

甘肃武都龙家沟三趾马动物群 化石的聚集特点^①

张云翔 薛祥煦
(西北大学, 西安 710069)

提 要 龙家沟三趾马动物群中不同类型、不同大小动物的保存量及保存部位相差很大,实际保存量仅为理论保存量的 6% 左右,其化石材料明显经过水流的搬运作用。搬运过程中的分选作用是造成材料流失的主要原因,其中小型动物的流失最为明显。这是古生态恢复及古环境再造值得注意的问题。

关键词 三趾马动物群 搬运介质 沉积组合

第一作者简介 张云翔 男 39岁 博士 副教授 埋藏学

前 言

“三趾马动物群”及“三趾马红土”的广泛分布是我国北部新生代最令人瞩目的地质现象之一。对这一动物群性质、分布、时代及种类的研究前人着墨颇多^[1-4],但对其聚集形式、含化石地层成因的讨论有限。

龙家沟动物群发现于甘肃省武都县城以北约 50 km 处。该动物群材料共 4537 件,代表着 370 余个个体。化石统计结果表明,这一动物群材料实际保存量仅是理论保存量的 6% 左右^[5]。产生如此巨大偏差现象的原因是什么呢?所缺失的大量材料主要都是哪些部位呢?不同类型、不同大小动物所流失的材料是否有什么规律可循?化石的聚集条件对其缺失有什么样的影响?这是我们所关心并希望解决的问题。

生物遗体从死亡地到埋藏地搬运介质的性质及其强弱是埋藏学研究的一个重要方面,计算不同骨骼成分的相对丰度是恢复这一特征的基本手段。长期以来,许多古生物学者已经注意到了在脊椎动物化石群中,不同的骨骼保存成为化石的机率并不相等。所以古生态学家们对动物体不同部位的保存比例历来十分重视。经过对大量现生动物的实验、野外观察^[6]及对化石群的研究与统计^[7,8],发现脊椎动物不同骨骼被搬运的难易程度不同,因此在化石中出现的频率也不一致。产生化石保存量与理论量之间差别的原因多种多样,风化、机械破碎、其它生物的作用、搬运及分选都有可能使动物遗体大量缺失。动物个体的大小、年龄的老幼及种类等方面的不同也会在不同种间形成明显的差异性保存。但更大程度上与骨骼在搬运时的性质有关。其中水流的搬运是造成骨骼缺失的主要原因之一。

① 国家自然科学基金 49472077 资助项目。

收稿日期: 1996- 01- 01

为了具体地测定出骨骼在水流搬运过程中的运动状态,本世纪六、七十年代,就有古生物工作者在室内将动物的骨骼放入模拟的河道,观察其被运、分选的情况。其中以美国古生物学家 Vooihies 的实验最为著名^[9],他的实验结果表明:①不同的骨骼在初始运动时所需要的水动力大小不同。比重较小、外形呈片状的肋骨、肩胛骨及外形浑圆的脊椎骨、四肢远端的骨骼等较早被搬运。比重较大的骨骼及外形呈长棒状的骨骼(如主要肢骨等)被搬运的时间较晚。②不同骨骼在水流中具有不同的运动方式,如漂浮、牵引、滚动等。③在相同的水动力条件下,不同的骨骼根据其大小、比重及形态,很快被分选成为三个不同的沉积组合。其第一分选组主要包括肋条、脊椎、荐椎、胸骨、肩胛骨、指(趾)骨、尺骨等。第二分选组主要包括股骨、胫骨、肱骨、挠骨、腰带等。第三分选组主要包括头骨、下颌等。同时也存在一些交混现象。

骨骼在流水中的搬运与沉积很大程度上与水流的流动状态有关,如流水的性质是层流还是紊流,是急流还是缓流。这些性质又多取决于水的流速。当我们假设水流的速度、流动的状态稳定不变时,骨骼的搬运与沉积就取决于自身的特点,如比重、形态、大小等。因此,当搬运介质运动的速度在一定方向上做有规律的变化时,骨骼相应地按其特性发生分异沉积。这一过程用物理学的原理来解释是不难理解的。但是,水流的理想状态是不存在的,绝对的分异沉积也就不可能出现。在化石群中,各沉积分选组组分的混杂也就不足为奇了。在分析其搬运状态时,应主要考虑其中占主导地位的骨骼组分。

