

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

唐淼¹, 王晓毅², 侯侃¹, 侯亮亮³

1. 吉林大学考古学院, 长春, 130012; 2. 山西省考古研究所, 太原 030001; 3. 山西大学历史文化学院, 太原 030006

摘 要: 小麦何时何地对中国北方传统的粟黍农业产生影响是近些年学术界研究的焦点问题之一。相关研究表明, 小麦对中国北方不同地区粟黍农业的影响存在时间上的差异。古文献及考古研究表明, 小麦在龙山时期就开始在中国北方地区出现, 但直到东周及其后才逐步对粟黍农业产生显著的影响。为了探索小麦在东周时期在山西地区推广的程度和其对先民食物结构和生业经济的影响程度及其背后的内在动因等, 本文选取晋中小南庄墓地东周时期人骨进行了 C、N 稳定同位素分析, 结果显示先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值都比较集中 ($\delta^{13}\text{C}$ 值的范围为 $-9.0\text{‰}\sim-7.5\text{‰}$, 均值为 $-8.0\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$, $n=16$; $\delta^{15}\text{N}$ 值的范围为 $9.0\text{‰}\sim 11.7\text{‰}$, 均值为 $10.5\text{‰}\pm 0.9\text{‰}$; $n=16$), 说明他们以 C_4 类食物为主, 也有少量 C_3 类食物, 但动物蛋白消费有所区分。据他们对动物蛋白占有的不同, 晋中小南庄墓地东周时期人至少可以划分为两个经济群体, 第一个群体可能从事农耕经济, 第二群体可能从事畜牧经济。从事农耕经济人群的食物中的 C_3 食物应该主要来源于小麦, 这说明小麦在东周时期开始在晋中地区有所推广。小麦在山西地区的推广、种植和使用, 对传统的粟黍农业产生了相应的影响, 使得先民种植农作物的种类有所增加, 这应该加快了秦汉时期农业高峰期的形成。然而, 山西地区小麦的推广相对缓慢, 这可能与当地根深蒂固的粟黍经济和饮食习惯密切相关。

关键词: 山西; 小南庄墓地; 东周; C、N 稳定同位素; 小麦

中图分类号: Q914.2⁺²; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2018)02-0318-13

收稿日期: 2017-09-03; 定稿日期: 2017-04-18

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(12YJC780003), 吉林大学基本科研业务费项目(2016QY003) 共同资助。

作者简介: 唐淼(1980-), 女, 满族, 辽宁本溪人, 博士, 吉林大学考古学院讲师, 主要从事先秦两汉中国北方考古研究。

E-mail: tangmiao@jlu.edu.cn

通讯作者: 侯亮亮(1983.12-), 男, 汉族, 河南洛阳人, 博士, 山西大学历史文化学院考古学系副教授, 主要从事人和动物硬组织(骨骼和牙齿)的多同位素研究。E-mail: llhou@sxu.edu.cn

Citation: Tang M, Wang XY, Hou K, *et al.* Carbon and nitrogen stable isotope analysis of the human bones from the Xiaonanzhuang site, Jinzhong, Shanxi: A preliminary study on the expansion of wheat in ancient Shanxi, China[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2018, 37(2): 318-330

Carbon and nitrogen stable isotope of the human bones from the Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong, Shanxi: A preliminary study on the expansion of wheat in ancient Shanxi, China

TANG Miao¹, WANG Xiaoyi², HOU Kan¹, HOU Liangliang³

1. School of Archaeology, Jilin University, 130012; 2. Institute of Archaeology of Shanxi, Taiyuan, 030006;

3. Department of Archaeology, School of History and Culture, Shanxi University, Taiyuan 030006

Abstract: The expansion of wheat in ancient northern China has been increasingly discussed and debated in recent years, with a focus on arguments for the temporal-spatial expansion of wheat in a traditional millet-based agricultural area. Some studies show that there is a time difference in the impact of wheat on millet-based agriculture in different areas of northern ancient China. Historical records and archaeological remains indicate that wheat remains were discovered in northern China during the Longshan period. However, it was not until the Eastern Zhou Dynasty and its later periods that wheat affected millet-based agriculture significantly. In order to explore the expansion of wheat in Shanxi Province during the Eastern Zhou Dynasty and its possible impact on human diet and subsistence economy, carbon and nitrogen stable isotopic analyses were performed on human bones from Xiaonanzhuang cemetery, an Eastern Zhou Dynasty cemetery, Jinzhong City, Shanxi Province, China. The results show that $\delta^{13}\text{C}$ ($-9.0\text{‰}\sim-7.5\text{‰}$, $-8.0\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$, $n=16$) and $\delta^{15}\text{N}$ ($9.0\text{‰}\sim 11.7\text{‰}$, $10.5\text{‰}\pm 0.9\text{‰}$, $n=16$) values are high and concentrated, indicating that people relied primarily on C_4 foods coming from millet and animals consuming millet products and/or by-products. Meanwhile, people also consumed some C_3 food and had two different consumption patterns for meat. Individuals consuming more meat resources had lives centered on livestock economy, whereas individuals consuming less meat resources made their living mainly by millet agriculture. It can be concluded that C_3 foods in the diet of the agricultural population mainly came from wheat, which indicate that the wheat was promoted in the Jinzhong area during the Eastern Zhou Dynasty. The expansion, cultivation and use of wheat in Shanxi Province had a corresponding impact on the traditional millet-based agriculture, which enriched the types of crops. Planting wheat might have accelerated the formation of early Chinese traditional agriculture during the Qin-Han dynasties. However the speed of explosion of wheat in ancient Shanxi is very slow suggesting that there were many obstacles, such as traditional millet-based agriculture and dietary habits.

Key words: Shanxi; Cemetery; Eastern Zhou; Stable isotopes; Wheat

1 引言

中国北方新石器时代粟黍农业的出现、发展及扩张，有效地推动了该地区长时期文化的繁盛和人口的显著增长^[1-2]。然而，随着外来农作物的推广和种植，中国北方粟黍农

业体系逐步受到冲击^[3-5]。目前研究的焦点在于何种外来农作物在何时何地对粟黍农业体系产生影响以及为什么会产生相应的影响^[3-5]？

植物考古学研究成果显示，外来农作物主要应该是小麦^[6-8]。黄河中下游地区及西北地区多个遗址浮选出了大量小麦遗存，结合它们出土单位的考古学文化属性，可以推测出它们的大致年代主要集中在距今 4600-3000 年^[7,8]。同时，对其中部分遗址的小麦遗存所做的直接的测年数据显示，发现大多数年代集中在距今 4000-3200 年之间^[7]。其中，山东胶州赵家庄遗址的小麦炭化样本经过 AMS 年代测定，发现其距今 4500 年，这是目前已知有明确出土层位的最早的小麦遗存^[9]。进入历史时期，不仅小麦的实物遗存被大量发现，而且还发现了专门加工小麦的工具^[10-13]。商代至东周时期多个考古遗址，都有小麦遗存的发现^[14-18]。两汉时期，除小麦的实物（麦粒、麦穗及其秸秆）外^[10]，许多反映小麦耕种和收割的场景开始在画像石和画像砖上集中出现^[19-20]。此外，东周时期，还开始大量出现专门针对麦类作物的新型加工工具——石转磨^[21-24]。在东周至两汉时期的考古遗址中^[21-30]，考古学家不仅发现了石转磨的明器及其组合，而且还发现了石转磨的实物，这为小麦的利用和加工提供了极其重要的证据。

