

江苏金坛三星村遗址先民的食谱研究

胡耀武 王根富 崔亚平 董豫 管理 王昌燧

(中国科学院研究生院科技史与科技考古系, 北京 100049; 南京师范大学社会发展学院文物与博物馆学系, 南京 210097; 中国科学技术大学科技史与科技考古系, 合肥 230026. E-mail: yw.hu@gucas.ac.cn)

摘要 分析了江苏金坛三星村遗址 19 个人骨的C和N稳定同位素, 探讨了该遗址先民的生活方式和
社会经济结构. 虽然所有样品中骨胶原已发生不同程度的降解, 但其C/N摩尔比值皆落于 2.9~3.6 之间,
表明骨胶原基本未受污染. 人骨中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的平均值分别为 $(-20.05 \pm 0.21)\text{‰}$, $(9.69 \pm 0.33)\text{‰}$, 且两
者呈弱正相关, 反映了先民以稻作农业为主并辅以渔猎的生活方式. $\delta^{15}\text{N}$ 与 C_3 类在先民食谱中的比例
呈弱负相关, 暗示先民的稻作农业与渔猎活动相对独立. 与河姆渡遗址、青浦遗址相比, 三星村遗址的
稻作农业得到进一步发展, 渔猎经济的比例逐渐减小, 但先民获取肉食资源的形式仍处于初步开发型.

关键词 古食谱 长江流域 稳定同位素分析 骨的污染 稻作农业 渔猎活动

通过对考古遗址中出土人骨骨胶原的C和N稳定同位素进行分析, 是了解先民食谱的主要研究方法^[1,2]. 因植物光合作用途径以及固氮方式的不同, 植物类在 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ 上存在较大的差异. 通常, C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -26.5‰ , 而 C_4 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -12.5‰ ^[3]; 豆科植物的 $\delta^{15}\text{N}$ 大约等于 0, 而非豆科植物具有较高的 $\delta^{15}\text{N}$ ^[4]. 在以植物为底层的食物链的物质和能量流动过程中, 这些差异将会始终存在^[5]. 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‰^[6]. 因此, 通过对人骨骨胶原和羟磷灰石的 $\delta^{13}\text{C}$ 分析, 就可辨析人们食物中植物类的不同. 小白鼠的饲养实验^[7]进一步发现, 骨胶原中的C主要来自食物中的蛋白质部分, 而羟磷灰石结构碳酸根的C, 则反映了整个食物中C的来源, 包括碳水化合物、蛋白质和油脂等等. 骨胶原和羟磷灰石C来源的差异, 为更精细地研究古食谱奠定了坚实的基础. 与C不同, N在沿营养级上升时存在着同位素的富集现象, 每上升一级, $\delta^{15}\text{N}$ 大约增加 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‰, 食肉类动物又比其食物(食草类动物)富集 3‰~4‰^[8]. 人骨中骨胶原的 $\delta^{15}\text{N}$ 分析, 应可辨别人们所处营养级的级别, 揭示

先民的肉食资源.

首创于 20 世纪 70 年代末的稳定同位素分析, 历经多年的发展与不断成熟, 不仅已广泛应用于新石器时代先民食谱、生活方式以及古环境的探索^[9], 而且在揭示古人类的食物结构及生存环境等方面也颇有建树^[10]. 早在 1984 年, 中国就已开始利用C稳定同位素进行古食谱分析的尝试^[11], 但直到近期, 稳定同位素分析方法才真正引起中国学者的关注, 相关的研究论文业已屡有报道^[12-16]. 然而, 中国的古食谱研究, 还主要局限在以黄河流域为中心的考古遗址, 对长江流域先民生活方式的探索则常因人骨样品保存较差而相对缺乏, 这不能不说是中国食谱研究的一个重要“缺环”.

众所周知, 与黄河流域一样, 长江流域也是中华文明诞生的摇篮. 积极探索长江流域考古遗址先民的食谱与生活方式, 将对正确认识长江流域史前文化的经济基础以及文明化进程具有十分重要的意义. 曾被评为“1998 年全国十大考古发现”的江苏金坛三星村遗址^[17], 是长江中下游地区一处非常重要的新石器时代遗址. 遗址地处太湖平原与宁镇丘陵的分水岭——茅山山脉的东侧, 丹金溧漕河之西, 属地势低平、河网密布的平原地带. 根据 ^{14}C 测定及考古学文化研究, 遗址年代为距今 6500~5500 年左右, 大致为马家浜文化中期至崧泽文化早期. 遗址现存总面积 $1.0 \times 10^5 \text{ m}^2$, 至目前为止, 已发掘面积 640 m^2 , 发

