中国科学: 地球科学 2022 年 第 52 卷 第 6 期: 1054 ~ 1064
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

8000多年前淮河流域的水稻栽培与驯化——来自江苏韩井遗址的证据

邱振威[1*], 庄丽娜[1], 饶慧芸[2,3], 林留根[4], 庄奕杰[5†]

1. 中国国家博物馆, 北京 100006;
2. 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044;
3. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044;
4. 浙江大学艺术与考古学院, 杭州 310028;
5. Institute of Archaeology, University College London, London WC1H 0PY, UK
* 通讯作者, E-mail: zhenwei7319@me.com
† 通讯作者, E-mail: y.zhuang@ucl.ac.uk

收稿日期: 2021-08-05; 收修改稿日期: 2021-11-26; 接受日期: 2022-01-10; 网络版发表日期: 2022-03-30
国家社会科学基金项目(批准号: 18CKG002)资助

摘要 通过分析淮河流域新石器时代中期韩井遗址出土的大植物遗存、微体植物遗存、食物残留物以及稻田状遗迹的形态结构, 文章揭示了江苏韩井遗址的早期水稻栽培行为. 韩井遗址出土了非落粒性的水稻小穗轴基盘, 水稻植硅体百分比也趋于增加, 证实水稻驯化正在进行. 然而, 水稻植硅体形态测量研究显示, 水稻双峰型和水稻扇型鱼鳞状纹饰指征的水稻驯化速率在韩井遗址各文化阶段均有不同的表现, 表明韩井遗址的水稻栽培应处于早期阶段. 这些发现为淮河流域成为史前中国早期水稻栽培与驯化的又一重要中心提供了关键性的新证据.

关键词 稻田形态, 水稻扇型, 水稻双峰型, 水稻栽培, 水稻驯化

1 引言

水稻养活了世界上过半的人口(FAO, 2013), 而且一直对东亚、东南亚和南亚等区域的古代文化、国家经济和社会发展至关重要(Bray, 1994; Fuller等, 2016). 稻作农业和景观改造的发展史对于了解人类社会和经济的演变具有非常关键的作用. 植物考古一般以大植物遗存和微体植物遗存为主要研究对象, 为理解水稻驯化和稻作农业集约化过程作出了非常重要的贡献. 长期以来长江下游被认为是最重要的水稻驯化中心之一, 20世纪70年代在浙江河姆渡遗址、21世纪初在浙江上山和田螺山遗址进行的考古发掘和深入研究先后有力地证明了这一点. 与长江下游很多重要发现类似, 长江中游的玉蟾岩、仙人洞和吊桶环等多个遗址发现了晚更新世时期的水稻(植硅体)证据, 其中一些甚至可以追溯到距今20000年前(Zhao, 1998; Boaretto等, 2009; Wu X等, 2012). Silva等(2015)通过计算建模, 预测长江中游是另一个水稻驯化的重要中心, 这与考古

中文引用格式: 邱振威, 庄丽娜, 饶慧芸, 林留根, 庄奕杰. 2022. 8000多年前淮河流域的水稻栽培与驯化——来自江苏韩井遗址的证据. 中国科学: 地球科学, 52(6): 1054–1064, doi: 10.1360/N072021-0221
英文引用格式: Qiu Z, Zhuang L, Rao H, Lin L, Zhuang Y. 2022. Excavation at Hanjing site yields evidence of early rice cultivation in the Huai River more than 8000 years ago. Science China Earth Sciences, 65(5): 910–920, https://doi.org/10.1007/s11430-021-9885-x

© 2022 《中国科学》杂志社

遗传学的一些探索性研究结果相符(如Allaby等, 2008; Fuller等, 2010). 然而, 目前水稻驯化的时间节点及其过程机制尚不十分清楚, 尤其是水稻遗存在旧石器时代晚期和新石器时代中期之间的考古空白仍有待填补.

根据近期的考古发现与研究, 除了长江中下游地区, 淮河及其周边地区也很可能是水稻早期驯化的另一个重要中心. 淮河上游河南舞阳贾湖遗址(9000~7500a BP)出土了大量具有驯化特征的水稻遗存, 引发了激烈的学术讨论(如Chen等, 1995; Crawford和Shen, 1998; Liu等, 2007; 秦岭, 2012; 程至杰, 2016). 贾湖遗址贾湖一期文化具有驯化特征的水稻小穗轴基盘(非落粒性)达到68%, 并且水稻粒型特征和红烧土中的稻壳印痕的形态与栽培粳稻较为相似(程至杰, 2016). 最近, 江苏泗洪顺山集和韩井遗址(8500~7000a BP)发现了很多基本同时的炭化水稻(Luo等, 2016; 南京博物院和泗洪县博物馆, 2016), 进一步表明淮河流域不仅记录了本土野生稻的早期利用和人为管理, 而且可能见证了早期的水稻驯化和稻作农业形成过程. 更为重要的是, 韩井遗址揭露出可能的水田遗构(中国国家博物馆等, 2018), 这远早于马家浜文化或河姆渡文化时期(7000~5800a BP)长江下游太湖地区和宁绍平原的晚期相对成熟的较大规模水田.

研究认为, 水稻小穗轴基盘的形态特征和水稻粒型尺寸是区分野生稻与驯化稻的直接科学指标(Fuller等, 2007, 2008, 2009; 郑云飞等, 2007; Zheng等, 2016). 此外, 水稻植硅体的形态测量也越来越多地被用作水稻栽培和驯化的判断指标, 尤其是受埋藏过程和采样问题影响导致水稻小穗轴等水稻大植物遗存罕见或不见时. Zhao等(1998)首先提出来自稻壳的水稻双峰型植硅体形态测量的重要意义, 并将其用于评估吊桶环(Zhao, 1998)、上山(Wu等, 2014)和其他旧石器时代晚期至新石器时代早期遗址的水稻驯化过程. 与此同时, 学界近年来系统地研究了水稻叶片中水稻扇型植硅体(Fujiwara, 1993)的尺寸和鱼鳞状纹饰(Fujiwara, 1976), 并将其作为水稻驯化的判断标准(Lu等, 2002; Fuller等, 2007; Huan等, 2015; Luo等, 2016, 2021; Ma等, 2016; Qiu等, 2019; 郇秀佳等, 2020). 值得注意的是, 水稻植硅体的形态特征易受环境、生理和其他因素(如叶中脉数量的比例、植物的代谢功能、植物生长阶段以及各种遗传机制等)的影响(Parry和Smithson, 1958; Piperno, 1988, 2006; Jane和Chiang, 1991; Wang, 2005; Qu等, 2010; Huan等, 2015). 因此, 将微观视野下的水稻植硅体的形态特征作为定性参考更为重要, 而不适合过多从定量统计的角度将其视为水稻驯化的决定性证据.

