

国家自然科学基金资助项目

甘肃武都龙家沟三趾马 动物群埋藏学

张云翔 薛祥煦 著

3.35
49

地质出版社

(京) 登新字 085 号

内 容 简 介

本书从埋藏学的角度对甘肃武都龙家沟三趾马动物群进行了全面详细地研究。提出了该动物群的死亡方式、死亡季节及不同类型动物在灾害死亡中的表现形式。进而对死后事件——分解、搬运、风化、破碎等过程逐一进行了分析,指出了它们对龙家沟三趾马动物群化石材料保存的影响,并在此基础上恢复了该动物群生活时的古环境及含化石层的沉积速率等。

本书对埋藏学研究历史与现状、研究方法也做了一定的介绍。文中附图 26 幅,表格 24 张,图版 8 个。可供从事地层古生物、古生态、埋藏学等方面的研究、教学人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

甘肃武都龙家沟三趾马动物群埋藏学/张云翔,薛祥煦著. -北京:地质出版社, 1995. 1

ISBN 7-116-01793-3

I. 甘… I. ①张… ②薛… . III. ①古动物学-三趾马-研究-甘肃-学位论文②隐伏构造-研究-甘肃-学位论文 N. ①Q915.877-533②P542

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 14673 号

地质出版社出版

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:甄玉 王璞

*

北京印刷学院实习印刷厂印刷

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 6.375 铜版图: 4 页 字数: 145900

1995 年 1 月北京第一版·1995 年 1 月北京第一次印刷

印数: 1—800 册 定价: 5.80 元

ISBN 7-116-01793-3

Q·03

前 言

与古生物学有关的许多学术问题,诸如生物的进化、分类、古生态、古地理环境……等方面的研究都是以化石标本为主要依据的。因此,化石记录与其所代表的生物居群在性质、数量、种类等方面是否一致就成为上述研究工作首先要考虑的问题。建立在完好的化石纪录上的古生物学结论是研究上述问题的重要基础。在研究上述问题时,要充分估计到化石记录与实际生活群之间的偏差,这些偏差无疑形成于生物遗体的埋藏过程。

埋藏学是研究生物遗体从生物圈向岩石圈变化过程及其规律的学科。它注重研究化石保存过程及在这一过程中所受到的各种影响。任何一个不完整或混杂的化石群都会导致不正确、甚至错误的结论。通过埋藏学的研究,可以提供生物从其死亡经过风化、分解、其他生物的作用、搬运、埋藏、成岩作用等整个过程的全部信息,是古生物生活方式恢复、形态功能分析、居群结构重建的重要前提。

埋藏学自1940年间世以来,虽几经起伏,但近20余年来在国外得到了飞速的发展。它已不仅仅强调化石在形成过程中的信息损失,而更侧重生物行为、环境的演化。在我国,这一学科比较落后,基本上还处在方法和理论的介绍阶段。针对这种情况,薛祥煦教授从美国回来后,提出要积极开展和加强有关埋藏学的研究,使我国该学科的研究水平赶上世界的步伐。为此,我们选择了甘肃武都龙家沟三趾马动物群的化石材料作为我们研究埋藏学的对象。

龙家沟三趾马动物群无论在属种类型上还是在优势动物上,与我国北方常见的三趾马动物群都有许多不同之处。生物的出现受到各种环境因子的控制,因此,动物类型的不同反映出它们所处生活的环境不同。龙家沟三趾马动物群究竟生活在什么样的环境中?与其它三趾马动物群的生活环境本质性差别是什么?该动物群的数千件标本产自仅数十平方米的一个小坑中,那么多的骨骼是从什么地方来的?如何来的?它们所代表的动物是在同一次事件中死亡的呢?还是在一段时间内动物死亡遗体的堆积?这些动物生前是否是一个居群?在搬运过程中是否发生过不同生态类型尸积群的混杂?化石集中地当时是河流、湖泊还是洞穴?这些问题的回答需要对动物群的埋藏过程进行全面细致地研究。

在研究过程中我们曾遇到过许多的困难,如资料不足,没有实验手段,没有可供借鉴的研究方法。特别是龙家沟三趾马动物群是前人采集的现成标本,缺乏化石在野外埋藏情况的记录。面对这样一个已采到的、无论在种类或数量都相当丰富的化石群,似乎有许多方面值得进行埋藏学研究,但只能作室内工作,缺乏埋藏学研究的第一个环节。要得到比较合理而丰富的结论,是有相当难度的。但考虑到我国的实际,有必要作一点新的尝试。另外,埋藏学研究已有几十年的历史,前人所研究的化石及其地层多属宽广平原上的河道、大型盆地或洞穴沉积。而我们的标本是来自小型山间盆地的粘土层中,不同类型的地质地理环境,对化石形成过程有着不同的影响。

虽然龙家沟三趾马动物群的材料已从地层中采出,给埋藏学研究工作带来了许多的困难,但并不是根本无法利用这批材料开展埋藏学方面的研究。埋藏学是关于生物体如何从

生物圈向岩石圈变化的学科，一般包括了从生活群到死亡群，从死亡群到埋藏群，从埋藏群到化石群三个过程的研究。它研究的对象以化石自身的个体数量及其变化、化石的保存状况、成分与形态变化、破损状况等为主，也就是说，仍是以化石材料为主。虽然赋存化石地层资料的欠缺对解释埋藏环境会有一定的影响，但化石材料中包含着许多这方面的信息，如能对化石本身进行全面而详细地分析研究，是可以从中获得很多平常不易被重视而又是埋藏学研究不可缺少的信息和材料的。例如，化石在地层中的空间分布是判断古水流等搬运介质的重要资料，但却不是唯一的依据。通过对化石磨蚀程度的研究，骨骼成分类型及大小分布频率，骨骼组合特征的分析，都可以从另一个侧面得出类似的结论，弥补缺少野外观察记录的不足。沉积环境决定着化石的保存类型。反过来，化石的保存状况又可以反映古环境特征。它们之间相互说明，互为因果。特别是骨骼与无机物颗粒间水动力当量的建立，为我们用化石材料来解释环境提供了更多的依据。

