

综 述

应用古人骨的元素、同位素 分析研究其食物结构

张雪莲

(中国社会科学院考古研究所,北京 100710)

摘要: 本文从原理和方法上对目前由人骨元素、同位素分析研究古人类食物结构的三个主要方面,即骨胶原碳十三、氮十五的分析,微量元素锶、钡分析以及同位素锶、铅的分析逐一做了介绍。在此基础上结合自己的工作将国内该研究领域中的有关的研究现状和主要研究成果,特别是获得的新进展做了回顾和总结。

关键词: 古人类食物结构; 碳十三; 氮十五; 微量元素锶、钡; 同位素锶

中图分类号: Q983.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3193 (2003) 01-0075-10

古人类食物结构研究目前正受到越来越多的关注。人类吃什么东西,一方面反映的是文化因素,另一方面则与当地的地理环境,气候条件、植被状况等自然因素有关,同时也反映了当时的社会经济状况、生产力发展水平等。因而古人类食物结构研究已成为人类学、考古学研究必不可少的内容,它对于重建古环境、再现人类的历史无疑都是非常重要的。

古人类食物结构分析所涉及的研究对象主要可以分为两个方面:被研究的主体——人类本身,一般是人类骨骼,包括牙齿遗存,和所食用的对象,一般是人类遗迹中发现的植物、动物的遗存以及与之相关的出土器物比如生活用具如炊器、饮食器等,生产工具如农耕器具、采集、狩猎器具等,其它器物如用于祭祀的器物等等。根据所研究的对象相应有不同的方法,如应用孢粉分析,动物骨骼鉴定等方法对植物、动物遗存分析研究,鉴别其类别、种属,以推断其植物、动物的食用情况;应用痕量分析方法对炊器、饮食器等器物中发现的残留物进行分析研究,由其成分推断其食物构成;对生产工具的用途进行分析,比如通过对早期石质打制工具上砍砸、切割等痕迹的研究,以获取所加工或收获物的有关信息判断所食食物;对出土其它相关器物的研究,探讨其饮食状况等等。对于人骨的研究是通过对人骨中所含有的组分、元素等进行分析,以得到与之相关的食物种类信息。本文将要介绍的即为后一种研究:通过应用科技手段结合考古发掘研究对出土人骨进行元素、同位素分析。研究结果表明,作为古人类食物结构研究的一种分析手段,该研究正在显示出越来越重要的作用。

人骨元素分析主要包括这样几个内容:骨胶原碳十三,氮十五的分析;同位素锶、铅的分析;微量元素锶、钡等与钙的分析。

收稿日期: 2002-09-02; 定稿日期: 2002-10-23

作者简介: 张雪莲(1957-),女,中国社会科学院考古研究所博士,从事科技考古、碳十四年代学研究。

1 骨胶原碳十三、氮十五的分析

骨胶原中可分析的稳定同位素比较多,但较常用的且比较成熟的是碳十三(^{13}C)、氮十五(^{15}N)这两种。

^{13}C 和 ^{15}N 分别是 C 和 N 的稳定同位素,它们在生物体中的含量通常分别用其与一种标准物质的比较值来表示。 ^{13}C 的比较标准一般选择产地为美国卡罗来(Caroline)南部白垩纪底地层中的箭石(Cretaceous Belemnite, Belemnite Americana),称为 PDB 标准(Peedee Belemnite Chicago Limestone Standard)。而 ^{15}N 的比较标准一般为大气。其符号与表达式分别为:

$$^{13}\text{C} = \{[(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) \text{ sample} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) \text{ standard}] / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) \text{ standard}\} \times 1000 \%$$

$$^{15}\text{N} = \{[(^{15}\text{N}/^{14}\text{N}) \text{ sample} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N}) \text{ standard}] / (^{15}\text{N}/^{14}\text{N}) \text{ standard}\} \times 1000 \%$$

生物体中 ^{13}C 和 ^{15}N 的变化在于同位素的分馏效应。所谓同位素分馏效应是指化学性质相同而原子质量不同的同位素在参与各种化学或生理变化过程中,由于活泼程度不同使反应前后的同位素组成发生变化。

