



# 陕西淳化枣树沟脑遗址马坑内马骨的C和N稳定同位素分析\*

- ◆ 陈相龙 (中国科学院大学科技史与科技考古系)
- ◆ 李悦
- ◆ 刘欢 (西北大学文化遗产学院)
- ◆ 陈洪海
- ◆ 王振

## 1 引言

马的驯化极大地推动印欧语系人群和文化的分化与扩张,扩大了草原青铜文化的影响范围,并大大提高了人类的运输和战争能力。因此,马的驯养和开发被认为是欧亚草原文明快速演进的核心条件,也深深地影响着古人类文明的发展进程。世界范围来看,家马的驯化最晚可追溯至公元前四千纪中叶;之后,家马遗骸在中亚草原地带及欧亚大陆地区诸多考古遗址多有发现。大约在商代晚期,家马突然大量出现于中原地区,并被用做牺牲埋葬于高等级祭祀坑及贵族墓地。

《左传·成公十三年》:“国之大事,在祀与戎”。作为祭祀礼仪中高等级的牺牲及战争中出奇制胜的法宝,家马对于统治者来说无疑具有极高的宗教、政治和军事意义,对早期家马的研究也成为认识先秦礼制、军事及社会变革的重要手段。然而,目前的研究主要针对考古遗址中出土的马匹的年龄、性别及骨骼形态学等问题,鲜有对家马饲养策略的分析。这一现状限制了对古代家马极其功用的深入了解。近年来,随着考古学理论和技术的发

展,通过对考古遗址出土动物骨骼中的相关稳定同位素组成的测定来研究动物的食物结构,已经成为研究家畜起源及饲养策略的主要方法之一。利用这一方法,国内学者业已对史前猪、狗、黄牛、绵羊等动物的饲养策略进行研究。然而,一直以来,缺少对家马饲养策略的科技分析。因此,本文通过对陕西淳化枣树沟脑遗址西周中晚期马坑(MK1)出土马骨进行C、N稳定同位素分析,研究这些马匹的食物结构和饲养策略。

## 2 材料与方法

### 2.1 出土背景概况及样品选择

枣树沟脑遗址位于陕西淳化县润镇乡梁家行政村辖区,以先周文化遗存分布范围最广。2006至2010年,西北大学考古学系与陕西省考古研究所等单位合作进行了四次发掘,发掘总面积近3000平方米。马坑(MK1)位于发掘区西南部,平面大致呈圆形,其年代为西周中晚期。坑内葬马4匹,编号为马1、马2、马3、马4。此次样品选自这4匹马,包括牙齿3例(均为牙本质部分),骨骼5例,具体取样部位见表一。

\* 基金项目:国家社科基金重大招标项目“陕西淳化枣树沟脑遗址发掘报告”(批准号:12&ZD195)、中国博士后科学基金(2012M520442)、国家社科项目“商周时期泾河流域文化格局演进研究”(批准号:13CKG011)、国家文物局文物保护科学和技术研究课题“中国家马起源研究”(批准号:20110222)和西北大学“十二五”、“211工程”研究生创新人才培养项目“陕西地区先秦遗址出土马骨研究”(批准号:YZZ12079)资助。

## 2.2 样品预处理

机械去除样品表面污染物,超声清洗并干燥。选取约0.5克样品,加入0.5摩尔/升盐酸于5℃下浸泡,每隔2天换新鲜酸液,直到样品酥软无气泡。去离子水清洗至中性,加入0.125摩尔/升氢氧化钠室温下浸泡20小时,再洗至中性。置入pH=3的溶液中70℃下明胶化48小时,浓缩并热滤,冷冻干燥得胶原蛋白。最后称重,计算胶原蛋白得率(骨胶原重量/骨样重量,结果见表一)。

