论文

青龙泉遗址人和猪骨的 C, N 稳定同位素分析

郭怡^{①②③}, 胡耀武^{②④*}, 朱俊英^⑤, 周蜜^⑤, 王昌燧^{②④}, Michael P. RICHARDS^①^① Department of Human Evolution, Max-Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Deutscher Platz 6, D-04103, Leipzig, Germany;^② 中国科学院研究生院科技史与科技考古系, 北京 100049;^③ 浙江大学人文学院文物与博物馆学系, 杭州 310028;^④ 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所人类演化实验室, 北京 100044;^⑤ 湖北省文物考古研究所, 武汉 430077

* 联系人, E-mail: ywhu@gucas.ac.cn

收稿日期: 2010-02-24; 接受日期: 2010-10-07

中国科学院-德国马普学会伙伴小组项目(编号: KACX1-YW-0830)、中国科学院知识创新工程项目(编号: KJCX3.SYW.N12)、国家自然科学基金(批准号: 40702003)和湖北省文物局南水北调丹江口库区文物保护科研课题资助

摘要 尽管中国有关稻粟混作的研究已有不少报道, 但混作区内稻粟农业在先民生产生活中的地位以及在家畜饲养中的作用, 其发展与文化演进和传播、古环境变化间的内在联系等关键问题, 依然未能很好地解决. 为此, 本文对位于稻粟混作区内的湖北郧县青龙泉遗址出土的人和猪骨(3000~2600 BC 屈家岭文化期和 2600~2200 BC 石家河文化期)进行了 C, N 稳定同位素分析, 试图在揭示他们食物结构的基础上, 探讨稻粟农业在先民和猪食物结构中的地位及其演变过程, 并对稻粟的种植与文化交流以及古环境间的相互关系进行初步探索. 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值位于 -16.7‰ ~ -12.4‰ 之间, 平均值为 $-14.6\text{‰} \pm 1.3\text{‰}$ ($n=24$), 这表明先民的食物中兼具 C_3 和 C_4 类食物. 由于遗址中同时发现了稻(C_3 类植物)粟(C_4 类植物)遗存, 据此我们认为, 稻粟农业均对先民的食物有所贡献, 且粟作农业在先民的生活方式中占次要地位. 先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值为 $9.0\text{‰} \pm 1.2\text{‰}$ ($n=24$), 表明动物类蛋白在先民的食物中占有相当的比例, 但其较大的分布范围(6.6‰ ~ 10.8‰)则表明, 先民的肉食来源存在相当大的差异. 猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 均值($-14.3\text{‰} \pm 2.5\text{‰}$, $n=13$)与先民类似, 而 $\delta^{15}\text{N}$ 均值($7.7\text{‰} \pm 0.6\text{‰}$, $n=13$)稍逊于先民, 表明猪的食物来源与人相近, 其食物中可能含有较多的人类食物残余. 对先民和猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的相关性分析结果显示皆不具有相关性, 暗示先民和猪的食物来源中含有较多的植物类食物, 这很可能与当时较为发达的稻粟混作农业密切相关. 通过不同文化期内先民和猪食物结构的对比分析, 发现粟类食物在石家河文化期人和猪食物中所占比例皆上升 10% 左右, 反映了粟作农业明显加强, 而这种变化与古环境变迁以及南北文化间的交流密切相关. 当气候温暖、降水增加、屈家岭文化北进之时, 稻作盛行; 而在气候变冷、降水减少、北方文化南传之际, 粟作加强.

关键词古食谱
稻粟混作
稳定同位素分析
文化交流
古环境

众所周知, 中国“南稻北粟”即南方以稻作为主、北方以粟作(粟和黍)为主的基本农业格局, 早在新石

器时代就已出现. 在稻作农业和粟作农业各自发展和传播的同时, 两者已开始发生相互交流与碰撞.

英文引用格式: Guo Y, Hu Y W, Zhu J Y, et al. Stable carbon and nitrogen isotope evidence of human and pig diets at the Qinglongquan site, China. *Sci China Earth Sci*, 2011, doi: 10.1007/s11430-011-4170-9

“南北交流,最重要的就是粟与稻的交流,代表北方粟文化与南方稻文化的交流”^[1]. 文化间的交流碰撞是文明产生发展的重要推动力,故此,探索稻粟农业间的相互交流,对于研究文明起源与发展具有极其重要的意义.