这两种同位素研究中最先出现的是有关 ^{13}C 的分析。早在 60 年代,跟着光合作用途径研究的结果, ^{13}C 分析的研究也在逐步展开。

科学研究发现,植物在最初生成时,由于其光合作用的途径不同,而导致了最初产物的不同。而不同的最初产物的植物又具有彼此不同的 ^{13}C 值。

到目前为止,所发现的光合作用的途径主要有这样三种。一是卡尔文途径,卡尔文途径是 60 年代初由卡尔文(Calvin)发现的。通过放射性碳示踪,纸上色层分析和放射自显影等技术进行研究,他发现这是一种大多数植物所共有的光合作用的途径。它的最初产物是 3-磷酸甘油酸(3-PGA),这是一种三个碳的化合物,一般称为 C_3 化合物。由此,最初生成 C_3 化合物的一类植物称为 C_3 植物。二是哈-斯途径。哈-斯途径是 60 年代后期由哈奇(Hatch)和斯莱克(Slack)发现的。这种途径的最初产物是苹果酸(Malic acid)和天冬氨酸(Aspartic acid)等四个碳的化合物。所以最初生成这种产物的一类植物称为 C_4 植物。此后又有人发现了少数多汁植物所遵循的称为 CAM 的光合作用途径。

在此基础上,研究人员通过深入研究逐步获得了不同光合作用途径的植物与其各自的 ^{13}C 值的关系的规律。如 70 年代,本德、史密斯、特劳顿等人先后测定了自然界数百种不同科、属、种的植物,以研究和证实这一规律。他们将测定结果进行归纳、比较,并分析了细节上差异的原因,给后来人提供了直接的对比标准。通过研究发现, C_3 类植物,与我们日常生活关系密切的有稻米、小麦等,其 ^{13}C 值范围为 - 23 — 30 ‰,平均值为 - 26 ‰。 C_4 类植物,如玉米、小米、高粱等, ^{13}C 值范围为 - 8 — 14 ‰,平均值为 - 11 ‰。CAM 类,有菠萝、甜菜等, ^{13}C 值范围为 - 12 — 23 ‰,平均值为 - 17 ‰。

植物在由光合作用生成后,经过食物链进入动物体内。人类在一定的环境中生活时,如果长期食用某类植物,其体内就会富集相应数值的 ^{13}C 。即食某类植物,相应人体有其对应的 ^{13}C 值。但人体组织与所食植物的 ^{13}C 值有差别,这是由于在消化、吸收过程中,人体组织对于植物的分馏效应所至。实验表明,人体组织中各个部分的分馏效应不同,所以各自的 ^{13}C 值也不相同。人体肉质部分对于所食植物的分馏效应约为 + 1 ‰^[1],骨胶原约为

+5‰^[2],而皮肤可能会富集得更多些^[3]。

¹⁵N分析用于考古学研究是在70年代。而其基础研究自然会更早些。

人体中吸收的氮,主要有两个来源。一是通过固定大气中的氮吸收,另一种是直接吸收已转化了的氮的化合物。固氮吸收是通过食用豆科类植物。这类植物由其本身根瘤菌的固氮作用将大气中的氮截留下来,并将其转化为氨和氮的其它化合物进行吸收。直接吸收已转化了的氮的化合物是通过非豆科类植物、陆相动物、海洋生物等食物的食用。这类植物或动物能够吸收周围环境中已转化了的氮的化合物,使其体内富含氮。

关于氮同位素与食物种类的关系,目前还没有发现类似碳同位素那样带有根本性的规律。但经过科学研究人员多年的探索,也获得了一些可参照的结果。

根据氮的来源不同,植物可分为豆科类和非豆科类。豆科类植物均为C₃类植物,由于这类植物是通过固氮作用吸收大气中的氮,而大气中的¹⁵N值较低,所以豆科类植物的¹⁵N值相应也较低,约为0—1%左右。非豆科类植物是通过吸收土壤中的硝酸根、铵来获得氮,而这类含氮物质的¹⁵N值稍高一些,所以非豆科类植物的¹⁵N值比之豆科类的也高一些,其值为+3%左右。

同样,海洋植物也可分成两类,海洋豆类,海洋非豆类。海洋豆类其实不能算作植物,它是一种蓝绿藻,由于同样是吸收大气中的氮,所以其¹⁵N为0—1%左右。海洋非豆类,吸收的是海洋中溶解的硝酸根和铵,其¹⁵N为7%左右。

海洋动物的¹⁵N值约为15%左右,陆相食草动物的¹⁵N值约为6%左右。陆相食肉动物与食草动物之间的差值约为3%^[4]。每一营养级之间¹⁵N的差别约为3‰。

人体骨胶原对于所食食物分馏效应的¹⁵N值差别约为3‰。

尽管¹⁵N的变化不象¹³C那样有规律,但我们还是能看出一个大概的情况。海相动植物的¹⁵N值一般要高于陆相的,这是因为海洋环境中含氮化合物的含量大大优于陆相环境。海相或陆相本身的动植物之间,其¹⁵N值一般与食物链长度有关,与营养级有关。食肉类的要高于食草类的。植物中非豆类的¹⁵N值高于豆类的。