考虑上述方法各自的局限性, 我们同时分析了韩井遗址不同性质的文化堆积中出土的大植物遗存和微体植物遗存, 寻找淮河中下游早期水稻栽培和利用的新线索.

2　区域环境与韩井遗址考古发掘

韩井遗址(32°35.457′N, 118°13.053′E, 海拔约20m)位于江苏省泗洪县梅花镇韩井村, 西距顺山集遗址约4km, 面积约50000m^2(图1)(中国国家博物馆等, 2018). 遗址坐落于淮河中下游的泛滥平原, 东南临近洪泽湖. 研究与记录显示, 整个全新世期间淮河频繁改道(TEEB, 2012). 淮河的多变对历史和现代社会都影响较大, 特别是季风季节, 降雨充沛, 将会迅速淹没低洼区. 总体上, 全新世淮河流域的植被变化与气候演化相适应(李新艳, 2006; 尹建吉, 2018), 详见网络版附录(http://earthcn.scichina.com).

2014~2016年, 中国国家博物馆、南京博物院和泗洪县博物馆组成联合考古队, 对韩井遗址进行了连续三年的田野调查和考古发掘, 共发掘面积1150m^2, 揭露了一处新石器时代中期的环壕聚落(图1)(南京博物院和泗洪县博物馆, 2016). 根据钻探, 该环壕呈不规则圆形, 宽7~15m. 环壕内部面积约29220m^2, 发现若干房址、柱洞、水沟、灰坑和墓葬. 出土物包括大量陶器、石器和丰富的动植物遗存等, 详见网络版附录.

韩井遗址的洼地与水沟组合遗迹包括3块稻田状结构和18条中小型伴生水沟. 该组合遗迹位于东发掘区, 叠压于T3352③层和T3354③层堆积下. 堆积的具体尺寸详见网络版附表1. 该组合遗迹包含两层堆积: 第①层堆积遍布整个组合遗迹, 第②层堆积仅见于洼地T3352k1和T3352k3, 均属于韩井一期遗存. 陶器、石器和骨器等遗物基本均出土于第①层堆积. 通过三维建模分析(Agisoft Photoscan), 模拟出组合遗迹中水流方向应为: 一方面从探方T3352东南流向其西南洼地T3352k2和西北洼地T3352k3, 一方面从探方T3354东北流向南部的洼地T3352k3(图2和图3). 同时, 在稻

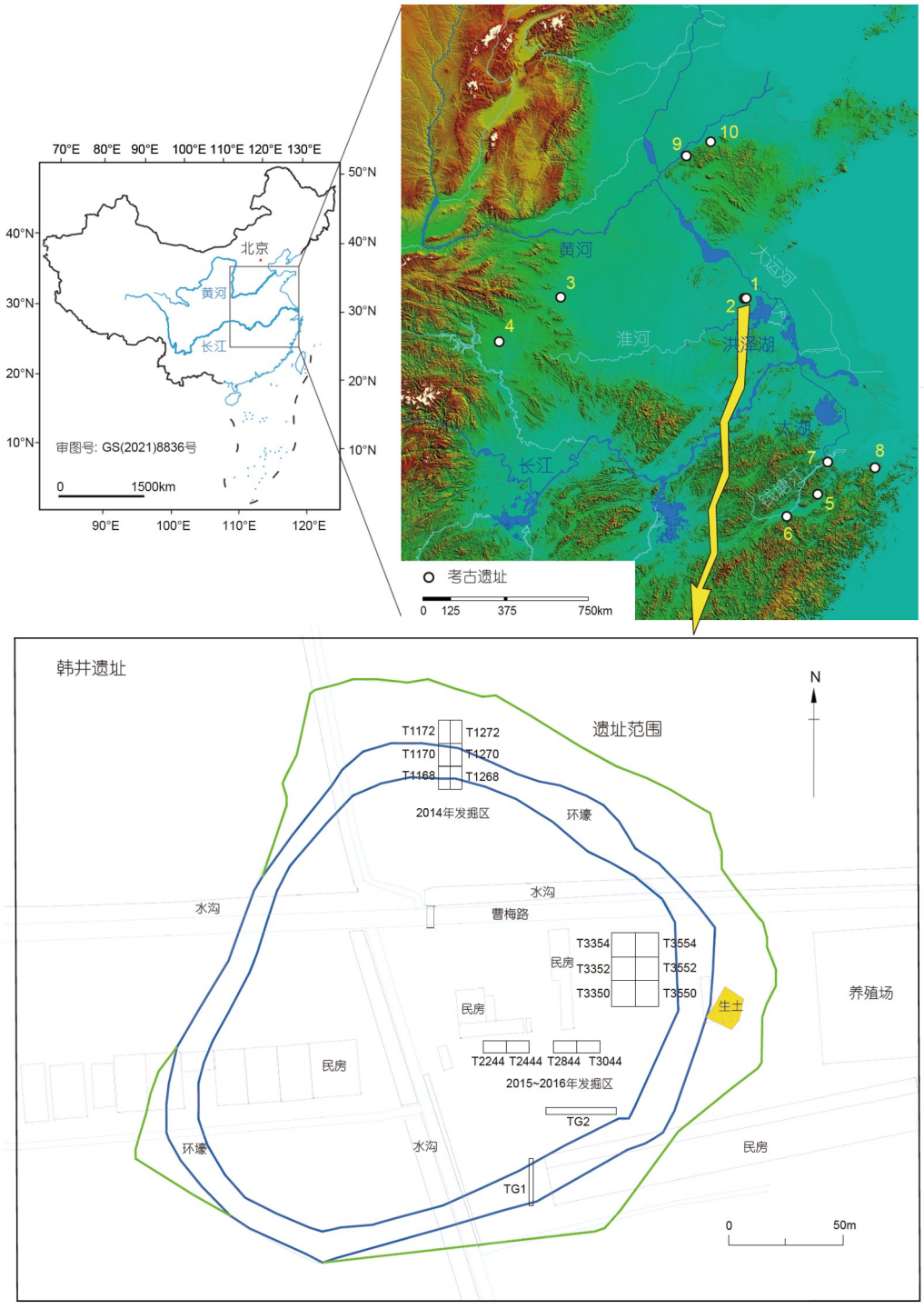

图 1　研究区域及邻近地区遗址分布(上)、韩井遗址平面图及发掘区位置(下)

