.

C类: 共观察到2粒(图5h~i), 形态呈椭球型和多边形, 长轴粒径分布在19.72~21.04μm. 由于保存不好, 无

图6 石制品微痕显微照片

对应图3b中点线区2

法鉴定。

4.2.2 微痕分析

微痕分析的结果表明, 在SMP02面存在着明显的磨平特征(图6), 这些痕迹应与研磨行为有关。但磨平程度不高, 表明石制品使用时间不长。

5 讨论

5.1 晚更新世末期人类活动与环境条件

早在斯坦因在楼兰地区考察时, 曾采集到一些小石叶和石镞, 并提出了简单的看法“这个遗址有人居住的时间可能要上溯到石器时代的早期”(夏训诚等, 2007)。之后在罗布泊地区考察的学者均在地表发现多处石器点(贝格曼, 2013; 新疆楼兰考古队, 1988; 牛耕, 2004; 夏训诚等, 2007), 并有学者认为楼兰遗址及其周围是孔雀河三角洲中“石器时代人类活动的据点和中心”(侯灿, 1984), 但有关具体年代和人类活动性质的问题则很少提及。文中石制品埋藏于沉积地层中, 具有明确的石制品地层关系, 同层位地层的沉积年代大致可认为是人类活动的时间, 即罗布泊地区存在13ka前后的人类活动。

文中标本淀粉粒和微痕分析的结果指示了当时古人采集小麦族植物和根茎类等植物作为植物性食物, 并存在利用石制品进行简单加工的行为。前人通过考古模拟实验认为石制品的埋藏环境直接决定了可提取到的淀粉粒数量(吕烈丹, 2002)。文中所获取的淀粉粒数量较少, 其主要原因是石制品所处的湖泊环境不利于淀粉粒的保存, 湖水长时间的浸泡, 导致其表面残

留的淀粉粒被洗掉。而且淀粉粒在使用面(SPM02)并未有多少, 而是主要分布在凹凸不平的侧面和裂隙发育的表面。类似于此的情况在遗址出土的石制品也有发生(刘莉等, 2014), 原因可能包括工具使用时的处理方法和标本的埋藏情况等。文中石制品近1/3的部分因风蚀裸露地表, 强烈的风蚀是淀粉粒保存的不利因素之一。同时, 石制品表面磨平度不高反映出其使用时间较短, 也应是影响残留淀粉粒数量的一个因素。

末次冰盛期(18ka BP)以来, 全球气候总体开始升温, 但期间小尺度气候事件不断发生(Liu等, 2009; Dansgaard等, 1989; Shakun等, 2012)。罗布泊地区是气候变化的敏感区域, 具有和全球变化同步的特点(王富葆等, 2008; Luo等, 2009; Jia等, 2017), 湖区地层的古气候研究结果显示在更新世晚期罗布泊地区沼泽湿地发育, 环境湿润(罗超等, 2007; 闫顺等, 1998)、湖泊较浅(闫顺等, 1998; Sun等, 2017; Jia等, 2017; 贾红娟等, 2017; Wang和Jia, 2017)。前人的孢粉学研究结果显示, 在这一时期罗布泊地区以草本植物为主, 其中禾本科花粉含量相对较高且在晚更新世地层中均可见到(严富华等, 1983; 闫顺等, 1998; Jia等, 2017)。因此, 晚更新世末期罗布泊地区的湿润环境为人类活动提供了良好的环境条件和充足的植物资源。而且, 前人在罗布泊湖心地层里曾发现指示栽培作物的禾本科大花粉, 并推测在10~5ka BP期间有多次耕种活动(贾红娟等, 2011)。但是, 二者是否具有连续性以及全新世早期是否确有栽培行为都还需要更多的证据支持。

5.2 沉积地层与地表遗存

罗布泊地区的风蚀作用较强烈, 风蚀凹坑可深达

十几米, 现存的雅丹顶部多不是原始地面. 在地层沉积过程中因湖泊收缩多次出现沉积间断, 如前人在对楼兰古城佛塔剖面的研究中发现剖面中下部存在侵蚀面, 指示8~9ka BP前后出现一次沉积间断(贾红娟等, 2010; Qin等, 2011).

我们在对比石制品附近雅丹地层的过程中发现, 旁边较高的雅丹上部为青灰色较疏松的湖相地层, 与文中石制品雅丹地层明显不一致, 不是一套连续沉积地层. 初步推测是由于沉积间断的出现, 早期地层经历了一次风蚀作用, 出现了雅丹地形起伏. 而后期沉积直接超覆在风蚀后的雅丹地层之上, 才出现了相邻雅丹地层不连续、难以对比的现象. 考虑到风蚀作用的影响和剖面顶部年龄数据, 推测本石制品剖面地层大致对应楼兰佛塔剖面下部8~9ka BP沉积间断出现之前的湖相沉积地层.

