中国科学: 地球科学 2019 年 第 49 卷 第 3 期: 584 ~ 595
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

荞麦作物传统加工过程中的花粉散布及其农业考古应用

刘洋[1,2], 尚雪[2,1*], 生膨菲[1,2], 宋国定[2,1]

1. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044;
2. 中国科学院大学人文学院考古学与人类学系, 北京 100049
* 通讯作者, E-mail: shangxue@ucas.ac.cn

收稿日期: 2018-05-14; 收修改稿日期: 2018-09-11; 接受日期: 2018-10-22; 网络版发表日期: 2018-11-29
国家自然科学基金项目(批准号: 41471167、 41730319)和国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2015CB953803)资助

摘要 花粉作为指示古环境、研究古代人类农业活动的重要依据, 也是研究荞麦农业的重要指标之一. 为更好地理解作物加工过程中荞麦花粉的散布过程及其对花粉雨的贡献, 并为解读考古遗址中荞麦花粉的来源及意义提供帮助, 我们选择在现代村落进行荞麦作物传统加工的模拟实验, 收集空气花粉并统计分析. 研究表明荞麦作物花粉在居民生活区的散布与人类加工行为息息相关, 其中打谷和过筛的阶段花粉释放量最大. 荞麦作物加工过程花粉再次散布和埋藏是文化层中农作物花粉浓度比例显著增高的重要原因之一, 不仅可以指示人类种植和加工行为, 也对辨识考古遗址中农作物加工场地, 评估农业活动的强度和影响等提供依据.

关键词 荞麦, 作物加工, 花粉散布, 农业活动, 农业考古

1 引言

农业起源是人类社会进程中的重要事件(严文明, 1997; Bellwood, 2005; Crawford, 2006; Jones等, 2011), 农业的出现促使了定居社会的形成和社会结构的复杂化, 也成为早期文明起源和演进的基础(赵志军, 2014; 董广辉等, 2017). 目前, 随着全球农业考古资料的积累以及新技术和新方法的应用(孔昭宸等, 2003; 李小强, 2013; He等, 2017), 农业起源和演替研究的关键问题越来越集中在材料、方法和机制等方面(吕厚远, 2018).

近年来, 考古遗址和沉积地层中农作物分析和鉴定方法的创新受到国际学术界广泛关注(Piperno, 2006; Lu等, 2009a; Pearsall, 2015; Ball等, 2016; Miller等, 2016). 除了农作物大植物遗存的广泛应用(Stevens, 2003; Fuller等, 2009, 2010; 李晶静等, 2015), 微体化石(植硅体、淀粉、花粉)鉴定方法的突破(Woodbridge等, 2014; Pearsall, 2015; Ball等, 2016), 在识别不同农作物类型(Lu等, 2009b)或野生祖本等方面, 发挥了越来越重要的作用(Harvey和Fuller, 2005; 张永辉等, 2011; Bates, 2011; 吴妍等, 2012).

花粉具有分布广、易保存、地层中含量丰富等特

中文引用格式: 刘洋, 尚雪, 生膨菲, 宋国定. 2019. 荞麦作物传统加工过程中的花粉散布及其农业考古应用. 中国科学: 地球科学, 49: 584–595, doi: 10.1360/N072018-00138
英文引用格式: Liu Y, Shang X, Sheng P, Song G. 2018. Pollen dispersal in traditional processing of buckwheat and its application in agricultural archaeology. Science China Earth Sciences, 61: 1792–1803, https://doi.org/10.1007/s11430-018-9288-5

© 2018 《中国科学》杂志社

点(Webb和Moore, 1987), 不仅能够很好地指示环境背景, 也逐渐成为早期农业和人类活动的重要指标之一(李宜垠等, 2008). 在重建早期农业适应、强度及其与环境变化的关系等方面, 花粉也发挥着重要作用(Minckley等, 2008; Shang等, 2009; 李小强, 2013; 倪健, 2013). 随着早期农业研究的不断深入, 从考古遗址及文化层中提取可靠的花粉信息, 不仅可以辨析农作物花粉类型及其与植被的关系, 而且能够解读花粉的来源和代表性等农业活动信息. 因此, 现代农作物花粉散布过程研究成为不可或缺的基础(许清海等, 2015; 孔昭宸等, 2018).

农作物现代花粉研究多集中在涵盖主要农作物类型的禾本科植物, 有关一些栽培作物及野生种的花粉形态学研究取得了一定进展(Tweddle等, 2005; 毛礼米和杨小丽, 2011; Yang等, 2012; 赵珵怿和毛礼米, 2015), 禾本科花粉的代表性及其农业活动指示意义得到关注(Xu等, 2009; Li等, 2009), 花粉记录对人类活动的指示作用研究有所突破(李宜垠等, 2008; Li等, 2012; Zhao等, 2013).

目前, 评估早期农业活动(栽培、收割、运输和加工)等对花粉散布的贡献和影响方面, 多集中于传统作物加工的民族学调查及现代模拟实验研究(Bower, 1992; Reddy, 1997; 马志坤等, 2012; 宋吉香等, 2014), 缺少农作物花粉散布, 尤其是农作物加工过程中的花粉的散布及贡献研究, 使我们不能更好地理解考古遗址中农作物花粉的来源及意义. 禾本科植物种类庞杂, 但花粉形态特征变化小, 利用花粉确定是否为农作物仍很困难; 禾本科植物花粉产量不高, 具有低代表性特征, 但作为风媒花粉, 其影响范围较广. 因此, 利用遗址和考古文化层中禾本科花粉变化确定花粉来源存在一定困难.

荞麦(*Fagopyrum esculentum* and *F. tataricum*)是一种耐旱和耐瘠的短季农作物, 人力需求少、地域适应性广、抗逆性强且营养丰富, 在世界上有着广泛的种植和利用. 荞麦可能在中国西南其野生祖本分布区的边缘地带被驯化, 之后传播至北方地区栽培种植并适应了干旱环境, 距今3000年左右成为泛欧亚的农作物(Hunt等, 2017). 目前, 中国北方发现的荞麦属花粉基本被确认为栽培种, 例如在陕西、甘肃等地区地层剖面的研究中发现有距今5500~4500年左右的荞麦花粉, 其比例增高与先民农业栽培活动密切相关(李小强等, 2007; Li等, 2009; Shang和Li, 2010).

荞麦属花粉形态独特, 属于异花传粉的虫媒花粉, 颗粒较大, 传播距离较近, 散布面积较小, 具有低代表性特征(Li等, 2009; Shang等, 2009; Shang和Li, 2010; 许清海和张生瑞, 2013), 因此, 其花粉来源及其与母本植物区域的关系具有较明确的指示意义. 我们选择目前仍采用传统方式种植和加工荞麦的地点, 针对荞麦作物不同的加工过程, 运用现代空气花粉采集方法收集花粉雨, 解读荞麦加工过程中花粉的散布方式及其花粉贡献率, 揭示考古遗址和文化层中作物花粉的来源, 以期在农作物花粉散布模式及其在农业考古中的应用等提供依据.

