中国中北部地区黄土高原东部新石器晚期-青铜时代不同地貌单元农业发展模式的时空变化

黎海明^{1,2,3*}, 崔一付^{4,5}, Nathaniel JAMES⁶, Melissa RITCHEY⁷, 刘峰文^{5,8}, 张俊娜⁹, 马敏敏^{5†}, 董广辉⁵

1. 南京农业大学人文与社会发展学院, 南京 210095;

2. 南京农业大学中华农业文明研究院, 南京 210095;

3. 南京农业大学农业考古研究中心, 南京 210095;

4. 华侨大学旅游学院, 泉州 362021;

5. 兰州大学资源环境学院, 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;

6. Department of Anthropology, University of California San Diego, San Diego, CA 92093, USA;

7. Department of Anthropology, Washington University in St. Louis, St. Louis, MO 63130, USA;

8. 云南大学生态与环境学院, 高原湖泊生态与治理研究院, 昆明 650504;

9. 北京联合大学应用文理学院考古研究中心环境考古实验室, 北京 100191

* 通讯作者, E-mail: lihaiming@njau.edu.cn

† 通讯作者, E-mail: mamm@lzu.edu.cn

收稿日期: 2021-05-10; 收修改稿日期: 2021-11-25; 接受日期: 2021-12-20; 网络版发表日期: 2022-02-28

国家自然科学基金项目(批准号: 41825001、41871076、4210011192、41501216)、兰州大学西部环境教育部重点实验室开放基金及兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号: lzujbky-2021-kb01、lzujbky-2018-43、2019jbkyzy014)、南京农业大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(编号: SKYC2021011、KYYJ202111)、黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(编号: SKLLQG2015)和2021年度高校哲学社会科学研究一般项目(编号: 2021SJA0052)资助

摘要 古人类居住环境和农业发展与当地的地貌环境与气候环境密切相关. 然而, 不同地貌环境和气候背景下的史前农业发展时空模式依然不清楚. 文章通过对山西省滹沱河流域34个新石器晚期-青铜时代的遗址进行植物考古研究和碳十四年代分析, 同时对比山西省涑水河流域及河南省地区已发表的植物考古结果, 探讨了中国中北部地区不同地貌和气候环境下农业发展模式的异同. 结果显示, 虽然小麦和大麦在4000a BP前后已传入滹沱河流域, 但先民在庙底沟文化(6500~5700cal. a BP)至商周时期(3600~2256cal. a BP)的农业模式一直是种植粟黍为主的北方旱作农业. 滹沱河流域、涑水河流域以及河南省一些地区的气候和浅山丘陵地貌条件仅能支持先民在7000~3000a BP期间发展以种植粟黍为主的北方旱作农业. 然而, 河南省一些其他地区的气候和冲积平原地貌条件却能够促使先民在7000~4000a BP期间发展以种植粟、黍、水稻和大豆为主的混合农业, 在4000~3000a BP期间小麦作物也成为其中之一. 三个地区先民不同的农业技术创新和对外来文化的接纳程度可能也是三个地区形成不同农业发展模式的原因. 7000~3000a BP期间人口爆炸式增长可能是三个地区先民主要种植高产的粟作物而不是低产的黍作物的原因. 然而, 滹沱河流域炭化黍出土比例较高(相对涑水河流域和河南省地区)反映了其良好的抗旱性, 代表了河谷地貌的一种农业适应模式.

中文引用格式: 黎海明, 崔一付, James N, Ritchey M, 刘峰文, 张俊娜, 马敏敏, 董广辉. 2022. 中国中北部地区黄土高原东部新石器晚期-青铜时代不同地貌单元农业发展模式的时空变化. 中国科学: 地球科学, 52(6): 1038–1053, doi: [10.1360/N072021-0128](https://doi.org/10.1360/N072021-0128)

英文引用格式: Li H, Cui Y, James N, Ritchey M, Liu F, Zhang J, Ma M, Dong G. 2022. Spatiotemporal variation of agricultural patterns in different geomorphologic and climatic environments in the eastern Loess Plateau, north-central China during the late Neolithic and Bronze Ages. Science China Earth Sciences, 65(5): 934–948, <https://doi.org/10.1007/s11430-021-9879-x>

关键词 植物考古, 农业模式, 气候条件, 浅山丘陵, 冲积平原

1 引言

农业发展的历史及其影响因素研究已经被广泛讨论和研究了数十年(Weiss等, 1993; Atahan等, 2008; Li等, 2009, 2013; 周新郢等, 2011; Fiorentino等, 2013; Dong等, 2013; Jia等, 2013, 2016a; Chen等, 2015a; Zhou等, 2016; Bao等, 2018; Tan等, 2020). 研究发现, 史前农业的发展受到气候、地貌、水文和土壤类型等多种因素的影响(Li等, 2009, 2013; 张俊娜等, 2014; Chen等, 2015a; Wang等, 2017; Dong等, 2019, 2021; Liu和Reid, 2020). 在这些影响因素中, 气候变化往往被认为是促使史前农业发展和古文化变迁的关键驱动力(例如, Dalfes等, 1997; Bawden和Reycraft, 2002; Staubwasser等, 2003; An等, 2005). 前人研究证明, 在适宜的气候条件下, 农业系统得到加强, 文化得以繁荣(例如, Jia等, 2016b; Xu等, 2019; Yamaura等, 2019). 而当气候恶化时, 则往往会导致农业系统衰落以及古文化崩溃等一系列事件的发生(例如, Polyak和Asmerom, 2001; Haug等, 2003; An等, 2004, 2005; Zhou等, 2016; Sun等, 2019). 例如, 6000a BP之后温暖湿润的气候促使黄土高原多地以粟黍种植为主的旱作农业得到发展(Li等, 2009; 周新郢等, 2011; Sheng等, 2018; Dong等, 2019), 而4000a BP后寒冷干燥的气候则导致以粟黍种植为主的旱作农业逐渐衰落, 反而促使河西走廊以小麦种植为主的农业和青藏高原东北部以大麦种植为主的农业得到发展(Chen等, 2015a; Zhou等, 2016; Li和Dong, 2018). 更为重要的是, 不同地区人类在面对同种气候条件时所采取的生存策略也不一样, 如面对4000a BP前后干冷的气候, 西辽河流域的先民选择发展畜牧业来应对(Jia等, 2016a, 2016b), 而中原地区的先民则选择发展混合农业来应对(Lee等, 2007; 张俊娜等, 2014). 尽管前人对关于突发性“气候事件”如何影响史前农业发展开展了深入地研究, 但甚少有学者关注气候对某个地区农业系统的长期影响.

除了气候的影响, 古地貌环境也深刻地影响着史前农业的发展. 不同的地貌条件造就了不同的水热条件, 进而导致作物种植策略的不同和农业系统的多样

性. Ren等(2016)研究发现中国南方早期农业遗址主要分布在山前平原和山间盆地地带. 张俊娜等(2014)研究表明, 洛阳盆地裴李岗和仰韶时期以粟黍种植为主的北方旱作农业主要位于黄土台塬沟谷地区. Wang等(2017)则提出, 黄河中游地区裴李岗时期具有两种农业发展模式: 浅山丘陵发展的粟黍农业和冲积平原发展的水稻、粟、黍混合农业. 此外, 最近的一项研究表明, 在9000~2300a BP, 中原松山地区相同地貌环境下的农业系统在不同时期也不尽相同(Liao等, 2019). 以上研究为理解特定时期内地形地貌对农业发展的小尺度影响提供了重要的信息, 但它们忽略了地貌环境对大区域农业发展的长期影响.

高分辨率年代学数据对于探索考古文化序列的长时间演变及其与过去环境变化之间的关系是非常有效的(Dolukhanov等, 2002; Mellars, 2006; Svyatko等, 2013; 董广辉等, 2017). 此前, 山西中部、北部地区的史前文化年代范围主要来自于传统的类型学和地层学证据, 以及少量木炭的¹⁴C年代(中国社会科学院考古研究所, 1991; 原思训等, 1994). 然而, 有研究表明木炭测年容易出现“老木效应”问题, 使得建立的考古文化年代范围产生一定误差(Gavin, 2001; Dong等, 2014). 相反, 应用来自于考古遗址中的动物骨骼或一年生的植物种子进行年代测定可以避免“老木效应”问题. 近年来, 这些测年材料已经被成功的用于厘定埃及、爱琴海和河西走廊史前文化发展及变迁的时间(Manning等, 2006; Bronk Ramsey等, 2010; 杨谊时等, 2019), 但尚未应用于中国中北部的考古遗址中.

