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

侯亮亮¹, 赵杰¹, 邓惠¹, 陈小三¹, 陈涛¹, 陶大卫², 郭怡^{3*}

1. 山西大学考古学系, 太原 030006;

2. 郑州大学考古学系, 郑州 450001;

3. 浙江大学考古与博物馆学系, 杭州 310058

* 通讯作者, E-mail: guoyi10@zju.edu.cn

收稿日期: 2019-04-22; 收修改稿日期: 2019-07-12; 接受日期: 2019-08-12; 网络版发表日期: 2019-11-08

教育部人文社会科学研究青年基金项目(编号: 15YJC780003)资助

摘要 为了揭示4000a BP前后地理条件封闭的忻定盆地考古学文化大发展与传统粟黍农业及外来麦类种植和牛羊饲养业的关系, 讨论中国北方文明事件所产生的广泛的经济基础, 文章以辛章遗址出土的9例人骨和58例动物骨骼为研究对象, 运用碳氮稳定同位素分析和人牙结石上植物微体化石分析的研究方法, 还原了先民的食物结构和生业经济。结果显示, 先民、猪和狗主要以粟黍类食物为生, 牛和羊的食物中也包含一定量的粟黍副产品(如秸秆)等。然而, 小麦等并没有在该地区被种植。显然, 粟黍农业已对外来动物(牛和羊)的饲喂产生明显影响。由此可见, 忻定盆地完全采用了以粟黍农业为主兼容诸多外来农业因素的新的农业体系(粟黍农业及猪牛羊饲喂业), 进而证实了新的农业体系已成为更广阔区域先民生产和生活的最优选择, 这为各地考古学文化的发展甚至文明的最终出现奠定了广泛的物质基础。

关键词 辛章遗址, 4000a BP前后, 碳氮稳定同位素, 生业经济

1 引言

4000a BP前后世界各地纷纷涌现出各自独特的文明现象(徐朝龙, 1989; Chadwick, 2005), 这与各地史前农业的持续发展, 世界性环境变化等因素密切相关。同时, 欧亚大陆东西方文化的交流和互鉴(Kuzmina, 2008; Jones等, 2011)也促进了相应区域社会复杂化的进程。

现有研究显示, 中国北方传统的生业经济是以粟

黍种植和家猪饲喂为基础的农业体系(袁靖, 2010; Zhao, 2011)。然而, 对龙山文化晚期典型遗址, 如陶寺(姚政权等, 2006; 赵志军和何弩, 2006; 陈相龙等, 2012)、新砦(戴玲玲等, 2014; 钟华等, 2016; Dai等, 2016a, 2016b)等的综合研究, 可以发现近东地区以牛、羊、麦类为核心的农业因素(Zeder, 2011)已或多或少地融入到传统的粟黍农业体系之中, 这使得相关区域的生业经济格局进一步复杂化。这种新的农业体系的产生不仅加速了中原地区“五谷丰登”和“六畜兴

中文引用格式: 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, doi: [10.1360/SSTe-2019-0083](https://doi.org/10.1360/SSTe-2019-0083)

英文引用格式: Hou L, Zhao J, Deng H, Chen X, Chen T, Tao D, Guo Y. 2020. The subsistence patterns of Xinding Basin, Shanxi, China during ~4000 yr BP by stable isotopes and plant microfossils analysis (in Chinese). *Scientia Sinica Terrae*, 50: 369–379, doi: [10.1360/SSTe-2019-0083](https://doi.org/10.1360/SSTe-2019-0083)

旺”农业格局的出现,也为中华文明的最终出现奠定了坚实的物质基础(赵志军, 2011).

然而,要了解新的农业体系在4000a BP前后发展的具体状况,深入探索其对中华文明诞生的作用,仅仅揭示诸多区域文化中心(如潜在的文明起源地等)和位于交流通道上的遗址、聚落、城址等的生业经济是远远不够的,因为它们只代表了当时最高或最先进的生产力水平,根本无法涵盖更广大区域先民的普遍情况.事实上,对一些次发达的、偏远的,甚至是较为封闭的地区的生业经济进行细致分析,恰恰可以更好地体现新的农业体系是否真正已经成为当时的最优选择.同时,将这些地区的生业经济与发达地区的生业经济进行比较,将有助于探索中国文明多样化起源的动因.

山西北部滹沱河上游的忻定盆地即是一个绝佳案例.忻定盆地(海拔为800~900m)四周为高山丘陵(海拔都在2000m以上),自然地理环境和气候环境相对封闭,容易形成稳定的区域文化(山西省考古研究所等, 2012).近年来随着考古工作的开展,忻定盆地先秦时期的考古学文化面貌也初显端倪.从目前考古资料的研究来看,龙山文化晚期至夏纪年(4000a BP前后)当地的文化面貌发生了重大变化.首先,4000a BP前后遗址的数量和规模都远远超过此前的各个时期(国家文物局, 2007; 山西省考古研究所等, 2012).据调查结果可知,忻定盆地各时期的考古遗址共计258处,但4000a BP前后考古遗址的数量就达120处,且出现了5处面积超过 $1 \times 10^6 \text{m}^2$ 的遗址(山西省考古研究所等, 2012).然而,此前考古遗址数量仅有74处,且基本为散点式遗址,分布面积也极其有限(山西省考古研究所等, 2012).其次,随着游邀(忻州考古队, 1989; 吉林大学边疆考古研究中心等, 2004)、阳白(山西大学历史系考古专业等, 1997)、青石(山西省考古研究所和忻州市文物管理处, 2012)、辛章(山西大学历史文化学院考古系, 2014)等遗址的发掘和研究,进一步确认了4000a BP前后忻定盆地出现了高度发达的且独具地方特色的考古学文化.具体而言,在龙山文化时期以前,本地区的考古遗存仅有零星发现,遗迹现象分布也较为稀疏,陶器及其组合群简单,如陶片多为泥质红陶,多素面,可辨器形简单,仅有钵和碗等(山西省考古研究所等, 2012).然而,龙山文化晚期至夏纪年前后,本地考古学文化呈现出迅猛发展的态势.例如,在多个遗址都发现有形制多样的房址、陶窑、石灰窑、墓葬等

遗迹(吉林大学边疆考古研究中心等, 2004; 山西大学历史文化学院考古系, 2014).又如,生活用具及其组合群趋于复杂化,其中陶器及其组合群有鬲、甗、盂、甗、瓮、罐、尊、圈足盘等,而且双釜鬲成为滹沱河上游考古学文化的独特标识(山西省考古研究所等, 2012).再如,相关遗址还都发现有卜骨、玉器、陶祖、陶铃、陶环等器物,甚至还发现少量青铜器等(山西省考古研究所等, 2012).显然,4000a BP前后忻定盆地也演化出高度发达的考古学文化,这使得该区域也成为探索中国古代文明多样化形成的重要区域.