当然，这并不是说埋藏学研究可以不要野外工作。恰恰相反，详尽的野外资料是这一工作的基础，为了能够补上野外工作这一环节的不足，笔者等两次前往化石产地，对盆地的发育、地层及化石赋存的层位进行详细的观察，尽最大的努力来弥补已损失的资料。

关于 taphonomy 的中译名，是称作“埋葬学”还是“埋藏学”为好？目前，国内不少学者都将其译为“埋葬学”。希腊词 tapho-有“墓地”、“葬礼”的含义，因此，按 taphonomy 字面，译为“埋葬学”是可以的。不过，按《词海》的释义，“葬”字意为对“死者遗体的掩埋”，而“藏”则有收储之意，因此“埋葬”只有对遗体掩埋的含义，而“埋藏”一词不但有“埋”而且有“保存”的含义。如果使用“埋藏学”一名，其名称就与其内涵：“死亡→埋藏（搬运）→成岩（保存）”的过程相吻合。因此，本文建议将 taphonomy 译为“埋藏学”。

在本文的完成过程中，我们得到了许多同行专家的支持和帮助。科学院院士、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所周明镇教授自始至终对这项研究工作给予了关心与鼓励。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邱占祥教授，南京大学张永铭教授、俞剑华教授，北京大学安太庠教授，兰州大学谷祖纲教授、李吉均教授，成都地质学院何信禄教授，西北大学沈光隆教授等对本文提出了许多有益的建议，作者对他们表示衷心的感谢。

我们还要特别感谢美国内布拉斯加大学 M.Voorhies 教授、R.Hunt 教授对我们的无私帮助。邀请并资助我们赴美，在埋藏学领域合作研究，就这一学科的许多问题进行讨论，提供大量的文献资料，使我们能够站在一个新的角度来研究武都的标本。

西北大学照相室李立宏同志，绘图室郭旗同志为本文照相、绘图，赵聚发同志精心修理标本。对于他们的辛勤劳动表示由衷的谢意。

目 录

前 言

第一章 序言	1
一、埋藏学的研究内容及其意义	1
二、埋藏学的研究简史	4
三、本文研究的材料	9
第二章 龙家沟三趾马动物群化石产地的地质地理概况	11
一、地理概况	11
二、地质概况	12
第三章 龙家沟三趾马动物群的时代	16
第四章 龙家沟三趾马动物群居群的年龄结构	19
一、概述	19
二、确定动物年龄的方法	24
三、主要类别的年龄结构	27
四、死亡季节及死亡原因	41
五、结论	41
第五章 龙家沟三趾马动物群的埋藏学	43
一、动物群的属种与丰度	43
二、在自然状态下动物尸体分解的过程及其阶段	49
三、水流对不同部位骨骼的分选作用	55
四、龙家沟三趾马动物群材料的破碎类型及其原因	67
五、龙家沟三趾马动物群材料的风化痕迹	77
六、龙家沟三趾马动物群埋藏过程与变化	79

参考文献

英文摘要

图版说明

化石图版

第一章 序 言

一. 埋藏学研究的内容及其意义

生物进化理论的建立、地质历史时期生物的发生、发展等重要问题的研究,都以化石为主要依据,要了解古生物与其环境的关系、古生物的地理分布、古生物居群结构等问题,亦要首先从研究化石入手。因此,化石记录与所代表的生物群落在组合面貌、数量、种类等方面是否一致就成为上述研究工作首先要考虑的问题。化石群是由古代生物群通过死亡群、埋藏群等,在相当漫长而复杂的地质历史过程中逐步发展形成的,在如此多变的化石形成过程中,现在的化石群与当时生物群相比,多数已面貌全非,已很难全面地反映出当时生物群的整体情况。化石记录与实际生物群之间所产生的偏差无疑大多数是在埋藏过程中所造成的。对这一过程进行研究的学科即是埋藏学(Taphonomy)。

准确地讲,埋藏学是研究生物遗体从生物圈向岩石圈变化的学科。它包括三个方面的内容:①生物的死亡过程及死亡方式;②生物遗体在埋藏过程中的一系列变化及环境作用;③生物遗体从埋藏到成为化石的成岩作用。由此可见,埋藏学注重研究化石形成、保存过程以及在这一过程中所受到的各种地质因素影响。通过对埋藏学的研究,会加深对化石形成过程的全面认识,就有可能使我们找出产生化石记录与实际生物群之间偏差的原因所在,并且进一步通过埋藏学所提供的资料,去获得潜在的信息,弥补已经损失的内容。

现在所采集到的化石群与原来实际生活群之间到底能有多少差别是埋藏学所关心的焦点之一,只有通过化石的形成过程以及各阶段所发生事件的研究,才会对这一问题有较深刻的理解。

一般而言,从生物群到化石群要经过这样几个阶段:

生物群 (Biocoenose) 指的是生活在一个共同环境、彼此密切相关的一群生物。它们在生活期间受共同的环境因素和生活条件所控制。

死亡群 (Thanatocoenose) 由于各种原因(如年老、病、残、动物间的相互作用、自然灾害等)而使动物丧生,其尸体的堆积即是死亡群。死亡群所代表的动物种类、数量在绝大多数情况下,要比生活群的少,只有在极个别的情况下死亡群与生活群相一致。死亡方式与死亡率是影响生物群与死亡群之间关系的关键因素。动物的死亡方式总的来说有两种——自然死亡与灾害死亡。自然死亡是动物在一段时间内的正常死亡,这种死亡方式的尸体堆积仅是原来生活群中的老弱病残者。不同类型的生物有不同的死亡率,一般说来,个体愈大,死亡率愈低。因此,在正常死亡的情况下形成的死亡群无论是属种类型还是生物居群结构,都不能代表原来的生物群。灾害死亡是指在自然压力下,原生物群没有选择的集群死亡。但这只是一个相对的概念,由于不同的生物对环境变化有着不同的抗御能力,因此,即使发生较大的自然灾害,当地的生物也不可能百分之百的死亡,或者就是全部死亡,在不同作用力的影响下,也不一定都能形成一个完整的尸体群。但对于生物群

