

从哺乳动物化石看中国黄土高原 红黏土-黄土系列的气候环境及演变

薛祥煦* 张云翔 岳乐平

(西北大学大陆动力学国家重点实验室 新生代地质与环境研究所, 西安 710069; 中国科学院地球环境研究所
黄土与第四纪国家重点实验室, 西安 710075)

摘要 集中黄土高原有古地磁, 古生物资料的红黏土-黄土风尘土状地层剖面, 对比并归并到一个相对完好的红黏土-黄土基础剖面上, 得到一个含有大约从 8.0 Ma B.P. 晚中新世中期到第四纪晚期各时段含哺乳动物化石序列的综合地质剖面. 根据有关资料, 将该综合剖面划分为 12 个地层段, 除两个段缺化石外, 其余的皆含其特有的化石组合, 从下向上依次为含第一化石组合的第一地层段到含第十二化石组合的第十二地层段. 逐个分析所含哺乳类化石的特征, 恢复其生活时的气候环境. 黄土高原红黏土-黄土沉积时的气候环境从老到新大致是: 由晚中新世中期起的热-半干半湿、较暖半湿、暖较湿→上新世的微暖湿、凉干、较暖湿→第四纪冷干与温半湿频繁交替; 有从晚中新世中期起的稀树灌丛草原、多树灌丛草原、亚热带森林草原→上新世的稀树草原、干草原及第四纪的灌丛草原、干草原、荒漠的变化. 新近纪期间的气候环境是在暖湿背景上的变化, 波动幅度不很大, 高原各地的情况基本一致; 第四纪期间的则是在冷干背景上的变化, 波动幅度较大. 由新近纪进入第四纪气候是一个较显著的突变. 从更新世初期起黄土高原的气候环境就明显地显示了东南较西北暖湿的地域差别.

关键词 气候环境 哺乳类化石 风尘红土-黄土 黄土高原

1 序言及工作方法

越来越多的地学家认为^[1~29], 中国黄土高原的风尘红黏土-黄土沉积, 始于 800 多万年前晚中新世中期, 其地层包括从新生代新近纪的上中新统中部直到上新统的红黏土系列及第四纪的更新统和全新

统黄土-古土壤系列. 下部红黏土系列不整合覆盖在中生界不同层位之上, 各地厚度从数十到 100 多米不等; 上部黄土-古土壤系列各地厚度也不完全相同, 一般在 100 多米, 最大厚度在靖远剖面, 为 505 m^[2].

这些分布在中国西北厚从几米到数百米的风尘

收稿日期: 2005-07-29; 接受日期: 2005-12-29

* E-mail: dandxxx@163.com

土状堆积, 其各阶段的气候环境都是些什么特点, 如何演变, 是我们今天研究西北气候环境发展的基础. 对过去气候环境的分析只能采用各种气候代用指标, 如磁化率测定、粒度分析、地球化学元素分析及岩石微形态特征等, 这些指标能以较高分辨率的连续曲线表示出来, 只是缺乏生命变化的活的内容. 古生物方面的指标用得较多的有蜗牛、植物的孢子花粉及哺乳动物等. 由于动物化石分布的特点, 所得结果很难有连续的曲线. 哺乳动物的大发展始于新生代, 它们在短短的几千万年内发展和演变很快且明显, 今天各类的现生属种仍很丰富, 加之哺乳动物是其生活时自然环境中最活跃的要害之一, 受环境的严格控制, 却又能敏感地反映其生活环境的特点及其变化. 生活在不同地质时期的化石哺乳类必然也包含了许多它们生活时的气候环境信息. 因此, 同样能反映当时的环境特征及其演变. 在黄土高原晚中新世中期以来的地层, 特别是河湖相地层中, 虽发现较多的哺乳动物化石, 但多数都只有相对年代而无绝对年龄, 很难将它们排出一个上、下(或新、老)的可靠序列, 进而去分析和推断各阶段的环境及其变迁. 本文作者在多年工作中越来越意识到, 黄土高原区的风尘红黏土-黄土序列, 基本上为连续沉积, 较多剖面上都产有或多或少哺乳类化石, 更为可贵的是不少地区的剖面都已做过古地磁测定, 各层段都有同位素年龄数据, 为更好的进行相关剖面 and 层段的对比, 创造了良好的条件. 因此, 本文将黄土高原区大约从 8.0 Ma B.P. 以来晚新生代风尘红黏土-黄土系列及其所含哺乳类化石汇集, 并按年龄从老到新排序, 逐个分析哺乳动物组合特征, 推断各阶段气候环境及其变化. 由于一些条件的限制, 本文暂时不包括其他沉积相的地层及所产化石.