为了使¹³C、¹⁵N研究能有一个更加直观的描述,这里提供了一幅由日本学者以¹³C为横坐标、以¹⁵N为纵坐标绘制的有关日本的背景资料的¹³C、¹⁵N分析结果图(图1)^[5],以供参照。当然,由于各地区的环境不同,反映在图中的范围相应是有些差别的。

上述关于¹³C、¹⁵N的研究结果为古人类食物结构分析提供了依据。

如丹麦的Henrik Tauber通过对取自公元前5200年到公元1750年丹麦西兰岛、格陵兰岛等地史前人骨和历史时期人骨的¹³C分析和研究,得出中石器时期的丹麦人以海产品为主食,而新石器时期的人类则主要以陆相食物为主^[6]。南非的Nikolaas J. Vander Merwe等人应用该方法通过对委内瑞拉Parmana地区考古发掘得到的公元前800年到公元400年之间人骨样品以及当地农作物的分析研究,提供了发生在史前时期的人们由以C₃类植物为主食向以C₄类(包括玉米)植物为主食的转变证据^[7]。

70年代末,当¹⁵N分析方法也逐步建立起来后,人们希望将两种方法相互结合起来,使古人类食物状况的面貌得到更全面的反映。如法国学者Marc Fizet等人通过对法国Charente地区Marillac遗址出土距今40000—45000年前人骨及兽骨中C、N同位素的分析,证明了那里的尼安德特人是以肉类为主食的^[8]。

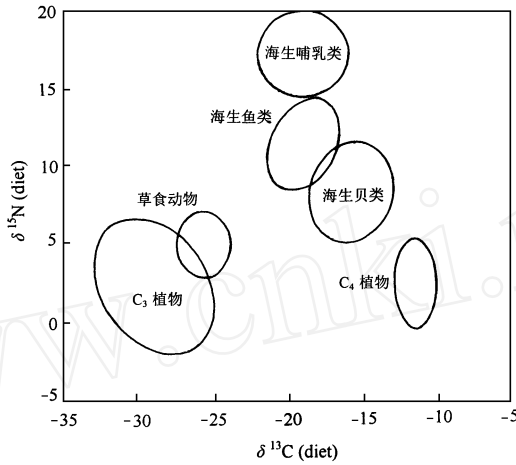


图 1 由日本学者研究得到的背景资料图

Background datum figure made by Japan scholars

2 微量元素锶、钡与钙的分析

人骨微量元素的种类较多,曾有一个时期似乎每一种微量元素都有望用来作为人类食物结构的反映指标。但相对来说到目前为止得到人们较多关注的是微量元素锶(Sr)和钡(Ba)。

锶和钡这两种元素均为第二主族的碱土金属元素,化学性质上有些共性。对它们的研究最早可以追溯到上个世纪 40 年代,那是由二战时人们受到放射性的伤害而触发的各种相关研究^[9]。后来随着研究的深入,人们逐渐将其应用于考古学的研究中。如 Toots^[10] 等人在 60 年代就应用该方法对石化了的骨头中的锶进行了检验,并以此为依据提出进行食物链的重建。70 年代 Brown 以出土人类骨骼中微量元素锶的含量为指标对于人类骨骼做了群体的区分^[9]。

锶、钡主要存在于人体骨骼无机物羟磷灰石中。经过几十年的研究人们发现,可以作为人类食物指标的依据是,当食物被吸收时,食物中的钙得到吸收,而对锶的吸收就差得多,钡的吸收明显的就更差,这可能是与从钙到锶再到钡,其离子半径逐渐变大有关,从而导致了在人体消化道上的吸收作用逐渐降低。这样当沿着食物链营养级的升高,Sr/Ca 以及 Ba/Ca 的值就会越来越小。在生物体内消化吸收过程中锶和钡的这种吸收逐渐降低的特征称为钙的纯化,是由于在消化道中钙首先被吸收,因而影响了锶和钡的吸收。这种生物特征已经得到证明。如 Comar 和 Bronner 等人^[11] 以及后来的 Schroeder, Tipton, Nason 等^[12] 在陆相哺乳动物的消化道中验证了这种微量元素钡吸收的差别。Elias, Hirao, Patterson^[13] 等在 High Sierras 的亚高山带生态系统中的天然食物网中验证了锶和钡的这种被纯化作用。有人总结出,钙、锶和钡被吸收的比例为 10:5:1^[14]。随营养级的升高,Sr/Ca 减小,而 Ba/Ca 就会减低得更小^[13]。