中国中北部地区地处黄土高原东部与黄淮海平原的交接地带, 地形复杂多样. 该地区气候属东亚季风气候, 夏季高温多雨的条件为史前农业的发展提供了便利条件. 前人研究表明, 中北部地区的农业起源于距今9000年前后(赵志军和张居中, 2009; Deng等, 2015; 张居中等, 2018). 然而, 地形、气候和其他因素对中国中北部农业发展的长期影响仍不清楚.

为了解决这些空白, 本文首先通过对滦沱河流域34个新石器晚期和青铜时代遗址中出土的植物大化石进行鉴定和直接测年, 重建了该区域的史前文化年代

序列和农业发展过程。其次, 通过对比涑水河流域以及河南省地区已发表的植物考古结果, 探讨了三个地区农业发展模式的时空变化。最后, 结合三个地区(滹沱河流域、涑水河流域和河南省地区)的古气候和古地貌数据, 分析了复杂多样的环境如何影响史前农业的发展过程。本研究为理解中国中北部地区史前农业发展演变模式及其背后的影响因素提供了更深入的认识, 同时揭示了新石器时代和青铜时代时期古人类文化演化和人口扩散之间的复杂关系。

2 研究区域

滹沱河流域位于黄土高原东部, 流域面积约 $2.66 \times 10^4 \text{ km}^2$, 全长约587km(图1)。滹沱河发源于山西省忻州市繁峙县泰戏山一带, 与阳武河、云中河、牧马河、清水河等支流汇合, 注入海河, 最终流入渤海

(图1)。流域内气候属温带大陆性季风气候, 年平均气温在 $4 \sim 9^\circ\text{C}$ 变化, 年降水量在400~450mm。流域内海拔由西向东逐渐降低, 主要包括五种地貌: 中山、低山、浅山丘陵、盆地和河谷。流域内的天然植被包括常绿针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、灌丛和草地5种, 植被总面积约为 $12.76 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域内的考古遗址大多数分布在河流阶地形成的浅山丘陵上。现今滹沱河流域种植的主要农作物有小麦、玉米、高粱、豆类、粟、黍和土豆, 饲养的牲畜主要有羊、牛、猪和鸡。

中国中北部地区地处黄土高原东部与黄淮海平原的交接地带, 行政范围主要包括河南和山西两个省。区域内地形复杂, 地貌多样。山西省大部分地区被黄土高原覆盖, 海拔东北高西南低。高原内部凹凸不平, 山谷纵横交错, 地形主要包括高山、浅山丘陵和高原。河南省地势西高东低, 西部大部分地区被河流阶地形成的浅山丘陵地形所覆盖, 而东部则被冲积平原地形所占

图1 滹沱河流域调查遗址分布图

7000~5000a BP遗址: (1) 下双井; (2) 青石。5000~4000a BP遗址: (3) 南张; (4) 子干; (5) 明望; (6) 向阳; (7) 横山; (8) 崖底; (9) 上院; (10) 上申; (11) 辛章; (12) 选仁; (13) 赤岸; (14) 上沙河; (15) 聂营; (16) 平东社; (17) 牛家垓; (18) 西河头; (19) 显旺; (20) 闹市。4000~3000a BP遗址: (21) 尹村; (22) 北赵; (23) 代郡; (24) 东段景; (25) 下茹越; (26) 南关南; (27) 刘沟; (28) 上政化; (29) 高村; (30) 作头; (31) 华岩; (32) 大宋峪; (33) 东冯城; (34) 卫村

据. 山西省大部分地区气候属温带大陆性季风气候, 年平均气温在4.2~14.2℃, 年降水量在358~621mm. 而河南省大部分地区地处暖温带, 南部跨亚热带, 气候属北亚热带向暖温带过渡的大陆性季风气候. 全省年均气温在10.5~16.7℃, 年均降水量在408~1296mm, 6~8月是全年降水量最多的时期. 自古以来, 中北部地区就一直存在着多种农业系统, 既有起源于中国北方的旱作农业, 也有起源于长江中下游的稻作农业. 在现今的中北部地区, 浅山丘陵、河谷地区主要种植的以粟、黍等为主的旱地作物, 而冲积平原地区则种植着多种作物, 既有粟和黍等耐旱作物, 也有水稻、大豆、小麦等喜湿的作物.

根据第二次文物普查结果, 发现有大量新石器和青铜时代的考古遗址分布在滹沱河流域(国家文物局, 2006). 这些遗址主要包括5个庙底沟文化(6000~5500a BP)遗址、50个仰韶晚期义井类型(5500~4900a BP)遗址、100个白燕二期文化(4900~4500a BP)遗址、176个龙山文化(4600~3800a BP)遗址、56个二里头文化(3800~3500a BP)遗址和338个商周时期(3600~2256a BP)遗址. 近期考古发掘和调查发现庙底沟文化是该区域最早的新石器文化, 而龙山文化是该区域分布最广的新石器文化(中国国家博物馆田野考古研究中心等, 2011; Song等, 2019).

3 材料和方法

2017年, 我们在滹沱河流域调查了34个新石器和青铜时代遗址(图1). 根据出土陶片类型判断, 遗址主要包括1个庙底沟文化遗址、1个仰韶晚期义井类型遗址、4个白燕二期文化遗址、14个龙山文化遗址、10个二里头文化遗址以及4个商周时期遗址. 在每个遗址都暴露有灰坑和文化层, 因此我们对它们进行了浮选样品的采样. 为了防止样品的相互污染, 在每个样品采集之前都会对灰坑和文化层等采样遗迹单位先进行表面清理. 最后共采集了85份浮选土样总计916L土量. 所有土样都经过小木桶浮选后用孔径为80目(0.2mm)的网筛进行炭化轻浮物的收集. 经阴干、分选后在兰州大学西部环境教育部重点实验室的环境考古实验室进行炭化植物种子的种属鉴定, 一些不确定种属的植物种子则送至中国社会科学院考古研究所科技考古中心植物考古实验室进行进一步确定.

为了更好地了解山西北部地区滹沱河流域的史前文化年代结构, 我们选取了21份样品进行碳十四年代测定, 其中包括19份炭化作物种子样品和2份木炭样品. 所有样品在AMS(Accelerator Mass Spectrometry)测试之前, 先经过酸-碱-酸的前处理, 然后再进行石墨的合成. 石墨制靶在兰州大学西部环境教育部重点实验室下属的年代学实验室完成, 测定则在北京大学加速质谱实验室完成. 基于IntCal20(Reimer等, 2020)校正曲线, 用OxCal v.4.4.0(Bronk Ramsey, 2017)软件将¹⁴C年代进行校正. 所有的年代用“cal. a BP”表示.

由于不同作物的收割、加工、利用方式以及炭化过程的不同(杨青等, 2011), 加之重量的不一致, 使得不同作物通过炭化过程之后在考古遗址中保存下来的概率也不同. 例如, 实验研究发现1000粒现代黍籽粒的平均重量是粟籽粒的两倍(张健平等, 2010; Zhou等, 2016), 而炭化过后黍的保存概率却低于粟(Märkle和Rösch, 2008; 吕厚远, 2018; 王灿和吕厚远, 2020). 这样就使得考古发掘出土的炭化植物种子数量比例可能不能有效的反映出史前人类种植作物的真实比例. 因此, 我们采用了Zhou等(2016)和Sheng等(2018)的改进方法来估算考古遗址中不同种类作物的实际产量比(重量比), 计算方法如下:

$$P(S) = \frac{N_s \times F_s}{N_1 \times F_1 + N_2 \times F_2 + N_3 \times F_3 + N_4 \times F_4 + N_5 \times F_5},$$

在这里, N_1 代表考古遗址中出土粟的绝对数量, $F_1=2.6$; N_2 代表考古遗址中出土黍的绝对数量, $N_2=7.5$; N_3 代表考古遗址中出土小麦的绝对数量, $F_3=35$; N_4 代表考古遗址中出土大麦的绝对数量, $N_4=45$; N_5 代表考古遗址中出土稻谷的绝对数量, $F_5=26$; $P(S)$ 则是某种作物的实际产量比(Zhou等, 2016; Sheng等, 2018). 这种定量方法有效地帮我们改善了研究区的植物考古数据定义方式, 以便于我们更好的了解史前人类真实的作物种植模式.