目前,通过植物考古研究,如植物果实、种子和植硅体等,是探索稻粟种植的主要方法. 研究表明,7000~5000 BC, 稻作和粟作农业分别在中国南北方出现^[2], 虽然两者之间缺少直接的交流与接触,但中国北方地区已零星分布着一些稻类遗存,如河南贾湖^[3]和山东济南月庄^[4]等遗址(图 1). 5000~3500 BC, 随着北方仰韶文化的繁荣与强盛, 粟作农业进一步发展, 分布范围向南、向东传播至湖北北部和黄淮地区; 与此同时, 南方的原始稻作农业也进一步北传, 在靠近长江汉水流域的关中^[5]、中原部分仰韶文化遗址以及山东部分地区均有所发现^[6], 从而在长江和黄河流域之间一定区域内形成稻粟混作区(图 2). 3500~2000 BC, 随着文化的演进, 稻、粟农业分别在南、北方得到长足发展, 稻粟混作区范围进一步扩大, 在 33°~35°N, 107°~120°E 的广阔范围内形成既有稻作又有粟作的混合农业模式. 例如在陕西扶风案板遗址^[7]、安徽蒙城尉迟寺遗址^[8]、河南郑州大河村遗址^[9]、浙川黄楦树遗址^[10]、湖北枣阳雕龙碑遗址^[11]和湖北郧县青龙泉遗址^[12]等都同时发现了稻粟遗存(图 3).

毋庸置疑,在考古工作者的不懈努力下,中国稻粟混作的基本分布状况正越来越清晰. 然而,研究中存在的一些关键问题,如混作区内稻粟在先民生产

图 1 7000~5000 BC 稻粟遗址分布简图

图 2 5000~3500 BC 稻粟遗址分布简图

图 3 3500~2000 BC 稻粟遗址分布简图

生活中的地位, 稻粟农业对家畜饲养方式的影响, 稻粟农业的发展与文化演进和传播, 以及古环境变化的内在联系等等, 依然未能很好地加以探讨.

发轫于 20 世纪 70 年代末的人骨 C, N 稳定同位素分析, 如今已成为探索农业起源、传播和发展的重要研究方法之一. 根据生物考古理论, 人体骨组织的化学组成直接对应食物中的化学组成. 当人们的食物来源不同时, 骨骼中的稳定同位素组成也就有较大差异. 因此, 分析骨中的稳定同位素组成, 便可揭示先民的食物结构^[13], 进而了解农业的产生与发展状况^[14]. 例如, 根据人骨中 C 同位素的差异, 探讨北美纽约州早期玉米的传播和种植^[15]; 通过对甘肃大地湾遗址出土人和动物骨骼中 C, N 稳定同位素的测定, 了解中国北方粟作农业和家畜饲养业的起源^[16]; 对山东月庄和小荆山遗址^[17]出土人和动物骨骼的稳定同位素分析表明, 7000~5000 BC 黄河流域部分地

区先民已开始食用 C_4 类食物(例如粟); 对河南贾湖遗址^[13]先民骨骼的分析则揭示了淮河流域部分先民已经大量食用 C_3 类食物(包括水稻)。我们对稻粟混作区内河南南阳沟湾遗址(5000~2600 BC)先民的 C, N 稳定同位素进行了分析^[18], 结果表明, 先民从事稻粟混作农业, 但粟作农业在当地先民的生活方式中不占主导地位; 稻作农业于仰韶文化阶段在适宜气候允许的条件下因南北文化交流而北传, 而在屈家岭文化期(早期)受到气候变冷的影响。为进一步探索稻粟混作区内先民和动物的食物结构及其演变过程, 本文以湖北郧县青龙泉遗址出土的人和猪骨为研究对象, 进行 C, N 稳定同位素分析^[19], 在重建屈家岭(3000~2600 BC)至石家河(2600~2200 BC)文化期先民和猪食物结构的基础上, 结合考古资料, 揭示该遗址内稻作和粟作农业在先民生活方式中的地位以及对猪饲养方式的影响, 尝试探讨稻作和粟作农业的种植与文化交流、古环境变迁之间的相互关系。

1 考古学背景

湖北北部自古以来就是黄河和长江文化圈相互交流的重要通道。无论是北方仰韶文化的南传, 还是南方屈家岭和石家河文化的北进, 汉水流域的主干以及随枣走廊都是沟通南北文化的重要通道^[20]。

坐落在汉江北岸的湖北郧县青龙泉遗址即位于此通道上。遗址于 1959~1962 年经历 3 次发掘, 出土物包涵有仰韶、屈家岭和石家河三种文化遗存。大量具有不同考古学文化风格的遗迹和遗物说明此地文化交流密切频繁^[12]。此外, 遗址发现稻壳印痕和粟粒, 表明先民已经种植水稻和粟。南水北调工程开始后, 该遗址再次被发掘, 本文所用骨样即是此次发掘所得样品^[21]。

2 材料与方法

2.1 样品选择

本文研究所用样品全部取自湖北郧县青龙泉遗址, 时间段包括屈家岭(3000~2600 BC)和石家河(2600~2200 BC)文化期, 共取骨样 57 例。其中, 人骨 29 例, 猪骨 28 例。

