



安徽含山凌家滩与韦岗遗址出土部分动物遗骸的锶同位素比值分析 *



赵春燕

(中国社会科学院考古研究所)



吕 鹏



朔 知

(安徽大学历史系)

摘 要:凌家滩遗址是长江下游巢湖流域迄今发现面积最大的新石器时代聚落遗址,其年代距今约 5500 年~5300 年之间。韦岗遗址距凌家滩遗址仅 2 千米多,是以凌家滩遗址为核心的遗址群的一部分。经过数年考古发掘,凌家滩与韦岗遗址均出土了动物的遗骸。对这些动物的原栖息地进行追溯,将为进一步探讨该地区先民之间的交流,乃至凌家滩文化与周邻文化之间的关系提供信息。本文采用锶同位素检测技术,通过测定凌家滩与韦岗遗址出土动物遗骸的锶同位素比值,首先得到了当地的生物可利用的锶同位素比值地区特征在 0.711128 ~ 0.713376 之间,其次推测该锶同位素比值适用区大致为凌家滩遗址周边 5-15 千米范围内。据此锶同位素比值范围,可以推测凌家滩遗址出土的狗和鹿是当地动物,韦岗遗址出土的猪也可能为本地出生。

关键词:凌家滩遗址;韦岗遗址;动物;锶同位素

Abstract: Lingjatan site is located at Hanshan County, Anhui Province. It is a large settlement site of Neolithic age, and it is dated to 5500~5300a.B.P.. Weigang site is only 2 km away from Lingjatan site, This site belonged to Lingjatan culture, which proved that the Lingjatan site was not an isolated one and its high level development had its own social bases. Research on migration patterns for the ancient animal of Lingjatan and Weigang sites is of great scholarly benefit to archaeological investigations of ancient civilizations in Neolithic Culture. In this paper, Tooth enamel and bone samples from 14 animal individuals were analyzed for strontium isotope ratio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), by the thermal ionization mass spectrometry, including 10 pigs, 2 deers and 2 dogs. The results show that the mean $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of 7 pigs enamel samples of Lingjatan site were 0.712252, Based on the local bioavailable strontium isotopes ratio range determined by the mean $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios $\pm 2\sigma$ of 7 pig enamel samples (0.711128 ~ 0.713376), we found that 2 deers and 2 dogs fell into this range, suggesting that these individuals were born and raised locally. 3 pigs from the Weigang site fell well into the local strontium isotopes ratio range and were considered to be the local animals.

Key Words: Lingjatan site; Weigang site; Fauna; Strontium isotopes

一、前 言

凌家滩遗址位于安徽省含山县凌家滩村,地处裕溪河中段北岸,总面积约 160 万平

方米,是长江下游巢湖流域迄今发现面积最大、保存最完整的新石器时代聚落遗址,其年代距今约 5500 年~5300 年之间^①。1998 年凌家滩遗址被评为全国十大考古新发现之一,

* 国家自然科学基金项目(批准号:21271186)、国家社科基金重大项目(批准号:15ZDB054)、国家社会科学基金项目(批准号:12BKG019)、中国社会科学院哲学社会科学创新工程(批准号:2019KGYJ044)共同资助。

以其新石器时代晚期人工建造的祭坛、大型氏族墓地以及出土的大量精美玉礼器等珍贵文物,引起了海内外史学界的极大关注。韦岗遗址距凌家滩遗址仅2千米多,考古发掘表明该遗址与凌家滩遗址文化面貌相同,应是以凌家滩遗址为核心的遗址群的一部分^②。对凌家滩与韦岗遗址出土动物的来源与消费方式的研究,可以有助于我们认识当时人类的行为模式,探讨人类社会的经济成分、组织结构和意识形态等诸方面的问题。本文尝试利用锶同位素分析技术探索凌家滩与韦岗遗址出土动物是否为当地出生抑或来源不同。

