

新疆巴里坤东黑沟遗址出土 人骨的碳氮同位素分析

凌雪^{1,2}, 陈曦¹, 王建新¹, 陈靓¹, 马健¹, 任萌¹, 习通源¹

(1. 陕西西北大学文化遗产研究与保护技术教育部重点实验室, 西北大学唐仲英文化遗产实验室, 西安 710069;
2. 陕西西北大学地质学系, 西安 710069)

摘要: 本文以新疆巴里坤东黑沟遗址出土的人骨为研究对象, 测定骨中的碳、氮同位素比值, 揭示该地区古代先民的食谱特征, 探索当时人们的生活与生产方式、经济形态等历史信息。研究发现: 人骨样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在 -18.96‰ ~ -17.74‰ 范围内, 样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均较高, 分布在 12.64‰ ~ 14.33‰ 范围内, 表明新疆巴里坤东黑沟遗址先民的食物结构是肉类食物在日常饮食生活占有相当大的比例。根据考古发掘出土的动植物遗存, 肉类的获取应来源于驯养的牛、羊等或部分狩猎所得的鹿等动物, 植物性食物主要来源于大麦、小麦等 C_3 类作物, 这与其生活的环境和以游牧为主, 农业和狩猎为辅的经济形态密切相关; 男性与女性的食物结构相同。

关键词: 游牧; 东黑沟遗址; 稳定同位素; 食谱结构

中图分类号: O615.2; 文献标识码: A; 文章编号: 1000-3193(2013)02-219-07

古代游牧文化的历史学和考古学研究是国际学术界关注的重要课题。然而, 由于古代文献记载的有限和片面性, 使得古代游牧文化的研究进展缓慢。地处我国北方东天山的新疆哈密地区, 是古代游牧民族生活的重要区域^[1]。近年来, 我国许多考古工作者不断坚持开展新疆东天山地区的考古调查和发掘工作, 取得了一定的收获, 尤其是东黑沟遗址的考古工作作为东天山地区古代游牧文化考古研究的重要内容, 在古代游牧文化大型聚落遗址考古研究领域取得了重要突破, 具有重大意义^[2]。

东黑沟(又名石人子沟)遗址位于新疆哈密地区巴里坤县石人子乡石人子村南的东天山北麓, 西距巴里坤县城 23km。2005 至 2010 年, 西北大学文化遗产学院和新疆文物考古研究所在哈密地区文物局的协助下, 在红山口—东黑沟(石人子沟)遗址群连续开展了多次考古调查和发掘工作, 取得了重大收获: 该遗址是东天山北麓发现的一处规模较大、内涵较丰富、具有代表性的西汉前期游牧文化大型聚落遗址^[3,4]。其中 2007 年的考古工作成果, 被评为全国十大考古新发现之一。东黑沟遗址的考古工作出土了一批人类遗骸, 为我们深入了解古代草原游牧民族的生活状况提供了极有价值的研究资料。

收稿日期: 2012-05-15; 定稿日期: 2012-09-11

基金项目: 国家财政部、国家文物局重大专项(FB10002); 国家文物局文化遗产保护科学和技术研究课题(20110103); 西北大学科研启动基金(PR10031); 陕西省重点学科建设专项资金项目资助。

作者简介: 凌雪, 男, 安徽省五河县人, 西北大学副教授、地质学系博士后, 从事科技考古和文化遗产保护研究。

近几十年来,随着生物考古的迅速发展,许多学者利用遗址出土的人类遗骸或动物骨骼作为研究对象,有效地解释了一系列重要的考古学问题。其中通过分析人骨中的碳氮稳定同位素组成,可揭示先民的食物结构,探索他们的生存方式、经济形态等历史信息^[5,6],所以古代人群的食谱研究是当前科技考古的一项前沿性课题。重建古代食谱的方法主要是上世纪70年代末建立的骨化学中稳定同位素分析方法^[7],该方法历经多年的发展与完善,已成为当今国内外生物考古界分析古代人类食谱的主要方法之一,得到了广泛应用^[8-15]。

本文通过对东黑沟遗址出土人骨中C和N稳定同位素的测试分析,以期探讨先民的食物结构,为揭示和复原该地区古人类的生存方式、社会经济结构等方面提供新的证据和信息,也为深入研究东天山地区古代游牧民族的历史、生活状况提供更为丰富的资料。