2 研究地点

宁夏回族自治区盐池县位于宁、甘、陕、内蒙四省(自治区)的交界处, 地处鄂尔多斯台地向黄土高原的过渡带, 属典型温带大陆性季风气候, 年均温8.9℃, 年均降水量为310.4mm(璩向宁和王惠荣, 2006), 植被为草原和荒漠草原, 分布大量蒿属、藜科植物. 这一地区也属于旱作农业与牧业的交错带, 主要农作物有荞麦、小麦、玉米、土豆等, 作物生长主要依赖自然降水, 极少灌溉和田间管理, 偶施农家肥, 其中小杂粮荞麦生长期短, 夏季播种、秋季收获, 多为家庭小规模种植.

盐池县孙家楼村(107°3′E, 37°52′N)保存了家庭种植甜荞麦作物(*F. esculentum*)的特点, 并保持了传统的荞麦种植、收割、加工和收藏方式, 为荞麦作物的传统加工过程及其花粉散布特征等研究提供了理想场所(图1). 取样均来自当地种植广泛的甜荞麦作物(*F. esculentum*) (图2a).

鉴于花粉散布较为广泛, 我们调查了孙家楼村(包含打谷场及荞麦田)周边的植被情况. 除了本研究中发现花粉的蓼科荞麦属(*Fagopyrum* Mill.)、藜科(Chenopodiaceae)、菊科蒿属(*Artemisia* L.)植物以外, 还分布有蒺藜科骆驼蓬属(*Peganum* L.)、猪毛菜属(*Salsola* L.)、虫实属(*Corispermum* L.), 菊科苍耳属(*Xanthium* L.)、紫苑属(*Aster* L.)、蓟属(*Cirsium* Mill. emend. Scop.), 禾本科狗尾草属(*Setaria* Beauv.)、芨芨草属(*Achnatherum* Beauv.)、冰草属(*Agropyron* Gaertn.)、看麦娘属(*Alopecurus* L.), 胡颓子科胡颓子属(*Elaeag-*

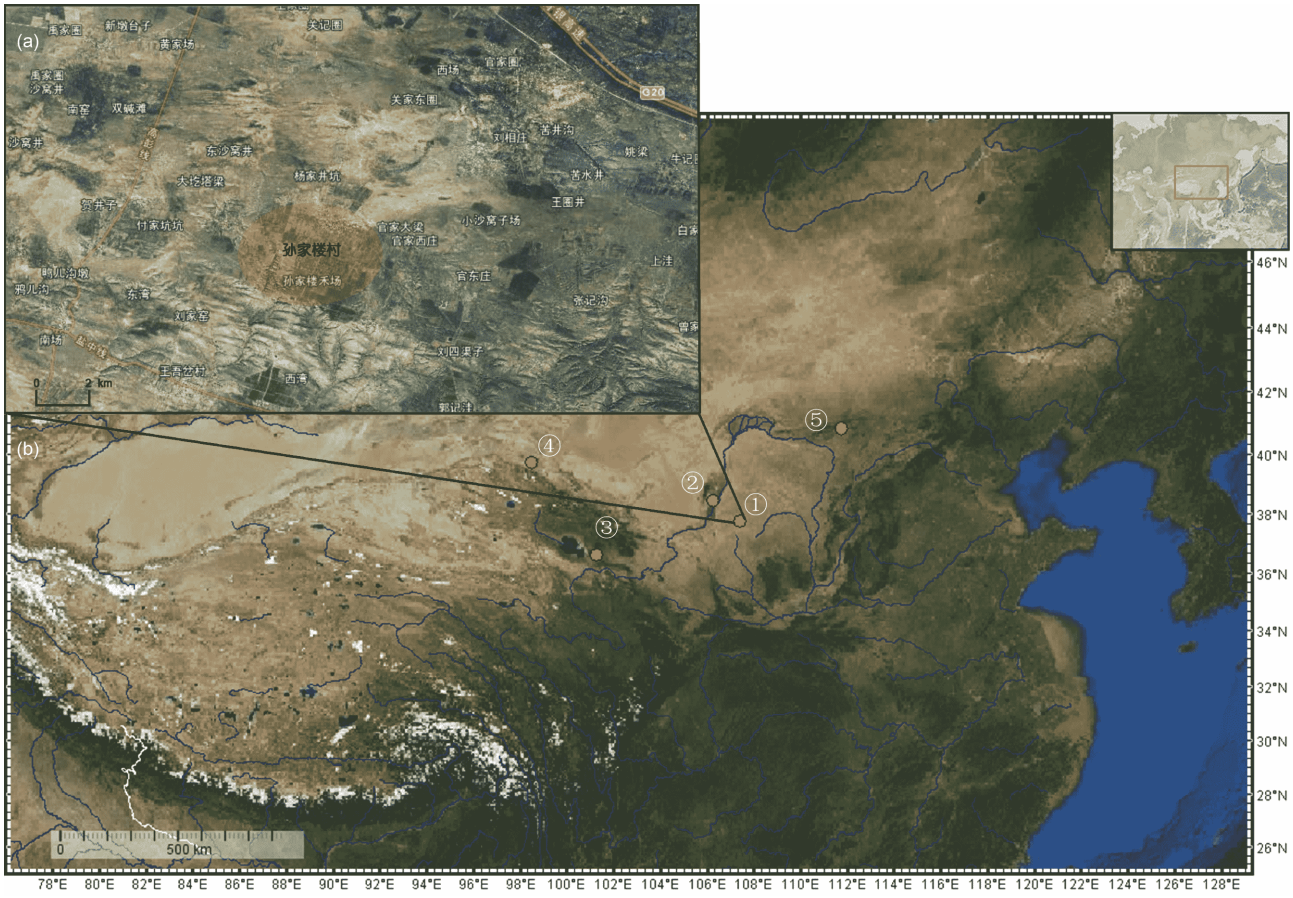

图 1　研究地点

(a) 宁夏回族自治区盐池县孙家楼村地理图(据全国地理信息资源目录服务系统www.webmap.cn); (b) 本文所涉及地区位置图: ① 研究地点盐池县孙家楼村; ②~⑤为气传花粉类比点, ② 宁夏回族自治区银川市; ③ 青海省西宁市; ④ 甘肃省酒泉市; ⑤ 内蒙古自治区呼和浩特市

nus L.), 杨柳科柳属(*Salix* L.)、杨属(*Populus* L.)、蔷薇科杏属(*Armeniaca* Mill.)、苹果属(*Malus* Mill.)、桃属(*Amygdalus* L.), 葫芦科西瓜属(*Citrullus* Schrad.), 茄科茄属(*Solanum* L.), 豆科甘草属(*Glycyrrhiza* L.)、槐属(*Sophora* L.), 百合科葱属(*Allium* L.)、知母属(*Anemarrhena* Bunge), 榆科榆属(*Ulmus* L.), 紫草科紫丹属(*Tournefortia* L.), 木犀科梣属(*Fraxinus* L.), 苋科地肤属(*Kochia* Roth.)等植物.

