论文

气候变化背景下人类的演化与适应专题

西辽河地区全新世早中期粟类植物利用

马志坤^{①②}, 杨晓燕^{②*}, 张弛^①, 孙永刚^③, 贾鑫^④

① 北京大学考古文博学院, 北京 100871;

② 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟实验室, 北京 100101;

③ 赤峰学院历史文化学院, 赤峰 024000;

④ 南京大学地理与海洋科学学院地貌过程与环境实验室, 南京 210023

* 通讯作者, E-mail: yangxy@igsnr.ac.cn

收稿日期: 2015-08-27; 接受日期: 2015-12-07; 网络版发表日期: 2016-06-28

中国科学院战略性先导科技专项项目(编号: XDA05130603, XDA05130402)和国家自然科学基金项目(批准号: 41371217, 41072140, 41301208)资助

摘要 中国北方被认为是以粟(*Setaria italica*)和黍(*Panicum miliaceum*)为主的旱作农业起源地, 但对粟和黍驯化过程尚不完全清楚. 已有的研究提出一个“假说”, 即人类将青狗尾草(*S. viridis*)驯化到粟是一个漫长过程, 但需要更多的工作进行证明. 西辽河地区是粟作农业起源的重要区域, 本文对该研究区内小河西文化(早于 8.5ka BP)、兴隆洼文化(8.2~7.4ka BP)、赵宝沟文化(7.0~6.4ka BP)和红山文化(6.5~5.0ka BP)8个遗址出土的12件磨盘和磨棒表层残留物古代淀粉粒进行了提取和分析, 发现从小河西文化、兴隆洼文化、赵宝沟文化到红山文化具有野生性质的粟类淀粉粒所占比例从13.0%下降到3.4%; 而粒径在16.8μm以上驯化粟淀粉粒比例从55.0%增加到62.1%. 研究表明, 小河西文化时期粟类植物驯化已开始; 西辽河地区全新世早期、中期粟类植物的野生及驯化特征的变化规律, 反映了粟类植物驯化的过程非常漫长.

关键词 植物驯化, 辽西地区, 农业起源, 新石器时代, 淀粉粒分析

1 引言

农业起源的关键问题之一就是野生植物的驯化(Diamond, 2002). 一般认为, 人类对植物的驯化经历了采集、专门化采集和种植三个阶段(Tanno和Willcox, 2006; Fuller等, 2009). 植物野生性状在长期的种植过程中发生改变, 驯化性状开始出现. 基于驯化过程中谷物小穗轴的变化规律, 研究者发现大麦

(*Hordeum vulgare*)、小麦(*Triticum aestivum*)和水稻(*Oryza sativa*)的驯化持续了2000~3000年(Tanno和Willcox, 2006; Fuller等, 2009). 中国北方被认为是以粟(*Setaria italica*)和黍(*Panicum miliaceum*)为主的旱作农业起源地. 迄今为止, 最早的粟和黍遗存, 无论是大植物证据, 还是植物微体证据, 均来自华北平原(Lu等, 2009; Yang等, 2012a; 赵志军, 2014). 但是,

中文引用格式: 马志坤, 杨晓燕, 张弛, 孙永刚, 贾鑫. 2016. 西辽河地区全新世早中期粟类植物利用. 中国科学: 地球科学, 46: 918-925, doi: 10.1360/N072015-00312
英文引用格式: Ma Z K, Yang X Y, Zhang C, Sun Y G, Jia X. 2016. Early millet use in West Liaohe area during early-middle Holocene. Science China Earth Sciences, 59: 1554-1561, doi: 10.1007/s11430-015-5257-5

人类什么时候对粟、黍的野生祖本开始采集食用? 什么时候开始种植? 种植多久才能出现驯化的性状? 这些过程尚不清楚. Yang等(2012a)利用淀粉粒分析方法, 对华北平原南庄头遗址(早于11ka BP)和东胡林遗址(11~9.5ka BP)出土器物表面残留物的古代淀粉遗存进行了提取和分析, 发现在距今11~9.5ka的1500年里, 野生性状的粟淀粉粒含量逐渐减少, 相应的, 驯化性状的粟淀粉粒比例逐渐增加, 据此提出人类将青狗尾草(*S. viridis*)驯化到粟是一个漫长过程的“假说”, 并指出这一“假说”需要更多的工作来证明.

