

贾湖遗址人骨的稳定同位素分析

胡耀武^{①②*} Stanley H. Ambrose^③ 王昌燧^①

(① 中国科学院研究生院科技史与科技考古系, 北京 100049; ② Lab for Archaeological Chemistry, Department of Anthropology, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI, USA, 53706; ③ Lab of Biogeochemistry, Department of Anthropology, University of Illinois, Urbana-Champaign, Urbana, USA, 61801)

摘要 古代人类食谱研究是生物考古的重要组成部分,也是当前国际科技考古领域的研究前沿。利用稳定同位素分析方法,尝试揭示贾湖遗址先民的食物结构以及生活方式的变化。人骨的骨胶原含量、C 含量以及 N 含量,尤其是骨胶原 C/N 摩尔比的分析表明,28 个样品中 13 个已经受到埋藏环境的污染,不能用作食谱分析。其余样品骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ ($-20.37 \pm 0.53\text{‰}$),表明先民主要以 C_3 类作为食物来源。根据骨胶原中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的不同,先民的食谱可划分为 4 类。两者相关性的缺乏,当与该遗址以农耕经济为主有关。骨胶原 $\delta^{15}\text{N}$ 和羟磷灰石 $\delta^{13}\text{C}$ 纵贯整个文化段的变化,反映了先民从狩猎转向采集、捕捞直至发展稻作农业和家畜饲养的改变。而羟磷灰石中 $\delta^{18}\text{O}$ 则无明显变化,揭示了该遗址气候较为稳定。

关键词 古食谱分析 稳定同位素分析 贾湖遗址 稻作农业 家畜饲养

古代人类食谱研究是生物考古的重要组成部分,也是当前国际科技考古领域的研究前沿。重建先民食谱,不仅可望揭示他们的生活方式、探索古环境和人类迁徙活动,而且可为古代动植物的变迁、农业的起源和传播以及动物的驯养等重要研究提供极有价值的信息^[1,2]。

稳定同位素分析是古食谱研究的主要方法之一。根据生物考古理论,人体骨组织的化学组成直接对应着食物中的化学组成。当人们的食物来源不同时,骨中的稳定同位素组成也就有较大的差异。因此,分析骨中的稳定同位素组成,即可揭示古代先民的食物组成,探索他们的生存方式。自 20 世纪 70 年代末稳定同位素首次应用于古代人类食谱研究以来,国外学者对于古代先民的生活方式、社会结构和生存环境的分析研究,已经产生了质的飞跃,大大加深了人们对于消逝世界的了解。例如,美洲印第安人骨的稳

定同位素分析,清晰地反映了玉米在人们食谱中比例变化的规律,深刻地揭示了玉米在美洲的起源与传播过程^[3]。中国的稳定同位素分析,最早始于蔡莲珍、仇士华先生,他们根据稳定 C 同位素分析,研究了中国若干新石器时期遗址先民的食谱,取得了颇有意义的成果^[4]。然而,由于设备和其他原因,自此之后,相关工作停顿了很长一段时间。直至近期,稳定同位素分析才再次受到重视^[5]。显然,在中国系统开展稳定同位素的分析工作,对于进一步发掘考古遗址的内涵尤为重要。

贾湖遗址位于河南省中部偏南的舞阳县北舞渡镇的贾湖村,根据地层关系、文化的多元特征及 ^{14}C 年代的测定,贾湖遗址可分为三期,每一期又可分为三段。第一期,其树轮校正年代为 B.C.7000~6600 年;第二期为 B.C.6600~6200 年;第三期为 B.C.6200~5800 年,年代跨度约为距今 9000~7800 年^[6]。贾湖遗

收稿日期: 2005-09-14; 接受日期: 2005-11-30

中国科学院知识创新工程(批准号: KJX3-SYW-N12)、国家自然科学基金(批准号: 40343021)、美国 Wenner-Gren 基金会、中国科学技术大学校青年基金、中国科学院研究生院院长基金和教育部回国留学人员科研启动基金资助项目

* E-mail: yhwu@gucas.ca.cn

址出土的大量炭化稻和稻壳印痕,表明那里已存在着颇为发达的稻作农业,很可能是中国稻作农业的发祥地之一。贾湖制骨工艺发达,骨器种类繁多,制作精致而规整,其中最值得一提的是贾湖骨笛。

《9000年前可吹奏骨笛》一文发表在《Nature》后^[7],在国际上引起了强烈的反响。此外,其出土的龟甲、骨、石、陶器上契刻符号的发现表明,在8000~9000年前的贾湖文化业已出现了具有原始文字性质的符号,它们很可能是中国汉字的雏形^[8]。