随着研究的深入,研究者希望能够在掌握更多信息的基础上,使这一方法进一步得到完善,并提高其分辨率。

海相和陆相环境微量元素的含量差别一般来说比较大,对相应两个地区的人群来说也应在人骨微量元素含量上形成差别,所以,通过微量元素的研究方法,可能会有助于两个地区人群的区分。关于这方面的研究已经引起了学者们的兴趣,并获得了进展。如 Burton 和 Price^[15]对大约 171 个来自 14 个遗址的人骨样品进行了分析检验,除了两个沙漠遗址有例外,其它的结果都很好的说明应用钡与锶的比值进行判断是可行的。

研究发现,海洋中钡与锶比较相对来说是被贫化的。例如岩石火成岩的 Ba/Sr 比值是 1.6,而海水中该比值仅为 0.0038^[16]。因为海水中硫酸盐的含量较高,钡与硫酸根结合生成硫酸钡,作为固体沉降下来,最终使海水中的钡的含量减低,海洋和陆相所形成的微量元素含量的这种差别,成为两个地区人群区分的基础。

另一方面是关于具体的背景资料的研究,这方面的进展也比较明显。

从其研究结果来看,叶类植物中 Sr/Ca 的比例,同一种植物在不同的环境中,其值是有差别的,如在泥土和在营养液中的值不相同。叶类植物的不同部分,其值也不相同。一般根茎部分的 Sr/Ca 值比之植物的新芽、嫩叶等部分的值高许多,而后者即新芽、嫩叶类则与其生长介质中的值相近。Smith^[17]等人对一些谷类植物(如大麦、小麦等)的 Sr/Ca 值作了研究,发现不同的植物在同一环境中其比值是有差别的,也即不同的植物对于环境中微量元素的摄入量不同。而同一植物的不同部分的 Sr/Ca 比值情况也有类似叶类植物所具有的特征。如 Bartlett & Gunn^[18]检测到谷类植物的麸糠和胚胎的 Sr/Ca 值是其胚乳的比值的 2 倍。由此,他们认为面粉中的 Sr/Ca 的比值应与加工提取的比例有些关系。因而人骨中 Sr 的水平在某种程度上可以反映出人群的等级身份,因为等级低的人群食用的谷类产品中所含的麸糠可能会多一些。

Cheryl Gilbert^[19]等则把这种研究从单纯的植物类扩大到食草类动物以及食肉类动物,甚至沿海地区的动物等等,他们考察了位于西南好望角的天然食物网,对于从下至球茎类植物,到食草类动物、食肉类动物;从海洋植物,到鱼、贝类,到海豹、海鸟等的 109 种可食用的植物和动物做了微量元素的分析。从中探讨了海洋植物与陆相植物间的差别、海洋动物与陆相动物的差别;由陆相植物到食草类动物,再到食肉类动物间的变化;由海洋植物到低级动物,再到高级动物的变化。这不仅是对背景资料研究的扩大和深化,无疑对于微量元素沿整个食物链的变化状况的探讨和规律性的研究也是一个很好的补充与验证。

另外,陆相环境中的锶的含量之所以不同,Toots 等^[10]认为这可能与该地区地下地质层的不同有关。而埋藏过的人骨还可能与埋藏环境中土壤微量元素的组成有关^[20]。