西辽河地区兴隆沟遗址第一地点(8.0~7.5ka BP)出土了8000年前具有驯化特征的碳化黍、粟等大植物遗存, 结合该地区的古人类生产生活工具及生态环境多样性和多变性的特点, 学者认为西辽河地区是中国粟作农业起源的重要区域(赵志军, 2006; Jones和Liu, 2009). 故本研究选择西辽河地区全新世早中期距今8500~5000年8个考古遗址出土的磨盘、磨棒进行表层残留物淀粉粒分析, 为上述有关粟驯化过程的“假说”提供更多的证据.

2 遗址及区域概况

西辽河地区(41°~45°N, 117°~124°E)是东北地区古人类活动主要场所, 该地区具备两个显著的特点, 一是该地区全新世早中期的遗址普遍出现了食物加工工具磨盘、磨棒, 炊煮食物的陶器和碳化黍、粟的大植物遗存(杨子林, 2008; 索秀芬和李少兵, 2014; 赵志军, 2006, 2014), 对探索 and 了解粟作农业起源等

问题具有重要意义; 二是该地区已建立全新世早期至晚期的考古学文化年代序列和谱系关系, 被苏秉琦等列为六大考古文化区之一(苏秉琦和殷玮璋, 1981). 依据考古学文化相互间的传承和发展关系, 西辽河地区的全新世早中期考古学文化包括距今8500年已远的小河西文化(刘国祥, 2006; 杨虎和林秀贞, 2009)、距今8200~7400年的兴隆洼文化(刘国祥, 2006; 赵志军, 2004)、距今7000~6400年的赵宝沟文化(刘晋祥和董新林, 1996; 刘国祥, 2006)和距今6500~5000年的红山文化(赵宾福, 2005).

根据遗址的代表性以及资料的可获取性, 本研究选取西辽河地区全新世早中期典型的8个考古遗址作为研究对象, 遗址名称及位置信息见表1和图1.

3 材料与方法

3.1 实验材料

在西辽河地区全新世早中期遗址器物中选择与农业活动有关的2件磨盘和10件磨棒进行表层残留物淀粉粒分析(表1和图2). 除敖汉营子东和罗家营子遗址的一件磨盘、三件磨棒来自采集外, 其他均出自考古遗址文化层堆积物中, 所有器物均属于全新世早中期, 年代约8.5~5.0ka BP.

同时, 采集了存储器物库房内的尘土作为对比样品, 以作为后期污染的控制样品.

3.2 实验方法

(1) 对12件磨盘和磨棒的使用面和非使用面分

表1 西辽河地区全新世早中期遗址器物样品

考古学文化	遗址	样品	编号	长(cm)	宽(cm)	出土情况	年代(ka BP)	实验室编号
小河西文化	北山东	磨盘	150426-0256	12.5	11.7	文化层	>8.5	XXH 1
	北山西	磨棒	150426-0258	6.6	7.2	文化层		XXH 2
兴隆洼文化	敖汉营子东	磨盘	无	17.5	11.3	遗址采集	8.2~7.4	XLW 1
		磨棒	无	16.4	7.3	遗址采集		XLW 2
	敖汉营子西	磨棒	150426-0366-50001	8.4	3.7	文化层		XLW 3
赵宝沟文化	头道杖房	磨棒	150426-0024-5001	24.9	5.1	文化层	7.0~6.4	ZBG 1
红山文化	碱沟	磨棒	150426-0326-5002	18.6	6.5	文化层	6.5~5.0	HS 1
		磨棒	150426-0328-5002	18.5	8.3	文化层		HS 2
		磨棒	无	9.7	4.6	遗址采集		HS 3
	罗家营子	磨棒	无	6.3	5.1	遗址采集		HS 4
		磨棒	150426-0319-5001	13.6	8.3	文化层		HS 5
		磨棒	150426-0321-5001	10.4	7.3	文化层		HS 6
	三间房	磨棒