楼兰地区的遗存点多为石制品与陶器、铜器混杂分布, 其中铜器和陶器在雅丹顶部和风蚀凹地中均有分布, 且可和楼兰古城里的遗物相比较, 因此可以确认年代较晚, 是汉晋楼兰文化的遗存. 而周边发现的石制品大都分布在风蚀凹槽里, 雅丹顶部并不多见. 因此, 地表分布的石制品的时代一直难以确认.

但是, 本文石制品的地层年代关系给予了我们重要的启示去思考地表石制品的年代问题, 即这些石制品很可能是在湖泊扩张时被沉积物所掩埋覆盖, 又在湖泊退缩和沉积地层经受强烈的风蚀作用和雅丹化后暴露地表. 因此, 在研究罗布泊地区早期人类活动应综合考虑湖泊环境的演化.

6 结论

本文针对野外考察新发现的一处理藏石制品, 通过对剖面沉积环境、年代学和石制品功能分析, 获得了该地区早期人类活动的直接证据. 沉积剖面粒度指标指示当时这里为水动力弱的湖心环境, 表明该标本为原地埋藏、未经二次搬运, 推测是当时古人在湖区活动的遗落物. 根据石制品地层关系和沉积地层AMS¹⁴C年代学结果以及石制品表面淀粉粒提取和微痕观测的结果, 在晚更新世末期(约13cal ka BP)罗布泊地区存在古人采集小麦族(Tribe Triticeae)植物和根茎类植物等作为植物性食物并利用石制品进行简单加工的行为. 晚更新世末期罗布泊西岸入湖三角洲地区的

湿润环境为人类活动提供了良好的环境条件和充足的植物资源, 可能是一处人类活动较频繁的绿洲湿地区.

致谢 在文章撰写过程中得到了中国科学院古脊椎动物与古人类研究所高星、陈福友和张晓凌的热情指导; 马志坤、江宝明、王维维、王灿和邹秀佳在淀粉粒分析鉴定方面给予了帮助; 任晖和崔有生同志分别在标本拍摄和野外采样上给予了帮助, 在此特致谢意.

参考文献

- 贝格曼. 2013. 新疆考古记. 见: 王安洪, 译. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社
- 陈宗器. 1936. 罗布淖尔与罗布荒原. 地理学报, (1): 19-49
- 陈发虎, 黄小忠, 张家武, Holmes J A, 陈建徽. 2007. 新疆博斯腾湖记录的亚洲内陆干旱区小冰期湿润气候研究. 中国科学D辑: 地球科学, 37: 77-85
- 高星, 沈辰. 2008. 石器微痕分析的考古学实验研究. 北京: 科学出版社
- 关莹, 高星. 2009. 旧石器时代残留物分析: 回顾与展望. 人类学学报, 28: 418-429
- 侯灿. 1984. 论楼兰城的发展及其衰废. 中国社会科学, (2): 155-171
- 黄慰文, 欧阳志山, 瑞迪克, 梅莎莉, 雷加强. 1988. 新疆塔里木盆地南缘新发现的石器. 人类学学报, 7: 294-301
- 贾红娟, 刘嘉麒, 秦小光. 2011. 全新世早期罗布泊气候变化和耕作活动的孢粉证据. 吉林大学学报(地球科学版), 41(S1): 181-186, 194
- 贾红娟, 秦小光, 刘嘉麒. 2010. 楼兰佛塔剖面10.84 ka BP以来的环境变迁. 第四纪研究, 30: 175-184
- 贾红娟, 汪敬忠, 秦小光, 陈丽红. 2017. 罗布泊地区晚冰期至中全新世气候特征及气候波动事件. 第四纪研究, 37: 510-521
- 李明启, 杨晓燕, 王辉, 王强, 贾鑫, 葛全胜. 2010. 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. 中国科学: 地球科学, 40: 486-492
- 刘莉, 陈星灿, 石金鸣. 2014. 山西武乡县牛鼻子湾石磨盘、磨棒的微痕与残留物分析. 考古与文物, (3): 109-118
- 刘学堂. 2012. 石器时代东西方文化交流初论. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 3: 47-56
- 罗超, 杨东, 彭子成, 张兆峰, 刘卫国, 贺剑峰, 张彭熹. 2007. 新疆罗布泊地区近3.2万年沉积物的气候环境记录. 第四纪研究, 27: 114-121
- 吕烈丹. 2002. 考古器物的残余物分析. 文物, (5): 83-91
- 牛耕. 2004. 近年来罗布淖尔地区的考古发现. 西域研究, (2): 84-86
- 沈辰, 陈淳. 2001. 微痕研究(低倍法)的探索与实践——兼谈小长梁遗址石制品的微痕观察. 考古, (7): 62-73