1, 韩井遗址; 2, 顺山集遗址; 3, 贾湖遗址; 4, 八里岗遗址; 5, 上山遗址; 6, 荷花山遗址; 7, 跨湖桥遗址; 8, 田螺山遗址; 9, 月庄遗址; 10, 西河遗址

田状结构东侧邻近区域发现一条同时期的古河道(G16)(图2), 其可能兼具排水和灌溉功能. 该组合遗迹的结构特点和堆积性状较为特别, 反映了较成熟的水资源管理与利用模式, 很可能是接近水稻田一类的结

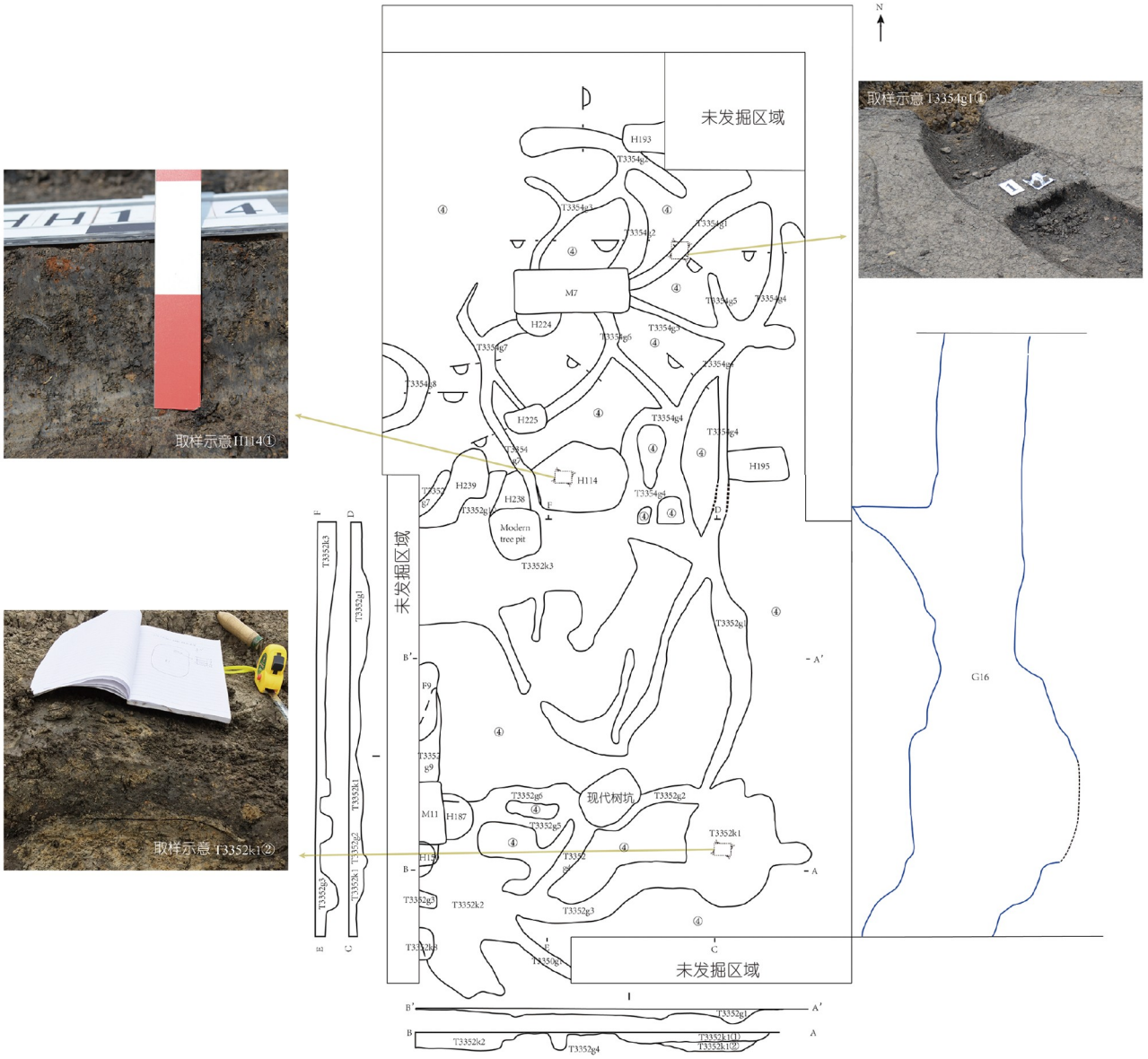

图 2　洼地与水沟组合遗迹线图与取样示范

构与堆积类型.

3　材料与方法

3.1　材料

浮选土样的采集遵循平剖面相结合的方法, 主要在考古发掘过程中完成, 几乎所有的堆积单位都进行了采样, 合计样品140余份, 涵盖韩井一期和韩井二期两个文化阶段. 植硅体分析土样的采集兼顾堆积性质和埋藏背景, 遵循针对性采样和自然梯度相结合的方法, 采样间隔为5cm, 尤其注意观察和记录采样部位的局部堆积形态. 这种采样操作有助于对埋藏学和植硅体样品的代表性问题进行更可靠的评价, 详见图2和网络版附表2. 特别是考虑到稻田状结构(包括洼地与水沟组合遗迹)面积较大, 但其堆积普遍较薄, 因此在该组合遗迹中选取多个平面点位进行样品采样. 其他遗迹单位只设定一个平面采样单元, 根据每个采样点的剖面堆积厚度设定样品采集数量. 与此同时, 还从灰坑和其他堆积单位中选取部分陶器, 采集有机残留物样品.