总而言之,贾湖遗址的社会结构已经高度发达,是中国新石器时代早期的重要遗址之一。分析贾湖遗址先民的食谱,可望了解当时人类社会的生活方式、社会结构等方面的发展脉络,并为揭示人类社会的发展提供有价值的信息。本文利用稳定同位素分析方法,尝试探索河南舞阳贾湖遗址先民食谱的变化规律,进而揭示该遗址的社会文化面貌和发展历程。

1 稳定同位素分析古食谱简介

1.1 C 同位素

植物光合作用的途径可分为C₃途径和C₄途径^[9],C₃途径的C同位素分馏系数约为1.026左右,而C₄途径的分馏系数约则在1.013附近^[10]。故此,不同光合作用途径的植物,将具有不同的 $\delta^{13}\text{C}$ 。一般认为,C₃植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-30‰~-23‰,C₄植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-9‰~-16‰^[11]。在以植物为底层的食物链的物质和能量流动过程中,该差异将会始终存在。动物组织的同位素组成,直接取决于其食物中的同位素组成,但在此过程中同样存在着同位素的分馏。与所吃食物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相比,动物肌肉大约有1‰的富集作用(可忽略不计),而骨骼中骨胶原则富集约5‰左右,羟磷灰石结构碳酸根中的C同位素则大约富集12‰^[12]。因此,通过对人骨骨胶原和羟磷灰石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分析,应可辨析人们食物的不同。

自从食物与骨胶原中 $\delta^{13}\text{C}$ 的对应关系发现以来,一直认为骨胶原中的C来自整个食物,即骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 与整个食物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 呈线性相关关系。但小白鼠饲养实验^[13,14]却发现,骨胶原中的C主要来自食物中的蛋白质部分,而不是整个食物。骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$,主要反映了食物中蛋白质的 $\delta^{13}\text{C}$ 。相反,羟磷灰石结构碳酸根的C,反映了整个食物中C的来源,包括碳

水化合物、蛋白质和油脂等等。故羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$,反映了整个食物的 $\delta^{13}\text{C}$ 。骨胶原和羟磷灰石C来源的差异,为更高精度上进行古食谱分析奠定了坚实的基础。

1.2 N 稳定同位素

大气中的N₂通常不能被生物直接吸收。只有一些植物,主要是豆科植物,依靠与其共生于根部的根瘤菌,可以直接把大气中的N₂转化为NH₃,然后被植物吸收。一些藻类和菌类也可以直接转化大气中的N₂而吸收N。在这样的过程中,基本上没有同位素的分馏,豆科植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 大约等于0。其他植物,则不能利用此途径来获取N,必须从NH₃转化而来的NO₃⁻和NH₄⁺盐来获取维持正常生理功能所需的N。在N的转化过程中,其同位素将发生分馏,导致 $\delta^{15}\text{N}$ 的富集。与豆科植物相比,非豆科植物具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ 。与C不同,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‰^[15]。鱼类富含蛋白质,故 $\delta^{15}\text{N}$ 较高。依据 $\delta^{15}\text{N}$ 的不同,所有的生物可以分为5类:(1)豆科植物最低,其 $\delta^{15}\text{N}$ 大约为0;(2)非豆科植物具有稍高的 $\delta^{15}\text{N}$,大约为2‰~3‰左右;(3)食草类动物的 $\delta^{15}\text{N}$,大约为3‰~7‰;(4)一级食肉类动物以及各种鱼类, $\delta^{15}\text{N}$ 值为9‰~12‰;(5)二级食肉类动物更高^[16]。海洋中含有大量的NO₃⁻离子团,动、植物以其为N源,它们的 $\delta^{15}\text{N}$ 值均高于同一营养级的陆生生物。

1.3 O 同位素

C和N可以提供有关人们食谱方面的信息,而O同位素则可以让我们了解古代环境的变迁。这主要是由于羟磷灰石中磷酸根和碳酸根的O与动物体液中的O保持平衡,而体液中的O直接来自个体所处的环境,因此通过测定羟磷灰石中的O同位素,可以了解当时的环境。对于人体而言,一般认为,人体体液的O同位素比值,主要来源于饮水中的同位素组成,而与食物基本无关^[17]。故此,骨和牙齿珐琅质羟磷灰石中磷酸根和碳酸根的 $\delta^{18}\text{O}$,就可以用来重建古气候。

2 样品制备与测试

2.1 样品的选取

本文研究所做的人骨标本全部取自贾湖遗址, 分布于贾湖遗址的不同期段, 具体情况见表 1. 其中, I-1, I-2 和 I-3 分别代表样品年代分布在第一期 1, 2, 3 段, 其余样品所处年代采用类似表示方法, 不再赘述.