- 水涛. 2008. “新疆史前考古学术研讨会”纪要. 文物, (4): 86–90
- 万智巍, 李明启, 李姮莹. 2016. 小麦族植物淀粉粒形态研究. 麦类作物学报, 36: 1020–1027
- 万智巍, 马志坤, 杨晓燕, 张弛, 周广明, 樊昌生, 葛全胜. 2012. 江西万年仙人洞和吊桶环遗址蚌器表面残留物中的淀粉粒及其环境指示. 第四纪研究, 32: 256–263
- 王炳华. 1983a. 孔雀河古墓沟发掘及其初步研究. 新疆社会科学, (1): 117–128
- 王炳华. 1983b. 新疆农业考古概述. 农业考古, (1): 102–117
- 王富葆, 马春梅, 夏训诚, 曹琼英, 朱青. 2008. 罗布泊地区自然环境演变及其对全球变化的响应. 第四纪研究, 28: 150–153
- 王守春. 1996. 楼兰国都与古代罗布泊的历史地位. 西域研究, (4): 43–53
- 夏训诚, 王富葆, 赵元杰. 2007. 中国罗布泊. 北京: 科学出版社. 482
- 新疆楼兰考古队. 1988. 楼兰城郊古墓群发掘简报. 文物, (7): 23–39
- 闫顺, 穆桂金, 许英勤, 赵振宏. 1998. 新疆罗布泊地区第四纪环境演变. 地理学报, 17: 332–340
- 严富华, 叶永英, 麦学舜. 1983. 新疆罗布泊罗4井的孢粉组合及其意义. 地震地质, 5: 75–80
- 杨晓燕, 孔昭宸, 刘长江, 葛全胜. 2010. 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, 30: 364–371
- 杨晓燕, 吕厚远, 夏正楷. 2006. 植物淀粉粒分析在考古学中的应用. 考古与文物, 3: 87–91
- 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. 2009. 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, 39: 1266–1273
- 杨益民. 2008. 古代残留物分析在考古中的应用. 南方文物, 2: 20–25
- 殷志强, 秦小光, 吴金水, 宁波. 2008. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究. 第四纪研究, 28: 345–353
- 殷志强, 秦小光, 吴金水, 宁波. 2009. 中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究. 沉积学报, 27: 343–351
- 于建军. 2018. 2016–2017年新疆吉木乃县通天洞遗址考古发掘新发现. 西域研究, (1): 132–135
- 张川. 1997. 论新疆史前考古文化的发展阶段. 西域研究, (3): 50–54
- 张晓凌, 高星, 沈辰, 陈福友, 王春雪. 2010a. 虎头梁遗址尖状器功能的微痕研究. 人类学学报, 29: 337–354
- 张晓凌, 沈辰, 高星, 陈福友, 王春雪. 2010b. 微痕分析确认万年前的复合工具与其功能. 科学通报, 55: 229–236
- 朱之勇, 高磊. 2015. 新疆旧石器、细石器研究的成就、问题与展望. 边疆考古研究, 18: 93–104
- Barton H. 2007. Starch residues on museum artefacts: Implications for determining tool use. *J Archaeol Sci*, 34: 1752–1762
- Barton H, Torrence R, Fullagar R. 1998. Clues to stone tool function re-examined: Comparing starch grain frequencies on used and unused obsidian artefacts. *J Archaeol Sci*, 25: 1231–1238
- Dansgaard W, White J W C, Johnsen S J. 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature*, 339: 532–534
- Derevianko A P, Xing G, Olsen J W, Rybin E P. 2012. The paleolithic of Dzungaria (Xinjiang, Northwest China) based on materials from the Luotuoshi Site. *Archaeol Ethnol Anthropol Eurasia*, 40: 2–18
- Dong Z B, Lv P, Qian G Q, Xia X C, Zhao Y J, Mu G J. 2012. Research progress in China's Lop Nur. *Earth-Sci Rev*, 111: 142–153
- Huang X Z, Chen F H, Fan Y X, Yang M L. 2009. Dry Late-Glacial and Early Holocene climate in arid central Asia indicated by lithological and palynological evidence from Bosten Lake, China. *Quat Int*, 194: 19–27
- Jia H J, Wang J Z, Qin X G, Yi S. 2017. Palynological implications for Late Glacial to middle Holocene vegetation and environmental history of the Lop Nur Xinjiang Uygur Autonomous Region, northwestern China. *Quat Int*, 436: 162–169
- Lin Y C, Xu L S, Mu G J. 2018. Differential erosion and the formation of layered yardangs in the Loulan region (Lop Nur), eastern Tarim Basin. *Aeolian Res*, 30: 41–47
- Liu L, Field J, Fullagar R, Zhao C H, Chen X C, Yu J C. 2010. A functional analysis of grinding stones from an early Holocene site at Donghulin, North China. *J Archaeol Sci*, 37: 2630–2639
- Liu L, Ge W, Bestela S, Jones D, Shi J M, Song Y H, Cheng X C. 2011. Plant exploitation of the last foragers at Shizitan in the Middle Yellow River Valley China: Evidence from grinding stones. *J Archaeol Sci*, 38: 3524–3532
- Liu L, Bestel S, Shi J, Song Y H, Chen X C. 2013. Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110: 5380–5385
- Liu Z, Otto-Bliesner B L, He F, Brady E C, Tomas R, Clark P U, Carlson A E, Lynch-Stieglitz J, Curry W, Brook E, Erickson D, Jacob R, Kutzbach J, Cheng J. 2009. Transient simulation of last deglaciation with a new mechanism for boling-allerod warming. *Science*, 325: 310–314
- Luo C, Peng Z, Yang D, Liu W, Zhang Z, He J, Chou C. 2009. A lacustrine record from Lop Nur, Xinjiang, China: Implications for paleoclimate change during Late Pleistocene. *J Asian Earth Sci*, 34: 38–45
- Ma C M, Wang F B, Cao Q Y, Xia X C, Li S F, Li X S. 2008. Climate and environment reconstruction during the medieval warm period in Lop Nur of Xinjiang, China. *Chin Sci Bull*, 53: 3016–3027
- Piperno D R, Holst I. 1998. The presence of starch grains on prehistoric stone tools from the humid neotropics: Indications of early tuber use and agriculture in Panama. *J Archaeol Sci*, 25: 765–776
- Piperno D R, Weiss E, Holst I, Nadel D. 2004. Processing of wild cereal grains in the upper palaeolithic revealed by starch grain analysis. *Nature*, 430: 670–673

