论文

气候变化背景下人类的演化与适应专题

江苏无锡杨家遗址植物遗存分析

邱振威^{①②}, 刘宝山^③, 李一全^③, 尚雪^①, 蒋洪恩^{①*}

① 中国科学院大学人文学院考古学与人类学系, 北京 100049;

② 中国国家博物馆田野考古研究中心, 北京 100006;

③ 无锡市文化遗产保护和考古研究所, 无锡 214001

* 通讯作者, E-mail: jianghongen@ucas.ac.cn

收稿日期: 2016-01-13; 接受日期: 2016-05-10; 网络版发表日期: 2016-08-04

中国科学院战略性先导科技专项项目(编号: XDA05130501)和国家自然科学基金项目(批准号: 41471167, 41102114)资助

摘要 考古调查和初步试掘表明, 江苏无锡杨家遗址是太湖流域北部一处以马家浜文化晚期(6270~5920cal. a BP)堆积为主体的新石器时代遗址. 为了解太湖北部史前遗址的植被景观、环境特征及稻作农业情况, 本文在杨家遗址开展了较为系统的植物考古工作. 炭化水稻的百分含量、出土概率和标准密度等指标在所有出土的种子类植物遗存中均为最高. 除此之外, 杨家遗址还出土了小二仙草科、莎草科、苔草属、酢浆草等多种湿地杂草. 孢粉和植硅体分析结果表明, 马家浜文化晚期杨家遗址及其附近的环境景观为: 以栎属和栲属为代表的亚热带常绿-落叶阔叶混交林趋于减少, 以禾本科为代表的陆生草本植物发育, 水域面积扩大、水体活动加强, 气候总体温暖湿润, 呈现适宜稻作农业发展的湿地景观. 大植物遗存、孢粉和植硅体等多种记录表明, 杨家遗址被利用以前其所在区域即有野生稻分布; 马家浜文化晚期, 稻作农业得到迅速发展.

关键词 浮选, 孢粉, 植硅体, 植被景观, 稻作农业

1 引言

水稻是亚洲贡献给全球农业经济的重要栽培作物, 其重要性不断激励人们追溯其起源和发展历程. 我国稻作农业起源和发展的探讨, 融合了考古学、植物考古学和环境考古学等的研究成果, 但仍未形成统一的认识. 目前一般认为, 新石器时代早期或全新世初期稻作农业起源于中国长江中下游地区(严文明, 1982, 2000; 陈淳和郑建明, 2005; 朱乃诚, 2005;

Wang等, 2010; Zhao, 2010; 赵志军, 2013), 至少崧泽文化(5800~5300a BP)以来进入成熟阶段(赵志军, 2009; Fuller, 2011). 稻作农业的产生与发展不仅在一定程度上改变了长江中下游地区史前植被景观, 而且极大地促进了区域考古学文化的发展与变迁.

基于对水稻的关注, 学者们分别从考古学、农学、古植物学、第四纪环境等方面对长江三角洲地区的史前遗址开展了多学科角度的研究(林留根, 2000; 孙亮等, 2001; 丁金龙和张铁军, 2004; Jin等, 2007;

中文引用格式: 邱振威, 刘宝山, 李一全, 尚雪, 蒋洪恩. 2016. 江苏无锡杨家遗址植物遗存分析. 中国科学: 地球科学, 46: 1051-1064, doi: 10.1360/N072015-00272
英文引用格式: Qiu Z W, Liu B S, Li Y Q, Shang X, Jiang H E. 2016. Analysis of plant remains at the Neolithic Yangjia Site, Wuxi City, Jiangsu Province (East China). Science China Earth Sciences, 59: 1803-1816, doi: 10.1007/s11430-016-5326-4

Zong等, 2007; 丁金龙, 2010). 部分学者从考古学、植物考古学、古环境等角度对长江三角洲地区钱塘江下游的田螺山遗址的自然遗存进行整合分析(Li等, 2012), 构建了河姆渡文化时期田螺山遗址的环境景观、植物资源的选择与利用、食物生产、水稻栽培等方面的信息(秦岭等, 2010; 傅稻镰等, 2011). 该遗址河姆渡文化时期堆积中出土的植物遗存以橡子、菱角、芡实和水稻为主, 而水稻粒型和小穗轴研究表明栽培稻仅占三分之一左右. 再结合水稻田的发现和研究, 初步认为田螺山遗址河姆渡文化时期(6900~6500a BP)水稻正处于驯化过程中, 采食经济仍占据重要成分甚至是主体, 但是稍晚阶段水稻渐多、橡子等骤减的趋势已经逐渐体现出来(Fuller等, 2009; Zheng等, 2009; Fuller和Qin, 2010).

近年来, 一些较为系统的专题植物考古研究工作得以开展, 极大地提升了我们对于长江三角洲地区史前生业形态发展演变情况的认识. 如通过梳理太湖地区早期出土的一些新石器时代遗址的动植物遗存和生产工具资料, 揭示马家浜文化以来的生业经济形态及其演变趋势, 进而与环境变迁和社会演变进行对比(夏伙根, 2008); 分析太湖南部杭嘉湖平原的马家浜、小兜里、茅山、玉架山四个遗址的大植物遗存, 探讨环太湖地区马家浜文化到良渚文化时期的植物遗存和生业经济形态(高玉, 2012); 太湖流域东部发现的多处马家浜文化(草鞋山遗址、埭墩遗址、姜里遗址)、崧泽文化(澄湖遗址、姜里遗址)和良渚文化(朱墓村遗址)时期的水田, 为探讨水田稻作农业生产及其发展过程提供了有力的证据(邹厚本等, 2000; 苏州博物馆等, 2003; 丁金龙, 2004; 丁金龙等, 2004; Li等, 2007; Hu等, 2013; 邱振威等, 2013, 2014b; Qiu等, 2014). 近几年大规模发掘的广富林遗址开展的系统植物考古学研究, 补充了太湖流域广富林-钱山漾文化阶段(4300~3800a BP)的生业经济情况(王海玉等, 2013; 郭晓蓉, 2014).

然而, 太湖流域北部史前遗址缺乏较为系统的植物考古工作, 不利于对区域植物资源历时性和共时性的整体认识, 也有碍于区域植被景观的构建和较大范畴环境背景下的考量. 因此, 针对太湖流域北部的研究工作可弥补区域植物考古工作的缺环, 进一步完善太湖流域的植被景观和稻作农业体系构建. 通过梳理太湖流域北部已发掘或发现的史前考古遗址, 我们选择了紧邻太湖北岸的无锡杨家遗址开展

植被和环境分析, 而且便于同其南侧的古胥湖钻孔自然沉积进行后续比较研究.