图1 西辽河地区全新世早中期8个遗址位置图

红色和蓝色三角形分别代表小河西文化、兴隆洼文化时期的遗址位置; 红色和蓝色圆点分别表示赵宝沟文化和红山文化时期的遗址位置

图2 西辽河地区全新世早中期遗址磨盘和磨棒样品

(a), (c)均为磨盘; (b), (d)~(l)均为磨棒; 圆点和箭头分别表示磨盘、磨棒的使用面和非使用面取样位置. 比例尺 5cm

别取样, 进行表层残留物淀粉粒分析. 本次24份表层残留物的淀粉粒分析实验参考文献(万智巍等, 2012a; Yang等, 2012a, 2015), 具体流程简述如下: 用刷子清理和超纯水清洗石器使用面和非使用面, 分别置于超声波中清洗; 将超声获取的混合液转移到试管中,

离心; 加入6%的 H_2O_2 溶液去除有机质; 加入10%的HCl去除钙质; 加入六偏磷酸钠(Calgon)分散黏土; 加入CsCl(比重 $1.8g/cm^3$)重液浮选; 清洗浮选物, 加入少量10%甘油后制片, 用指甲油封片, 在OLYMPUS BX-51生物显微镜下观察、测量和统计.

(2) 取0.5g存储磨盘和磨棒库房的尘土样品进行淀粉粒分析. 本次尘土样品的淀粉粒分析具体实验步骤参见文献(Yang等, 2012a, 2014, 2015). 加6% H_2O_2 以去除有机质; 5%的六偏磷酸钠(Calgon)分散黏土; 加入 $1.8g/cm^3$ 的CsCl溶液进行浮选; 清洗浮选物, 制片并在OLYMPUS BX-51生物显微镜下观察、测量和统计.

(3) 现代对比数据库. 为了识别从残留物中提取的淀粉粒, 我们一方面比对了从全国各地收集的来自禾本科(Poaceae)、豆科(Leguminosae)和壳斗科(Fagaceae)等50多个属200多个种的淀粉粒形态数据以及已发表的相关论文图版(杨晓燕等, 2009a, 2009b, 2010; 李明启等, 2010; 万智巍等, 2012b; Yang等, 2009, 2012b; Yang和Perry, 2013); 另一方面, 通过模拟磨盘、磨棒加工粟类植物实验建立的区分标准(马志坤, 2014), 获得了经过机械外力加工后残留物中粟类植物淀粉粒的鉴定依据. 基于31个品种的现代粟类植物淀粉粒形态特征, 建立了粟、黍及其野生近缘植物二分式检索表, 区分特征主要包括了粒径小、表面褶皱、边缘粗糙的野生型粟类植物淀粉粒, 以及粒径在 $14\mu m$ 以上的驯化型粟淀粉粒(图3)(Yang等, 2012b); 模拟实验则发现, 经过磨盘磨棒脱壳的粟类植物颖果, 其产生的淀粉粒形态变化不明显; 而经过研磨加工后平均粒径增大约1.2倍, 十字消光减弱(图3)(马志坤, 2014). 也就是说, 得出两条关键的区分标准, 即(1) 野生型粟类植物淀粉粒粒径小(不超过 $14\mu m$, 一般小于 $10\mu m$), 表面褶皱, 边缘粗糙; (2) 经过器物加工后, 仅有驯化粟中含有粒径大于 $16.8\mu m$ 的淀粉粒.