## 2.3 测试与数据统计分析

样品胶原蛋白中C、N元素含量和稳定同位素的测定在中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所分析测试中心完成,测试仪器为热电公司生产,配备有Vario元素分析仪的Isprime 100稳定同位素质谱仪。C、N稳定同位素比值分别以国际标准USGS24标定碳钢瓶气(以PDB为基准)和IAEA-N-1标定氮钢瓶气(以AIR为基准)为标准,分析精度分别为±0.1‰和±0.2‰。C同位素的分析结果以相对美国南卡罗莱纳州(Caroline)白垩系皮迪组箭石(Cretaceous Belemnite)碳同位素丰度比(PDB)的 $\delta^{13}\text{C}$ 表示,N同位素的分析结果以相对氮气(N<sub>2</sub>,气态)的 $\delta^{15}\text{N}$ 表示。样品的C、N含量以及C、N稳定同位素比值见表一。

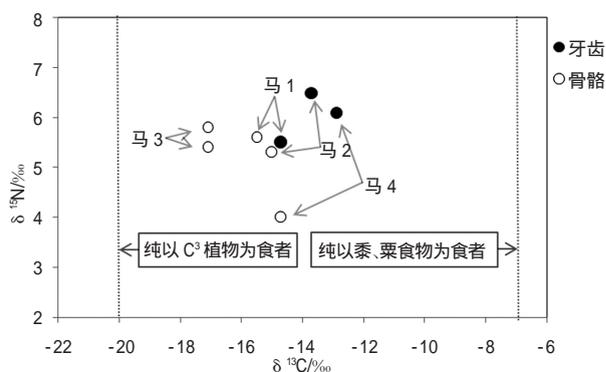
## 3 结果与讨论

### 3.1 骨骼污染判断

利用C、N稳定同位素进行食谱分析基于一个重要假设,即骨骼的结构和化学组成在埋藏过程中基本未受外界环境的影响,仍能保持部分生物学特性。然而,土壤的酸碱度、温湿度、微生物活动等相关因素不可避免要改变骨骼的化学组成,从而导致其结构的破坏,造成骨骼污染。因此,鉴别污染,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,是稳定同位素分析的首要任务。研究表明,骨胶原C、N含量分别在15.3%~47%和5.5%~17.3%范围内,且C/N摩尔比值介于2.9~3.6时,可视为无污染的样品。送检的8个样品C、N含量

表一 淳化枣树沟脑遗址马坑内马骨碳氮稳定同位素测试结果

马匹编号	骨骼编号	采样部位	‰ $\delta^{15}\text{N}$	‰ $\delta^{13}\text{C}$	‰N	‰C	C/N	骨胶原得率
马1	1	右上P3	5.5	-14.7	14.6	40.1	3.2	3.0%
马1	65	左 跖近端	5.6	-15.5	12.9	35.8	3.2	1.0%
马2	124	右上dP2	6.5	-13.7	13.9	38.6	3.2	2.1%
马2	181	右 掌近端	5.3	-15.0	14.2	38.9	3.2	9.9%
马3	286	右胫	5.8	-17.1	15.5	43.1	3.2	1.0%
马3	278	左 掌近端	5.4	-17.1	12.0	34.2	3.3	3.8%
马4	306	右上dP2	6.1	-12.9	13.7	38.3	3.3	2.3%
马4	350	左 掌近端	4.0	-14.7	11.7	33.4	3.3	1.4%