2 遗址试掘

杨家遗址位于江苏省无锡市滨湖区马山镇阖闾村杨家一组的白药山特种水泥厂厂区和厂区以西210m范围内(31°31'08.61"N, 120°06'57.82"E, 海拔6m). 遗址西邻阖闾江, 南接古胥湖, 东依胥山, 为胥山延伸的岗地型遗址(图1).

经调查, 遗址目前未被厂区覆盖的面积约 $4 \times 10^4 \text{m}^2$, 文化内涵以马家浜文化、崧泽文化和良渚文化为主, 兼有商周时期遗存, 文化层堆积最厚达2m以上. 地表采集有腰沿釜、牛鼻耳罐、灰陶高柄豆残片等, 另可见大块红烧土块. 为进一步了解杨家遗址的文化内涵、完善太湖北部新石器时代考古学文化的发展序列以及认识相应稻作农业和环境景观, 2013年4月我们对遗址进行了小规模试掘. 在前期钻探的基础上, 选取堆积较厚的区域, 采用 $2\text{m} \times 4\text{m}$ 探沟进行发掘. 遗址保存状况较好, 文化内涵丰富, 试掘探方T1的堆积情况详见表1.

杨家遗址经试掘揭露出的遗迹主要是灰坑, 出土遗物以陶器为主, 器型包括釜、鼎、罐、盆等. 陶器以夹砂红陶和泥质红陶为主, 另有少量灰陶, 基本为素面. 对比草鞋山遗址和圩墩遗址出土陶器(主要为釜), 杨家遗址T1⑬~④层相对年代当为马家浜文化晚期, 其中T1⑨~④层与马家浜文化末期相当(图2). T1⑬层、T1⑫层分别为马桥文化(3900~3200a BP)和明清时期, T1①层为现代表土.

图1 杨家遗址位置图

表 1 杨家遗址试掘 T1 堆积描述

堆积单位	深度(cm)	厚度(cm)	土色	土质	包含物
①	0~20	18~20	灰	疏松砂土	植物根系, 青瓷片
②	16~42	21~24	灰	松软黏土	大量铁锈斑、植物根系, 青花瓷片
③	40~62	19~22	青灰	松软黏土	个别红烧土颗粒
④	60~90	28~30	黄褐	较硬黏土	较多红烧土块、少量炭屑, 陶片、石块
⑤	65~91	0~26	黄	坚硬致密黏土	个别红烧土颗粒
⑥	88~99	0~11	黄褐	坚硬致密黏土	个别红烧土颗粒
⑦	90~127	28~37	灰褐	坚硬致密黏土	少量红烧土块、红烧土颗粒、炭屑, 陶片、石块
⑧	127~147	0~20	灰黑	松软黏土	少量红烧土颗粒、炭屑, 陶片
⑨	120~162	19~40	浅灰褐	较硬黏土	较多红烧土颗粒、少量炭屑, 陶片、石块
⑩	162~182	0~20	深灰褐	较硬黏土	少量红烧土颗粒、炭屑, 陶片
⑪	162~202	0~40	灰褐	较硬黏土	少量红烧土颗粒、较多炭屑, 陶片
⑫	202~230	0~28	黄褐	坚硬致密黏土	少量红烧土颗粒、炭屑, 陶片、石块
⑬	230~255	0~25	灰黑	松软黏土	个别红烧土颗粒、较多炭屑, 陶片
生土	255以下		黄	坚硬致密黏土	铁锰颗粒
H1(开口③层下)	68~77	0~9	灰	坚硬致密黏土	少量烧土颗粒, 陶片
H2(开口③层下)	65~132	0~68	浅灰	疏松砂土	陶片
H3(开口④层下)	90~115	0~25	灰褐	坚硬致密黏土	少量烧土颗粒, 陶片
H4(开口④层下)	92~107	0~15	灰褐	坚硬致密黏土	少量烧土颗粒, 陶片
H5(开口⑤层下)	91~123	0~32	灰褐	坚硬致密黏土	少量烧土颗粒, 陶片
H6(开口⑦层下)	132~147	0~15	灰	疏松砂土	陶片
H7(开口⑦层下)	127~153	0~26	黄褐	坚硬致密黏土	少量烧土颗粒, 陶片
H8(开口⑪层下)	205~255	0~50	灰绿	疏松黏土	少量红烧土颗粒、炭屑, 陶片, 动物骨骼
H9(开口⑨层下)	170~234	0~67	灰	疏松黏土	少量红烧土颗粒、较多炭屑, 陶片, 动物骨骼

图 2 杨家遗址 T1 出土陶片

(a) 罐口沿(T1-④-1); (b)~(d) 釜钵手(T1-④-2, T1-⑪-5, T1-⑦-1); (e) 盆口沿(T1-⑨-1); (f) 鼎足(T1-⑪-6). 比例尺: (a)~(e), 4cm; (f), 2cm

3 材料与方法

3.1 样品采集

对所有堆积单位进行浮选土样的采集, 每份样品6L左右, 共计19份土样. 浮选土样采集分两部分进行, 一部分是发掘过程中堆积关系比较明确的初露

堆积当场采集, 另一部分是在发掘完成后从探方剖面采集. 选取堆积比较连续的T1南壁剖面(缺少⑤层和⑩层)以柱状采样法采集微体化石分析土样(以文化层堆积为大的取样分割单元, 采样间距在此基础上一般为5cm), 共计22个(图3). 剔除⑦层和⑨层最上部分别与⑥层和⑧层深度较为接近的2个样

图3 杨家遗址 T1 南壁柱状采样剖面

品,用于植硅体和孢粉提取与分析的样品均为20个。

3.2 实验方法

大植物遗存提取所用的浮选法为小水桶浮选系统(赵志军, 2004),且根据土壤黏性较大的特点结合了水洗法以获取更多的植物遗存(邱振威等, 2014a)。利用体视显微镜(Nikon SMZ1000)对大植物遗存进行挑选和鉴定。微体植物遗存的提取分别参考目前国内外从沉积物中提取孢粉(王开发和王宪曾, 1983; Lentfer等, 2003)和植硅体(Piperno, 1988; 王永吉和吕厚远, 1993)的一般流程,并根据中国南方酸性土壤沉积物的特点略有调整。分别采用甘油和加拿大树胶

作为孢粉和植硅体的观察载体或介质,在生物显微镜(Nikon Eclipse LV100POL)下进行鉴定、统计和拍照。选取500粒作为单个样品的孢粉或植硅体统计总量标准。然后用Tilia(Locatelli, 2011)软件制作孢粉和植硅体百分比和浓度图谱,并利用聚类方法(CONISS)(Grimm, 1987, 1993)辅助分区。植硅体命名遵照国际植硅体命名规则(International Code for Phytolith Nomenclature)(Madella等, 2005)。室内实验在中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室进行。

