

四川大邑县高山古城遗址宝墩文化先民 牙本质序列的碳氮稳定同位素分析*

易冰 (中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室 中国科学院
古脊椎动物与古人类研究所 中国科学院大学考古学与人类学系)
刘祥宇 (成都文物考古研究院)
原海兵 (四川大学历史文化学院 四川大学考古学实验教学中心)
胡耀武 (复旦大学科技考古研究院 中国科学院大学考古学与人类学系)
陈剑 周志清 (成都文物考古研究院)

摘要: 通过对成都平原新石器时代晚期(约4500BP)高山古城遗址出土人骨和牙齿进行稳定同位素分析,重建个体层面上先民的生活史,以及断奶行为、生活方式等重要信息。人骨同位素数据($\delta^{13}\text{C}$: -19.6‰ ~ -18.0‰)表明,该人群主要以C₃类食物为食,这应当与当时较为发达的稻作农业相关。然而,该群体的个体牙本质序列的同位素数据($\delta^{13}\text{C}$: -19.6‰ ~ -15.0‰)较骨骼更高,显然这是因为C₄类食物(粟黍作物)在其先民断奶过程和童年早期起到了重要作用。此外,个体牙本质序列氮稳定同位素比值的趋势,显示总体上先民的断奶行为在2.5~4岁之间完成。这一研究成果,为探讨稻粟混作区的粟作农业在先民生活方式中的重要地位以及其向南方传播和扩散的进程提供了新的研究视角。

关键词: 高山古城; 牙本质序列; 碳氮稳定同位素分析; 稻粟混作区; 粟作农业

Abstract: Here we present results of a pilot project that measured $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in bone collagen (ribs and femora) as well as dentin serial sections to examine individual dietary life histories Gaoshan Ancient City site(高山古城) located on the Chengdu Plain in Sichuan Province, China. The isotopic data of the bones indicate that humans consumed C₃-based foods, which corresponds to the dominance of rice agriculture in this region. However, the isotopic data of the dentin serial sections of five individuals display much more positive $\delta^{13}\text{C}$ values than those of the bones, strongly suggesting that millets (a C₄ crop) contributed substantially to human diets during the weaning process and early childhood. Furthermore, the isotopic profiles of dentin sections of the first molars and canines demonstrate that the cessation of weaning was individually variable and completed between 2.5 to 4 years of age. While limited in scope, this pilot study offers new evidence of millet consumption during human growth and development even though individuals relied on rice exclusively as adults. Moreover, our study provides another perspective with which to rethink the role that millets played during the development and spread of millet agriculture to the south of China in terms of cultural exchange and migration.

Key Words: Gaoshan Ancient City; Serial sampling; Carbon and nitrogen isotope analysis; rice-millet mixed-cultivation area, millet agriculture

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“多稳定同位素示踪黄牛家养化的文化特征: 以陕西关中地区为例”(项目编号: 41373018)“步氏巨猿的摄食行为及对其演化和灭绝的潜在影响”(项目编号: 417773008)和国家社会科学基金一般项目“高山古城宝墩文化人类骨骼考古研究”(项目编号: 19BKG038)。

一 引言

本文拟以成都平原新石器时代晚期（约4500BP）高山古城遗址出土的人骨和牙齿为研究对象（图一），通过对个体的牙齿序列以及同一个体肋骨和肢骨的碳、氮稳定同位素分析，重建个体的生活史，揭示个体的哺乳、断奶行为以及童年时期的生存方式，探讨不同作物（稻和粟）在个体生长发育过程中的地位和作用。

二 稳定同位素分析原理简介与取样方法

由于光合作途径的不同，自然界的植物可主要分为 C_3 和 C_4 植物。两类植物在固碳过程中，碳稳定同位素分馏系数存在较大差异，^[1]造成二者的 $\delta^{13}C$ 值差异较大。由此，利用 $\delta^{13}C$ 值，即可对基于两种植物为底层的食物链上的动物或人类进行区分。^[2]此外，由于海水中的二氧化碳更富集 ^{13}C ， $\delta^{13}C$ 值也可用于区分海洋和陆地食物。^[3]对氮稳定同位素而言， $\delta^{15}N$ 值沿食物链上升时逐步富集，每上升一个营养级大约增加3~5‰。^[4]因此， $\delta^{15}N$ 值可用于揭示动物或人类营养级别，了解它们的食物是否来自陆地、淡水和海洋资源。^[5]

目前，稳定同位素分析中的研究材料，主要是动物或人类遗留的硬组织，即骨和牙齿。对于骨骼而言，其在个体的生命周期中不断更新，并且不同种类或部位的骨骼更新速率，也存在一定

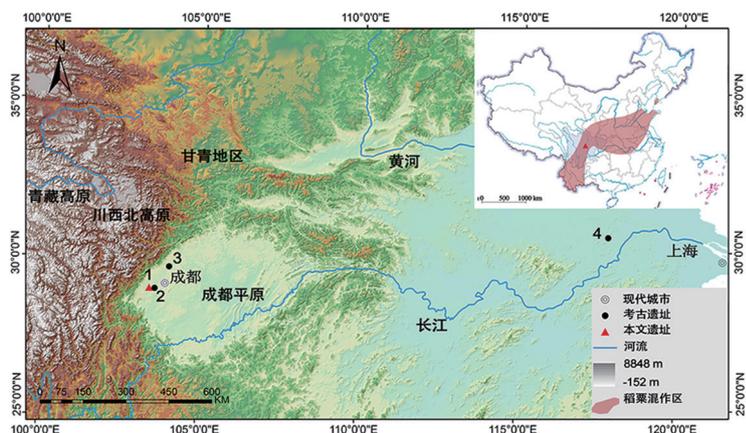
差异。例如，皮质骨（如股骨）中的化学组成完全发生替换，至少需要10年；^[6]而松质骨（如肋骨）则明显较短，在2~5年即可完成。^[7]因此，对具有不同更新速率的骨骼进行取样，通过其稳定同位素数据的比较，就可释读该个体死亡前的食物来源变化及可能的迁徙活动。