目前,国际考古学界用于探索动物来源的主要方法是利用动物骨骼或牙釉质的锶同位素比值的地区特征进行判断。其原理在已发表的论文中已有详细论述,于此不再赘述^{③④⑤}。该方法利用动物体内的锶同位素比值推断动物栖息地是以3个前提为基础的。其一,每个地区有特征的锶同位素比值;其二,动物在吸收环境中的锶同位素时体内不发生显著分馏;第三,动物体内的锶在埋藏过程中未受到污染。

对于第一个前提而言,因为同一地区不同岩石和不同矿物之间的锶同位素组成是可能有显著差别的,而岩石风化形成土壤,导致锶进入土壤并进入地下水体系,形成了具有不同的锶同位素特征的区域。一般以 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值作为某一地区的表征指标。问题是如何确定某一地区的锶同位素比值特征。根据Sillen等人对南非的司特克方丹遗址土壤和植物锶同位素比值的研究,土壤的锶同位素比值范围大于植物;动物主要以当地植物为食,因植物的锶同位素比值变化范围小于土壤,导致其机体内锶同位素水平进一步的平均化,锶同位素比值变化小于植物。因此可以利用当地的动物牙釉质或骨骼的锶同位素比值确定生物可利用的地区锶同位素比值特征^⑥。简言之,生存在同一个地区的动物,其体内的锶同位素比值是与当地的锶同位素比值

的地区特征相一致的。而对于生存在不同地区的同一种动物,其体内的锶同位素比值就可能具有差异性。所以,可以通过动物体内锶同位素的地区特征追溯动物的栖息地。对于出土动物来说,一般在易于保存的牙齿、骨骼中这种区域性指标都可以找到^{⑦⑧⑨}。在第一个前提成立的基础上,再来考察第二个前提。地层中的锶,在进入食物链中以后,由于其质量数较大,且同位素之间的相对质量差异很小,一般认为不发生显著分馏^⑩。因此,第二个前提也成立。验证第三个前提的方法有多种,最基本的一种是对动物骨骼或牙釉质中所包含的微量元素进行检测,以Ca/P比值判断骨骼或牙釉质是否受到污染。因为动物硬组织中含有的无机质的主要组成为羟磷灰石,其化学分子式是 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ 。在羟磷灰石结构中,钙离子可以被其它二价离子所取代^{⑪⑫}。如果骨骼或牙釉质在埋藏过程中受到污染,Ca/P比值将发生变化。因此,Ca/P比值被用作检验骨羟磷灰石是否受过污染的重要指标之一。因为正常骨骼的Ca/P比值为2.15,所分析的骨样的Ca/P比值应介于2.0-2.29之间,愈接近2.15,表明骨骼污染愈轻^{⑬⑭}。此外,根据国外学者的研究报告,相对于骨骼样品,牙釉质样品在埋藏过程中很少受到污染,因而成为研究出土动物迁移行为的首选标本^⑮。在满足上述三个前提的条件下,就可以依据动物体内的锶同位素比值推断动物栖息地。

如此一来,若要探索特定遗址出土动物的来源,首先必须确定当地的生物可利用锶同位素比值范围,才能以此判断出土动物是否为当地出产或有其他来源。如何建立当地锶同位素比值范围,在过去的三十年里,许多研究人员一直不停地在探索,获得许多有意义有价值的结果^{⑯⑰⑱}。目前的共识是可以利用当地的动物牙釉质或骨骼的锶同位素比值确定生物可利用的地区锶同位素比值特征^⑲。

在一个具体的遗址如何确认何种动物是

当地动物成为建立当地生物可利用的锶同位素比值特征的关键所在。Bentley 和 Price 等人测定了德国新石器时期 Vaihingen 遗址出土的猪、牛、狗、鹿等动物牙釉质的锶同位素比值,经过计算得出猪的标准偏差远远小于其它动物,而且他们还认为当时的猪吃的食物主要是人类食物的剩余,也就是说猪吃的食物是与当地人类食物基本一致。因此其骨骼和牙齿中锶同位素比值可以代表当地的生物可利用的锶同位素水平^⑩。之后,许多学者采用了他们的实验结果,以遗址当地出土的猪牙釉质的锶同位素比值的平均值加(减)2倍的标准偏差来确定当地的生物可利用的锶同位素比值范围^{⑪⑫⑬}。