黄土高原红黏土-黄土风尘土状堆积中已发现的哺乳类化石属种和数量都很多, 只是分布很不均匀, 有的成堆成窝富集在一起, 如陕西府谷老高川、甘肃武都龙家沟、山西保德、甘肃龙胆等地红黏土或黄土中的化石数以吨计, 但多数却是少而分散, 有的仅一个小牙齿或牙床, 或一个头或角, 更多的是碎骨. 化石零星分散的情况对确定化石层时代, 分析古气候环境不仅很困难, 且易产生片面性. 因此, 系统整理

和研究这些土状地层及其动物组合不仅必要而且很有意义. 本文作者经对比研究后认为, 陕西旬邑下墙红黏土-黄土剖面地层厚度较大, 沉积类型单一且基本连续, 有从 6.8 Ma B.P. 至近代的多个阶段的古地磁测定年龄数据, 已发现 15 个含化石层位. 另外, 在该剖面上还同步取样做过诸如磁化率、粒度、地球化学元素等其他方面的测定和研究, 是一个基础较好的剖面^[22~27]. 我们先将下墙剖面上的 15 个化石层归并为 5 层, 将分布在黄土高原各处, 发育较好, 已有较多资料的剖面^[7~22]集中、对比, 再将各剖面上的化石层及化石, 按其在古地磁极性柱上的年龄, 移到下墙剖面的相应层位上, 这样就得到一个化石层位相对集中、各层位有具体年龄的综合剖面, 再按古地磁极性特征、年龄, 结合化石及岩性特征, 将综合剖面划分为 12 个地层段. 除两个层段无化石外, 其余 10 个层段皆含有其特有的化石组合, 从老到新它们依次是 1. 含第一化石组合的第一层段(MU1) (M 为哺乳动物化石组合 mammalian assemblage; U 为地层段 stratigraphy unit 的缩写, 下同), 到 12. 含第十二化石组合的第十二层段(MU12). 然后再逐个分析动物组合的特征, 进而分析、推断和重建红黏土-黄土分布区约 8.0 Ma B.P. 以来不同时期的气候环境及其演变 (图 1).

2 哺乳动物化石组合分析

2.1 晚中新世中期含第一化石组合的第一地层段 (MU1)

本地层段的年龄约为 8.0~7.0 Ma B.P. 喇嘛沟动物群^[28,29]为本时段的化石组合代表. 该动物群产自陕西省府谷县老高川红黏土-黄土剖面下部, 年龄为 7.8 Ma B.P. $\pm$. 对比到旬邑剖面上, 该化石层应在后者底部被覆盖的红黏土层位之下. 喇嘛沟动物群的化石标本数量丰富, 属种繁多, 有原麝鼠(*Prosiphneus* spp.)、巨鬣狗(*Dinocrocuta gigantea*)、鼬鬣狗(*Ichitotherium wongi*, I. sp.)、剑齿虎(*Homotherium* sp.)、近狼獾(*Plesiogulo brachynathus*)、几种小型食肉类、嵌齿象(*Gomphotheriidae*)、几种三趾马(*Hipparion chiai*, *H. cf. forstenae*, *H. sp.*)、几种犀牛(*Chilotherium haberi* C. sp., *Acerorhinus hezhengensis*, *Sinotherium* sp.)、