近年来，根据上述原理探讨古代儿童哺乳断奶行为及童年时期食物结构的研究，已方兴未艾。^[8]研究显示，纯母乳喂养婴儿的头发和指甲角蛋白，其 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 值较母亲分别富集1‰和2~3‰。^[9]随着断奶过程的开始和辅食的摄入，两者之间的差异逐渐减小，直至母乳喂养完全停止。因此，通过比较未成年群体与成年群体（近似代表其母亲）骨骼的稳定同位素值，就可揭示群体的断奶模式和童年时期的食物结构。^[10]

与骨骼不断更新相反，牙齿自形成之后就保持恒定。^[11]故此，牙釉质或牙本质的稳定同位素比值，提供了个体在牙齿形成期间的食物结构信息。^[12]恒齿在个体出生后即开始生长发育，并在不同年龄段（8~20岁）停止发育。具体的停止发育时间，依牙齿类型不同而存在差异。^[13]例如，第一磨牙在出生后不久就开始形成，并在9~10岁完成发育；^[14]而第二磨牙形成于3~4岁，并在15岁左右完成发育。^[15]假设牙本质的发育速度较为平均，^[16]对牙本质进行序列取样，则每个序列的牙本质部分，就对应于牙齿生长期间的某一个特定时期。因此，通过牙本质序列的稳定同位素分析，就可在较高时间分辨率下（小于1年）重建个体从出生到青春期的生活史。

三 遗址考古背景

成都平原地处中国西南，位于黄河上游与长江中游之间（图一）。特殊的地理环境使其成为南方稻作农业向北扩散和北方粟作农业向南传播的地理通道和文化缓冲区。^[17]该地区的考古学文化序列和对应的农业类型，如表一所示。



图一 遗址地理位置图

1. 高山古城 2. 宝墩 3. 桂圆桥 4. 薄阳城

注：红色阴影表示稻粟混作区（采自《The Holocene》2017年第12期）

高山古城遗址位于四川大邑县,是川西北高原向成都平原过渡的前沿地带(图一),面积约34.4万平方米,于2003年由成都文物考古研究所调查发现。^[22]2015~2016年,成都文物考古研究所对该遗址展开了第一次正式发掘,发掘面积800平方米,发现了新石器时代(宝墩文化)墓葬89座、人祭坑1座、灰坑86座、灰沟12条,发现大量人工制品如陶器、石器、骨器、玉器等。^[23]虽然该遗址的测年尚未完成,但根据墓葬出土的器物类型可以判断,墓葬年代属于宝墩文化一期,即距今约4500年。由此,该遗址出土的人骨,迄今为止在成都平原年代最早。^[24]

目前,出土人骨,尤其是头骨的形态学研究,初步表明先民中可能存在着不同的族源。^[25]此外,该遗址还发现了大量的动植物遗存,包括水稻(*Oryza sativa*)、薏苡(*Coix lacrym-jobi* L.)、粟(*Setaria italica*)、黍(*Panicum miliaceum*)、苍耳(*Xanthium sibiricum* Patr. ex Widder)、豇豆(*Vigna unguiculata* (Linn.) Walp.),以及猪、狗、鹿和鱼等,其中水稻和猪发现最多。^[26]目前,该遗址的植物和动物考古的系统性研究尚未展开。但在距高山古城遗址约22千米处的与本遗址同时期的宝墩遗址(图一),先民以稻作农业为主,粟作农业为辅(表一)。^[27]

四 材料和方法

(一) 材料

本研究选取了高山古城遗址中12个个体的股骨、肋骨以及牙齿为材料。参照White和朱泓提出的方法鉴定了每个个体的年龄和性别。^[28]各样品的具体信息,包括考古学背景和人类学资料,见表二。

(二) 骨胶原制备与测试

根据Beaumont等的研究方法提取了牙本质序列胶原蛋白;^[30]参考Richards和Hedges的研究方法提取了

骨胶原。^[31]样品的前处理,均在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所脊椎动物演化与人类起源重点实验室进行。其具体过程为:首先机械地除去样品内外表面污染物质,并超声冲洗以进一步清洁。考虑到牙齿保存状况不佳,机械地剥离牙釉质与牙本质会对样品造成二次破坏,因此直接将牙釉质溶于酸性溶液。将样品(骨骼和牙齿)放入0.5M HCl溶液中,在4℃下放置约2周,酸液每1~2天更新一次,直至无气泡产生。用去离子水将样品漂洗至中性后,放置在4℃下,0.125M NaOH溶液中浸泡约20小时。再次冲洗至中性后,分开处理骨骼和牙齿。对于牙齿,首先去除次级牙本质(在牙齿发育完成后,沉积在牙髓腔内的继发性牙本质),再用无菌手术刀将牙本质横向切成1mm的序列。然后,将牙齿切片和骨残留物置于0.01M的HCl溶液中,70℃下明胶化24小时。对于骨骼,溶液需进一步热滤。最后,将所有的溶液冷冻并干燥得到胶原。最后称重,计算骨胶原产率。

胶原的碳、氮元素含量及稳定同位素比值,在中国科学院大学考古学与人类学系稳定同位

表一 成都平原考古文化序列^[18]

文化	年代	典型遗址	农业类型	参考文献
桂圆桥文化	5100~4600BP	桂圆桥一期	粟作农业	[19]
宝墩文化	4600~4000BP	宝墩、高山古城	稻粟混作	[20]
三星堆文化	4000~3100BP	三星堆	稻粟混作	[21]
十二桥文化	3100~2600BP	十二桥、金沙	稻作农业	

表二 样品年龄、性别信息

个体	墓葬编号	年龄(年)	性别	样品部位	近似所代表时间段(年)
A~L	-	-	-	骨骼	死前~10年
A~L	-	-	-	肋骨	死前~2至5年
A	M6	~30	女	RC ₁	0.9~13
B	M86	~30至40	女	RM ₂	2.5~15.5
C	M87	~20至30	男	RM ₂	2.5~15.5
D	M38	~30至40	男	RM ₁	0.3~10
E	M40	~12至15	?	RM ₁	0.3~10
F	K1	~35至40	女	RM ₂	2.5~15.5
G	M8	~20至30	女	RM ₁	0.3~10
H	M25	~5	?	LM ₁	0.3~10
I	M42	~13至15	?	RM ₁	0.3~10
J	M47	~8	?	RC ₁	0.9~13
K	M77	~20至25	女	RM ₁	0.3~10
L	M85	~40至45	女	RI ₁	0.6~8.5