由上可以看出,微量元素分析在特征区域的区分上是一有力的武器,它能给出比较确凿的证据。但在区域特征不是特别明显的地方,还应同其它方法进行参照。

还有,植物的种类不同、环境不同都会使其比值不同,这给背景资料的把握带来了难度,所以应用微量元素方法作为研究工具进行研究时还应对具体环境做具体分析。

3 同位素锶、铅的分析

锶和铅同位素的分析原理是相同的。但由于铅同位素的指纹特征不如锶同位素明显,在古人类食物结构研究中应用较少,所以这里仅对后者做一介绍。

自然界中锶同位素共有四种。⁸⁸Sr, ⁸⁷Sr, ⁸⁶Sr, ⁸⁴Sr。其中 ⁸⁷Sr 是由 ⁸⁷Rb 衰变而来,即

$^{87}\text{Rb} \longrightarrow ^{87}\text{Sr} + \text{e}^- + \text{Q}$ 。它们主要分布于矿物、岩石中。一般表征指标为 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 。由于不同的地质构成特征形成了不同的锶的分布区域,这成为人们来追溯其来源产地的依据。因为无论是在与人类日常生活密切相关的饮用水的地下水源中,还是与周围环境协调一致的食物链中,这种区域性的指纹特征很难发生改变。所以,长时期生活在一个地区的人们,其体内的锶同位素比值就具备其相应的一致性。对于古人类来说,一般在人类遗存易于保存的牙齿、骨骼中这种指标都可以找到。但当人类从一个地方迁移到另一个地方后,随着地质条件的不同使这种指标发生改变,人体内的锶同位素比值相应也要发生变化。近年来的研究发现,人体头发、皮肤、骨骼等不同组织中锶同位素指标由于迁徙所带来的变化速率有着很大的差异,也就是说显示当地地质特征的锶同位素指标被置换的时间周期有明显不同,从几年到十几年,甚至几十年。但人类的牙齿,却有着保持几乎一成不变的本质特征,且很少受到污染。人的牙齿是在青少年时期长成的,所以选择牙齿做人类青少年期生存(居住)地的研究是获得可靠信息的必备材料。同时,由于不同的人体组织具有不同的锶同位素置换周期,由此也可通过这些组织的同位素指标的比较来探讨人类迁移的整体信息。如 Jurian Hoogewerff & Wolfgang Papesch 等^[21]曾通过这种方法研究了距今5 000多年的木乃伊“冰人”不同部位骨骼中的锶同位素比值,从而获悉了木乃伊“冰人”的迁徙状况。

通过锶同位素的地区特征追溯人类的栖息地,由此可获取与当地环境相一致的人类食物结构状况,这是人类食物结构研究中一条比较重要的途径,同时与同位素 ^{13}C 、 ^{15}N 等分析结果相互参照,使最终结果的可靠程度更高。总之,锶同位素指标用于考古学研究正在逐步发挥其作用。

总起来看,上述诸方法通过不同的方式,应用不同的手段,针对不同的研究对象对于人类的食物状况进行研究。这些方法各具特色。不难看出,正是因为如此,它们之间存在着一定的互补性。 ^{13}C 分析给出人类的主食情况,是以小米、玉米类为主,还是以大米、小麦类为主。 ^{15}N 分析提供了人类食肉情况的信息。这些信息共同勾勒出了一幅可能的人类生活环境的画面,如是怎样的自然境况,是陆地还是海洋。而微量元素分析则会在此基础上对可能的环境状况加以确认,使该画面更加清晰。最后,锶同位素分析不仅可以对此增加一个新的限定条件,还可以给出与目前状况有关的大致的时间跨度。这使得整个研究愈加严谨,依据也就更加充分,所能给出的信息也就更加详细和具体。

古人类食物结构研究在我国最早开始于上个世纪的80年代初,中国社会科学院考古所的蔡莲珍和仇士华^[2]将 ^{13}C 同位素分析方法引入国内,通过对仰韶、陶寺等著名考古学遗址出土人类和动物骨骼的 ^{13}C 同位素的分析研究,得出至少从新石器时期以来,中国北方主要以小米为主,而南方以稻米为主的结论,为最早由考古研究所得出的判断增添了新的依据,成功开辟了这项工作,丰富了考古学研究的內容。

时隔近20年后,在仇士华和蔡莲珍的指导下,张雪莲等^[22]继续这方面的研究工作,在配合夏商周断代工程的年代校正工作对于殷墟、琉璃河西周遗址、偃师商城商代遗址等进行大量 ^{13}C 分析的基础上,进行了 ^{15}N 分析方法的研究,首先在国内应用元素分析仪收集氮气获得成功,并提供了河姆渡,青海卡约文化遗址,新疆焉布拉克遗址等考古学遗址的人类食肉情况的相对关系,使得古人类食性研究中 ^{15}N 分析成为可能,完善了 ^{13}C 、 ^{15}N 分析的一整套方法。首先,从所得到的 ^{13}C 分析结果来看,它提供了比较清楚的古人类主食结构的情况。如安阳殷墟出土人骨的35个个体中,除一个例外,其它值均在-6—-11之间,平均值为-7