目前,多学科的研究为忻定盆地4000a BP前后的生业经济重建提供了相应的证据链.首先,遗物及其组合群的研究为先民生业经济的重建提供了重要的参考.例如,对生产工具的形态功能观察来看,石斧、石铲、石刀、蚌刀等既可以收割农作物,也可以采集野生植物,说明当时除农业生产外,还存在少量采集经济(吉林大学边疆考古研究中心等, 2004).其次,动物考古学研究显示,猪的比例最高,其次为外来的牛和羊,说明猪是先民最主要饲喂的动物,但牛和羊的饲喂也有一定规模(吉林大学边疆考古研究中心等, 2004).此外,滹沱河上游的植物考古学研究显示,炭化粟黍的比例最大(蒋宇超等, 2019).显然,该区域生业经济基本上已经呈现出以东方粟黍农业为主兼有外来农业因素的特征.

然而,先民对相关动物、植物的利用情况,新的农业体系在该地区当地先民生活中的地位,特别是该地区与周边同时期生业经济的关系等问题尚不清楚.因此,本研究拟以山西省原平市辛章遗址4000a BP前后人和动物骨为研究对象开展C、N稳定同位素分析,并结合人牙结石的微体化石分析,复原先民和相关动物的食物结构,探讨忻定盆地4000a BP前后先民的生业经济及其与当地考古学文化发展的关系,特别是新的农业体系在该区域发展情况等问题.

2 材料与方法

2.1 遗址的考古学背景

辛章遗址(112°48'38.7"N, 38°49'17.8"E)位于山西省原平市中阳乡辛章村东和村北(图1),地处滹沱河东岸的台地上(山西大学历史文化学院考古系, 2014).第二次、第三次全国文物普查及中国国家博物馆田野考

图 1 辛章遗址及中原地区同时期遗址的位置示意图

1, 辛章; 2, 聂店; 3, 杏花村; 4, 陶寺; 5, 清凉寺; 6, 二里头; 7, 新砦; 8, 瓦店

古研究中心对滹沱河上游先秦遗存调查确认了该遗址(国家文物局, 2007; 山西省考古研究所等, 2012). 遗址总面积近 $1 \times 10^6 \text{ m}^2$, 延续时间长, 文化遗存丰富, 保存状况较好(山西大学历史文化学院考古系, 2014).

2012年(山西大学历史文化学院考古系, 2014)、2014年和2015年¹⁾山西大学考古学系先后三次对该遗址进行勘探和发掘. 截止2015年, 已清理面积近 800 m^2 , 发掘房址5座、墓葬16座、灰坑61座、陶窑4座、石灰窑3座及灰沟等其他遗迹¹⁾. 从已发掘的情况来看, 该遗址墓葬主要为土坑竖穴墓, 也有一座偏洞室墓. 同时,

房址、陶窑、灰坑等遗迹现象间的打破关系复杂, 它们的排列规律尚不清楚. 然而, 根据合葬墓的埋葬现象及随葬品来看, 当时出现了社会分层的现象. 例如, M5为一座合葬墓, 其中两名女性有明显的挣扎状, 可能是殉葬¹⁾. 再如, M7是一座偏洞室墓, 随葬品丰富, 且墓主人身上发现麻布的印痕, 可能是较高级的葬具¹⁾.

陶器及其组合群的初步研究显示, 辛章遗址处于游盭中期3段, 年代为龙山文化晚期至夏纪年, 即4000a BP前后(山西大学历史文化学院考古系, 2014). 同时, 2014年采集炭样的初步测年结果显示, 辛章遗址的年代在4200~3800a BP¹⁾. 此外, 同时期临近的游盭、阳白遗址的泥炭、木炭、白灰面等的¹⁴C测年结果也显示, 年代都在4000a BP前后(山西大学历史系考古专业等, 1997; 吉林大学边疆考古研究中心等, 2004).

2.2 稳定同位素分析

本研究选取家猪27例、狗12例、羊13例、牛5例、鹿1例及分属在7座墓葬的先民9例, 进行C、N稳定同位素分析. 样品的详细情况见网络版附表1(<http://earthcn.scichina.com>)和表1.

据Richards和Hedges(1999)的方法, 并参考Jay和Richards(2006)对该方法的改进来提取骨胶原. 首先, 去除骨样表面污染, 取1g左右骨样放入试管, 倒入10mL浓度为 0.5 mol L^{-1} 的HCl溶液4℃浸泡, 每隔2~3天更换酸液, 直至骨样松软, 无明显气泡, 用去离子水清洗至中性. 置于浓度为 0.001 mol L^{-1} 的HCl溶液, 在烘箱70℃条件下明胶化48h. 取出后热滤, 再经Milli-

表 1 辛章遗址人骨样信息及测试分析结果

编号	单位号	性别	年龄(a)	C(%)	N(%)	C/N	骨胶原得率(%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	牙结石提取物
H1	14SYXM1	/	4~5	40.3	15.0	3.1	2.3	-7.1	9.5	/
H2	14SYXM2	/	10~12	38.5	14.5	3.1	3.3	-6.8	9.2	/
H3	14SYXM3	男	20~25	37.9	14.0	3.2	2.6	-7.0	7.3	淀粉粒
H4	14SYXM4	女	35~40	30.9	12.4	2.9	3.1	-6.3	8.7	淀粉粒
H5	14SYXM5 M	女	25±	35.8	13.5	3.1	2.8	-6.4	9.1	淀粉粒和植硅体
H6	14SYXM5 E	男	25~30	42.2	15.6	3.1	3.0	-6.5	9.2	淀粉粒和植硅体
H7	14SYXM5W	女	25~30	/	/	/	/	/	/	淀粉粒
H8	14SYXM6	男	35±	39.8	14.8	3.1	1.8	-6.7	9.3	淀粉粒和植硅体
H9	14SYXM7	男	15~17	35.8	13.5	3.1	2.4	-7	8.5	淀粉粒

1) 山西大学考古学系. 原平辛章遗址2012~2015年度的发掘及研究. 待刊

pore Amicon Ultra-4超滤后收集分子量>30kD的溶液, 放入冰箱冷冻. 最后, 真空冷冻干燥, 收集骨胶原, 称重后计算骨胶原提取率(网络版附表1, 表1).