注:样品近似代表的年龄信息,参考Cox和Sealy, (1997); Parfitt, (2002); Hedges等, (2007); Beaumont和Montgomery, (2015).^[29]

素考古实验室测试。仪器为元素分析仪 (Vario Pyro Cube) 联用的同位素质谱仪 (IsoPrime-100 IRMS)。测试的胶原蛋白, 质量为0.5~1mg。碳氮稳定同位素比值, 分别表示为相对于国际标准VPDB和AIR的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值。测试中的国际标准样品, 包括Sulfanilamide、IAEA-600、IAEA-N-2、IAEA-CH-6、USGS40和USGS41, 用于元素含量和稳定同位素值的校正。标准物质的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 其分析精度均为小于或等于 $\pm 0.2\text{‰}$ 。此外, 实验室自制胶原蛋白标样 ($\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-14.7\text{‰} \pm 0.2\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $7.0\text{‰} \pm 0.2\text{‰}$), 也被插于样品序列中, 用以监测仪器的稳定性。每个样品的元素含量和同位素数据, 如表三、四所示。

整体上, 该遗址的人骨和牙齿保存较差。24例骨骼中仅有8例骨骼 (33%, 包括: 2例肋骨和6例股骨) 以及12个个体的牙齿仅有5个 (42%, 包括: 1颗犬齿、2颗第一臼齿和2颗第二臼齿), 其碳氮摩尔比在正常范围2.9~3.6内, ^[32]氮含

量高于4.8%, 碳含量高于13%, ^[33]落于未受污染、保持较好的样品范围内。此外, 应该指出的是, 该遗址牙齿的牙冠或牙根部分都有一定程度上的磨损。因此, 本文根据Beaumont和Montgomery (2015) 的方法, ^[34]以牙冠和牙骨质结合的点为起点, 对每一序列的年龄进行了大概的估算 (表四)。5颗牙齿, 分别重命名为个体A到E (表四)。

五 结果与讨论

(一) 稳定同位素分析

如图二和表三所示, 8个先民骨胶原蛋白的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 位于 $-19.6\text{‰} \sim -18.0\text{‰}$, 均值为 $-18.8 \pm 0.6\text{‰}$ (n=8), 表明这些个体主要摄取了 C_3 类的食物; $\delta^{15}\text{N}$ 变化范围为 $9.5\text{‰} \sim 11.1\text{‰}$, 均值为 $10.3 \pm 0.6\text{‰}$ (n=8), 表明先民的食物中包含了大量的动物蛋白。此外, 8例人骨中, 仅有1例兼具肋骨和股骨 (M86)。由图可见, 该个体的两类骨的同位素数据, 非常接近, 表明该个体

表三 高山古城遗址人骨样品信息和稳定同位素比值

个体	墓葬编号	年龄	性别	胶原得率(%)	骨骼类型	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	%C	%N	C/N
A	M6	~30	女	0.2	股骨	-23.7	-8.7	0.7	0.4	1.9
				2.6	肋骨	-18.0	10.8	32.7	11.8	3.2
B	M86	~30至40	女	12.6	股骨	-18.3	9.7	35.0	13.0	3.1
				0.7	肋骨	-18.1	9.5	16.9	6.3	3.2
C	M87	~20至30	男	4.6	股骨	-19.3	10.4	22.3	8.2	3.2
				1.2	肋骨	-19.2	10.5	11.1	3.9	3.3
D	M38	~30至40	男	5.6	股骨	-19.6	10.7	41.3	15.1	3.2
				0.4	肋骨	-23.3	-7.6	0.8	0.3	2.7
E	M40	~12至15	未知	5.3	股骨	-18.8	10.7	21.8	7.9	3.2
				0.5	肋骨	-18.1	10.5	6.3	2.3	3.2
F	K1	~35至40	女	0.7	股骨	-31.2	1.2	13.6	0.3	59.6
				1.9	肋骨	-19.6	9.3	10.2	3.8	3.1
G	M8	~20至30	女	3	股骨	-20.0	8.6	2.1	0.9	2.7
				0.3	肋骨	-19.5	10.1	10.7	3.7	3.4
H	M25	~5	未知	0.5	股骨	-19.4	6.6	2.9	1.0	3.5
				0	肋骨	提取失败				
I	M42	~13至15	未知	0	股骨	提取失败				
				0	肋骨	提取失败				
J	M47	~8	未知	0.4	股骨	-18.9	9.8	33.1	12.2	3.2
				1.3	肋骨	-19.4	9.7	10.2	3.8	3.1
K	M77	~20至25	女	0	股骨	提取失败				
				0.4	肋骨	-24.3	-23.4	0.3	0.2	1.9
L	M85	~40至45	女	3.2	股骨	-19.5	11.1	36.6	13.3	3.2
				0.7	肋骨	-20.3	10.0	5.4	1.9	3.3