和死亡群之间的关系而言，尽管后者只是前者的一个侧面，相对的讲，由灾害死亡方式所形成的死亡群与原来的生活群更为接近一些。

埋藏群 (Taphocoenose) 死亡群经过风化、分解及其它生物作用之后，许多还经过搬运，最后堆积埋藏，形成埋藏群。在这个过程中，死亡群往往会遭受相当数量的损失。特别是有较长时间的风化、分解过程，大量易风化的部分就会消失。食骨动物亦会使一些动物的全部或部分骨骼化为乌有。一些特殊的或长距离的搬运，沉积后未能迅速的埋藏等，都有可能造成埋藏群与死亡群之间较大差异。在这一过程中，还有可能发生不同生物居群间死亡群的混杂现象。因此，从死亡群到埋藏群的过程是生物信息损失最重要的阶段，这一过程也是埋藏学的研究重点之一。

化石群 (Oryctocoenose) 埋藏群与其周围沉积物同时经受成岩作用的变化，最后形成化石群。从埋藏群到化石群，生物遗体仍要经过生物、物理及化学等多方面作用的影响。一些不具硬体的动物多会在这一过程中消失。由植物及钻孔动物所形成的生物扰动也可能会容易地破坏那些由于地下条件而受潮易碎的骨骼。富含粘土的沉积物在受压时会大量失水。粘土岩类遇水风化时，则会大幅度膨胀，这些对包含在粘土中的骨骼都具有破坏作用。此外地下水的溶解、充填、矿化等作用也都会影响生物遗体的形态、成份。

采集群 (Collectiocoenose) 采集群即指已经石化了的生物标本经过出露、发掘、采集及修理而获得的材料。标本的发掘、修理过程已经超出了自然界的范畴，但我们在研究手头的标本及考虑这些标本所代表的化石群与生活群之间的数量、类型等关系时，则又是一个不能不考虑的问题或因素，不同的采集者以及采集时对标本的认识、采集方式都有可能极大地影响标本的采集数量。

上述化石形成的主要过程及其影响因素如图 1-1 所示。

不难看出，我们所研究的化石标本与其所代表的生活群之间存在着相当大的差异。在化石形成过程中，诸如图 1-1 所示的大量因素都对之产生着不同程度的影响。特别是从死亡群到埋藏群的过程中，制约因素更是错综复杂。生物的生活习性、生活时的分布状况都会强烈地影响生物遗体后来的保存。骨骼组织的构造也同样是确定生物遗体能否保存成为化石的决定因素之一。大中型动物遗体保存成为化石并被发现的机率比小型动物的会更

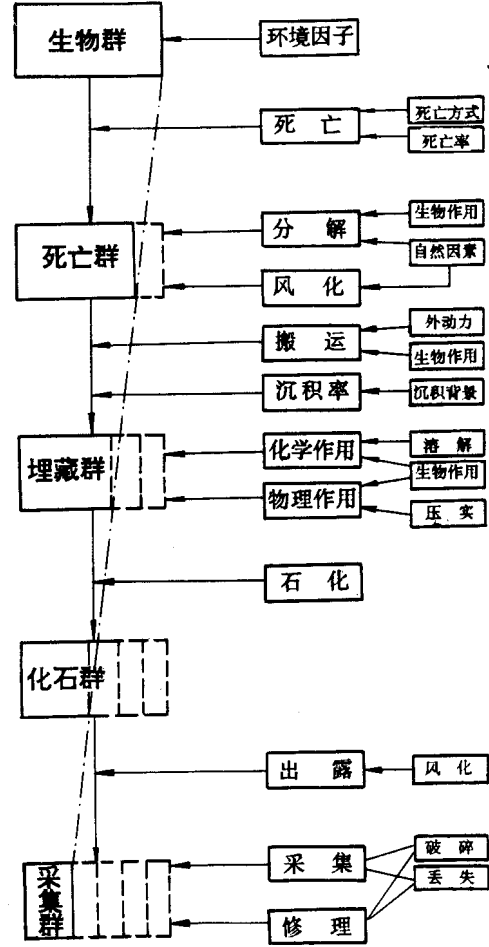


图 1-1 化石形成的主要过程及影响因素
Fig.1-1 Main process of fossil formation and its effected factors

大一些。

死亡的原因和地点也是影响生物遗体能否成为化石的因素，例如被捕食动物吞咽的小动物的骨骼会完全被毁灭。在隐秘环境之中死亡的生物（例如洞穴）较之在显露环境中死亡的生物，更易保存于原来位置和保存得完整无缺。

埋藏以前的分解作用是化石产生明显及普遍偏差的重要原因之一。而影响分解的因素很多，如微生物的活动，其它生物的作用，当时的气候，包括温度、湿度等，当地的植被，动物死亡的季节、死亡时所处的地形等等。虽然生物遗体保存多少的决定性因素是搬运与埋藏，如搬运介质、埋藏速率、周围基岩的性质，但搬运与埋藏在一定程度上又取决于分解作用的长短及其分解得是否彻底。这些因素的相互影响，又相互制约，其结果就会使化石群与原来生物群之间产生非常明显的不同。因此，图 1-1 包含的内容不仅是标本的机械损坏、变形以及个体数量的减少，更重要的是展示了属种的消失及居群内部结构的变化。Behrensmeyer (1980)等人在肯尼亚 Amboseli 国家公园内的工作表明，埋藏种数平均只占该地现生动物种数的 39%，这一结果即充分说明了生物群与埋藏群之间的偏差(表 1-1)。

表 1-1 地表死亡动物骨骼的统计与现生物种的比较
Table 1-1 Representation of the numbers of living mammal species in the
Amboseli Basin in total bone sample