1 实验过程及结果

1.1 样品概况

由于埋藏环境的原因,出土时保存较好的人骨个体数量不多,所以本文根据样品保存情况采集了2006和2007年发掘出土的人骨共13例;另外,利用放射性¹⁴C方法对部分墓葬的人骨或动物骨骼进行了年代测试(表1)。

1.2 骨胶原的制备

依据 Ambrose^[16]提出的骨胶原处理方法:机械去除样品内外表面的污染物和疏松部分,粉碎研磨,收集粒度为40~60目的骨粉。然后将骨粉置于0.1mol/L HCl溶液中浸泡,进行脱钙,直至看不见颗粒为止。取出样品,用蒸馏水洗至中性后,在0.125mol/L NaOH溶液中浸泡20小时以去除腐殖酸等。再洗至中性,加入0.001mol/L的HCl溶液,于90℃下在鼓风烘箱中明胶化(过夜),次日趁热过滤,将滤液置于95℃的烘箱中,蒸发浓缩,最后冷冻干燥,收集明胶化的骨胶原。

1.3 样品测试及结果

1) 元素分析:取少许骨胶原,在西北大学化学系分析测试中心的元素分析仪上进行了C、N元素含量的测试。仪器是德国艾乐曼元素分析系统公司生产的Vario EL III型元素分析仪,仪器标准偏差:C、H、N、S<0.1% abs(表1)。

2) 稳定同位素的测试:C和N稳定同位素的测试在中国科学院地球环境研究所进行,有机碳在MAT-251型质谱仪双路进样系统上分析,测定碳同位素是国家标准GBW 04407(炉黑),对于标准样品的重复分析误差<0.2%;有机氮是在Finnigan MAT Delta Plus型质谱仪上用连续流分析的,氮同位素是国际标准IAEA-3,样品重复分析误差<0.3%(表1)。

2 结果讨论

2.1 人骨污染鉴别

鉴别骨骼的受污染程度是进行稳定同位素分析的前提条件。若人骨受到严重污染,

表 1 人骨概况与测试结果
Tab.1 Measurement values of bones

实验编号	墓葬编号	性别	年龄	取样部位	¹⁴ C年代数据 (BP) ^[16]	C含量/%	N含量/%	C/N(摩 尔比)	δ13C‰	δ15N‰
DHG1	06BSDM012-1	男	30-35岁	胫骨	-	40.48	14.87	3.17	-17.74	13.49
DHG2	06BSDM012-2	女	25岁左右	股骨	-	41.03	15.04	3.18	-18.02	12.95
DHG3	07BSDM013-2	男	30岁左右	尺骨	2555±25	40.85	14.97	3.18	-17.83	13.07
DHG4	07BSDF004②	女	60岁左右	肱骨	2195±20	40.00	14.54	3.21	-18.74	12.31
DHG5	07BSDX03	女	35岁左右	桡骨	-	40.61	14.71	3.22	-18.36	13.24
DHG6	06BSDM009	女	老年	股骨	2000±25	40.68	14.58	3.25	-18.78	13.01
DHG7	06BSDM001	女	30-35岁	股骨	-	-	-	-	-	-
DHG8	07BSDM016	女	成年	尺骨	-	-	-	-	-	-
DHG9	06BSDM010	儿童	5岁左右	股骨	2290±25	41.05	15.17	3.16	-18.96	14.33
DHG10	06BSDM011	女	35-55岁	胫骨	2140±25	41.35	15.05	3.20	-18.42	14.30
DHG11	06BSDM003	女	中年	股骨	2115±25	39.72	14.65	3.16	-18.21	13.25
DHG12	06BSDM008R1	男	35-40岁	胫骨	2230±25	37.35	14.24	3.06	-18.64	13.27
DHG13	06BSDM004	男	24-26岁	股骨	2215±25	40.48	14.68	3.22	-18.35	12.64

注: 06BSDM001、07BSDM016 两个样品因污染严重, 未能提取出骨胶原; “-”表示样本因无法满足测试要求而未测; ¹⁴C年代学数据是在北京大学加速器质谱实验室第四纪年代测定实验室完成, 其中 07BSDF004 ②年代数据测试的对象是动物骨骼, 所有结果尚待发表