图 3　组合遗迹水流方向模拟

3.2　方法

通过小水桶浮选(赵志军，2004)和水洗相结合的方法提取大植物遗存, 在尼康 SMZ1000体式显微镜下分选、鉴定和测量. 按照Piperno(1988, 2006)建立的方法提取植硅体, 使用Zhao等(1998)和Huan等(2015)提出并改进的方法考察水稻扇型和水稻双峰型植硅体的形态特征. 在体式显微镜下观察陶片中的植物遗存和植物印痕. 使用Evershed等(1990)和Craig等(2013)总结的实验流程, 从陶器内食物残留物和陶胎中提取脂质残留物, 通过气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)和气相色谱-燃烧炉-同位素质谱仪(GC-C-IRMS)开展进一步分析. 残留物分析在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所进行. 其他方法详见网络版附录.

4　结果

水稻粒型和植硅体的分类鉴定、统计及测量结果详见网络版附录.

4.1　绝对年代

如图4和网络版附表3所示，韩井遗址的部分炭化水稻和木炭的加速器质谱碳十四(AMS ^{14}C)测年结果校正后距今约8400~8000年，与根据出土陶器类型判断的韩井一期和二期的相对年代一致. 此外，韩井三期的两个木炭样品作为实验参照，其AMS ^{14}C测年结

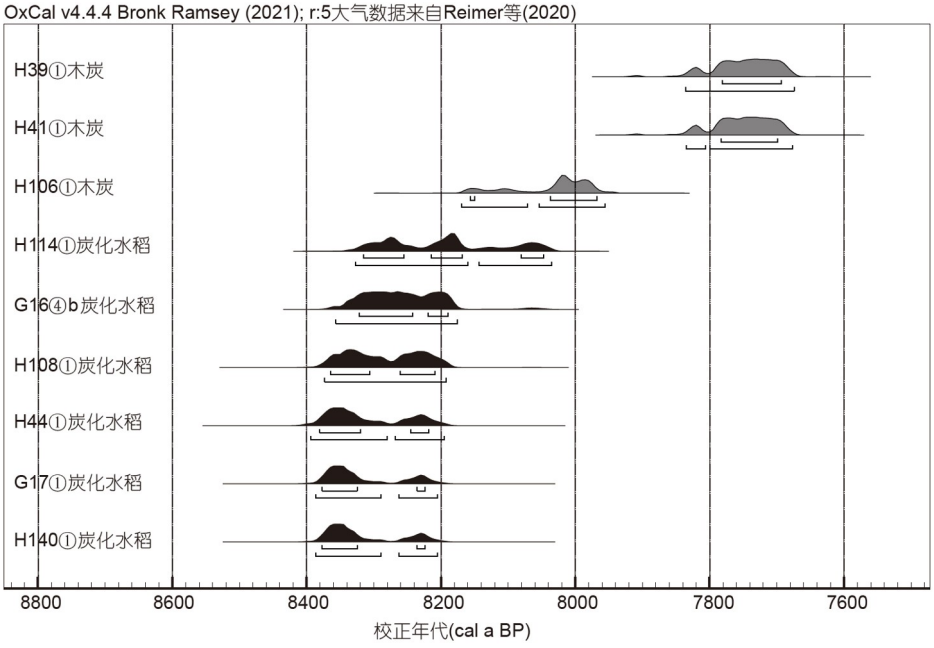

图 4　韩井遗址日历年龄图

果校正后距今约7800~7700年.

4.2　炭化水稻遗存

韩井一期和二期的部分堆积单位中出土了56粒炭化水稻和3粒水稻小穗轴基盘(网络版附图2). 从韩井一期到二期, 水稻的百分比和出土概率均有所增加(网络版附图3). 选择保存较好的炭化水稻(超过半粒)进行粒型测量, 结果显示其尺寸总体相对较小(网络版附表4). 这种小粒型水稻的尺寸范围与贾湖遗址的水稻粒型较为接近, 后者被认为可能是一种野生稻类型(Fuller等, 2007). 韩井遗址出土的水稻小穗轴基盘中有2粒表现出轮廓不平整、外表有凹陷、基部疤痕不对称的特征(网络版附图2), 与部分已发表的驯化类型小穗轴基盘(Fuller等, 2009)相似. 由此可见, 驯化稻和野生稻可能在韩井遗址共存.

4.3　陶片微观结构与植物印痕

韩井遗址多个堆积单位(T3350④、T3350⑤、H122①、H128①和H135①)出土的陶片内壁、外壁以及陶胎断面发现有不同程度的炭化水稻遗存或印痕, 可能是水稻颖壳和秸秆被用作陶器羼和料的反映.

以韩井一期的H135①层堆积中出土的一件夹植物陶片为例. 通过显微观察, 其总体呈外灰内红的特征, 质地疏松, 结构多孔. 陶片外壁多见明显的稻壳印痕, 内壁和陶胎断面又见印痕处填充白色半透明状残留物(图5). 经微观点位取样分析, 该白色物质为水稻双峰型植硅体. 这些水稻双峰型植硅体均保持较为完好的形态, 根据温度对植硅体形态影响的研究可知, 陶器的烧成温度应不会超过1000℃(Wu Y等, 2012).

4.4　水稻植硅体形态特征

水稻扇型植硅体的形态测量表明, 从韩井一期到二期, 水稻扇型植硅体的尺寸略有减小(网络版附表5、附图4). 基于水稻植硅体形态参数建立的统计模型有助于判断水稻的驯化状况(Zhao等, 1998; Huan等, 2015), 详见网络版附录. 通过这些模型的分析可知, 从韩井一期到二期, 具有9个或更多鱼鳞状纹饰的水稻扇型植硅体的百分比有所减少, 而驯化型水稻双峰型颖植硅体的百分比则增加了4.9%(表1).