2006-04-07 收稿, 2006-07-24 接受

中国科学院知识创新工程(批准号: KJXC3-SYW-N12)、教育部留学回国人员科研启动基金、中国科学院院长基金和中国科学院研究生院长基金项目共同资助

现墓葬 1001 座、灰坑 55 个、房址 4 处, 出土各类文物 4000 余件, 不少器物为国内罕见. 尤其值得一提的是, 该遗址人骨骨质坚硬、保存较为完好^[18], 为通过稳定同位素分析, 了解该地区先民的生活方式和经济基础创造了极好的契机. 本文拟通过 C 和 N 稳定同位素分析, 试图揭示该遗址先民的食物结构、生活方式以及社会经济结构等重要信息.

1 材料与方 法

() 样品选择. 从该遗址众多墓葬中随机选取 19 个墓葬, 取样部位全部为人骨的密质骨, 分别编号为 SXC1-SXC19.

() 骨胶原的制备. 主要依据 Ambrose 等^[19]提出的骨胶原处理方法. 手术刀和打磨机械去除样品内外表面的污染物, 粉碎并在玛瑙研钵中研磨, 收集粒度为 40~60 目的骨粉. 0.1 mol HCl 浸泡脱钙数天直至看不见明显的颗粒为止, 期间每隔一天换新鲜酸液一次. 去离子水清洗至中性后, 0.125 mol/L NaOH 浸泡 20 h, 再洗至中性. 加入 0.001 mol HCl 于温度为 95 °C 下明胶化(过夜), 趁热过滤, 冷冻干燥得骨胶原.

() 测试分析. (1) 元素分析. 取骨胶原少许, 在中国科学技术大学理化中心 VARIO EL 元素分析仪上进行 C、N 元素含量分析, 其含量见表 1. (2) 稳定同位素测试. C 和 N 稳定同位素的测试于中国科学院农业环境与可持续发展研究所测试中心进行,

表 1 样品测试值

样品号	C 含量/%	N 含量/%	C/N(摩尔比)	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
sxc1	16.47	5.91	3.25	10.02	-19.89
sxc2	10.27	3.57	3.35	10.26	-20.23
sxc3	16.31	5.83	3.26	8.91	-20.26
sxc4	37.82	14.04	3.14	9.98	-19.62
sxc5	28.82	10.86	3.10	9.99	-20.04
sxc6	41.08	15.31	3.13	9.59	-19.81
sxc7	37.05	13.78	3.14	9.78	-19.98
sxc8	25.91	9.58	3.15	10.12	-20.01
sxc9	43.69	16.16	3.15	9.57	-20.13
sxc10	42.29	15.63	3.16	9.31	-20.30
sxc11	44.47	16.43	3.16	9.67	-19.92
sxc12	39.52	14.57	3.16	9.67	-19.66
sxc13	26.43	9.68	3.19	9.63	-20.11
sxc14	40.28	14.98	3.14	9.28	-20.13
sxc15	18.94	6.65	3.32	9.45	-20.05
sxc16	38.29	14.10	3.17	10.02	-20.04
sxc17	38.29	14.16	3.16	9.57	-20.07
sxc18	35.11	12.96	3.16	9.47	-20.43
sxc19	32.57	12.18	3.12	9.80	-20.17

测试仪器为 Finnigan MAT Delta plus, 碳氮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 0.1‰, N 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 $\delta^{13}\text{C}$ 表示, 而 N 同位素的分析结果以相对 N₂(气态)的 $\delta^{15}\text{N}$ 表示. 测试数据见表 1.

() 数据的统计分析. 以美国 SPSS13.0 进行数据的统计以及作图分析.

2 讨论与结论

2.1 人骨污染的判别

人体死亡掩埋后, 埋藏环境的湿度、温度以及微生物等诸因素, 都将影响骨骼的保存, 破坏其完整结构, 改变其化学组成, 这就是所谓的骨骼污染, 也称为骨骼的成岩作用(bone diagenesis)^[20,21]. 一旦骨骼发生污染, 其化学成分与食物化学成分间的对应关系将不复存在, 古食谱的重建也就无从谈起. 于是, 鉴别古代人骨样品的污染程度, 剔除污染严重的样品, 是古食谱研究的基础和前提条件.