4 实验结果

经过实验分析, 库房尘土样品中未提取出淀粉粒; 12件磨盘和磨棒的24个样品中共提取到643颗淀粉粒, 其中629颗可鉴定淀粉粒分为A~D共4类, 剩余14颗表面模糊、无法鉴定的淀粉粒归为E类. 具体分

图3 粟和黍及野生近缘植物的淀粉粒图

(a) 粟(*Setaria italica*), 粒径范围 5.3~15.4 μm , 均值(8.0 $\pm$ 3.1) μm , 采自河北; (b) 黍(*Panicum miliaceum*), 粒径范围 5.0~10.0 μm , 均值(6.8 $\pm$ 1.8) μm , 采自甘肃; (c) 青狗尾草(*S. viridis*), 粒径范围 5.1~11.0 μm , 均值(7.8 $\pm$ 1.6) μm , 采自山西; (d) 青狗尾草(*S. viridis*), 粒径范围 5.2~14.0 μm , 均值(8.2 $\pm$ 1.6) μm , 采自河北; (e) 糠稷(*Panicum bisulcatum*), 粒径范围 5.1~9.3 μm , 均值(6.9 $\pm$ 1.2) μm , 采自北京; (f) 金色狗尾草(*Setaria pumila*), 粒径范围 5.3~8.2 μm , 均值(6.6 $\pm$ 0.7) μm , 采自山东; (g) 棕叶狗尾草(*Setaria palmifolia*), 粒径范围 5.1~7.7 μm , 均值(5.7 $\pm$ 0.8) μm , 采自中国南方; (h), (k)和(n); (i)~(j), (l)~(m)和(o)~(p)分别为研磨后平均粒径增大和表面遭到破坏及消光减弱的粟(*Setaria italica*, 研磨后粒径范围 5.5~27.4 μm , 均值(11.8 $\pm$ 2.9) μm , 采自河南)、黍(*Panicum miliaceum*, 研磨后粒径范围 5.8~15.8 μm , 均值(8.8 $\pm$ 2.2) μm , 采自山西)和狗尾草(*Setaria viridis*, 研磨后粒径范围 5.5~12.3 μm , 均值(8.1 $\pm$ 2.1) μm , 采自北京)淀粉粒。比例尺 20 μm

类如下:

A类: 594颗。形态特征大多呈多面体型, 脐点居中开放, 大部分表面有通过脐点的放射状裂隙, 部分为横向或Y型裂隙(图4a和b)。旋转后仍为多面体。再结合粒径分布范围, 该类淀粉粒应来自粟、黍及狗尾草属(*Setaria* spp.)等粟类植物。该类淀粉粒可进一步细分为A1类: 具备表面褶皱和边缘粗糙的野生性质粟类植物(图4c); A2类: 粒径大于16.8 μm 的驯化型粟; 以及A3类: 其他来自粟类植物的淀粉粒(表2)。

B类: 26颗。圆角椭圆形, 脐点偏于一端, 闭合, 无裂隙, 无层纹(图4d)。该类淀粉粒具有栎属(*Quercus*)果实淀粉粒(杨晓燕等, 2009a)的特征, 应该来自橡子(表2)。

C类: 8颗。大都呈不规则的凸透镜状, 如椭圆形,

半圆形, 脐点居中, 有些隐约可见层纹, 表面有很多网状小凹坑, 旋转后侧面观呈一细长的椭球形, 中间有一纵向凹痕(图4e和f)。其表面形态和粒径大小与现代大麦属(*Hordeum*)淀粉粒非常类似(Yang和Perry, 2013)(表2)。

D类: 1颗(图4g)。提取自红山文化碱沟遗址的磨棒2。表面形态呈长椭圆形, 有深大通过脐点的纵贯裂隙。旋转后呈椭圆形, 中部有裂隙。其长轴长度分别为25.4 μm 。D类淀粉粒在形状、粒径上均与食用豆类植物淀粉粒一致(王强等, 2013), 可确定为来自食用豆类。