同时，历史文献也进一步显示了小麦在中国的传播和推广。最早在商代的甲骨文中就已有食麦的习俗，如卜辞（距今约 3300 年）里说：“月一正，曰食麦^[31]”。此后，西周时期的文献中也出现小麦的记载，如小麦在《诗经》中被多次提及和描述^[32]，这说明小麦的种植业已增加。东周时期，小麦的重要性开始在文献中被反复强调。如《左传·成公十八年》中记载：“周子有兄而无慧，不能辨菽麦，故不可立”^[33]；又如《礼记·月令》中说：“仲秋之月，……乃劝种麦，毋或失时；其有失时，行罪无疑”^[34]。两汉时期，小麦的重要性体现的更加明显。如《淮南子·时则训》中的“乃命有司，趣民收敛畜采，多积聚，劝种宿麦。若或失时，行罪无疑”^[35]；又如《汉书·武帝纪》中说“遣谒者劝有水灾郡种宿麦”^[36]，都说明统治者极其重视冬小麦的推广。

通过古代人和动物骨中 C、N 稳定同位素的分析，可以揭示先民的食物结构，探索先民的生业方式，是目前国际生物考古界的主要研究方法之一。目前，通过对中国北方新石器时代中晚期及历史时期部分遗址的人和动物的 C、N 稳定同位素的分析，业已为小麦对先民食物结构和生业经济的影响程度等问题的解决提供了一些有益的线索，并初步勾勒出小麦在部分地区推广、种植及被食用的模式。Liu 等对河西走廊地区从西北到东南多个新石器时期到青铜时期遗址出土的人骨进行 C、N 稳定同位素分析，发现大约在距今 4000-3800 年期间，小麦突然开始在先民的食物结构中占据重要位置^[37]。Ma 等对河湟及其毗邻地区（青海东部与甘肃西部交界）多个新石器时期至青铜时期遗址人和动物骨骼的 C、N 稳定同位素分析，发现距今 3600 年前后先民的食物结构中 C₃ 食物的比例呈现出明显的上升趋势，表明小麦开始成为先民食物结构中不可或缺的重要部分^[38]。Dong 等通过对今郑州地区两处西周末至东周时期遗址出土人骨的 C、N 稳定同位素分析，发现“我行其野，芃芃其麦”的现象开始在今河南境内出现，郑州地区的大部分女性先民也开始大量食用小麦，而大部分男性先民则保持食用粟、黍食物的传统^[39]。侯亮亮等通过对河南浙川申明铺遗址人和动物骨骼的 C、N 稳定同位素分析，发现两汉居民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值明显低于东周居民的相应值，两者差异极其显著，这主要与两汉居民食用小麦有关，揭示了东周

至两汉时期当地农业经济基本格局改变的主要原因是小麦的种植和推广^[40]。Zhou 等对今河南地区多个遗址人和动物骨骼的 C、N 稳定同位素分析，进一步发现东周至两汉时期中原地区居民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值有明显的下降，证实了这一时期应该是小麦在中原地区推广的关键时期^[41]。Zhou 等还以稳定同位素的视角分析了我国境内新石器时代中晚期至历史时期多个遗址已发表的先民的 C、N 稳定同位素数据，以期研究小麦传入后对我国北方先民食物结构的影响，不仅发现不同地区小麦对先民食物结构的影响在时间上有明显差异，而且发现东周时期小麦等 C_3 农作物开始对中原地区先民食物结构产生明显影响，但直到 6 世纪左右才真正成为中原及东部地区先民的主要食物^[42]。

显然，以上研究成果表明，小麦作为外来的农作物在约距今 4500 年前进入我国，并开始对不同时空下先民的食物结构和生业经济产生相应的影响。然而，东周时期统治者开始重视小麦的推广及先民食物结构开始转变，特别是专门针对小麦加工的石转磨的出现，都说明东周时期应该是小麦在我国北方地区得以推广的重要时期^[10-11]。同时，东周时期是我国农业发展历程上一个变革期和高峰期，为两汉农业的大发展奠定了基础^[11, 43]。在此过程中，小麦可能已经开始发挥其独特的作用^[10]。因此，理解小麦对东周时期不同空间范围内先民食物结构的影响程度，对探讨中国北方早期农业的发展历程及中国传统农业格局和模式的形成具有重要的意义。

然而，东周时期小麦的推广和食用是否在我国北方辽阔的疆域内都有发生？发生时间是否一致？小麦对先民食物结构和生业经济的影响程度是否一致以及其背后的内在动因等问题依然缺乏深入探讨。对东周时期不同地区人骨的 C、N 稳定同位素分析，可以揭示先民的食物结构，还原他们的生业经济，并有望深入讨论他们对小麦的种植和食用情况。为了探索小麦在东周时期是否在山西地区有所推广和其对先民食物结构和生业经济的影响程度及其背后的内在动因等，本文拟对山西晋中小南庄东周时期墓地人骨的 C、N 稳定同位素分析，重建先民的食物结构，揭示小麦对山西地区先民生业经济的影响，并结合其他已经发表的成果对其动因进行探讨。

2 C、N 稳定同位素分析原理简介

根据光合作用途径的不同，陆生绿色植物有所区分，但大致可分 C_3 植物、 C_4 植物和 CAM 类植物^[44-46]。其中，只有 C_3 植物和 C_4 植物与人类有密切的关系。 C_3 植物主要是稻、麦、豆类及大多数草本植物等，具有比较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，平均值为 -26.5‰ ，而 C_4 类植物主要是粟、黍和玉米等，具有较高 $\delta^{13}\text{C}$ 值，平均值为 -12.5‰ ^[44]。当植物被动物所食，这种差异将贯穿在整个食物链。在植物的 C 经动物消化吸收转化为骨胶原中 C 的过程中， $\delta^{13}\text{C}$ 值将发生约 5‰ 的富集^[47]。若不考虑 C 同位素在营养级的分馏效应（约富集 1‰-1.5‰，常忽略不计），以 100% 的 C_3 、 C_4 类食物为食的动物，其骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值应分别约为 -21.5‰ 和 -7.5‰ ^[44]。因此，通过分析人和动物骨中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值，即可大致了解他们的食物类型。