根据我们近几年对国内一系列遗址出土动物骨骼及牙釉质的锶同位素分析结果^{⑭⑮},也证实在没有出土小型啮齿动物标本的条件下,可以遗址当地出土的家猪牙釉质的锶同位素比值首先确定当地生物可利用的锶同位素比值范围,再以此为标准,探讨其它动物是否为当地饲养抑或是外来的。本次我们

根据凌家滩与韦岗遗址出土动物的具体情况,选择了猪、狗、鹿等动物作为标本进行锶同位素分析和研究。

二、凌家滩与韦岗遗址出土动物遗骸样品背景情况介绍

考古发掘与调查已探明,在裕溪河流域上、中游地区陆续发现与凌家滩遗址时代大体相同的同类遗址 10 余处。作为这些小型遗址之一的韦岗遗址的发掘未发现玉器之类的上层人士用器,无论从遗址面积还是器用制度而论,新发现的这些遗址与凌家滩遗址存在明显的等级差别,其所反映的此类聚落群,构成了作为当时权力中心的凌家滩聚落的基础,共同支撑着中心聚落。因此本次研究选择了凌家滩与韦岗遗址出土的 10 份猪、2 份狗和 2 份鹿的遗骸作为检测标本。根据考古学研究结果,样品中除 3 份猪出自韦岗遗址外,其他样品均出自凌家滩遗址。具体背景情况列于表一。此外,严格说来,动物牙齿的锶同位素比值应更具代表性,所以,选择了猪

表一 凌家滩与韦岗遗址出土动物遗骸的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值

序号	遗址名称	样品原编号	动物种属	采样部位	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	2σ
1	凌家滩	2014HLTG1 东段 B6542	猪	牙齿	0.711166	0.000011
2	凌家滩	2014HLTG1 东段 B8938	猪	牙齿	0.71278	0.000009
3	凌家滩	2014HLTG1 西段 B4022	猪	牙齿	0.712632	0.000016
4	凌家滩	2014HLTG1 西段 B42	猪	牙齿	0.71265	0.000009
5	凌家滩	2014HLTG1 东段 B30	猪	牙齿	0.712456	0.000011
6	凌家滩	2014HLTG1 东段 B60 38	猪	牙齿	0.712009	0.000016
7	韦岗	2013HDWTG1B-57(14)	猪	牙齿	0.712084	0.000012
8	凌家滩	2014HLTG1 东段 B53 36	猪	牙齿	0.71207	0.000017
9	韦岗	2013HDWTG2B-54 南扩方(B)	猪	牙齿	0.711854	0.000008
10	韦岗	2013HDWTG2B-3(12)	猪	牙齿	0.711132	0.000018
11	凌家滩	2014HLTG1 东段 B-794	狗	骨骼	0.712123	0.000011
12	凌家滩	2014HLTG1 东段 B-67	狗	骨骼	0.712206	0.000021
13	凌家滩	2014HLTG1 东段 B-45 34	梅花鹿	骨骼	0.712416	0.000013
14	凌家滩	2014HLTG1 东段 B-65	小型鹿科	骨骼	0.712135	0.000012

表二 凌家滩遗址出土部分动物遗骸的微量元素分析结果(mg/kg)

出土地点	样品原编号	种属	部位	Ca	P
凌家滩	2014HLTG1 东段 B-794	狗	骨骼	389903	185687
凌家滩	2014HLTG1 东段 B-67	狗	骨骼	424254	191970
凌家滩	2014HLTG1 东段 B-45 34	梅花鹿	骨骼	398099	180139
凌家滩	2014HLTG1 东段 B-65	小型鹿科	骨骼	399858	182583