4 结果

4.1 绝对年代

浮选所得炭化水稻送往北京大学考古年代学实验室经AMS ^{14}C 年代测定并校正(Bronk Ramsey, 2005; Reimer等, 2009)(表2)。结果显示H9和T1④层的绝对年代数据与对应的相对年代一致,属于马家浜文化晚期(6270~5920cal. a BP)。

4.2 大植物遗存

浮选获得的植物遗存中经鉴定的植物种子有水稻(*Oryza sativa*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)、狗尾草属(*Setaria* sp.)、苔草属(*Carex* sp.)、蓼属(*Polygonum* sp.)、飘拂草属(*Fimbristylis* sp.)、小二仙草科(Haloragidaceae)、报春花科(Primulaceae)、莎草科(Cyperaceae)、禾本科(Poaceae)、黍亚科(Panicoideae)、藜科(Chenopodiaceae)、豆科(Leguminosae)等,隶属8科6属(图4)。由表3知,水稻、酢浆草、苔草属和小二仙草科植物应是马家浜文化晚期杨家遗址的几种主要草本植物。

表2 杨家遗址 AMS ^{14}C 测年结果

实验室编号	样品	出土单位	碳十四年代(a BP)	树轮校正后年代	
				1 δ (68.2%)	2 δ (95.4%)
BA131756	炭化水稻	H9(开口⑨下)	5340 $\pm$ 30	6200a BP (9.9%) 6170a BP	6270a BP (3.0%) 6240a BP
				6160a BP (27.0%) 6110a BP	
				6080a BP (31.3%) 6020a BP	6220a BP (92.4%) 6000a BP
				6180a BP (11.0%) 6150a BP	
BA131757	炭化水稻	T1④	5265 $\pm$ 45	6120a BP (25.1%) 6040a BP	6190a BP (95.4%) 5920a BP
				6030a BP (32.0%) 5940a BP

图 4 杨家遗址植物遗存

(a) 水稻 (*Oryza sativa*); (b) 水稻小穗轴; (c) 狗尾草属 (*Setaria* sp.); (d) 未知; (e) 酢浆草 (*Oxalis corniculata*); (f) 飘浮草 (*Fimbristylis* sp.); (g) 莎草科 (*Cyperaceae*); (h) 藜科 (*Chenopodiaceae*); (i) 报春花科 (*Primulaceae*); (j) 豆科 (*Leguminosae*); (k) 苔草属 (*Carex* sp.); (l) 黍亚科 (*Panicoideae*). 比例尺: (a) 2mm; (d)~(f), (k) 1mm; (b), (c), (g)~(j), (l) 0.5mm

表 3 杨家遗址植物种子与炭屑统计表

堆积单位	样品量 (L)	炭化植物种子(粒)													炭屑重量(g)
		水稻	水稻小穗轴	狗尾草属	禾本科	莎草科	黍亚科	苔草属	藜科	小二仙草科	豆科	报春花科	飘拂草	酢浆草	
H1	5														0.0138
H2	5								9				8		0.0001
T1④	23	3							3				3		0.0147
H3	6.5														0.0005
H4	3.5	1									1				0.0255
T1⑤	7														0.0001
H5	3.5			1											0.0018
T1⑥	5														0.0001
T1⑦	11.5	2				1									0.0165
H6	6											1			0.0001
H7	5														0.0001
T1⑧	5.5	1													0.0135
T1⑨	9							4						1	0.0242
H9	17.2	9	37	4		2	2	16	2		1	3		2	0.6001
T1⑩	10	2								5		1		5	0.0170
T1⑪	7				2									1	0.0192
H8	5	1													0.0022
T1⑫	5	1	2		1										0.0411
T1⑬	2.4														0.0001

4.3 孢粉记录

本研究提取到的孢粉类型主要包括: 属于裸子植物为松属(*Pinus*)、罗汉松属(*Podocarpus*)、云杉(*Picea*); 属于被子植物木本类型的为栲属(*Castanopsis*)、栎属(*Quercus*)、枫香树属(*Liquidambar*)、榆属(*Ulmus*)、桤木属(*Alnus*)、榛属(*Corylus*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、桃金娘科(*Myrtaceae*)等; 草本类主要是陆生的禾本科(*Poaceae*)、豆科(*Fabaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、车前草属(*Plantago*)、莎草科(*Cyperaceae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、紫菀型菊科(*Aster-type Asteraceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、苋科(*Amaranthaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、瑞香科(*Thymelaeaceae*)、蓼属(*Polygonum*)、蓼科(*Polygonaceae*)等, 另有水生草本香蒲(*Typha*); 蕨类孢子主要是水蕨属(*Ceratopteris*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)、凤尾蕨属(*Pteris*)和其他三缝孢(*Triletes*)、单缝孢(*Monoletes*)等。以下为分带描述(图5)。

(1) 带1(生土层、⑬、⑫层, 202cm以下): 榆属-栎属-栲属-禾本科带。陆生花粉总浓度较低(平均334个/g干样), 且逐渐减少。该带以乔木花粉为主(平均约76%), 且后期略有增多。乔木花粉主要为榆属、栎属和栲属, 其中榆属逐渐增多(后期达60%)而栎属逐渐减少, 另有少量松属和桤木属花粉。陆生草本和灌木花粉以禾本科、藜科和蔷薇科为主, 且趋于减少。禾本科花粉(平均18%)又以水稻型(粒径大于40 μ m)(孙湘君等, 1981; 羊向东等, 1996; Chaturvedi等, 1998; Zong等, 2007; Qiu等, 2014)居多(平均13%, 88个/g干样), 但后期骤然减少; 小型禾本科花粉(粒径小于40 μ m)平均浓度为12个/g干样(平均5%)。未见水生草本植物花粉。蕨类孢子中仅见三缝孢一种(平均24个/g干样)。

(2) 带2(⑪、⑩、⑨、⑧、⑦层, 202~90cm): 榆属-栎属-栲属-禾本科带。陆生花粉总浓度很低(平均125个/g干样), 且呈现出逐渐降低的趋势。该带乔木花粉自上带结束时骤减, 然后逐渐增多, 平均含量约60%(25~83%); 陆生草本花粉变化趋势正好与之相反, 呈现逐渐减少的趋势。乔木花粉以榆属、栎属和栲属为主, 其百分含量分别为41%、10%和5%, 另有少量松属、榛属、桤木属、鹅耳枥属、桃金娘科等。陆