4 结果

4.1 山西中部、北部地区考古文化年代重建

通过碳十四年代测定, 我们获得了21个山西北部滹沱河流域考古遗址的年代(表1). 在这些年代中, 有5个通过植物种子和木炭测定的明显偏离了考古学文化背景的年代被排除在我们的分析之外, 因为它们反映

表 1 山西省滹沱河流域调查遗址碳十四年代

实验编号	遗址	地区	测年材料	¹⁴ C年代(a BP)	校正年代 (2σ, cal. a BP)	文化/时期
LZU16145	下双井-H1	忻州, 繁峙县	黍	5205±50	5987±191	庙底沟文化
LZU16150	青石-H3	忻州, 定襄县	粟	4620±40	5237±195	义井类型
LZU17004	显旺-H1	忻州, 代县	粟	4315±25	4899±61	白燕二期
LZU16146	子干-L	忻州, 原平市	粟	4145±45	4680±147	白燕二期
LZU16159	聂营-H1	忻州, 代县	粟	3790±30	4184±100	龙山文化
LZU17003	上院-H1	忻州, 原平市	粟	3765±25	4120±114	龙山文化
LZU17002	明望-L5	忻州, 忻府区	黍	3695±30	4037±109	龙山文化
LZU16160	西河头-L1	忻州, 定襄县	木炭	3630±25	3968±101	龙山文化
LZU16149	横山-H1	忻州, 定襄县	粟	3580±60	3889±189	龙山文化
LZU17001	牛家垓-H2	忻州, 繁峙县	粟	3575±25	3874±95	龙山文化
LZU16157	卫村-H1	忻州, 原平市	粟	3515±50	3782±139	二里头文化
LZU16151	卫村-H2	忻州, 原平市	粟	3485±40	3749±108	二里头文化
LZU16148	北赵-H1	忻州, 忻府区	粟	3480±30	3741±95	二里头文化
LZU16153	峨口-H1	忻州, 代县	黍	3415±25	3699±111	二里头文化
LZU16147	东冯城-H1	忻州, 忻府区	粟	3400±30	3643±71	二里头文化
LZU16156	刘沟-L2	忻州, 忻府区	粟	3275±25	3507±57	二里头文化
LZU16154	下双井-H1	忻州, 繁峙县	木炭	3160±25	3397±50	商周时期
LZU16158	作头-L1	忻州, 繁峙县	粟	2920±25	3068±90	商周时期
LZU16152	上政化-H1	忻州, 原平市	粟	2880±25	3015±121	商周时期
LZU16155	大宋峪-H1	忻州, 繁峙县	黍	2745±25	2846±71	商周时期
LZU16161	大宋峪-H2	忻州, 繁峙县	粟	2690±25	2802±51	商周时期

了“种子雨”现象, 即从较晚的上层文化层向下掉落至相对较早的下层文化层中, 这在考古遗址中已是常见的现象(例如, Keepax, 1977; Motuzaite-Matuzeviciute 等, 2013; Liu等, 2016). 因此, 只有16个与陶器类型符合较为良好的碳十四年代被用于重建山西中、北部地区的史前文化年代. 结合此前已发表的年代数据, 共有44个年代数据被用于重建山西中部、北部地区的史前文化年代序列(表1; 网络版附表1, <http://earthn.scichina.com>). 最后根据各文化类型¹⁴C年代频率曲线2σ的范围, 山西中部、北部地区各个文化时期的绝对年代范围大致可以确定: 庙底沟文化6000~5700cal. a BP(图2a), 仰韶文化晚期义井类型5450~4850cal. a BP(图2b), 白燕二期文化4850~4400cal. a BP(图2c), 龙山文化4450~3700cal. a BP(图2d), 二里头文化3750~3450cal. a BP(图2e).

当把山西中部、北部地区重建的史前考古文化年

表和此前的年表进行对比, 发现仰韶晚期义井类型、白燕二期文化、龙山文化和二里头文化年代比之前认为的分别晚了约50年、100年、200年和50年左右. 导致这种现象发生的原因可能有两个, 一是山西中部、北部地区目前已发表的年代很少, 之前对文化绝对年代范围的确立大多是根据相邻地区同期文化的年代范围而确定的; 二是先前发表的测年数据的测年材料大多是木炭, 而多年生植物在测年中存在“老木效应”的影响(Gavin, 2001; Dong等, 2014). 本文的测年材料均为一年生的炭化作物种子, 因而重建的史前文化年表比之前木炭建立的年表偏年轻.

4.2 鉴定

本文在滹沱河流域85份样品中共鉴定出48605粒炭化植物种子(图1; 附表2), 所有样品鉴定出的炭化植物种子绝对数量都列于附表2. 在这些炭化植物种子

图 2 通过OxCal v.4.4.0软件(Bronk Ramsey, 2017)的内置相位模型和IntCal20校正曲线(Reimer等, 2020)获得的山西中部和北部史前不同考古文化时期的年代频率总和曲线

中, 有两种作物被鉴定出: 37864粒粟和10399粒黍, 分别占有出土炭化植物种子的77.09%和21.39%。其他17种炭化杂草种子诸如狗尾草、野大豆、尼珀尔蓼、酸模、草木樨、胡枝子等也被鉴定出来了(图3), 仅占有出土炭化植物种子的0.34%。在鉴定过程中, 一些植物种子仅能鉴定到科或属, 一些则依然鉴定不出(表1; 图3)。北赵遗址H1样品中鉴定出大量粟(34232粒)和黍(9458粒), 被认为是出土于特殊遗迹中, 如窖穴等。

4.3 山西北部滹沱河流域史前作物种植模式的定量重建

根据本文的植物考古和年代结果, 发现庙底沟文化(6000~5700cal. a BP)是滹沱河流域最早的新石器文化, 当时人类的生业模式是以种植粟黍为主的北方旱作农业(表1; 附表2和附表3; 图4)。在1个庙底沟文化遗址中共鉴定出6粒粟和18粒黍, 实际产量比分别是10.36%和89.64%。在仰韶文化义井类型时期(5450~4850cal. a BP), 人类继续把粟黍当作主要农作物进行种植(表1; 附表2和附表3; 图4)。在青石遗址的

59.5L(5个样品)土样中共发现了218粒粟和58粒黍, 实际产量比分别为56.58%和43.42%。白燕二期文化(4850~4400cal. a BP)至龙山文化(4450~3700cal. a BP)时期, 滹沱河流域的农业模式依然没有得到改变——人类依然将粟和黍作为主要农作物进行种植(表1; 附表2和附表3; 图4)。137粒粟和24粒黍被发现于4个白燕二期文化遗址中, 其实际产量比分别为61.33%和38.67%。1961粒粟和530粒黍也被发现于14个龙山文化遗址中, 实际产率为70.81%和29.19%。尽管西亚起源的作物小麦和大麦在4000a BP后已传播至中国中北部地区(Atahan等, 2011; Liu等, 2016; Song等, 2019; Deng等, 2020), 但人类在二里头文化(3750~3450cal. a BP)和商周时期(3600~2256cal. a BP)种植的主要农作物依然是粟和黍作物(表1; 附表2和附表3; 图4)。在11个二里头文化遗址中共出土了24121粒粟和9777黍, 其实际产量比分别为54.02%和45.98%。344粒粟和64粒黍也被发现于4个商周时期的遗址中, 实际产量比分别为69.5%和30.50%。因此, 庙底沟文化至商周时期, 粟和黍一直是滹沱河流域先民栽培的主要农作物类型。

图3 山西北部滹沱河流域新石器和青铜时代遗址中出土的炭化植物种子

(a) 青石-H1粟; (b) 东冯城-H3粟; (c) 显旺-H2粟; (d) 下双井-H1黍; (e) 上申-H1黍; (f) 卫村-H1黍; (g) 上政化狗尾草; (h) 选仁-H1黍; (i) 南张-L草木樨; (j) 上院-H1胡枝子; (k) 下茹越-H1虫实; (l) 下茹越-H3猪毛菜

5 讨论

5.1 7000~3000a BP期间中国中北部不同地区的农业发展模式

通过将考古遗址中出土的植物种子组合与精确的放射性碳十四年代相结合分析, 可以为我们了解古代人类社会的农业种植模式提供便捷。基于滹沱河流域的植物考古和碳十四年代结果可知, 粟和黍一直是

7000~3000a BP期间先民种植的主要农作物。在滹沱河流域7000~5000a BP和5000~4000a BP之间的考古遗址中, 我们分别发现了300和2622粒粟黍炭化作物种子(附表2; 图4; 图5)。尽管4000a BP后小麦和大麦作物已传入中国中北部地区(Atahan等, 2011; Liu等, 2016; Song等, 2019; Deng等, 2020), 但以种植粟黍为主的北方旱作农业依然是4000~3000a BP期间先民的主要生业模式。35562粒粟和9779粒黍被发现于滹沱河流域的