5 讨论

5.1 污染控制

利用残留物中淀粉粒进行器物功能和古人类植物利用分析, 通常采集存储器物库房的尘土样品(万智巍等, 2012a; Yang等, 2012a, 2014, 2015)、器物表层残留物和发掘现场器物旁边沉积物(Barton, 2007), 并对提取到的淀粉粒种类、数量和浓度等进行对比分析, 从而检验可能存在的污染情况。本次实验存储器物库房的尘土样品中未发现淀粉粒, 表明磨棒和磨盘在出土后的保存过程中未受到污染。但是, 由于实验中12件磨盘、磨棒均为田野考古发掘及采集后获得, 无法取到周围沉积物样品作对比。为判断磨

图4 西辽河地区全新世早中期遗址石器提取的淀粉粒图

(a)~(c) A类淀粉粒; (d) B类淀粉粒; (e), (f) C类淀粉粒; (g) D类淀粉粒; (h), (i) 表面损伤的淀粉粒; (j), (k) 十字消光减弱的淀粉粒。比例尺 20 μm

表 2 西辽河地区全新世早中期磨盘和磨棒表层残留物淀粉粒分类统计表^{a)}

实验室 编号	取样 部位	A			粒径范围和 平均粒径(μm)	B	粒径范围和 平均粒径(μm)	C	粒径范围和 平均粒径(μm)	D	粒径范围和 平均粒径(μm)	E	合计
		A1	A2	A3									
XHX 1	U	3	12	10		5		2		0		0	32
	N	1	6	5	8.6~25.6	1	10.8~21.5	0	18.7~23.2	0	0~0	0	13
XHX 2	U	7	20	15	17.4±3.5	6	15.4±4.8	0	21.0±2.3	0	0	1	49
	N	2	10	9		3		0		0		1	25
XLW 1	U	3	19	8		3		1		0		3	38
	N	2	12	13		2		1		0		3	33
XLW 2	U	2	14	11	9.2~27.8	2	11.4~20.6	0	19.2~21.5	0	0~0	0	29
	N	1	6	2	17.8±3.4	1	16.0±3.1	0	20.4±1.2	0	0	0	10
XLW 3	U	7	18	3		2		0		0		1	31
	N	3	15	6		1		0		0		1	26
ZBG 1	U	2	20	10	11.4~26.8	0	0~0	0	0~0	0	0~0	0	32
	N	0	16	10	18.3±4.2	0	0	0	0	0	0	0	26
HS 1	U	3	31	15		0		2		0		1	52
	N	0	5	5		0		0		0		0	10
HS 2	U	1	32	18		0		0		1		0	52
	N	0	7	5		0		1		0		0	13
HS 3	U	2	20	12	7.5~31.1	0	0~0	0	18.7~27.5	0	25.4	1	35
	N	1	15	10	18.0±3.6	0	0	0	19.9±4.0	0	25.4	0	26
HS 4	U	1	18	13		0		0		0		1	33
	N	1	15	9		0		0		0		0	25
HS 5	U	2	18	7		0		0		0		0	27
	N	1	10	2		0		1		0		0	14
HS 6	U	0	8	2		0		0		0		1	11
	N	0	0	1		0		0		0		0	1
合计		44	354	196		26		8		1		14	643
			594										

a) 取样位置U代表石器的使用面, N代表石器的非使用面

盘、磨棒是否受到文化层沉积物的影响, 本实验对器物的使用面和非使用面分别取样, 通过使用面和非使用面提取的淀粉粒数量与组合特征来判断污染情况。比较后发现, 12件磨盘和磨棒非使用面提取的淀粉粒数量均少于使用面提取的淀粉粒的数量(表2), 表明本次实验提取到的淀粉粒绝大部分是磨盘和磨棒使用过程中附着并留存下来的。此外, 多数淀粉粒表面可见明显的损伤特征, 如表面出现破损(图4h和i)、消光区域变得模糊(图4j和k)等, 根据前人对现代样品的模拟实验研究(葛威等, 2010; 马志坤, 2014), 这些特征与经受研磨的淀粉粒特征相似, 这也间接表明提取的淀粉粒是器物使用过程中附着并保留下