左右。由此可以得出以 C_4 类,即小米类为主食的百分比占到 90% 以上。可见殷墟人当时是以小米类为主食的。例外的 1 例, ^{13}C 值为 -20 左右,由此得到食用 C_3 类的百分比为 100%。显然是以 C_3 类,即稻米类为主食的。仅此一例,容易让人怀疑他要么是来自出产稻米的南方,抑或是有着不同迁徙经历的当地人?这有待于进一步研究。另外,地处北京房山的琉璃河西周遗址,河南偃师商城遗址,河南伊川南寨二里头文化遗址等中原一带出土人骨的分析测定,其 ^{13}C 值基本上均在 -6 — -11 之间,小米类的比例在 90% 左右。而河姆渡,上海青浦崧泽文化遗址,以及广西顶蛳山新石器文化遗址出土人骨其值大部分处于 -18 — -20 左右,稻米类所占的百分比在 85% — 99% 之间。 ^{15}N 分析给出的结果,从殷墟(5.878)到青海半农半牧的卡约文化遗址(平均值 8.793),再到地处沿海的山东长岛新石器文化遗址(13.174),其 ^{15}N 值明显升高,可以看出其肉食比例或营养级有升高的趋势。另外,有些情况下虽然所得到的分析值是相同的,但由于自然环境状况不同因而导致了其形成因素不同。如青海大通县上孙家汉代遗址出土人骨的平均 ^{13}C 值为 -16.843, C_3 类占 76%,河姆渡人的平均 ^{13}C 值为 -18.239, C_3 类占 86%,表明均以 C_3 类为主食。 ^{15}N 值前者约为 10.8,后者约为 11.4,两者也比较相近。从环境因素和考古发掘结果分析可知,在所食植物种类方面,河姆渡人主食为稻米的可能性较大,而上孙家人的 C_3 类则不一定为稻米。是小麦还是其它 C_3 类植物有待于进一步探讨。当然,通过肉食的间接摄入也是可能的。同样,食肉类情况也因环境的不同有可能存在不同的来源。青海的自然气候比较适于畜牧,而河姆渡应该可能水产和饲养兼有。新疆焉布拉克人的 ^{15}N 值与山东长岛人的值相近,均为 13 左右。但其肉食来源显然也应是不同的,前者畜牧的可能性较大,而后者则极有可能是渔业。除上述结果外,内蒙兴隆洼新石器时代遗址,青海上孙家卡约文化遗址等的人骨也做了 ^{13}C 、 ^{15}N 分析。结合人骨分析的同时还有重点的选择了几种背景材料作了分析,其中有青岛海域的贝类和烟台海域的贝类。这些结果一并列入图 2 中。

90 年代初期,北京大学人口研究所郑晓瑛^[23]应用电感耦合等离子体源发射光谱法对于甘肃酒泉干骨崖四坝文化遗址出土 16 例男性和 10 例女性的人骨股骨中的 22 种元素进行了分析。其中干骨崖前期(9 例)人骨 Sr/Ca 的比值(0.26)低于后期(14 例)的比值(0.38),但均高于现代人(12 例)的比值(0.23),又均低于美洲印地安 Woodland 中期(2 例)的比值(0.97)。并将分析结果与人的年龄、性别做了比较。发现食物相关元素与所分析的人的年龄相关性大,而与性别的相关性很小。得到的结论是干骨崖墓地的居民以植物类食物为主,肉食类为辅。这是较早的古代人骨微量元素分析的应用。

2002 年,中国科技大学的胡耀武^[9]对于距今 8000 — 9000 年前的贾湖遗址三期九段人骨的 28 个个体进行了 ^{13}C 和 ^{15}N 的分析研究,同时还做了微量元素的分析,给出了更为全面的古人类食物结构的信息。

应用各种分析方法进行古人类食物结构研究的依据是相应的分析手段所提供的测试数据。而对于测试数据的判断与评估则取决于对于所用方法的把握与认识。所以,进行这种研究的前提应是对所用方法能够有一定的把握。如 ^{13}C 分析,最初源于对 ^{14}C 测年的年代校正,是将骨头中所含的有机碳提取出来制备成碳酸盐,然后由碳酸盐转化成二氧化碳进行质谱测定。现在可以利用元素分析仪将人骨有机物质中的碳直接制备成二氧化碳,收集后进行质谱测量。而目前最先进的方法是将骨头制备成骨胶原后,通过色 - 质联用质谱仪可直

