

# 内蒙古林西县井沟子西区墓地人骨的 稳定同位素分析

张全超<sup>1</sup> Jacqueline T. ENG<sup>2</sup> 王立新<sup>1</sup> 塔拉<sup>3</sup>

(1 吉林大学边疆考古研究中心 吉林 长春 130012; 2 麻省州立大学 美国 马萨诸塞 100071; 3 内蒙古自治区文物考古研究所 内蒙古 呼和浩特 010011)

**摘要:** 稳定同位素分析技术近年来的发展为复原古代民族饮食结构、社会经济模式提供了一种有效的手段。本文应用该技术对内蒙古林西县井沟子遗址西区墓地出土人骨中的C、N同位素比值进行了测定。结果显示,井沟子古代居民日常饮食习惯中保持着较高比例的动物性食物摄入,植物类食物的摄入中以C<sub>4</sub>类植物为主。本文的研究结果可以为复原古代民族的经济模式提供有益的线索。

**关键词:** 井沟子西区墓地; 人骨; 稳定同位素分析; 饮食结构

**中图分类号:** Q981 **文献标识码:** A

井沟子遗址位于内蒙古林西县双井店乡敖包吐村井沟子自然村北,西北距林西县政府所在地林西镇约 40 公里,南距西拉木伦河 8 公里。遗址坐落于一条西北高、东南低的向阳坡岗上,背依高山,俯临河川。2002—2003 年,吉林大学边疆考古研究中心与内蒙古文物考古研究所联合对该遗址西区墓地进行了两个季度的抢救性考古发掘,共清理墓葬 58 座,灰坑 9 座,从出土遗物看,以这 58 座墓葬为代表的遗存文化面貌十分独特,年代大致在春秋晚期至战国前期。其反映的文化内涵与夏家店上层文化相比,已有本质的区别,与主要分布于老哈河流域,年代与之大体相当的水泉文化相比,亦有很大差异。它很可能代表了继夏家店上层文化之后以西拉木伦河流域为分布重心的一种新的青铜文化类型,可称为井沟子类型<sup>[1]</sup>。该墓地的发掘对于综合考察内蒙古东南部地区的早期游牧文化及其形成机制,继续探寻东胡族的相关考古学遗存都具有非常重要的意义。

近几十年来,古代人群的食谱研究已经成为科技考古学的一个重要组成部分,也是当前国际科技考古学研究领域的一项前沿性课题。重建古代食谱的有效方法通常是利用人类骨骼的化学元素分析(包括稳定同位素分析和微量元素分析)。其中利用古代居民骨骼和牙齿进行稳定同位素分析的方法已经成为这项研究的一个十分有效的途径,对全面科学地复原与重建古代社会具有重要的启示作用。本文通过对井沟子遗址西区墓地出土人骨中 C、N 同位素比值的测定,初步探讨了该墓地古代居民的饮食结构,为进一步分析井沟子类型的经济形态与居民的生产 and 生活方式提供了重要的科学依据。

## 一、实验仪器及过程

### 1 仪器

同位素比值测定仪器: Thermo Finnigan 公司的 DELTA plus 型同位素比值质谱仪(isotope-ratio mass spectrometers, IRMS), 同位素制备系统: Thermo Electron SPA 公司的 FLASH EA 1112 型元素分析仪。

### 2 试剂

硝酸、盐酸均为优级纯。实验过程中所使用的玻璃仪器均经 10%硝酸浸泡 24h 后，用蒸馏水冲洗，干燥备用。实验用水均为二次去离子水。

### 3 标准物质

利用国际原子能机构的稳定同位素NBS-22 ( $^{13}\text{C}$ 同位素标准物质,  $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-29.7$ )、和IAEA-N-1 (N同位素标准物质,  $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $+0.4$ ) 标准物质标定 $\text{CO}_2$ 和 $\text{N}_2$ 钢瓶气, 以标定的钢瓶气作为标准气体, 测定骨胶原C、N同位素 $\delta$ 值。