动物类型	现生种	从骨骼上获得的种数	从颌骨上获得的种数	埋藏的种数	鬣狗窝中骨骼代表的种数
大型有蹄类 (体重>15kg)	19	18(95%)	16(84%)	13(68%)	8(42%)
小型有蹄类 及啮齿类	5	3(60%)	2(40%)	1(20%)	1(20%)
大型食肉类 (体重>15kg)	6	6(100%)	5(83%)	1(17%)	0
小型食肉类	14	3(21%)	2(13%)	1(6%)	0
灵长类	4	4(100%)	1(25%)	3(75%)	0
合 计	48	34(70%)	26(54%)	19(39%)	9(18%)

(据 Behrensmeyer, 1980)

通过上述化石的形成过程可以看到，影响这一过程的因素多而复杂，但又有其特殊的规律性。因此，埋藏学的任务就是去研究这些规律，寻找化石形成各个阶段中的影响因素，完整的恢复古生物居群。目前从埋藏学发展的趋势看，它已不仅仅包括生物遗体的埋藏过程、生物死亡以后影响生物遗体的各种作用，而已具有了更广泛的内涵，如与沉积学、地层学的结合而产生的新的研究领域，研究生物的生活习性及其行为特征，并且能够为生物的进化提供更多的证据。

埋藏学的研究可以分为两大部分。一类是以室内试验及现代动物的埋藏学观察为主,另一类是化石埋藏学的研究,被分别称之为实验埋藏学(Experimental Taphonomy)和应用埋藏学(Applied Taphonomy) (同号文等, 1991)。

过去把化石埋藏学的研究放在古生态学中,作为后的一个组成部分,但是近些年来,埋藏学的发展趋向于成为一门独立的学科,埋藏学不是古生态学,但二者间存在着密切的关系,通过对埋藏过程的研究,可使我们了解到化石群与当时生活群偏差现象的存在及其原因,认识到化石无论数量再多,属种再丰富,也不可能完整的代表着当时生活在该区的全部类型,有相当多的生物属种、个体死亡以后未被保存,所发现的化石还可能来自不同生态环境,所以,可以说埋藏学是古生物学环境方面研究的一个重要的组成部分,在化石的形成过程中生物体受到了环境的强烈影响,在化石体上就不可避免地会留下大量不同环境的印迹。埋藏学的特征又是古环境的重要标志,为古生态的研究提供了坚实的基础,否则古生态恢复就是极难为人们接受的资料。

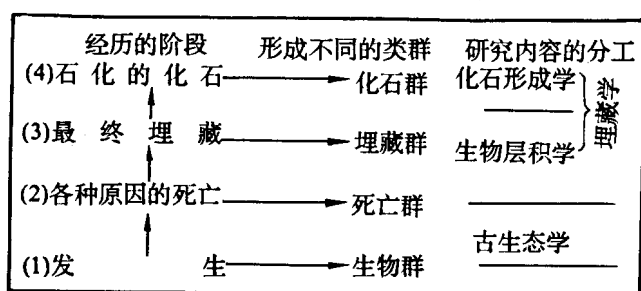


图 1-2 埋藏学与相关学科的关系

(据何心一等, 1987)

Fig1-2 Relationship of taphonomy and other relative subjects.

(After He Xinyi et al. , 1987)

简言之,埋藏学是研究古生物学、古生态学等学科的重要前提与基础。只有对生物死后历史的全面正确认识,才能更好地理解化石群的完备性与传真性。因此,古生态学、古生物地理学及生物进化研究上的成功常常取决于研究者排除埋藏过程所产生偏差的能力,从这个角度看,古生物学家首先应该是一个埋藏学家。

二. 埋藏学的研究简史

埋藏学一词的提出到现在已经半个多世纪了。数十年来,经过众多科学工作者的不懈努力,该学科已从原来从属于古生物学的一个组成部分发展成为一门具有很强生命力的独立学科。追溯该学科的形成过程,了解这一学科在发展的不同阶段中,人们对埋藏学的理解及研究热点,必然会对之有更深刻的理解,对今后的工作有着一定的启迪作用。

1. 埋藏学的提出与发展

虽然埋藏学一词是在 1940 年正式提出的,但其基本思想早在本世纪初就已见于报

端。一些古生物学者（如 Abel, 1912; Wasmund, 1926 等）很早就进行过有关埋藏学方面的研究。他们在进行生物遗体的集中原因等问题的研究时，即对地层中化石的埋藏条件及埋藏机理进行了探索，解释了动物死亡之后所经历的过程。Weigelt (1927) 曾提出了 Biostratinomy (被译为生物层积学或生物遗体沉积学) 一词，它所研究的主要内容是生物死后至最终埋藏这段时间内影响生物遗体的环境因素。不难看出，Biostratinomy 实际上是埋藏学的一个组成部分。只不过后者具有更广泛的含义及更完整的体系，如包括了成岩作用等，由于上述工作成果均用德文发表，因而在科学思想的传播上，难免受到许多限制，加之他们尚未形成完整的理论体系，所以没有受到应有的重视，但这些工作为埋藏学提供了传统的研究方法，奠定了一定的基础。

直到 1940 年，原苏联古脊椎动物学家 Efremov (叶弗里莫夫) 用英文发表了第一篇化石埋藏学的文章《Taphonomy: a new branch of Palaeontology》。首次提出了埋藏学的概念，即是“研究生物遗体从生物圈到岩石圈变迁过程”的学科。从这一定义不难看出，Efremov 所提出的埋藏学重点在于生物遗体的变化过程，因此，当时的埋藏学是以为古生态研究提供古动物群信息损失为重点的，从属于古生态学。Efremov 明确提出“埋藏学的研究是古生物研究的重要组成部分。因此，古生态学必须从分析化石埋藏条件开始，去了解生物的生活方式、死亡原因和生存条件，以恢复当时的环境”。1943 年，Efremov 又完成了埋藏学的经典著作《埋藏学和地质记录》一书，但由于第二次世界大战的影响，该书直到 1950 年才用俄文发表，1953 年被翻译成为法文。