表 1 贾湖人骨样品情况表^{a)}

墓葬编号	期段	墓葬编号	期段
303	I-1	107	I-1
341	I-1	109	I-2
126	I-2	318	I-2
125	I-2	243	I-3
249	I-3	380 甲	II-4
381	II-4	106 甲	II-5
282 甲	II-5	335	II-5
344	II-5	394 甲	II-5
233	II-6	277 丙	II-6
319	II-6	253 甲	III-7
263	III-7	207	III-8
210	III-8	211	III-8
205	III-9	206	III-9
208	III-9	223	III-9

a) 简单起见, 以墓葬编号代表样品编号

2.2 骨胶原的制备

首先清洗骨样, 去除骨样表面的污染物质, 在研钵中磨碎, 过筛, 收集粒度介于 0.25~0.5 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砂芯漏斗(其下端有活塞控制液体的排放), 使骨样较为均匀地分布于玻璃丝上. 加入 0.2 mol/L HCl 进行脱钙, 大约 3 d 左右, 每隔一天换一次溶液, 直至漏斗中看不见颗粒为止. 接着, 换用蒸馏水洗至中性. 再加入 0.125 mol/L NaOH, 室温下放置 20 h, 期间, 定时搅拌以去除骨样中掺杂的腐殖酸等. 再用蒸馏水洗至中性, 于 0.001 mol/L HCl (pH=3) 溶液中, 在 95°C, 浸泡 10 h 后, 趁热过滤, 烘至近干后冷冻干燥, 收集明胶化的骨胶原. 骨胶原的含量通过骨胶原的重量除以骨样重量而得.

2.3 羟磷灰石的制备

收集<0.25 mm 筛下的骨样粉末, 50%的 NaOCl 处理 1~3 d, 去除骨样中的有机物质, 蒸馏水洗至中性, 1 mol/L 的醋酸溶液里 20~40 h, 可以去除骨样中吸附的碳酸盐等, 蒸馏水洗至中性后冷冻干燥, 收集所得的羟磷灰石. 羟磷灰石的含量通过羟磷灰石的

重量除以骨样重量而得.

2.4 样品的测试

骨胶原在燃烧室燃烧所释放的 N₂ 和 CO₂, 进入 CHN 元素分析仪, 经气相色谱分离、纯化后进入 Finnigan MAT 252 同位素质谱仪(IRMS), 测定 C 和 N 的稳定同位素比值. N 同位素的分析精度为 0.2‰, C 同位素的分析精度为 0.1‰. C 同位素的分析结果以相对 PDB 的值 $\delta^{13}\text{C}$ 来表示, N 同位素的分析结果以相对 N₂(空气)的值 $\delta^{15}\text{N}$ 来表示.

羟磷灰石在 70°C 下与浓磷酸反应, 释放出结构碳酸根中的 C 和 O, 经纯化后进入 IRMS, 以 NBS-18 和 NBS-19A 作为标准, 测定 C 和 O 的同位素比值. C 同位素的分析精度为 0.1‰, O 同位素的分析精度为 0.2‰. C 同位素的分析结果以相对 PDB 的值 $\delta^{13}\text{C}$ 来表示, O 同位素的分析结果以相对 SMOW 的值 $\delta^{18}\text{O}$ 来表示. 具体测定结果见表 2.

骨胶原 C, N 的含量以及羟磷灰石中的 C 含量均通过各自反应产生气体的气压与标准物质产生的气压相比较计算而得.

2.5 数据的统计分析

使用美国社会统计软件 SPSS10.0 进行数据的统计分析.

3 结果与讨论

3.1 骨样的污染

在长期的埋葬过程中, 埋藏环境的 pH、湿度、温度以及微生物等因素都将影响人类骨骼的保存, 破坏骨骼的完整结构而逐渐改变骨骼的化学组成, 使其丧失本来的化学组成与生物学特性. 这就是骨骼的污染过程, 也称为骨骼的成岩作用(bone diagenesis)^[18,19]. 古代人骨的污染, 给古代人类食谱的研究带来了极大的困难. 于是, 鉴别古代人骨样品的污染程度, 筛选出未经污染或污染甚轻的样品并剔除污染严重的样品, 则成为古食谱研究的前提条件.

众所周知, N 只存在于蛋白质中, 如果样品不含 N, 则表明该样品不含骨胶原. 从表 2 可知, M107, M249, M106, M253, M233, M263, M210, M205, M206 和 M208 等样品皆不含骨胶原, 表明在长期的埋藏过