图 4 漳沱河流域庙底沟文化时期至商周时期考古遗址中出土的炭化作物数量百分比和实际产量比柱状图

图 5 中国中北部漳沱河流域、涑水流域和河南省地区7000~3000a BP期间作物实际产量饼状图

7个二里头文化(3750~3450cal. a BP)和4个商周时期(3600~2256cal. a BP)遗址中, 其实际产量比分别为63.41%和36.59%。山西北部忻定盆地的人骨同位素结果也显示4000BP前后人类主要依靠以粟黍种植为主的农业进行生存(侯亮亮等, 2020)。

通过将漳沱河流域的植物考古结果与涑水流域和河南省已发表的植物考古研究进行对比分析, 可以

了解中国中北部地区不同区域农业发展模式的多样性(图5)。通过对比发现涑水河流域7000~3000a BP期间的农业发展模式与漳沱河流域的一致, 一直都是发展以种植粟黍为主的北方旱作农业。在涑水河流域的仰韶文化、庙底沟二期文化、龙山文化、二里头文化和二里岗文化遗址中分别出土了355粒、6260粒、539粒、2953粒和190粒炭化粟黍作物种子, 实际产量比

别为99.02%、99.25%、99.62%、100%和100%(附表3)(Song等, 2019). 山西南部芮城清凉寺遗址和襄汾陶寺遗址的人骨碳氮同位素也显示人类在仰韶和龙山时期主要以C4类食物(粟黍或者C4类食物饲养的动物)为主(凌雪等, 2010; 陈相龙等, 2012).

与滹沱河流域和涑水河流域相比, 河南地区7000~3000a BP期间的农业发展模式则明显不同. 虽然粟和黍依然是河南地区7000~3000a BP先民主要种植的两种植物, 但水稻也是先民不可或缺的一种种植作物, 甚至在某些地区种植的比例还较大. 例如, 7000~5000a BP期间, 河南地区先民种植的粟和黍实际产量比分别为36.03%和31.86%, 而水稻的实际产量比却达32%, 甚至高于黍(附表3; 图5). 尽管5000~4000a BP期间河南地区水稻种植的实际产量比未发生变化(依然是30%), 但该时期考古遗址中出土水稻遗存的遗址和单个遗址出土水稻遗存的绝对数量却显著增加了(附表3; 图5). 在4000~3000a BP, 二里头文化和二里岗文化遗址中出土水稻遗存的绝对数量虽然减少了, 但出土小麦遗存的绝对数量却增加了. 106粒水稻和566粒小麦分别出土于河南省4000~3000a BP遗址中, 实际产量比分别为2%和15.46%(附表3; 图5). 此外, 大豆也是河南省7000~3000a BP期间先民种植的主要作物之一, 多个遗址都出土了数量不等的大豆遗存即是证明, 这些遗址主要包括舞阳贾湖遗址(裴李岗时期)(赵志军和张居中, 2009)、登封王城岗遗址(龙山时期)(赵志军和方燕明, 2007)、南阳下王岗遗址(龙山时期)(唐丽雅, 2014)、新密新砦遗址(二里头时期)(钟华等, 2016)、禹州瓦店遗址(二里头时期)(刘昶和方燕明, 2010)以及郑州东赵遗址(商周时期)(杨玉璋等, 2017).

值得注意的是, 滹沱河流域、涑水河流域和河南省地区7000~3000a BP期间先民在粟黍这两种作物中一直选择以种植粟作物为主. 在滹沱河流域, 粟遗存在考古遗址中出土的绝对数量遗址始终高于黍遗存, 如224粒、2078粒和35562粒粟, 高于黍的76粒、544粒和9779粒分别出土于7000~5000、5000~4000和4000~3000a BP期间的考古遗址中(附表2和附表3; 图4; 图5). 在涑水河流域, 7000~5000、5000~4000和4000~3000a BP期间粟的实际产量比分别为72.04%、66.95%和88.44%, 也分别高于黍的26.30%、30.60%和11.56%(图5; 附表3). 4012粒、30645粒和33377粒粟,

高于1244粒、2760粒和3358粒黍分别出土于河南省地区的7000~5000、5000~4000和4000~3000a BP的考古遗址中(图5; 附表3). 其他考古遗址的植物考古结果也证明了中国中北部地区7000~3000a BP期间先民以粟作物为主要农作物进行种植. 例如, 10166粒粟, 约两倍于黍(5925粒)出土于滹沱河上游地区与蔚汾河流域的33个龙山时期遗址中(蒋宇超等, 2019). 9135粒和9160粒粟, 约11倍和15倍于黍(772粒和606粒)分别出土于山西周家庄和陶寺遗址中(赵志军和何弩, 2006; 蒋宇超等, 2019).

然而, 虽然三个地区先民在粟黍这两种作物中选择以种植粟为主, 但相对涑水河流域和河南省地区而言, 滹沱河流域先民种植黍作物的强度却更高. 黍/粟的实际产量比率能够很好的反映先民对于这两种作物的种植强度. 通过分析发现, 滹沱河流域7000~5000、5000~4000和4000~3000a BP期间黍/粟的实际产量比率分别为1.22、0.76和1.16, 然而在涑水河流域分别跌落至0.29、0.28和0.13, 河南地区分别降至0.88、0.26和0.29(附表3). 如果将水稻和小麦的实际产量添加至粟的实际产量中, 则河南省7000~5000、5000~4000和4000~3000a BP期间黍/粟的实际产量比率分别降至0.47、0.17和0.23(附表3). 因此, 可以说滹沱河流域先民偏向于多种植黍作物, 而涑水河流域和河南省地区的先民则偏向于多种植粟作物.

总之, 滹沱河流域、涑水河流域和河南省一些地区的先民在7000~3000a BP期间只发展以粟黍种植为主的农业. 而在河南省的其他一些地区, 先民不仅发展了以粟黍种植为主的农业, 在7000~4000a BP期间还发展了水稻和大豆农业, 在4000~3000a BP又引进了以小麦种植为主的农业. 此外, 滹沱河流域、涑水河流域和河南省地区7000~3000a BP期间的先民在粟黍两种作物中一直选择以种植粟作物为主. 区别在于滹沱河流域7000~3000a BP先民偏向于多种植黍作物, 而涑水河流域和河南省地区先民偏向于少种植黍作物.

5.2 新石器时代晚期-青铜器时代中国中北部地区不同农业系统发展的影响因素分析

近年来, 环境考古学、植物考古学等交叉学科的发展为我们探究史前人类农业系统发展背后的影响因素提供了良好的机会(Jia等, 2013, 2016b; Atahan等, 2014; Liu等, 2014, 2019; Chen等, 2015a; Zhou等,

2016; Li等, 2017; Li和Dong, 2018; Bao等, 2018). 前人研究已证明, 自然环境因素如不同地区的气候条件可能是影响区域内农业发展最为重要的因素((Li等, 2009, 2013; 周新郢等, 2011; 张俊娜等, 2014; Chen等, 2015a; Zhou等, 2016; Dong等, 2021). 一般而言, 纬度越高, 温度和降水则越低. 现今, 滹沱河流域的年均温度是4~9℃, 年均降水为400~450mm(张学礼, 2018; Lü等, 2019a). 气象统计数据显示, 涑水河流域的年均降水量为547mm, 年均温度为13.6℃(史东凯, 2009). 公海岩孢粉数据重建的降水记录也显示山西省7000~3000BP期间的降水量是499~612mm(Chen等, 2015b). 然而, 相对于以上两个地区, 河南省地区的年均温度和降水都较高, 年均最大降水量可达1296mm, 年均最高温度可至16.7℃(常军等, 2010). D'Alpoim Guedes(2015)生态位模型表明, 水稻作物需要在高于10℃的基准温度下才能生长, 而粟只需要高于8℃就能生长(D'Alpoim Guedes和Butler, 2014; Kamkar等, 2006). 此外, 粟黍作物, 尤其是黍作物, 生长所需水量较低, 在年均降水量为350~550mm的条件下就可以良好地生长(Lu等, 2009; Weber等, 2010). 然而, 水稻和小麦作物需要比粟黍作物多两至三倍的水量才能生长良好, 大约需要800~1100mm的年均降水量(D'Alpoim Guedes和Butler, 2014; Shrestha等, 2017). 现代种植实验发现, 大豆作物最适宜的生长温度在16~20℃(刘艳菊和胡礼文, 2009). 总的来说, 与种植粟黍相比, 种植水稻、大豆和小麦等作物需要更高的年均温度和降水(Xia等, 2014; Liu等, 2015). 因此, 从以上分析可以看出, 滹沱河流域、涑水河流域和河南省一些地区的温度和降水难以满足水稻、大豆和小麦作物生长所需的环境, 但却可以满足粟黍作物所需的生长环境, 因而这些地区在7000~3000a BP只发展以粟黍种植为主的北方旱作农业. 相反, 河南省的其他一些地区的温度和降水却可以满足水稻、大豆和小麦种植所需的环境, 从而使得这些地区在7000~4000a BP期间发展了粟、黍、水稻和大豆的混合农业, 在4000~3000a BP期间发展了粟、黍、水稻、大豆和小麦的混合农业.