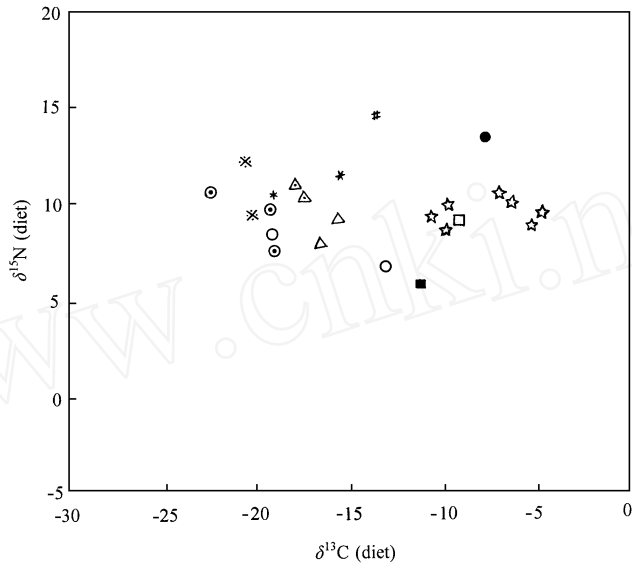


图 2 由 ¹⁵N 结果结合相应的 ¹³C 结果所得的图

The figure made from results of ¹⁵N and ¹³C

青海上孙家 - 卡约(Qinghai Shangsunjia Kayue); · 青海上孙家 - 汉代(Qinghai Shangsunjia Kayue);
 山东长岛(Shandong Changdao); 殷墟(Yin Ruins); 山东古镇度(Shandong Guzhen);
 兴隆洼(Xinglongwa); * 河姆渡(Hemudu); 青浦 - 崧泽(Qingpu Songze); 烟台贝类(Yantai
 Shell); 青岛贝类(Qingdao Shell); # 新疆焉布拉克(Xinjiang Yanbulake)

接获得质谱数据。但由于这类仪器价格昂贵,国内还较少应用。从研究情况来看,稳定碳同位素的分析方法已是比较成熟。各种收集测定方法都可给出满意的结果。但¹⁵N的分析则相对复杂些。从分析方法来说,各种制备收集方法有其自身的特点,我们可以在对其了解的基础上视具体情况合理调配,灵活运用。如果实验条件比较理想,应用色-质联用分析仪做分析是最方便的。然而如果想利用目前可能得到的设备,如元素分析仪,则要先制备收集气体,然后送出进行质谱测量。因为质谱测量价格不高,比较实用。另外,这种方法分步进行,虽然操作上麻烦一些,但如遇问题比较容易判断,可以及时采取措施。做C、N稳定同位素分析有可能会出现问题的方面有:腐殖酸的污染,样品是否燃烧充分,以及质谱测量中可能会产生的问题等。这些应在制样、收集、测量等各个过程中加以注意避免。微量元素分析和无机同位素锶的分析主要是通过骨头中无机组分的分析来进行。这部分内容的分析较多要考虑的是外界环境中土壤无机盐的可能的污染,所以前处理过程应特别留意。

随着科学技术的不断发展,应用科技手段对于人骨等考古出土材料进行分析研究会越来越普遍,因而考古材料的信息率也会越来越高。但同时也应该看到,所应用的这些分析方法毕竟是通过实验所建立起来的分析模式,其最终的分析结果如何在很大程度上依赖于样品出土环境及其条件的介入。因此分析研究工作必须与考古研究的实际相结合。只有将其置身于考古研究的大框架中,才能更好地发挥作用,实现自身的价值。

致谢: 本文在写作过程中得到仇士华研究员和蔡莲珍研究员的热情鼓励与指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] DeNiro MJ, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopic in animals[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42: 495—506.
- [2] 蔡莲珍,仇士华. 碳十三测定和古代食谱研究[J]. *考古*, 1984, 10: 945—955.
- [3] Iacumin P. Stable carbon and nitrogen isotopes as dietary indicators of ancient Nubian populations (Northern Sudan) [J]. *J Archaeol Sci*, 1998, 25: 293—301.
- [4] Sealy JC, Van der Merwe NJ *et al.* Nitrogen isotopic ecology in southern Africa: Implications for environmental and dietary tracing [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51: 2707—2717.
- [5] 米田 穰,吉永 淳. 骨の化学分析から見た縄文时代人 * 弥生时代人の食生活 [J]. *日本人和日本文化*, 2001, 15: 27.
- [6] Tauber H. ¹³C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark [J]. *Nature*, 1981, 292: 332—333.
- [7] Van der Merwe NJ, Roosevelt AC, Vogel AC. Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela [J]. *Nature*, 1981, 292: 536—538.
- [8] Fizet M, Mariotti A, Bocherens H *et al.* Effect of diet, physiology and climate on carbon and nitrogen stable isotopes of Collagen in a Late Pleistocene anthropic palaeoecosystem: Marillac, Charente, France [J]. *J Archaeol Sci*, 1995, 22: 67—69.
- [9] 胡耀武. 古代人类食谱及相关研究[D]. 中国科学技术大学自然科学史专业博士论文, 2002—06.
- [10] Toots H, Voorhies MR. Strontium in fossil bones and the reconstruction of food chains [J]. *Science*, 1965, 149: 854—855.
- [11] Comar CL, Bronner F. *Mineral Metabolism* [M]. New York: Academic Press, 1964.
- [12] Schroeder HA, Tipton IH, Nason AP. Trace metals in man: strontium and barium [J]. *Journal of Chronic Diseases*, 1972, 25: 291—517.
- [13] Elias RW, Hirao Y, Patterson CC. The circumvention of the natural biopurification of calcium along nutrient pathways by atmospheric inputs of industrial lead [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1982, 46: 2561—2580.
- [14] Marcus CS, Wasserman RH. Comparison of intestinal discrimination between calcium 47, strontium 85 and barium 133 [J]. *Am J Phys Anthropol*, 1965, 209, 937—977.
- [15] Burton JH, Price TD. The ratio of barium to strontium as a palaeodietary indicator of consumption of the marine resources [J]. *J Archaeol Sci*, 1990, 17: 547—557.
- [16] Rankhama K, Sahama TS. *Geochemistry* [M]. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1952.
- [17] Smith LH, Rasmussen DC, Myers WM. Influence of genotype upon relationship of strontium-89 to calcium in grain of barley and wheat [J]. *Crop Science*, 1963, 3: 386—388.
- [18] Bartlett BO, Gunn KB. Discrimination between Stable Strontium and Calcium in Cereal Grain [J]. *Agricultural Research Council Radiobiological Laboratory Annual Report 1961*, 62, 1962, 77—78.
- [19] Gilbert C, Sealy J, Sillen A. An investigation of barium, calcium and strontium as palaeodietary indicators in the southwestern Cape, South Africa [J]. *J Archaeol Sci*, 1994, 21: 173—184.
- [20] Sealy JC, Sillen A. Sr and Sr/Ca in marine and terrestrial foodwebs in the southwestern Cape, South Africa. *J Archaeol Sci*, 1988, 15: 425—438.
- [21] Hoogeweff J, Papesch W, Kralik M *et al.* The last domicile of the iceman from hauslabjoch: A geochemical approach using Sr, C and O isotopes and trace element signatures [J]. *J Archaeol Sci*, 2001, 28: 983—989.
- [22] 张雪莲,王金鑫,冼自强等. 古人类食物结构研究(待发).
- [23] 郑晓瑛. 中国甘肃酒泉青铜时代人类股骨化学元素含量分析 [J]. *人类学学报*, 1993, 12: 241—249.