在水流的作用下,不同的骨骼在搬运过程中可以相对集中,形成分选组。反之,在化石群中,通过对骨骼分选组组合的分析,就可以推测出古水流的大小、性质以及水流在动物骨骼集中过程中所起到的作用。值得注意的是,如一个化石群仅有大型动物或仅有小型动物时,尽管这些骨骼并没有明显表现出来分选的特征,仍可能是水流作用的结果。因此,在分析骨骼的搬运介质时,围岩的沉积证据有着极其重要的价值。

在水流比较稳定的情况下(如大型河流),Vooihies 的实验结果具有广泛的指导意义。当搬运骨骼的水动力为暂时性水流时,其运动的方式与运动的顺序或许会有所不同。从现代洪积物沉积特点分析,这些骨骼成分会表现为同时运动,分组沉积。相对而言,大小混杂现象比较明显。

1 龙家沟动物群骨骼的保存特征

龙家沟动物群的材料从表面上看大小混杂,不同类型、不同大小、不同部位的骨骼都有相当量的保存,似无章可循。但仔细研究,分类之后就不难发现,不同大小动物所保存的部位差别很大,材料的保存存在着较明显的内在联系,在同一大小动物类型中,肢骨要比头骨易搬运。但在不同大小的类型中,或许大个体的肢骨与小个体的头骨同时搬运,甚至后者更易流失。这些差别实质上所反映的是被搬运过程中骨骼组分在分选过程中的彼此当量问题。因此,笔者在分析龙家沟三趾马动物群的化石材料时,首先以个体大小的相似性,将其分为四个大组——特大型、大型、中型及小型动物(表1)。再在各组中选择一代表性动物,分析它们之间骨骼保存数量与相对丰度的差异。

龙家沟动物群中特大型动物指的是长鼻类。这一类动物的材料保存数量有限,主要是一些肢骨远端的组分。其外形浑圆,相比之下,在水中较易搬运,但其比重较大,与肋骨及脊椎

等相比,搬运所需的水动力要更强一些

表 1 龙家沟动物群动物个体类型划分

Tab. 1 Types grouped according to the size of Longjiagou *Hipparion* fauna

类 型	特大型	大 型	中 型	小 型
主要类型	Proboscidea	Acerorhinus Honanotherium Samotherium	Hipparion Chalicotherium Machairodus	Cervidea Suidea Gazella
下颌(长 重)		450 mm± 2900 g±	360 mm± /1300 g±	180- 220 mm/200- 440g
枢椎(长 重)		195 mm± /1420 g±	120 mm± /750 g±	90 mm± /180 g±
股骨(长 重)		500 mm± /4000 g±	350 mm± /1450 g±	180 mm± /410 g±

大型动物包括有 *Acerorhinus* *Honanotherium* 及 *Samotherium* 等。它们是龙家沟动物群化石材料的主体,大约有 1000 余件标本,其中以 *Acerorhinus* 最为丰富

Acerorhinus 骨骼保存率(实际保存量/理论保存量)超过 50% 的有肱骨、挠骨、尺骨、股骨及胫骨。此外距骨、跟骨的保存量也相对较多。这些部位的材料大都属 Voorhies 实验的第二分选组。头骨与下颌数量甚少,仅占整个标本数的 8% 左右。纵观 *Acerorhinus* 化石材料保存的相对丰度,是以第二分选组的为主,辅以第三分选组的成分。至于属于第一分选组的成分,一是数量少,二是多彼此关联在一起保存的脊椎等,其搬运性质就会因此而发生变化。

属于大型动物的其它几类骨骼保存的数量及其他有关特点与 *Acerorhinus* 的基本一致。*Honanotherium* 的 140 号标本中,第二分选组的成分占整个属总标本数的 80%,虽然也有不少应归属第一分选组的脊椎,但它们同样多彼此关联。可以认为,大型动物所保存的骨骼基本上都是第二分选组的成分,其它组分的数量保存有限。

龙家沟动物群中的中型动物指的是 *Hipparion* *Machairodus* *Hyracoidea* *Chalicotherium* 等。其大小明显地介于大型动物与小型动物之间。其中以 *Hipparion* 为代表。这类骨骼保存以头骨(包括上颌)及下颌为主。如 *Hipparion* 头骨与下颌的保存率均在 80% 以上。*Hyracoidea* *Chalicotherium* 的标本完全是下颌,*Machairodus* 除一头骨外,仅有一肱骨远端。除此之外,这类动物还有一定量的肢骨和脊椎,不过它们的保存率在 20% 以下。其骨骼的保存特点是:属于第三分选组的头骨、下颌占整个材料的优势,而属于第一、二分选组的成分明显下降,但仍有一定的比例。