与 C 同位素主要反映食物的种类相比，N 同位素比值在营养级间传递时存在明显的富集，因此更多地用以确定人和动物在食物链中的地位。研究表明，沿食物链的营养级每

上升一级, $\delta^{15}\text{N}$ 值将富集 3‰-5‰, 这意味着植食类动物比其所食的植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值约富集 3‰-5‰, 而肉食类动物又比其摄取植食类动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值富集约 3‰-5‰^[48-49]。一般认为, 植食类动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值约为 3‰~7‰, 杂食类约为 7‰~9‰, 而食肉类则常大于 9‰^[50]。显然, 通过人和动物骨中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 即可判断其肉食资源和营养级。

3 材料与方 法

3.1 遗址概况

晋中小南庄东周墓地位于晋中市晋中区乌金山镇小南庄村东约 500m, 西距聂店村约 400m, 位于河西岸台地上。墓地海拔 831m, 坐标为: 北纬 37°45′5.40″, 东经 112°43′31.12″(图 1)。发掘区整体地势平坦, 东边为河床断崖。该区域原为农场, 种植大量枣树, 枣树被拔出后地表有大量残留的树坑(山西省考古研究所, 山西高校新校区考古发掘报告, 待刊)。

2011 年为了配合山西高校新校区工程(山西大学城)建设, 山西省考古研究所对该墓地进行了考古发掘。此次发掘共布设 10m×10m 探方 20 个, 5m×5m 探方 1 个, 共计发掘面积 2025m², 其中遗址区发掘 625 m², 墓葬区发掘 1400 m²。遗址区 6 座灰坑出土的陶器及其组合显示, 这是一处东周时期的遗址。墓葬区发掘东周时期墓葬 18 座, 他们的大小和形制都比较一致, 出土器物有青铜剑、玛瑙环、铜带钩以及鼎、豆、壶等各类典型东周时期的器物及其组合(山西省考古研究所, 山西高校新校区考古发掘报告, 待刊)。

3.2 材料选择

样品采自山西晋中小南庄墓地, 均为东周时期的人骨, 共计 18 例(表 1)。需要指出的是, 由于遗址区和墓葬区均无动物骨骼的发现, 因此本研究没有选取同时期的动物骨骼。

3.3 样品处理

依据 Richards 和 Hedges 发表的方法对 人 骨 进 行 前 处 理, 进 而 提 取 骨 胶 原^[51]。

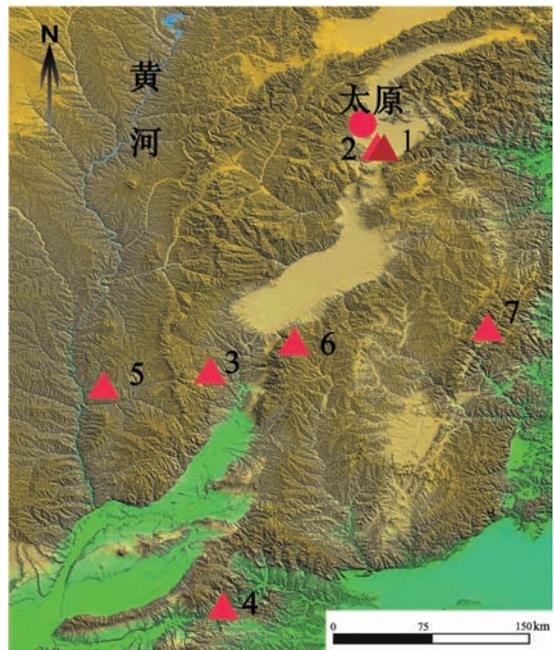


图 1 晋中小南庄墓地和文中涉及遗址的位置示意图

(1. 晋中小南庄墓地; 2. 榆次聂店遗址; 3. 襄汾陶寺遗址; 4. 芮城清凉寺遗址; 5. 浮山桥北遗址; 6. 乡宁内阳垣遗址; 7. 屯留余吾遗址; 红色圆点为太原市)

Fig.1 The location of Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong and the sites related in the paper

(1. Xiaonanzhuang Cemetery, Jinzhong 2. Niedian site, Yuci 3. Taosi site, Xiangfen 4. Qingliangsi site, Ruicheng 5. Qiaobei site, Fushan 6. Neiyangyuan site, Xiangning 7. Yuwu site, Tunliu. The red dot is the Taiyuan city)

首先，用牙钻去除骨样内外表面的污染物，选取 2 克左右骨样浸泡于 0.5mol/L 的 HCl 溶液中，置于 4°C 条件下的冰箱冷藏室内，每隔两天更换酸液，直至骨样松软且无明显气泡时，用去离子水清洗至中性。其次，将样品浸泡于 0.125mol/L 的 NaOH 溶液 20 小时，温度同样控制在 4°C，其后用去离子水洗至中性。第三，将样品浸于 0.001mol/L 的 HCl 溶液，放置于烘箱内，将温度控制在 70°C，加热 48 小时，并趁热过滤，并将过滤后的溶液冷却后放置于冰箱的冷藏室，温度控制在 -20°C 进行冷冻至少 48 小时。最后，将冷冻后的样品放置于冷冻干燥机内，冷冻干燥 48 小时，获得骨胶原，并将其称重。

3.4 测试分析

在中国科学院大学考古学与人类学系稳定同位素实验室，测定了样品骨胶原蛋白中的 C、N 元素含量及稳定同位素比值。取 0.8mg-1.2mg 骨胶原，称重后在 Elementar Vario-Isoprime100 型稳定同位素质谱分析仪测试其 C 和 N 含量及同位素比值。测试 C 和 N 含量所用的标准物质为磺胺 (Sulfanilamide)。C 和 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)，每测试 10 个样品中插入一个实验室自制胶原蛋白标样 ($\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-14.7\text{‰}\pm 0.1\text{‰}$ ， $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $7.0\text{‰}\pm 0.1\text{‰}$)。分析精度均低于 $\pm 0.2\text{‰}$ ，测试结果以 $\delta^{13}\text{C}$ (相对于 VPDB)， $\delta^{15}\text{N}$ (相对于 AIR) 表示 (表 1)。

4 结果与讨论

4.1 骨骼污染的鉴别

骨骼在埋藏过程中，受到湿度、温度及微生物等因素的影响，其结构和化学性质将发生改变^[52]。因此，判断骨样是否被污染极其重要。

判断骨胶原是否污染有三个重要的指标，即骨胶原的 C、N 含量和 C/N 摩尔比值。由表 1 和表 2 可知，除 11YCZYaM16，11YCZYaM20 未提取出骨胶原外，其余 16 个样品 C、N 含量分别在 36.9%-41.8% 和 13.8%-15.8% 之间，接近于现代样品 (C、N 分别约含 41%、15%)^[53-54]。同时，这 16 个样品的 C/N 摩尔比值全为 3.1，都落于未受污染样品的范围内 (2.9-3.6)^[55]。由此可以看出，除 11YCZYaM16，11YCZYaM20 外，其余 16 个样品提取出的骨胶原，均可用作稳定同位素分析。