骨骼的成岩作用^[17,18]使其本身的化学组成发生改变, 骨骼的稳定同位素分析也就无从谈起。由表 1 可见, 编号为 06BSDM001、07BSDM016 的两个样品因污染严重未能提取出骨胶原, 因此, 只有 11 个样品可用于污染程度的鉴别。检验骨胶原是否受到污染的最重要指标, 当属骨胶原中的 C 与 N 含量以及 C/N 摩尔比值。

骨胶原中的 C、N 的含量可作为判断骨胶原保存状况的指标之一。若骨骼发生污染, 其有机成分——骨胶原将产生降解, C、N 的含量也随之降低。通过与现代样品的 C、N 含量比较可以判断样品污染状况。现代骨胶原的 C 含量约为 41%, N 含量约为 15%^[19], C、N 含量过高或过低都说明样品受污染严重, 不能用作食谱分析。从表 1 与表 2 的统计结果中可以看出, 所有样品中 C 的含量分布在 37.35~41.35% 范围内, 均值为 (40.42±1.09)%。样品 N 含量离散度也比较低, 分布在 14.24~15.17% 范围内, 均值为 (14.79±0.28)%。所以, 就 C 和 N 含量而言, 人骨样品并未发生严重降解或污染。

此外, C/N 摩尔比值在 2.9~3.6 之间的骨胶原可认为未受污染^[20]。从表 2 中可以看出所有样品的 C/N 比值分布在 (3.06~3.25) 范围内, 处于 2.9~3.6 之间, 其均值及标准偏差为 (3.18±0.05), 与现代样品的 C/N 比值 (3.20)^[21] 相比极为接近, 亦表明样品未受严重污染。

综上所述, 除了 06BSDM001、07BSDM016 的两个样品外, 其它人骨样品保存较好, 未受严重污染, 可用于食谱分析。

2.2 食谱分析

以往研究表明, 分析人骨中的 C、N 稳定同位素可以获得古代人们在较长生活过程中的饮食情况。这是由于植物光合作用途

表 2 样品未污染指标统计表
Tab.2 Statistics of uncontaminated samples

	样品 数量	最大值	最小值	平均值	标准 偏差
C含量/%	11	41.35	37.35	40.42	1.09
N含量/%	11	15.17	14.24	14.79	0.28
C/N(摩尔比)	11	3.25	3.06	3.18	0.05

径的不同，水稻、小麦等 C₃ 类植物中的 δ¹³C 范围约为 -20‰~-35‰，黍、粟等 C₄ 类植物中的 δ¹³C 范围约为 -8‰~-14‰。这种差异一直保存在食物链中，如果人类以某种植物为食，其骨骼中会有与之对应的 δ¹³C 值。通过测定骨骼胶原中的 δ¹³C 值，这样可以知道人们以 C₃ 植物还是 C₄ 植物为主要食物^[22, 23]。同样，氮元素在转化过程中，不同的动植物体内因固氮方式不同产生不同的 δ¹⁵N 值。仅有一些植物，主要是豆科植物，能利用和固定大气中的氮，这样豆科植物的 δ¹⁵N 值大约等于 0‰。豆科植物和依靠这些植物为食的动物，则具有最低的 δ¹⁵N 值；非豆科植物和所有动物必须吸收转变成化合物形式的氮，所以陆生环境中非豆科植物和以其为食的动物，具有稍高的 δ¹⁵N 值；而对于水生以藻类为食的动物，包括各种鱼类等，其 δ¹⁵N 值较高，其平均值大约为 5.9±2.2‰；海生动物则具有最高的 δ¹⁵N 值，其平均值大约为 14.8±2.5‰。N 在不同营养级之间存在着同位素的富集现象，沿营养级上升时，每上升一格，大约富集了 3~4‰，即食草类动物骨骼胶原中的 δ¹⁵N 比其所吃食物富集 3~4‰，以食草类动物为食的食肉类动物以及各种鱼类，δ¹⁵N 值为 9~12‰ 之间，杂食性动物 δ¹⁵N 值则在 7~9‰ 之间。根据 δ¹⁵N 值，即可判别先民所处营养级，了解其食谱是以肉食为主或素食为生^[24]。