小型动物是龙家沟动物群中个体数最多的一类。以 *Eostyloceras* *Muntiacus* *Cervavitus* *Paracervulus* 等鹿科为主,另外还包括了 *Eomellivora* *Paramachairodus* 等食肉类动物和 *Gazella* 等小型牛科动物。它们无论在个体大小上或是重量上,都与该动物群其它类别相差很大。这类动物的化石材料在保存特点上也与其它种类的明显不同。在整个小型动物的 920 余号标本中,头骨、角及下颌占有 95% 以上,形成绝对优势。因此可以说,小型动物化石以第三分选组的材料为主。另有极少量的其它分选组成分。

小型动物化石材料另一个令人注目的现象是下颌远远多于上颌,残破的上颌远远多于头骨。究其原因,当属这类动物的头骨多较轻薄,在搬运过程中极易破碎。所以其头骨碎片

与脊椎、肋骨等一道被水搬运流失。而比重较大的带有牙齿的颌骨则保存下来成为化石。

在各类动物中,除不同分选组骨骼的数量做规律性的变化之外,另一个值得注意的现象是化石材料的保存完整程度也有着相应的变化。每一类动物保存的主体往往是该类动物保存最完好的部分。

总之,化石材料的差异性保存在龙家沟动物群中具体表现为大个体动物的材料远比小个体动物材料保存得多。

2 龙家沟动物群材料的聚集动力及意义

生物遗体作为沉积颗粒,在其搬运、沉积过程中,一方面与其它碎屑物一样遵循着搬运和沉积的规律,另一方面它又有着自身特殊的一面。特别是生物遗体被搬运的形式多样,集中特点明显。

生物搬运是动物死后遗体聚集的重要方式之一,这种作用具有比较明显、特殊的鉴定标志。食肉动物对所食对象、部位有着相当的倾向性。在一般情况下,由食肉动物集中的骨骼就会形成某些部位成分特别丰富,如头骨、下颌及管状骨等,而另一些部位却十分罕见,并在骨的表面留下牙迹及食肉动物的破坏痕迹,所集中的动物骨骼有时也会出现捕食者与被捕食者间比例失调。此外,化石的集中地多在洞穴等一些特殊的环境之中。

岩石的裂隙、洞穴等地也会因为动物的失足落陷而形成动物尸体的集中地。作为特殊的化石集中形式,尽管其特点各不相同,总的来说是比较容易鉴别的。如动物骨骼彼此相关联的较多,特别是有时可以发现完整的骨架。即使受到后期成岩作用的破坏,但骨骼不同部位的数目彼此尚有一定的比例。

赋存在沉积地层中非原地埋藏的化石绝大多数是在流水的搬运作用下,从死亡地被搬运到了埋藏地。在搬运过程中,无论其动力强或弱,搬运距离长或短,都会造成骨骼程度不同的损耗、分选,并在某种程度上形成长骨的定向排列。

龙家沟动物群的化石材料发掘于50余年前,化石在地层中的分布等野外资料已无法得知。但在所采集的化石中,尚有一些未修理的大块骨骼,虽然我们已无法得知它们在地层中的原始方位,仍可测量出这些骨骼彼此间的相对位置。实测表明,龙家沟动物群的材料具有较为明显的定向性。骨块中的长形骨骼多数彼此平等,或夹角较小^[5]。

龙家沟动物群四大类型中各代表属种的化石材料保存数量及相对丰度(表2),可以反映该动物群化石材料的保存特点及其内在联系。由于不同的骨骼有着不同的被搬运性质及不同的扩散能力,这些性质无疑会影响到它们的沉积速率。因此,当一个动物群含有相当扩散能力的骨骼组分时,就可能意味着原来动物在死亡、分解之后经过了较明显的分选作用。具体表现在不同类型中,保存的部位、各部位的比例等的不同。从特大型动物到小型动物,龙家沟动物群的材料保存颇有规律。大型动物 Rhinocerotidae Giraffidae 等的肢骨是这类动物骨骼保存最丰富的部分,头骨、下颌及肋骨、脊椎也有一定数量的保存。中型动物骨骼的保存情况与大型的相比,已明显发生了变化。属第三分选组成分的骨骼更加丰富,这部分的每个个体所具有的标本数(NISP)已上升到2.6,明显高于大型动物的NISP值。而属于第二分选组成分的NISP只有3.04,比大型动物的11.54下降了8.5,反映了从大型动物到中型动物分选作用进一步加强,导致了较易流失的第一、二分选组的成分更明显的缺失。小型动物