4.2 小南庄墓地先民的食物结构

图 2 为晋中小南庄墓地 16 例未污染人骨的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图。由表 1 和图 2 可见，先民 $\delta^{13}\text{C}$ 值比较集中 ($\delta^{13}\text{C}$ 值的范围为 $-9.0\text{‰}\sim -7.5\text{‰}$ ，均值为 $-8.0\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$ ， $n=16$)，说明先民的食物类型以 C_4 类为主，但也包含少量 C_3 类食物。然而，较大的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异 (9.0‰-11.7‰)，显示先民在肉食资源获取的方式上明显不同。其中，11YGaM3、11YGaM4、11YGaM5、11YGaM6、11YGaM8 先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布范围在 9.0‰-9.7‰ 之间，均值为 $9.3\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$ ($n=5$)，说明他们的食物中应该包含一定量的动物蛋白；其余先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值都大于 10.4‰ ($n=11$)，分布范围在 10.4‰-11.7‰ 之间，均值为 $11.0\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$ ，说明他们食物中动物蛋白的比重非常大。

表 1 山西晋中小南庄墓地人骨的出土单位及各项测试数据

Tab.1 The archaeological background and the test data of human bones from Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong, Shanxi

序号No.	实验室编号 Lab. No.	工地编号 Location No.	性别sex	年龄age	C(%)	N(%)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
1	11YCZYaM3	2011YGMa3	男	25-30	41.4	15.6	-7.7	9.1	3.1
2	11YCZYaM4	2011YGMa4	男	25-30	40.5	15.3	-7.9	9.3	3.1
3	11YCZYaM5	2011YGMa5	男	35-40	41.3	15.4	-7.5	9.7	3.1
4	11YCZYaM6	2011YGMa6	女	30-35	40.9	15.2	-7.8	9.6	3.1
5	11YCZYaM7	2011YGMa7	女	40-45	41.4	15.5	-8.2	10.4	3.1
6	11YCZYaM8	2011YGMa8	男	45-50	36.9	13.8	-7.6	9.0	3.1
7	11YCZYaM9	2011YGMa9	男?	25-30	38.4	14.3	-8.5	11.3	3.1
8	11YCZYaM10	2011YGMa10	男	45-50	40.9	15.3	-7.5	11.2	3.1
9	11YCZYaM11	2011YGMa11	女	35-40	40.0	14.9	-7.5	11.2	3.1
10	11YCZYaM12	2011YGMa12	女	30-35	40.5	15.0	-8.2	11.1	3.1
11	11YCZYaM13	2011YGMa13	女	50-60	39.0	14.7	-8.0	10.8	3.1
12	11YCZYaM14	2011YGMa14	女	35-40	40.0	14.9	-8.4	10.5	3.1
13	11YCZYaM15	2011YGMa15	男	45±	38.5	14.5	-8.1	11.1	3.1
14	11YCZYaM16	2011YGMa16	女	30-35	/	/	/	/	/
15	11YCZYaM17	2011YGMa17	女	60+	37.1	14.1	-8.3	11.2	3.1
16	11YCZYaM18	2011YGMa18	男	35-40	41.5	15.5	-7.7	10.4	3.1
17	11YCZYaM19	2011YGMa19	女	35±	41.8	15.8	-9.0	11.7	3.1
18	11YCZYaM20	2011YGMa20	女	35-40	/	/	/	/	/

表 2 山西晋中小南庄墓地人骨各项测试数据的统计分析

Tab.2 The statistics analysis of human bones from Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong, Shanxi

	样品数量Q.	最小值Min.	最大值Max.	平均数Avg.	标准偏差Std.
C含量(%)	16	36.9	41.8	40.0	1.6
N含量(%)	16	13.8	15.8	15.0	0.6
C/N(摩尔比)	16	3.1	3.1	3.1	0.0

自龙山文化时期,粟黍就是山西地区最典型的农作物,但也有其他 C_3 农作物(小麦、大麦、大豆和水稻)的栽培和种植。如在襄汾陶寺遗址(2300 BC-1900 BC)不仅发现了大量的粟黍类炭化及微体化石遗存,而且也发现大豆和水稻以及疑似大麦的炭化及微体化石遗存^[56-57];在忻州原平辛章遗址(约 2000 BC)人的牙结石发现粟黍的微体化石的比例最多,也发现豆类和麦类的微体化石^[58]。进入历史时期,粟黍依然是山西地区最重要的粮食作物,但文献也说明了小麦和大豆在山西及周边地区种植的情况。如甲骨文卜辞里多次提及小麦,说明小麦在商代已经是商王朝统治核心区,即黄河中下地区的重要粮食作物^[31];又如《诗经·魏风·硕鼠》(约 1100 BC-约 600 BC)中提及“硕鼠硕鼠,无食我麦”,说明在今山西芮城地区已经有小麦的种植^[59];《左传·成公十年》(722 BC-468 BC)说:“晋侯欲麦,使甸人献麦”,反映今山西省大部分地区种小麦的情况^[33];《战国策·韩策》(490 BC-221

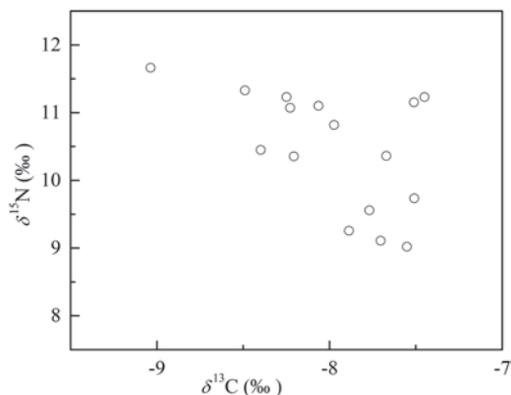


图2 晋中小南庄墓地人骨 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图

Fig.2 The scatter plot of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of bones from Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong

BC) 说：“韩地险恶，山居，五谷所生，非麦而豆，民只所食，大抵豆饭藿羹”，也反映了山西南部种植大豆和小麦的状况^[60]；《后汉书·鲁恭列传》(25 AD-220 AD) 提及“三辅、并、凉少雨，麦根枯焦”，说明小麦在山西地区得到了广泛种植^[61]。可惜上述历史时期山西地区几乎无相关植物考古工作的开展，故在山西地区无发现麦类和豆类的遗存或微体化石。然而，同时期或前后在陕西、河北、河南及内蒙古地区都发现有小麦和大豆的遗存^[10]，因此随着相关工作的开展，山西地区也有可能发现小麦和大豆的实物遗存。此外，需要指出的是水稻在山西地区几乎没有发现，