根据细致的走访和调查, 发现荞麦的传统加工多在平整而坚硬的打谷场进行, 有如下6个步骤: (1) 收割, 使用镰刀或手工拔起方式收获荞麦植株; (2) 干燥, 将收获的荞麦植株扎成堆, 在谷场上晾晒; (3) 打谷, 采用连枷拍打、石碾碾压或木棍捶打方式, 将晾晒好的荞麦植株打散, 籽粒脱离; (4) 扬场, 将打谷后荞麦用木锨迎风扬起风选, 分出茎秆、瘦果(含一粒种子)、小叶和穗等, 收集瘦果进行下一步加工, 茎秆等作为家畜饲料; (5) 过筛, 将扬场后的荞麦用簸箕上下抖动或筛子左右晃动对其进行分选, 去除瘦果以外的部分; (6) 脱粒与磨面, 将过筛后的荞麦进行拍打和碾压以分离外壳和种子, 在石磨上将种子磨制成粉面.

3　材料与方法

通过田野调研发现, 打谷场一般分布在居民生活区内部或周边, 是位置相对固定的大片平地, 农作物在种植区种植、收割后被搬运到生活区的打谷场加工. 基于荞麦传统加工的五个主要步骤: 收割、打谷、扬场、过筛、磨面, 分别进行空气花粉采集, 开展荞麦作物加工过程的花粉散布的模拟实验, 分析荞麦在不同的加工过程中, 荞麦花粉的散布特征及贡献.



图 2　模拟传统荞麦加工过程

(a) 甜荞麦田; (b) 收割; (c) 用连枷打谷; (d) 用木锨扬场; (e) 用筛子过筛; (f) 用簸箕分选; (g) 用木棒在石磨盘上磨面; (h) 空气花粉收集

在荞麦加工的各个阶段, 分别将4~8只涂有甘油的载玻片作为花粉取样器, 放置在相应的采样点, 静置20~30min后, 去除黏附在载玻片表层的叶片并覆上盖玻片, 封片后带回实验室进行显微镜下观察. 取样时的风力和风向为1级东南风. 为了避免风向对实验结果的影响, 我们在取样过程中在各阶段加工区的4个方向都放置了取样器. 每个加工阶段放置的地点不同且相距较远, 以保证各加工阶段空气中花粉采集的独立性.

荞麦加工模拟实验采样方式分为以下5个阶段(图2).

在收割阶段采用镰刀收割和用手连根拔起两种方式, 收割约4m^{2}的甜荞田, 将取样器放置在收割区中心以及距中心1m的东南西北区域边缘处, 共收集5个样片(图2b). 晾晒干燥阶段没有人为扰动, 不采样.

打谷阶段分为用木棒捶打和用连枷捶打两种方式, 首先在远离荞麦田的一片空地上放置5~10株甜荞麦, 并在荞麦穗和荞麦根两侧放置取样器, 两个取样器相距约1m, 用圆柱状长木棒进行捶打, 收集2个样片; 在远离荞麦田的打谷场上, 用连枷对一片已晒干的荞麦堆进行拍打, 在距打谷区域中心约1.3m的东南和西北边缘各放置2个取样器, 在打谷区域外部约3.5m处的东南西北4个方向各放置1个取样器, 共收集8个样片(图2c).

扬场阶段在远离荞麦田的另一处打谷场上用木锨风选, 分别在距打谷场中心约2.5~3m的东西南北4个方向的区域边缘, 放置4个取样器, 并在距扬场区边缘外部约2m的4个方向放置4个取样器, 共收集8个样片(图 2d).

过筛阶段使用筛子筛分和簸箕分选两种方法, 筛子、簸箕距地面约1m, 首先在筛子内部和外部筛子正下方的地面上各放置1个取样器, 在簸箕内部和簸箕外部正下方的地面上各放置2个取样器, 共计6个样片(图2e, f).

在远离荞麦田的石磨上放置筛后的荞麦瘦果和少量穗轴, 用圆柱状短木棒碾压磨粉方式, 在磨面区周围4个不同方向距中心0.3m处放置取样器, 共收集4个样片(图2g).

作为对照, 我们分别在7和9月初采集了孙家楼村非开花季荞麦田表土样品(2个)、开花季的荞麦田表土样品(2个)与距离荞麦田300m的荒地表土样品(1个). 采样方法为五点采样法, 即在20cm×20cm方形中收集四角和中心表土样品.

将各加工阶段的荞麦产品、空气花粉样片及表土花粉样品带回中国科学院古脊椎动物与古人类研究所进行实验及室内鉴定、拍照和分析工作. 空气花粉及表土花粉样片使用蔡司显微镜Axio Scope A1鉴定, 使用LEICA M205 C体视显微镜拍摄花粉图版.

4 研究结果

通过对模拟实验所得花粉样片的分析和鉴定, 最终符合鉴定标准和统计意义的空气花粉样片23个, 其中收割阶段5个、打谷阶段9个、过筛阶段5个、扬场阶段2个、磨面阶段3个. 对荞麦各加工各阶段所获样片中花粉产量进行统计, 单位为每玻片花粉数量(粒), 花粉主要为荞麦属(*Fagopyrum*)、蒿属(*Artemisia*)和藜科(Chenopodiaceae), 结果如图3、表1和图4所示.

通过模拟实验可以得出, 在荞麦加工过程中伴有花粉的释放和扩散, 除了荞麦属花粉及少量蒿属、藜科花粉, 并无其他植物的花粉. 在收割、扬场、磨面阶段花粉量很少, 打谷和过筛阶段释放的花粉总量和荞麦花粉数量最多. 西、北方向取样器所采集到的荞麦花粉数量大多高于东、南方向.

每一玻片收集到的荞麦空气花粉数量在收割(1或2粒)和磨面阶段(0粒)变化波动较少, 在打谷(1~42粒)、过筛(1~28粒)和扬场阶段(1~4粒)具有较大差异, 原因应与样片摆放位置差异有关. 收割阶段荞麦花粉数量平均值约为1粒, 打谷阶段则大幅上升到17粒, 在过筛阶段略微下降至16粒, 扬场阶段则大幅下降至3粒, 最后的磨面阶段没有收集到荞麦花粉.