生草本花粉以禾本科为主, 且比上带显著增多; 其中水稻型花粉含量偏高但浓度很低(24%, 平均37个/g干样), 小型禾本科花粉含量约14%(平均浓度21个/g干样)。此外, 还有少量藜科、蒿属。未见水生草本花粉。蕨类植物以三缝孢为主(平均31个/g干样), 个别堆积出现单缝孢(4个/g干样)。

(3) 带3(⑥、④层, 100~65cm): 榆属-栎属-栲属-禾本科-藜科带。陆生花粉总浓度降至最低(平均92个/g干样)。该带以陆生草本花粉为主(平均含量约58%), 乔木花粉含量较上带有明显降低(平均含量约40%)。乔木中以榆属(平均约17%)、栎属(平均约13%)和栲属(平均约6%)为主, 另有少量松属。榆属花粉含量在本带逐渐减少, 至最上面一个堆积样品仅约6%。陆生草本花粉以禾本科(平均约43%)和藜科(平均约7%)为主, 另有少量车前草属和蒿属。禾本科中, 水稻型花粉含量逐渐增多, 平均约22%(14~29%); 小型禾本科花粉逐渐减少, 平均约21%(12~29%); 二者平均浓度较低, 均为21个/g干样。水生草本香蒲花粉在本带最上面一个样品中以极低浓度(1个/g干样)出现。三缝孢浓度(平均37个/g干样)较上带有所增加。

(4) 带4(③、②层, 65~20cm): 栎属-栲属-松属-禾本科-藜科带。陆生花粉总浓度急剧升高(147~30244个/g干样), 并达到最大值。该带以陆生草本花粉为主且种类和含量逐渐增多(49~77%), 乔木花粉继续减少(23~31%), 但种类趋于增加。乔木花粉中以栎属(平均含量约15%)、栲属(平均含量约6%)和松属(平均含量约5%)为主, 另有少量榆属、枫香树属、桃金娘科、榛属和罗汉松属等。榆属花粉含量的骤降是该带的显著特点之一。陆生草本花粉仍以禾本科为主体, 平均含量达到55%。其中, 水稻型花粉含量继续攀升, 平均含量约40%(最高达50%)且浓度最大值达到了14975个/g干样(平均约5811个/g干样); 小型禾本科相对较稳定, 平均含量约15%(平均浓度约2109个/g干样)。藜科花粉含量也有逐渐增多的趋势。此外, 还有少量豆科、菊科、车前草属、莎草科、蓼科、石竹科、苋科、蒿属、瑞香科等。水生草本香蒲属花粉浓度逐渐增大, 平均约76个/g干样。以水蕨、水龙骨科和三缝孢为代表的蕨类孢子的浓度也呈现升高的趋势(92~4287个/g干样)。

(5) 带5(①层, 20~0cm, 表土): 栎属-松属-栲属-禾本科带。陆生花粉总浓度较上带最大值有所降低

图5 杨家遗址孢粉记录

(3170个/g干样). 该带仍以陆生草本花粉为主但含量略有降低(55%), 同时乔木花粉含量有所升高(45%)但种类趋于减少. 乔木中, 栎属(18%)、松属(14%)和栲属(9%)占据主体, 另有少量榆属(3%). 陆生草本以禾本科(约40%)和藜科(5%)为主, 还有少量豆科、菊科、车前草属、莎草科、蒿属、瑞香科等. 水稻型禾本科花粉百分比和浓度较上带有所降低(26%和827个/g干样), 而小型禾本科含量仍然比较稳定(14%)但浓度降低(431个/g干样). 水生香蒲花粉未见. 蕨类孢子浓度降低, 主要为水蕨、凤尾蕨、三缝孢和单缝孢.

4.4 植硅体记录

植硅体类型主要包括: 扇型、方型、长方形、平滑棒型、突起棒型、刺状棒型、尖型、帽型、齿型、长鞍型、哑铃型、水稻双峰型、木本型. 另有少量海绵骨针和导管. 总体上, 各堆积单位的植硅体基本均以扇型、平滑棒型、尖型、方型和长方形为主. 鉴定出的植物种类有水稻(*Oryza sativa*)、芦苇(*Phragmites australis*)、竹亚科(*Bambusoideae*)、早熟禾亚科(*Pooideae*)、海绵骨针(*Sponge spicule*)等. 此外, 还发现少量硅藻(*Diatom*). 下面分带描述(图6).

(1) 带1(生土层、⑬、⑫层, 202cm以下). 植硅体总浓度为57147个/g干样. 该带以平滑棒型(平均约40%)和扇型(平均约33%)为主, 且前者逐渐减少后者趋于增多; 尖型植硅体含量较为稳定(平均约4%). 水稻扇型植硅体含量整体呈现增多趋势, 但在本带结束时骤然减少; 其平均含量约6%(2~10%), 平均浓度约3915个/g干样(230~6725个/g干样). 生土层中发现较高浓度的水稻扇型植硅体(3186个/g干样). 此外, 还有少量水稻双峰型(约1%)、芦苇扇型、竹扇型、长鞍型等. 水稻双峰型植硅体浓度平均约446个/g干样(211~619个/g干样). 木本型含量较低(平均约1%), 平均浓度约900个/g干样. 海绵骨针含量不足1%, 平均浓度约164个/g干样. 硅藻平均浓度约251个/g干样. 气候指数呈现升高趋势(平均约0.8), 指示气温转暖.

(2) 带2(⑪、⑩、⑨、⑧、⑦层, 202~90cm). 植硅体总浓度骤升, 平均约162018个/g干样(35717~424312个/g干样). 该带扇型植硅体百分比骤增至平均约60%(47~71%), 平滑棒型锐减至平均约20%(8~37%), 其中有两次波动. 尖型植硅体含量较为稳定(平均约5%). 水稻扇型植硅体含量继续增加

(7~15%), 平均约12%; 其浓度也呈现波动增长的趋势, 平均约18024个/g干样(5291~47077个/g干样). 水稻双峰型植硅体浓度同样骤增, 平均约1824个/g干样(310~5575个/g干样). 百分含量较少的芦苇扇型、竹扇型、长鞍型和哑铃型等植硅体的浓度也呈现增加的趋势. 木本型植硅体含量略有降低(平均不足1%), 但浓度略有增加(平均约1012个/g干样). 海绵骨针含量稳定, 平均浓度增加(约607个/g干样). 硅藻含量则明显减少, 仅见于该带最下面一个堆积样品(浓度约531个/g干样). 气候指数同样表现为整体增加但有波动, 至该带最上面堆积又迅速减少(平均约3.0, 变化范围1.0~5.7), 表明总体变暖但不乏波动的气候特征.