Efremov 本人是以研究爬行动物为主的古生物学者，所以他在《埋藏学和地质记录》一书中，以恐龙为例，综合分析了这一类动物的生活方式、埋藏环境及地质作用的关系，以辩证的观点，论证了动物遗体在地质历史时期的破坏作用与堆积作用。并具体地分析了从生物群到相应埋藏群的过程中，生物材料的变化及研究这一过程的方法。这是埋藏学的核心所在。因此，尽管现今埋藏学的内容、研究方法与早期埋藏学的已有一定的区别，但 Efremov 所提出的埋藏学研究体系仍对我们现在的工作有着重要的参考价值。

一个学科形成的初期，往往很难引起人们的重视。埋藏学的发展也不例外。在 50 年代，Efremov 的工作并没有引起太大的反响。他本人以后进一步的做了不少的工作，积极地宣传埋藏学，但收益有限。尽管 Olsen 等人对脊椎动物的埋藏学亦做了一定的工作，但总的来说，50 年代到 60 年代中期是埋藏学缓慢发展的阶段。不过它毕竟还是在古生物学界中引起了一定的反响。美国著名古脊椎动物学家 Simpson (1961) 在《Some Problems of Vertebrate Palaeontology》一文中，给予埋藏学较高的评价“埋藏学虽然提出的时间并不长，但却十分有意义，它对理解生物群与所保存部分的化石状态之间的作用以及化石沉积状态都有很大的帮助。”

到 60 年代后期，随着一些室内实验手段在实验埋藏学中的应用，大量的实验数据随之得出，这些都为化石埋藏学提供了可供对比的资料，也为埋藏学从定性向定量方向的发展提供了基础，埋藏学开始较迅速地发展起来。其中以美国古生物学家 M. Voorhies 的工作为代表。为完成他的博士论文，Voorhies 教授用 4 年的时间，在美国内布拉斯加州北部发掘了数千件化石，并对每一块长形骨骼进行了延伸方向、倾斜方向的测量，绘制了长形骨的伸展方向玫瑰花图。通过对骨骼大小、形态的分析，推测古水流对骨骼作用的强弱。在此基础上，恢复了化石集中的原因及古水流的方向。不仅如此，他还在怀俄明大学

地质系设计了一个长 45 英尺，宽 4 英尺的实验水槽，其中加一稳定不变的水流，将彼此已脱关节、大小与羊相似的动物骨骼置于实验水槽中。结果发现，在水流不变的情况下，哺乳动物不同部位的骨骼在搬运过程中有着不同的运动状态，并且根据不同的形态、重量，骨骼分别沉积集中，形成三个不同成分的骨骼沉积组。所有这些成果发表在《Taphonomy and Population Dynamic of an Early Pliocene Vertebrate Fauna, Knox County, Nebraska》一书中。

Voorhies 的专著在埋藏学界引起了较大的反响，甚至有人认为这是化石埋藏学发展史中的一个里程碑 (Dodson, 1980)。Voorhies 的实验是以与现代羊大小相似的动物体为对象，但其结论对各类动物都有着相当的指导意义。因此可以说，他的研究成果丰富了埋藏学研究领域的内容，为后人的研究提供了宝贵的实验数据。

60 年代后期埋藏学研究领域内另一位值得提及的是美国古生物学家 D. R. Lawrence。他于 1968 年发表了《Taphonomy and information losses in fossil communities》。该文是他博士论文的精华部分。Lawrence 以埋藏学的基本理论，对海相无脊椎动物的埋藏学进行了深入的探讨，提出了化石群信息损失的方式及恢复古居群的一些方法。他的工作使埋藏学的理论进一步完善。

此外，Lever、Nagle 和 Johson 等人也对在动物死亡之后所发生的事件等方面做了不少的工作。总的来说，这一阶段的研究工作主要涉及生物死亡以后其遗体的损失，组分变化等方面。此时，人们进一步意识到了化石保存的偏差对古生态研究的影响，因此提出了埋藏学是古生态研究的先决条件 (Lawrence, 1968)。由于大量实验手段的开始使用，加之埋藏学理论的日益成熟，60 年代后期形成了埋藏学发展的第一个高潮。

70 年代以来是埋藏学发展的黄金时代。在这一时期，不但新的研究方法、新的理论不断涌现，使埋藏学更加成熟，而且渗透到了古人类学、史前考古学等学科之中，使埋藏学的研究领域不断扩大，所解决问题也更加广泛。

70 年代初期，美国著名学者 A. K. Behrensmeyer 进入非洲工作。一方面，她对非洲现生动物死亡之后的风化、分解、搬运等埋藏过程进行了长期的跟踪观察。另一方面，对肯尼亚的 Lake Rudolf 地区上新世至更新世脊椎动物群的化石埋藏学进行了深入细致地研究，在 1975 年发表了《The Taphonomy and Paleoecology of Plio-Pleistocene Vertebrate Assemblage East of Lake Rudolf, Kenya》一书。该书完整总结了动物死后事件，包括死亡原因与死亡方式、分解 (decomposition)、脱离关节 (disarticulation)、风化 (weathering)、搬运 (translation)、其它生物作用、埋藏及成岩作用 (fossil diagenesis)。同时还讨论了在现代东非环境下，影响动物骨骼破坏、分解的因素；详细测验了骨骼做为一种特殊沉积颗粒的性质。该书成为 70 年代后期埋藏学的重要著作之一。

与此同时，其他一些从事埋藏学的科学工作者也开始了野外实地观察现代生活群死亡后遗体的变化。特别是非洲丰富的野生动物资源，为科学家们研究现代埋藏提供了极好的场所。可以认为实验埋藏学是在这一阶段从广义的埋藏学中形成。科学工作者通过生活群→死亡群→埋藏群的逐个实地考察与研究，借以比较的方法、实验手段以及与地层学、沉积学的紧密结合，得出了大量的埋藏学结论，从而使化石埋藏学建立在可靠的证据之上，使其更有说服力。此期陆续发表了一批实验埋藏学的文章，如 A. K. Behrensmeyer (1978) 的《Taphonomic and ecologic information from bone weathering.》； Hill (1979) 的