骨胶原的C、N元素含量及同位素比值测试在中国科学院大学考古同位素实验室完成, 测试所用仪器是稳定同位素质谱分析仪(Isoprime 100 coupled with Elementar Vario). 测试C、N元素含量所用的标准物质为磺胺(Sulfanilamide). C、N稳定同位素比值, 分别以IAEA-600、IAEA-CH-6标定碳钢瓶气(以VPDB为基准)和IAEA-600、IAEA-N-2标定氮钢瓶气(以AIR为基准). 此外, 每测试10个样品插入一个实验室自制胶原蛋白标样($\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-(14.7\pm0.1)\%$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $(7.0\pm0.1)\%$). 样品的同位素比值, 以 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值表示, 分析精度均低于 $\pm0.2\%$. 测试数据见网络版附表1和表1.

从网络版附表1和表1可知, 除H7没有提取出骨胶原外, 其他66例样品均提取到骨胶原. 这些骨胶原的C、N含量分布范围分别在29.1~44.4%和10.5~16.1%, 均值分别为 $(40.7\pm3.3)\%$ 和 $(14.7\pm1.1)\%$, 与现代样品的C、N含量(分别为41%、15%)接近(Ambrose, 1990). 同时, 骨胶原提取率的差异也较大, 分布范围在0.1~5.4%, 均值为 $(2.8\pm0.9)\%$, 与现代样品中骨胶原的含量(20%)有一定差距, 说明骨样在埋藏过程中受到了污染(Ambrose等, 1997). 然而, 样品的C/N摩尔比值在2.9~3.3, 均在未受污染样品的C/N摩尔比值(2.9~3.6)的范围(Deniro, 1985). 因此, 以上66个样品提取出的骨胶原, 均可用作稳定同位素分析.

2.3 牙结石的植物微体化石分析

骨胶原可以反映先民生前10年左右的食物类型

(Ambrose和Norr, 1993), 牙结石上的植物微体化石所代表的时间段则可能较短, 但能揭示植物性食物的具体种类和来源(Hardy等, 2009). 为了揭示外来农作物, 如麦类被先民利用的情况, 本研究将运用该方法以期发现相关线索.

在实验前, 为辨识牙结石中提取到的植物微体化石, 收集并观察了禾本科、豆科、壳斗科等现代植物的种子或果实的淀粉粒和植硅体(Tao等, 2015). 同时, 还参考了国内和国外的相关文献(Reichert, 1913; Henry等, 2011; Yang等, 2012; Yang和Perry, 2013).

9例人的四颗M1(合计36个样品)被选取进行牙结石的微体化石分析. 观察后, 发现2个年龄小的个体没有牙结石, 其余个体则都存在牙结石(表1). 据Piperno和Dillehay(2008)及李明启等(2010)文中的方法, 将牙结石刮下放入研钵中, 研磨至粉末状转移至离心管中, 加入10%的盐酸2mL, 静置12h. 加入超纯水, 以3000r min⁻¹离心10min, 吸出上浮液并丢弃, 重复此步骤一次, 保留底部残留. 然后, 加入5%的Calgon分散样品, 静置24h. 加超纯水并以3000r min⁻¹离心10min清洗, 吸出上浮液并丢弃, 重复此步骤两次, 保留底部残留. 加入比重1.8的CsCl重液, 以3000r min⁻¹离心10min, 吸出上浮液并转移至新离心管中, 重复此步骤一次. 加超纯水至新离心管中并以3000r min⁻¹离心10min, 吸出上浮液并丢弃, 重复此步骤一次, 保留底部残留. 加入酒精, 以6000r min⁻¹离心15min, 吸出上浮液并丢弃, 保留最底部残留, 底部沉淀的即为植物微体化石的残留物, 静置干燥, 用甘油制片.

使用Olympus BX 53偏光显微镜在200倍下寻找淀粉粒和植硅体, 并在400~600倍下拍摄它们的形态. 同

表 2 4000a BP前后辛章遗址及中原地区先民的稳定同位素值统计表

现今区域	遗址名称	年代(a BP)	个体数	$\delta^{13}\text{C}$ 均值(‰)	$\delta^{15}\text{N}$ 均值(‰)	参考文献
山西	辛章	ca. 4000	8	-6.7 ± 0.3	9.1 ± 0.3	本研究
	杏花村	4287~4000	2	-7.3 ± 0.7	6.5 ± 1.4	Atahan等, 2014
	聂店	4000~3600	60	-7.1 ± 0.3	10.5 ± 0.7	王洋等, 2014
	陶寺	4300~3900	7	-6.3 ± 1.1	8.9 ± 1.3	张雪莲等, 2007
	清凉寺	4500~3500	14	-7.9 ± 0.6	8.8 ± 1.0	凌雪等, 2010
河南	二里头	3750~3500	4	-9.0 ± 2.1	10.2 ± 1.8	张雪莲等, 2007
	瓦店	4200~3900	12	-11.0 ± 2.1	8.2 ± 1.3	陈相龙, 2012
	新砦	4000~3600	8	-9.6 ± 1.4	9.0 ± 1.0	吴小红等, 2007

时, 测量、记录、统计它们的大小和形态等。

3 结果与讨论

3.1 先民和动物的稳定同位素分析

图2为辛章遗址人和动物骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的散点图。由图2可见, 不同种属动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值较为分散, 说明它们的食物结构存在较大差异。然而, 先民的数据则比较集中, 表明他们的食物结构基本一致。

野生草食动物, 如草兔、鹿等的稳定同位素比值, 一般可以作为当地野生植被稳定同位素基准值的参考 (Stevens等, 2006; 管理等, 2008)。如图2所示, 本研究中的鹿的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值最低(-18.4‰ , 4.9‰), 说明此鹿主要以 C_3 类草类和树叶等为食, 也反映了当地的野生植被是以 C_3 类植物为主。同时, 滹沱河上游的考古调查过程中提取到的大植物遗存结果显示, 存在极少量与粟黍农作物伴生的杂草, 如黍亚科、藜科和豆科植物等 (蒋宇超等, 2019), 这也为当地的植被情况提供了参考。