来的。

5.2 西辽河地区全新世早中期粟类植物利用

从西辽河地区全新世早中期石磨盘和磨棒表面残留物中提取的淀粉粒数量来看, 粟类植物淀粉粒始终占据绝对优势。从小河西文化、兴隆洼文化、赵宝沟文化到红山文化, 粟类植物的比例分别为84.0%、87.4%、100%和97.0%(表2), 反映了从全新世早期到中期, 粟类植物在西辽河地区古人类植物性食物中占据重要地位。

根据粟类植物二分式检索表以及模拟实验建立的区分标准(Yang等, 2012b; 马志坤, 2014), 对磨盘

磨棒表层残留物中获得的粟类植物淀粉粒进行了统计,发现从全新世早期到中期3500多年时间里,具备野生型粟类淀粉粒比例从13.0%下降到3.4%,与此同时,驯化型粟淀粉粒比例则从55.0%增加到62.1%(表2和图5)。考虑到小河西文化的南湾子北遗址曾浮选到碳化黍(孙永刚, 2015),我们认为粟类植物的驯化在小河西文化已经开始。分析结果与中国北方全新世早期河北徐水南庄头遗址(野生及驯化型粟类植物比例为38%、46.8%)和北京门头沟东胡林遗址(野生及驯化型粟类植物比例早期为32.3%、36.2%;晚期为14.9%、51.4%)的结果(Yang等, 2012a)比较,发现野生型粟类淀粉粒比例更低,而驯化型粟淀粉粒比例更高,很可能表明小河西文化、兴隆洼文化、赵宝沟文化和红山文化时期粟的驯化程度较南庄头和东胡林高。西辽河地区大植物遗存的证据表明,兴隆洼文化兴隆沟遗址浮选出的粟、黍形态特征和尺寸均有别于青狗尾草和现代种子(赵志军, 2004),而赵宝沟文化杜力营子、哈拉海洼和小善德沟遗址以及红山文化魏

家卧铺遗址出土的粟、黍则被明确鉴定为已驯化(孙永刚, 2015),尤其是魏家卧铺遗址,粟、黍的形态特征和大小与现代种子基本一致(孙永刚等, 2012; 孙永刚和赵志军, 2013),我们的淀粉粒分析结果一方面为上述大植物遗存结果提供了微体植物遗存证据的支持,另一方面,依然反映出粟类植物驯化是在漫长的时间中逐渐完成的。

5.3 西辽河地区全新世早中期与粟类植物伴生的植物利用

值得注意的是,很多植物淀粉粒含量比较少或不含有淀粉,如大豆(*Glycine max*)及大部分果蔬;还有些植物不需碾磨可直接食用,如野葡萄(*Vitis spp.*)等浆果类植物,所以,磨盘、磨棒等石器上的淀粉粒遗存只是反映了被人类加工过的淀粉类植物组合,并不是当时全部的伴生植物的结构。