(3) 带3(⑥、④层, 100~65cm). 植硅体总浓度降低, 平均约81436个/g干样(19685~196051个/g干样). 该带扇型植硅体含量有所减少, 平均约53%(49~58%), 平滑棒型也呈现减少趋势, 平均约16%(15~19%). 尖型植硅体含量增加(平均约8%). 水稻扇型植硅体含量逐渐减少至平均约6%(4~8%), 浓度较上带明显减少(平均约3956个/g干样)但本带内略有增加(1323~8362个/g干样). 水稻双峰型植硅体的含量和浓度较上带均有所降低(平均约517个/g干样)但带内也逐渐升高(126~1239个/g干样). 芦苇扇型、竹扇型和哑铃型等含量较上带略有增加. 木本型植硅体含量增加至平均约2%, 但浓度减少至平均721个/g干样. 海绵骨针含量和浓度略有增加(平均浓度约723个/g干样), 硅藻未见. 气候指数略有降低(平均约2.3, 变化范围2.0~2.8), 仍指示温暖的气候特征.

(4) 带4(③、②层, 65~20cm). 植硅体总浓度升高, 平均约194041个/g干样, 但是整体呈现逐渐降低的趋势(61215~547269个/g干样). 该带扇型植硅体含量有所降低(平均约46%), 平滑棒型略有增加(平均约20%). 尖型植硅体含量略增(平均约9%). 水稻扇型植硅体含量继续减少(最低至1%, 平均不足2%); 浓度也继续减少(1084~6504个/g干样), 至本带上部保持稳定(平均约1284个/g干样). 水稻双峰型植硅体含量稳定(不足1%); 浓度自上带结束到本带开始骤增至6504个/g干样, 然后锐减并稳定至3522个/g干样. 芦苇扇型、竹扇型、长鞍型、哑铃型等植硅体的含量和百分比均有所增加. 木本型植硅体含量减少(平均约1%), 但浓度骤增至平均2344个/g干样. 海绵骨针含量略增(近1%), 同时浓度骤增至平均约2091个/g干

图6 杨家遗址植硅体记录

样, 不见硅藻。气候指数比较稳定(平均约1.9), 指示较为温暖的气候环境。

(5) 带5(①层, 20~0cm, 表土)。植硅体总浓度继续降低(约56864个/g干样)。该带扇型植硅体含量增加至55%, 平滑棒型减少至15%。尖型植硅体含量减少(约4%)。水稻扇型植硅体含量和浓度比较稳定, 分别约2%和1394个/g干样。水稻双峰型植硅体含量和浓度较上带均很稳定(3717个/g干样)。不见芦苇扇型。竹扇型、长鞍型和哑铃型含量和浓度与上带结束保持稳定。木本型植硅体含量稳定(平均约1%), 但浓度锐减至平均465个/g干样。海绵骨针含量达到1%, 浓度减少(650个/g干样)。不见硅藻。气候指数升高至2.9, 指示趋暖的气候环境。

5 讨论

5.1 植被景观

根据孢粉和植硅体记录, 杨家遗址的植被景观可以分为以下几个阶段: 马家浜文化晚期早段(T1⑬、⑫层), 附近山地或丘陵分布着以栎属、榆属和栲属为代表的常绿-落叶阔叶混交林, 林缘或开阔地主要是以禾本科为代表的陆生草本植物, 水体活动不明显, 气温偏凉。马家浜文化晚期中段(T1⑪~⑦层), 附近山地仍是以榆属、栲属和栎属为主的常绿-落叶阔叶混交林, 榆属成为主要树种; 平原以禾本科为代表的陆生草本植物有所扩张; 水体活动不明显; 气温迅速转暖并伴有小幅波动。马家浜文化晚期晚段(T1⑥~④层), 亚热带常绿-落叶阔叶混交林(榆属-栎属-栲属)锐减, 以禾本科和藜科为主的陆生草本植物发育, 较晚时期水体活动变强, 气候温暖湿润。马桥文化时期(T1③层), 附近林地萎缩, 典型的榆属锐减, 新增示冷型松属, 形成常绿-落叶阔叶(栎属、栲属)和针叶混交林; 平原以禾本科、菊科和藜科为代表的陆生草本植物继续扩张; 水域面积明显增大, 水体活动更加强烈; 气候总体温暖湿润。明清时期(T1②层), 附近山地的常绿-落叶阔叶(栎属、栲属)和针叶混交林继续萎缩, 平原以禾本科和藜科为代表的陆生草本植物迅速扩张; 水域面积缩小, 水体活动减弱; 气候较为温暖湿润。现代表土层(T1①层)显示附近山上以栎属-栲属-松属为主形成的常绿-落叶阔叶、针叶混交林有所恢复, 平原草本植物(禾本科、藜科)覆盖

率减少, 水域面积明显缩小、水体活动减弱, 与遗址周边现在的气候环境一致。

综上所述, 马家浜文化晚期, 遗址周边亚热带常绿-落叶阔叶混交林趋于减少, 以禾本科为代表的陆生草本植物发育, 水域面积扩大、水体活动加强, 气候温暖湿润, 呈现适宜稻作农业发展的湿地景观。生于林缘或荒地的有狗尾草属、藜科、黍亚科植物, 湖沼或水边湿地中生长着小二仙草科、莎草科、苔草属、酢浆草等植物。

杨家遗址邻近的古胥湖钻孔(编号GDP Core 1)自然沉积的孢粉分析(邱振威, 2015)表明, 全新世早中期(11.7~4.4ka BP)区域植被景观为栎属-栲属-禾本科-蒿属-香蒲属组合, 气候温暖湿润, 其中7.9~4.4ka BP为该区域的全新世大暖期, 夏季太阳辐射量最大(Berger, 1978), 受东亚夏季季风气候的强烈影响, 气候环境特点总体与区域前期钻孔、剖面等高分辨率的古气候研究相吻合(陈中原等, 1997; 舒军武等, 2007; Atahan等, 2008; Chen等, 2009)。这与杨家遗址马家浜文化晚期的植被景观和环境特征较为一致, 进一步说明人为堆积用于植被重建和环境恢复在一定程度上是行之有效的。石笋记录了全新世期间一些亚洲季风冷事件(AM cooling events)(Wang等, 2005), 其中发生在6.3ka BP的冷事件在古胥湖钻孔GDP Core 1和杨家遗址T1剖面的孢粉记录中均有对应表现。马家浜文化晚期, 杨家遗址乔木花粉含量和陆生花粉总浓度趋于降低, 植硅体组合反映的温暖指数也出现了剧烈波动, 除了与人类活动的强化直接相关, 还应直接受到气候变化的影响, 这在中国东部Dongge Cave石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(Wang等, 2005)亦有反映。