当骨发生污染, 其有机成分——骨胶原将在各种因素的影响下发生降解, C、N 含量也随之降低. 因此, 骨胶原中 C、N 含量, 可作为衡量骨胶原保存状况的指标之一. 现代骨胶原的 C 含量约为 41%, N 为 15%^[22]. 从表 2 可以看出, 样品骨胶原 C 和 N 含量平均值分别为 $(32.29 \pm 10.44)\%$ 和 $(11.92 \pm 3.95)\%$, 均较低, 表明骨胶原在长期的埋藏过程中已受到不同程度的降解. 然而, 判断骨胶原是否污染的最重要指标, 当属骨胶原的 C/N 摩尔比值. DeNiro 等^[23]认为, 比值在 2.9~3.6 之间, 可认为骨胶原保存较好, 而小于 2.9 或大约 3.6, 皆表明骨胶原中的 C 或 N 已受到污染, 不宜进行食谱分析. 从表 2 不难发现, 所有样品的 C/N 比值均落于此范围内, 且其平均值 3.18 ± 0.07 与现代样品 C/N 比值(3.20)^[22]相差甚小, 反映了样品骨胶原保存较为完好, 可视为未污染样品进行食谱分析.

2.2 先民食谱分析

一般认为, 杂食类动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 7‰~9‰, 肉食类动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值则大于 9‰, 而鱼类因含有大量的蛋白质, 其 $\delta^{15}\text{N}$ 值与一级肉食类动物相当^[9]. 因此, 在缺乏遗址食物链中各营养级 $\delta^{15}\text{N}$ 值的情况下, 先

表 2 样品污染指标统计表

	数量	最小值	最大值	平均值	标准偏差
C/‰	19	10.27	44.47	32.29	10.44
N/‰	19	3.57	16.43	11.92	3.95
C/N(摩尔比)	19	3.10	3.35	3.18	0.07

民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与 9‰ 孰大孰小, 常作为判定先民肉食来源的重要依据. 若 $\delta^{15}\text{N}$ 值大于 9‰, 表明先民食谱中包含大量的肉食, 其获取动物蛋白的方式主要来自为渔猎活动; 而小于 9‰, 则其食物中当以植物类食物居多, 先民主要以采集或农业为生, 辅以少量肉食. 三星村遗址样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值位于 8.91‰ ~ 10.26‰ 之间, 平均值为 $(9.69 \pm 0.33)\%$, 反映了先民食物中包含了大量的肉食, 且主要来自渔猎活动.

所有样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值位于 -20.43% ~ -19.62% 范围内, 其平均值为 $(-20.05 \pm 0.21)\%$, 表明先民位于以 C_3 类植物为底层的食物链中. 因骨胶原中的 C 主要来自食物中的蛋白质部分, 因此, 先民食谱中的蛋白质部分, 应主要来源于 C_3 类的植物蛋白或以 C_3 类植物为食的动物蛋白抑或两者兼而有之.

人们食物中的蛋白质, 主要有动物蛋白和植物蛋白两种. 通常, 植物类食物的蛋白含量, 远逊于动物类食物的蛋白含量^[22]. 因此, 食物中的 N, 主要来自动物蛋白的贡献. 相应地, 骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$, 也以反映食物中的动物蛋白为主^[22]. 另一方面, 骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$, 主要来自食物中的蛋白质部分, 两者的相关分析, 可望进一步解释先民的食物来源. 如若骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 相关显著, 则表明先民食物中以动物蛋白为主, 其生活方式以渔猎为主; 若相关不显著, 反映了植物类食物在先民食物中占大多数, 暗示先民当从事采集或农业为生. 图 1 是以所有样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 X 轴、 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 Y 轴所做的散点图. 由图可见, 两者不呈现明显的相关, 相关分析表明两者呈弱正相关关系 ($r = 0.371, P = 0.118, N = 19$), 反映了先民食物中 C_3 类的植物居多.

先民食物的获取, 自始至终来源于生存环境, 而 C_3 类植物以生长于温暖湿润地区为多, 因此, 先民骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 反映了先民的生存环境中存在大量的 C_3 类植物, 暗示当时的古气候应为温暖湿润, 这也被环境考古的研究结果所证实^[24]. 此外, 样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变异范围仅为 0.81‰, 表明所有先民的食谱较为相似, 可能以某一种 C_3 植物为主食. 长江中下游地区, 是中国原始稻作农业的发祥地之一, 并且三星村遗址大量碳化稻谷的发现, 均昭示着原始稻作农业的

存在. 现代水稻的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -26.1% ^[25], 考虑到因化石燃烧而造成现代大气与古代大气相比约贫化 -1.5% ^[26], 若单纯以水稻为生的先民, 其骨胶原中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值应为 -19.6% . 而先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -20.05% , 较之贫化 -0.45% , 表明食物中的 C_3 类除稻米外, 尚包含一定量 $\delta^{13}\text{C}$ 值较小的其他植物.