如图2所示, 除S12外, 其他羊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-16.4\sim -12.9\text{‰}$, $-(15.2\pm 1.1)\text{‰}$, $n=12$)明显高于鹿, 表明它们的食物兼具 C_3 和 C_4 类食物。然而, 这些羊的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异较大($5.4\sim 9.3\text{‰}$, $(6.8\pm 1.2)\text{‰}$, $n=12$), 说明部分羊的食物中可能包含了一定量的蛋白质, 但大部分羊的食物则主要兼具 C_3 和 C_4 类植物。其中, 据动物考古学的鉴定结果可知, S5为一只小羊羔。它的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 9.3‰ , 这可能与处于哺乳期从而食用了较多母乳有关 (Makarewicz和Tuross, 2006)。此外, 羊S12具有较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值(-10.2‰ , 8.8‰), 说明它食物中的 C_4 类食物的比例要高于其他羊, 这可能与先民对其的特殊饲喂有关。牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-13.9\sim -10.3\text{‰}$, $-(12.7\pm 1.1)\text{‰}$, $n=5$)总体上高于羊, 但其 $\delta^{15}\text{N}$ 值($5.1\sim 8.1\text{‰}$, $(6.8\pm 1.2)\text{‰}$, $n=5$)则与羊几乎一致, 这一方面体现牛羊作为草食动物的典型特征, 另一方面也说明牛的食物中包含了更多的 C_4 类植物。

如图2所示, 猪和狗的 $\delta^{13}\text{C}$ 值高于牛和羊, 这应该与其食物结构差异相关。具体表现为, 猪($-9\sim -5.9\text{‰}$, $-(6.9\pm 0.7)\text{‰}$, $n=27$; $5.9\sim 8.9\text{‰}$, $(7.4\pm 0.7)\text{‰}$, $n=27$)和大部分狗(除D1外)($-8.2\sim -6.4\text{‰}$, $-(7.2\pm 0.5)\text{‰}$, $n=11$; $7.4\sim 9.3\text{‰}$, $(8.5\pm 0.7)\text{‰}$, $n=11$)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值比较接

图2 辛章遗址人和动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的散点图

近, 明显表现出以 C_4 类食物为主的摄食特征。然而, 狗D1的 $\delta^{13}\text{C}$ 值略低, 几乎和部分羊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一致, 说明它的食物结构中包含更多的 C_3 食物。同时, 由图2可见, 狗的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值($(8.5\pm 0.7)\text{‰}$, $n=12$)明显高于家猪的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值($(7.4\pm 0.7)\text{‰}$, $n=27$), 说明狗食物中的动物蛋白比例更高。

由图2可知, 辛章遗址先民 $\delta^{13}\text{C}$ 均值为 $-(6.7\pm 0.3)\text{‰}$ ($n=8$), 分布范围在 $-7.1\sim -6.3\text{‰}$, 说明他们主要以 C_4 类食物为生。然而, 较大的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异(分布范围为 $7.3\sim 9.5\text{‰}$), 显示先民的肉食消费程度存在一定的差异。比如, H3的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 7.3‰ , 和大部分杂食类的猪的 $\delta^{15}\text{N}$ 值接近, 表明其食物中的动物蛋白比例较少。其余个体的 $\delta^{15}\text{N}$ 值($8.5\sim 9.5\text{‰}$, $(9.1\pm 0.3)\text{‰}$, $n=7$)较高且较为集中, 说明他们食物中包含一定量的肉食资源。

据C和N稳定同位素在食物链中的分馏效应(在不同营养级间C富集 $1\sim 1.5\text{‰}$, N富集 $3\sim 5\text{‰}$) (Ambrose和Norr, 1993; Hedges和Reynard, 2007), 可以看出猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值($-(6.9\pm 0.8)\text{‰}$, $n=27$)和 $\delta^{15}\text{N}$ 值($(7.4\pm 0.7)\text{‰}$, $n=27$)与先民的相应值($-(6.7\pm 0.3)\text{‰}$, $(8.9\pm 0.4)\text{‰}$, $n=8$)间的差值都在一个营养级之内, 说明家猪应该是先民主要肉食来源。同时, 狗($-(7.8\pm 2.0)\text{‰}$, $(8.5\pm 0.7)\text{‰}$, $n=12$)与先民的相应值的差值也在一个营养级之内, 说明狗可能也是先民的肉食来源。当然, 狗与先民稳定同位素比值的相似性可能源于他们共享了很多相似的食物, 这可能更多反映出狗与先民的亲密关系 (武庄, 2014)。

前文分析显示, 辛章遗址的人群存在阶层分化的

现象。那么, 这些个体间食物结构是否会存在差异呢? 由表1可知, M5中的3个个体, 除H7没有提取出骨胶原外, 其余两例个体的稳定同位素比值(H5的稳定同位素比值为: -6.4‰ , 9.1‰ ; H6的稳定同位素比值为: -6.5‰ , 9.2‰)几乎一致。同时, 尽管墓葬形式和随葬品组合显示H9的等级较高, 但其稳定同位素比值(-7‰ , 8.5‰)与其他的个体的相应值($-(6.7\pm 0.3)\text{‰}$, $(8.9\pm 0.7)\text{‰}$, $n=7$)并没有明显差异, 特别是其N稳定同位素比值还低于大多数个体的相应值, 这可能与其生活习惯等因素相关(王洋等, 2014)。因此, 尽管当地已出现阶层分化, 但他们对食物的获取却还没有出现明显的区分。

在仰韶文化中晚期, 中国北方就建立起以粟黍生产和家猪(狗)饲喂为基础的粟黍农业体系(张之恒, 1998; 袁靖, 2010; 董广辉等, 2016)。龙山文化时期, 粟黍农业体系得到进一步巩固(董广辉等, 2016), 并有新的发展, 即牛、羊和麦类开始对先民生业经济产生影响(袁靖, 2010; 赵志军, 2015; 董广辉等, 2017)。近年来, 山西的汾河下游、涑水河流域、滹沱河上游和蔚汾河流域的植物考古学工作取得了一定成果(Song等, 2019; 蒋宇超等, 2019), 特别是陶寺(赵志军和何弩, 2006)、周家庄(蒋宇超等, 2019)等遗址的成果丰硕。结果显示, 整体上各区域都以粟黍农业为主, 但滹沱河上游和蔚汾河流域发现炭化黍的比例比晋南临汾运