STUDY ON THE DIET OF ANCIENT PEOPLE BY ANALYZING BONE ELEMENTS AND ISOTOPES

ZHANG Xue-lian

(*Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710*)

Abstract: From principle and method, this paper introduces the main three aspects of study on diet of ancient people by analyzing bone element and isotope presently: analyzing for ^{13}C and ^{15}N of collagen, analyzing for trace element Sr and Ba as well as analyzing for isotope Sr. Then, it reviews domestic research of this field and achievements, as well as new advances.

The method of human bone isotope analyzing for the diet of ancient people was first introduced into China by professor Cai Lianzhen and professor Qiu Shihua, Institute of Archaeology, CASS, in 1980s. By ^{13}C analyzing of human bone excavated from some famous archaeological sites such as Yangshao site, Taosi site, they provided scientific basis for the archaeological inference that people on the Yangtze River valley took rice as their staple food, while for those on the Yellow River valley the staple food was millet from the Neolithic Age on at least, which opened up the way to study on human bone for diet and abounded archaeological research content.

In the beginning of the century, under the conduction of professor Qiu Shihua and Cai Lianzhen, Zhang Xuelian, etc. continued the work. On the basis of analyzing a great quantity of ^{13}C data combing with the ^{14}C dating calibration of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project, ^{15}N analysis method by Element Analyzer was established and the information of a relative relationship on meat-eating extent was given. That is from Yinxu (the Shang Dynasty ruin), Shangsunjia site of the Han Dynasty of Qinghai Province, Hemudu site of the Neolithic Age of Zhejiang Province, to Yanbulak site of the Zhou Dynasty of Xinjiang Autonomous Region, the extent of meat-eating in diet of people is gradually rising. Evidently, it is interrelated to the environments people located. At the same time, some other archaeological sites such as Xinglongwa site of the Neolithic Age of Neimenggu Autonomous Region, Shangsunjia site of Kayue Culture of Qinghai Province were also analyzed on their bones for diet. In addition, some background materials of mollusk (for example oyster) coming from Yantai Bay and Qingdao Bay of Shandong Province were analyzed with ^{13}C and ^{15}N method. These results are given in Figure 2.

In 1990s, Zheng Xiaoying, Institute of Population, Peking University, analyzed the trace elements in human femur from Ganguya Siba culture site of the late Bronze Age of Gansu Province by ICAP. And some comparisons were made. It is an earlier human diet study with trace element.

In 2002, Hu Yaowu, Chinese University of Science and Technology, used the method of ^{13}C and ^{15}N analyzing to study the diet of Jiahu people, Who came from BC 8 000—9 000. And trace element analyzing was also made.

Key words: Diet of ancient people; ^{13}C ; ^{15}N ; Trace element Sr, Ba; Isotope Sr