注: 斜体表示的数据由于碳氮摩尔比不在正常范围或碳氮含量过低而剔除讨论。

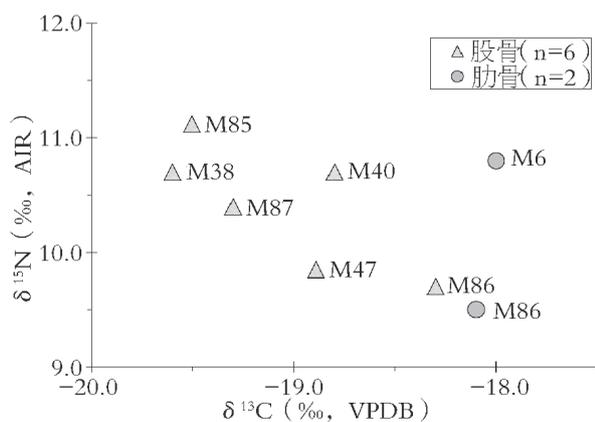
表四 高山古城遗址个体牙本质信息和序列稳定同位素比值

个体	序列编号	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	%C	%N	C/N	近似年龄(年) Beaumont & Montgomery (2015)
A-1	M6-Canine-1	-16.1	14.9	38.1	14.1	3.1	2.5
A-2	M6-Canine-2	-15.0	13.8	41.4	15.4	3.1	3
A-3	M6-Canine-3	-15.9	13.0	40.5	14.9	3.2	3.5
A-4	M6-Canine-4	-16.4	11.6	30.2	11.2	3.1	4
A-5	M6-Canine-5	-16.3	11.8	36.8	13.4	3.2	4.5
A-6	M6-Canine-6	-16.9	11.7	37.4	13.7	3.2	5
A-7	M6-Canine-7	-16.8	11.6	36.0	13.3	3.2	5.5
A-8	M6-Canine-8	-17.1	11.1	27.5	10.1	3.2	6
A-9	M6-Canine-9	-17.4	11.1	34.4	12.7	3.2	6.5
A-10	M6-Canine-10	-17.0	10.4	40.8	15.1	3.2	7
A-11	M6-Canine-11	-17.1	10.2	40.7	15.0	3.2	7.5
A-12	M6-Canine-12	-17.1	10.3	39.1	14.4	3.2	8
A-13	M6-Canine-13	-17.4	9.9	41.7	15.5	3.1	8.5
A-14	M6-Canine-14	-17.6	10.3	41.4	15.2	3.2	9
A-15	M6-Canine-15	-17.5	10.5	42.1	15.2	3.2	9.5
B-1	M86-M2-1	-17.1	10.6	40.7	14.9	3.2	6
B-2	M86-M2-2	-17.5	10.9	41.8	15.5	3.1	6.5
B-3	M86-M2-3	-17.1	10.7	41.1	15.1	3.2	7
B-4	M86-M2-4	-17.2	10.8	41.2	15.0	3.2	7.5
B-5	M86-M2-5						8
B-6	M86-M2-6	-17.1	10.6	37.8	13.6	3.2	8.5
B-7	M86-M2-7	-17.1	10.5	26.9	10.0	3.1	9
B-8	M86-M2-8	-16.9	10.6	40.3	14.9	3.1	9.5
B-9	M86-M2-9	-17.0	10.6	40.3	14.9	3.2	10
B-10	M86-M2-10	-16.8	10.6	40.2	14.7	3.2	10.5
B-11	M86-M2-11	-17.0	10.5	42.5	15.6	3.2	11
B-12	M86-M2-12	-17.1	10.6	34.4	12.6	3.2	11.5
B-13	M86-M2-13	-17.1	10.6	36.5	13.5	3.2	12
B-14	M86-M2-14	-17.2	10.8	40.0	14.8	3.2	12.5
B-15	M86-M2-15	-17.5	10.8	41.9	15.1	3.2	13
B-16	M86-M2-16	-16.9	10.9	40.2	14.7	3.2	13.5
C-1	M87-M2-1	-18.2	10.9	40.0	14.8	3.1	6.1
C-2	M87-M2-2	-18.0	10.9	29.2	10.8	3.1	6.7
C-3	M87-M2-3	-18.1	10.6	23.2	8.8	3.1	7.3
C-4	M87-M2-4	-18.1	11.2	40.0	14.7	3.2	7.9
C-5	M87-M2-5	-18.1	10.9	39.5	14.6	3.2	8.5
C-6	M87-M2-6	-18.0	11.3	41.6	15.3	3.2	9.1
C-7	M87-M2-7	-18.0	11.2	39.9	14.6	3.2	9.7
C-8	M87-M2-8	-17.9	11.4	41.4	15.2	3.2	10.3
C-9	M87-M2-9	-17.8	11.0	29.3	10.9	3.1	10.9
C-10	M87-M2-10	-17.8	10.9	38.6	14.2	3.2	11.5
C-11	M87-M2-11	-17.9	10.6	26.2	9.7	3.2	12.1
C-12	M87-M2-12	-18.4	10.7	30.8	11.4	3.2	12.7
C-13	M87-M2-13	-18.1	10.5	17.3	6.6	3.1	13.3
C-14	M87-M2-14	-18.2	10.4	22.6	8.3	3.2	13.9
C-15	M87-M2-15	-18.6	10.5	40.5	14.8	3.2	14.5
C-16	M87-M2-16	-18.8	10.9	17.3	6.5	3.1	15.1
C-17	M87-M2-17	-18.6	10.7	32.4	12.0	3.1	15.7
C-18	M87-M2-18	-19.2	10.8	40.6	14.6	3.2	16.3
C-19	M87-M2-19	-19.6	11.3	39.0	14.2	3.2	16.9
D-1	M38-M1-1	-19.3	12.0	37.8	13.9	3.2	2

续表:

个体	序列编号	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$	%C	%N	C/N	近似年龄(年) Beaumont & Montgomery (2015)
D-2	M38-M1-2	-19.2	10.8	24.4	8.9	3.2	2.5
D-3	M38-M1-3	-18.9	10.1	18.2	6.7	3.2	3
D-4	M38-M1-4	-18.7	10.0	13.8	5.0	3.2	3.5
D-5	M38-M1-5	-18.8	10.8	13.4	4.9	3.2	4
D-6	M38-M1-6	-18.3	11.2	31.3	11.4	3.2	4.5
D-7	M38-M1-7	-18.2	11.1	22.1	8.2	3.1	5
D-8	M38-M1-8	-18.6	11.0	37.4	13.8	3.2	5.5
D-9	M38-M1-9	-19.0	11.1	38.5	14.2	3.2	6
D-10	M38-M1-10	-18.9	11.3	37.9	13.7	3.2	6.5
D-11	M38-M1-11	-19.1	11.3	31.9	11.6	3.2	7
D-12	M38-M1-12	-19.1	11.2	37.3	13.6	3.2	7.5
E-1	M40-M1-1	-16.6	12.8	38.1	14.1	3.2	2
E-2	M40-M1-2	-15.8	12.7	44.0	16.1	3.2	2.5
E-3	M40-M1-3	-15.7	11.4	41.8	15.3	3.2	3
E-4	M40-M1-4	-16.1	10.8	41.8	15.3	3.2	3.5
E-5	M40-M1-5	-17.2	10.3	41.7	15.5	3.1	4
E-6	M40-M1-6	-17.7	10.1	41.3	15.0	3.2	4.5
E-7	M40-M1-7	-17.6	10.2	40.6	15.0	3.2	5
E-8	M40-M1-8	-17.7	10.0	40.8	14.9	3.2	5.5
E-9	M40-M1-9	-17.9	10.1	36.8	13.5	3.2	6
E-10	M40-M1-10	-17.6	10.1	40.0	14.7	3.2	6.5