城盆地的比例高得多(蒋宇超等, 2019)。

结合上文分析可知, 辛章遗址人、猪和狗主要以粟黍为生, 但先民食物还包含了以粟黍喂养的猪和狗等。同时, 辛章遗址牛和羊的食物都包含一定比例的C₄类食物, 但牛的食物中C₄类食物的比例大于羊的, 这说明先民对外来牛和羊的饲喂也逐步形成了独特的模式, 即主要以粟黍及与粟黍伴生的杂草等的秸秆等饲喂牛, 在野外放养羊的同时也将一些秸秆等饲喂羊。

3.2 牙结石的淀粉粒和植硅体分析

7个个体牙结石样品中共发现43粒单粒淀粉粒, 除10粒由于保存不好或加工破坏严重无法作形态鉴定以外, 其余33粒淀粉粒依据大小、形状、脐点、层纹和消光十字等特征, 分为3类(图3a~3j)。此外, 部分淀粉粒聚集在一块, 难以统计数量, 仅进行形态学观察和鉴定。

第I类: 13粒, 近圆形, 脐点居中, 无层纹, 部分较大淀粉粒的脐点处有裂隙, 多呈Y型或横向线性, 粒径分布在 $7.07\sim 18.51\mu\text{m}$ 。其中, 粟的淀粉粒脐点居中, 个别粒径较大的颗粒有穿过脐点的裂隙(图3a、3b); 黍的淀粉粒, 大多表面没有裂隙, 只有少数具有穿过脐点的微弱裂隙(图3c、3d); 余者淀粉粒表面均光滑无褶皱, 符合粟黍的淀粉粒特征, 很可能来自粟或黍(图3e、3f)。

图3 辛章遗址观察到的淀粉粒和植硅体图谱

比例尺为 $10\mu\text{m}$

第 II 类: 2 粒, 近圆形或椭圆形, 淀粉粒粒径分布在 8.84~38.92 μm , 脐点居中, 部分粒径较大的淀粉粒层纹明显(图 3g、3h). 结合相关分析, 此类淀粉粒符合小麦族淀粉粒的形态特点(Yang 和 Perry, 2013), 应来自小麦族(Triticeae).

第 III 类: 18 粒, 圆形, 粒径范围为 6.12~9.68 μm , 脐点居中、开放, 不见层纹和裂隙. 这类淀粉粒个体较小, 特征不够明显, 暂无法对其进行种属鉴定(图 3i、3j).

同时, 还观察到 5 粒植硅体, 它们基本都为禾本科植硅体, 形态包括刺棒型和长方型(图 3k、3l).

上述 7 个个体的牙结石中发现数量最多的就是粟黍的淀粉粒, 说明粟黍是他们重要的食物来源. 同时, 这些个体(除 H7 外)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-7\sim-6.3\text{‰}$, $-(6.7\pm 0.3)\text{‰}$, $n=6$)和 $\delta^{15}\text{N}$ 值($7.3\sim 8.7\text{‰}$, $(8.7\pm 0.7)\text{‰}$, $n=6$)也揭示出以粟黍为主的摄食特征(表 1 和图 2). 此外, 需要特别指出的是, 2 例没有牙结石的年幼个体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值呈现出以粟黍为主的摄食特征(表 1 和图 2). 显然, 先民主要以粟黍为生, 这进一步体现出粟黍农业为主的生业经济.

尽管数量极少的小麦族的微体化石被发现(图 3g、3h), 但无法确定其是否为小麦. 同时, 该区域浮选出的炭化植物遗存的分析结果显示, 小麦和大麦等有极少量发现, 但其中两处遗址出土炭化小麦的直接测年数据则显示它们都为晚期扰动的遗存(Deng 等, 2019). 因此, 目前暂无小麦在 4000a BP 前后滹沱河上游种植的证据.

3.3 辛章遗址先民的生业经济

忻定盆地属于温带大陆性季风区和半干旱地区, 年降水量 450mm 左右, 且集中在夏秋季节(山西省考古研究所等, 2012). 同时, 古气候研究显示(孟宪刚等, 2007; Chen 等, 2013, 2015), 8000~3000a BP 忻定盆地总体的气候比现代更为温暖湿润. 此外, 该区域几乎所有的遗址都背山且面向滹沱河, 属于山前坡地, 有利于农业生产(吉林大学边疆考古研究中心等, 2004). 显然, 忻定盆地在很长时期内都非常有利于农业的发展.

目前, 辛章 I 号地点考古调查出土的炭化农作物种子中粟的比例最大, 其次为黍(蒋宇超等, 2019). 同时, 上文分析显示, 粟黍农业和以此为基础的家畜饲养业是辛章遗址最重要的生业方式, 但牛羊的饲喂也成

为重要的补充. 因此, 忻定盆地 4000a BP 前后的生业经济以粟黍农业为主并兼具牛羊饲喂业.

为了全面揭示龙山文化晚期至夏纪年不同区域内生业经济的异同, 特别是忻定盆地与产生文明的核心区的生业经济的关系, 本文收集了 4000a BP 前后中原地区 7 处遗址(图 1)已发表的人稳定同位素数据进行比较研究(表 2).

由表 2 可见, 山西地区陶寺和辛章遗址先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值和 $\delta^{15}\text{N}$ 均值几乎一致, 都拥有最高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 这说明两地先民完全以粟黍农业为生. 同时, 处于连接辛章遗址所在忻定盆地和陶寺遗址所在临汾盆地的枢纽地区, 太原盆地在长时段内也呈现出几乎一致的生业经济. 例如, 杏花村遗址先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值接近陶寺和辛章遗址先民的相应值, 其后聂店遗址也基本呈现类似的特征(表 2). 然而, 聂店遗址先民拥有最高的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值(表 2), 说明聂店遗址先民食物中的动物蛋白占有相当大的比例, 这可能与当地日益发达的畜牧业有关. 其后, 甚至到了东周时期, 太原盆地的生业模式也没有发生明显的变化, 如晋中小南庄墓地部分先民($-(7.7\pm 0.2)\text{‰}$, $(9.3\pm 0.3)\text{‰}$, $n=5$)依然主要以粟黍农业为生(唐焱等, 2018). 此外, 如表 2 所示, 尽管清凉寺遗址先民 $\delta^{13}\text{C}$ 均值略低于其他遗址先民的相应值, 但生业经济也以粟黍农业为主. 那么, 比太原盆地更为封闭的忻定盆地的生业经济可能更为稳定, 即粟黍农业体系可能一直是该区域的生业基础.