2.2 骨胶原的制备

依据 Richards 和 Hedges^[22]中骨胶原的提取法进行样品制备。骨样经机械加工去除表面污染后, 取 300~500 mg, 放入 0.5 mol L^{-1} 的 HCl 溶液中, 在 5°C 的环境下静置脱钙, 每隔 2~3 天换新鲜酸液, 直至骨样松软, 溶液无明显气泡为止。去离子水清洗至中性, 在 0.001 mol L^{-1} 的微酸环境下 70°C 明胶化 48 h, 趁热过滤, 经 Millipore Amicon Ultra-4 超滤后收集分子量 $>30 \text{ K}$ 的溶液, 冷冻干燥后获得骨胶原, 称重后, 计算骨胶原产率(骨胶原重量/骨样重量)。

2.3 C, N 稳定同位素的测试与数据分析

在元素分析仪-同位素比值质谱仪(EA-IRMS)上测试骨胶原内 C, N 含量及同位素比值。C 同位素的分析误差为 $\pm 0.1\%$, N 同位素的分析误差为 $\pm 0.2\%$ 。C 同位素的分析结果以相对 V-PDB 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值表示, 而 N 同位素比值相对于空气或空气中的氮气以 $\delta^{15}\text{N}$ (AIR) 表示。

本次实验, 57 个样品中有 39 个提取出骨胶原, 其骨胶原含量、C 和 N 含量、C 和 N 稳定同位素比值如表 1 所示。根据骨胶原提取率(5%)、胶原中 C 含量(15.3%~47.0%)、N 含量(5.5%~17.3%)和 C/N 摩尔比值(2.9~3.6)的判断标准, 我们对样品进行了污染判别^[23~25]。发现样品的骨胶原含量虽较低(均值为 $2.8\% \pm 1.5\%$), 表明大部分骨胶原在长期埋藏过程中已遭到分解, 但其他指标(C 均含量 $44.2\% \pm 0.5\%$, N 均含量 $16.1\% \pm 0.5\%$, C/N 摩尔比均值为 3.2 ± 0.1)皆符合未污染样品的要求, 故而认为所有 39 例样品皆为未污染样品, 可用作稳定同位素分析。

用美国 SPSS16.0 进行数据统计分析, Origin7.0 绘图。

3 结果与讨论

3.1 先民的食物结构

所有人骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图如图 4 所示。数据显示, 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围为 $-16.7\% \sim -12.4\%$, 均值为 $-14.6\% \pm 1.3\%$ ($n=24$), $\delta^{15}\text{N}$ 的变化范围为 $6.6\% \sim 10.8\%$, 均值为 $9.0\% \pm 1.2\%$ ($n=24$)。

已有的考古资料表明, 青龙泉遗址同时出土了稻和粟的植物遗存^[12]。据此, 我们推测, 先民的食物

表 1 样品测试值

时代	种类	样品号 ^{a)}	骨胶原含量(%)	C(%)	N(%)	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	C/N(摩尔比)
屈家岭	人	M155	3.5	44.5	16.3	-15.3	9.9	3.2
		M190	4.6	43.8	16.5	-15.9	9.2	3.1
		M157E	2.2	44.0	16.6	-16.5	10.1	3.1
		M79	5.4	44.6	17.0	-14.1	6.8	3.1
		M184	2.0	43.9	16.2	-16.1	9.2	3.2
		M157W	6.2	44.6	16.8	-15.5	9.8	3.1
		M162	2.2	43.9	15.8	-16.7	9.9	3.2
	猪	M162	0.9	43.3	15.4	-20.8	8.9	3.3
		H478	1.7	44.4	15.3	-17.5	7.8	3.4
		H667	2.7	44.6	16.1	-17.4	7.8	3.2
		M163B	0.9	43.7	16.3	-13.9	7.4	3.1
		H463A	3.8	44.3	15.6	-13.9	7.1	3.3
		H595	2.3	44.5	16.0	-13.4	7.9	3.3
		H463B	3.8	44.6	16.5	-11.7	7.5	3.2
石家河	人	M132	4.5	44.8	16.6	-12.9	8.5	3.2
		M69	0.9	44.6	16.6	-12.4	9.9	3.1
		M110A	5.4	45.1	16.4	-13.1	9.2	3.2
		M78	3.9	44.7	16.9	-14.7	8.2	3.1
		M67	3.0	43.9	15.8	-12.9	9.4	3.3
		M127	1.4	43.9	15.5	-13.7	8.2	3.3
		M187	3.6	44.0	15.9	-15.3	9.2	3.2
		M110B	0.3	44.0	16.7	-14.2	9.6	3.1
		M133	3.7	42.9	15.1	-14.6	6.6	3.3
		M139	2.2	43.6	16.0	-15.4	9.7	3.2
		M128	4.0	43.9	16.6	-13.6	8.9	3.1
		M145	4.5	43.6	16.6	-15.9	10.8	3.1
		M158	5.1	44.5	16.8	-14.0	9.5	3.1
		M124	3.1	43.6	16.2	-14.3	6.7	3.1
		M118	1.8	44.4	16.1	-15.7	9.2	3.2
		M98	1.6	44.0	15.9	-15.4	7.1	3.2
		M148	0.4	45.4	17.0	-13.0	10.4	3.1
	猪	M148B	0.3	43.3	15.2	-12.0	7.6	3.3
		H590	1.6	44.1	15.4	-13.7	6.1	3.3
		H576	2.9	44.4	16.1	-16.3	4.7	3.2
		H579	2.0	43.8	15.2	-13.0	8.0	3.4
		H546B	2.3	44.6	16.2	-11.0	8.3	3.2
		H578	3.0	44.6	15.8	-13.2	8.2	3.3
不确定	猪	TS1A	2.7	43.9	15.8	-17.2	7.9	3.2
		TS1B	1.5	44.5	15.8	-18.5	8.0	3.3