然而, 也有许多研究表明, 气候条件不是造成农业系统产生空间差异的唯一因素, 区域内的古地貌和水文条件可能也是重要的影响因素(Liu等, 2009; 张俊娜等, 2014; Ren等, 2016; Wang等, 2017). 前人研究表明, 地处黄土台塬的浅山丘陵地貌上的考古遗址虽然邻近

河流, 但仍然高出河床约30~60m(Wang等, 2017). 这种台地不仅远离水源, 而且适合耕种的平地也很少, 因而一般难以满足水稻、大豆和小麦生长的环境需求. 如上所述, 粟黍作物对水量和温度的要求都很低, 在350~550mm的年均降水量条件下能够生长良好(张俊娜等, 2014; 吕厚远, 2018), 因而使它们能够种植在这种黄土台塬形成的浅山丘陵地区. 相反, 地处冲积平原地带的遗址通常都位于两河交汇处, 距河床只有10~20m左右的高度(Zhang等, 2012; Wang等, 2017). 此外, 这些冲积平原地区不仅地形平坦辽阔, 而且具有丰富的水资源和肥沃的土壤, 使其成为水稻、小麦和大豆作物种植的理想之地. 根据我们和Song等(2019)的调查结果可知, 滹沱河流域和涑水河流域的考古遗址大部分分布在黄土台塬形成的浅山丘陵地带. 而在河南省地区, 部分遗址分布在浅山丘陵地带, 部分遗址则分布在冲积平原地带(Zhang等, 2012; 张俊娜等, 2014; Wang等, 2017; Liao等, 2019; Lü等, 2019b). 此外, 此前有研究证明, 地处浅山丘陵地带的遗址在可能是小村庄或季节性流动人群居住的地点, 而地处冲积平原的遗址可能是大村庄或长久定居性人群居住的地点(Liu和Chen, 2012). 相对于劳动密集型的水稻农业(成熟期为120~150天)、大豆农业(成熟期为150~180天)和小麦农业(成熟期为230~270天)活动而言, 粟黍农业(成熟期为80~120天)活动需要投入更少的时间和精力(Weber等, 2010). 与单一作物种植的农业系统相比, 混合作物种植农业也需要投入更多的劳动力. 因此, 具有小村庄或季节性营地的浅山丘陵地带先民可能更倾向于发展需要投入更少劳动力的粟黍农业. 而具有大村庄或长久居住营地的冲积平原先民可能更倾向于发展需要投入更多劳动力的粟、黍、水稻、大豆和小麦等多种作物种植的混合农业.

此外, 一些学者认为农民的不同农业技术创新和与对外来文化的接纳程度可能也是导致了三个地区形成不同农业发展模式的原因(van der Veen, 2010; Boivin等, 2012; Liu和Jones, 2014; Liu和Reid, 2020). 河南省一些地区的先民可能试验并获得了更好的农业技术, 例如除草技术、新型饲料、改善种子发芽率和改良农业工具等, 而滹沱河流域、涑水河流域和河南省的部分地区先民则没有. 因而, 使得河南省部分地区先民发展了混合农业系统, 而滹沱河流域、涑水河流域和河南省部分地区的先民则一直只发展了粟黍农

业。地处中原腹地的河南省地区自古就是中国南北方文化频繁交流的区域, 其先民对外来文化的接受度可能更高, 而滹沱河流域和涑水河流域的先民则相反。因此, 当小麦等西亚起源的作物进入河南省地区时, 它很可能自然而然地融入到当地农业系统中并形成混合农业, 而滹沱河流域和涑水河流域的先民可能就直接拒绝融入。

根据我们的分析发现, 7000~3000a BP期间, 无论是滹沱河流域还是涑水河流域亦或者是河南省地区, 先民都选择以种植粟作物为主而不是黍作物。这种情况可能与中全新世后不断增长的人口数量有关。一般而言, 一个地区考古遗址数量的增长可以反映该地区的人口数量增长情况(Li等, 2015, 2021)。根据第二次文物普查结果发现, 滹沱河流域的考古遗址从庙底沟文化时期(6000~5500a BP)的5处增长至仰韶文化义井类型(5500~4900a BP)的50处、白燕二期文化(4900~4500a BP)的100处、龙山文化时期(4600~3800a BP)的176处、二里头文化时期(3800~3500a BP)的56处以及商周时期(3600~2256a BP)的338处(国家文物局, 2006)。河南省地区的考古遗址数量也从7000a BP的83处增加到6000a BP的638处(Wagner等, 2013)。人口数量的增长会使得史前人类对食物资源的需求量也相应增加。根据农业生产统计数据, 黍作物的产量为750~1500kg ha⁻¹, 而粟作物的产量是黍作物的近一倍, 产量可达2250~3750kg ha⁻¹(杨文治和余存祖, 1992; 柴岩和冯佰利, 2003)。中国中北部地区7000~3000BP期间先民对高产粟种植的偏爱可能是应对该时期不断增长的人口食物资源需求。当然, 考古遗址中炭化粟保存率高于炭化黍可能也是三个地区炭化粟出土率较高的原因。此前有研究发现, 黍的炭化温度(250~325℃)远低于粟的炭化温度(270~390℃)结果可能导致更多的黍炭化成粉末, 进而使得其在考古遗址中保存下来的概率较低(王灿和吕厚远, 2020; Yang等, 2011)。此外, 也有学者研究发现, 小粒径植物种子在考古遗址中, 保存的概率高于大粒径种子保存的概率(Gustafsson, 2000; Motuzaite-Matuzeviciute等, 2012)。因此, 由于粟种子粒径较小, 炭化阈值又高于黍, 使得其在考古遗址中保存下来的概率可能更高。

粟黍作物本身的生长特性可能是导致滹沱河流域黍作物的种植强度高于涑水河流域和河南省地区的原因。相对于种植黍作物而言, 种植粟作物对土壤肥力和

水分的要求更高, 粟作物的生长周期也比黍作物长(柴岩, 1999; D'Alpoim Guedes和Butler, 2014)。现代种植实验发现, 粟作物的最佳适宜生长温度和降水量在8~10℃和450~550mm, 而黍作物的最佳适宜生长温度和降水量分别在6~8℃和350~450mm(游修龄, 1993; Li和Wu, 1996; Nesbitt, 2005)。简而言之, 黍作物生长所需水量较低, 种植季节也相对较短, 使得其适合在较贫瘠的土壤中能够种植。此外, 与黍作物相比, 种植水稻、小麦、大豆等作物则更需要大量的水。如前文所述, 滹沱河流域的地理位置相比涑水河流域和河南省地区更靠北, 年平均温度和降水都更低。因此, 粟黍作物生长的不同生境需求致使滹沱河流域、涑水河流域和河南省地区的先民选择不同的农业种植策略。

综上所述, 滹沱河流域、涑水河流域以及河南省部分地区的气候和丘陵台地条件仅能满足粟黍作物种植的生境需求, 使得这三个地区在7000~3000a BP期间仅发展了以种植粟黍为主的农业。然而, 河南省部分地区的气候和冲积平原地貌条件不仅能够满足粟黍作物种植的生境需求, 同时还能满足水稻、大豆和小麦等作物种植的生境需求, 结果使得河南省部分地区在7000~4000a BP期间发展了粟、黍、水稻和大豆的混合农业, 在4000~3000a BP期间小麦农业也加入其中。此外, 不同地区先民不同的农业技术创新和对外来文化的接受程度可能也是三个地区形成不同农业发展模式的原因之一。三个地区人口数量的增长促使先民在7000~3000a BP期间选择高产的粟作物而不是低产的黍作物作为主要农作物进行种植。炭化粟种子在考古遗址中的高保存概率可能是三个地区炭化粟出土概率和绝对数量普遍高于炭化黍的原因。粟黍作物本身的生长环境特性使得滹沱河流域先民在7000~3000a BP期间选择多种耐旱的黍作物, 而涑水河流域和河南省地区的先民选择少种植。

6 结论

本文通过对山西省中部和北部地区新石器和青铜时代考古遗址中出土的一年生作物遗存进行直接碳十四测年, 并结合此前已发表的通过骨骼和木炭所测定的年代, 建立了该地区一条高分辨率的史前文化年代序列表。山西中部和北部重建的文化年代序列表是: 庙底沟文化6000~5700cal. a BP, 仰韶文化晚期义井类

型5450~4850cal. a BP, 白燕二期文化4850~4400cal. a BP, 龙山文化4450~3700cal. a BP和二里头文化3750~3450cal. a BP.