由图 1 和表 1 可见，人骨样品的 δ¹³C 值分布在 -17.74‰~-18.96‰ 范围内，表明巴里坤东黑沟先民的植物性食物以 C₃ 类植物为主；样品的 δ¹⁵N 值均较高，分布在 12.64~14.33‰，平均值为 13.26‰，在缺乏遗址食物链中各营养级 δ¹⁵N 值的状况下，先民的 δ¹⁵N 值是否大于 9‰，常用来判定先民的肉食来源。若 δ¹⁵N 值大于 9‰，说明先民食谱中包括大量的肉食；而 δ¹⁵N 值小于 9‰ 时，则其食谱中当以植物类食物居多，辅以少量肉食^[25]，由此说明肉类食物在东黑沟先民食物结构中占有相当大的比例。其中样品 DHG9 的 δ¹⁵N 值最高（为 14.33‰），这可能由于该儿童年龄较小而饮用较多含高蛋白质乳类的缘故；样品 DHG10 墓主的 δ¹⁵N 值十分接近 DHG9 的儿童，和其它墓葬相比，考古发掘显示 DHG10 墓主所处墓葬等级较高，这可能暗示着墓主具有特殊的饮食习惯。此外，从 ¹⁴C 年代测试结果来看，不同时期东黑沟遗址先民之间的食物结构基本一致；男性和女性之间 δ¹³C 和 δ¹⁵N 值未见明显差异，表明遗址先民的饮食结构没有性别之别。

综上，由人骨中碳氮同位素分析可知，东黑沟遗址居民的食物结构表现为肉类保持有较高比例的摄入，并辅以 C₃ 类植物为主的植物性食物。根据考古发掘，东黑沟遗址出土了大量的马、牛、羊、鹿等动物骨骼，并发现有大麦、小麦的碳化物¹⁾，说明这些动植物应为东黑沟遗址先民提供了比较稳定的肉类和粮食来源。

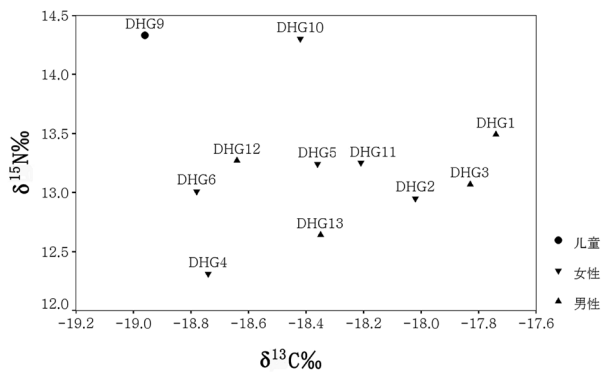


图 1 样品的 δ¹³C 和 δ¹⁵N 的散点图
Fig.1 Scatterplot of δ¹³C and δ¹⁵N in samples

1) 考古发掘及研究资料正在整理中

人们的饮食结构常与当地的环境和经济形态有着密切的关系。东黑沟遗址所处的巴里坤草原位于新疆东部的天山以北地区, 海拔 1500m~2000m, 属大陆性干旱气候区, 雨雪相对较多, 夏季凉爽, 冬季严寒, 光照充足, 无霜期短, 降水偏少。天山北坡有发育良好的山地植被, 以草原地貌为主, 水草丰美, 属森林草原环境, 山前地带有大面积的缓坡冲积扇, 是良好的天然牧场, 适合畜牧业, 是古代游牧民族的理想栖息地, 现在也仍为哈密地区重要的畜牧业基地。该地区气候

也适应小麦、大麦等 C_3 类植物的生长, 新疆哈密地区考古发现有麦类遗存的遗址也较多, 如五堡墓地发现有大麦等农作物^[26]; 东疆天山北麓巴里坤县石人子、奎苏、冉家渠等处的早期遗址、墓葬中, 都曾出土过炭化麦粒和大型磨谷器^[27]。这些考古发现也表明在哈密地区古代先民已广泛种植麦类等粮食作物。发掘已表明, 东黑沟遗址是古代牧民比较稳定的定居地, 所以东黑沟遗址先民的经济形态以游牧为主, 同时辅以一定的农业生产, 还可能伴有狩猎活动。

此外, 也有学者曾对哈密地区其它游牧文化墓地, 如巴里坤黑沟梁墓地^[28]和哈密天山北路墓地^[29]出土的人骨做过研究, 现将东黑沟遗址与这两个墓地出土人骨的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 做一比较分析(见图 2)。由图 2 可见, 东黑沟遗址出土人骨的 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 值稍低于天山北路墓地, 和黑沟梁墓地基本一致。但总体上来看, 三者之间没有显著的差别, 这说明地处东天山哈密地区古代游牧民族先民具有相似的饮食方式。