a) 取自同一墓葬和灰坑中的不同个体, 用 A 和 B 标记; 其中 M157 为双人合葬墓, M157E 为东边个体, M157W 为西边个体

中很可能同时包含这两种农作物. 由于稻是一种典型的 C_3 类植物, 而粟则为典型的 C_4 类植物, 两者在 $\delta^{13}\text{C}$ 值上表现出非常明显的差异. 当人类或动物摄取了稻或粟时, 这种差异也就在骨中得以保留. 因此, 通过人或动物骨中的 C 同位素, 就可了解当时的农业类型^[26], 揭示稻粟农业在先民或动物食物结构中的地位.

现代粟的 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -11.7‰ ^[27], 现代稻的 $\delta^{13}\text{C}$

值约为 -26.1‰ ^[28], 考虑到化石燃烧对现代大气的影响(1.5‰ ^[29]), 中国新石器时代粟的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值应为 -10.2‰ , 稻的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值应为 -24.6‰ . 在理想状态下, 纯以小米为生的新石器时代先民(猪), 在消化吸收粟时, C 同位素发生分馏效应(从食物至骨胶原富集率约 5‰ ^[30]), 若不考虑营养级对 C 同位素的影响(富集率约 1‰ , 常忽略不计), 则其骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -5.2‰ . 同理可以推测, 纯以水稻为生的古代先民

图4 人骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图

(猪), 其骨胶原 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -19.6‰ (图4)。

由青龙泉遗址人骨 $\delta^{13}\text{C}$ 值数据($-16.7\text{‰}\sim-12.4\text{‰}$)可以看出, 先民的食物中兼具 C_3 和 C_4 类食物。若以 -24.6‰ 和 -10.2‰ 分别代表古稻、粟的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 按照简单二元混合模型(two-end member mixing model)^[31-34], 即可估算稻、粟食物分别在先民食谱中所占的大致比例。以粟的贡献来看(包括粟以及以粟为食的家畜等), 其在先民食谱中所占比例仅为 $20.1\%\sim50.0\%$, 平均值为 $34.5\%\pm8.7\%$ ($n=24$)。由此可以看出, C_4 类(粟类)食物在先民的生活方式中不占主要地位, 先民主要以 C_3 类食物(主要是水稻)为食。对比以粟作农业为主的姜寨和史家遗址($\delta^{13}\text{C}$ 均值为 $-10.3\text{‰}\pm1.5\text{‰}$, $n=14$)^[28]以及以稻作农业为主的三星村遗址($\delta^{13}\text{C}$ 均值为 $-20.1\text{‰}\pm0.2\text{‰}$, $n=19$)^[33], 青龙泉遗址先民 $\delta^{13}\text{C}$ 值(均值为 $-14.6\text{‰}\pm1.3\text{‰}$, $n=24$)表现出较大差异, 而与邻近的沟湾遗址先民相近($\delta^{13}\text{C}$ 均值为 $-14.3\text{‰}\pm1.9\text{‰}$, $n=41$)^[18]。可以看出, 这应与两遗址先民均种植稻、粟密切相关。

与 C 同位素不同, N 同位素在沿营养级上升时, 存在着明显的富集现象, 即每上升一个营养级, $\delta^{15}\text{N}$ 值就增加 $3\text{‰}\sim5\text{‰}$ ^[35], 故此利用 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 就可判断人或动物所处的营养级。虽然不同环境条件下 $\delta^{15}\text{N}$ 值有一定的变化, 但一般认为, 杂食类动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值约为 $7\text{‰}\sim9\text{‰}$, 而食肉类则常大于 9‰ ^[36]。总体而言, 本遗址先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值为 $9.0\text{‰}\pm1.2\text{‰}$ ($n=24$), 比沟湾遗址($\delta^{15}\text{N}$ 均值为 $8.3\text{‰}\pm1.1\text{‰}$, $n=41$)略高, 但要低于以渔猎为主要获取肉食资源方式的三星村遗址($\delta^{15}\text{N}$ 均值为 $9.7\text{‰}\pm0.3\text{‰}$, $n=19$), 表明青龙泉遗址先