图一 枣树沟脑遗址MK1马骨及牙齿 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 散点图

分别为33.4%~43.1%、11.7%~15.5%和C/N摩尔比值为3.2和3.3,均在此范围内,说明样品中的骨胶原保存较好,可以用于食谱重建。

### 3.2 马的饲养策略

C、N稳定同位素分析原理,国内学者已曾详细介绍,此处不再赘述<sup>①</sup>。4匹马肢骨的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为4.0~5.8‰,这符合暖温带陆地食草动物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为3~7‰的特征<sup>②</sup>。与肢骨相比,马2和马4右上第二乳前臼齿(dP2)均高于相应肢骨的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,差值分别为1.2‰和2.1‰;而马1右上第三前臼齿(右上P3)则与其肢骨的 $\delta^{15}\text{N}$ 值基本相同。我们认为,这种情况与马在不同年龄阶段的食物结构及骨骼和牙齿的营养代谢有关。研究表明,哺乳动物的牙齿本质生长是由齿尖开始,由外向内层层相继地生长,这也被称为牙本质生长线。牙本质生长线一旦形成,其化学组成便基本不再与外界交换<sup>③</sup>;而骨骼在个体死亡之前始终参与新陈代谢,其化学组成也随之变化<sup>④</sup>。因此,牙齿的化学成分记录了该个体牙齿发育阶段的食物信息,骨骼同位素则记录

了个体死亡前若干年内的食谱概况。dP2 从出生之时已经开始发育,主要记录了家马断奶之前的食谱信息。此时,马驹主要通过母乳获取营养,母乳效应(Nursing Effect)会导致其骨骼和牙齿  $\delta^{15}\text{N}$  值比母马高 3‰~5‰<sup>15</sup>。断奶之后<sup>16</sup>,小马所采食植物的  $\delta^{15}\text{N}$  值比马奶底约 3‰~5‰(一个营养级),这种变化最终会反映在骨骼的  $\delta^{15}\text{N}$  值上。因此,马 2 和马 4 乳齿的  $\delta^{15}\text{N}$  值高于骨骼。相比之下,马 1 右上 P3 发育的时间则始于 2.5 岁左右<sup>17</sup>,因此其  $\delta^{15}\text{N}$  值与骨骼几无差异。

淳化枣树沟脑遗址所在地属于半湿润气候区,自然景观为森林草原地带<sup>18</sup>,这种环境并不利于野生  $\text{C}_4$  植物的生长<sup>19</sup>。因此,野生或放养状态下食草动物的食谱中应基本为  $\text{C}_3$  植物。针对枣树沟脑遗址的农业考古工作虽暂未开展,但据周邻同期遗址的情况可知此处位于北方旱作农业区,其典型作物是以粟和黍为代表的  $\text{C}_4$  植物。如在邻近的周原遗址王家嘴地点(年代为庙底沟二期至东周)的出土谷物以粟最多,达 6437 粒,占出土谷物的 92%<sup>20</sup>。因此,我们可以根据  $\delta^{13}\text{C}$  值来判断该遗址马的食谱已被人为干预,即向其饲料中添加粟、黍及其副产品。

从枣树沟脑遗址马的  $\delta^{13}\text{C}$  来看,分布范围为 -17.1‰~-12.9‰,明显大于完全以  $\text{C}_3$  植物为食者的同位素值(如鹿和草兔,  $\delta^{13}\text{C}$  基本在 -20‰左右或更低),而又小于完全以黍或者粟类产品为食的动物(如猪,约为 -7‰或更高)<sup>21</sup>,说明这些马与野生食草动物食谱并不相同,其食物部分来自粟作农业产品。这一结果肯定了其家马的属性,与动物考古研究结果相符<sup>22</sup>。同时,不同的  $\delta^{13}\text{C}$  反映了其生前不同的食物结构和饲养策略。马 1、马 2、马 4 的  $\delta^{13}\text{C}$  集中分布在为 -12.95‰~-15.5‰,体现出以  $\text{C}_4$  食物即粟黍等为主的食谱类型,饲养策略可能以人工饲养为主;而马 3 的  $\delta^{13}\text{C}$  为 -17.1‰,反应它的食物来源以  $\text{C}_3$  植物为主,含有少量粟类食物,我们据此推测其饲养策略应以野外采食的放养为主,并在冬季及早春等不适宜放牧的时候为其提供粟类食物作为饲养。事实上,这些推测也得到了先秦史料的支持。《诗经·小雅·鸳鸯》:“乘马在厩,摧之秣之”<sup>23</sup>。郑玄注:“摧,莖也;秣,粟也”。《诗经·国风·周南·汉广》:“之子于归,言秣其马。……言其秣驹”<sup>24</sup>。可见,粟在当时是饲养马匹的主要饲