表 2 样品稳定同位素比值^{a)}

墓葬 标号	骨胶原含 量/%	N 含量/%	C 含量/%	C/N(摩尔 比)	¹⁵ N /‰	¹³ C _骨 /‰	羟磷灰石 含量/%	C _羟 含量/%	¹³ C _羟	¹³ C _{羟-骨} /‰	¹⁸ O/‰
M303	2.13	1.8	5	3.24	7.21	-20.32	80.4	1.23	-9.87	10.45	-7.69
M107	0.48		0.9			-25.88	47.9	0.64	-9.81	16.07	-7.65
M341	1.14	7.01	19.83	3.3	8.69	-18.77	55.7	0.77	-9.74	9.03	-7.35
M109	1.71	9.47	26.47	3.26	9.69	-20.02	72.9	0.98	-10.8	9.22	-7.95
M126	1.29	7.44	19.37	3.04	9.23	-20.1	85.4	0.99	-10.12	9.98	-7.73
M318	1.45	14.28	39.23	3.21	7.58	-20.24	47	1.12	-9.97	10.28	-7.65
M125	0.32	0.41	1.03	2.93	-5.82	-23.89	46.2	0.74	-10.62	13.28	-7.54
M243	2.32	10.76	29.27	3.17	8.68	-20.55	58.2	1.17	-9.26	11.29	-7.78
M380	2.46	8.87	24.07	3.17	8.28	-20.45	8	1.13	-9.7	10.75	-7.56
M249	0.85		0.46			-22.63	30.4	0.8	-9.74	12.89	-7.55
M381	3.37	4.91	13.41	3.19	8.67	-20.68	44.8	1.18	-10.18	10.5	-7.43
M106	0.57						14.5	0.78	-9.78		-7.65
M282	2.52	6.32	17.31	3.2	9.96	-20.33	80.8	0.78	-11.52	8.81	-7.27
M335	1.22	4.6	13.08	3.32	9.97	-20.87	72.9	0.94	-10.69	10.18	-7.62
M344	0.81	6.03	16.07	3.11	9.47	-20.34	84	0.9	-11.55	8.79	-7.73
M394	2.4	12.36	32.86	3.1	10.46	-20.83	87	0.85	-11.63	9.2	-7.67
M233	1.15				0.34	-24.03	68	0.9	-11.56	12.47	-7.75
M277	2.03	0.52	1.51	3.39	6.78	-21.15	67.3	0.95	-10.73	10.42	-7.73
M319	1.15	1.29	3.67	3.32	8.15	-20.51	87.4	1	-10.2	10.32	-7.8
M253	0.43						79.8	0.84	-10.85		-7.67
M263	5.35		0.54			-29.92	87.2	0.98	-11.03	18.89	-7.91
M211	0.39	0.21			-11.08	.	74.2	0.54	-12.26		-7.66
M207	0.37	0.16	0.32	2.33	-10.74	-25.79	79	0.78	-11.78	14.01	-7.66
M210	4.07						75.7	0.82	-11.33		-8.01
M205	2.85						93.2	0.92	-10.54		-7.9
M206	0.3						87	0.77	-11.51		-8.26
M223	0.52	4.87	13.07	3.13	8.78	-20.41	89.3	1.02	-9.81	10.6	-8.26
M208	1.21		0.47			-26.36	90.8	0.9	-12.28	14.08	-7.44

a) 空白单元格表明测试无信号或低于仪器检测限

程中, 骨胶原已经分解殆尽. M125, M211 和 M207 的 $\delta^{15}\text{N}$ 均为负值, M233 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值太小, 这些皆因样品含 N 量太低、仪器测试误差过大所致. 另外, 以上样品骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 与剩余样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 相比较, 也表现异常, 反映了这批样品都已受到了严重的污染, 已不适合于稳定同位素比值分析, 必须予以剔除. 由于骨胶原与骨中羟磷灰石的明显相关性, 尽管这批样品中羟磷灰石的同位素组成仍然可能保存完好, 但为了数据的可靠性, 在分析骨羟磷灰石中的稳定同位素时, 也剔除了以上样品.

其余样品的骨胶原含量皆较低, 它们的平均值与标准方差为 $(1.77 \pm 0.77)\%$. 现代骨中的骨胶原含量大约为 20% 左右^[20], 表明大部分骨胶原在长期的埋藏过程中已遭到分解, 这也是史前人骨一个比较显著的特点. 检验骨胶原是否受到污染的最重要指标, 当属其中 C 和 N 的含量以及 C/N 摩尔比值. 过

高或过低的 C 和 N 含量均反映了外来物质对骨胶原的入侵. 本次研究中, 剩余样品 C 的含量及标准方差为 $(18.28 \pm 10.79)\%$, N 的含量和标准方差为 $(6.70 \pm 3.98)\%$, 尤其是 C/N 摩尔比的范围是 3.04~3.39, 很好地落于未污染样品的范围之内 (C/N 摩尔比为 2.9~3.6)^[20,21].

一般认为, 羟磷灰石中的碳酸根, 存在于羟磷灰石的晶体结构中, 不太容易与其他的外来离子发生交换而遭到破坏. 但在羟磷灰石的晶体结构被破坏的情况下, 也可使其中的结构碳酸根释放出来, 而发生污染^[19]. 在稳定同位素的测定上, 主要利用羟磷灰石中的 C 含量来反映羟磷灰石中结构碳酸根的污染程度. 贾湖样品羟磷灰石中 C 含量为 $(1.00 \pm 0.14)\%$, 接近文献中认为未污染古人骨羟磷灰石中的 C 含量 $((1.06 \pm 0.12)\%)$ ^[20], 表明羟磷灰石中的结构碳酸根基本上没有受到污染, 可用于食谱分析.