西辽河地区已获得的大植物遗存除粟类植物外,有小河西文化查海遗址和南湾子北遗址出土的山杏

图5 西辽河地区全新世早中期各遗址粟类植物比例变化分析

褐色: 野生特征粟类植物数量; 蓝色: 表面光滑特征粟类植物数量; 红色: 粒径大于16.8μm 粟类植物数量; 绿色: 粒径小于16.8μm 粟类植物数量

(*Armeniaca sibirica*)、猪毛菜(*Salsola collina*)和大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)(索秀芬和李少兵, 2008; 孙永刚, 2015), 兴隆洼文化杜力营子、哈拉海洼和小善德沟遗址出土的锦葵属(*Malva*)植物(孙永刚, 2015), 红山文化魏家卧铺遗址出土的食用豆类种子(孙永刚等, 2012; 孙永刚和赵志军, 2013)。西辽河地区全新世早中期石磨盘和磨棒表面残留物中伴生植物淀粉粒含量最多的是橡子, 其次是大麦属植物, 还包含了个别食用豆类的淀粉粒(表2), 这些淀粉遗存, 是对上述大植物遗存的补充, 而这些与粟、黍驯化过程相伴生的植物遗存, 也说明西辽河地区古人类植物利用的多样性。

伴随着粟作农业在西辽河地区的逐渐形成, 这些伴生植物的淀粉粒含量则从小河西文化的16%下降到兴隆洼文化的12.6%; 赵宝沟文化时期未发现伴生植物; 到了红山文化时期, 大麦属植物和食用豆类植物比例为3%(表2和图6)。也就是说, 从全新世早期到中期, 除赵宝沟文化外, 小河西文化、兴隆洼文化和红山文化伴生植物比例逐渐减少, 这可能与粟作农业在生计模式中的比重逐渐增加有关, 但食物加

工方式, 环境变化导致可利用植物资源种类和分布范围发生变化等原因也不可忽视, 具体情况还需要进一步工作。赵宝沟文化的淀粉粒分析结果中没有发现伴生植物, 很可能是样品量太少(1件磨棒, 58颗淀粉粒)造成的统计误差。

6 结论

本文对西辽河地区小河西文化、兴隆洼文化、赵宝沟文化和红山文化12件磨盘和磨棒表层残留物进行淀粉粒分析, 提取出了来自粟类、橡子、大麦属和豆科植物的淀粉粒。对粟类植物淀粉粒出现频率的统计分析, 发现8.5~5.0ka BP这3500年间, 表面褶皱, 边缘粗糙的野生型粟类植物淀粉粒比例从13.0%下降到3.4%; 而粒径在16.8 μ m以上驯化型粟淀粉粒比例从55.0%增加到62.1%, 反映出粟类植物从早于8500年前的小河西文化就已经开始被驯化; 而且也为此前提出的粟的驯化过程极其漫长的“假说”提供了新的支持证据。