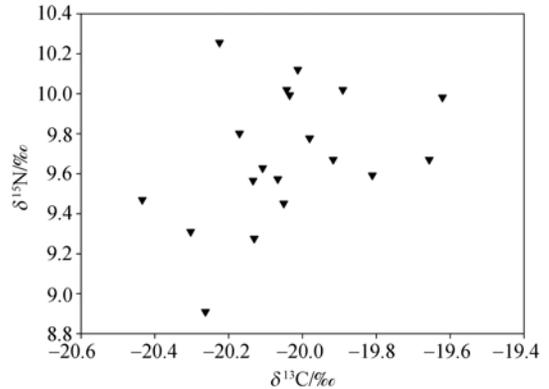


图 1 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值散点图

三星村遗址地理位置优越, 毗邻的山脉与河流, 为先民的渔猎活动提供了得天独厚的场所. 遗址中多种动物骨骼的大量出土以及大面积螺蛳壳堆积层的发现, 也是先民从事渔猎活动的重要佐证^[17]. 而三星村遗址样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值大于 9‰, 进一步表明, 尽管先民的稻作农业已经较为发达, 但先民肉食的获取, 还主要来自渔猎活动, 家畜的饲养尚未普及. 与之相比, 以原始农业为经济基础的河南舞阳贾湖遗址^[16]、山东西公桥遗址^[13]、青海宗日遗址^[27]先民, 骨胶原中的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值则小于 9‰, 显示先民的食物以植物类食物为主, 而摄入的肉食则相对较少, 可能主要来自家畜.

当食物中同时存在 C_3 类和 C_4 类植物时, 其总的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可按混合模型加以计算^[28], 即

$$\delta^{13}\text{C}(\text{食物}) = \delta^{13}\text{C}(\text{C}_3 \text{类}) \times \text{C}_3 \text{类在食物中的比例} + \delta^{13}\text{C}(\text{C}_4 \text{类}) \times \text{C}_4 \text{类在食物中的比例}.$$

因此, 若以 C_3 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -26.5% , C_4 植物 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -12.5% , 骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较食物约富集 5‰, 就可大致估算 C_3 类在先民食物中的比例^[12,13]. 计算公式如下:

$$\text{C}_3 \text{比例}(\%) = -100 \times (\delta^{13}\text{C} - 5 + 12.5) / (26.5 - 12.5).$$

图 2 是以各样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与 C_3 在食物中的比例所作的散点图. 不难发现, 先民食物中 C_3 类占绝大多数, 其在先民食谱中的比例与 $\delta^{15}\text{N}$ 值呈弱负相关 ($r = -0.371, P = 0.118, N = 19$), 表明先民肉食资源的

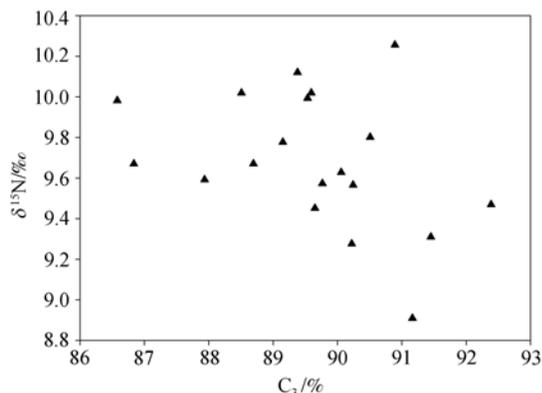


图2 δ¹⁵N值和C₃比例散点图

获取与 C₃ 类比例没有明显的联系, 暗示先民的稻作农业与渔猎经济相对独立。

2.3 稻作农业的发展与肉食资源的方式

张之恒^[29]将长江中下游地区稻作农业的发展过程分为3个阶段, 即驯化阶段、诞生阶段、发展阶段。根据上述分法, 河姆渡遗址(7000 aBP)、三星村遗址以及崧泽遗址(5000 aBP), 属以稻作农业为主的发展阶段, 但稻作农业在先民生活方式中的地位却存在明显的差别。例如, 河姆渡遗址4个人骨骨胶原的δ¹³C平均值为-18.24‰^[12], C₃类在先民食谱中的比例为76.71%; 青浦遗址(崧泽文化时期)2个人骨骨胶原的δ¹³C平均值为-19.9‰^[12], C₃类在先民食谱中占88.57%。而年代居于两者之间的三星村遗址, 19个人骨的δ¹³C平均值(-20.05‰)却最小, C₃类在先民食谱中的比例最大(89.61%), 表明先民对于稻作农业的依赖性最大。