的牙齿作为标本。

三、凌家滩与韦岗出土动物样品的预处理及检测

样品的预处理是在中国社会科学院考古研究所超净实验室内进行的。首先用工具打磨每一个样品表面,除去任何可见的污垢或杂色物质,之后用纯净水超声清洗至少三次,每次 20 分钟;再加入 Milli Q 超纯水,超声清洗三次,每次 20 分钟。清洗后的样品加入 5%稀醋酸(优级纯),超声清洗 30 分钟,浸泡 7 小时,将稀醋酸倒掉,再加入 Milli Q 超纯水,超声清洗三次,每次 20 分钟。然后样品放入恒温干燥箱干燥后,于 825°C 下灼烧 8 小时。

灰化后的样品进行微量元素及锶同位素比值的测定。所用仪器分别为电感耦合等离子体质谱仪和 ISOPROBE-T 热电离子质谱仪。单带, M+, 可调多法拉第接收器接收。质量分馏用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.1194$ 校正, 标准测量结果: NBS987 为 0.710250 ± 0.000007 。表一为样品的锶同位素比值检测结果。

四、结果与讨论

1、样品的去污染检验

经过数十年的研究表明,动物通过饮食所吸收的离子大部分沉积在骨骼中,肌肉组织内几乎没有。利用微量元素研究古代动物的生存状况,是基于一个重要的假定:即经过漫长的埋葬时间,动物骨骼仍然保持着起初的化学组成和生物学特性。然而研究表

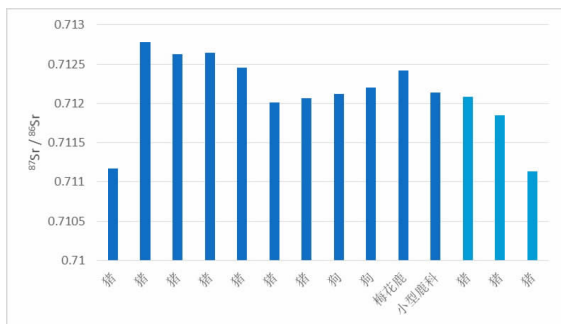
明,在长期的掩埋过程中,温度、湿度、地下水、土壤等因素常常使骨骼的同位素比值和微量元素发生不同程度的变化,也就是造成了骨骼的被污染^{⑩⑪⑫⑬}。其结果是给古代动物的生存状况的研究带来了极大困扰。于是,鉴别古代样品的污染程度,并筛选出未经污染或污染甚轻的样品,便成为古代样品研究的前提条件。

根据目前通用的骨骼污染判别方法, Ca/P 比值被用作检验骨羟磷灰石是否受过污染的重要指标之一^⑭。有鉴于此,首先采用电感耦合等离子体质谱技术对遗址出土的动物牙釉质和骨骼样品进行了微量元素分析,所得结果列于表二中。经计算表明,样品的 Ca/P 比值均在 2.1-2.21 之间,表明其骨骼中羟磷灰石基本未受过污染,所得数据可用。

2、遗址当地的生物可利用锶同位素比值范围的建立

凌家滩与韦岗遗址出土动物遗骸的锶同位素比值分析结果列在表 1 中,其中包含 10 份猪、2 份狗和 2 份鹿,共计 14 份样品。前面我们已经提到若要探索遗址出土动物的栖息地,首先必须建立当地的生物可利用的锶同位素比值范围。在参考了国际上一系列的研究结果后,根据凌家滩与韦岗遗址出土动物的考古学研究,首先选择了凌家滩遗址出土的猪牙釉质样品来确定当地的生物可利用的锶同位素比值范围。这样做的理由是因为动物考古学研究结果证明猪在我国很早就进行饲养,是最重要的家畜之一。根据家畜的判别标准,两个研究小组的独立研究结果皆认为早在公元前 6600 年的贾湖遗址出土的猪就