注: 个体F-L以及序列B-5提取失败

图二 骨骼样品 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 比值散点图

的食物来源一直较为稳定。

与骨骼相比, 人牙本质序列的同位素数据变化较大。如 $\delta^{13}\text{C}$ 值落于 $-19.6\text{‰} \sim -15.0\text{‰}$ 范围, 而 $\delta^{15}\text{N}$ 值则在 $9.0\text{‰} \sim 14.9\text{‰}$ 。在图三中除个体B (M86) 外, 其余个体牙齿的同位素数据均存在一定程度的波动, 表明他们的食物来源在其牙齿形成期间有所变化。此外, 代表个体幼年期或青年期的牙齿序列(点), 与代表个体成年期的骨骼(实线或虚线)并不重合, 表明先民的食物结

构并不是一成不变, 存在着一定的变迁。这些变迁, 将在以下部分进行详细讨论。

(二) 个体断奶模式与生活史重建

考古资料显示, 水稻和粟黍都是该遗址的种植作物。粟黍为典型的 C_4 类植物, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值约为 -12‰ 。^[35]如此, 若先民食物中包含一定量或大量的粟黍, 则其硬组织中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 应明显偏正。然而, 在高山遗址中先民骨骼(肋骨和股骨)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 却显示出显著的 C_3 类同位素信号, 表明先民大量摄取了水稻(C_3 类植物)或其他 C_3 类植物, 抑或以 C_3 类植物为食的动物。而粟作农业, 包括粟黍作物本身以及以粟黍作物副产品为食的动物, 对先民生活方式的贡献基本不见或甚少。高山遗址先民骨骼具有偏高、多样的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, 表明其食物中包含较大的陆地或淡水资源的动物蛋白。由此, 基于先民骨骼的碳和氮稳定同位素数据, 可以推断, 先民主要从事稻作农业和渔猎活动。该遗址出土的动植物遗存(参见考古学背景部分), 也进一步证实了这点。

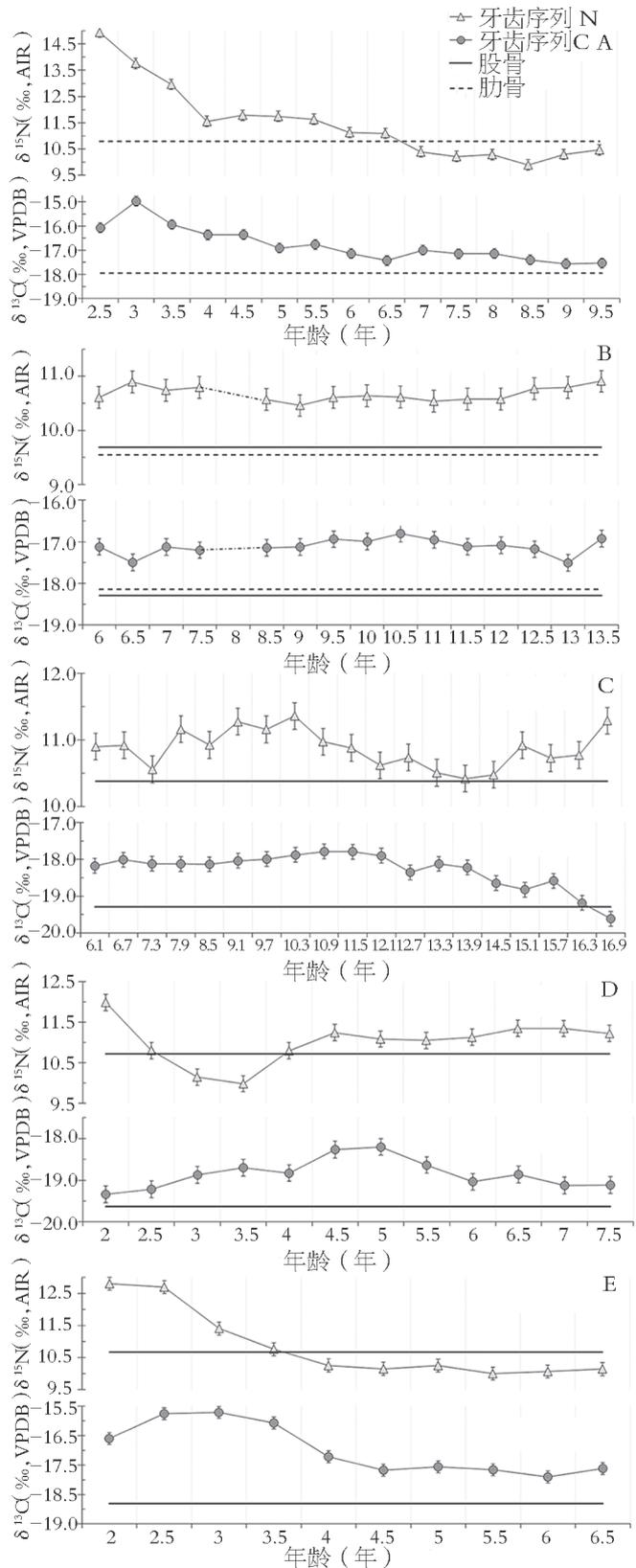
如前所述, 骨骼中的稳定同位素比值, 仅

反映个体死前一段时间内食物来源的平均水平,而牙齿则代表了个体幼年以及青年时期。在本研究中,未受污染的牙齿,共5颗,可分为两大类。一类是犬齿和第一臼齿(图三中的个体A、D、E),代表童年时期,包括哺乳和断奶期;另一类(图三中的个体B、C)是第二臼齿,代表童年到青年时期(大于14岁)。