民食物中动物类资源相对较高。

先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围很大, 反映出先民动物类食物来源存在相当大的差异。根据 7‰ 和 9‰ 的杂食和肉食动物平均 $\delta^{15}\text{N}$ 值将先民分为三类。其中, 先民 $\delta^{15}\text{N}$ 值高于 9‰ 的共有16例(屈家岭文化期6例、石家河文化期10例), 占有样品的66.7%。这些先民肉食摄入较多, 很可能也摄取了一定量的鱼类^[37]。遗址考古发掘出较多捕鱼工具和鱼骨^[12], 也能为此推断提供有力佐证。 $\delta^{15}\text{N}$ 值处于 $7\text{‰}\sim9\text{‰}$ 的5例(石家河文化期5例), 则可能更多地以采集或农业为生, 肉食摄入相对较少。 $\delta^{15}\text{N}$ 值低于 7‰ 的3例(屈家岭文化期1例、石家河文化期2例), 则基本依赖于采集或农业为生, 极少摄入肉食。先民肉食来源产生较大差异的原因, 我们认为可能有三点: 首先, 青龙泉遗址位于“随枣走廊”, 为沟通南北的交通要道, 先民南来北往, 人员流动和迁徙的可能性很大; 其次, 先民在食物来源的选择中存在较大的个体差异; 再次, 虽然青龙泉遗址的古环境研究没有明确结果, 但从现代环境来看, 遗址依山傍水^[12], 环境复杂, 具有生物多样性, 可能为先民的多种食物来源提供了物质基础。此外, 我们正在开展硫同位素分析^[38], 以期为进一步探索先民食物结构的内在差异以及迁徙活动提供更多的科学证据。

3.2 猪的食物结构

所有猪骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图如图5所示。样品M162($\delta^{13}\text{C}$ 值为 -20.8‰ , $\delta^{15}\text{N}$ 值为 8.9‰)C, N同位素比值与大部分样品迥异, 表明其食物来源明显有别于其他猪。根据马普进化人类学研究所人类进化系Laura Niven博士的鉴定结果, 其为一头成年猪。据此推测, 此猪很可能不在当地饲养, 而来源于其他地方。此外, 样品H576的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(-16.3‰)虽与其他样品相似, 但其 $\delta^{15}\text{N}$ 值(4.7‰)却最低, 与先民的 $\delta^{15}\text{N}$ 均值($9.0\text{‰}\pm1.2\text{‰}$, $n=24$)差异最大, 表明该猪与先民的关系最为疏远, 很有可能为野猪。遗址墓葬出土猪骨的形态学鉴定结果指出, 该遗址墓葬随葬猪骨绝大部分属于家猪, 但也存在有少量的野猪个体^[39]。显然, 探讨稻粟混作对家畜饲养的作用, 应排除出土于M162和H576的猪。

其余猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均落在 $-18.5\text{‰}\sim-11.0\text{‰}$ 范围内, 均值为 $-14.3\text{‰}\pm2.5\text{‰}$ ($n=13$); $\delta^{15}\text{N}$ 的变化范围为 $6.1\text{‰}\sim8.3\text{‰}$, 均值为 $7.7\text{‰}\pm0.6\text{‰}$ ($n=13$)。如前所述,

图5 猪骨胶原的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图

青龙泉遗址同时存在着稻作和粟作农业, 且绝大部分猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也位于 C_3 和 C_4 类之间, 这表明猪的食物来源很有可能与先民饲喂的农业副产品密切相关^[40]. 此外, 以粟类的贡献来看, 其在猪食谱中所占比例仅为 $36.8\% \pm 17.2\%$, 与先民极为相似, 表明粟类食物在猪的食物中占次要地位. 从 $\delta^{15}\text{N}$ 值来看, 猪的均值仅比人($9.0\% \pm 1.2\%$)低 1.3% , 表明两者的关系十分密切, 很有可能猪的食物中包含了大量人类食物残余^[41].

3.3 先民和猪 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的相关性

研究指出, 骨胶原中的C主要来自于食物中的蛋白质部分, 而N同位素值主要反映了食物中的动物蛋白, 因此, 通过对先民或动物 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值相关性的分析, 可望进一步探索先民的食物来源^[33].

屈家岭文化期, 先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 似乎呈现显著的负相关($r = -0.806$, $P = 0.029 < 0.05$, $n = 7$). 然而, 仔细观察后不难发现, 样品M79具有最低的 $\delta^{15}\text{N}$ 值(6.8%), 严重影响了总体相关性的分析. 去除该样品后, 其余先民的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 就不具有明显的相关性($r = -0.142$, $P = 0.789 > 0.05$, $n = 6$). 猪在去除样品M162后, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值也不具有相关性($r = -0.439$, $P = 0.384 > 0.05$, $n = 6$).

石家河文化期, 先民 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间不相关($r = -0.118$, $P = 0.653 > 0.05$, $n = 17$). 猪在去除样品H576后, $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值也不相关($r = 0.578$, $P = 0.308 > 0.05$, $n = 5$).