在对照的荞麦田与荒地表土样品中收集到荞麦属(*Fagopyrum*)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、松科(Pinaceae)、禾本科(Poaceae)、柽柳科(Tamaricaceae)、桦木科(Betulaceae)、十字花科(Cruciferae)、蔷薇科(Rosaceae)、麻黄属(*Ephedra*)、胡颓子科(Elaeagnaceae)、唇形科(Labiatae)、蒺藜科(Zygophyllaceae)、豆科(Leguminosae)、壳斗科(Fagaceae)、莎草科(Cyperaceae)、菊科(Compositae)、眼子菜科(Potamogetonaceae)、栎属(*Quercus*)、鼠李属(*Rhamnus*)、大戟科(Euphorbiaceae)、毛茛科(Ranunculaceae)等植物花粉, 花粉含量如表2和图5所示. 其中, 非

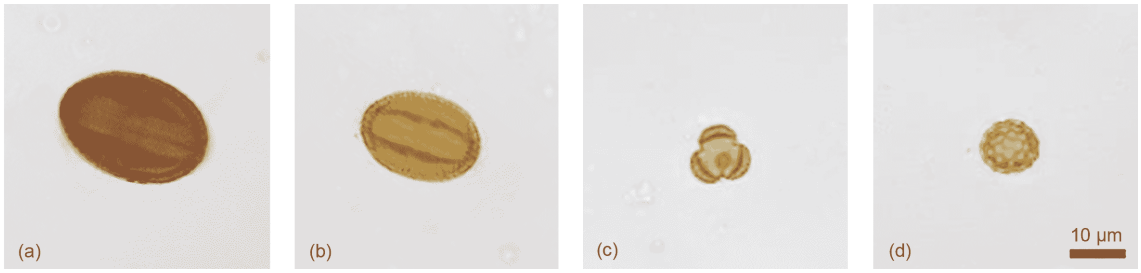

图 3　LEICA M205 C体视显微镜拍摄花粉照片(400倍)

(a) 荞麦属; (b) 荞麦属; (c) 蒿属; (d) 藜科

表 1　荞麦加工各阶段收集荞麦花粉数量

加工阶段	样品名称	取样地点	每玻片荞麦属花粉数量 (粒)	每玻片蒿属花粉数量 (粒)	每玻片藜科花粉数量 (粒)	每玻片荞麦花粉数量平均值 (粒)
收割	S	收割区南部边缘	1	0	0	1
	W	收割区西部边缘	1	0	0	
	M	收割区中心点	2	2	0	
	E	收割区东部边缘	1	2	0	
	N	收割区北部边缘	2	1	0	
打谷	N1	连枷打谷中心区西北侧	42	13	1	17
	E1	连枷打谷中心区东南侧	27	4	0	
	E2	连枷打谷外部区东侧	4	1	0	
	N2	连枷打谷外部区北侧	28	4	0	
	W2	连枷打谷外部区西侧	1	1	0	
	W1	连枷打谷中心区西北侧	25	2	0	
	S1	连枷打谷中心区东南侧	14	7	0	
	S2	连枷打谷外部区南侧	4	0	0	
	T	木棒打谷接近荞麦穗一侧	9	3	2	
筛	O1	簸箕外部	24	5	0	16
	O2	簸箕外部2	1	1	0	
	O	筛子外部	3	1	0	
	I2	簸箕内部2	22	3	0	
	I1	簸箕内部1	28	8	0	
扬场	SY	扬场区外侧南部	1	0	0	3
	WY	扬场区外部西侧	4	1	0	
磨面	EM	磨面区东侧	0	0	0	0
	WM	磨面区西侧	0	1	0	
	SM	磨面区南侧	0	4	0	

开花季荞麦田表土样品中荞麦花粉含量平均为19.96%; 开花季荞麦田表土样品中荞麦花粉含量平均为26.42%, 荒地表土样品中荞麦花粉含量为0.19%, 荒地极低的荞麦花粉百分比体现了荞麦花粉具有低代表性.