文献中也几乎没有任何提及，可能与当地自然环境的限制有关^[11]。

相较陶寺遗址 (2600 BC-1900 BC) 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值 ($-6.6\text{‰}\pm 1.0\text{‰}$, $n=7$)^[62]，清凉寺遗址 (2300 BC-1900 BC) 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值 ($-7.9\text{‰}\pm 0.6\text{‰}$, $n=14$)^[63]，聂店遗址先民 (需要指出的是该遗址年代不明确，可能在 1600 BC 前后) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值 ($-7.1\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$, $n=60$)^[64-65] 而言，小南庄墓地先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值 ($-8.0\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$, $n=16$) 比它们略低，但无明显改变，表明这一区域从龙山时期至东周时期先民的食物结构没有发生较大变化，先民的食物依然为粟黍为主。然而，需要指出的是，除清凉寺遗址的部分先民外，大部分先民 $\delta^{13}\text{C}$ 均值有下降的趋势，这应该和 C_3 类食物 (小麦、大豆和 / 或以小麦、大豆或其他 C_3 食物为食的动物) 摄入有关。

同时，相较陶寺遗址先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值 ($8.9\text{‰}\pm 1.3\text{‰}$, $n=7$)^[62]，清凉寺遗址先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值 ($8.8\text{‰}\pm 1.0\text{‰}$, $n=14$)^[63] 而言，小南庄墓地先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值 ($10.5\text{‰}\pm 0.9\text{‰}$, $n=16$) 比它们高。然而，与同一地区稍早的聂店遗址先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值 ($10.5\text{‰}\pm 0.7\text{‰}$, $n=60$) 几乎相当^[64-65]。显然，从龙山时期至东周时期先民的食物中肉食资源含量有一定的变化，即前期先民以杂食为主，后期则包含一定的肉食量。此外，需要特别指出的是，无论是聂店遗址还是小南庄遗址，先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值基本都可以划分两群 (表 3)，即略大于 9.0‰ 的群体 1 和大于 10.0‰ 的群体 2，这说明先民对动物蛋白的消费存在区分，即略大于 9.0‰ 的群体摄入动物蛋白有限，而大于 10.0‰ 的群体则摄入了较多的动物蛋白。和其他植物相比，豆类植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值几乎为 0‰^[66]，因此如果动物或人大量食用豆类食物的话，那么他们骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值应该非常低^[67]。但小南庄墓地人的 $\delta^{15}\text{N}$ 值都大于 9.0‰，说明他们可能几乎没有摄入豆类植物^[67]。

结合以上分析，可以认为 $\delta^{15}\text{N}$ 值略大于 9.0‰ 的群体 1 的食物来源主要是粟、黍、小麦和 / 或极少以此为食的动物；但 $\delta^{15}\text{N}$ 值大于 10.0‰ 的群体 2 的食物来源应该是粟、黍、小麦和以此为食的动物。

此外，为了探讨先民对动物蛋白质消费产生差异的原因是否和年龄、性别有关，做以下相关的分析。如表 1 显示，晋中小南庄墓地的居民均为 25 岁以上的成年人，年龄结

构比较集中(25-50岁),他们的食物类型基本无明显的差异。那么,不同性别对肉食资源的获取是否存在差异,为此作标准误差棒图分析(图3)。由图3可以看出,男性的 $\delta^{15}\text{N}$ 值比女性的要低。然而,通过对两者 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值的独立样本T检验统计分析则显示,二者无显著差异($t=0.134$, $P=0.079$),这表明男女在肉食资源的获取上无明显的差异。

4.3 先民的生业经济及其与小麦的关系

如前文所述,小南庄先民均有较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值,说明总体上他们应该从事粟黍农业为基础的生业经济。同时,和山西地区其他前期遗址相比,总体上他们的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均值有下降的趋势(表3),这应该和小麦的摄入有密切的关系。然而,小南庄先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值差异较大,至少可以划分为两组(表3),第一组具有相对低的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(分布范围为:9.0‰-9.7‰,均值为:9.3‰±0.3‰),他们应该和农耕经济相关;而第二组具有相对高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(分布范围为10.4‰-11.7‰,均值为:11.0‰±0.4‰),他们应该和畜牧业经济相关。

晋中小南庄墓地先民对动物蛋白消费的明显区分可能与当地的人群构成有密切关系,因为东周前期,晋中地区为戎狄的领地,后被晋国占领,最终归为秦国的版图^[70]。据《史记·匈奴列传》记载:“唐虞以上有山戎、豮豸、犂粥,居于北蛮,随畜牧而转移”^[71],说明东周前期晋中地区先民的生业经济为典型的游牧经济。东周后期,晋中地区为晋国和秦国的领地,当地的生业经济应该受到农耕经济的影响,先民开始主要从事农耕经济,即粟黍农业^[70]。值得一提的是,同一时期晋南地区乡宁内阳垣遗址先民的生业经济似乎也呈现出这样的情况,但在该遗址还出现了典型的从事狩猎的个体^[68](表3和图4)。然而,遗憾的是不管是小南庄墓地还是内阳垣遗址都没有更细化的分期信息,故无法进一步判断不同阶段先民的生业经济,只能笼统的描述他们生业经济的总体面貌。因此,可以判断晋中小南庄墓地先民群体中至少有两种生业经济,即以粟黍为主的农耕经济和以粟黍为基础的畜牧经济。

前文提及晋中小南庄墓地先民的食物中应该包含了少量小麦,但可能不包含豆类及水稻

表3 山西地区龙山晚期到东周人骨 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值及其分布范围

Tab.3 Average values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of humans in Shanxi province, from late Longshan period to the Eastern Zhou Dynasty

遗址名称和时间 Name&Age	在图1中的序号 NO. in Fig1	个体数Q.	$\delta^{13}\text{C}$ 平均值 Avg.	$\delta^{15}\text{N}$ 平均值 Avg.	参考文献 Ref.
襄汾陶寺遗址(2300 BC-1900 BC)	3	7	-6.6±1.0‰	8.9±1.3‰	[62]
芮城清凉寺遗址(2300 BC-1900 BC)	4	14	-7.9±0.6‰	8.8±1.0‰	[63]
榆次聂店遗址(约2100 BC-1600 BC)	2	60	-7.1±0.3‰	10.5±0.7‰	[64]
乡宁内阳垣遗址1(约2100 BC-1600 BC)	5	2	-7.3±0.0‰	8.4±0.1‰	[68]
浮山桥北遗址1(约1046 BC-771 BC)	6	5	-7.7±0.2‰	8.2±0.8‰	[65]
浮山桥北遗址2(770 BC-476 BC)	6	7	-8.0±0.6‰	9.2±0.8‰	[65]
乡宁内阳垣遗址2(770 BC-476 BC)	5	20	-8.4±0.7‰	9.7±1.0‰	[68]
乡宁内阳垣遗址3(770 BC-476 BC)	5	1	-15.4‰	9.9‰	[68]
晋中小南庄墓地1(770 BC-476 BC)	1	5	-7.7±0.2‰	9.3±0.3‰	本文
晋中小南庄墓地2(770 BC-476 BC)	1	11	-8.1±0.4‰	11.0±0.4‰	本文
屯留余吾遗址(475 BC-221 BC)	7	6	-9.8±1.6‰	8.8±0.6‰	[69]