总体上, 所有的人和猪相关性分析结果都显示

$\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间不具有相关性, 暗示先民和猪的食物来源中含有较多的植物类食物, 这很有可能与当时较为发达的稻粟混作农业经济模式密切相关.

3.4 先民和猪食物结构在不同文化期内的变化

通过上文分析并结合考古资料, 可以看出: 青龙泉遗址的先民(猪), 在屈家岭和石家河文化期皆以 C_3 类(包括水稻)和 C_4 类(粟)食物混合为食, 即先民兼种稻粟. 而对不同文化期内人和猪骨中C, N稳定同位素值进行比较分析, 则可望进一步揭示先民对稻粟的种植是否在不同文化期内存在明显变化.

图6为不同文化期人和猪(异常值除外)的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 标准误差棒图. 由图可以看出, 不同文化期人与人、猪与猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异较大, 而 $\delta^{15}\text{N}$ 值却相差甚小. 独立样本T检验统计分析进一步显示, 不同文化期人的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 差异显著($t = -3.286$, $P = 0.003 < 0.05$), 而家猪则不存在显著性差异($P = 0.104 > 0.05$); 在 $\delta^{15}\text{N}$ 值上人和猪, 均不显示显著性差异(人 $P = 0.482 > 0.05$, 猪 $P = 0.887 > 0.05$). 这表明不同文化期内, 先民的食物尤其是植物类食物, 存在相当大的变化.

由图6可见, 无论是先民还是猪, 从屈家岭文化期至石家河文化期, $\delta^{13}\text{C}$ 值均明显偏向 C_4 类方向. 屈家岭文化期, 粟在先民食谱中的贡献率为 26.9% , 在猪食谱中的贡献率为 34.5% ; 至石家河文化期, 此比例均上升约 10% 左右(人 37.6% , 猪 48.8%). 显然, 粟类食物在先民和猪的食物中所占比例均有所增加, 表明粟作农业对先民生活方式以及猪的饲喂方式影

图6 人骨及猪骨 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 标准误差棒图

响逐渐增强。

比较同一文化期内人和猪 $\delta^{13}\text{C}$ 值(异常值除外), 发现屈家岭文化期不存在显著性差异($P=0.317>0.05$), 石家河文化期差异显著($t=-2.863$, $P=0.010<0.05$)。对比均值, 猪比人似更偏向于 C_4 类食物, 暗示先民在饲喂猪时更倾向于粟类产品, 且这种现象在石家河文化期更为明显。究竟为何出现这种现象, 目前尚缺乏一个合理的解释, 需要在今后的研究中加以深入探索。

3.5 先民(猪)食物结构的变化与古环境变迁以及文化传播间的相互关系

如前所述, 先民及猪的食物在不同文化期内发生了较为明显的变化, 而这种变化显然与先民对稻粟种植的选择紧密相连。那么, 先民对稻粟种植的抉择, 是否与古环境变迁以及南北文化的传播与交流密切相关呢?

根据郭立新等^[42,43]对长江中游全新世早中期气候变化的研究, 该地区大溪文化晚期至屈家岭文化早期出现冷锋; 屈家岭文化晚期至石家河文化早期气候变暖, 降水增加; 从石家河文化中期偏晚开始, 气候又开始恶化, 气温下降, 降水减少。同时, 根据考古研究, 在距今 5000 年前后, 屈家岭文化曾强势北进^[44,45], 其影响范围到达河南南阳盆地及陕西境内, 尤其是在屈家岭文化占据了随枣走廊之后, 青龙泉遗址所在区域已经位于屈家岭文化辐射区内, 成为其向西北发展进入南阳盆地的必经之路。而在石家河文化时期, 中原龙山文化表现出了强劲的南进势头, 开始对长江中游地区进行渗透, 尤其是在石家河文化晚期^[46]。高崇文先生研究指出: “大洪山以南、汉水以东以天门石家河文化为代表的文化区..., 到了晚期...不论是器形、纹饰、陶色以及制法均与石家河早中期的文化系统有别, 而与河南龙山文化晚期者几乎没有区别, 显然是一种新的文化系统的突然进入。”北方中原龙山文化南传, 主要传播路线依然要经过汉水及随枣走廊, 这就必然会对青龙泉遗址所在地区有一定的影响^[20]。

通过对青龙泉遗址先民(动物)食物结构的重建和分析, 可以看出, 尽管该地区一直属于稻粟混作区, 但在气候变暖、降水增加和屈家岭文化北进之际, 稻的种植更加普遍, 在本地区人和猪的食谱结构中占据了极为重要的地位, 成为他们主要的食物来源。而

始自石家河文化中期, 随着气候变冷、降水减少和北方文化的南传, 粟在先民和猪食物结构中的地位显著提高。而在青龙泉遗址屈家岭和石家河文化时期, 先民的食物中始终以 C_3 类食物为主, C_4 类不占主导, 表明稻作农业一直是先民的首要选择。