5　讨论

目前, 花粉分析在农业考古研究中发挥着越来越重要的作用(Li等, 2013; 吕厚远, 2018), 农作物花粉的产量、散布、沉积和保存等现代过程研究备受关注

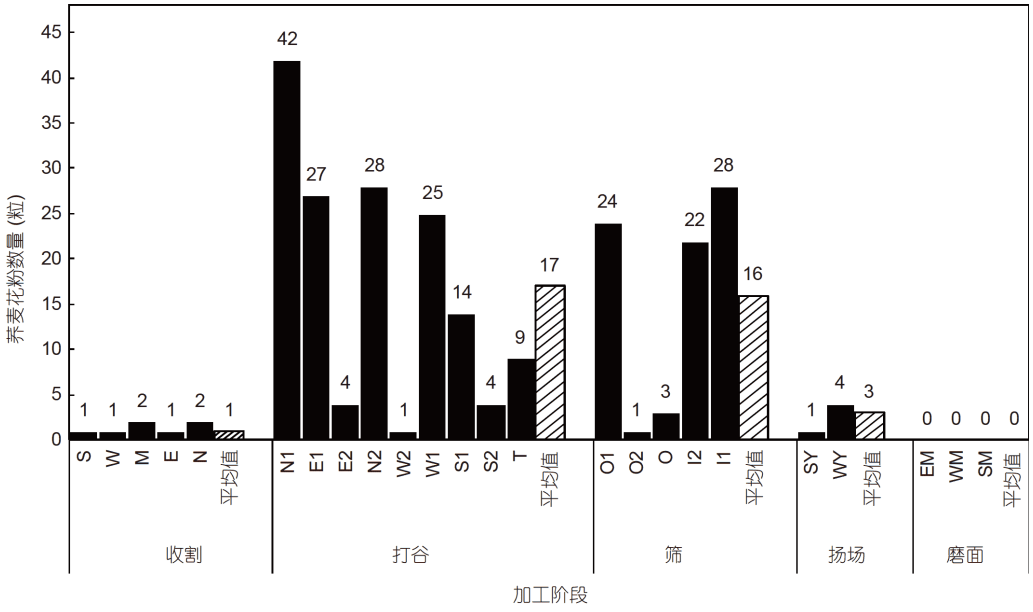

图 4　荞麦加工各阶段花粉数量

表 2　对照组表土样品花粉含量

花粉	开花季荞麦田1	开花季荞麦田2	非开花季荞麦田1	非开花季荞麦田2	荒地
荞麦属	28.24%	24.60%	14.17%	25.75%	0.19%
蒿属	29.80%	24.28%	37.94%	22.38%	33.90%
藜科	28.04%	36.42%	30.17%	35.52%	53.00%
松科	0.98%	1.28%	1.49%	2.49%	0.37%
禾本科	2.16%	2.88%	5.37%	2.31%	4.31%
柽柳科	1.96%	0.96%	4.11%	5.60%	2.06%
桦木科	1.76%	1.60%	0.57%	0.18%	1.87%
十字花科	3.73%	2.56%	1.71%	1.42%	0.94%
蔷薇科	0.20%	1.28%	0.34%	0.18%	0.37%
麻黄属	0.20%	0.32%	0.11%	0.80%	0.19%
胡颓子科	0.39%	0.00%	0.11%	0.00%	0.19%
唇形科	0.59%	0.96%	1.94%	0.62%	0.56%
蒺藜科	0.39%	0.32%	0.23%	0.18%	0.00%
豆科	0.59%	0.64%	0.23%	0.27%	0.56%
壳斗科	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.19%
莎草科	0.59%	0.64%	0.00%	0.00%	0.56%
菊科	0.00%	0.32%	0.69%	1.69%	0.56%
眼子菜科	0.00%	0.96%	0.69%	0.00%	0.19%
栎属	0.00%	0.00%	0.11%	0.00%	0.00%
鼠李属	0.00%	0.00%	0.00%	0.36%	0.00%
大戟科	0.00%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%
毛茛科	0.00%	0.00%	0.00%	0.18%	0.00%

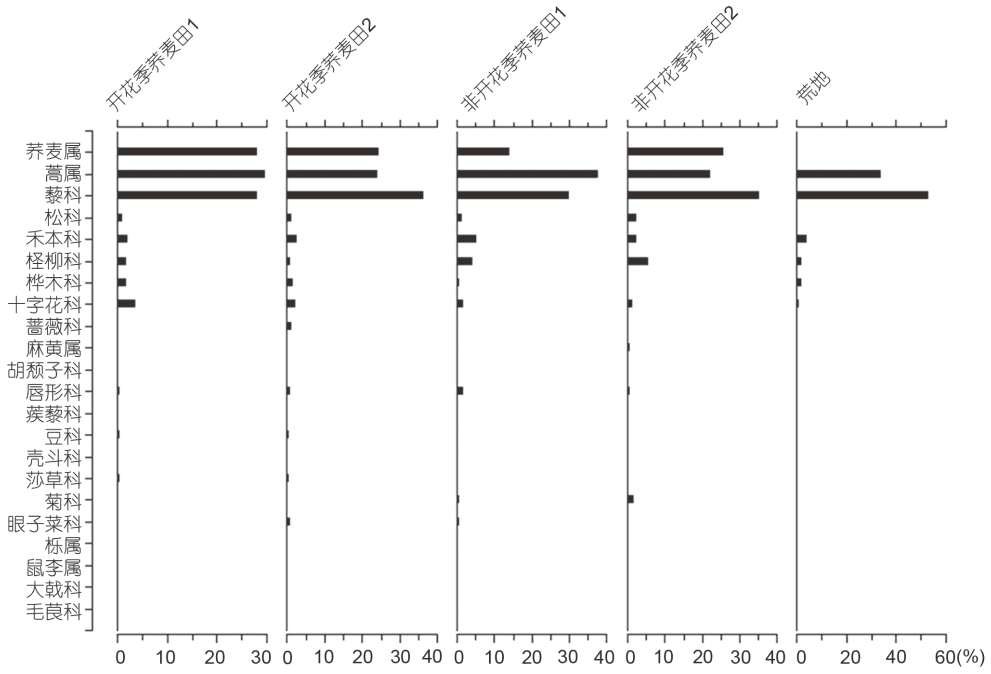

图 5　对照组表土样品花粉含量示意图

(李文漪, 1998; 杨振京和徐建明, 2002; 郑卓等, 2008; Xu等, 2012), 是正确解读花粉记录并提高农业考古研究精度的基础.

农业活动包括种植、田间管理、收割和加工等多个环节. 由于荞麦花粉是虫媒花粉, 在晚于荞麦开花季约1个月的荞麦收割和加工时期, 荞麦花粉自然扬散量远低于开花季. 但在此时期, 人类通过拍打等加工行为将残存在荞麦花序中的花粉二次释放, 贡献了除开花季之外第二次荞麦花粉扬散量高峰. 盐池县孙家楼村荞麦传统加工过程中花粉散布模拟研究显示, 荞麦收割阶段多为一次一株并打捆堆放, 对荞麦残存花序的影响不大, 花粉的释放量较低(图4); 在打谷阶段, 集中堆放的荞麦伴随着不断地拍打和捶打, 导致花序破裂, 大量的花粉被释放出来; 同样, 过筛阶段需要将荞麦谷穗和花序等分离, 导致花粉的扬散并沉积下来, 形成花粉散布第二个高峰期; 在扬场阶段, 残余的花序已经很少或干瘪, 花粉的释放量显著下降; 磨面阶段, 仅收集到蒿和藜等气传花粉, 而荞麦花粉归零.

总之, 加工过程(除磨面)采集样品花粉雨组合中荞麦花粉的含量均超过了70%(图6), 说明荞麦的各加工步骤均对花粉的再次扬散有着重要影响. 就荞麦花粉散布的贡献量而言, 打谷阶段释放的荞麦花粉数最多, 占各阶段荞麦花粉总量的63.11%; 过筛阶段次之, 占总量的31.97%; 收割和扬场阶段则低了很多, 分别占总量的2.87%、2.05%; 磨面阶段不见荞麦花粉.

中国气传致敏花粉调查小组(1991)报道了全国79个地区气传花粉雨数据, 本文采用了与其相似采集方法和统计方法. 选择与研究点气候和环境相近似的宁夏回族自治区银川市、青海省西宁市、甘肃省酒泉市、内蒙古自治区呼和浩特市(图1). 分析上述4个地区的年度气传花粉雨数据可以看出, 单一植物的花粉含量均低于60%, 作为北方干旱-半干旱区重要类型的蒿属和藜科植物花粉产量大, 平均含量分别为35.60%和16.62%, 而禾本科植物花粉含量均低于10%(图7), 与蒿属和藜科花粉的超代表性(李宜垠等, 2000; 李月丛等, 2005; 曹现勇等, 2007; 李小强等, 2007)以及禾本科花粉的低代表性(许清海等, 2007, 2013; Xu等, 2009; 许清海和张生瑞, 2013)是一致的.