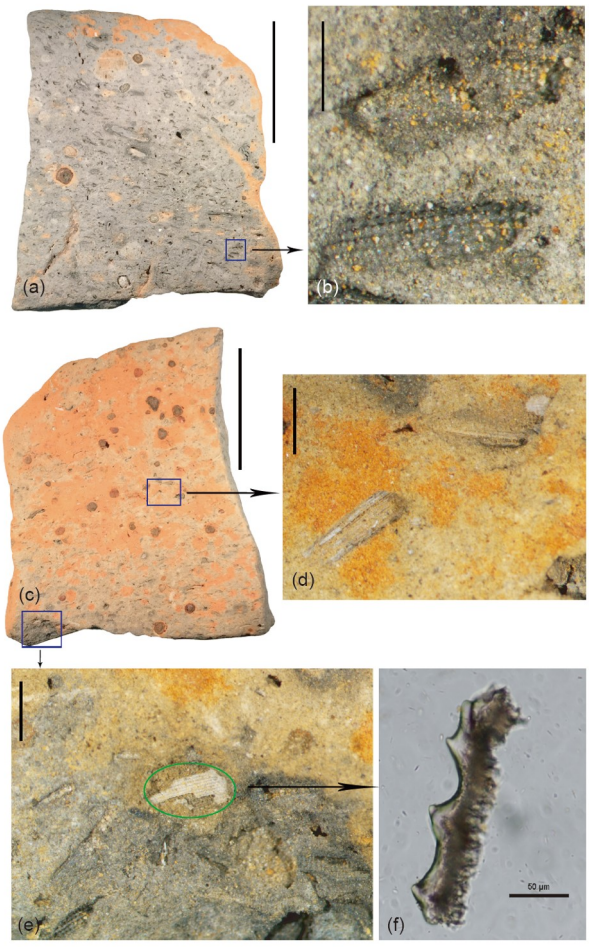

图 5　**韩井遗址H135①出土陶片中的植物印痕和植硅体**

(a) 陶器外壁; (b) 外壁稻壳印痕; (c) 陶器内壁; (d) 内壁稻壳印痕; (e) 陶片横断面稻壳印痕和植硅体; (f) 水稻双峰型植硅体. 比例尺: (a)(c), 2cm; (b)(d)(e), 1mm; (f), 50μm

表 1　**韩井遗址驯化和野生类型水稻植硅体分布**

文化阶段	水稻双峰型植硅体判别模型				水稻扇型植硅体鱼鳞状纹饰判别模型		
	驯化型	不定型	野生型	统计数量	驯化型	野生型	统计数量
韩井一期	31.0%	46.8%	22.2%	171	44.4%	55.6%	196
韩井二期	35.9%	45.3%	18.8%	329	39.6%	60.4%	308

4.5 有机残留物分析

结合脂类分子标记物和脂肪酸单体碳同位素的初步分析结果，可以推断韩井遗址(尤其是一期和二期)的陶器主要用于加工C3植物(可能是水稻)、水生动物和陆生非反刍动物食品(待发表数据).

5 讨论

5.1 韩井遗址生业经济

在中国的新石器时代早期，不少遗址中发现有水稻栽培和利用的现象(如上山遗址)，其中稻壳作为陶器羼和料又比较常见(Liu等, 2007; Zheng等, 2016). 通过分析韩井遗址出土的陶片和特定点位的植硅体，推测稻壳很可能是人为破碎后再用作陶器羼和料. 水稻加工过程会产生大量食余副产品，稻壳羼和料的发现通常可以被认为是水稻资源强化利用的重要标志，只是其定性或定量的准确程度仍有待进一步研究. 此外，陶胎中稻壳印痕的深入分析有望揭示早期水稻生业经济的其他特征. 因此, 我们建议今后开展更多相关的定量研究，以了解韩井等早期遗址的水稻栽培与制陶业之间的关系.

出土动物骨骼的初步研究表明，韩井遗址的哺乳动物以猪(包括野生和驯养类型)的比例最高，其次是鹿, 还有一定量以鱼、鳖等为主的水生动物(待发表数据). 这与韩井遗址陶片的有机残留物分析的初步结果相吻合. 综合动植物遗存的分析结果可知, 渔猎、水稻栽培和野生植物资源利用(待发表数据)均是韩井遗址生业经济的重要组成部分. 根据已有研究, 顺山集遗址也表现出相似的生业模式，即包括狩猎采集和水稻栽培，且后者占据比重较低(Luo等, 2016; 杨玉璋等, 2016). 这种相似性彰显了新石器时代早中期淮河流域生计策略的共同特征，即狩猎和采集在食物生产中仍然占据重要地位.

5.2 淮河流域水稻栽培与驯化的早期证据

研究表明，从顺山集一期到三期(约8500~7500a BP), 顺山集遗址水稻扇型植硅体的尺寸趋于增加(Luo等, 2016). 这与我们在韩井遗址观察到的情况有别. 而且, 韩井遗址的水稻扇型植硅体的平均尺寸小于同时期的顺山集遗址(网络版附图4). 区域内不同遗址和同一遗址不同堆积单位中的水稻扇型植硅体的尺寸变化可能与诸多因素有关，值得进一步研究. 例如, 这些变化是否与水稻栽培和驯化早期阶段的不稳定性有关? 或者与水稻生长的生态环境的变化有关? 亦或是采样方法使然?

水稻扇型植硅体鱼鳞状纹饰和水稻双峰型植硅体的形态测量表明，这两种类型植硅体所反映的韩井遗址的水稻野生与驯化情况存在一定的非协同性(网络版附图4). 基于水稻双峰型植硅体判别模型产生的“不确定类型”百分比较高(45%)，表明或许应该进一步改进预测方法，以便更科学有效地判断水稻驯化程度. 韩井遗址一期至二期，水稻扇型植硅体的鱼鳞状纹饰个数大于等于9的比例(39.61~44.39%)，介于Huan等(2015)提出的野生稻(17.46%±8.29%)和驯化稻(63.70%±9.22%)的相应比例之间. 由此, 可以推测韩井遗址(顺山集文化时期)处于水稻驯化的相对早期阶段(网络版附图5).