通过对稻粟混作区内沟湾遗址^[18]以及青龙泉遗址先民的稳定同位素分析可以看出, 尽管先民同时种植稻粟, 但粟作农业始终在先民的生活方式中居于次要地位, 以稻作农业为主的南方文化则颇为强盛; 在从仰韶文化至屈家岭文化直至石家河文化的文化演进过程中, 稻粟混作区内先民对稻粟的种植和选择, 自始至终与本地区内古环境的变化以及南北文化的交流碰撞和此进彼退紧密相连。由此可见, 分析遗址不同文化期内先民(家猪)的食谱, 可为研究古环境的变迁、南北文化的交流和农业的传播提供更为科学的佐证。

4 结论

本文对稻粟混作区内青龙泉遗址屈家岭和石家河文化期人骨和猪骨进行了 C, N 稳定同位素分析, 研究结果表明:

(1) 整体上先民(猪)以 C_3 类(包括水稻)和 C_4 类(粟)食物混合为食, 以 C_3 类食物为主, 粟类为辅。先民 $\delta^{15}\text{N}$ 均值为 $9.0\text{‰} \pm 1.2\text{‰}$ ($n=24$) 且变化范围很大, 表明食物来源多种多样, 其中动物资源所占比例相对较高; 猪的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与人相似, 但 $\delta^{15}\text{N}$ 均值比人低 1.3‰ , 表明猪食物中包含大量人类食物残余, 和人类关系十分密切。

(2) 先民和猪 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的相关性分析结果显示 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值之间皆不具有相关性, 暗示先民和猪的食物来源中含有较多的植物类食物, 这很可能与当时较为发达的稻粟混作农业密切相关。

(3) 从屈家岭文化期至石家河文化期, 先民的食物来源构成有变化, 粟类食物在先民和猪的食物中所占比例均有增加(10%左右), 粟作农业对先民的生活方式以及猪的饲喂方式影响逐渐增强。

(4) 先民食物结构的变化, 与古环境变迁和南北文化交流密切相关。气候温暖、降水增加、屈家岭文化北进之际, 种稻普遍; 而气候变冷、降水减少、北方文化南传时期, 粟作农业则得到加强。

最后, 需要指出的是, 尽管本文对屈家岭和石家河文化期先民(猪)骨骼进行了稳定同位素分析, 探讨了其食物结构和变化, 但由于缺少仰韶文化时期及其他种类动物的样品, 先民(猪)总的食物结构的转变

过程尚不是很明朗, 需要在今后的工作中进一步加强. 此外, 稻粟混作区内稻粟的种植与文化传播及古环境间的相互关系, 非常复杂, 我们在此仅仅作了初步的分析探讨, 尚需今后进一步加以细致研究.

致谢 取样过程中受到湖北省文物考古研究所李桃元副所长的热情帮助; 实验及文章写作过程中受到中国科学院研究生院科技史与科技考古系宋国定和杨益民等老师的关怀和指导, 马颖、张国文、陶大卫和汪丽华等学生的大力支持; 两位匿名专家审稿时提出宝贵意见; 特此一并致谢.