银川市与研究点孙家楼村的方位和气候环境与最接近, 其花粉雨以蒿属和藜科为主, 含一定量禾本科和杨属花粉, 并未出现荞麦花粉. 蒿属、藜科和禾本科花粉峰值出现在8~9月, 分别占全年花粉总量的31.51%、34.15%和4.10%(中国气传致敏花粉调查小组, 1991), 与它们主要的开花季节相一致. 本文荞麦加

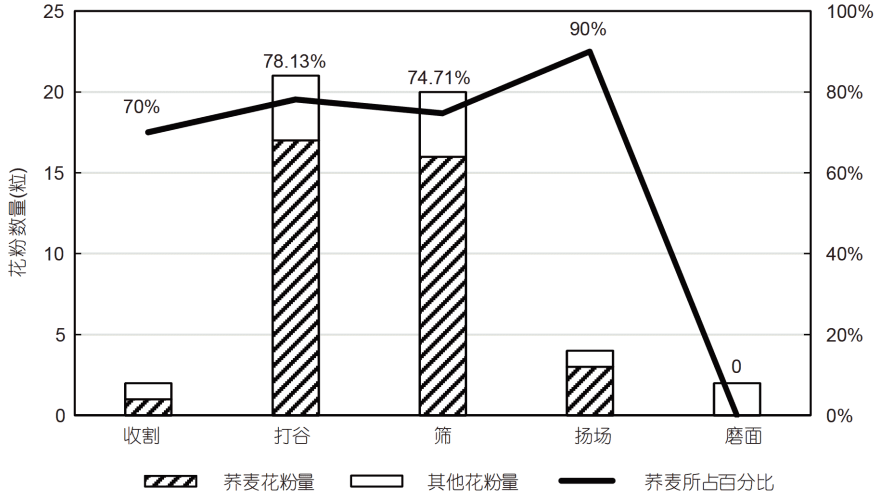

图 6　不同加工阶段花粉雨中荞麦花粉释放量均值及百分比均值

工模拟实验也发生在9月底, 尽管荞麦加工过程中荞麦花粉的大量输出导致花粉雨中的高含量, 但蒿属和藜科花粉仍一直存在并占有一定比例, 这与半干旱区高比例蒿属和藜科花粉雨的存在相关.

人类活动是影响花粉散布的重要因子之一, 考古遗址和文化层中农作物花粉的来源, 一般认为是农作物栽培的结果(王学丽等, 2010), 但对其他农业活动(如作物加工)的影响则知之甚少. 史前农作物加工研究多集中在人类加工行为和农作物遗存, 而对加工过程的影响、加工地点的确认等相对较少. Bower(1992)有关小麦加工过程的实验室模拟实验显示, 过筛阶段的花粉释放量最多, 其次是打谷阶段, 提供了花粉分析在农作物加工中应用的合理性, 由于缺少传统加工过程中的野外花粉雨采集, 其花粉释放量和散布研究的精度可能出现较大误差.

谷物堆积和晾晒以及打谷、扬场和过筛等需要在居民生活区的打谷场进行, 而打谷场又是生产和生活的重要场所之一. 由于谷物会被储存, 而茎秆一般也会被作为饲料或燃料清理, 因此, 炭化种子和植硅体较难揭示作物的搬运和加工过程(Fuller和Stevens, 2009).

荞麦作物的传统加工过程会导致花粉的散布, 且花粉贡献量很高, 在长期的农业活动中, 作物花粉会在打谷场及周边生活区被大量保存下来, 据此可以推测遗址和文化层中保存的农作物花粉, 很大程度上是作物加工过程花粉再次散布和埋藏的结果. 因此, 高精度花粉分析不仅判断早期农作物种类, 而且可以确定农作物花粉的来源, 荞麦作物传统加工过程花粉散布模拟实验, 可以应用于农业考古研究中, 也可为其他谷物加工过程中花粉雨研究提供参照. 如果低代表性农作物(如禾本科和荞麦)花粉含量在遗址或文化层中明显增高, 可能指示了农业种植及农作物加工行为的存在. 同时, 聚落遗址中农作物花粉含量增加的样点数量和位置分布, 也可在一定程度上反映农作物加工场地的位置和数量, 对于了解早期农业聚落的布局及生产强度等具有参考价值.

6　结论

通过荞麦传统加工的现代模拟实验, 对荞麦花粉的散布过程和特征及其在农业考古研究中的应用获得以下认识:

(1) 荞麦作物在传统加工过程中, 荞麦花粉在花粉雨中含量可以达70%以上, 其中, 打谷和过筛的阶段花粉释放量最大;

(2) 农作物的加工行为和过程对作物花粉在生活区的散布具有显著影响, 对聚落遗址中保存的低代表性农作物花粉有重要贡献;