学界关于水稻的驯化时间节点仍未形成一致认识, 但诸多研究表明, 距今约7000年前水稻驯化已经存在且水稻栽培已经发展到较为关键的阶段(如Fuller等, 2007, 2008; Wang等, 2010; Zhao, 2010). 长江下游新石器时代早中期(距今7000年前)的上山、荷花山、跨湖桥和田螺山等遗址的植硅体研究(Wu等, 2014; Luo等, 2016; Qiu等, 2019)揭示，不同的水稻植硅体判别模型可能带来水稻驯化程度判断的不一致性，这进一步表明该阶段总体处于水稻驯化的早期阶段(图6、图7). 与长江下游相比，淮河中下游的顺山集和韩井遗址的植硅体组合中驯化型水稻扇型植硅体的比例相对较高(图6)，而水稻双峰型植硅体很可能表现出相反的态势(图7). 植硅体鉴定和水稻驯化程度判断的这种差异性可能源自一些分析手段和方法论等因素，如采样环节、分析方法、测量过程和数据统计分析等的标准不统一.

韩井遗址发现的水稻大植物遗存以及与早期水稻栽培相关的遗迹, 弥补了植硅体分析的不足. 从韩井一期到二期(约8400~8000a BP)，炭化水稻的百分比趋于增加, 且出土了驯化型水稻小穗轴基盘, 这是韩井遗址水稻栽培和驯化的直接证据.

如上所述，韩井遗址揭露出可能的稻田结构和相关遗迹，说明韩井先民对当地的水文环境进行了精心管理. 同时，稻田状组合遗迹的结构符合田间灌溉和

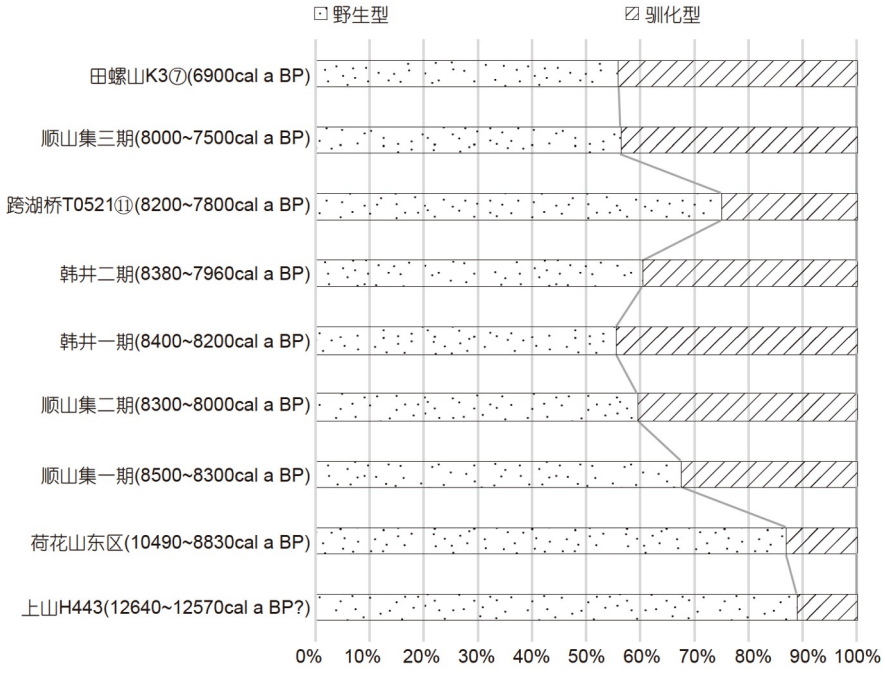

图 6　水稻扇型植硅体视角下的中国史前水稻驯化程度判别(约7000a BP前)

上山、荷花山、顺山集、跨湖桥和田螺山遗址的原始数据引自Luo等(2016)、Qiu等(2019)和Wu等(2014)

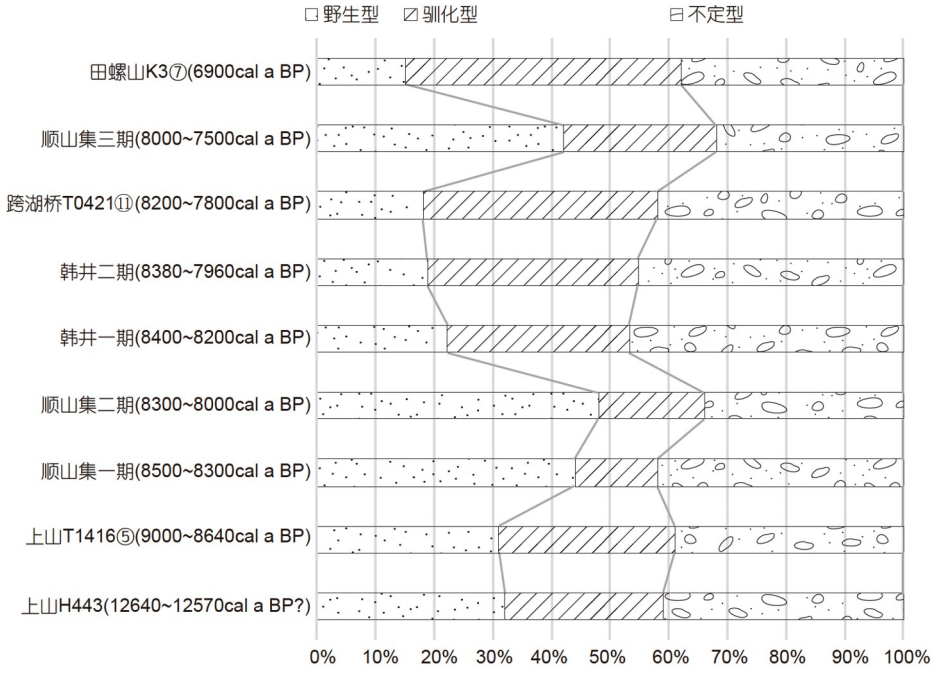

图 7　水稻双峰型植硅体视角下的中国史前水稻驯化程度判别(约7000a BP前)

上山、荷花山、顺山集、跨湖桥和田螺山遗址的原始数据引自Luo等(2016)和Wu等(2014)

排水的需求, 这对水稻栽培至关重要. 尤其是这些稻田状遗迹中发现的驯化型水稻植硅体, 应是其与早期水稻栽培密切相关的直接证据. 综合这些发现, 我们认为韩井遗址提供了淮河中下游地区水稻栽培和驯化的

最早证据之一，使得该地区成为水稻驯化的另一个重要中心.