然而, 与山西诸盆地的情况不同, 在中原地区核心区的二里头、新砦、瓦店等遗址, 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值都相对较低(表 2), 说明他们的食物结构中开始包含一定量的 C_3 食物(水稻、小麦等). 这可能与中原地区核心区日益复杂化的生业经济密切相关, 即“五谷丰登”的生业经济开始逐步在先民的生产中占据重要地位.

同时, 北方广大区域内的先民几乎不约而同开始饲喂牛和羊, 并有意识地开发和利用它们二次产品(戴玲玲等, 2014; Dai 等, 2016a), 这使得牛羊饲喂及开发成为先民生业经济的重要补充. 为了揭示不同区域牛羊饲喂的具体情况, 特别是和传统粟黍农业的关系, 本文收集了 4000a BP 前后 4 处中原地区遗址牛和羊的稳定同位素数据进行比较研究(图 4).

由图 4 可见, 辛章($-13.9\sim-10.3\text{‰}$, $-(12.7\pm 1.4)\text{‰}$, $n=5$)、瓦店($-15.1\sim-8.4\text{‰}$, $-(11.9\pm 2.0)\text{‰}$, $n=14$)(陈相龙, 2012)和陶寺遗址($-13.5\sim-7.3\text{‰}$, $-(11.3\pm 2.1)\text{‰}$,

图4 4000a BP前后辛章遗址及中原地区牛和羊的C稳定同位素值的箱线图

$n=6$)(陈相龙等, 2012)牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值最为接近, 但辛章遗址牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值略低于瓦店和陶寺遗址的牛。然而, 整体上以上遗址牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值都略低于二里头、新砦遗址的牛。其中, 辛章遗址的牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值明显低于二里头($-12.3\sim-7.4\text{‰}$, $-(9.2\pm 1.4)\text{‰}$, $n=15$)(司艺, 2013)和新砦($-12.5\sim-7.0\text{‰}$, $-(9.8\pm 1.7)\text{‰}$, $n=11$)(Dai等, 2016b)的牛, 且几乎不存在交叉(图4)。辛章遗址牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别与二里头、新砦遗址牛的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的独立样品 t 测试的结果表明它们之间存在显著性差异(辛章与二里头, $t=-4.727$, $p<0.05$; 辛章与新砦, $t=-3.562$, $p<0.05$)。由此可见, 辛章遗址的牛受粟黍农业的影响程度与瓦店、陶寺遗址接近, 但明显低于二里头、新砦遗址。究其原因, 这可能与二里头、新砦遗址更为集约的舍饲模式有关(陈相龙, 2012; 司艺, 2013)。此外, 水稻等的重要性在瓦店遗址日益重要(Chen等, 2016; 陈相龙, 2012), 可能导致其秸秆被添加到牛的饲料之中。

总体上, 羊的C稳定同位素比值低于牛的。从图4可以看出, 辛章($-16.4\sim-10.2\text{‰}$, $-(14.8\pm 1.7)\text{‰}$, $n=13$)、二里头($-18.4\sim-12.0\text{‰}$, $-(15.3\pm 1.6)\text{‰}$, $n=30$)(司艺, 2013)和新砦遗址($-16.2\sim-11.5\text{‰}$, $-(14.4\pm 1.6)\text{‰}$, $n=8$)(Dai等, 2016b)羊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值存在较大的交叉, 但整体上都高于陶寺遗址羊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-17.7\sim-16.6\text{‰}$, $-(17.2\pm 0.4)\text{‰}$, $n=5$)(陈相龙等, 2012)。辛章与陶寺遗址羊的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的独立样品 t 测试也表明它们之间存在显著性差异($t=4.633$, $p<0.05$)。同时, 与其他遗

址相比, 瓦店遗址($-21.6\sim-8.5\text{‰}$, $-(15.4\pm 6.1)\text{‰}$, $n=7$)羊个体间的差异极大(陈相龙, 2012), 说明瓦店遗址羊的饲喂方式更为多样化。因此, 上述遗址羊几乎都受到粟黍农业的影响, 但辛章、二里头和新砦遗址羊受到的影响程度略强于陶寺遗址。

由此可见, 4000a BP前后以粟黍农业经济为基础的相关地区, 牛和羊的饲喂都已普遍受到粟黍农业的影响。其中, 粟黍农业对牛的影响程度明显强于对羊的影响。同时, 粟黍农业对牛和羊饲喂的影响程度也存在区域性差异。具体而言, 辛章遗址的牛受粟黍农业的影响程度明显低于二里头和新砦遗址, 但羊受到的影响程度则几乎无差别。

显然, 4000a BP忻定盆地粟黍农业及其对牛羊饲喂的影响, 使得粟黍农业和牛羊饲喂业的发展相得益彰。同时, 两者结合而成的新的生业经济为当地考古学文化的大发展奠定了基础。

3.4 忻定盆地的气候环境及生业经济的独特性

相关研究表明, 4000a BP前后中国季风区存在着大范围的季风变迁和降温事件(吴文祥和刘东生, 2004)。那么, 封闭的忻定盆地的具体状况是如何呢?