### 4 骨胶原的制备

选取股骨骨干中段锯取约  $3\text{cm}^3$  作样品, 先用无菌刀片和毛刷去除骨样表面污垢, 清洗骨样, 在研钵中磨碎, 过筛, 收集介于  $0.25\text{—}0.5\text{ mm}$  之间的粉末骨样。在天平上称取一定质量的粉末骨样, 倒入事先放有玻璃丝的杀青漏斗中, 使骨样较为均匀地分布于玻璃丝上。加入  $0.2\text{M HCl}$  进行脱钙, 大约 3 天左右, 每隔一天换一次溶液, 直到漏斗中看不到颗粒为止。换用蒸馏水洗至中性。再加入  $0.125\text{M NaOH}$ , 室温放置 20 小时, 期间搅拌以除去骨样中掺杂的腐殖酸等。用蒸馏水洗至中性后, 在  $0.001\text{M HCl}(\text{PH}=3)$   $95^\circ\text{C}$  浸泡 10 小时, 趁热过滤, 烘至近干后冷冻干燥, 收集明胶化的骨胶原。

### 5 样品的测试

利用锡箔杯将骨胶原包好, 放在自动进样器内, 通过自动进样器将样品送到元素分析仪氧化炉燃烧 ( $1020^\circ\text{C}$ ), 所释放出的 $\text{NO}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 通过还原炉还原 ( $650^\circ\text{C}$ ), 经色谱柱分离、纯化后进入DELTA plus型同位素比值质谱仪(isotope-ratio mass spectrometers, IRMS)测定C和N的稳定同位素比值。C和N均以标定的钢瓶气为标准, 用IAEA - N - 1标定氮钢瓶气(以空气为基准), 用USGS 24 标定碳钢瓶气(以PDB为基准), 同时与相关单位进行横向校正。C同位素的分析精度为 $0.11\text{‰}$ , N同位素的分析精度为 $0.12\text{‰}$ 。C和N稳定同位素比值的计算公式为:

$$\delta^{13}\text{C} = \left\{ \frac{\left[ \left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}} \right)_{\text{sample}} - \left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}} \right]}{\left( \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}}} \right\} \times 1000\text{‰}$$

$$\delta^{15}\text{N} = \left\{ \frac{\left[ \left( \frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}} \right)_{\text{sample}} - \left( \frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}} \right)_{\text{standard}} \right]}{\left( \frac{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}}{^{15}\text{N}/^{14}\text{N}} \right)_{\text{standard}}} \right\} \times 1000\text{‰}$$

### 6 数据的统计分析

统计分析采用美国社会统计软件 SPSS11.5。

## 二、结果与分析

### 1 骨样的污染检验

判断骨样中稳定同位素是否受到污染, 是使用其比值推断古代居民饮食结构的前提条件。当骨样发生污染, 其有机成分——骨胶原将在各种因素的影响下发生降解, 而 C 和 N 的含量也相应随之降低。因此, 骨胶原中 C 和 N 的含量, 成为检验骨胶原保存状况的一个重要的指标。一般认为, 现代骨骼中骨胶原的 C 含量约为 41%, N 含量为 15%, C/N 比值为 3.20<sup>[2]</sup>。由表一可知, 该组样品的骨胶原中, C 的含量为 41.38%—43.95%, 平均值为 42.85%。N 的含量为 15.19%—16.29%, 平均值为 15.76%, C 和 N 的含量均接近现代骨

骼中骨胶原的含量,保持了较高的水平,并没有因为在长期的埋藏过程中而全部分解,非常有利于进行稳定同位素的测试。此外,骨胶原的 C/N 摩尔比值是判断骨样受污染程度的另一项重要指标,DeNiro 等认为,如果 C/N 比值在 2.9—3.6 之间,说明该样品保存较好,测定  $^{13}\text{C}$  和  $^{15}\text{N}$  的结果也比较可靠<sup>[3]</sup>。如果 C/N 比值高于 3.6,说明骨样中可能受到腐殖酸的污染,如果 C/N 比值低于 2.9,说明骨胶原中很可能掺杂了一定量的无机物质<sup>[4]</sup>。表一的结果显示,该组样品的 C/N 比值均处在 2.9—3.6 之间,较为理想地落在了未污染样品的范围之内,且 C/N 比值的平均值为 3.17,与现代骨骼骨胶原中 C/N 比值 3.20 相比,十分接近,从而保证了稳定同位素最终测定结果的可靠性。

表一 样品的分析测试值

墓葬编号	N%	C%	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	C/N	C <sub>3</sub> (%)	C <sub>4</sub> (%)
02LJM23	16.29	43.95	9.76	-12.89	3.15	45	55
02LJM29	15.19	41.38	9.99	-10.81	3.18	29	71
03LJM58:A	15.67	42.62	10.19	-12.91	3.17	45	55
02LJM3:A	15.79	43.08	9.41	-12.75	3.18	44	56
02LJM30:A	15.44	42.27	9.38	-12.12	3.19	39	61
02LJM18	15.58	42.41	8.97	-11.67	3.18	36	64
02LJM33:A	16.19	43.70	10.53	-12.38	3.15	41	59
02LJM27	15.44	42.44	8.72	-12.98	3.21	46	54
03LJM50:A	15.84	42.98	10.63	-12.45	3.17	42	58
02LJM11	16.12	43.68	9.92	-12.80	3.16	45	55