植物考古结果显示粟和黍是滹沱河流域先民从庙底沟文化时期至商周时期一直主要种植的两种植物。此外, 通过对比发现滹沱河流域的农业发展模式与涑水河流域的一致, 与河南省地区的则不同。在7000~3000a BP期间, 滹沱河流域、涑水河流域和河南省部分地区的先民一直只发展以粟黍种植为主的农业, 而河南省其他部分地区, 先民在7000~4000a BP期间发展粟黍农业的同时还发展了水稻和大豆农业, 在4000~3000a BP还引入了小麦农业。粟黍作物中, 三个地区先民在7000~3000a BP期间一直以种植粟作物为主。然而, 虽然黍作物地位一直次于粟作物, 但滹沱河流域种植黍的强度一直高于涑水河流域与河南省地区。

三个地区农业发展模式的差异与其地形地貌、气候和水热条件息息相关。滹沱河流域、涑水河流域及河南省部分地区的气候和丘陵台地地貌条件仅能满足粟黍作物的生长需求, 因此在这三个地区一直只发展粟黍农业。然而, 河南省其他部分地区的气候和冲积平原地貌条件不仅能满足粟黍作物的生长需求, 还能满足水稻、大豆和小麦的种植需求, 因而在7000~4000a BP期间该地区形成了粟、黍、水稻和大豆的混合农业, 在4000~3000a BP期间小麦也成为混合农业中的一员。不同地区农业技术的变化和与外来文化的互动可能也是导致这三个地区在7000~3000a BP期间形成农业模式的原因之一。此外, 7000~3000a BP的人口增长迫使三个地区先民都选择高产粟作物作为主要栽培作物, 而不是黍作物。同时, 还必须考虑到炭化粟在考古遗址中的高保存概率, 从而使得植物组合中炭化粟比例一直高于炭化黍。然而, 我们还认为, 三个地区的地理和环境条件促使先民具有不同的农业选择。粟的高产使得其在7000~3000a BP期间的所有区域都是优势作物, 滹沱河流域先民因黍作物对温度和降水的低需求而选择多种植黍, 而涑水河流域和河南省地区的先民粟的高产而选择多种植粟作物。

参考文献

柴岩, 冯佰利. 2003. 中国小杂粮产业发展现状及对策. 干旱地区农业研究, 21: 145-151

- 柴岩. 1999. 糜子(黍). 北京: 中国农业出版社. 1-242
- 常军, 顾万龙, 竹磊磊, 李素萍, 李凤秀. 2010. 河南省水资源量分布特征及对降水变化的响应. 人民黄河, 32: 78-79
- 陈相龙, 袁靖, 胡耀武, 何弩, 王昌燧. 2012. 陶寺遗址家畜饲养策略初探: 来自碳、氮稳定同位素的证据. 考古, 73: 76-83
- 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
- 国家文物局. 2006. 中国文物地图集·山西分册上. 北京: 中国地图出版社. 534-637
- 侯亮亮, 赵杰, 邓惠, 陈小三, 陈涛, 陶大卫, 郭怡. 2020. 稳定同位素和植物微体化石证据所见山西忻定盆地4000a BP前后的生业经济. 中国科学: 地球科学, 50: 369-379
- 蒋宇超, 戴向明, 王力之, 王晓毅, 秦岭. 2019. 大植物遗存反映的龙山时代山西高原的农业活动与区域差异. 第四纪研究, 39: 123-131
- 凌雪, 陈靓, 薛新明, 赵从苍. 2010. 山西芮城清凉寺墓地出土人骨的稳定同位素分析. 第四纪研究, 30: 415-421
- 刘昶, 方燕明. 2010. 河南禹州瓦店遗址出土植物遗存分析. 南方文物, (4): 55-64
- 刘艳菊, 胡礼文. 2009. 大豆生育期与气象条件的关系. 现代农业科技, 14: 276-280
- 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: 181-189
- 史东凯. 2009. 山西省运城市涑水河流域降水特征分析. 地下水, (4): 151-153
- 唐丽雅. 2014. 江汉地区新石器时代晚期至青铜时代农业生产动态的植物考古学观察. 博士学位论文. 北京: 中国社会科学院研究生院. 1-245
- 王灿, 吕厚远. 2020. 黍、粟炭化温度研究及其植物考古学意义. 东南文化, (1): 65-74
- 杨青, 李小强, 周新鄂, 赵克良, 纪明, 孙楠. 2011. 炭化过程中粟、黍种子亚显微结构特征及其在植物考古中的应用. 科学通报, 56: 1495-1502
- 杨文治, 余存祖. 1992. 黄土高原主要粮食作物的生产力及增产技术体系. 见: 杨文治, 余存祖, 编. 黄土高原区域治理与评价. 北京: 科学出版社. 73-124
- 杨谊时, 张山佳, Oldknow C, 仇梦晗, 陈亭亭, 黎海明, 崔一付, 任乐乐, 陈国科, 王辉, 董广辉. 2019. 河西走廊史前文化年代的完善及其对重新评估人与环境关系的启示. 中国科学: 地球科学, 49: 2037-2050
- 杨玉璋, 袁增箭, 张家强, 程至杰, 裯华丽, 方方, 张居中, 顾万发. 2017. 郑州东赵遗址炭化植物遗存记录的夏商时期农业特征及其发展过程. 人类学学报, 36: 119-130
- 游修龄. 1993. 黍粟的起源及传播问题. 中国农史, 12: 1-13
- 原思训, 陈铁梅, 胡艳秋, 蒙清平, 马力. 1994. 碳十四年代测定报告