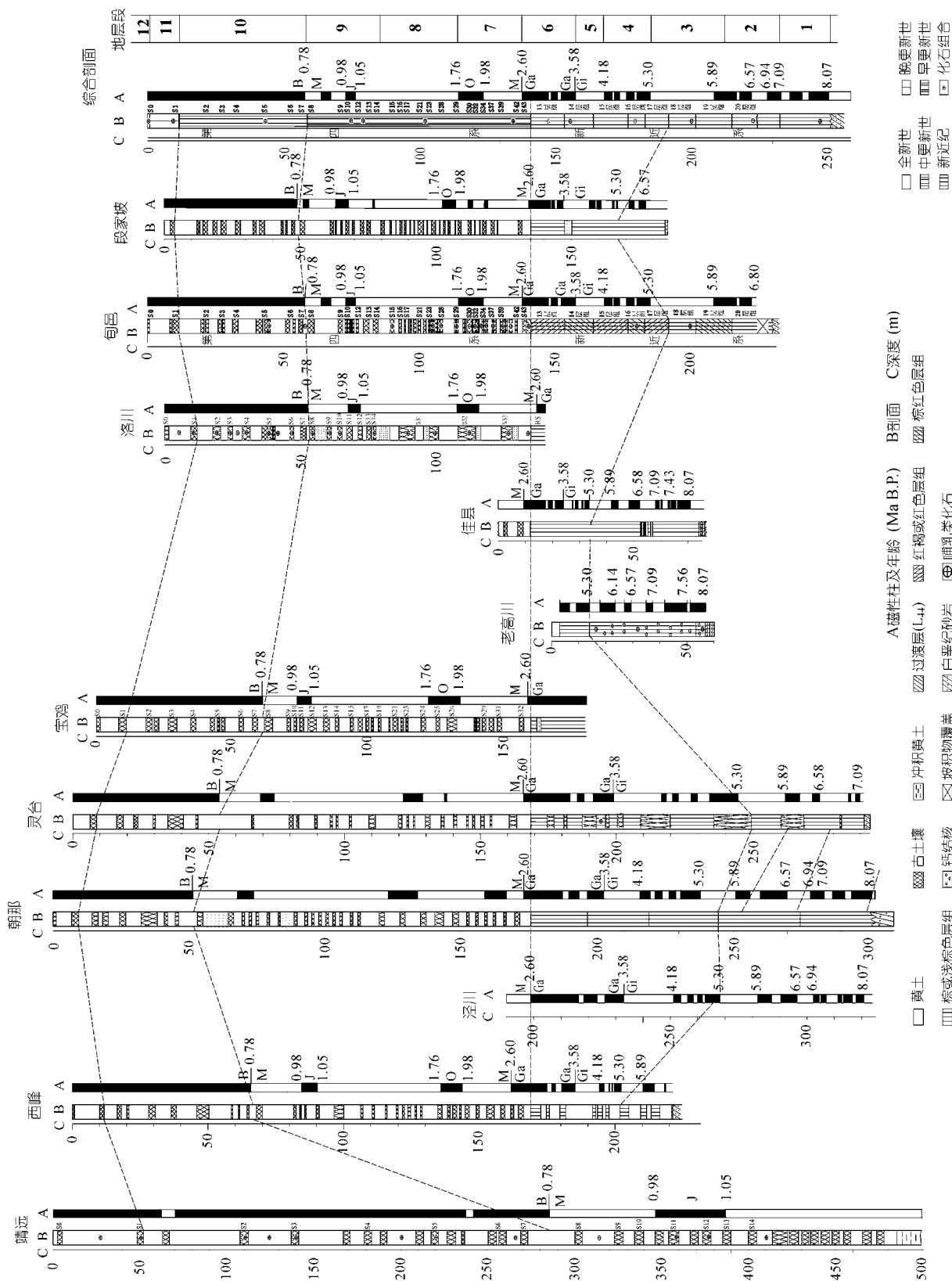


图 1 黄土高原风尘红黏土-黄土剖面对比及综合剖面图

爪兽(*Chalicotherium* sp.)、古麟(*Paleotragus* cf. *ecipiens*)、萨姆兽(*Samotherium* sp.)、羚羊(*Gazella gaudryi*, G. sp.)、南羊(*Miotragoceros gregarius*)、近旋角羊(*Plesiaddax minor*)、和政羊(*Hezhengia* sp.)、羊角羚羊(*Tragoceros* sp.)、陆龟(*Testudo* sp.)等。许多与此相同或相似的化石也见于山西保德第 30 地点和甘肃庆阳。在极为丰富的喇嘛沟动物群中,以犀、长颈鹿及巨鬣狗等为主,其标本数约占整个动物群的 70%~80%。和现今的相关动物比较,犀^[30~34]是一类身体很大的奇蹄类动物,繁盛于新近纪,现今仅剩 4 属 5 种,其中 3 种生存于南亚亚热带、热带潮湿茂密丛林草原,以鲜枝嫩叶为主要食物;另外两种分布于非洲疏林草原,主食嫩枝,各种灌木或草类。长颈鹿^[30~33,35]是一类体型很高的偶蹄类动物,中新世早期开始出现,晚中新世和上新世最为繁盛,分布于欧、亚、非洲,现仅有一类生存于非洲,以植物高枝的鲜叶、嫩芽为食。巨鬣狗属食肉目的鬣狗科,出现于中新世中期,广泛分布于欧、亚及非洲,早已灭绝。该科现仅有 1 属 4 种,分布于印度南部及非洲热带和亚热带草原和半沙漠区^[30~32]。三趾马及牛科的羊类都是草原生活的动物。本动物组合中缺乏森林生活的动物如灵长类、林栖食肉类、鹿类等。不过,在喇嘛沟动物群中还有少许类似铲齿象的铲形下门牙,较中中新世铲齿象的窄得多,如果鉴定不错,则说明铲齿象可残存到晚中新世中期,使喇嘛沟动物群增加了较古老的色彩,同时还表明当时在大片草原中确有一些树林。陆龟化石的存在说明当时大草原上还有大大小小的水体。不难看出,红黏土近底部层位中的这个动物化石组合反映了大约在距今 7.8 Ma 前后,今天的黄土高原区曾是一个热、半干旱、半湿润的环境,既有繁茂灌丛的广阔草原,又发育着较多的稀树、小片森林及水体。本动物群中大型动物的种类和数量最多,其中又以植食性动物最为突出,肉食性动物次之。从动物群的组成成员、结构及动物地理景观看,该动物群当时生活的气候环境似乎与今天非洲的热带疏林草原地带(savanna)有一定的相似性。