目前, 太湖流域有十余处新石器时代遗址开展了孢粉分析, 主要包括河姆渡(孙湘君等, 1981)、罗家角(王开发和蒋新禾, 1985)、圩墩(王开发, 1983)、草鞋山(王开发等, 1984)、绰墩(萧家仪等, 2003)、崧泽(王开发等, 1980)、神墩(马春梅和田名利, 2010)、姜里(萧家仪等, 2013; Qiu等, 2014)、南河浜(同济大学海洋地质系孢粉实验室, 2005)、龙南(萧家仪, 1990)、乌墩(封卫青和王开发, 1996)、福泉山(封卫青, 2000)、亭林(王开发和张玉兰, 1981)、广富林(张玉兰, 2006)、马桥(上海市文物管理委员会, 2002)等, 揭示出马家浜文化时期的植被景观和环境特征较为一致: 气候温暖湿润, 常绿阔叶林和落叶阔叶林的混交林及大

面积水域共存,为全新世大暖期中的稳定暖湿阶段,良好的自然环境促进了人口的增加、聚落的扩大,稻作农业在长江下游迅速发展,采集狩猎占有很大比重(邹厚本等,2000;孔昭宸等,2003;Atahan等,2008).

5.2 稻作农业生产

炭化水稻的百分含量、出土概率和标准密度均是浮选所得植物遗存中最高者,因此马家浜文化晚期水稻这种谷物在杨家遗址的重要性可见一斑.水稻小穗轴发现数量虽少,但均为栽培类型.此外,小二仙草科、莎草科、苔草属、酢浆草等湿地杂草的发现,也佐证了水稻栽培活动的存在.鉴于浮选获得植物遗存总体偏少,我们将主要依据孢粉和植硅体分析结果,讨论杨家遗址稻作农业活动情况.

生土层中发现21%的水稻型花粉(96个/g干样)、6%的水稻扇型(3186个/g干样)和1%水稻双峰型(619个/g干样)植硅体,说明在人类活动以前遗址所在地应有野生稻分布.马家浜文化晚期早段(T1⑬、⑫层),水稻型花粉含量(平均约9%)和浓度有所降低,同时水稻扇型植硅体含量保持稳定且浓度增加,而小型禾本科花粉含量和浓度升高;加之T1⑫层出土2粒栽培型水稻小穗轴,表明遗址早期人们对水稻的栽培与利用已经存在.马家浜文化晚期中段(T1⑪~⑦层),水稻型花粉含量(平均约24%)增加但浓度继续减少,同时水稻扇型植硅体含量和浓度骤增;小型禾本科花粉含量增加且浓度稳定.其中水稻扇型植硅体到T1⑨层甚至达到47077个/g干样(含量为12%),同时水稻双峰型(5575个/g干样)和海绵骨针(2478个/g干样)的浓度也是整个剖面马家浜文化时期堆积中最高.T1⑨层下开口的H9出土了45%的栽培稻和37粒栽培类型水稻小穗轴,以及多种湿地杂草.可见,马家浜文化晚期中段杨家遗址的稻作农业生产趋于强化.马家浜文化晚期晚段(T1⑥~④层),水稻型花粉浓度和含量(平均约22%)略降,水稻扇型植硅体含量和浓度均有大幅下降,同时小型禾本科花粉浓度基本稳定但含量继续增加,表明该时期水稻的栽培和利用受限(或遗址功能区发生改变),与该遗址马家浜文化的结束或有直接关系.马桥文化时期(T1③层),水稻型花粉含量(平均约32%)和浓度均大幅增加,水稻扇型植硅体含量减少但浓度增加,小型禾本科花

粉含量降低但浓度上升,可见稻作农业生产在杨家遗址再次被发展起来.明清时期(T1②层),水稻型花粉含量(平均约48%)和浓度骤增,水稻扇型植硅体含量增加但浓度减少,小型禾本科花粉含量和浓度同步上升,表明田间管理措施(如除草)的存在且水稻收割方式很可能发生了变化(整株收割代替穗收割大大减少了堆积中水稻扇型植硅体的浓度).现代表土层(T1①层),水稻型和小型禾本科花粉含量和浓度均降低,水稻扇型植硅体含量较稳定但浓度减少,应该与20世纪末、21世纪初该地退耕还林(由水稻种植转向绿化林地)直接相关.有学者通过分析亚热带双季稻耕作区的表土花粉指出,如果禾本科花粉含量高于36%,则很可能指示稻作农业生产活动的存在(杨士雄等,2010).杨家遗址马家浜文化晚期中段(对应孢粉第二带)和晚段(对应孢粉第三带)的禾本科花粉的平均含量分别达到了38%和43%,表明该阶段应该存在明显的且趋于强化的稻作农业生产.此外,马家浜文化晚期以来,水稻型花粉的百分含量总体在波动中趋于增加,且仅马家浜文化晚期其平均值即高于18%.因此,马家浜文化晚期杨家遗址的稻作农业生产当属无疑.

附近的古胥湖钻孔(GDP Core 1)自然沉积的孢粉分析结果(邱振威,2015)显示,全新世以前该地区即有野生稻分布,全新世中期水稻型花粉的含量和浓度有所降低,推测主要是由于该阶段史前聚落产生、新石器时代文化迅速发展的同时稻作农业不断加强,导致野生稻的分布区骤然缩小.在人类的干预下水稻种植更具集中性,因此区域低代表性和传播性的水稻型花粉含量和浓度骤降.可见,在稻作农业活动方面二者亦有较为一致的反映,该区域的稻作农业发生、发展于马家浜文化时期.此外,太湖流域大量新石器时代考古遗址的碳十四测年数据以及区域前期稻作农业的研究(如游修龄,1986;王才林等,2000;Fuller等,2007;Zheng等,2009;丁金龙,2010;Wang等,2010)也表明全新世早中期该区域相继有人类的稻作农业活动,这与我们的分析结果非常契合.