- (九). 文物, (4): 85-95
- 张健平, 吕厚远, 吴乃琴, 李丰江, 杨晓燕, 王炜林, 马明志, 张小虎. 2010. 关中盆地6000~2100 cal. a B.P. 期间黍、粟农业的植硅体证据. 第四纪研究, 30: 287-297
- 张居中, 程至杰, 蓝万里, 杨玉璋, 罗武宏, 姚凌, 尹承龙. 2018. 河南舞阳贾湖遗址植物考古研究的新进展. 考古, 607: 102-112
- 张俊娜, 夏正楷, 张小虎. 2014. 洛阳盆地新石器-青铜时期的炭化植物遗存. 科学通报, 59: 3388-3397
- 张学礼. 2018. 滹沱河流域水环境变迁与区域社会发展研究(1949-2009). 博士学位论文. 石家庄: 河北师范大学. 1-151
- 赵志军, 方燕明. 2007. 登封王城岗遗址浮选结果及分析. 华夏考古, (2): 78-89
- 赵志军, 何弩. 2006. 陶寺城址2002年度浮选结果及分析. 考古, (5): 77-86
- 赵志军, 张居中. 2009. 贾湖遗址2001年度浮选结果分析报告. 考古, (8): 84-93
- 中国社会科学院考古研究所. 1991. 中国考古学中碳十四年代数据集(1965~1981). 北京: 文物出版社. 89-94
- 中国国家博物馆田野考古研究中心, 山西省考古研究所, 运城市文物保护研究所. 2011. 运城盆地东部聚落考古调查与研究. 北京: 文物出版社. 1-493
- 钟华, 赵春青, 魏继印, 赵志军. 2016. 河南新密新砦遗址2014年浮选结果及分析. 农业考古, (1): 21-29
- 周新郢, 李小强, 赵克良, Dodson J, 孙楠, 杨青. 2011. 陇东地区新石器时代的早期农业及环境效应. 科学通报, 56: 762-771
- 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
- An C B, Feng Z D, Tang L Y. 2004. Environmental change and cultural response between 8000 and 4000 cal. yr BP in the western Loess Plateau, northwest China. *J Quat Sci*, 19: 529-535
- An C B, Tang L Y, Barton L, Chen F H. 2005. Climate change and cultural response around 4000 cal yr B.P. in the western part of Chinese Loess Plateau. *Quat Res*, 63: 347-352
- Atahan P, Dodson J, Li X Q, Zhou X Y, Chen L, Barry L, Bertuch F. 2014. Temporal trends in millet consumption in northern China. *J Archaeol Sci*, 50: 171-177
- Atahan P, Dodson J, Li X Q, Zhou X Y, Hu S M, Chen L, Bertuch F, Grice K. 2011. Early Neolithic diets at Baijia, Wei River valley, China: Stable carbon and nitrogen isotope analysis of human and faunal remains. *J Archaeol Sci*, 38: 2811-2817
- Bao Y G, Zhou X Y, Liu H B, Hu S M, Zhao K L, Atahan P, Dodson J, Li X Q. 2018. Evolution of prehistoric dryland agriculture in the arid and semi-arid transition zone in northern China. *PLoS ONE*, 13: e0198750
- Bawden G, Reycraft R M. 2002. Environmental disaster and the archaeology of human response. *Am J Archaeol*, 106: 475-476
- Boivin N, Fuller D Q, Crowther A. 2012. Old World globalization and the Columbian exchange: Comparison and contrast. *World Archaeol*, 44: 452-469
- Bronk Ramsey C, Dee M W, Rowland J M, Higham T F G, Harris S A, Brock F, Quiles A, Wild E M, Marcus E S, Shortland A J. 2010. Radiocarbon-based chronology for Dynastic Egypt. *Science*, 328: 1554-1557
- Bronk Ramsey C. 2017. Methods for summarizing radiocarbon datasets. *Radiocarbon*, 59: 1809-1833
- Chen F H, Dong G H, Zhang D J, Liu X Y, Jia X, An C B, Ma M M, Xie Y W, Barton L, Ren X Y, Zhao Z J, Wu X H, Jones M K. 2015a. Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 B.P. *Science*, 347: 248-250
- Chen F, Xu Q, Chen J, Birks H J B, Liu J, Zhang S, Jin L, An C, Telford R J, Cao X, Wang Z, Zhang X, Selvaraj K, Lu H, Li Y, Zheng Z, Wang H, Zhou A, Dong G, Zhang J, Huang X, Bloemendal J, Rao Z. 2015b. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Sci Rep*, 5: 11186
- D'Alpoim Guedes J, Butler E E. 2014. Modeling constraints on the spread of agriculture to Southwest China with thermal niche models. *Quat Int*, 349: 29-41
- D'Alpoim Guedes J. 2015. Rethinking the spread of agriculture to the Tibetan Plateau. *Holocene*, 25: 1498-1510
- D'Alpoim Guedes J A, Lu H, Hein A M, Schmidt A H. 2015. Early evidence for the use of wheat and barley as staple crops on the margins of the Tibetan Plateau. *Proc Natl Acad Sci USA*, 112: 5625-5630
- Dalfes H N, Kukla G, Weiss H. 1997. Third millennium BC climate change and old world collapse. Springer Science & Business Media, 49: 1-14
- Deng Z H, Fuller D Q, Chu X L, Cao Y P, Jiang Y C, Wang L Z, Lu H Y. 2020. Assessing the occurrence and status of wheat in late Neolithic central China: The importance of direct AMS radiocarbon dates from Xiazhai. *Veget Hist Archaeobot*, 29: 61-73
- Deng Z H, 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
- Dolukhanov P M, Shukurov A M, Tarasov P E, Zaitseva G I. 2002. Colonization of northern Eurasia by modern humans: Radiocarbon chronology and environment. *J Archaeol Sci*, 29: 593-606
- Dong G H, Jia X, Robert E, Chen F H, Li S C, Wang L, Cai L H, An C B. 2013. Spatial and temporal variety of prehistoric human

- settlement and its influencing factors in the upper Yellow River valley, Qinghai Province, China. *J Archaeol Sci*, 40: 2538–2546
- Dong G, Li R, Lu M, Zhang D, James N. 2019. Evolution of human-environmental interactions in China from the Late Paleolithic to the Bronze Age. *Prog Phys Geography-Earth Environ*, 44: 233–250
- Dong G H, Li T, Zhang S J, Ren L L, Li R, Li G Q, Xiao Y M, Wang Z X, Chen F H. 2021. Precipitation in surrounding mountains instead of lowlands facilitated the prosperity of ancient civilizations in the eastern Qaidam Basin of the Tibetan Plateau. *Catena*, 203: 105318
- Dong G H, Wang Z L, Ren L L, Matuzeviciute G M, Wang H, Ren X, Chen F. 2014. A comparative study of ^{14}C dating on charcoal and charred seeds from late Neolithic and Bronze Age sites in Gansu and Qinghai Provinces, NW China. *Radiocarbon*, 56: 157–163
- Fiorentino G, Caldara M, De Santis V, D'Oronzo C, Muntoni I M, Simone O, Primavera M, Radina F. 2013. Climate changes and human-environment interactions in the Apulia region of south-eastern Italy during the Neolithic period. *Holocene*, 23: 1297–1316
- Gavin D G. 2001. Estimation of inbuilt age in radiocarbon ages of soil charcoal for fire history studies. *Radiocarbon*, 43: 27–44
- Gustafsson S. 2000. Carbonized cereal grains and weed seeds in prehistoric houses—An experimental perspective. *J Archaeol Sci*, 27: 65–70
- Haug G H, Gunther D, Peterson L C, Sigman D M, Hughen K A, Aeschlimann B. 2003. Climate and the collapse of Maya civilization. *Science*, 299: 1731–1735
- Jia X, Dong G H, Li H, Brunson K, Chen F H, Ma M M, Wang H, An C B, Zhang K R. 2013. The development of agriculture and its impact on cultural expansion during the late Neolithic in the Western Loess Plateau, China. *Holocene*, 23: 85–92
- Jia X, Lee H F, Zhang W C, Wang L, Sun Y G, Zhao Z J, Yi S W, Huang W B, Lu H Y. 2016a. Human-environment interactions within the West Liao River Basin in Northeastern China during the Holocene Optimum. *Quat Int*, 426: 10–17
- Jia X, Sun Y G, Wang L, Sun W F, Zhao Z J, Lee H F, Huang W B, Wu S Y, L H Y. 2016b. The transition of human subsistence strategies in relation to climate change during the Bronze Age in the West Liao River Basin, Northeast China. *Holocene*, 26: 781–789
- Kamkar B, Koocheki A, Nassiri M M, Rezvani M P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet specieses (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian J Plant Sci*, 5: 316–319
- Keepax C. 1977. Contamination of archaeological deposits by seeds of modern origin with particular reference to the use of flotation machines. *J Archaeol Sci*, 4: 221–229
- Lee G A, Crawford G W, Liu L, Chen X C. 2007. Plants and people from the Early Neolithic to Shang periods in North China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 104: 1087–1092
- Li H M, Dong G H. 2018. The adoption of wheat and barley as major staples in northwest China during the early Bronze Age. In: Far from the Hearth Essays in Honour of Martin Jones. Cambridge: University of Cambridge. 16: 189–198
- Li H M, Liu F W, Cui Y F, Ren L L, Storozum M J, Qin Z, Wang J, Dong G. 2017. Human settlement and its influencing factors during the historical period in an oasis-desert transition zone of Dunhuang, Hexi Corridor, northwest China. *Quat Int*, 458: 113–122
- Li H, An C B, Fan W J, Dong W M, Zhao Y T, Wang H P. 2015. Population history and its relationship with climate change on the Chinese Loess Plateau during the past 10,000 years. *Holocene*, 25: 1144–1152
- 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, Zhao K L. 2013. Vegetation characteristics in the western Loess plateau between 5200 and 4300 cal. B.P. based on fossil charcoal records. *Veget Hist Archaeobot*, 22: 61–70
- Li Y, Wu S Z. 1996. Traditional maintenance and multiplication of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) P. Beauv.) landraces in China. *Euphytica*, 87: 33–38
- Li Y P, Zhang J N, Zhang X H, Zhao H T. 2021. Agriculture, the environment, and social complexity from the Early to Late Yangshao Periods (5000–3000 BC): Insights from Macro-Botanical Remains in North-Central China. *Front Earth Sci*, 9: 338
- Liao Y N, Lu P, Mo D W, Wang H, Storozum M J, Chen P P, Xu J J. 2019. Landforms influence the development of ancient agriculture in the Songshan area, central China. *Quat Int*, 521: 85–89
- Liu L, Chen X C. 2012. The Archaeology of China: From the Late Paleolithic to the Early Bronze Age. Cambridge: Cambridge University Press. 403–412
- Liu X, Hunt H V, Jones M K. 2009. River valleys and foothills: Changing archaeological perceptions of North China's earliest farms. *Antiquity*, 83: 82–95
- Liu X Y, Jones M K. 2014. Food globalisation in prehistory: Top down or bottom up? *Antiquity*, 88: 956–963
- Liu X Y, Jones P J, Motuzaite Matuzeviciute G, Hunt H V, Lister D L, An T, Przelomska N, Kneale C J, Zhao Z, Jones M K. 2019. From ecological opportunism to multi-cropping: Mapping food globalisation in prehistory. *Quat Sci Rev*, 206: 21–28
- Liu X Y, Lightfoot E, O'Connell T C, Wang H, Li S C, Zhou L P, Hu Y W, Motuzaite-Matuzeviciute G, Jones M K. 2014. From necessity to choice: Dietary revolutions in west China in the second millennium