料。此外,《周礼·夏官·圉师》中也有关于马匹饲养方式的记载,如“春除蓐,衅厩,始牧”。即春天除去马厩中铺垫的草,行衅礼,然后开始放牧<sup>25</sup>。《左传·庄公二十九年》:“凡马日中而出,日中而入。”杜预:“日中,春秋分也。”<sup>26</sup>显然,周代牧马的时间主要集中在草木繁盛的夏季。如此,喂养与放养结合,应该是当时饲养马匹的主要方式。

#### 4 结论

通过对陕西淳化枣树沟脑遗址西周中晚期马坑 1(MK1)出土马骨进行 C 和 N 稳定同位素分析,可以得出以下结论:

(1) 马 2、马 4 年龄 dP2 的  $\delta^{15}\text{N}$  值高于其肢骨,这与其断奶之前的母乳喂养有关。

(2) 枣树沟脑遗址马坑 1 出土马骨的  $\delta^{13}\text{C}$  值大于完全以  $\text{C}_3$  植物为食者的同位素值,表明这些马生前食用较多的  $\text{C}_4$  类植物即粟黍等,它们的食物明显受到人类的干预,这一结果一方面肯定了其家马的属性,与动物考古学研究成果相符;另一方面,也为今后开展中国古代家马起源与饲养策略研究提供了新的视角。

(3) 4 匹马中马 1、马 2、马 4 的  $\delta^{13}\text{C}$  值反映出以  $\text{C}_4$  食物即粟黍等为主的食谱类型,其饲养方式可能主要为人工喂养,并辅以放养;而马 3 的  $\delta^{13}\text{C}$  值表明它的食物来源以  $\text{C}_3$  植物为主,同时含有部分  $\text{C}_4$  食物,因此其饲养策略可能以放养为主。这种情形是否代表了马匹牺牲来源的多元化,还需要进一步的分析。

受所选取样品数量和属性的限制,上述结论还有待进一步的检验。我们今后会继续关注并开展相关研究,以便于深入认识中国古代家马起源及饲养策略。

致谢:中国社会科学院考古研究所袁靖研究员、西北大学文化遗产学院王建新教授对本文予以悉心的指导,在此表示衷心的感谢。

注释:

Anthony DW, The horse, the wheel, and language how bronze-age riders from the Eurasian steppes shaped the modern world. Princeton University Press, 2007.

Outram AK, Stear NA, Bendrey R, Olsen S, Kasparov A, Zaibert V, Thorpe N, Evershed RP, The Earliest Horse Harnessing and Milking. Science, 2009, 323: 1332-

1335. Levine MA, Domestication and early history of the horse, in *The Domestic Horse: The Origins, Development, and Management of its Behavior*, Mils DS & McDonnell SM (Eds.), Cambridge University Press, 2005.

a. 袁靖:《中国古代家养动物的动物考古学研究》,《第四纪研究》2010年第30卷第2期。b.袁靖:《中国古代家马的研究》,载陕西省文物局等编:《中国史前考古学研究》,第436~443页,三秦出版社,2003年。

李学勤主编:《春秋左传正义》,第756页,北京大学出版社,1999年。

a.王宇信:《商代的马与养马业》,《中国史研究》1980年第1期。b.赵海洲:《东周秦汉时期车马埋葬研究》,郑州大学博士论文,2007年。

a. 袁靖:《中国古代家养动物的动物考古学研究》,《第四纪研究》(第30卷)2010年第2期。b.袁靖:《中国古代家马的研究》,载陕西省文物局等编:《中国史前考古学研究》,第436~443页,2003年,三秦出版社。c.刘羽阳:《先秦时期家马研究》,中国社会科学院考古研究所博士论文,2013年。