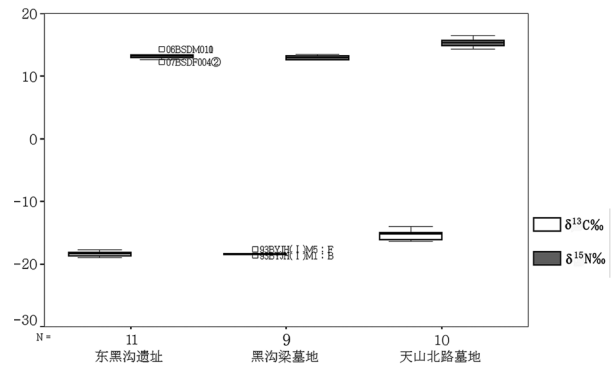


图 2 东黑沟遗址与哈密地区其他不同墓地出土人骨 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 比较的箱式图
Fig.2 Boxplot of $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ in human bones from the Dong Hei-gou site compared with other graveyards excavated from Hami region

3 结论

通过对巴里坤东黑沟遗址出土人骨中 C 和 N 稳定同位素的分析, 得到以下几点认识:

1) 除了 06BSDM001、07BSDM016 两个样品因污染严重, 未能提取出骨胶原外, 其它人骨样品保存状况良好, 可用于食谱分析;

2) 通过分析人骨中的 C、N 稳定同位素可见, 新疆巴里坤东黑沟遗址先民的食物结构是肉类食物在日常饮食生活中占有相当大的比例, 肉类的获取应来源于驯养或部分狩猎所得的动物, 植物性食物主要是大麦、小麦等 C_3 类作物;

3) 男性与女性的食物结构相同;