化石材料中,除了头骨、下颌外,其它材料已所剩无几。

表 2 龙家沟动物群主要食草类各分选组标本数
Table 2 NISP of the main herbivorous in Voorhies' groups

分类	第一分选组	第二分选组	第三分选组
Rhinocerotidae	6. 1% (49)	85. 7% (685)	8. 1% (65)
Giraffidae	10. 7% (15)	77. 8% (109)	11. 4% (16)
Equidae	14. 6% (53)	46% (167)	39. 4% (143)
Suidae	(0)	5. 8% (1)	94. 1% (16)
Cervidae	3. 8% (22)	6. 3% (37)	89. 3% (507)
Bovidae	5. 1% (2)	15. 4% (6)	79. 3% (31)

注: 前一数字为该分选组占整个类别中的相对比例, ()中的数字为标本件数。

以上所述由表 2 全面准确地反映出来。从该表的横向来看,大型动物第二分选组骨骼的相对丰度在 75%—85% 之间,其余二分选组的成分约在 10% 左右。中型动物则是第二、三分选组大体相当,相对丰度各在 40% 左右。到小型动物第三分选组的相对丰度已达 80% 或更高。从表的纵向分析,第一分选组在各类动物中变化不甚明显,但仍有小型动物的较低的趋势。第二、三组的变化在各类动物中区别就十分明显了。第二组从 85. 7% (大型)→46% (中型)→5. 8%→15. 4% (小型),三个类型的动物,其数量急剧减少,形成三个台阶。与之相应的第三分选组则从大型动物的 8. 1% 经中型动物的 39. 4% 飞跃到小型动物的 90% 左右。动物骨骼沉积组合是衡量水动力强弱的主要指标之一。不同的分选组组合反映了不同的水动力条件。当被同一水流条件所搬运的动物有大小之分时,就会在同一沉积点,形成与不同大小相关的沉积组。如大个体的第二分选组会与小个体的第三分选组同时出现。

根据龙家沟动物群各类化石材料中不同分选组间的比例,将其值投影到分选组三角图解上(图 1)。其中特大型动物(G点)、大型动物(R点及G点)落于第二分选组的范围,小型动物(S点、C点及B点)无一例外的落于第三分选组之中,同时可以看出,中型动物的E点距大型动物GR点的距离要比到小型动物SGB点近得多。这或许是由于它们之间个体大小的差别引起。大、中型动物同一部位骨骼的大小、重量相差大约 2 倍左右,而中、小型动物间相差一般却在 2—3 倍或更多。但是到底动物的重量相差多少,可在同一水动力条件

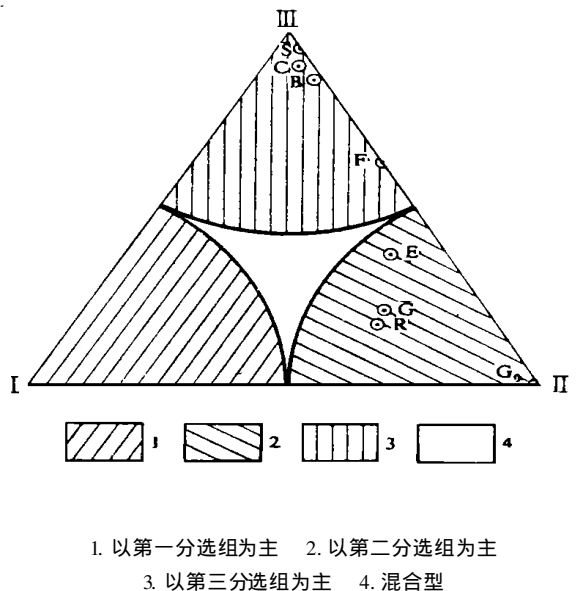


图 1 龙家沟动物群各类动物不同分选组间的三角图解
Fig. 1 Triangle illustration of Voorhies' group of families