《Disarticulation and scattering of mammalian skeletons》；Behrensmeyer (1980) 的《The Recent bones of Amboseli National Park, Kenya, in Relation to East African Paleoecology》；Coe (1980) 的《The Role of modern ecological studies in the reconstruction of paleoenvironments in Sub-Saharan, African》；Haynes (1983) 的《A guide for differentiating mammalian Carnivora taxa responsible for gnaw damage to herbivore limb bone》等。这些文章都从不同的角度分析了现代动物死亡以后，其遗骨中所含有的埋藏学信息。

埋藏学发展过程中一件特别值得提及的是 Behrensmeyer 和 Hill 二人在 Wenner-Gren 人类学基金会的资助下，于 1976 年在纽约发起了埋藏学讨论会——埋藏学与脊椎动物古生态。人类学、考古学、现代生态、古脊椎动物等学科的科学工作者参加了会议，会后选取了 15 篇论文于 1980 年出版了《Fossil in the Making——Vertebrate Taphonomy and Paleoecology》论文集，这次文集共分 5 个部分：①历史与背景；②现代生态及过去的模式；③现代环境中的埋藏学；④实验埋藏学；⑤古生态。该书还介绍了非洲南撒哈拉的工作。

《Fossil in the Making》一问世就引起了较强烈的反响，美国《Science》等重要杂志纷纷发表书评，均给予了较高的评价。可以认为，这一讨论会的召开及论文集的发表是埋藏学发展史中一个重要的里程碑。

埋藏学向考古学、古人类学的渗入是这一学科 70 年代以来发展的一个重要事件，从而也引起了人们对以往某些考古学、古人类学结论的重新认识。R. G. Klein 的《The Analysis of animal bone from archeological site》一书，详细论述了如何分析考古地点的动物遗骨。该书既包括了一些技术性的工作，如鉴定年龄、性别的方法等，也以实例为据，介绍了各种分析数据在考古学中的意义等。这是一本关于考古地点兽骨分析方面较实用的书籍。此外，Binford 对原始部落采集和狩猎生活的研究，对非洲地区食肉动物特别是鬣狗类动物集聚骨骼能力和特点的研究，Gifford 对原始部落物质文化埋藏的可能性研究等，都大大丰富了埋藏学的内容。

近 10 年是埋藏学理论、方法诸方面处在升华的阶段。每年发表的关于埋藏学的论文数量不断上升，一些学者也已开始了脊椎动物埋藏学的总结性研究。当然埋藏学在不同的学科中的发展速度和水平不尽一致。相对而言，脊椎动物埋藏学的研究较为成熟，发展水平较高，而无脊椎动物埋藏学的研究则略呈逊色。

综上所述，埋藏学由其建立初期被认为是古生物学、古生态学的一个分枝发展到今天已成为自然科学中一具有较强生命力的独立学科，由单纯的研究生物死后从生物圈向岩石圈的变化过程发展成为研究从生物死亡到成为化石全过程的学科，并更加侧重了实验分析以及在进化、生物地理、生物地层、考古及古人类等多方面的研究。无疑，埋藏学的进一步完善及与相邻学科的结合必将使一些重要的古生物问题得到解决。

2. 埋藏学在中国的传播

埋藏学在国外已成为当前古生物学研究的热点之一。但在我国，这一学科还处在较低的水平，许多工作才初步开展起来，目前主要限于埋藏学理论及工作方法的介绍阶段。当然，国外的热点研究也势必要涉及我国，国内从事埋藏学研究的人员正在不断地增加。可

以预料,这一学科在我国正处于腾飞的前夜。

埋藏学在我国的第一次传播是原苏联古脊椎动物学家、埋藏学的奠基人 Efremov 在中国科学院古脊椎动物与古人类研究所主办的刊物《古脊椎动物学报》上发表的论文《On Taphonomy of fossil land vertebrate faunas of Mongolia》(1957)及《Some considerations on biological bases of palaeozoology》(1958),但这些文章并未引起国内学者的足够重视。

1982年,西北大学薛祥煦与著名埋藏学家、美国内布拉斯加大学地质系 Voorhies、Hunt 在美国国家自然科学基金及中国政府的资助下,在埋藏学领域开展合作研究。之后,1984年美国的二位教授又应邀来到西北大学继续合作工作,借此机会西北大学地质系举办了埋藏学学习班。来自全国许多省市的地质工作者在学习班上了解了埋藏学的基本知识及工作方法。为埋藏学在我国的传播起到了积极的作用。

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所与美国同行在云南禄丰也共同进行了埋藏学的研究工作。陈万勇等发表的《禄丰古猿化石产地沉积环境与埋藏学的初步研究》(1986)着重分析了化石在地层中的赋存情况,编制了化石长骨排列方向的玫瑰花图。这是我国学者发表的第一篇埋藏学方面的文章。不过文章未对骨骼本身做任何分析,其标本中尚存着大量其它方面的埋藏信息。

尤玉柱的《史前考古埋藏学概论》是我国第一部关于埋藏学方面的专著。该书比较系统地介绍了埋藏学的意义、埋藏原理、埋藏类型以及在史前考古工作中的应用。该书的意义不仅在于它首次系统地向国内介绍了埋藏学的基本问题,而且作者根据自己多年的工作经验,将埋藏学与我国的古人类学有机地结合在一起,使得读者了解到,埋藏学的研究可使他们从地层、化石及文化遗物中获得更多的信息,以更好的复原史前人类生活的自然环境及人类本身的活动。