已是人为饲养的家猪^{④⑤}。其次,在凌家滩遗址出土的动物中,猪的数量是所有动物中最高的,如此高的比例说明猪由当地出产的可能性是最大的,也就是说,猪是当地动物。再次,近年出土的凌家滩时期器具以鼎、豆、盘、碗、缸、罐、瓶、壶等生活用器以及纺轮、饼、丸等陶器为主,还发现有锛、斧、凿等石器及大量使用后废弃的砺石残件。这些都说明,那时凌家滩人已过着定居的生活^⑥,驯养一些动物作为家畜是有可能的。最后,根据我们对凌家滩和韦岗遗址出土的猪牙结石的碳稳定同位素分析结果显示,4例猪牙结石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的分布范围是 $-24.08\text{‰} \sim -27.92\text{‰}$,平均值为 $-25.29 \pm 1.5\text{‰}$ 。因为不同光合作途径的植物将具有不同的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。木本植物及多数草本植物(如麦、水稻等) C_3 植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值大约为 -26.5‰ 左右;粟、黍、玉米、高粱、狗尾草等少数草本植物为 C_4 植物,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值大约为 -12.5‰ 左右。受工业革命后化石燃料燃烧的影响,现代大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值较史前低



图一 凌家滩与韦岗遗址出土动物遗骸的碳同位素比值柱状图

约 1.5‰ ,由此导致植物 $\delta^{13}\text{C}$ 也较史前低 1.5‰ 左右^⑦。因此,史前时期两类植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值应分别为 -25.0‰ 和 -11.0‰ 。此前针对凌家滩的植物考古研究发现了稻谷的痕迹,证明稻谷应该是凌家滩人的食物之一。根据凌家滩遗址出土的猪牙结石的碳稳定同位素分析可以推测猪是以 C_3 植物为食物,而稻谷是 C_3 植物,因此不能排除猪是以人的食物残渣为食。另一方面,因为猪是杂食性动物,而多数草本植物均为 C_3 植物,也不能排

除部分猪是野猪。即便如此,在凌家滩遗址所处的新石器时期,人们外出打猎获取野生动物的活动范围也是有限的,大体在步行一天往返的范围内,这也是人们获取植物性食物的范围。至此,推测猪是当地动物的可能性也是最大的。此外,猪牙结石的碳稳定同位素分析结果还表明,韦岗遗址出土的猪牙结石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与凌家滩遗址出土的猪一致,说明二者的食性一致。出土于不同等级聚落遗址的猪食性一致,恰好可以反证这些猪是当地出产的可能性最大^⑧。

在国际上,一般是以遗址出土的当地动物牙釉质的锶同位素比值的平均值及2倍标准偏差来确定当地的生物可利用的锶同位素比值范围^⑨。根据凌家滩遗址出土猪牙釉质的锶同位素比值测定结果,经过计算得到7个猪牙釉质的锶同位素比值的平均值为 0.712252 ,将该平均值加或减2倍标准偏差可以得到凌家滩遗址当地的生物可利用的锶同位素比值范围在 $0.711128 \sim 0.713376$ 之间。

3、凌家滩与韦岗遗址出土动物的栖息地试析

为了更好地表示凌家滩与韦岗遗址出土动物标本的检测结果,将所测定的14份动物遗骸样品的锶同位素比值绘制在图一中。图中两条虚线之间的部分就代表遗址当地的生物可利用的锶同位素比值范围。从图一可以明显看出,凌家滩遗址出土的2只狗和2头鹿的骨骼锶同位素比值均在当地的生物可利用的锶同位素比值范围内,据此判断凌家滩遗址出土的2只狗和2头鹿均为当地动物。因为凌家滩遗址出土的2头鹿中包含一头梅花鹿,据现代动物学研究,梅花鹿的活动范围大约为5-15千米,可以推测此次依据凌家滩出土的猪牙釉质的锶同位素比值建立的当地生物可利用的锶同位素比值范围也大致为凌家滩遗址周边5-15千米范围内。