(3) 农作物传统加工过程中花粉散布模式研究, 不仅可以指示人类种植和加工行为, 也对辨识考古遗址

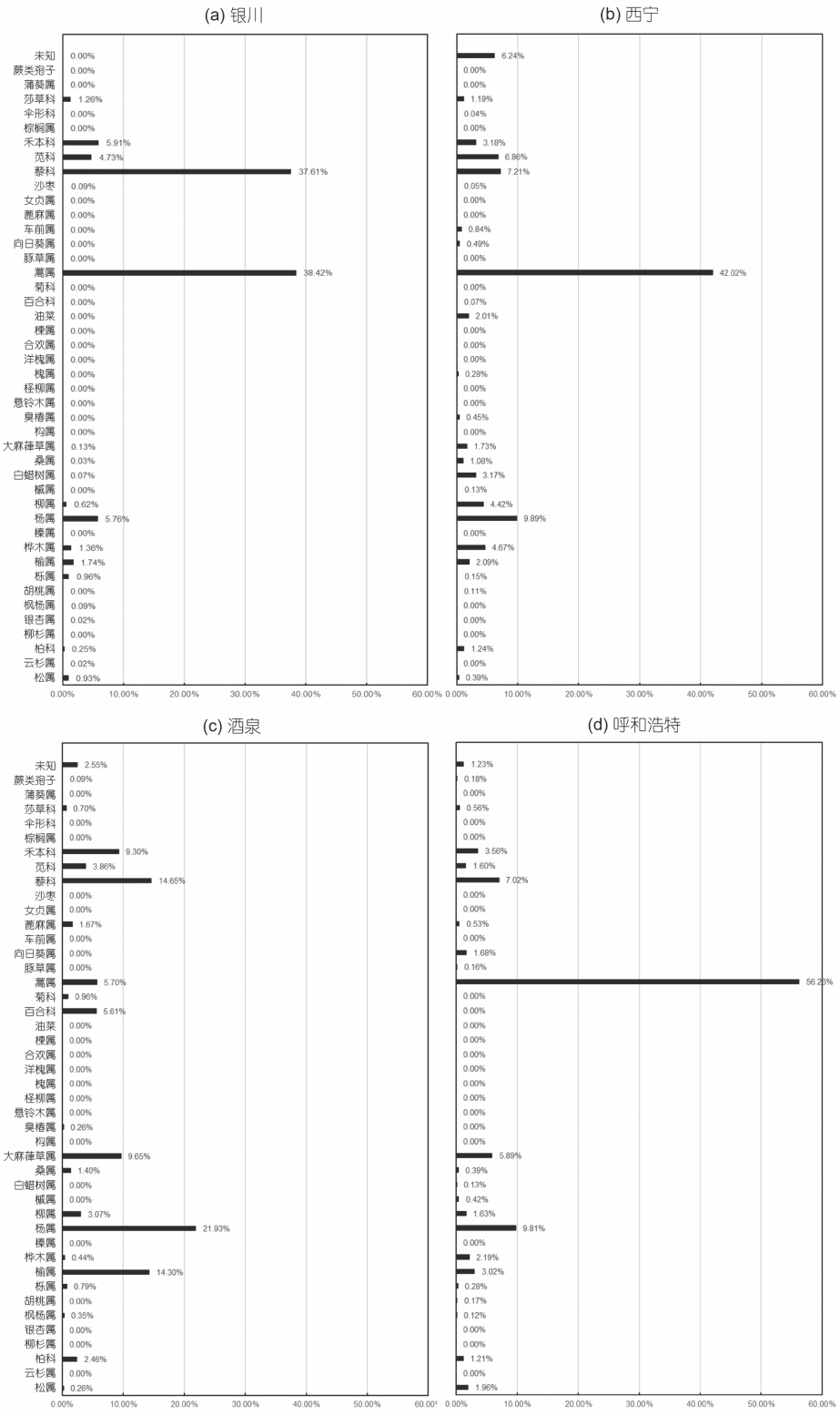

图 7　宁夏及周边地区气传花粉分布表

(a) 宁夏回族自治区银川地区; (b) 青海省西宁市城西区古城台; (c) 甘肃省酒泉地区; (d) 内蒙古自治区呼和浩特市玉泉区(中国气传致敏花粉调查领导小组, 1991)

中农作物加工场地, 评估农业活动的强度和影响等提供依据.

致谢 感谢中国科学院古脊椎动物与古人类研究所李小强研究员、中国科学院大学蒋洪恩教授和剑桥大学Martin K. Jones教授的指导和帮助.

参考文献

曹现勇, 田芳, 许清海, 李月丛, 张振卿, 贾红娟, 张丽艳, 王学丽. 2007. 阴山山脉东段花粉通量及其与表土花粉比较研究. 古生物学报, 46: 411–419

董广辉, 杨谊时, 韩建业, 王辉, 陈发虎. 2017. 农作物传播视角下的欧亚大陆史前东西方文化交流. 中国科学: 地球科学, 47: 530–543

孔昭宸, 刘长江, 张居中, 靳桂云. 2003. 中国考古遗址植物遗存与原始农业. 中原文物, 2: 4–9, 13

孔昭宸, 张芸, 王力, 段晓红, 李玉梅. 2018. 中国孢粉学的过去、现在及未来——侧重第四纪孢粉学. 科学通报, 63: 164–171

李晶静, 张勇, 张永兵, 王龙, 蒋洪恩. 2015. 新疆吐鲁番胜金店墓地小麦遗存加工处理方式初探. 第四纪研究, 35: 218–228

李文漪. 1998. 中国第四纪植被与环境. 北京: 科学出版社

李小强, 周新郢, 周杰, Dodson J, 张宏宾, 尚雪. 2007. 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, 37: 934–940

李小强. 2013. 中国全新世气候和农业活动研究新进展. 中国科学: 地球科学, 43: 1919–1928

李宜垠, 张新时, 周广胜, 倪健. 2000. 中国北方几种常见表土花粉类型与植被的数量关系. 科学通报, 45: 761–765

李宜垠, 周力平, 崔海亭. 2008. 人类活动的孢粉指示体. 科学通报, 53: 991–1002

李月丛, 许清海, 阳小兰, 郑振华. 2005. 中国草原区主要群落类型花粉组合特征. 生态学报, 25: 555–564

吕厚远. 2018. 中国史前农业起源演化研究新方法与新进展. 中国科学: 地球科学, 48: 181–199

马志坤, 杨晓燕, 李泉, 万智巍, 李明启, 葛全胜. 2012. 石器功能研究的现代模拟实验: 石刀表面残留物中淀粉粒来源分析. 第四纪研究, 32: 247–255

毛礼米, 杨小丽. 2011. 禾本科针茅族(Stipeae)7种花粉形态比较研究. 微体古生物学报, 28: 169–180

倪健. 2013. 孢粉生物群区化与古植被定量重建. 第四纪研究, 33: 1091–1100

璩向宁, 王惠荣. 2006. 宁夏盐池县近50年气候变化特征分析. 宁夏工程技术, 5: 321–322

宋吉香, 赵志军, 傅稻镰. 2014. 不成熟粟、黍的植物考古学意义——粟的作物加工实验. 南方文物, 3: 60–67

王学丽, 李月丛, 许清海, 曹现勇, 张丽艳, 田芳. 2010. 安阳地区不同农业单元表土花粉组合及空间分异. 科学通报, 55: 1914–1923

Webb J A, Moore P D. 1987. 花粉分析指南. 南宁: 广西人民出版社. 1–2

吴妍, 王昌燧, Cummings L S, Anderson P C. 2012. 安徽何郢遗址植物残体切割形态与脱粒农具的关系. 文物保护与考古科学, 24: 62–66

许清海, 曹现勇, Tian F, 张生瑞, 李月丛, 李曼玥, 李洁, 刘耀亮, 梁剑. 2013. 北方典型草原区花粉产量及其定量重建古植被的作用. 中国科学: 地球科学, 43: 2016–2028

许清海, 李曼玥, 张生瑞, 张娅红, 张攀攀, 卢静瑶. 2015. 中国第四纪花粉现代过程: 进展与问题. 中国科学: 地球科学, 45: 1661–1682

许清海, 李月丛, 阳小兰, 郑振华. 2007. 中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系. 中国科学D辑: 地球科学, 37: 192–205

许清海, 张生瑞. 2013. 花粉源范围研究进展. 地球科学进展, 28: 968–975

严文明. 1997. 我国稻作起源研究的新进展. 考古, 9: 71–76

杨振京, 徐建明. 2002. 孢粉-植被-气候关系研究进展. 植物生态学报, 26(增刊): 73–81

张永辉, 翁屹, 姚凌, 张居中, 周昱君, 方方, 崔炜. 2011. 裴李岗遗址出土石磨盘表面淀粉粒的鉴定与分析. 第四纪研究, 31: 891–899

赵琛怿, 毛礼米. 2015. 四种稻属植物花粉外壁TEM的超微结构比较研究. 古生物学报, 54: 547–555

赵志军. 2014. 中国古代农业的形成过程——浮选出土植物遗存证据. 第四纪研究, 34: 73–84

中国气传致敏花粉调查领导小组. 1991. 中国气传致敏花粉调查. 北京: 北京出版社. 36, 58–60, 112–120

郑卓, 黄康有, 许清海, 吕厚远, Cheddadi R, 罗运利, Beaudouin C, 罗传秀, 郑艳伟, 李春海, 魏金辉, 杜春彬. 2008. 中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比. 48: 701–714