等，这表明小麦在东周时期已经开始被晋中地区先民食用。随着山西地区不同时期人骨稳定同位素数据的积累和丰富，似乎可以发现小麦在山西地区推广的线索，这为考察小麦在山西地区的推广提供了除植物浮选法和微体化石之外的另外一个方法和思路。

如表 3 和图 4 所示，尽管从龙山时期到东周时期大部分遗址先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值都集中在 -6.6‰ ~ -9.8‰ 的范围内，但总体上基本呈现出下降的趋势。然而，如表 3 和图 4 所示，先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值则一直处于动态变化的状态，没有相应的变化趋势。如表 3 和图 4 所示，晋中小南庄墓地 1 组先民的稳定同位素值 ($-7.7\text{‰}\pm 0.2\text{‰}$, $9.3\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$, $n=5$) 正好处于中间状态，因此与同一地区时间较早的聂店遗址先民的同位素值 ($-7.1\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$, $10.5\text{‰}\pm 0.7\text{‰}$, $n=60$)^[64] 相比而言，晋中小南庄墓地 1 组先民的食物结构开始发生一定的变化，即他们食物中粟黍的比例开始下降，这应该与当地小麦的推广有关。

相较山西中部而言，山西南部年平均气温较高，年降水也多，更适宜小麦的生长^[72-74]，因此《诗经》、《左传》、《战国策》等文献也主要偏重于山西南部地区小麦的记载和表述。如表 3 和图 4 所示，和同时一时期的浮山桥北遗址 2 组 ($-8.0\text{‰}\pm 0.6\text{‰}$, $9.2\text{‰}\pm 0.8\text{‰}$, $n=7$) 及稍后的屯留余吾遗址 ($-9.8\text{‰}\pm 1.6\text{‰}$, $8.8\text{‰}\pm 0.6\text{‰}$, $n=6$) 先民的稳定同位素值^[65, 69] 相比而言，晋中小南庄墓地 1 组 ($-7.7\text{‰}\pm 0.2\text{‰}$, $9.3\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$, $n=5$) 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则较高，说明小麦在山西不同地区的推广速度有所区别，即囿于自然环境，小麦在晋中地区的推广速度可能不如在山西南部推广的速度。

此外，如表 3 和图 4 所示，榆次聂店遗址 ($-7.1\text{‰}\pm 0.3\text{‰}$, $10.5\text{‰}\pm 0.7\text{‰}$, $n=60$)^[64]、乡宁内阳垣遗址 2 组 ($-8.4\text{‰}\pm 0.7\text{‰}$, $9.7\text{‰}\pm 1.0\text{‰}$, $n=20$)^[68] 和晋中小南庄墓地 2 组 ($-8.1\text{‰}\pm 0.4\text{‰}$, $11.0\pm 0.4\text{‰}$, $n=11$) 先民都具有非常高的 $\delta^{15}\text{N}$ 值，说明他们大部分人都食用了大量的肉食资源，也反映出他们主要从事畜牧经济。

尽管以上人骨稳定同位素的数据间接揭示了小麦在山西地区推广的线索，但由于表 3 中

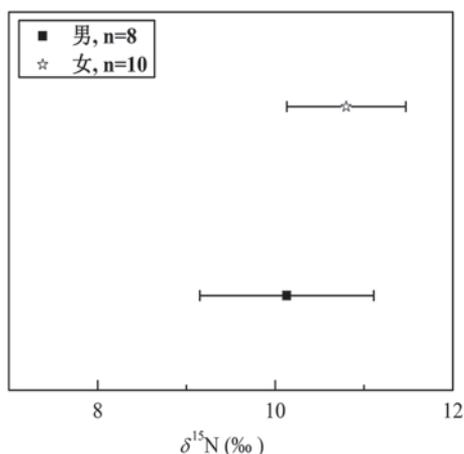


图 3 晋中小南庄墓地男女的平均 $\delta^{15}\text{N}$ 值棒状误差图

Fig.3 The error bar of $\delta^{15}\text{N}$ of males and females from the Xiaonanzhuang cemetery, Jinzhong

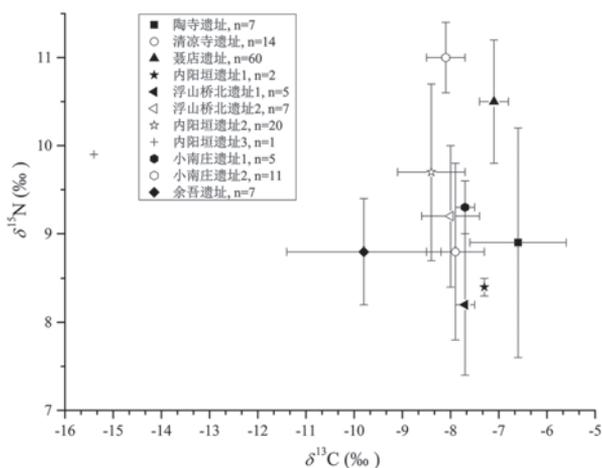


图 4 山西地区龙山晚期到东周人骨的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值棒状误差图

Fig.4 Error bar plot of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of humans in Shanxi province, from late Longshan period to the Eastern Zhou Dynasty.

大部分考古遗址或墓地,特别是本文研究的晋中小南庄墓地都无相关植物浮选和植物微体化石工作的开展,暂时没有发现小麦或其他农作物的实物和微体化石,因此期待相关工作在以上遗址的开展,以便发现小麦在山西地区推广的更完整的证据链。

显然,东周时期小麦在晋中地区的推广和种植已经对粟、黍农业产生了相应影响,即先民开始摄入部分小麦,但相应的影响十分有限。同时,东周时期先民对小麦的推广、种植和使用,使得农作物的种类的增加,这或是我国农业发展史上的第一个高峰期形成的重要动因。

4.4 小麦推广的动因

上文分析为小麦在晋中地区乃至山西地区的推广提供了一些线索,但发现小麦在该区域的推广的规模和程度却极其有限。为此,下文将尝试解释在此区域下小麦推广的动因。

相关研究表明,小麦在黄河流域开始推广和种植经历了三个阶段,即试种阶段、劝种阶段和广种阶段^[10]。其中,东周时期是劝种阶段的起始期^[10]。曾雄生对古文献进行梳理,发现公元前第二千纪和第一千纪小麦在我国种植和收获的时间存在多样性^[6]。在长达1000多年的时间内,小麦逐步由“旋麦(春小麦)”转变为“宿麦(冬小麦)”,具有季节差异的互补优势,也更适宜黄河中下地区的气候环境^[6]。由此,小麦开始被较大程度的推广和种植,进而政府也开始劝民种麦^[8,10]。同时,东周时期铁农具的使用及灌溉方面取得的进展^[10-11,43],特别是石转磨的发明和使用,缓慢有序的改变先民传统的“粒食”习惯,使得小麦可口宜食^[75-76]。