6 结论

综合大植物遗存、孢粉和植硅体等指标的分析结果,马家浜文化晚期杨家遗址及其附近的环境景观

为: 以栎属和栲属为代表的亚热带常绿-落叶阔叶混交林趋于减少, 以禾本科为代表的陆生草本植物发育, 水域面积扩大、水体活动加强, 气候总体温暖湿润。生于林缘或荒地的有狗尾草属、藜科、黍亚科植物, 湖沼或水边湿地中生长着小二仙草科、莎草科、苔草属、酢浆草等植物。孢粉和植硅体记录表明, 人类活动出现之前杨家遗址所在地即有野生稻分布; 马家浜文化晚期, 杨家遗址的稻作农业生产得到迅速发展。研究结果与遗址邻近的古胥湖钻孔等自然沉积相应时段所揭示的植被景观、环境特征以及水稻栽培和稻作农业活动较为一致(邱振威, 2015), 进一步说明人为堆积用于植被重建和环境恢复在一定程度上是行之有效的。当然, 仍需对更大时空范畴内的自然沉积和人为堆积作深入的比较和分析, 以验证上述判断的准确性。

参考文献

- 陈淳, 郑建明. 2005. 稻作起源的考古学探索. 复旦学报(社会科学版), (4): 126-131
- 陈中原, 洪雪晴, 李山, 王露, 史晓明. 1997. 太湖地区环境考古. 地理学报, 52: 131-137
- 丁金龙. 2004. 长江下游新石器时代水稻田与稻作农业的起源. 东南文化, (2): 19-23
- 丁金龙. 2010. 马家浜文化时期水田与稻作农业. 嘉兴学院学报, (5): 22-27
- 丁金龙, 张铁军. 2004. 澄湖遗址发现崧泽时期水稻田. 中国文化遗产, (1): 70-71
- 丁金龙, 朱伟峰, 金怡. 2004. 澄湖遗址角直区崧泽文化聚落. 古代文明研究通讯, (12): 16-20
- 封卫青. 2000. 福泉山遗址孢粉组合与先人活动环境分析. 见: 上海市文物管理委员会, 主编. 福泉山——新石器时代遗址发掘报告. 北京: 文物出版社. 171-177
- 封卫青, 王开发. 1996. 常州武进乌墩考古遗址孢粉及环境分析. 见: 南京博物院, 主编. 通古达今之路: 宁沪高速公路(江苏段)考古发掘报告文集. 南京: 南京博物院. 1-46
- 傅稻镰, 秦岭, 赵志军, 郑云飞, 溪谷葵, 陈旭高, 孙国平. 2011. 田螺山遗址的植物考古分析——野生植物资源采集与水稻栽培、驯化的形态学观察. 见: 北京大学中国考古学研究中心, 浙江省文物考古研究所, 主编. 田螺山遗址自然遗存综合研究. 北京: 文物出版社. 47-96
- 高玉. 2012. 环太湖地区新石器时代植物遗存与生业经济形态研究. 硕士学位论文. 北京: 北京大学. 1-65
- 郭晓蓉. 2014. 上海广富林遗址史前植物遗存分析. 硕士学位论文. 济南: 山东大学. 1-79
- 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
- 林留根. 2000. 江苏连云港藤花落发现龙山文化稻田遗迹. 农业考古, (3): 91
- 马春梅, 田名利. 2010. 江苏溧阳神墩遗址地层的孢粉记录研究. 微体古生物学报, 27: 67-76
- 秦岭, 傅稻镰, 张海. 2010. 早期农业聚落的野生食物资源域研究——以长江下游和中原地区为例. 第四纪研究, 30: 245-261
- 邱振威. 2015. 太湖流域稻作农业发展与环境变迁研究. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学. 1-288
- 邱振威, 蒋洪恩, 丁金龙. 2013. 江苏昆山姜里新石器时代遗址植物遗存研究. 文物, (1): 90-96
- 邱振威, 丁金龙, 蒋洪恩, 胡耀武. 2014a. 江苏昆山朱墓村良渚文化水田植物遗存分析. 东南文化, (2): 57-67
- 邱振威, 蒋洪恩, 丁金龙, 胡耀武, 饶慧芸. 2014b. 江苏昆山姜里遗址马家浜文化水田植硅体分析. 东方考古, 11: 374-386
- 上海市文物管理委员会. 2002. 马桥: 1993-1997年发掘报告. 上海: 上海书画出版社
- 舒军武, 王伟铭, 陈炜. 2007. 太湖平原西北部全新世以来植被与环境变化. 微体古生物学报, 24: 210-221
- 苏州博物馆, 昆山市文物管理所, 昆山市正仪镇政府. 2003. 江苏昆山绰墩遗址第一至第五次发掘简报. 东南文化, (增刊1): 1-41
- 孙亮, 陈刚, 刘厚学, 项剑云, 李虎仁. 2001. 江苏连云港藤花落遗址考古发掘纪要. 东南文化, (1): 35-38
- 孙湘君, 杜乃秋, 陈明洪. 1981. “河姆渡”先人生活时期的古植被、古气候. 植物学报, 23: 146-151
- 同济大学海洋地质系孢粉实验室. 2005. 南河浜遗址孢粉鉴定报告. 见: 浙江省文物考古研究所, 主编. 南河浜——崧泽文化遗址发掘报告. 北京: 文物出版社. 380-386
- 王才林, 邹江石, 汤陵华, 丁金龙, 张敏, 周裕兴, 宇田津彻朗, 藤原宏志. 2000. 太湖流域新石器时期的古稻作. 江苏农业学报, 16: 129-138
- 王海玉, 翟杨, 陈杰, 靳桂云. 2013. 广富林遗址(2008年)浸水植物遗存分析. 南方文物, (2): 139-147
- 王开发. 1983. 江苏常州圩墩遗址孢粉组合及其古环境. 历史地理, (3): 63-66
- 王开发, 王宪曾. 1983. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社
- 王开发, 蒋新禾. 1985. 浙江罗家角遗址的孢粉研究. 考古, (12): 1136-1138
- 王开发, 张玉兰. 1981. 上海市金山亭林文化遗址孢粉组合及其古地理. 见: 中国地理学会地貌专业委员会, 主编. 中国地理学会一九七七年地貌学术讨论会文集. 北京: 科学出版社. 329-333
- 王开发, 张玉兰, 蒋辉. 1984. 江苏唯亭草鞋山遗址孢粉组合及其古地理. 见: 中国科学院地质研究所孢粉分析组, 同济大学海洋地质系孢粉分析室, 主编. 第四纪孢粉分析与古环境. 北京: 科学出版社. 78-85
- 王开发, 张玉兰, 蒋辉, 叶志华. 1980. 崧泽遗址的孢粉分析研究. 考古学报, (1): 59-66