袁靖^[30]将人类获取肉食资源的方式划分为依赖型、初级开发型和开发型。河姆渡遗址的δ¹⁵N平均值为11.40‰, 青浦遗址δ¹⁵N的平均值为10.85‰^[12], 三星村遗址的δ¹⁵N平均值则为9.69‰, 皆大于9‰, 表明先民主要依赖渔猎活动获取肉食资源, 家畜的饲养仍然在先民的生产方式中居次要地位。由此可见, 上述3个遗址的先民获取肉食资源的形式仍属初级开发型, 三星村遗址先民的渔猎活动最少。

致谢 感谢中国社会科学院考古研究所袁靖研究员的热情帮助以及两位匿名审稿者的审稿意见。

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, 左健主编. 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

- 3 学学报, 2003, 22(1): 75—85
- 3 van der Merwe N J. Carbon isotopes, photosynthesis and archaeology. *Am Scientist*, 1982, 70: 596—606
- 4 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]
- 5 Kohn J M. You are what you eat. *Science*, 1999, 15: 335—336[DOI]
- 6 DeNiro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1978, 42: 495—506
- 7 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
- 8 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. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Paleoevol*, 1994, 107: 215—225
- 9 Ambrose S H, Katzenberg M A. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publisher, 2000
- 10 Richards M P. A brief review of the archaeological evidence for Palaeolithic and Neolithic subsistence. *Eur J Clin Nutr*, 2002, 56(12): 1270—1278[DOI]
- 11 蔡莲珍, 仇士华. 碳十三测定和古代食谱研究. *考古*, 1984, (10): 945—955
- 12 张雪莲, 王金霞, 洗自强, 等. 古人类食物结构研究. *考古*, 2003, (2): 62—75
- 13 胡耀武, 何德亮, 董豫, 等. 山东滕州西宫桥遗址人骨的稳定同位素分析. *第四纪研究*, 2005, 25(5): 561—567
- 14 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
- 15 胡耀武, 王昌燧. 中国若干考古遗址的食谱分析. *农业考古*, 2005, 3: 49—55
- 16 胡耀武, Ambrose S H, 王昌燧. 贾湖遗址人骨的稳定同位素分析. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2007, 37(1): 94—101
- 17 江苏省三星村联合考古队. 江苏金坛三星村新石器时代遗址. *文物*, 2004, 2: 4—27
- 18 韩康信. 金坛三星村新石器时代人骨研究. *东南文化*, 2003, 9: 15—21
- 19 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]
- 20 Price T D, Blitz J, Burton J H. Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions. *J Archaeol Sci*, 1992, 19: 513—530[DOI]
- 21 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. *生物物理学报*, 2001, 17(4): 621—627
- 22 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]
- 23 DeNiro M J. Post-mortem preservation of alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, 1985, 317: 806—809[DOI]
- 24 张强, 朱诚. 江苏三星村地区 7000 年来古环境演变初探. *山东师大学报*, 2000, 15(3): 279—284
- 25 McGovern P E, Zhang J, Zhang Z, et al. Fermented beverages of pre- and protohistoric China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101: 17593—17598[DOI]
- 26 Tieszen L L, Fagre T. Carbon isotopic variability in modern and archaeological maize. *J Archaeol Sci*, 1993, 20: 25—40[DOI]
- 27 崔亚平, 胡耀武, 陈洪海, 等. 宗日遗址人骨的稳定同位素分析. *第四纪研究*, 2006, 26(4): 604—611
- 28 Pechenkina A, Ambrose S H, Ma X, et al. Reconstructing northern Chinese Neolithic subsistence by isotopic analysis. *J Archaeol Sci*, 2005, 32: 1176—118[DOI]
- 29 张之恒. 长江中下游稻作农业的起源. *农业考古*, 1995, (1): 206—211
- 30 袁靖. 论中国新石器时代居民获取肉食资源的方式. *考古学报*, 1999, 1: 1—22