山西地区各时期的文化遗址主要集中在五大盆地及其周边区域^[77],除大同盆地外,太原盆地(又称“晋中盆地”)、临汾盆地、长治盆地、运城盆地的环境条件和气候条件都适合小麦的推广和种植^[72]。上文提及的古文献显示了小麦在这些区域的种植和使用情况,该区域人骨稳定同位素的数据也显示了小麦推广的线索。相关研究表明^[78],太原盆地属温带大陆性季风气候,夏季暖热多雨,冬季寒冷干燥,从龙山晚期到夏商时期,这里文化发展连续且比较稳定,生业经济以农业生产为主。晋中小南庄墓地人骨的稳定同位素显示了先民开始在太原盆地食用小麦,这可能主要与当地适宜的气候条件相关,也应该与小麦自身特性的转变密切相关。当然,也应该和该地区在东周时期由戎狄的领地转变为晋国和秦国的版图有密切关系^[70],即该地区被农耕民族统治而成为农耕经济的重要区域。

然而,需要特别指出的是,小麦在晋中地区的推广极其有限,这可能与当地根深蒂固的粟黍为基础的农业经济及先民“粒食”的饮食习惯有关,也有可能和小麦自身特性或石转磨的普及程度低等因素相关。

5 结论

大同晋中小南庄春秋战国时期墓人骨的C、N稳定同位素分析和研究表明:1)晋中小南庄墓地东周人群以C₄食物为主,也包含少量的C₃食物。然而,他们对动物蛋白的消费差异较大,至少可以划分为两个群体,第一个群体可能从事农耕经济,第二群体可能从事畜牧经济。2)先民食物中的C₃食物应该主要来源于小麦,这说明小麦在东周时期开始在晋中地区有所推广,尽管推广的规模十分有限。这也说明东周时期可能是小麦在山西推广的一个关键时间节点。3)冬小麦的出现和推广,小麦加工技术的发明和使用等或是小麦在东周时期推广的重要原因。

致谢: 感谢山西省考古所高振华在遗址背景材料整理等方面给予的支持和帮助, 感谢两位匿名专家审稿时所提的宝贵意见。

参考文献

- [1] 游修龄. 中国农业通史——原始社会卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 156-175
- [2] 董广辉, 张山佳, 杨谊时, 等. 中国北方新石器时代农业强化及对环境的影响 [J]. 科学通报, 2016, 61(26): 2913-2925
- [3] Jones MK, Hunt HV, Lightfoot E, et al. Food globalization in prehistory. *World Archaeol*, 2011, 43(4): 665-675
- [4] Liu X, Jones MK. Food globalisation in prehistory: top down or bottom up? *Antiquity*. 2014, 88(341): 956-963
- [5] Jones MK, Hunt HV, Kneale CJ, et al. Food globalisation in prehistory: The agrarian foundations of an interconnected continent. *J Brit Acad*, 2016, 4: 73-87
- [6] 曾雄生. 论小麦在古代中国之扩张 [J]. 中国饮食文化, 2005, 1(1): 99-133
- [7] 赵志军. 小麦传入中国的研究——植物考古资料 [J]. 南方文物, 2015, (3): 44-52
- [8] Liu X, Lister DL, Zhao Z, et al. Journey to the east: Diverse routes and variable flowering times for wheat and barley en route to prehistoric China [J]. *PLOS ONE*, 2017, 12(11): e0187405
- [9] 靳桂云, 王海玉, 燕生东, 等. 山东胶州赵家庄遗址龙山文化炭化植物遗存研究 [C]. 科技考古 (第三辑), 北京: 科学出版社, 2011: 36-53
- [10] 李成. 黄河流域史前至两汉小麦种植与推广研究 [D]. 西安: 西北大学博士学位论文, 2014: 53-58
- [11] 张波, 樊志民. 中国农业通史——战国秦汉卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 1-175
- [12] 查瑞珍. 战国秦汉考古 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1990: 21-32
- [13] 李发林. 战国秦汉考古 [M]. 济南: 山东大学出版社, 1990: 10-11
- [14] 洛阳博物馆. 洛阳战国粮仓试掘纪略 [J]. 文物, 1981, (11): 55-65
- [15] 河南省博物馆新郑工作站, 新郑县文化馆. 河南新郑郑韩故城的钻探和试掘 [J]. 文物编辑委员会编. 文物资料丛刊 (第三辑), 北京: 文物出版社, 1980: 56-66
- [16] 湖北省博物馆. 纪南城的勘探与发掘 [J]. 考古学报, 1982, (4): 477-508
- [17] 《云梦睡虎地秦墓》编写组. 云梦睡虎地秦墓 [M]. 北京: 文物出版社, 1981: 58-62
- [18] 侯马市考古发掘委员会. 侯马牛村古城南周遗址发掘简报 [J]. 考古, 1962, (2): 55-62
- [19] 陈文华, 张忠宽. 中国古代农业考古资料索引农作物 [J]. 农业考古, 1987, (1): 413-425
- [20] 林正同. 从画像砖、石看汉代农业经济特点 [J]. 农业考古, 1996, (1): 38-42
- [21] 陕西省文物管理委员会. 秦都栎阳遗址初步勘探记 [J]. 文物, 1966, (1): 10-18
- [22] 秦俑坑考古队. 临潼郑庄秦石料加场遗址调查简报 [J]. 考古与文物, 1981, (1): 39-42
- [23] 卫斯. 我国圆形石磨起源历史初探中国农史 [J]. 中国农史, 1987, (1): 26-29
- [24] 李发林. 古代旋转磨试探 [J]. 农业考古, 1986, (2): 146-167
- [25] 中国社会科学院考古研究所, 河北省文物管理处. 满城汉墓发掘报告 [M]. 北京: 文物出版社, 1980: 143(上册), 106(下册)
- [26] 中国历史博物馆. 简明中国历史图册 (第四册) [M]. 天津: 天津人民美术出版社, 1979: 80
- [27] 襄汾县文化馆. 山西襄汾发现汉代铁器 [J]. 考古, 1978, (2): 141-142
- [28] 黄展岳. 一九五五年春洛阳汉河南县城东区发掘报告 [J]. 考古学报, 1956, (4): 21-54
- [29] 耿青岩, 蔡学文. 河南洪县发现西汉石磨 [J]. 考古, 1983, (10): 949
- [30] 甘肃文管会. 兰新铁路文物清理组在古浪黑松驿发现重要文物 [J]. 文物参考资料, 1954, (2): 105-106
- [31] 郭沫若. 甲骨文合集 [M]. 北京: 中华书局, 1999: 3114
- [32] 齐思和. 毛诗谷名考 [J]. 农业考古, 2002, (1): 202-224
- [33] 杨伯峻. 春秋左传注 [M]. 北京: 中华书局, 1990: 850-907
- [34] 陈戌国. 礼记校注 [M]. 长沙: 岳麓书社, 2004: 120-121
- [35] 张双棣. 淮南子校释 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1997: 580
- [36] [汉]班固. 汉书 [M]. 北京: 中华书局, 1962: 177
- [37] Liu X, Lightfoot E, O'Connell TC, et al. From necessity to choice: dietary revolutions in west China in the second millennium BC [J]. *World Archaeol*, 2014, 46(5): 661-680
- [38] Ma M, Dong G, Jia X, et al. Dietary shift after 3600 cal yr BP and its influencing factors in northwestern China: Evidence from stable isotopes [J]. *Quaternary Sci Rev*, 2016, 145: 57-70
- [39] Dong Y, Morgan C, Chinenov Y, et al. Shifting diets and the rise of male-biased inequality on the Central Plains of China during Eastern Zhou [J]. *P Natl Acad Sci USA*, 2017, 114(5): 932-937