按照蔡莲珍和仇士华先生提供的计算公式<sup>[5]</sup>

## 2 结果与分析

由表一可知,井沟子组测试的所有样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值在  $-10.81\text{‰}$ ~ $-12.98\text{‰}$  的范围内,平均值  $-12.38\text{‰}$ ,居于 C<sub>4</sub> 类植物的范围之内,反映了该墓地古代居民的植物性蛋白中以 C<sub>4</sub> 类植物所占比重较大,占 54%—71%,而 C<sub>3</sub> 类食物所占比例约为 29%~46%。古代居民对植物性食物的获取,始终依赖于周边的环境,而 C<sub>4</sub> 类植物通常生长于高温干燥的地区。因此,井沟子居民骨胶原中的  $\delta^{13}\text{C}$  值,充分反映了当时周边环境中可能生长有大量的 C<sub>4</sub> 类植物,同时也暗示了当时的气候应为高温干燥类型,这一推论也被环境考古的研究结果所证实<sup>[6]</sup>。

N 在不同营养级之间存在着同位素的富集现象,按营养级的上升,每上升一级,大约富集 3~4‰,即食草类动物骨胶原中的  $\delta^{15}\text{N}$  比其所吃食物富集 3~4‰,以食草类动物为食的食肉类动物又比食草类动物富集 3~4‰<sup>[7]</sup>。其中,食草类动物的  $\delta^{15}\text{N}$  值大约为 3~7‰,杂食类动物的  $\delta^{15}\text{N}$  为 7‰~9‰,一级食肉类动物以及各种鱼类则大于 9‰<sup>[8]</sup>。因此,根据  $\delta^{15}\text{N}$  值,我们大体可以推断先民所处的营养级状态,井沟子古代居民骨骼中的  $\delta^{15}\text{N}$  值为 8.72‰~10.63‰,平均值为 9.75‰,表明该组居民食物中应该包含了大量的肉食或鱼类。

### 三、结论与讨论

通过对井沟子遗址西区墓地古代居民骨骼中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的比值测定,我们对该墓地居民的饮食结构有了一个初步了解,得出了以下几点认识:

1 井沟子古代居民骨骼中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值偏高,表明该组居民在日常饮食习惯中保持着较高比例的动物性食物摄入,暗示出饲养业和狩猎业在当时的经济生活中占据重要的位置。井沟子西区墓地用牲的现象十分普遍,在发掘清理的58座墓葬中,有50座出土有数量不等的动物遗存,占墓葬总数的86.21%。所用牲畜主要是适于放养的马、牛、羊、驴、骡,其中以马的数量为最多。墓内未见随葬农业生产工具,反映出畜牧业在当时的经济生活中占有主导性的地位。此外,墓内还出土有少量的野生哺乳类动物骨骼,有鹿、獐、和狐狸,同时还有水生的背角无齿蚌和淡水螺<sup>[9]</sup>。在随葬的人工制品中,角器所占的比例相当高,几乎所有的骨镞以及马镡、角锥等都是以马鹿的角为原料制作而成的。这些遗物充分表明渔猎活动很可能是当时居民经济生活的一项重要补充手段。总之,井沟子墓地所体现的这种以畜牧业为主,以渔猎经济为辅的经济形态,为井沟子居民提供了充足的肉食来源。

2 井沟子墓地古代居民植物性食物中以 $\text{C}_4$ 类植物的摄入为主,而 $\text{C}_4$ 类植物通常生长于高温干燥的地区,这类植物通常包括部分灌木、牧草、小米、玉米等等。井沟子墓地所在的林西县地处大兴安岭南延弧形隆起地带的北端,群山起伏,沟谷相间,海拔多在750—1300米之间。年平均气温为4.2℃,年降水量385毫米,无霜期100—125天,属中温带半湿润半干旱型气候。地势较高的山麓多生灌丛,间有稀疏的桦、杨、栎、榆,近河的坡岗台地则多生针茅与羊草,总体表现为山地疏林草原景观<sup>[10]</sup>。这里冬季漫长且寒冷,夏季短暂而温热,昼夜温差较大。雨热同季,降水集中且年际变化大,秋雨多于春雨,春温高于秋温,气温年较差较大,日差更大。积温有效性高,无霜期短,四季较为分明。现代林西县的种植业仍以小米、玉米、小麦为主要作物<sup>[11]</sup>,这也与稳定同位素的分析结果十分吻合。总之,除了日常较高比例的肉食摄入外,井沟子古代居民也充分利用了周围环境中的 $\text{C}_4$ 类植物,使其成为食物结构中植物性蛋白的主要补充,充分体现了人类对环境资源的依赖。随着田野发掘规范日益完善<sup>[12]</sup>,我们应该充分利用现代科学技术手段更多的提取发掘中的信息,力争全面复原古代社会。