4) 先民的饮食结构与其生活的环境和以游牧为主、农业和狩猎为辅的经济形态直接相关。

致谢：感谢两位审稿专家及编辑提出的审稿意见！中国科学院研究生院人文学院科技史与科技考古系胡耀武教授给予了本文许多有益的建议和指导，在此特别表示感谢！

参考文献

- [1] 王建新, 席琳. 东天山地区早期游牧文化聚落考古研究 [J]. 考古, 2009 (1): 28-37
- [2] 王建新. 新疆巴里坤东黑沟 (石人子沟) 遗址考古工作的主要收获 [J]. 西北大学学报 (哲学社会科学版), 2008, 38 (5): 86-91
- [3] 西北大学文化遗产与考古学研究中心, 哈密地区文物局, 巴里坤县文管所. 新疆巴里坤东黑沟遗址调查 [J]. 考古与文物, 2006 (5): 16-26
- [4] 新疆文物考古研究所, 西北大学文化遗产与考古学研究中心. 新疆巴里坤县东黑沟遗址 2006~2007 年发掘简报 [J]. 考古, 2009 (1): 3-27
- [5] 张雪莲, 王金霞, 洗自强等. 古人类食物结构研究 [J]. 考古, 2003 (2): 62-75
- [6] 胡耀武, Michael P Richards¹, 刘武等. 骨化学分析在古人类食物结构演化研究中的应用 [J]. 地球科学进展, 2008, 23 (3): 228-235
- [7] Schoeninger M J. Reconstructing prehistoric human diet. In: Price TD ed. *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*[M]. New York: Academic Press. 1989: 211-229
- [8] Anna Kjellström, Jan Stora, Göran Possnert, *et al.* Dietary patterns and social structures in medieval Sigtuna, Sweden, as reflected in stable isotope values in human skeletal remains[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009(36): 2689-2699
- [9] Eirini I Petroutsas, Sotiris K Manolis. Reconstructing Late Bronze Age diet in mainland Greece using stable isotope analysis[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009(10): 1-7
- [10] Anne Keenleyside, Henry Schwarcz, Lea Stirling, *et al.* Stable isotopic evidence for diet in a Roman and Late Roman population from Leptiminus, Tunisia[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2009(36): 51-63
- [11] 郭怡, 胡耀武, 高强等. 姜寨遗址先民食谱分析 [J]. 人类学学报, 2011, 30 (2): 149-157
- [12] 付巧妹, 靳松安, 胡耀武等. 河南浙川沟湾遗址农业发展方式和先民食物结构变化 [J]. 科学通报, 2010, 55 (7): 589-595
- [13] 凌雪, 陈靛, 田亚岐等. 陕西凤翔孙家南头秦墓出土人骨中 C 和 N 同位素分析 [J]. 人类学学报, 2010(1): 54-6.
- [14] 凌雪, 王望生, 陈靛等. 宝鸡建河墓地出土战国时期秦人骨的稳定同位素分析 [J]. 考古与文物, 2010(1): 95-98
- [15] 裴德明, 胡耀武, 杨益民等. 山西乡宁内阳垣遗址先民食物结构分析 [J]. 人类学学报, 2008, 27(4): 379-384
- [16] Ambrose SH. Preparation and characterization bone and tooth collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis [J]. *Archaeo Sci*, 1990, 17(4): 431-451
- [17] Price TD, Blitz, Burton JH. Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions [J]. *Journal of Archaeological Science*, 1992, 19(5): 513-529
- [18] 胡耀武, 王昌燧, 左健等. 古人类骨中羟磷灰石的 XRD 和喇曼光谱分析 [J]. 生物物理学报, 2001, 17 (4): 621-627
- [19] Amrose SH, Butler BM, Hanson DH, *et al.* Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago. *Western Pacific J. American Journal Physical Anthropology*. 1997, 104:343-361
- [20] DeNiro MJ. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction [J]. *Nature*. 1985, 317: 806-809
- [21] Ambrose SH, Butler BM, Hanson DH, *et al.* Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago. *Western Pacific J. American Journal Physical Anthropology*. 1997, 104:343-361
- [22] 李士, 秦广雍著. 现代实验技术在考古学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1991 年
- [23] 王建柱, 林光辉, 黄建辉等. 稳定同位素在陆地生态系统动-植物相互关系研究中的应用 [J]. 科学通报, 2004, 49 (21): 2141-2149
- [24] 胡耀武. 古代人类食谱及其相关研究 [D]. 中国科学技术大学博士论文, 2002 年.
- [25] 胡耀武, 王根富, 崔亚平等. 江苏金坛三星村先民的食谱研究 [J]. 科学通报, 2007, 52 (1): 85-88
- [26] 王炳华, 刘杰龙等. 新疆哈密五堡古墓出土大麦的研究 [J]. 农业考古, 1989 (1): 70-72
- [27] 贺菊莲. 从新疆史前考古初探其古代居民饮食文化 [J]. 中国农史, 2007(3): 3-10
- [28] 张全超, 常喜恩, 刘国瑞. 新疆巴里坤县黑沟梁墓地出土人骨的食性分析 [J]. 西域研究, 2009 (3): 45-49
- [29] 张全超, 常喜恩, 刘国瑞. 新疆哈密天山北路墓地出土人骨的稳定同位素分析 [J]. 西域研究, 2010 (2): 38-43

Carbon and Nitrogen Isotopic Analysis of Human Bones Excavated from the Dongheigou Site, Ba Li-kun County, Xinjiang Autonomous Region

LING Xue^{1,2}, CHEN Xi¹, WANG Jian-xin¹, CHEN Liang¹,
MA Jian¹, REN Meng¹, XI Tong-yuan¹

(1. Key Laboratory of Cultural Heritage Research and Conservation, Northwest University; Ministry of Education and Cyrus Tang Laboratory of Cultural Heritage, Northwest University, Shaanxi Xi'an, 710069;
2. Department of Geology, Northwest University, Shaanxi Xi'an, 710069)

Abstract: In this article, the ratio of C and N stable isotopes in human bones was analyzed to reconstruct diet and determine lifeway, mode of production and economic mode of ancient peoples who lived at the Dongheigou site, Ba Li-kun County, Xinjiang Autonomous Region. Stable isotopic analysis of 11 bone samples gives the following results: $-17.74\sim-18.96\%$ for $\delta^{13}\text{C}$ and $12.64\sim14.33\%$ for $\delta^{15}\text{N}$. This data shows that the diet of these people included a large percent of meat and some C_3 plants, which suggests an economic mode dominated by nomadism and supplemented by cultivating agriculture and hunting. Based on excavated animal and plant remains the food obtained from the pasture animals such as cattle and sheep or deer, and C_3 plants such as barley and wheat. There was no difference in diet between males and females.

Keywords: Nomadism; Dongheigou; Stable isotopes; Diet