综上所述, 样品 M394, M335, M282, M344, M109, M126, M243, M223, M318, M303, M277, M341, M381, M380 和 M310, 应属未污染样品, 可用作以下的食谱分析.

3.2 食谱分析

3.2.1 骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分析

Ambrose 等^[20]测定了多种陆生植物和动物的 N 含量, 发现植物中所含的 N ($0.87 \pm 0.75\%$) 远低于动物蛋白的 N 含量 ($13.45 \pm 1.53\%$). 因此, 植物类食物对 N 的贡献较低, 而动物类食物含有较高的 N 含量, 即使其在食物中所占比例甚小, 对 N 的贡献却依然较大, 因此, 骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$ 值主要反映了食物中动物类食物的来源, 即人们所吃食物中肉类的来源. 骨胶原中 C 同位素主要反映食物中蛋白质的来源, 而 N 则主要来自动物蛋白质, 如若两者密切相关, 表明食谱中动物类食物占了绝大部分, 该个体应以渔猎作为主要的生活方式. 若两者不呈现明显的相关关系, 则表明食谱中含有大量的植物类食物, 该个体应采取采集或农业生产作为主要经济方式. 对它们的相关分析, 可让我们了解先民们的主要蛋白质来源. 图 1 是 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的散点图. 由图可知, 所有样品点在图上极为分散, $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 之间的相关系数极小 ($r=0.063$), 表明贾湖先民们还主要以植物类食物为

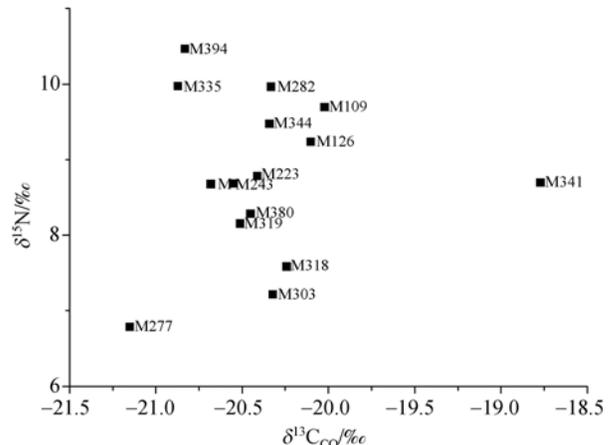


图 1 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的散点图

主, 动物类食物为辅, 也反映了其农耕经济的特点.

总体上, 由 $\delta^{13}\text{C}$ ($-20.37 \pm 0.53\text{‰}$) 以及 $\delta^{15}\text{N}$ ($8.77 \pm 1.05\text{‰}$) 的数据可以看出, 贾湖先民主要以 C_3 类食物为食, 食谱属于杂食类, 这可能与稻作农业以及家畜饲养为主的经济方式相关. 先民们 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的差异, 则缘于其食物获取方式的不同. $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的聚类分析(图 2)表明: 先民们食谱基本可分为四类. 第一类, 以 M380, M319, M243, M381, M223, M303 和 M318 为代表, 具有适中的 $\delta^{15}\text{N}$ ($8.19 \pm 0.60\text{‰}$) 和 $\delta^{13}\text{C}$ ($-20.45 \pm 0.36\text{‰}$) 值, 反映了 C_3 类的植物是此类先民的主要食物来源, 肉类需求