附记:本文的研究得到了教育部人文社会科学重点研究基地重大项目基金(课题号 05JJD780102);吉林大学哲学社会科学项目—博士科研启动基金项目(2006BS33);国家基础科学人才培养基金项目(课题号 J0030094);国家社科基金项目(项目编号 06BKG001);新世纪优秀人才支持计划(NCET—05—0314)以及中国博士后科学基金资助项目(资助号 20060390520)的资助,文章的写作过程中吉林大学化学学院的金海燕先生提出了宝贵的意见,在此一并致以衷心的感谢。

#### 参考文献

[1] 吉林大学边疆考古研究中心,内蒙古文物考古研究所. 2002年内蒙古林西县井沟子遗址西区墓葬发掘纪要[J]. 考古与文物, 2004, 1: 6—19. 王立新. 内蒙古东南部地区早期游牧文化初探. 亚洲的本土文化及其互动. 光州: 韩国全南大学校, 2007年.

[2] Ambrose S.H., Butler B. M., Hanson D. H., et. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, western pacific. American Journal of Physical Anthropology[J]. 1997, 104: 343—361.

[3] DeNiro M.J. Post-mortem preservation of alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. Nature[J]. 1985, 317:806—809.

- [4] Van Klinken, G.J., Bone Collagen Quality Indicators for Palaeodietary and Radiocarbon Measurements. *Journal of Archaeological Science*[J]. 1999, 26: 687—695.
- [5] 蔡莲珍, 仇士华. 碳十三测定和古代食谱分析[J]. *考古*, 1984, 4: 949—955.
- [6] 塔拉, 王立新, 汤卓炜, 张淑芹. 井沟子遗址所反映的经济形态与环境背景[J]. *内蒙古文物考古*, 2004, 1: 85—88.
- [7] 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. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*[J]. 1994, 107: 215-225.
- [8] Ambrose S H, Katzenberg M A. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*[M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 2000.
- [9] 陈全家. 内蒙古林西县井沟子遗址西区墓葬出土的动物遗存研究[J]. *内蒙古文物考古*, 2007, 2: 107—121.
- [10] 内蒙古自治区测绘局综合队. *内蒙古自治区地图册*[M]. 呼和浩特: 内蒙古自治区测绘局出版, 1989.
- [11] 内蒙古农业地理编辑委员会编. *内蒙古农业地理*[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1982年.
- [12] 冯恩学, 张全超, 林雪川. *田野考古学(第三版)* [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008年.

## **Paleodiet studies using stable carbon isotopes from human bone: example from Jinggouzi cemetery, Inner Mongolia**

Zhang Quanchao, Jacqueline T. ENG, Wang Lixin, Ta la

**Abstract:** In this article, ten ancient human bones unearthed from the Spring and Autumn- Warring states period cemetery at the Jinggouzi site in Linxi county, Inner Mongolia were studied. we examine Jinggouzi human paleodiet using stable isotope ratios of carbon and nitrogen in bone collagen. Nitrogen isotope ratios of bone collagen show that Jinggouzi ancient inhabitants in primarily ate animal products with only a small amount of plant products, Carbon isotope ratios of bone collagen show that most plant products come from C<sub>4</sub> plant.

**Key words:** Jinggouzi cemetery ; Bone; Stable carbon and Nitrogen isotopes ; Paleodiet

**收稿日期:** 2008-05-25

**基金项目:** 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目基金(课题号 05JJD780102); 吉林大学哲学社会科学基金项目—博士科研启动基金项目(2006BS33); 国家基础科学人才培养基金项目(课题号 J0030094); 国家社科基金项目(项目编号 06BKG001); 新世纪优秀人才支持计划(NCET—05—0314)以及中国博士后科学基金资助项目(资助号 20060390520)

**作者简介:** 张全超, 吉林大学边疆考古研究中心讲师