个体A(M6),是一名30岁左右的女性。牙本质序列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-17.6\text{‰} \sim -15.0\text{‰}$,平均值为 $-16.8 \pm 0.7\text{‰}$ ($n=15$),与肋骨(-18.0‰)相比约富集 3‰ ,已大于由于哺乳效应所引起的富集(约 1‰)。显然,该个体在童年时期摄取了一定的 C_4 类食物(粟类作物)。该个体的牙本质序列 $\delta^{15}\text{N}$ 值,为 $9.9\text{‰} \sim 14.9\text{‰}$,平均值为 $11.5 \pm 1.4\text{‰}$ ($n=15$),略高于肋骨(10.8‰)。值得注意的是, $\delta^{15}\text{N}$ 值从2.5到4岁逐渐稳定下降(图三),这当缘于该个体的断奶行为。

个体B(M86),是一名大约30至40岁的女性。牙本质序列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-17.5\text{‰} \sim -16.8\text{‰}$ 之间,平均值为 $-17.1 \pm 0.2\text{‰}$ ($n=15$)。 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 $10.5\text{‰} \sim 10.9\text{‰}$ 之间,平均值为 $10.7 \pm 0.1\text{‰}$ ($n=15$)。这些值略高于肋骨值(-18.1‰ , 9.5‰)和股骨值(-18.3‰ , 9.7‰)。牙本质和骨骼之间的这种同位素差异表明,与晚年相比该个体在童年和青春期消耗了更多的 C_4 食物(粟类作物),以及可能更多的动物蛋白。

个体C(M87),是一名20至30岁的男性。牙本质序列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-19.6\text{‰} \sim -17.8\text{‰}$ 之间,平均值为 $-18.3 \pm 0.5\text{‰}$ ($n=19$)。牙本质序列的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $10.4\text{‰} \sim 11.4\text{‰}$,平均值为 $10.9 \pm 0.3\text{‰}$ ($n=19$)。 $\delta^{13}\text{C}$ 值相比股骨值(-19.3‰)高,但在 ~ 12 至 17 岁之间逐渐降低,显示出偏向 C_3 饮食的变化。与股骨(10.4‰)相比,牙本质序列的 $\delta^{15}\text{N}$ 值总体上也偏高,但显示出比 $\delta^{13}\text{C}$ 更多的变化。这一



图三 个体A~E牙齿序列的稳定同位素值

注:实线表示股骨的 $\delta^{15}\text{N}$ 或 $\delta^{13}\text{C}$ 值,虚线表示肋骨的 $\delta^{15}\text{N}$ 或 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

现象可能表明,该个体在不同时期存在不同量的动物蛋白消耗或可能是营养压力,已有研究发现营养压力会导致 $\delta^{15}\text{N}$ 值升高。^[36]然而,在~15至17岁之间, $\delta^{15}\text{N}$ 值增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值下降,这种同时的转变代表了这一个年龄段某一类型的饮食变化,可能增加了水稻或其他 C_3 食物的消费量。

个体D(M38)是男性,年龄为30至40岁。牙本质序列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-18.2\text{‰} \sim -19.3\text{‰}$ 之间,平均值为 $-18.9 \pm 0.4\text{‰}$ ($n=12$)。牙本质序列的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 $10.0\text{‰} \sim 12.0\text{‰}$ 之间,平均值为 $11.0 \pm 0.5\text{‰}$ ($n=12$)。由于断奶效应, $\delta^{15}\text{N}$ 值持续下降至3.5岁,并与股骨值(10.7‰)相交于2.5~3岁,反映个体D在这一期间停止母乳喂养。相比之下,断奶期的 $\delta^{13}\text{C}$ 值增加,尤其是在4至5岁停止母乳喂养后,这可能反映了该个体断奶期和幼年期饮食包含 C_4 类食物即粟类作物。

个体E(M40)是一个不确定性别的个体,年龄12至15岁。牙本质序列的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 $-17.9\text{‰} \sim -15.7\text{‰}$ 之间,平均值为 $-17.0 \pm 0.9\text{‰}$ ($n=10$)。牙本质序列的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 $10.0\text{‰} \sim 12.8\text{‰}$,平均值为 $10.9 \pm 1.1\text{‰}$ ($n=10$)。牙本质 $\delta^{15}\text{N}$ 值,在约3.5岁前逐渐降低至股骨值(10.7‰),反映了停止母乳喂养的大致时间。在~2至2.5岁之间, $\delta^{13}\text{C}$ 值显示出~1‰的增加,并且这种指示粟类作物消耗的同位素特征在整个断奶过程中仍然保持高值。这表明个体B在断奶和幼年期间消耗了 C_4 食物。

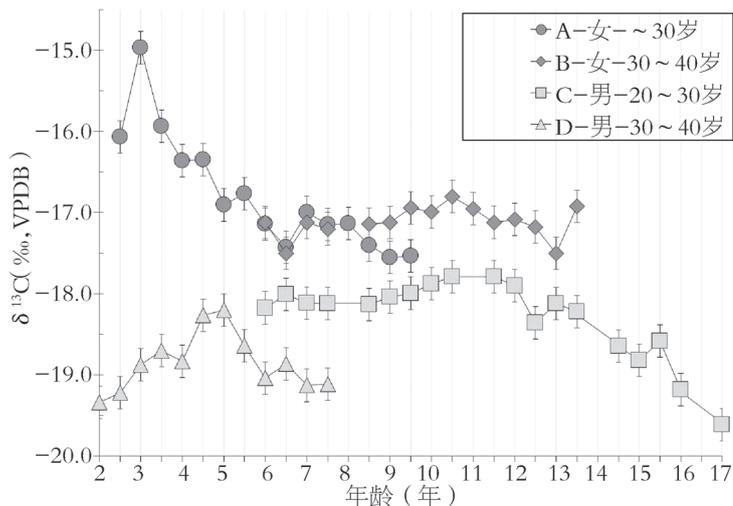
综上所述,可以看出,先民在幼年时期均不同程度上存在食粟的现象,在性别上还存在一定的差异。在图四中,女性(个体A和B)具有比男性更高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(个体C和D),表明在断奶和童年期间,女性似乎偏好食粟。然而,由于相对而言,分析可得的个体数量较少,无法明确这是偶然现象还是确实如此。倘若如此,这些女性的来源和身份,需要我们在今后的研究中进一步探索。此外,我们还发现,高山古城遗址先民的断奶行为,发生在~2.5至4岁之