图6 西辽河地区全新世早中期各遗址伴生植物比例变化分析

褐色: 粟类植物数量; 蓝色: 伴生植物数量

致谢 感谢审稿专家提出的修改意见, 感谢翁牛特旗博物馆庞昊和道日吉, 赤峰学院康小东协助采集考古遗址样品。

参考文献

- 葛威, 刘莉, 陈星灿, 金正耀. 2010. 食品加工过程中淀粉粒损伤的实验研究及在考古学中的应用. 考古, (7): 77–86
- 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
- 刘国祥. 2006. 西辽河流域新石器时代至早期青铜时代考古学文化概论. 辽宁师范大学学报(社会科学版), 29: 113–122
- 刘晋祥, 董新林. 1996. 浅论赵宝沟文化的农业经济. 考古, (2): 61–65
- 马志坤. 2014. 中国北方粟作农业形成过程. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所. 216
- 索秀芬, 李少兵. 2008. 小河西文化聚落形态. 内蒙古文物考古, (1): 55–60
- 索秀芬, 李少兵. 2014. 燕山南北地区新石器时代考古学文化序列和格局. 考古学报, (3): 293–326
- 苏秉琦, 殷玮璋. 1981. 关于考古学文化的区系类型问题. 文物, (5): 10–17
- 孙永刚, 曹建恩, 井中伟, 赵志军. 2012. 魏家窝铺遗址2009年度植物浮选结果分析. 北方文物, (1): 37–40
- 孙永刚, 赵志军. 2013. 魏家窝铺红山文化遗址出土植物遗存综合研究. 农业考古, (3): 1–5
- 孙永刚. 2015. 西辽河上游地区与中原地区史前生业方式比较研究. 辽宁师范大学学报(社会科学版), (2): 269–275
- 万智巍, 杨晓燕, 葛全胜, 樊昌生, 周广明, 蒋梅鑫. 2012a. 淀粉粒分析揭示的赣江中游地区新石器晚期人类对植物的利用情况. 中国科学: 地球科学, 42: 1582–1589
- 万智巍, 杨晓燕, 李明启, 马志坤, 葛全胜. 2012b. 中国常见现代淀粉粒数据库. 第四纪研究, 32: 371–372
- 王强, 贾鑫, 李明启, 杨晓燕. 2013. 中国常见食用豆类淀粉粒形态分析及其在农业考古中的应用. 文物春秋, (3): 3–11
- 杨虎, 林秀贞. 2009. 内蒙古敖汉旗小河西遗址简述. 北方文物, (2): 3–7
- 杨晓燕, 孔昭宸, 刘长江, 张芸, 葛全胜. 2009a. 中国北方主要坚果类淀粉粒形态对比. 第四纪研究, 29: 153–158
- 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. 2009b. 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: 地球科学, 39: 1266–1273
- 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
- 杨子林. 2008. 西辽河地区的农业起源及其早期发展. 辽宁师范大学学报(社会科学版), 31: 130–132
- 赵宾福. 2005. 红山文化研究历程及相关问题再认识. 内蒙古大学学报(人文社会科学版), 4: 53–58
- 赵志军. 2004. 从兴隆沟遗址浮选结果谈中国北方旱作农业起源问题. 见: 南京师范大学文博系. 编. 东亚古物(A卷). 北京: 文物出版社. 188–199
- 赵志军. 2006. 小米起源的研究—植物考古学新资料和生态学分析. 见: 中国社会科学院考古研究所, 瑞典国家遗产委员会考古研究所. 编. 中国考古学与瑞典考古学: 第一届中瑞考古学论坛文集. 北京: 科学出版社. 98–104
- 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
- Barton H. 2007. Starch residues on museum artefacts: implications for determining tool use. J Archaeol Sci, 34: 1752–1762
- Diamond J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. Nature, 418: 700–707
- Fuller D Q, Qin L, Zheng Y F, Zhao Z J, Chen X G, 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
- Jones M K, Liu X Y. 2009. Origins of agriculture in East Asia. Science, 324: 730–731
- 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. 2009. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10000 year ago. Proc Natl Acad Sci USA, 106: 7367–7372
- Tanno K, Willcox G. 2006. How fast was wild wheat domesticated? Science, 311: 1886–1886
- Yang X Y, Wan Z W, Perry L, Lu H Y, Wang Q, Zhao C H, Li J, Xie F, Yu J C, Cui T X, Wang T, Li M Q, Ge Q S. 2012a. Early millet use in China. Proc Natl Acad Sci USA, 109: 3726–3730
- Yang X Y, Zhang J, Perry L, Ma Z K, Wan Z W, Li M Q, Diao X M, Lu H Y. 2012b. From the modern to the archaeological: Starch grains from millets and their wild relatives in China. J Archaeol Sci, 39: 247–254
- Yang X Y, Perry L. 2013. Identification of ancient starch grains from the Tribe Triticeae in the North China Plain. J Archaeol Sci, 40: 3170–3177
- Yang X Y, Ma Z K, Wang T, Perry L, Li Q, Huang X J, Yu J C. 2014. Starch grain evidence reveals early pottery function cooking plant foods in North China. Chin Sci Bull, 59: 4352–4358
- Yang X Y, Ma Z K, Zhuang Y J, Li J, Yu J C. 2015. Comparing subsistence strategies in different landscapes of North China 10000 years ago. Holocene, doi: 10.1177/0959683615596833