参考文献

- 1 王星光, 徐栩. 新石器时代粟稻混作区初探. 中国农史, 2003, 22: 3-9
- 2 陈文华. 中国原始农业的起源和发展. 农业考古, 2005, (1): 8-15
- 3 陈报章, 张居中, 吕厚远. 河南贾湖新石器时代遗址水稻硅酸体的发现及意义. 科学通报, 1995, 40: 339-342
- 4 Crawford G W, 陈雪香, 王建华. 山东济南长清区月庄遗址发现后李文化时期的碳化稻. 见: 山东大学东方考古研究中心, 编. 东方考古(第3辑). 北京: 科学出版社, 2006. 247-250
- 5 黄河水库考古队华县队. 陕西华县柳子镇考古发掘简报. 考古, 1959, (2): 71-75
- 6 刘贵娥, 向安强. 史前“南稻北粟”交错地带及其成因浅析. 农业考古, 2005, (1): 115-122
- 7 谢伟. 案板遗址灰土中所见的农作物. 见: 西北大学文博学院考古专业. 扶风案板遗址发掘报告. 北京: 科学出版社, 2000. 286-289
- 8 王增林, 吴加安. 尉迟寺遗址硅酸体分析——兼论尉迟寺遗址史前农业经济特点. 考古, 1998, (4): 87-93
- 9 郑州市博物馆. 郑州大河村遗址发掘报告. 考古学报, 1979, (3): 301-375
- 10 长江流域规划办公室考古队河南分队. 河南淅川黄楸树遗址发掘报告. 华夏考古, 1990, (3): 1-69
- 11 中国社会科学院考古研究所. 枣阳雕龙碑. 北京: 科学出版社, 2006. 345-346
- 12 中国社会科学院考古研究所. 青龙泉与大寺. 北京: 科学出版社, 1991. 201-205
- 13 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: 94-101
- 14 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
- 15 Vogel J C, van der Merwe N J. Isotopic evidence for early maize cultivation in New York State. Am Antiquity, 1977, 42: 238-242
- 16 Barton L, Newsome S D, Chen F H, et al. Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106: 5523-5528
- 17 Hu Y, Wang S, Luan F, et al. Stable isotope analysis of humans from Xiaojingshan site: Implications for understanding the origin of millet agriculture in China. J Archaeol Sci, 2008, 35: 2960-2965
- 18 付巧妹, 靳松安, 胡耀武, 等. 河南淅川沟湾遗址农业发展方式和先民食物结构变化. 科学通报, 2010, 55: 589-595
- 19 Abrantes K, Sheaves M. Food web structure in a near-pristine mangrove area of the Australian Wet Tropics. Estuar Coast Shelf Sci, 2009, 82: 597-607
- 20 马保春, 杨雷. 新石器时代晚期鄂豫陕间文化交流通道的初步研究. 江汉考古, 2007, (2): 42-51
- 21 朱俊英. 为配合南水北调工程建设青龙泉遗址发掘取得重要收获. 中国文物报, 2006, 3: 21
- 22 Richards M P, Hedges R E M. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by Late Mesolithic humans at sites along the Atlantic coast of Europe. J Archaeol Sci, 1999, 26: 717-722
- 23 Hedges R E M. Bone diagenesis: An overview of processes. Archaeometry, 2002, 44: 319-328
- 24 Ambrose S H. Preparation and characterisation of bone and tooth collagen for stable isotope analysis. J Archaeol Sci, 1990, 17: 431-451
- 25 DeNiro M J. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. Nature, 1985, 317: 806-809
- 26 Bocherens H, Drucker D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: Case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. Int J Osteoarchaeol, 2003, 13: 46-53
- 27 McGovern P E, Zhang J, Tang J, et al. Fermented beverages of pre- and proto-historic China. Proc Natl Acad Sci USA, 2004, 101: 17593-17598
- 28 Pechenkina E A, Ambrose S H, Ma X, et al. Reconstructing northern Chinese Neolithic subsistence practices by isotopic analysis. J

- Archaeol Sci, 2005, 32: 1176–1189
- 29 Marino B D, McElroy M B. Isotopic composition of atmospheric CO₂ inferred from carbon in C₄ plant cellulose. *Nature*, 1991, 349: 127–131
- 30 DeNiro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta*, 1978, 42: 495–506
- 31 Schwarcz H P. Some theoretical aspects of isotope paleodiet studies. *J Archaeol Sci*, 1991, 18: 261–275
- 32 Emery K F, Wright L E, Schwarcz H. Isotopic analysis of ancient deer bone: Biotic stability in collapse period Maya land-use. *J Archaeol Sci*, 2000, 27: 537–550
- 33 胡耀武, 王根富, 崔亚平, 等. 江苏金坛三星村遗址先民的食谱研究. *科学通报*, 2007, 52: 85–88
- 34 张雪莲, 王金霞, 冼自强, 等. 古人类食物结构研究. *考古*, 2003, (2): 62–75
- 35 Hedges R E M, Reynard L M. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *J Archaeol Sci*, 2007, 34: 1240–1251
- 36 Ambrose S H. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial foodwebs. *J Archaeol Sci*, 1991, 18: 293–317
- 37 Richards M P, Schulting R J, Hedges R E M. Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature*, 2003, 425: 366
- 38 Fornander E, Eriksson G, Lidén K. Wild at heart: Approaching Pitted Ware identity, economy and cosmology through stable isotopes in skeletal material from the Neolithic site Korsnäs in Eastern Central Sweden. *J Anthropol Archaeol*, 2008, 27: 281–297
- 39 罗运兵, 陶洋, 朱俊英, 等. 青龙泉遗址墓葬出土猪骨的初步观察. *江汉考古*, 2009, (3): 58–65
- 40 胡耀武, 栾丰实, 王守功, 等. 利用 C, N 稳定同位素分析法鉴别家猪与野猪的初步尝试. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38: 693–700
- 41 管理, 胡耀武, 汤卓炜, 等. 通化万发拨子遗址猪骨的 C, N 稳定同位素分析. *科学通报*, 2007, 52: 1678–1680
- 42 郭立新. 长江中游地区新石器时代自然环境变迁研究. *中国历史地理论丛*, 2004, 19: 5–16
- 43 施雅风, 孔昭宸, 王苏民. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. *中国科学 B 辑*, 1992, 22: 1300–1308
- 44 樊力. 论屈家岭文化青龙泉二期类型. *考古*, 1998, (11): 76–89
- 45 孙广清. 河南境内的大汶口文化和屈家岭文化. *中原文物*, 2000, (2): 22–28
- 46 王红星. 石家河文化形成和发展过程中的外力作用问题. 见: 中国考古学会, 主编. 中国考古学会第九次年会论文集. 北京: 文物出版社, 1997. 151–160