较之长江下游和长江中游早期水稻栽培和驯化的研究(Zhao, 2010; Wu等, 2014; Ma等, 2016; Qiu等, 2019), 贾湖遗址(程至杰, 2016)和八里岗遗址(Deng等, 2015)的植物考古研究显示, 距今8500年左右的淮河上游和临近的汉水流域是水稻早期栽培和驯化的又一中心. 由此可见, 距今8500~8000年前, 水稻栽培已经遍及淮河流域. 因此, 韩井和顺山集遗址的植物考古研究进一步支持了有关淮河流域在早期水稻驯化过程中的重要地位的判断. 秦岭(2012)曾指出, 稻属资源在中国境内的第一次大扩张恰逢全新世大暖期的开始，这种气候环境背景不仅为水稻栽培提供了有利条件，而且为人口增长和经济发展提供了重要保障. 黄河下游的月庄(Crawford等, 2013)和西河(Jin等, 2014)等后李文化(8000~7500a BP)遗址的研究揭示了类似的现象，其稻属植物利用与水稻栽培的早期扩张很可能与全新世大暖期的暖湿气候期有关. 与长江中下游地区相比, 淮河流域可能经历了不同的稻作农业起源与发展模式.

6 结论

通过分析韩井遗址出土的大植物遗存、微体植物遗存、食物残留物以及很可能与早期水稻种植活动相关的水资源管理类遗迹(洼地与水沟组合的稻田状结构)，我们认为韩井遗址早期先民已经开始种植水稻, 而且这一缓慢的水稻驯化过程带来了本地水稻小穗轴基盘和水稻植硅体形态的显著变化. 上述研究结果有力地表明，淮河流域是中国史前早期水稻栽培和驯化的另一个中心，水稻资源的利用很早就在淮河流域扩张，水稻生态系统的改变引发水稻栽培并最终实现水稻驯化.

然而，驯化型和野生型水稻小穗轴基盘在韩井遗址共存，水稻双峰型和水稻扇型植硅体形态特征表现出不同的变化趋势或判别结果，这表明韩井遗址的水稻栽培处于早期阶段. 值得注意是，这两种水稻植硅体的判别差异是否与早期栽培阶段水稻的植物生理性质有关, 或是其他因素所致, 值得进一步探究.

结合先民食谱和食物加工过程分析，本文揭示出韩井遗址的生业经济与区域已有研究相似：距今8500~7000年前，水稻栽培、家畜驯养、渔猎、采集都是淮河流域及其周边地区生业经济的重要组成部分. 今后应进一步加强对淮河流域从早期水稻栽培到稻作农业经济全面建立的过程与路径的探讨，关注气候、环境和社会因素在这一过程中的作用与影响，并将淮河流域与长江中下游等其他史前水稻经济中心进行比较研究.

参考文献

程至杰. 2016. 淮河上、中游地区新石器时代植物性食物资源利用研究. 博士学位论文. 合肥: 中国科学技术大学. 1–189

Crawford G W, 陈雪香, 栾丰实, 王建华. 2013. 山东济南长清月庄遗址植物遗存的初步分析. 江汉考古, 2: 107–116

郇秀佳, 吕厚远, 王灿, 张健平. 2020. 水稻扇型植硅体野生-驯化特征研究进展. 古生物学报, 59: 467–478

李新艳. 2006. 淮河上游全新世黄土——古土壤剖面高分辨率地球化学研究. 硕士学位论文. 西安: 陕西师范大学. 1–66

南京博物院, 泗洪县博物馆. 2016. 顺山集. 北京: 科学出版社. 293–299

秦岭. 2012. 中国农业起源的植物考古研究与展望. 考古学研究, 9: 260–319

杨玉璋, Li W Y, 姚凌, 程至杰, 罗武宏, 张居中, 林留根, 甘恢元, 闫龙. 2016. 淀粉粒分析揭示的江苏泗洪顺山集遗址古人类植物性食物来源与石器功能. 中国科学: 地球科学, 46: 939–948

尹建吉. 2018. 江淮东部新石器时期地貌演化与人地关系研究. 硕士学位论文. 南京: 南京师范大学. 1–67

赵志军. 2004. 植物考古学的田野工作方法——浮选法. 考古, 3: 80–87

郑云飞, 孙国平, 陈旭高. 2007. 7000年前考古遗址出土稻谷的小穗轴特征. 科学通报, 52: 1037–1041

中国国家博物馆, 南京博物院, 泗洪县博物馆. 2018. 江苏泗洪韩井遗址2015~2016年发掘简报. 东南文化, 1: 28–39

Allaby R G, Fuller D Q, Brown T A. 2008. The genetic expectations of a protracted model for the origins of domesticated crops. Proc Natl Acad Sci USA, 105: 13982–13986

Boaretto E, Wu X, Yuan J, Bar-Yosef O, Chu V, Pan Y, Liu K, Cohen D, Jiao T, Li S, Gu H, Goldberg P, Weiner S. 2009. Radiocarbon dating of charcoal and bone collagen associated with early pottery at Yuchanyan Cave, Hunan Province, China. Proc Natl Acad Sci USA, 106: 9595–9600

Bray F. 1994. The Rice Economies: Technology and Development in Asian Societies. Berkeley: University of California Press

Chen B, Wang X, Zhang J. 1995. Discovery of rice phytoliths in the Neolithic site at Jiahu of Henan Province and its significance. Chin Sci Bull, 40: 1186–1191

Craig O E, Saul H, Lucquin A, Nishida Y, Taché K, Clarke L, Thompson A, Altoft D T, Uchiyama J, Ajimoto M, Gibbs K, Isaksson S, Heron C P, Jordan P. 2013. Earliest evidence for the use of pottery. Nature, 496: 351–354

Crawford G W, Shen C. 1998. The Origins of rice agriculture: Recent progress in East Asia. Antiquity, 72: 858–866

Deng Z, Qin L, Gao Y, Weisskopf A R, Zhang C, Fuller D Q. 2015. From early domesticated rice of the Middle Yangtze basin to millet, rice and wheat agriculture: Archaeobotanical macro-remains from Baligang, Nanyang basin, Central China (6700–500 BC). PLoS ONE, 10: e0139885