为了使国内的有关人员对埋藏学发展的历史、它的含义、方法及作用有进一步的了解,并及时知道该学科目前在国际上的研究动态,同号文、邱占祥于1991年发表了《国外化石埋藏学的历史及现状简介》一文。该文从化石埋藏学的产生与发展、化石埋藏学的概念、研究内容和方法、化石埋藏学与相邻学科的关系等方面,全面地介绍了埋藏学目前在世界上发展的动态及发展的趋向。文后还列举了近60条埋藏学方面最新的参考文献。该文是了解埋藏学发展现状的一个窗口。

除此之外,南京大学出版社出版的《古生态学概念与应用》(1988),地质出版社出版的《古生物学百科全书》(1989)等译著中,也都有一些关于埋藏学方面的概念及研究埋藏学的实例。这些书籍的出版,无疑都为埋藏学在中国的传播起到了积极的作用。

埋藏学在中国从无到有、从混沌到有序,随着广大科学工作者逐步认识到它的重要作用,该学科必将会有一个飞跃的发展。

三. 本文研究的材料

本文研究的材料是西北大学已故王永焱教授于 1947—1948 年所采。这批材料最初存放在甘肃省自然历史博物馆, 60 年代初转交西北大学地质系进行研究, 薛祥煦对其中已修理的标本进行过整理、鉴定及描述。目前, 西北大学地质系与中国科学院古脊椎动物与古人类研究所合作, 正在对龙家沟三趾马动物群进行深入地研究。

龙家沟三趾马动物群的材料在发掘现场就进行了修理(王永焱教授生前告知)。除了因为工具、技术等原因, 使一些标本在修理过程中有不同程度的损坏外, 在采集、修理过程中是否对这批标本也进行了选择性的收集, 将当时认为不重要或不具研究意义的材料弃之不用, 则不得而知了。不过根据现在对标本的整理, 发现许多保存长度仅数厘米的肋条、两个关节头在埋藏前就已损坏的残破管状骨等标本仍进行了野外登记, 由此分析当时标本的采集可能是比较全面、仔细的, 不会遗弃什么标本, 至少不会有太多的标本被弃之不用。

60 年代初, 中苏古生物联合考察队曾对龙家沟三趾马动物群的化石产地再次进行了发掘, 但所得标本有限。这批材料已由邱铸鼎、邱占祥先后研究发表。本文在研究龙家沟三趾马动物化石群材料时, 亦参考了这批标本的研究成果。

龙家沟三趾马动物群化石材料的统计如下:

1) 共有标本 4537 件, 其中:

可供鉴定到属种的	2292 件
可供鉴定但未确定属种的	640 件
无法鉴定的碎骨	1605 件

2) 在可鉴定到属种的标本中, 各类动物所具有的件数为:

<i>Eomellivora</i>	1
<i>Machairodus</i>	2
<i>Paramachairodus</i>	1
<i>Plihyaena</i>	8
<i>Hyracoidea</i>	1
<i>Dryopithecus</i>	1
<i>Gomophotheriidae</i>	9
<i>Chalicotherium</i>	2
<i>Hipparion</i>	336
<i>Acerorhinus</i>	825
<i>Rhinocerotidae</i>	41
<i>Chleuastocheras</i>	16
<i>Honanotherium</i>	137
<i>Samotherium</i>	5
<i>Eostyloceras</i>	638

<i>Muntiacus</i>	195
<i>Cervavitus</i>	12
<i>Metacervulus</i>	5
<i>Miotragoceras</i>	46
<i>Gazella</i>	6
Bovidea	5

3) 在可供鉴定但无法确定属种的标本中, 以肋条等碎骨为主。另有少量鹿类的肢骨, 由于在龙家沟三趾马动物群中, 鹿类较多, 大小相近, 在缺乏对比标本的情况下, 无法确切的将其归入哪一个属种之中。

4) 在无法鉴定的标本中, 主要是一些没有关节头的管状骨及一些碎骨。

龙家沟三趾马动物群的标本从发掘至今已近半个世纪, 其中部分材料已经研究发表, 它们是:

① Xue Xiangxu et al., 1987: A New species of *Chalicotherium* from the Upper Miocene of Gansu, China. J. Vert. Pal., 5(4): 336-344.

② 薛祥煦等, 1990: 中国甘肃森林古猿一新种。科学通报, 6: 499-453.

另外, 中苏古生物联合考察队在龙家沟所采标本的研究分别发表在:

① 邱铸鼎, 1979: 华北几个地点的上新世哺乳动物化石。古脊椎动物与古人类, 17(3): 222-235.

② 邱占祥等, 1987: 《中国的三趾马化石》。中国古生物志总号第 175 册新丙种第 25 号, 北京: 科学出版社。

第二章 龙家沟三趾马动物群化石产地的地质地理概况

一、地 理 概 况

龙家沟三趾马动物群化石产自甘肃省武都县龙家沟煤矿区的朱沙坝村(图 2-1, 2)。地理座标为北纬 $33^{\circ} 35'$ ，东经 $104^{\circ} 50'$ 。龙家沟因产煤而闻名于该地区，因此，将采自该地的动物化石称为龙家沟三趾马动物群。