目前, 忻定盆地周边的自然环境记录为重建该区域的气候环境提供了多重证据。忻定盆地西缘干海的孢粉集成记录显示(孟宪刚等, 2007), 8000~3000a BP该地年平均温度比现在高2~3℃。同在忻定盆地西缘, 紧邻干海, 公海的湖泊岩芯的环境磁学特征表明(Chen等, 2013), 约11500~1000a BP该区域东亚夏季季风较强。公海的湖泊岩芯的孢粉集成记录还显示(Chen等, 2015), 约7800~5300a BP是长尺度上东亚季风的最强期, 降水量比现代高近30%, 但在3300a BP后东亚季风才开始急剧减弱。显然, 封闭的忻定盆地并没有受到季风变迁和降温事件的直接影响。因此, 4000a BP前后该区域考古学文化大发展应得益于温暖湿润的气候环境。

在此背景下, 4000a BP前后忻定盆地粟黍农业进一步发展且趋于稳定。此后, 当甘青地区的生业经济由粟黍农业转向畜牧或麦作农业时(马敏敏, 2013), 当中原地区呈现出“五谷丰登”和“六畜兴旺”的复杂化经济形态时(赵志军, 2011), 封闭的忻定盆地的生业经济可能仍以粟黍农业为主。

显然, 4000a BP前后即使在封闭的忻定盆地, 外来

的牛羊饲喂业也在当地生业经济中占据重要的地位. 同时, 在优越的自然环境下, 当地的粟黍农业得到了进一步的发展, 甚至可能比周边地区的粟黍农业更为稳定. 因此, 以粟黍农业为主兼有外来农业因素的新的农业体系已成为当时的最优选择.

然而, 在封闭区域一旦选择了新的农业体系, 其生业经济就可能长时期不发生变化. 当周边地区, 特别是中原地区出现更为复杂化的农业体系, 忻定盆地可能还保持着4000a BP前后的生业体系.

4 结论

本文以地理环境封闭的山西忻定盆地辛章遗址为例, 揭示4000a BP前后该区域的生业经济, 讨论了中国北方地区文明事件所产生的广泛的经济基础. 研究结果如下:

(1) 粟黍及粟黍和/或其副产品饲喂的动物(猪和狗)是先民 $(- (6.7 \pm 0.3) \text{‰}, (9.1 \pm 0.3) \text{‰}, n=8)$ 主要的食物来源;

(2) 对外来的牛 $(- (12.7 \pm 1.1) \text{‰}, (6.8 \pm 1.2) \text{‰}, n=5)$ 和羊 $(- (14.8 \pm 1.7) \text{‰}, (7.0 \pm 1.3) \text{‰}, n=13)$ 而言, 它们的食物结构呈现出 C_3 和 C_4 类食物兼具的特征, 显然受到了粟黍农业的明显影响;

(3) 即使在封闭的忻州定盆地, 以粟黍为主兼有牛羊饲养的新的生业经济模式也被完全采纳. 显然, 这是当时更广阔区域生产和生活的最优选择, 进而为各地考古学文化的发展乃至文明的最终出现奠定了广泛的物质基础.

致谢 感谢Fuller B. T.和王宁等在数据讨论过程中给予的帮助. 同时, 对3位匿名专家审稿时所提的宝贵意见和建议表示衷心感谢.

参考文献

- 陈相龙. 2012. 龙山时代家畜饲养策略研究. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学. 51–68
- 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, (9): 75–82
- 戴玲玲, 李志鹏, 胡耀武, 赵青春, 王昌燧. 2014. 新砦遗址出土羊的死亡年龄及畜产品开发策略. 考古, (1): 94–103
- 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
- 董广辉, 张山佳, 杨谊时, 陈建徽, 陈发虎. 2016. 中国北方新石器时代农业强化及对环境的影响. 科学通报, 61: 2913–2925
- 管理, 胡耀武, 胡松梅, 孙周勇, 秦亚, 王昌燧. 2008. 陕北靖边五庄果梁动物骨的C和N稳定同位素分析. 第四纪研究, 28: 1160–1165
- 国家文物局. 2007. 中国文物地图集(山西分册). 北京: 中国地图出版社. 64–73
- 吉林大学边疆考古研究中心, 山西省考古研究所, 忻州地区文物管理处, 忻州考古队. 2004. 忻州游邀考古. 北京: 科学出版社. 1–218
- 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
- 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
- 凌雪, 陈靛, 薛新明, 赵丛苍. 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
- 马敏敏. 2013. 公元前两千纪河湟及其毗邻地区的食谱变化与农业发展. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学. 1–94
- 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 吕荣平, 罗鹏. 2007. 山西北部地区全新世以来气候与环境变化. 地质学报, 81: 316–323
- 山西大学历史文化学院考古系. 2014. 山西原平市辛章遗址2012年发掘简报. 考古, (5): 3–16
- 山西大学历史系考古专业, 忻州地区文物管理处, 五台县博物馆. 1997. 山西五台县阳白遗址发掘简报. 考古, (4): 46–57
- 山西省考古研究所, 忻州市文物管理处. 2012. 忻阜高速公路考古发掘报告. 上海: 上海古籍出版社. 1–100
- 山西省考古研究所, 中国国家博物馆田野考古研究中心, 忻州市文物管理处. 2012. 滹沱河上游先秦遗存调查报告. 北京: 科学出版社. 1–935
- 司艺. 2013. 2500~1000BC中原地区家畜饲养策略与先民肉食资源消费. 博士学位论文. 北京: 中国科学院大学. 39–56
- 唐淼, 王晓毅, 侯侃, 侯亮亮. 2018. 山西晋中小南庄墓地人骨的C、N稳定同位素: 试析小麦在山西的推广. 人类学学报, 37: 162–174
- 王洋, 南普恒, 王晓毅, 魏东, 胡耀武, 王昌燧. 2014. 相近社会等级先民的食物结构差异——以山西裴县遗址为例. 人类学学报, 33: 82–89
- 吴文祥, 刘东生. 2004. 4000a BP前后东亚季风变迁与中原周围地区新石器文化的衰落. 第四纪研究, 24: 278–284
- 吴小红, 肖怀德, 魏彩云, 潘岩, 黄蕴平, 赵青春, 徐晓梅, Nives O. 2007. 河南新砦遗址人、猪食物结构与农业形态和家猪驯养的稳定同位素证据. 见: 中国社会科学院考古研究所科技中心, 编. 科技考古(二). 北京: 科学出版社. 49–58