- Qin X G, Liu J Q, Jia H J, Lu H Y, Xia X C, Zhou L P, Mu G J, Xu Q H, Jiao Y X. 2011. New Evidence of agricultural activity and environmental change associated with the Ancient Loulan Kingdom, China, around 1500 years ago. *Holocene*, 22: 53–61
- Reimer P J, Bard E, Bayliss A, Beck J W, Blackwell P G, Ramsey C B, Buck C E, Cheng H, Edwards R L, Friedrich M, Grootes P M, Guilderson T P, Hafflidason H, Hajdas I, Hatté C, Heaton T J, Hoffmann D L, Hogg A G, Hughen K A, Kaiser K F, Kromer B, Manning S W, Niu M, Reimer R W, Richards D A, Scott E M, Southon J R, Staff R A, Turney C S M, van der Plicht J. 2013. Intcal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55: 1869–1887
- Shakun J D, Clark P U, He F, Marcott S A, Mix A C, Liu Z, Otto-Bliesner B, Schmittner A, Bard E. 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation. *Nature*, 484: 49–54
- Sun X H, Zhao Y J, Liu C L, Jiao P C, Zhang H, Wu C H. 2017. Paleoclimatic information recorded in fluid inclusions in halites from Lop Nur, Western China. *Sci Rep*, 7: 16411
- Wang J Z, Jia H J. 2017. Sediment record of environmental change at Lake Lop Nur (Xinjiang, NW China) from 13.0 to 5.6 cal ka BP. *Chin J Ocean Limnol*, 35: 1070–1078
- Xu B, Gu Z Y, Qin X G, Wu Y, Mu G J, Jiao Y X, Zhang J P, Hao Q Z, Wang L, Wei D, Liu J. 2017. Radiocarbon dating the ancient city of Loulan. *Radiocarbon*, 59: 1215–1226
- Yang X, Wan Z, Perry L, Lu H, Wang Q, Zhao C, Li J, Xie F, Yu J, Cui T, Wang T, Li M, Ge Q. 2012. Early millet use in northern China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109: 3726–3730
- Yang R P, Yang Y M, Li W Y, Abuduresule Y, Hu X J, Wang C S, Jiang H E. 2014. Investigation of cereal remains at the Xiaohe Cemetery in Xinjiang, China. *J Archaeol Sci*, 49: 42–47
- Zhang J P, Lu H Y, Wu N Q, Qin X G, Wang L. 2012. Palaeoenvironment and agriculture of ancient Loulan and Milan On the Silk Road. *Holocene*, 23: 208–217

(责任编辑: 倪喜军)