- BC. *World Archaeol*, 46: 661–680
- Liu X Y, Lister D L, Zhao Z J, Staff R A, Jones P J, Zhou L P, Pokharia A K, Petrie C A, Pathak A, Lu H L, Matuzeviciute G M, Bates J, Pilgram T K, Jones M K. 2016. The virtues of small grain size: Potential pathways to a distinguishing feature of Asian wheats. *Quat Int*, 426: 107–119
- Liu X Y, Reid R E B. 2020. The prehistoric roots of Chinese cuisines: Mapping staple food systems of China, 6000 BC–220 AD. *PLoS ONE*, 15: e0240930
- Liu Z H, Yang P, Tang H J, Wu W B, Zhang L, Yu Q Y, Li Z G. 2015. Shifts in the extent and location of rice cropping areas match the climate change pattern in China during 1980–2010. *Reg Environ Change*, 15: 919–929
- 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 10,000 years ago. *Proc Natl Acad Sci USA*, 106: 7367–7372
- Lü J Q, Mo D W, Zhuang Y J, Jiang J Q, Liao Y N, Lu P, Ren X L, Feng J. 2019a. Holocene geomorphic evolution and settlement distribution patterns in the mid-lower Fen River basins, China. *Quat Int*, 521: 16–24
- Lü P, Wang H, Chen P P, Storozum M J, Xu J J, Tian Y, Mo D W, Wang S Z, He Y, Yan L J. 2019b. The impact of Holocene alluvial landscape evolution on an ancient settlement in the southeastern piedmont of Songshan Mountain, Central China: A study from the Shiyuan site. *Catena*, 183: 104232
- Manning S W, Ramsey C B, Kutschera W, Higham T, Kromer B, Steier P, Wild E M. 2006. Chronology for the Aegean late Bronze Age 1700–1400 B.C. *Science*, 312: 565–569
- Märkle T, Rösch M. 2008. Experiments on the effects of carbonization on some cultivated plant seeds. *Veget Hist Archaeobot*, 17: 257–263
- Mellars P. 2006. A new radiocarbon revolution and the dispersal of modern humans in Eurasia. *Nature*, 439: 931–935
- Motuzaitė-Matuzeviciute G, Hunt H V, Jones M K. 2012. Experimental approaches to understanding variation in grain size in *Panicum miliaceum* (broomcorn millet) and its relevance for interpreting archaeobotanical assemblages. *Veget Hist Archaeobot*, 21: 69–77
- Motuzaitė-Matuzeviciute G, Staff R A, Hunt H V, Liu X, Jones M K. 2013. The early chronology of broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) in Europe. *Antiquity*, 87: 1073–1085
- Nesbitt M. 2005. Grains. In: Prance G T, Nesbitt M, eds. *Cultural History of Plants*. London: Routledge. 45–60
- Polyak V J, Asmerom Y. 2001. Late Holocene climate and cultural changes in the southwestern United States. *Science*, 294: 148–151
- Reimer P J, Austin W E N, Bard E, Bayliss A, Blackwell P G, Bronk Ramsey C, Butzin M, Cheng H, Edwards R L, Friedrich M, Grootes P M, Guilderson T P, Hajdas I, Heaton T J, Hogg A G, Hughen K A, Kromer B, Manning S W, Muscheler R, Palmer J G, Pearson C, van der Plicht J, Reimer R W, Richards D A, Scott E M, Southon J R, Turney C S M, Wacker L, Adolphi F, Büntgen U, Capano M, Fahrni S M, Fogtmann-Schulz A, Friedrich R, Köhler P, Kudsk S, Miyake F, Olsen J, Reinig F, Sakamoto M, Sookdeo A, Talamo S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62: 725–757
- Ren X L, Lemoine X, Mo D W, Kidder T R, Guo Y, Qin Z, Liu X Y. 2016. Foothills and intermountain basins: Does China's Fertile Arc have 'Hilly Flanks'? *Quat Int*, 426: 86–96
- Sheng P F, Shang X, Sun Z Y, Yang L P, Guo X N, Jones M K. 2018. North-south patterning of millet agriculture on the Loess Plateau: Late Neolithic adaptations to water stress, NW China. *Holocene*, 28: 1554–1563
- Shrestha S, Chapagain R, Babel M S. 2017. Quantifying the impact of climate change on crop yield and water footprint of rice in the Nam Oon Irrigation Project, Thailand. *Sci Total Environ*, 599–600: 689–699
- Song J X, Wang L, Fuller D Q. 2019. A regional case in the development of agriculture and crop processing in northern China from the Neolithic to Bronze Age: Archaeobotanical evidence from the Sushui River survey, Shanxi province. *Archaeol Anthropol Sci*, 11: 667–682
- Staubwasser M, Sirocko F, Grootes P M, Segl M. 2003. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophys Res Lett*, 30: 1425
- Sun Q L, Liu Y, Wünnemann B, Peng Y J, Jiang X Z, Deng L J, Chen J, Li M T, Chen Z Y. 2019. Climate as a factor for Neolithic cultural collapses approximately 4000 years BP in China. *Earth-Sci Rev*, 197: 102915
- Svyatko S V, Schulting R J, Mallory J, Murphy E M, Reimer P J, Khartanovich V I, Chistov Y K, Sablin M V. 2013. Stable isotope dietary analysis of prehistoric populations from the Minusinsk Basin, Southern Siberia, Russia: A new chronological framework for the introduction of millet to the eastern Eurasian steppe. *J Archaeol Sci*, 40: 3936–3945
- Tan L C, Dong G H, An Z S, Edwards R L, Li H M, Li D, Spengler R N, Cai Y J, Cheng H, Lan J H, Orozbaev R, Liu R L, Chen J H, Xu H, Chen F H. 2020. Megadrought and cultural exchange along the proto-silk road. *Sci Bull*, 66: 603–611
- van der Veen M. 2010. Agricultural innovation: Invention and adoption or change and adaptation? *World Archaeol*, 42: 1–12
- Wagner M P, Tarasov D, Hosner A, Fleck R, Ehrich X, Leipe C. 2013.

- Mapping of the spatial and temporal distribution of archaeological sites of northern China during the Neolithic and Bronze Age. *Quat Int*, 290-291: 344–357
- Wang C, Lu H Y, Gu W F, Wu N Q, Zhang J P, Zuo X X, Li F J, Wang D J, Dong Y J, Wang S Z, Liu Y F, Bao Y J, Hu Y L. 2017. The spatial pattern of farming and factors influencing it during the Peiligang culture period in the middle Yellow River valley, China. *Sci Bull*, 62: 1565–1568
- Weber S, Lehman H, Barela T, Hawks S, Harriman D. 2010. Rice or millets: Early farming strategies in prehistoric central Thailand. *Archaeol Anthropol Sci*, 2: 79–88
- Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W, Guichard F, Senior L, Meadow R, Curnow A. 1993. The genesis and collapse of third millennium north mesopotamian civilization. *Science*, 261: 995–1004
- Xia T, Wu W B, Zhou Q B, Yu Q Y, Peter H V, Yang P, Lu Z J, Tang H J. 2014. Spatio-temporal changes in the rice planting area and their relationship to climate change in Northeast China: A model-based analysis. *J Integr Agr*, 13: 1575–1585
- Xu D K, Lu H Y, Chu G Q, Liu L, Shen C M, Li F J, Wang C, Wu N Q. 2019. Synchronous 500-year oscillations of monsoon climate and human activity in Northeast Asia. *Nat Commun*, 10: 4105
- Yamaura Y, Narita A, Kusumoto Y, Nagano A J, Tezuka A, Okamoto T, Takahara H, Nakamura F, Isagi Y, Lindenmayer D. 2019. Genomic reconstruction of 100 000-year grassland history in a forested country: Population dynamics of specialist forbs. *Biol Lett*, 15: 20180577
- Yang Q, Li X Q, Liu W G, Zhou X Y, Zhao K L, Sun N. 2011. Carbon isotope fractionation during low temperature carbonization of foxtail and common millets. *Org Geochem*, 42: 713–719
- Zhang J P, Lu H Y, Gu W F, Wu N Q, Zhou K S, Hu Y Y, Xin Y J, Wang C. 2012. Early mixed farming of millet and rice 7800 years ago in the Middle Yellow River region, China. *PLoS ONE*, 7: e52146
- Zhou X Y, Li X Q, Dodson J, Zhao K L. 2016. Rapid agricultural transformation in the prehistoric Hexi corridor, China. *Quat Int*, 426: 33–41

(责任编辑: 吴海斌)