下相差一个分选级别是一个十分有趣并且重要的问题 这要经过大量的实验才有可能得出。Behrensme yer已做了一些实验 她将各类大小不同动物中应属于第一分选组的成分投入实验水槽, 结果发现随个体的增大, 搬动明显滞后^[10]。

以上资料分析结果, 我们可以认为: ① 龙家沟动物群的聚集是水流的搬运; ② 该动物群化石的缺失, 除食肉动物少量扰动外^[11+12], 其主要原因是水流搬运中的分选所致; ③ 搬运这一动物群的水动力并不十分强, 仅使中小型动物较易搬运的第一、二分选组的成分流失, 而大型动物中第三分选组较难搬运的组分仍未能搬运出沉积地 因此, 该动物群中无啮齿类和兔形类的现象可能并非动物群原有特征; ④ 不同大小动物在被水流搬运时, 各沉积组之间有着一定的内在联系, 需进一步研究彼此间的关系, 以便为今后古动物居群结构分析提供更多的证据

参 考 文 献

- [1] Kurten B. The Chinese *Hipparion* fauna. *Comm. Biol. Soc. Sci. Fennica*, 1952, 13(4): 1- 82.
- [2] 李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 中国陆相新第三系的初步划分与对比. *古脊椎动物学报*, 1984, 22(3): 163- 178.
- [3] 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 中国的三趾马化石, *中国古生物志新丙种*. 25 北京: 科学出版社, 1987, 135- 185.
- [4] 邱占祥, 邱铸鼎. 中国晚第三纪地方动物群的排序及其分期. *地层学杂志*, 1990, 14(4): 241- 260.
- [5] 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群埋藏学. 北京: 地质出版社, 1994
- [6] Behrensme yer A K, et D Dechant. The recent bone of Amboseli Park, Kenya, in relation to east African paleoecology. In: Behrensme yer, A. K. et A. P. Hill eds. *Fossils in the making*. Univ. Chicago Press, Chicago, Illinois. 1980, 72- 93.
- [7] Kidwell S M. Paleobiological and sedimentological implications of fossil concentrations. *Nature*, 1985, 6- 24.
- [8] Kidwell S M. Models for fossil concentrations. *Paleobiology*, 1986, 12(1): 6- 24.
- [9] Voorhies M R. Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene vertebrate fauna, Knox. County, Nebraska. *Univ. Wy. Contrib. Geol. Special Paper*, 1969, 1- 69.
- [10] Behrensme yer A K. Vertebrate preservation in fluvial channels. *Paleogeog., Paleoclim., Paleoecon.*, 1988, 63 182- 199.
- [11] 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群中 *Eostyloaeras* 中的年龄结构及其意义. *西北大学学报(自然科学版)*, 21(增刊): 1991, 187- 193
- [12] 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群骨骼的破碎类型及其原因. 见: 中国科学技术协会首届青年学术年会陕西卫星会议执行委员会编:《现代燧人氏探索》. 中国科协首届青年学术年会陕西卫星会议论文集, 西安: 陕西师范大学出版社 1992, 158- 161

Features of Fossils Accumulation of Longjiagou *Hipparion* Fauna of Wudu County, Gansu Province

Zhang Yunxiang and Xue Xiangxu

(Department of Geology, Institute of Cenozoic Geology and Environment, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

The fossil assemblage is clearly quite different from the original biocoenosis because of the meager preservation of the original biota. Taphonomic analysis of the fossil assemblage may improve our knowledge of the biocoenosis. The fossils of Longjiagou *Hipparion* fauna were found 50 km north from Wudu County in the south part of Gansu. The materials are very abundant, there are about 4537 pieces in total which represent more than 370 individuals. The present bones account for just about 6% of original ones. What are the reasons that caused so much bias? Which parts and which kind of animals are lost mostly? Are there any laws fitting for missing bones of different animals? All of these are problems that we are concerned about and hope to solve. Based on the analysis of the relative abundance of different parts of animals, the materials of Longjiagou *Hipparion* fauna were transported by the action of water, and sorting of specimens was obvious. The medium of transportation might be transient water that was favorable for big animals, but many of small animals were washed away by water. So the fact that no Rodent and Lagomorpha were found in the fauna may not be the features of original biocoenosis. There are some internal relations between sediment groups and bones of different size animals transported by water.

Key words *Hipparion* fauna, sedimentary assemblage, transporting medium