Ball T, Chandler-Ezell K, Dickau R, Duncan N, Hart T C, Iriarte J, Lentfer C, Logan A, Lu H, Madella M, Pearsall D M, Piperno D R, Rosen A M, Vrydaghs L, Weisskopf A, Zhang J. 2016. Phytoliths as a tool for investigations of agricultural origins and dispersals around the world. J Archaeol Sci, 68: 32–45

Bates J. 2011. Social organization and change in the Indus Civilization; phytolith analysis of crop processing aims at Masudpur VII. Biosci Horizons, 4: 1–12

Bellwood P. 2005. First Farmers: The Origins of Agricultural Societies. Malden: Wiley-Blackwell. 384

Bower M. 1992. Cereal pollen dispersal: A pilot study. Cam Arch Jnl, 2: 236–241

Crawford G W. 2006. East Asian plant domestication. In: Stark M T, ed. Archaeology of Asia. Oxford: Blackwell Publishing. 77–95

Fuller D Q, Allaby R G, Stevens C. 2010. Domestication as innovation: The entanglement of techniques, technology and chance in the

domestication of cereal crops. World Archaeol, 42: 13–28

Fuller D Q, Qin L, Zheng Y, Zhao Z, Chen X, Hosoya L A, Sun G P. 2009. The domestication process and domestication rate in rice: Spikelet bases from the Lower Yangtze. Science, 323: 1607–1610

Fuller D Q, Stevens C. 2009. Agriculture and the development of complex societies: An archaeobotanial agenda. In: Fairbairn A S, Weiss E, eds. From Foragers to Farmers: Papers in Honour of Gordon C. Hillman. Oxford: Oxbow Books. 37–57

Harvey E L, Fuller D Q. 2005. Investigating crop processing using phytolith analysis: The example of rice and millets. J Archaeol Sci, 32: 739–752

He K Y, Lu H Y, Zhang J P, Wang C, Huan X J. 2017. Prehistoric evolution of the dualistic structure mixed rice and millet farming in China. Holocene, 27: 1885–1898

Hunt H V, Shang X, Jones M K. 2017. Buckwheat: A crop from outside the major Chinese domestication centres? A review of the archaeobotanical, palynological and genetic evidence. Veget Hist Archaeobot, 46: 1–14

Jones M, Hunt H, Lightfoot E, Lister D, Liu X, Motuzaite-Matuzeviciute G. 2011. Food globalization in prehistory. World Archaeology, 43: 665–675

Li X Q, Shang X, Dodson J, Zhou X Y. 2009. Holocene agriculture in the Guanzhong basin in NW China indicated by pollen and charcoal evidence. Holocene, 19: 1213–1220

Li X Q, Sun N, Dodson J, Zhou X Y. 2012. Human activity and its impact on the landscape at the Xishanping site in the western Loess Plateau during 4800–4300 cal yr BP based on the fossil charcoal record. J Archaeol Sci, 39: 3141–3147

Li X Q, Sun N, Dodson J, Zhou X Y, Zhao K L. 2013. Vegetation characteristics in the western Loess plateau between 5200 and 4300 cal. BP based on fossil charcoal records. Veget Hist Archaeobot, 22: 61–70

Lu H Y, Zhang J P, Liu K B, Wu N Q, Li Y M, Zhou K S, Ye M L, Zhang T Y, Zhang H J, Yang X Y, Shen L C, Xu D K, Li Q. 2009a. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10000 years ago. Proc Natl Acad Sci USA, 106: 7367–7372

Lu H Y, Zhang J P, Wu N Q, Liu K B, Xu D K, Li Q. 2009b. Phytoliths analysis for the discrimination of Foxtail Millet (*Setaria italica*) and Common Millet (*Panicum miliaceum*). PLoS ONE, 4: e4448

Miller N F, Spengler R N, Frachetti M. 2016. Millet cultivation across Eurasia: Origins, spread, and the influence of seasonal climate. Holocene, 26: 1566–1575

Minckley T A, Bartlein P J, Whitlock C, Shuman B N, Williams J W, Davis O K. 2008. Associations among modern pollen, vegetation, and climate in western North America. Quat Sci Rev, 27: 1962–1991

Pearsall D M. 2015. Paleoethnobotany: A Handbook of Procedures. 3rd ed. Walnut Creek: Left Coast Press

Piperno D R. 2006. Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. Lanham: AltaMira Press

Reddy S N. 1997. If the threshing floor could talk: Integration of agriculture and pastoralism during the Late Harappan in Gujarat, India. J Anthropol Archaeol, 16: 162–187

Shang X, Li X Q. 2010. Holocene vegetation characteristics of the southern Loess Plateau in the Weihe River valley in China. Rev Palaeobot Palynol, 160: 46–52

Shang X, Li X Q, An Z S, Ji M, Zhang H B. 2009. Modern pollen rain in the Lake Qinghai basin, China. Sci China Ser D-Earth Sci, 52: 1510–1519

Stevens C J. 2003. An investigation of agricultural consumption and production models for prehistoric and Roman Britain. Environ Archaeol, 8: 61–76

Tweddle J C, Edwards K J, Fieller N R J. 2005. Multivariate statistical and other approaches for the separation of cereal from wild Poaceae pollen using a large Holocene dataset. Veget Hist Archaeobot, 14: 15–30

Woodbridge J, Fyfe R M, Roberts N, Downey S, Edinborough K, Shennan S. 2014. The impact of the Neolithic agricultural transition in Britain: A comparison of pollen-based land-cover and archaeological ^{14}C date-inferred population change. J Archaeol Sci, 51: 216–224

Xu Q H, Li Y C, Tian F, Cao X Y, Yang X L. 2009. Pollen assemblages of tauber traps and surface soil samples in steppe areas of China and their relationships with vegetation and climate. Rev Palaeobot Palynol, 153: 86–101

Xu Q H, Tian F, Bunting M J, Li Y C, Ding W, Cao X Y, He Z. 2012. Pollen source areas of lakes with inflowing rivers: Modern pollen influx data from Lake Baiyangdian, China. Quat Sci Rev, 37: 81–91

Yang S X, Zheng Z, Huang K Y, Zong Y Q, Wang J H, Xu Q H, Rolett B V, Li J. 2012. Modern pollen assemblages from cultivated rice fields and rice pollen morphology: Application to a study of ancient land use and agriculture in the Pearl River Delta, China. Holocene, 22: 1393–1404

Zhao K L, Li X Q, Zhou X Y, Dodson J, Ji M. 2013. Impact of agriculture on an oasis landscape during the late Holocene: Palynological evidence from the Xintala site in Xinjiang, NW China. Quat Int, 311: 81–86

(责任编委: 李小强)