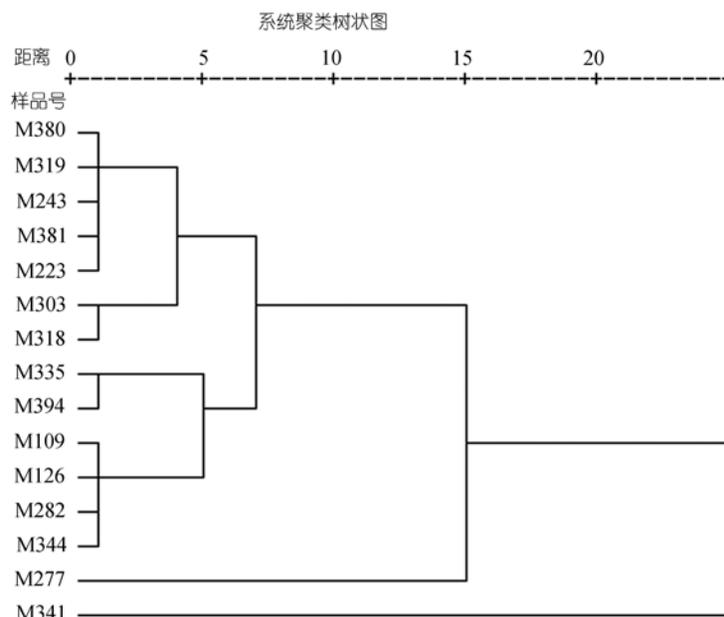


图 2 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 聚类分析

尚不是很大. 第二类, 则以 M335, M394, M109, M126, M282 和 M344 为代表, 具有最高的 $\delta^{15}\text{N}$ ($9.79 \pm 0.43\%$) 和适中的 $\delta^{13}\text{C}$ ($-20.42 \pm 0.35\%$). 最高的 $\delta^{15}\text{N}$, 表明此类先民动物蛋白摄取最多, 意味着食物中肉类的比例较高. 相对于其他动物而言, 生活在水里的鱼类有着较高的 $\delta^{15}\text{N}$, 因此, 此类的先民们, 在以 C_3 类植物为食的同时, 水生动物包括鱼类, 也是他们的食物组成之一. 第三类, 仅由 M277 组成, 其 $\delta^{15}\text{N}$ (6.78%) 和 $\delta^{13}\text{C}$ (-21.15%) 最低, 表明先民可能以植物类食物为主. 第四类, 则由 M341 组成, 其 $\delta^{15}\text{N}$ 的值居中 (8.69%), 而 $\delta^{13}\text{C}$ 的值最高 (-18.77%), 表明该先民的植物类食物中可能包含一些少量 C_4 类的植物.

3.2.2 羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 与骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$

与骨胶原中的 C 反映食物中蛋白质的来源不同, 羟磷灰石中结构碳酸根中的 C 则主要反映整个食物中 C 的来源(包括蛋白质、油脂和碳水化合物). 食物与羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 差异大约为 -12% , 这样, 通过羟磷灰石中 C 同位素比值的分析便可反映整个食物的组成. 图 3 是骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$ 和羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 的散点图. 由图可见, 两者之间呈现负相关关系, 相关系数为 0.559 ($P=0.30$), 随着 $\delta^{15}\text{N}$ 的不断增加, $\delta^{13}\text{C}$ 却不断减小. 相对于蛋白质而言, 油脂和碳水化合物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较小, 表明贾湖先民食物中动物蛋白增加的同时, 非蛋白类食物也在不断地增加. 这与贾湖先民进行稻作农业和家畜饲养密切相关.

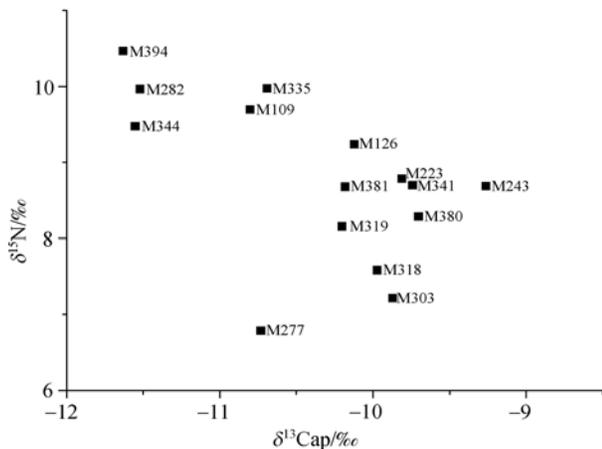


图 3 $\delta^{15}\text{N}$ 和羟磷灰石 $\delta^{13}\text{C}$ 的散点图

3.2.3 贾湖遗址先民食物结构的变化

N 同位素可以让我们了解人们所食肉类的情况,

羟磷灰石中的 C 同位素则可让我们知道先民的整个食物. 因样品分布于贾湖文化的不同段, 通过对于它们的整体分析, 则可望捋清先民们生活方式变化的脉络, 揭示光辉灿烂贾湖文化的发展历程.

图 4 是 $\delta^{15}\text{N}$ 在不同文化段内的变化情况. $\delta^{15}\text{N}$ 值起初处于中间值, 随之慢慢增加, 在第五段到达了最高峰, 然后再缓慢下降. 如果说狩猎代表了起初的 $\delta^{15}\text{N}$ 的值, 那么, 我们可以认为狩猎在贾湖生活方式中的比例不断下降, 而水生动物的捕捞业则开始增加直至第五段到达了最高峰, 其后, 狩猎和捕捞业在人们日常生活中的比例均开始下降. 稻作农业的兴起, 为动物的驯化创造了极为有利的条件, 使得家畜的驯养成为可能, 可以使人们获得较为稳定的肉食资源. 贾湖先民骨胶原 $\delta^{15}\text{N}$ 值的下降, 应与以 $\delta^{15}\text{N}$ 较低的水稻和家畜为食相关.