韦岗遗址出土的3只猪牙釉质的锶同位素比值也在此范围内,因此可推测韦岗遗址

出土的3只猪也全部是当地动物。考古发现韦岗遗址距凌家滩遗址仅2千米多,韦岗遗址出土的3只猪全部是当地动物也从另一个侧面证实上述推测的合理性。

五、结 论

根据此次凌家滩与韦岗遗址出土动物骨骼的锶同位素比值的测定结果,经过计算得到7个凌家滩遗址出土猪牙釉质的锶同位素比值的平均值为0.712252,将该平均值加或减2倍标准偏差可以得到遗址当地生物可利用的锶同位素比值范围在0.711128~0.713376之间。据此锶同位素比值范围,可以判断本次检测的凌家滩遗址出土的2只狗和2头鹿的骨骼锶同位素比值均在当地的生物可利用的锶同位素比值范围内,推测凌家滩遗址出土的2只狗和2头鹿均为当地动物。因为凌家滩遗址出土的2头鹿中包含一头梅花鹿,依据现代动物学研究,梅花鹿的活动范围大约为5-15千米,可以推测此次根据凌家滩遗址出土猪牙釉质的锶同位素比值建立的当地生物可利用的锶同位素比值范围也大致为凌家滩遗址周边5-15千米范围内。

韦岗遗址出土的3只猪牙釉质的锶同位素比值也在此范围内,因此可推测韦岗遗址出土的3只猪也全部是当地动物。考古发现韦岗遗址距凌家滩遗址仅2千米多,韦岗遗址出土的3只猪全部是当地动物也从另一个侧面证实上述当地生物可利用的锶同位素比值范围的合理性。此外,考古学研究表明,韦岗遗址是一处凌家滩文化时期的小型聚落,其所表征的文化特质是凌家滩文化特质的组成部分,在遗迹、遗物及地理条件等方面,既反映出凌家滩文化特质具有较强的地域性,也显示出聚落间地理形势、自然资源极大的相似性^②。韦岗遗址出土的3只猪牙釉质的锶同位素比值全部位于以凌家滩遗址出土猪牙釉质的锶同位素比值所建立的当地生物可利用的锶同位素比值范围内,以及韦岗遗址出

土的猪与凌家滩遗址出土的猪食性一致,也从另一个侧面证明韦岗遗址自然地理资源与凌家滩遗址的相似性。

本次检测结果说明,凌家滩与韦岗遗址出土动物中的猪、狗和鹿等均为当地动物,或为当地人所驯养,或者是通过狩猎所得。由于凌家滩与韦岗遗址地处中国南方地区,地质环境复杂,样品保存状况不佳。能够保存下来的标本数量本就不多,供检测用的标本就更少。所以,本次研究所获得的一些认识仅是在现有数据基础上得出的,是阶段性结果。随着考古发掘工作的进展,相信会获得更多的动物标本,也许会有更加深入和全面的认识。尽管本次检测标本有限,但在有限的的数据上仍然获得了一些重要的发现,就是建立了当地锶同位素比值特征区域,还大致推定了该区域范围。不仅为了解韦岗遗址与凌家滩遗址之间的相互关系提供佐证,也为今后更进一步的研究奠定了基础。

注释:

①安徽省文物考古研究所:《安徽含山县凌家滩遗址第五次发掘的新发现》,《考古》2008年第3期。

②安徽省文物考古研究所、含山县文物局:《安徽含山县韦岗遗址新石器时代遗存发掘简报》,《考古》2015年第3期。

③赵春燕、袁靖、何努:《陶寺遗址出土动物牙釉质的锶同位素比值分析》,《第四纪研究》2010年第1期。

④赵春燕、李志鹏、袁靖等:《二里头遗址出土动物的来源初探——根据出土动物牙釉质的锶同位素比值分析》,《考古》2011年第7期。

⑤赵春燕、吕鹏、袁靖、方燕明:《河南禹州市瓦店遗址出土动物遗存的元素和锶同位素比值分析》,《考古》2012年第11期。

⑥Sillen A, Hall G, Armstrong R: 87Sr/86Sr ratio in modern and fossil food-webs in sterckfontein valley: implications for early hominid habitat preference. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998,62 (14):

2463.