间。这一结果,与我们之前在安徽西周薄阳城遗址的研究相似(图一)。^[37]这两个遗址,均属稻粟混作区。由于目前国内在此方面的研究尚缺乏,稻粟混作区人群的断奶时间是否皆是如此,也需日后加以细致研究。

(三) 粟作农业在新石器晚期成都平原先民生活方式中的重要地位

桂圆桥遗址地处成都平原,位于高山古城遗址附近。该遗址(一期,5100至4600BP)的植物考古研究表明,粟作农业可能来自川西北高原;^[38]到了宝墩时期(4500至3700BP),随着长江流域文化的向西扩张,稻作农业成为成都平原的主要农作物。^[39]本研究中人骨的稳定同位素分析,也证实了这点。然而,也有学者指出,粟黍相比较水稻而言,具有耐旱、生长期短的特点,可作为先民维持膳食多样性、减少风险的重要食物来源。如此,稻粟的双作物系统,有利于人口增长、促进新地域的开发和社会复杂性的发展。^[40]本文通过对先民牙本质序列的研究,清晰地彰显了粟类作物的摄取在先民幼年期生长和发育过程中的重要作用。

现代营养研究表明,粟可为人类提供健康和多样化的营养,包括蛋白质、脂肪、硫胺素、纤维素和矿物质。^[41]值得一提的是,粟含有低过敏性蛋白质,非常适合孕妇和婴儿所食。^[42]由小米制成的粥,很容易被消化,被视为婴儿和儿童的理想食品。^[43]即使在现今的中国北方,孕



图四 个体A、B、C和D的牙本质序列 $\delta^{13}\text{C}$ 值的比较

妇和婴儿喝小米粥的现象,也非常普遍。^[44]然而,在以水稻为主食的中国南方,这种做法很少见。^[45]故此,我们推测,高山古城遗址个体在童年时期摄食小米的生活习性,很可能来自北部的甘青地区和川西北高原,并对先民的营养和健康起到了重要作用。如此,长期以来在稻粟混作区粟类作物在先民生活方式中的重要地位,需要重新加以审视。显然,开展先民牙齿本质的序列研究,已是我国今后稳定同位素分析的重要研究方向。

六 结论

自距今大约8000年前,粟作农业与稻作农业在黄河流域与长江流域之间形成了广泛的混作区域。本文基于对高山古城遗址个体的牙本质序列以及骨胶原的稳定同位素进行分析。初步研究表明,尽管该地区主要农作物是水稻,但是在先民生长发育期间,特别是在断奶期和童年早期,小米对先民的饮食有很大贡献。遗憾的是,由于本研究中骨骼和牙齿样本保存较差,只有少数样本可用于同位素分析。但我们的研究结果仍然提供了一个新的视角,重新思考粟作农业在成都平原新石器时代晚期文化交流和人群活动过程中所起的作用。

注释:

- [1] Deniro M J, Epstein S. *Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta*42(5), 1978, pp. 495-506.
- [2] Van Der Merwe N J, Vogel J C. *¹³C content of human collagen as a measure of prehistoric diet in woodland North America. Nature*276(5690), 1978, pp. 815-816.
- [3] Chisholm B S, et al. *Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. Science*216(4550), 1982, pp. 1131-1132.
- [4] a. Deniro M J, Epstein S. *Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. Geochimica et Cosmochimica Acta*45(3), 1981, pp. 341-351;
- b. Bocherens H, Drucker D. *Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. International Journal of Osteoarchaeology*13(1-2), 2003, pp. 46-53.
- [5] Schoeninger Mj, et al. *Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. Science*220(4604), 1983, pp. 1381-1383.
- [6] Hedges R E M, et al. *Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft: Modeled from anthropogenic radiocarbon tracer measurements. American Journal of Physical Anthropology*133(2), 2007, pp. 808-816.
- [7] a. Cox G, Sealy J. *Investigating Identity and Life Histories: Isotopic Analysis and Historical Documentation of Slave Skeletons Found on the Cape Town Foreshore, South Africa. International Journal of Historical Archaeology*1(3), 1997, pp. 207-224;
- b. Parfitt A M. *Misconceptions (2): turnover is always higher in cancellous than in cortical bone. Bone*30(6), 2002, pp. 807-809.
- [8] a. Tsutaya T, Yoneda M. *Reconstruction of breastfeeding and weaning practices using stable isotope and trace element analyses: A review. American Journal of Physical Anthropology*156 Suppl 59(Supplement), 2014, pp. 2-21;
- b. Beaumont J, Montgomery J. *The Great Irish Famine: Identifying Starvation in the Tissues of Victims Using Stable Isotope Analysis of Bone and Incremental Dentine Collagen. PLoS ONE*11(8), 2016, pp. 531-541.
- [9] a. Fogel M L, et al. *Nitrogen isotope tracers of human lactation in modern and archaeological populations. Carnegie Institution of Washington Yearbook*88, 1989, pp. 111-117;
- b. Fuller B T, et al. *Detection of breastfeeding and weaning in modern human infants with carbon and nitrogen stable isotope ratios. American Journal of Physical Anthropology*129(2), 2006, pp. 279-293.