- [40] 侯亮亮, 王宁, 吕鹏, 等. 申明铺遗址战国至两汉先民食物结构和农业经济的转变 [J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(7): 1018-1025
- [41] Zhou L, Garvie-Loka SJ, Fan W, et al, Human diets during the social transition from territorial states to empire: Stable isotope analysis of human and animal remains from 770 BCE to 220 CE on the Central Plains of China [J]. *J Archaeol Sci: Reports*, 2017, 11: 211-223
- [42] Zhou L, Garvie-Loka SJ. Isotopic evidence for the expansion of wheat consumption in northern China [J]. *Archaeol Res Asia*, 2015, 4: 25-35
- [43] 许倬云. 汉代农业 —— 早期中国农业经济的形成 [M]. 南京: 江苏人民出版社, 1998: 1-12
- [44] O'Leary MH. Carbon isotope fractionation in plants [J]. *Photochemistry*, 1981, 20: 553-567
- [45] Calvin M, Benson AA. The path of carbon in photosynthesis [J]. 1948, *Science*, 107(2784): 476-480
- [46] Hatch MD, Slack CR, Johnson HS. Further studies on a new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in sugar-cane and its occurrence in other plant species [J]. *Biochem J*, 1967, 102(2): 417-422
- [47] Ambrose SH, Norr L. Isotopic composition of dietary protein and energy versus bone collagen and apatite: Purified diet growth experiments. In: Lambert JB, Grupe G. eds. *Molecular Archaeology of Prehistoric Human Bone (Prehistoric Human Bone-Archaeology at the Molecular Level)* [M]. Berlin: Springer, 1993: 1-37
- [48] Hedges REM, Reynard LM. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology [J]. *J Archaeol Sci*, 2007, 34: 1240-1251
- [49] Bocherens H, Fizet M, Mariotti A. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: Implications for Pleistocene bears [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1994, 107(3-4): 215-225
- [50] Ambrose SH. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs [J]. *J Archaeol Sci*, 1991, 18(3): 293-317
- [51] Richards MP, Hedges REM. 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]. *J Archaeol Sci*, 1999, 26(6): 717-722
- [52] Hedges REM. Bone diagenesis: an overview of processes [J]. *Archaeometry*, 2002, 44(3): 319-328
- [53] Ambrose SH, Butler BM, Hanson DH, et al. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific [J]. *Am J Phys Anthropol*, 1997, 104(3): 343-361
- [54] Ambrose SH. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis [J]. *J Archaeol Sci*, 1990, 17(4): 431-451
- [55] DeNiro MJ. Post-mortem preservation of alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction [J]. *Nature*, 1985, 317(6040): 806-809
- [56] 赵志军, 何弩. 陶寺城址 2002 年度浮选结果及分析 [J]. *考古*, 2006, (5): 77-86
- [57] 姚政权, 吴妍, 王昌燧, 等. 山西襄汾陶寺遗址的植硅石分析 [J]. *农业考古*, 2006, (4): 19-26
- [58] 任冠宇, 赵杰, 侯亮亮. 原平辛章遗址人牙结石的淀粉粒分析 [J]. *文物世界*, 2017, (2): 20-23
- [59] 高亨. 诗经今注 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 1980: 148
- [60] 诸祖耿. 战国策集注汇考 [M]. 南京: 江苏古籍出版社, 1985: 1364
- [61] [南宋] 范晔. 后汉书 [M]. 北京: 中华书局, 1985: 877
- [62] 张雪莲, 仇士华, 薄官成, 等. 二里头遗址、陶寺遗址部分人骨碳十三、氮十五分析 [C]. *科技考古 (第二辑)*, 北京: 科学出版社, 2007: 41-48
- [63] 凌雪, 陈靛, 薛新明, 等. 山西芮城清凉寺墓地出土人骨的稳定同位素分析 [J]. *第四纪研究*, 2010, 30(2): 415-421
- [64] 王洋, 南普恒, 王晓毅, 等. 相近社会等级居民的食物结构差异 —— 以山西聂店遗址为例 [J]. *人类学学报*, 2014, 33(1): 82-89
- [65] 王洋. 社会等级相近或不同居民的生活方式差异研究 [D]. 北京: 中国科学院大学硕士学位论文, 2013: 15-34
- [66] Delwiche CC, Pieter LS. Nitrogen isotope fractionation in soils and microbial reactions. *Environ Sci & Technol*, 1970, 4(11): 929-935
- [67] Deniro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1981, 45(3): 341-351
- [68] 裴德明, 胡耀武, 杨益民, 等. 山西乡宁内阳垣遗址居民食物结构分析 [J]. *人类学学报*, 2008, 27(4): 379-384
- [69] 薛鹏锦. 屯留余吾战国至两汉时期人骨的 C、N 稳定同位素分析 [D]. 太原: 山西大学硕士学位论文, 2015: 17-33
- [70] [日] 山冈师团 [编], 山西省史志研究院 [译编]. 山西大观 [M]. 太原: 山西古籍出版社, 1998: 43、55
- [71] [汉] 司马迁. 史记 [M]. 北京: 中华书局, 1959: 2879
- [72] 史海萍. 山西气候变化及植被生态系统的响应研究 [D]. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2006: 26-32
- [73] 李拓宇, 莫多闻, 胡珂, 等. 晋南地区仰韶至东周时期人地关系研究 [J]. *古地理学报*, 2014, 16(6): 955-962
- [74] 王乃樑, 杨景春, 夏正楷, 等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 120-121
- [75] 曾雄生. 从“麦饭”到“馒头” —— 小麦在中国 [J]. *生命世界*, 2007, (9): 8-13
- [76] 李根蟠. 胡化的餐桌 [J]. *中国国家地理*, 2007, (10): 228-241
- [77] 国家文物局. 中国文物地图集 (山西分册) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2007: 64-73
- [78] 姜佳奇, 莫多闻, 吕建晴, 等. 山西太原盆地全新世地貌演化及其对古人类聚落分布的影响 [J]. *古地理学报*, 2016, 18(5): 895-904