2.2 晚中新世晚期含第二化石组合的第二地层段(MU2)

该层段包括年龄约在距今 7.0~6.0 Ma 间的地层。

以甘肃灵台桃花坡动物群和府谷老高川剖面中部的化石为代表^[29,37]。其年龄约为 6.7 Ma B.P. 对比到旬邑剖面上,本化石层段相当于该剖面的最底部。桃花坡动物群^[37]中有巴氏剑齿虎(*Homotherium palanderi*)、拉氏印度熊(*Indarctos lagrelii*)、变异鬣狗(*Adcrocuta eximia variabilis*)、翁氏鼬鬣狗(*Ictitherium wongi*)、鬣狗型鼬鬣狗(*Ictitherium hyaenoides*)、中国副美洲獾(*Parataxidea sinensis*)、嵌齿象(*Gomphotherium*)、福氏三趾马(*Hipparion (Cremohipparion) forstenae*)、无角犀(*Acerorhinus* sp.)、安氏大唇犀(*Chilotherium anderssoni*)、拉氏中国板齿犀(*Sinotherium lagrelii*)、斯氏弓颌猪(*Chleuastochoerus stehlini*)、萨姆兽(*Samotherium* sp.)、高冠羚羊(*Gazella dorcadoides*)、中国古大羚(*Palaeoryx sinensis*)及一些牛科动物。从化石名单看,此动物群中林栖动物较第一化石组合中的增多了一些,如虎、熊、象、猪等,前一动物群中数量很多的和政羊及体型特大的巨鬣狗等没有了(也可能与采集有关),出现了牙齿齿冠较高的羚羊。本动物群与前述喇嘛沟动物群的时代相距约 100 万年,二者在属种组合上虽有一些差异,但总的性质是很相近的。它反映了从 800 多万年来,除气候稍湿一些,林地多了一点外,黄土高原区的气候环境似乎并无太大变化,恐怕也正是这样相对稳定的气候环境使生物类型得以相对稳定,延续了较长时间。

2.3 晚中新世最晚期含第三化石组合的第三地层段(MU3)

本段年龄约为 6.0~5.3 Ma B.P. 陕西府谷老高川剖面上中新统上部的红黏土中,有年龄约为 5.7 Ma $\pm$ B.P. 以大量鹿科麋类化石为主的庙梁动物群^[28,29]可作为本阶段的化石组合代表。根据化石层的古地磁年龄,本层可对比到旬邑剖面深度为 191.7~201.8 m 处年龄为 5.7~5.48 Ma B.P. 的第 18 层段。庙梁动物群除有许多如布氏始柱角鹿(*Eostylocerus blainillei*)、湖麋(*Muntiacus lacustris*)、新罗斯祖鹿(*Cervavitus novorossiae*)、低枝祖鹿(*C. demissus*)、宽额原孢(*Procapreolus latifrons*)等鹿类化石外,还有平齿三趾马(*Hipparion platyodus*)、无角犀(*Acerorhinus*)、变异鬣狗(*Adcrocuta eximia variabilis*)、嵌齿象(*Gomphotherium*)及河南兽(*Honanotherium*)、斯氏弓颌猪