- 王永吉, 吕厚远. 1993. 植物硅酸体研究及应用. 北京: 海洋出版社
- 夏伙根. 2008. 环太湖地区新石器时代生业经济研究. 硕士学位论文. 济南: 山东大学. 1-89
- 萧家仪. 1990. 江苏吴江县龙南遗址孢粉组合与先民生活环境的初步研究. 东南文化, (5): 259-263
- 萧家仪, 丁金龙, 郭平, 张瑞虎, 王丹. 2003. 绰墩遗址古植物群、古环境与古文化. 东南文化, (增刊1): 87-93
- 萧家仪, 祁国翔, 丁金龙, 肖霞云, 陈晔, 吕燕. 2013. 江苏昆山姜里新石器时代遗址孢粉记录与古环境初步研究. 文物, (1): 86-89
- 严文明. 1982. 中国稻作农业的起源. 农业考古, (1): 19-31
- 严文明. 2000. 稻作、陶器和都市的起源. 见: 严文明, 安田喜宪, 主编. 稻作、陶器和都市的起源. 北京: 文物出版社. 3-16
- 杨士雄, 郑卓, 黄康有, 王建华, 王晓静, 许清海, 李杰. 2010. 亚热带稻作区表土孢粉研究及其考古学应用. 第四纪研究, 30: 262-272
- 羊向东, 王苏民, 童国榜. 1996. 江苏固城湖区一万多年来的孢粉植物群及古季风气候变迁. 植物学报, 38: 576-581
- 游修龄. 1986. 太湖地区稻作起源及其传播和发展问题. 中国农史, (1): 71-83
- 张玉兰. 2006. 广富林遗存在上海地区的首次发现及其古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 26: 41-44
- 赵志军. 2004. 植物考古学的田野工作方法——浮选法. 考古, (3): 80-87
- 赵志军. 2009. 栽培稻与稻作农业起源研究的新资料和新进展. 南方文物, (3): 59-63
- 赵志军. 2013. 稻作农业起源的过程. 中国社会科学院古代文明研究中心通讯, (24): 20-24
- 朱乃诚. 2005. 中国史前稻作农业概论. 农业考古, (1): 26-32
- 邹厚本, 谷建祥, 李民昌, 汤陵华, 丁金龙, 姚勤德. 2000. 江苏草鞋山马家浜文化水田的发现. 见: 严文明, 安田喜宪, 主编. 稻作、农业和都市的起源. 北京: 文物出版社. 97-114
- Atahan P, Itzstein-Davey F, Taylor D, Dodson J, Qin J, Zheng H, Brooks A. 2008. Holocene-aged sedimentary records of environmental changes and early agriculture in the lower Yangtze, China. *Quat Sci Rev*, 27: 556-570
- Berger A. 1978. Long-term variations of caloric insolation resulting from the Earth's orbital elements. *Quat Res*, 9: 139-167
- Bronk Ramsey C. 2005. OxCal Program v 3.10. Oxford: University of Oxford Radiocarbon Accelerator Unit
- Chaturvedi M, Datta K, Nair P K K. 1998. Pollen morphology of *Oryza* (Poaceae). *Grana*, 37: 79-86
- Chen W, Wang W, Dai X. 2009. Holocene vegetation history with implications of human impact in the Lake Chaohu area, Anhui Province, East China. *Veg Hist Archaeobot*, 18: 137-146
- Fuller D Q. 2011. Pathways to Asian civilizations: Tracing the origins and spread of rice and rice cultures. *Rice*, 4: 78-92
- Fuller D Q, Harvey E, Qin L. 2007. Presumed domestication? Evidence for wild rice cultivation and domestication in the fifth millennium BC of the Lower Yangtze region. *Antiquity*, 81: 316-331
- Fuller D Q, Qin L. 2010. Declining oaks, increasing artistry, and cultivating rice: The environmental and social context of the emergence of farming in the lower Yangtze Region. *Environ Archaeol*, 15: 139-159
- 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
- Grimm E C. 1987. CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput Geosci*, 13: 13-55
- Grimm E C. 1993. TILIA 2.0. Springfield: Illinois State University
- Hu L C, Chao Z H, Gu M, Li F C, Chen L N, Liu B D, Li X, Huang Z Q, Li Y Y, Xing B S, Dai J Y. 2013. Evidence for a Neolithic Age fire-irrigation paddy cultivation system in the lower Yangtze River Delta, China. *J Archaeol Sci*, 40: 72-78
- Jin G Y, Yan S D, Udatu T, Lan Y F, Wang C Y, Tong P H. 2007. Neolithic rice paddy from the Zhaojiazhuang site, Shandong, China. *Chin Sci Bull*, 52: 3376-3384
- Lentfer C J, Cotter M M, Boyd W E. 2003. Particle settling times for gravity sedimentation and centrifugation: A practical guide for palynologists. *J Archaeol Sci*, 30: 149-168
- Li C H, Zhang G Y, Yang L Z, Lin X G, Hu Z Y, Dong Y H, Cao Z H, Zheng Y F, Ding J L. 2007. Pollen and phytolith analyses of ancient paddy fields at Chuo-dun site, the Yangtze River Delta. *Pedosphere*, 17: 209-218
- Li C H, Zheng Y F, Yu S Y, Li Y X, Shen H D. 2012. Understanding the ecological background of rice agriculture on the Ningshao Plain during the Neolithic Age: Pollen evidence from a buried paddy field at the Tianluoshan cultural site. *Quat Sci Rev*, 35: 131-138
- Locatelli E. 2011. Tilia Help Manual. Springfield: Illinois State University
- Madella M, Alexandre A, Ball T. 2005. International code for phytolith nomenclature 1.0. *Ann Bot*, 96: 253-260
- Piperno D R. 1988. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective. San Diego: Academic Press
- Qiu Z W, Jiang H E, Ding J L, Hu Y W, Shang X. 2014. Pollen and phytolith evidence for rice cultivation and vegetation change during the Mid-Late Holocene at the Jiangli site, Suzhou, East China. *PLoS One*, 9: e86816
- Reimer P J, Baillie M G L, Bard E, Bayliss A, Beck J W, Bertrand C, Blackwell P G, Buck C E, Burr G, Cutler K B, Damon P E, Edwards R L, Fairbanks R G, Friedrich M, Guilderson T P, Hughen K A, Kromer B, McCormac F G, Manning S, Bronk

- Ramsey C, Reimer R W, Remmele S, Southon J R, Stuiver M, Talamo S, Taylor F W, van der Plicht J, Weyhenmeyer C E. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51: 1111–1150
- Wang W M, Ding J L, Shu J W, Chen W. 2010. Exploration of early rice farming in China. *Quat Int*, 227: 22–28
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, He Y Q, Kong X G, An Z S, Wu J Y, Kelly M J, Dykoski C A, Li X D. 2005. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. *Science*, 308: 854–857
- Zhao Z. 2010. New data and new issues for the study of origin of rice agriculture in China. *Archaeol Anthropol Sci*, 2: 99–105
- Zheng Y F, Sun G P, Qin L, Li C H, Wu X H, Chen X G. 2009. Rice fields and modes of rice cultivation between 5000 and 2500 BC in east China. *J Archaeol Sci*, 36: 2609–2616
- Zong Y, Chen Z, Innes J B, Chen C, Wang Z, Wang H. 2007. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in East China. *Nature*, 449: 459–462