- [10] 同 [8] a.
- [11] Fuller B T, et al. *Stable carbon and nitrogen isotope variations in tooth dentine serial sections from Wharram Percy. Journal of Archaeological Science*30(12), 2003, pp. 1673-1684.
- [12] Beaumont J, et al. *Isotope analysis of incremental human dentine : towards higher temporal resolution. Bulletin of the International Association for Paleodontology*8(2), 2014, pp. 212-223.
- [13] Hillson S. *Tooth development in human evolution and bioarchaeology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, pp.42-68.
- [14] 同 [8] b.
- [15] Henderson R C, et al. *Early life histories of the London poor using $\delta^{13}C$ and δN stable isotope incremental dentine sampling. American Journal of Physical Anthropology*154(4), 2014, pp. 585-593.
- [16] Beaumont J, Montgomery J. *Oral histories: a simple method of assigning chronological age to isotopic values from human dentine collagen. Annals of Human Biology*42(4), 2015, pp. 407-414.
- [17] a.孙华:《四川盆地史前谷物种类的演变——主要来自考古学文化交互作用方面的信息》,《中华文化论坛》2009年增刊第2期;
b. Zhang C, Hung H. *The emergence of agriculture in southern China. Antiquity*84(323), 2010, pp. 11-25.
- [18] 万娇、雷雨:《桂圆桥遗址与成都平原新石器文化发展脉络》,《文物》2013年第9期。
- [19] a.玳玉、万娇:《四川什邡市桂圆桥遗址浮选结果与分析》,《四川文物》2015年第5期;
b.四川省文物考古研究院等:《四川什邡桂圆桥新石器时代遗址发掘简报》,《文物》2013年第9期。
- [20] Guedes J D A, et al. *Site of Baodun yields earliest evidence for the spread of rice and foxtail millet agriculture to south-west China. Antiquity*87(337), 2013, pp. 758-771.
- [21] 同 [17] a.
- [22] 刘祥宇等:《成都市大邑县高山古城2014年发掘简报》,《考古》2017年第4期。
- [23] 成都文物考古研究所:《成都平原史前聚落考古的新收获》,《中国文物报》2016年6月3日第6版。
- [24] 同 [22] 。
- [25] 同 [23] 。
- [26] 同 [23] 。
- [27] 同 [20] 。
- [28] a.White T D, Folkens P A. *The human bone manual*. Amsterdam: Academic Press, 2005, pp.363-397;
b.朱泓主编:《体质人类学》,第92~106页,高等教育出版社,2004年。
- [29] a.同 [7] a;
b.同 [7] b;
c.同 [6] ;
d.同 [16] 。
- [30] Beaumont J, et al. *Childhood diet: A closer examination of the evidence from dental tissues using stable isotope analysis of incremental human dentine. Archaeometry*55(2), 2013, pp. 277-295.
- [31] 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. Journal of Archaeological Science*26(6), 1999, pp. 717-722.
- [32] Deniro M J. *Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. Nature*317(6040), 1985, pp. 806-809.
- [33] Ambrose S H. *Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. Journal of Archaeological Science*17(4), 1990, pp. 431-451.
- [34] 同 [16] 。
- [35] An C-B, et al. *Variability of the stable carbon isotope ratio in modern and archaeological millets: evidence from northern China. Journal of Archaeological Science*53, 2015, pp. 316-322.
- [36] a.Fuller B T, et al. *Nitrogen balance and $\delta^{15}N$: why*

- you're not what you eat during nutritional stress. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*19(18), 2005, pp. 2497-2506;
- b.Mekota A M, et al. *Serial analysis of stable nitrogen and carbon isotopes in hair: monitoring starvation and recovery phases of patients suffering from anorexia nervosa*. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* Rcm20(10), 2006, pp. 1604-1610.
- [37] Xia Y, et al. *Breastfeeding, weaning, and dietary practices during the Western Zhou Dynasty (1122-771 BC) at Boyangcheng, Anhui Province, China*. *American Journal of Physical Anthropology*165(2), 2018, pp. 343-352.
- [38] 同 [19] a。
- [39] 同 [20]。
- [40] Guedes J D A. *Millets, Rice, Social Complexity, and the Spread of Agriculture to the Chengdu Plain and Southwest China*. *Rice*4(3-4), 2011, pp. 104-113.
- [41] a.Ravindran G. *Studies on millets: Proximate composition, mineral composition, and phytate and oxalate contents*. *Food Chemistry*39(1), 1991, pp. 99-107;
- b.张超等:《小米的营养以及应用研究进展》,《中国粮油学报》2007年第22期。
- [42] a.同 [41] a;
- b.Saleh A S M, et al.*Millet Grains: Nutritional Quality, Processing, and Potential Health Benefits*. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety* 12(3), 2013, pp. 281-295.
- [43] WHO. *Infant and Young Child Feeding: Model Chapter for Textbooks for Medical Students and Allied Health Professionals*. Geneva: World Health Organization, 2009, p.26.
- [44] a.Li D. *Inhibitory action of 'food therapy no. 1' on the growth of Sarcoma 180 preliminary report*. *J Foxtail Millet*1, 1986, pp. 1-4;
- b.同 [41] b。
- [45] 同 [41] b。

(上接第95页)

- [8] 姜铭:《成都平原先秦时期农业的植物考古学观察》,第35页,硕士学位论文,四川大学,2015年。
- [9] 石涛:《成都平原先秦时期植物遗存研究》,第35~37页,硕士学位论文,北京大学,2012年。
- [10] 江章华等:《成都平原先秦文化初论》,《考古学报》2002年第1期。
- [11] 四川省文物考古研究所编:《三星堆祭祀坑》,第19页,文物出版社,1994年。
- [12] 本乡一美:《三星堆一号祭祀坑出土动物骨骼的初步观察》,四川省文物考古研究所编:《三星堆祭祀坑》,第522页。
- [13] 四川省文物考古研究所编:《三星堆祭祀坑》,第158页。
- [14] 何锬宇:《十二桥遗址出土动物及其相关问题研究》,《四川文物》2007年第4期。
- [15] 何锬宇:《试论十二桥文化的生业方式——以动物考古学研究为中心》,《考古》2011年第2期。
- [16] 何锬宇等:《成都市十二桥遗址新一村地点动物骨骼报告》,成都文物考古研究所编:《成都考古发现(2012)》,第273~294页,科学出版社,2014年。
- [17] 何锬宇等:《成都“金河路59号”春秋战国——唐、宋时期遗址出土动物骨骼报告》,成都文物考古研究所编:《成都考古发现(2015)》,第417~447页,科学出版社,2017年。
- [18] 何锬宇等:《成都市商业街船棺墓葬出土动物骨骼研究》,《四川文物》2006年第6期。