- 武庄. 2014. 先秦时期家犬研究. 博士学位论文. 北京: 中国社会科学院研究生院. 1-197
- 忻州考古队. 1989. 山西忻州市游邀遗址发掘简报. 考古, (4): 289-299
- 徐朝龙. 1989. 关于印度河文明的新认识. 考古, (11): 1009-1021
- 姚政权, 吴妍, 王昌燧, 何弩, 赵志军. 2006. 襄汾陶寺遗址的植硅石分析. 农业考古, (3): 57-61
- 袁靖. 2010. 中国古代家养动物的动物考古学研究. 第四纪研究, 30: 298-306
- 张雪莲, 仇士华, 薄官成, 王金霞, 钟建. 2007. 二里头遗址、陶寺遗址部分人骨碳十三、氮十五分析. 见: 中国社会科学院考古研究所科技中心, 编. 科技考古(2). 北京: 科学出版社. 41-48
- 张之恒. 1998. 黄河流域的史前粟黍农业. 中原文物, (3): 5-11
- 赵志军. 2011. 中华文明形成时期的农业经济发展特点. 中国国家博物馆馆刊, (1): 19-31
- 赵志军. 2015. 小麦传入中国的研究——植物考古资料. 南方文物, (3): 44-52
- 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
- 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
- Ambrose S H. 1990. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *J Archaeol Sci*, 17: 431-451
- Ambrose S H, Butler B M, Hanson D B, Hunter-Anderson R L, Krueger H W. 1997. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific. *Am J Phys Anthropol*, 104: 343-361
- Ambrose S H, Norr L. 1993. Isotopic composition of dietary protein and energy versus bone collagen and apatite: Purified diet growth experiments. In: Lambert J B, Grupe G, eds. *Molecular Archaeology of Prehistoric Human Bone*. Berlin: Springer. 1-37
- Atahan P, Dodson J, Li X, Zhou X, Chen L, Barry L, Bertuch F. 2014. Temporal trends in millet consumption in northern China. *J Archaeol Sci*, 50: 171-177
- Chadwick R. 2005. *First Civilizations: Ancient Mesopotamia and Ancient Egypt*. Sheffield: Equinox Publishing. 1-215
- Chen F, Liu J, Xu Q, Li Y, Chen J, Wei H, Liu Q, Wang Z, Cao X, Zhang S. 2013. Environmental magnetic studies of sediment cores from Gonghai Lake: Implications for monsoon evolution in North China during the late glacial and Holocene. *J Paleolimnol*, 49: 447-464
- 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. 2015. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Sci Rep*, 5: 11186
- Chen X L, Fang Y M, Hu Y W, Hou Y F, Lü P, Yuan J, Song G D, Fuller B T, Richards M P. 2016. Isotopic reconstruction of the late Longshan Period (ca. 4200-3900 BP) dietary complexity before the onset of state-level societies at the Wadian site in the Ying River Valley, Central Plains, China. *Int J Osteoarchaeol*, 26: 808-817
- Dai L, Balasse M, Yuan J, Zhao C, Hu Y, Vigne J D. 2016a. Cattle and sheep raising and millet growing in the Longshan age in central China: Stable isotope investigation at the Xinzhai site. *Quat Int*, 426: 145-157
- Dai L L, Li Z P, Zhao C Q, Yuan J, Hou L L, Wang C S, Fuller B T, Hu Y W. 2016b. An isotopic perspective on animal husbandry at the Xinzhai site during the initial stage of the legendary Xia Dynasty (2070-1600 BC). *Int J Osteoarchaeol*, 26: 885-896
- Deng Z, Fuller D Q, Chu X, Cao Y, Jiang Y, Wang L, Lu H. 2019. Assessing the occurrence and status of wheat in late Neolithic central China: The importance of direct AMS radiocarbon dates from Xiazhai. *Veget Hist Archaeobot*, doi: 10.1007/s00334-019-00732-7
- Deniro M J. 1985. Post mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, 317: 806-809
- Hardy K, Blakeney T, Copeland L, Kirkham J, Wrangham R, Collins M. 2009. Starch granules, dental calculus and new perspectives on ancient diet. *J Archaeol Sci*, 36: 248-255
- Hedges R E M, Reynard L M. 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J Archaeol Sci*, 34: 1240-1251
- Henry A G, Brooks A S, Piperno D R. 2011. Microfossils in calculus demonstrate consumption of plants and cooked foods in Neanderthal diets (Shanidar III, Iraq; Spy I and II, Belgium). *Proc Natl Acad Sci USA*, 108: 486-491
- Jay M, Richards M P. 2006. Diet in the Iron Age cemetery population at Wetwang Slack, East Yorkshire, UK: Carbon and nitrogen stable isotope evidence. *J Archaeol Sci*, 33: 653-662
- Jones M, Hunt H, Lightfoot E, Lister D, Liu X, Motuzaite-Matuzeviciute G. 2011. Food globalization in prehistory. *World Archaeol*, 43: 665-675
- Kuzmina E E. 2008. *The Prehistory of the Silk Road*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. 1-114
- Makarewicz C, Tuross N. 2006. Foddering by Mongolian pastoralists is recorded in the stable carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) isotopes of caprine dentinal collagen. *J Archaeol Sci*, 33: 862-870
- Piperno D R, Dillehay T D. 2008. Starch grains on human teeth reveal early broad crop diet in northern Peru. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105: 19622-19627
- Reichert E T. 1913. *The Differentiation and Specificity of Starches in Relation to Genera, Species, etc.* Washington D C: Carnegie Institute of Washington. 113-118

- Richards M P, Hedges R E M. 1999. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic Coast of Europe. *J Archaeol Sci*, 26: 717–722
- Song J, 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
- Stevens R E, Lister A M, Hedges R E M. 2006. Predicting diet, trophic level and palaeoecology from bone stable isotope analysis: A comparative study of five red deer populations. *Oecologia*, 149: 12–21
- Tao D, Zhang J, Zheng W, Cao Y, Sun K, Jin S. 2015. Starch grain analysis of human dental calculus to investigate Neolithic consumption of plants in the middle Yellow River Valley, China: A case study on Gouwan site. *J Archaeol Sci-Rep*, 2: 485–491
- Yang X, 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, Zhang J, Perry L, Ma Z, Wan Z, Li M, Diao X, Lu H. 2012. From the modern to the archaeological: Starch grains from millets and their wild relatives in China. *J Archaeol Sci*, 39: 247–254
- Zeder M A. 2011. The origins of agriculture in the Near East. *Curr Anthropol*, 52: S221–S235
- Zhao Z. 2011. New archaeobotanic data for the study of the origins of agriculture in China. *Curr Anthropol*, 52: S295–S306

(责任编辑: 陈发虎)