Evershed R P, Heron C, Goad L J. 1990. Analysis of organic residues of archaeological origin by high-temperature gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry. Analyst, 115: 1339–1342

FAO (Food and Agriculture Organization). 2013. FAO Statistical Yearbook 2013: World Food and Agriculture. Roma: Food and Agriculture Organization. 132

Fujiwara H. 1976. Fundamental studies in plant opal analysis (1): On the silica bodies of motor cell of rice plants and their near relatives, and the method of quantitative analysis (in Japanese). Archaeol Nat Sci, 9: 15–29

Fujiwara H. 1993. Research into the history of rice cultivation using plant opal analysis. In: Pearsall D M, Piperno D R, eds. Current Research in Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleoecology. Philadelphia: MASCA, University of Pennsylvania Museum. 147–158

Fuller D Q, Castillo C C, Murphy C. 2016. How rice failed to unify Asia: Globalization and regionalism of early farming traditions in the monsoon world. In: Hodos T, ed. The Routledge Handbook of Globalization and Archaeology. London: Taylor & Francis Ltd. 1–23

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, Harvey E. 2008. A critical assessment of early agriculture in East Asia, with emphasis on Lower Yangzte rice domestication. Pragdhara 18: 17–52

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, Sato Y I, Castillo C, Qin L, Weisskopf A R, Kingwell-Banham E J, Song J, Ahn S M, van Etten J. 2010. Consilience of genetics and archaeobotany in the entangled history of rice. Archaeol Anthropol Sci, 2: 115–131

Huan X, Lu H, Wang C, Tang X, Zuo X, Ge Y, He K. 2015. Bulliform phytolith research in wild and domesticated rice paddy soil in South China. PLoS ONE, 10: e0141255

Jane W N, Chiang S H T. 1991. Morphology and development of bulliform cells in around-formosana hack. Taiwania, 36: 85–97

Jin G, Wu W, Zhang K, Wang Z, Wu X. 2014. 8000-year old rice remains from the north edge of the Shandong Highlands, East China. J Archaeol Sci, 51: 34–42

Liu L, Lee G A, Jiang L, Zhang J. 2007. Evidence for the early beginning (c. 9000 cal. BP) of rice domestication in China: A response. Holocene, 17: 1059–1068

Lu H, Liu Z, Wu N, Berné S, Saito Y, Liu B, Wang L. 2002. Rice domestication and climatic change: Phytolith evidence from East China. Boreas, 31: 378–385

Luo W, Yang Y, Yao L, Chen Z, Li J, Yin C, Zhang J, Lin L, Gan H. 2016. Phytolith records of rice agriculture during the Middle Neolithic in the middle reaches of Huai River region, China. Quat Int, 426: 133–140

Luo W, Yang Y, Zhuang L, Gan H, Gu C, Huang C, Lin L, Zhang J. 2021. Phytolith evidence of water management for rice growing and processing between 8,500 and 7,500 cal years BP in the middle Huai river valley, China. Veget Hist Archaeobot, 30: 243–254

Ma Y, Yang X, Huan X, Wang W, Ma Z, Li Z, Sun G, Jiang L, Zhuang Y, Lu H. 2016. Rice bulliform phytoliths reveal the process of rice domestication in the Neolithic Lower Yangtze River region. Quat Int, 426: 126–132

Parry D W, Smithson F. 1958. Silicification of bulliform cells in grasses. Nature, 181: 1549–1550

Piperno D R. 1988. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective. San Diego: Academic Press

Piperno D R. 2006. Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. Oxford: Altamira Press

Qiu Z, Jiang L, Wang C, Hill D V, Wu Y. 2019. New evidence for rice cultivation from the Early Neolithic Hehuashan site. Archaeol Anthropol Sci, 11: 1259–1272

Qu B, Zhu M, Chen X, Zhang C, Xu Y, Ding W, Li T. 2010. Morphological character of bulliform cells in 22 species of Poaceae. Acta Botan Boreali-Occiden Sin, 30: 1595–1601

Silva F, Stevens C J, Weisskopf A, Castillo C, Qin L, Bevan A, Fuller D Q. 2015. Modelling the geographical origin of rice cultivation in Asia using the rice archaeological database. PLoS ONE, 10: e0137024

TEEB (The Editors of Encyclopaedia Britannica). 2012. Huai River. Encyclopaedia Britannica. Retrieved 23 January 2019. Website: Https://www.britannica.com/place/Huai-River

Wang W, Ding J, Shu J, Chen W. 2010. Exploration of early rice farming in China. Quat Int, 227: 22–28

Wang Y. 2005. The bulliform cells of Poaceae. Biol Teach, 30: 7–9

Wu X, Zhang C, Goldberg P, Cohen D, Pan Y, Arpin T, Bar-Yosef O. 2012. Early pottery at 20,000 years ago in Xianrendong Cave, China. Science, 336: 1696–1700

Wu Y, Jiang L, Zheng Y, Wang C, Zhao Z. 2014. Morphological trend analysis of rice phytolith during the early Neolithic in the Lower Yangtze. J Archaeol Sci, 49: 326–331

Wu Y, Wang C, Hill D V. 2012. The transformation of phytolith morphology as the result of their exposure to high temperature. Microsc Res Tech, 75: 852–855

Zhao Z. 1998. The Middle Yangtze region in China is one place where rice was domesticated: Phytolith evidence from the Diaotonghuan Cave, Northern Jiangxi. Antiquity, 72: 885–897

Zhao Z. 2010. New data and new issues for the study of origin of rice agriculture in China. Archaeol Anthropol Sci, 2: 99–105

Zhao Z, Pearsall D M, Benfer R A, Piperno D R. 1998. Distinguishing rice (*Oryza sativa* Poaceae) from wild *Oryza* species through phytolith analysis, II Finalized method. Econ Bot, 52: 134–145

Zheng Y, Crawford G W, Jiang L, Chen X. 2016. Rice Domestication revealed by reduced shattering of archaeological rice from the Lower Yangtze valley. Sci Rep, 6: 28136

(责任编委: 李小强)