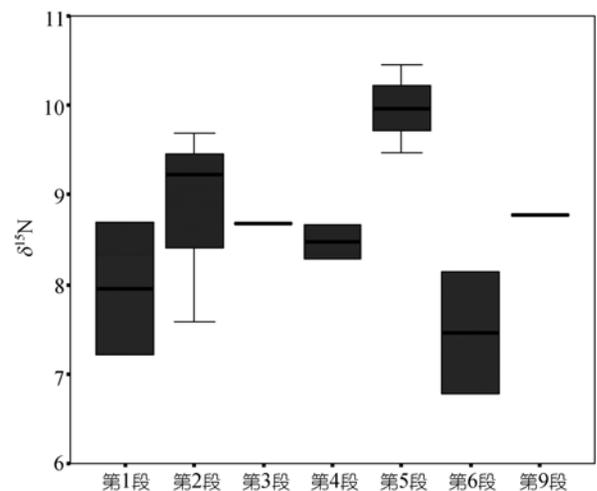


图 4 $\delta^{15}\text{N}$ 在不同文化段的变化

由于骨羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 代表了整个食物, 因此依据羟磷灰石中 $\delta^{13}\text{C}$ 在不同段内的变化(图 5), 就可追踪先民食物总的变化趋势. 起初 $\delta^{13}\text{C}$ 的值较大, 表明 C_3 来源的食物作为人们的主体, 而 C_4 类的摄取也占有一定的分量, 并在第 3 段达到最大. 随后, $\delta^{13}\text{C}$ 值不断降低直至第 5 段降低到最小值, 反映了 C_4 类食物的比例逐渐减小而 C_3 类食物逐渐增加. 根据微量元素分析结果, 可知该段人类采集活动得到最大程度地加强^[22]. 据此有理由推测, 采集使得人类对于野生稻的生产特性有了很大的了解, 为驯化野生稻与稻作农业的发展创造了条件. 第 5 段后 $\delta^{13}\text{C}$ 的增加, 则可能源于家畜的驯养.

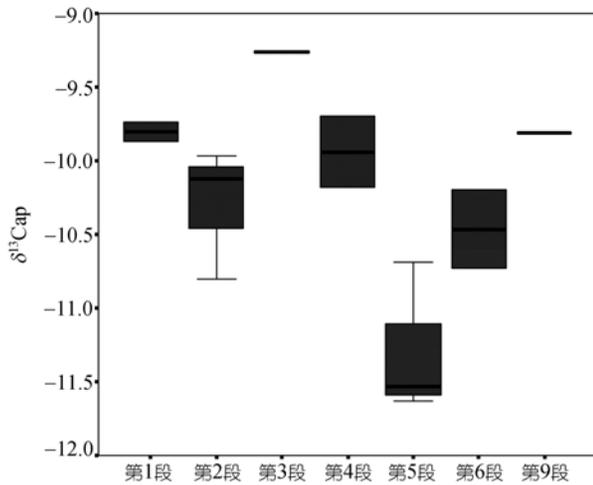


图 5 羟磷灰石中 $\delta^{13}\text{C}$ 在文化段的变化

3.2.4 $\delta^{18}\text{O}$ 的分析

尽管对于 O 同位素的分析仍然有着各种不确定的因素,但各种生物地球化学模型的建立,仍然使我们认识到可以利用人体骨骼中羟磷灰石中的 O 同位素组成来较为粗略地分析当时的古环境和古气候。

图 6 是 $\delta^{18}\text{O}$ 在不同文化段内的变化图。由图可以看出,整个贾湖文化期间 $\delta^{18}\text{O}$ 基本无明显变化,表明在该地区的气候一直较为稳定,客观上为贾湖文化的兴起与发展奠定了基础。

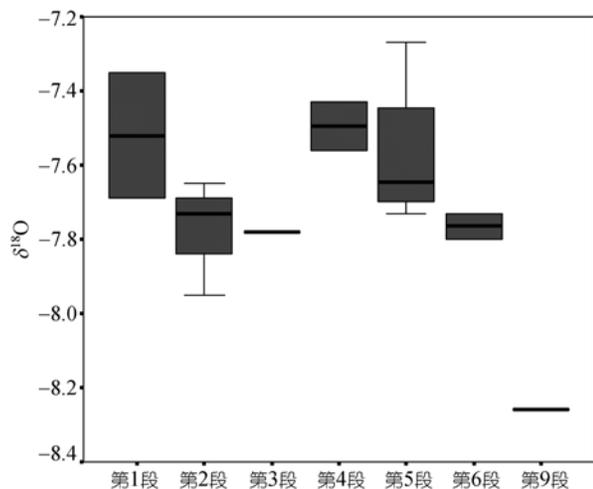


图 6 $\delta^{18}\text{O}$ 的文化段的变化

4 结论

河南舞阳贾湖遗址是中国重要的新石器时代遗址之一,重建该遗址先民的食物结构、生活方式,将对揭示中国新石器时代早期原始居民的社会发展轨

迹具有十分重要的意义。在排除污染样品的基础上,该遗址人骨的稳定同位素分析表明:

(1) 骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 缺乏相关性,当与以农耕经济为主的生活方式密切相关;

(2) 根据骨胶原中 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的不同,可以将食谱分为 4 类;

(3) 羟磷灰石中的 $\delta^{13}\text{C}$ 与骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$ 之间的负相关,反映了先民们进行稻作农业和家畜饲养的活动;

(4) 先民起初是以狩猎为其主要谋生手段,随后,捕捞业在人类逐渐增加直至第五段到达最高峰。从第 6 段直至第 9 段,狩猎和捕捞业在人们日常生活中的比例均开始下降,稻作农业和家畜饲养成为人们主要的食物来源;

(5) 羟磷灰石中 $\delta^{18}\text{O}$ 无明显变化,表明该遗址气候一直较为稳定。

最后,需要特别指出的是,贾湖遗址,属于新石器时代早期,所谓的“稻作农业”,其实还是较为原始的农业生产。狩猎、采集以及捕捞,也同样在人们经济结构上占有重要地位。本文所分析的先民食谱变化,也只能粗略地反映在贾湖遗址不同发展阶段先民对某一生活方式的侧重情况。人类社会生活方式的改变,是一个长期复杂的渐进过程,不会出现跳跃的变化,除非极端情况发生迫使人们不得不改变。

致谢 在本文的数据分析和撰写过程中,始终受到中国科学技术大学科技史与科技考古系张居中教授和美国威斯康星大学人类学系考古化学实验室 T.Douglas Price 教授的帮助,两位匿名审稿者对本文提出的有价值的修改意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 胡耀武,杨学明,王昌燧. 古代人类食谱研究现状. 见:王昌燧,左键主编. 科技考古论丛(第二辑). 合肥:中国科学技术大学出版社,2000. 51—58
- 2 张雪莲. 应用古人骨的元素、同位素分析研究其食物结构. 人类学学报,2003,22(1): 75—85
- 3 White C D. Reconstructing ancient Maya diet. Salt Lake city: University of Utah Press, 1999
- 4 蔡莲珍,仇士华. 碳十三测定和古代食谱研究. 考古,1984,10: 945—955
- 5 张雪莲,蔡莲珍,仇士华,等. 古人类食物结构研究. 考古,2003,(2): 62—76
- 6 张居中. 舞阳贾湖. 北京:科学出版社,1999
- 7 Zhang J, Harbottle G, Wang C, et al. Oldest playable musical instrument found at Jiahu, early Neolithic site in China. Nature,

- 1999, 401: 366—368
- 8 Li X, Harbottle G, Zhang J, et al. The earliest writing? Sign use in the seventh millennium BC at Jiahu, Henan Province, China. *Antiquity*, 2003, 77: 31—44
 - 9 沈同, 王镜岩, 赵邦梯. 生物化学(第二版). 北京: 高等教育出版社, 1995. 142—145
 - 10 郑淑蕙, 郑斯成, 莫志超. 稳定同位素地球化学分析. 北京: 北京大学出版社, 1986. 76
 - 11 van der Merwe N J. Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology. *Am Scientist*, 1982, 70: 596—606
 - 12 DeNiro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1978, 42: 495—506
 - 13 Ambrose S H, Norr L. 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, 1993. 1—37
 - 14 Tieszen L L, Fagre T. Effect of Diet Quality and Composition on the Isotopic Composition of Respiratory CO₂, Bone Collagen, Bioapatite and Soft Tissue Experiments. In: Lambert J B, Grupe G, eds. *Molecular Archaeology of Prehistoric Human Bone*. Berlin: Springer, 1993. 121—155
 - 15 van der Merwe N J, Roosevelt A C, Vogel A C. Isotopic evidence for prehistoric subsistence change at Parmana, Venezuela. *Nature*, 1981, 292: 536—538[DOI]
 - 16 Ambrose S H, Katzenberg M A. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 2000
 - 17 Bryant J D, Froelich P N. A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59: 4523—4537[DOI]
 - 18 Price T D, Blitz J, Burton J H. Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions. *J Archaeol Sci*, 1992, 19: 513—530. [DOI]
 - 19 胡耀武, 王昌燧, 左键, 等. 古人类骨中羟磷灰石的 XRD 和喇曼光谱分析. *生物物理学报*, 2001, 17(4): 621—627
 - 20 Ambrose S H, Butler B M, Hanson D H, et al. Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific. *Am J Phys Anthropol*, 1997, 104: 343—361[DOI]
 - 21 Ambrose S H. Preparation and characterization bone and tooth collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis. *J Archaeol Sci*, 1990, 17: 431—451[DOI]
 - 22 胡耀武, Burton J H, 王昌燧. 贾湖遗址人骨的元素分析. *人类学学报*, 2005, 24(2): 158—165