a.管理等:《陕北靖边五庄果梁动物骨的C和N稳定同位素分析》,《第四纪研究》(第28卷)2008年第6期。b.陈相龙等:《陶寺遗址家畜饲养策略初探》,《考古》2012年第9期。

a. 钱耀鹏等:《陕西淳化枣树沟脑遗址发掘获重要发现》,《中国文物报》2006年11月24日第1版。b.钱耀鹏等:《淳化县枣树沟脑遗址调查发掘的主要收获》,《西北大学学报·哲学社会科学版》2008年第38卷第4期。c.西北大学文化遗产与考古学研究中心等:《陕西淳化县枣树沟脑遗址先周时期遗存》,《考古》2012年第3期。此外,马坑的资料尚未发表。

Price TD, Blitz J, Burton JH, Diagenesis in prehistoric bone: problems and solutions. *Journal of Archaeological Science*, 1992, 19: 513~530. 胡耀武等:《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年第17卷第4期。

DeNiro MJ, Post-mortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary re-construction. *Nature*, 1985, 317: 806~809. Ambrose SH, Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotope analysis. *Journal of Archaeological Science*, 1990, 17: 431~451.

① a.蔡莲珍、仇士华:《碳十三测试和古代食谱研究》,《考古》1984年第10期。b.张雪莲等:《古人类食物结构研究》,《考古》2003年第2期。c.胡耀武、王昌燧:《中国若干考古遗址的古食谱分析》,《农业考古》2005年第3期。

⑫ Hedges REM, Reynard LM. Nitrogen isotopes and

the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 2007, 34: 1240~1251.

⑬ Gage JP, Francis MJO, Triffitt JT, Collagen and dental matrices. Butterworths: Boston, 1989.

⑭ Hedges REM, Clement JG, Thomas CDL, et al., Collagen turnover in the adult femoral mid-shaft. *American Journal of Physical Anthropology*, 2007, 133: 808~816.

⑮ Hedges REM, Reynard LM. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 2007, 34: 1240~1251.

⑯ 野马马驹8~9个月龄断奶,现代家马马驹通常在4~6个月龄断奶。Waran NK, Clarke N, Farnworth M, The effects of weaning on the domestic horse (*Equus caballus*). *Applied Animal Behaviour Science*, 2008, 110: 42~57. Drs Jerry、张辉:《养好马驹的措施》,《国外畜牧学(草食家畜)》1992年第1期。

⑰ Silver IA, The aging of domestic animals. *Science in Archaeology*. D. Brothwell and E. Higgs. London, 1969, Thames and Hudson: 283~302.

⑱ 陕西省地方志编纂委员会:《陕西省志·气象志》,气象出版社,2001年。

⑲ Epstein, HE, Lauenroth WK, Burke IC, et al., Productivity patterns of C3 and C4 functional types in the U.S. Great Plains. *Ecology*, 1997, 78: 722~731.

⑳ 周原考古队:《周原遗址(王家嘴地点)尝试性浮选的结果及初步分析》,《文物》2004年第10期。

㉑ Barton L, Newsome SD, Chen F-H, Wang H, Guilderson TP, Bettinger, RL, Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106: 5523~5528. 管理等:《陕北靖边五庄果梁动物骨的C和N稳定同位素分析》,《第四纪研究》2008年第6期。Atahan P, Dodson J, Li X-Q, et al., Early Neolithic diets at Baijia, Wei River valley, China. *Journal of Archaeological Science*, 2011, 38: 2811~2817.

㉒ 李悦等:《陕西淳化枣树沟脑遗址马坑出土马骨研究》,《西北大学学报·自然科学版》特刊。

㉓ 蒋建元、程俊英:《诗经注析》,第685页,中华书局,1991年。

㉔ 蒋建元、程俊英:《诗经注析》,第24页,中华书局,1991年。

㉕ 杨天宇:《周礼译注》,第478~479页,上海古籍出版社,2004年。

㉖ 李学勤主编:《春秋左传正义》,第292页,北京大学出版社,1999年。