⑦Bentley R A: Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 2006, 13, 135-187.

⑧Kennedy B P, Folt C L, Blum J D et al.: Natural isotope markers in salmon. *Nature*, 1997, 387: 766~767.

⑨Hoppe K A: Late Pleistocene mammoth herd structure, migration patterns, and Clovis hunting strategies inferred from isotopic analyses of multiple death assemblages. *Paleobiology*, 2004, 30(1):129~145.

⑩Price T D, Connor M, Parsen J D.: Bone chemistry and the reconstruction of diet: strontium discrimination in white-tailed deer[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1985, 12:419-442.

⑪Burton J H, Price T D: The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources. *Journal of Archeological Science*, 1990, 17: 547-557.

⑫Blum J D, Taliaferro E H, Weisse M T and Holmes R T: Changes in Sr/Ca, Ba/Ca and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios between two forest ecosystems in the north-eastern USA, *Biogeochemistry*, 2000, 49, 87 - 101.

⑬Price T D, Blitz J, Burton J H: Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions [J]. *Journal of Archaeological Science*, 1992, 19: 513-530.

⑭Price T D, Burton J H, Bentley R A: The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration [J]. *Archaeometry*, 2002, 44:117-136.

⑮Knudson K J, Tung T A, Nystrum K C et al.: The origin of the Juch'uyupampa cave mummies: Strontium isotope analysis of Archaeological human remains from Bolivia [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2005, 32:903-913.

⑯Aberg G.: The use of natural strontium isotopes as tracers in environmental studies. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, 79, (1~4):309~322.

⑰Grupe G, Price T D, Schroter P et al.: Mobility of Bell Beaker people revealed by strontium isotope ratios of tooth and bone: A Study of southern Bavarian skeletal remains. *Applied Geochemistry*, 1997, 12 (4): 517~525.

⑱Price T D, Johnson C m, Ezzo J A et al. : Residential mobility in the prehistoric Southwest United States: A preliminary study using strontium isotope analysis. *Journal of Archaeological Science*, 1994, 14:503~514.

⑲Bentley R A, Price T D, Stephan, E.: Determining the "local" $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ rang for Archaeological skeletons: a case study from Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science*, 2004, 31, 365~375.

⑳Julia I D: Strontium isotope analysis of Neolithic and Copper age population on the Great Hungarian Plain. *Journal of Archaeological Science*, 2009, 36, 491~497.

㉑Kristin M H, B. Brandon Curry, et al., variation in Strontium isotope ratios of Archaeological fauna in the Midwestern United States: a preliminary study, *Journal of Archaeological Science*, 2009, 36, 64~73.

㉒Knudson K J, Tung T A, Nystrum K C et al. The origin of the Juch'uyupampa cave mummies: Strontium isotope analysis of Archaeological human remains from Bolivia. *Journal of Archaeological Science*, 2005, 32(6):903~913.

㉓Bentley R A, Buckley H R, Spriggs M, et al. Lapita migrants in the Pacific's oldest cemetery: isotope analysis at Teouma, Vanuatu. *American Antiquity*, 2007, 72, 645~656.

㉔T. Cucchi, A. Hulme-Beaman, J. Yuan, et al. 2011. Early Neolithic pig domestication at Jiahu, Henan Province, China: clues from molar shape analyses using geometric morphometric approaches, *Journal of Archaeological Science* 38, 11-22.

㉕罗运兵、张居中:《河南舞阳县贾湖遗址出土猪骨的再研究》,《考古》2008年第1期。

㉖郑宏:《从近期考古发掘成果看凌家滩文化》,《中国文物报》2014年9月12日第006版。

㉗Marino B D, McElroy M B. Isotopic composition of atmospheric CO_2 inferred from carbon in C_4 plant cellulose [J]. *Nature*. 1991, 349 (6305): 127 - 131.

㉘赵春燕、朔知、吕鹏:《安徽境内不同遗址出土猪牙结石的检测与分析》,待发表。