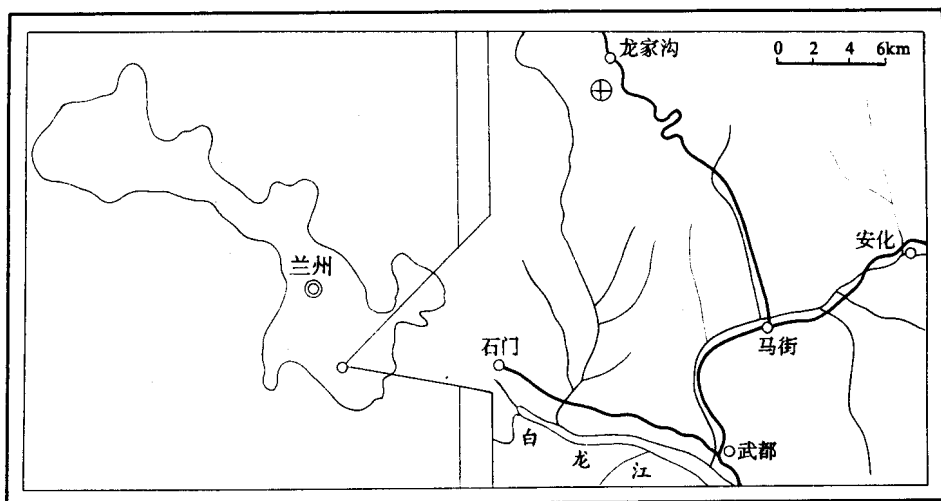


图 2-1 化石产地位置及交通示意图

Fig. 2-1 Fossil locality and traffic map of Longjiagou Basin, Wudu County

武都位于甘肃省东南部，西秦岭东端，区内高山陡峭，河谷深切，地形相对高差较大。

白龙江是该区内最大河流，在其流域内不同的海拔高度上，分布有同时代的夷平面。最高的夷平面在 3200~3000m 左右，它是该区发育最好，保存比较完整的一个台面，其分布广泛，地形平坦，形成时代在中新世以前。龙家沟盆地所在的高度代表了次一级夷平面，海拔高度约为 2400~2600m。该台面发育不十分完整。在武都地区，碳酸岩类分布很广，其中有比较发育的岩溶地貌，如峰丛、峰林及溶蚀洼地等。台面上有上新统及上中新统的分布，所以这一台面形成于中新世晚期以前。再向下夷平台面的高程分别为 1400m 及 1000m 左右。它们的发育程度远不如上述两个台面为好，从各个台面上沉积物的时代分析，都形成于第四纪。

侵蚀地貌的发育有着一定的顺序及阶段。当地壳稳定或上升速度很慢时，水流的侧蚀

作用就表现得比较明显。武都地区高海拔夷平面发育的事实无疑反映了这一地区当时曾处在一个比较稳定的构造环境中。第四纪以来，该区一直处于较强烈的上升状态，没有充分的时间使夷平作用得以进行。所以在低海拔处夷平面表现不甚明显。

盆地最高点海拔 2537m，相距约 30km 武都县城附近的白龙江水面海拔高度约 1000m。不过盆地内相对高差仅 80 余米。

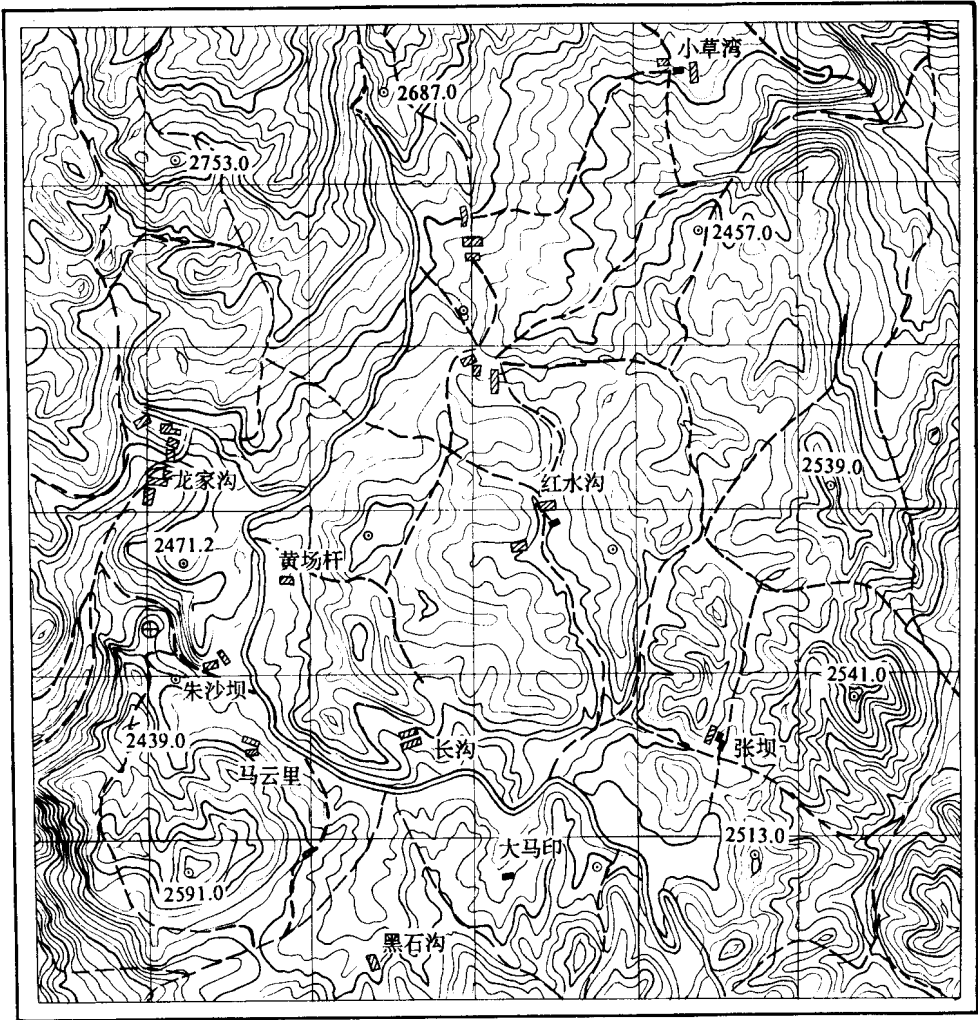


图 2-2 化石产地地形图

Fig.2-2 Topographical map of fossil locality

(每小格代表 1km)

二、地 质 概 况

武都地区位于西秦岭印支褶皱带东端，区内广布有厚度较大的志留纪至三叠纪海相沉积岩系。三叠纪末期华北及华南两大陆块碰撞，形成了中国大陆上的统一陆块。但秦岭构造带并未从此平静下来，而是进入了一个新的构造活动期。并形成了一系列断续分布的