(*Chleuastocherus stehlini*)等。旬邑剖面的本层位中有较多的师氏剑齿象(*Stegodon zdanskyi*)、板齿犀(*Elasmotherium*)及竹鼠类(*Rhizomyidae*)等。与此类似或相同的动物群有分布在甘肃南部的武都龙家沟动物群及山西保德的第49地点动物群,它们都含有占整个动物群比例较大的麋类。武都龙家沟的化石有^[38~40]。森林古猿(*Dryopithecus wuduensis*)、始密猿(*Eomellivora* sp.)、上新鬣狗(*Pliohyaena* sp.)、剑齿虎(*Machairodus* sp.)、副剑齿虎(*Paramachairodus* sp.)、蹄兔类(*Hyracoidae*)、嵌齿象类(*Gomphotheridae*)、三趾马类(*Hipparion platyodus*, *H. parvum*, *H. dermatorhinus*)、犀牛类(*Chilotherium* spp., *Acerorhinus* sp.)、武都爪兽(*Chalicotherium wuduensis*)、斯氏弓颌猪(*Chleuastocherus stehlini*)、河南兽(*Honanotherium* sp.)、萨姆兽(*Samotherium* sp.)、始柱角鹿(*Eostylocerus* sp.)、后鹿(*Metacervulus hidens*, *M. brevis*)、湖鹿(*Muntiacus* aff. *lacustris*, *M.* sp.)、祖鹿(*Cervavitus demissens*)、南牛(*Miotragocerus* sp.)、高氏羚羊(*Gazella gaudryi*)、Bovinae、陆龟(*Tesudo* sp.)。在这些动物组合中林栖动物比前二组合的明显增多了,如古猿、剑齿虎、象、爪兽等。现代猿类全分布在亚热带相当湿热的森林环境中。麋类是中、小体型的鹿科动物,角分枝简单,牙齿低冠,现生麋类仅1属3种4亚种,分别分布于中国南部及南亚,多栖居于丘陵、平地及山岳的疏林、丛林近水地区^[31~33,40]。河南兽是一类牙冠比萨姆兽要低的长颈鹿,该两种长颈鹿皆以高树的枝叶为食,前者的食物可能要求更丰富更鲜嫩。平齿三趾马的总体特征与一般三趾马的一样,唯其四肢的掌、蹠骨比其他常见三趾马的要短粗,这恐怕与其生活环境密切相关。从距今500多万年的哺乳类化石综合分析得出:当时黄土高原区的气候环境与其前各阶段的不同,是相当温热、多雨湿润的森林,或密林草原环境。如果借鉴当今的气候环境,当与中国东南部亚热带林灌草地相似。中国东部属亚热带季风气候,夏季炎热而潮湿,冬季温凉而微干。黄土高原动物群的这种变化必是受东亚季风影响所致。

2.4 时代为早上新世的第四地层段(?MU4)

年龄约为5.3~4.0 Ma B.P. 本层段中暂未见哺乳

动物化石报道。仅在旬邑剖面本层段中发现一小段残破鸟肢骨化石,无法进行详细鉴定,对判断气候环境的价值也不大。本层段的时间跨度超过100万年,所有非生物气候代用指标揭示的气候特征,均显示本阶段是约800万年以来最暖湿的时段^[24~27]。虽暂缺乏古生物资料,仍应留一独立的地层段,待将来采得化石后予以补充和完善。

2.5 晚上新世早期含第五化石组合的第五地层段(MU5)

第五地层段的年龄约在4.0~3.2 Ma B.P.之间。任家坡动物群^[41]可作为本层段的化石组合代表。化石产在甘肃灵台任家坡红黏土-黄土剖面深度近200 m处的红黏土层中,在古地磁极性柱Ga/Gi界线之上不远,年龄为3.4 Ma B.P. 所产哺乳动物化石有:中华貉(*Nyctereutes sinensis*)、日进鼠(*Chardinomys* sp.)、嵌齿象(*Gomphotheriidae*)、犀(*Rhinocerotidae*)、贺风三趾马(*Hipparion houfenense*)、副骆驼(*Paracamelus* sp.)、步氏羚羊(*Gazella blacki*)、似榆社羚羊(*G. cf. yu-sheense*)、桑氏转角羊(*Antilospira licenti*)。该动物群的主要特点是:前述各动物群中的较古老种类绝灭了,生活在具有繁茂灌丛的草原、树林及水体边,种类及数量繁多的鹿、猪、虎、犀等动物少了或消失了,一些较进步的新属种,如亚洲现生骆驼的祖先类型副骆驼,外形似狼的貉都首次出现了。整个动物群以偶蹄类为主,偶蹄类中以高冠牙齿者为多,这些事实反映了当时的气候环境较其前期的变得较干而凉,树林退缩,草原范围扩大,甚至出现了小片沙漠。其生态环境似乎介于温带草原和温带荒漠之间。

2.6 时代为晚上新世晚期的第六地层段(?MU6)

本段为跨3.2~2.6 Ma的一段土状地层。目前该层段尚无哺乳类化石的报道。不过,如考虑到一些河湖相地层中的哺乳类化石,如古地磁年龄为3.15 Ma B.P. ± 的沆河动物群^[42],年龄大约在3.0 Ma B.P.的静乐动物群^[43,44]等,都含有较多的属种和标本,反映了当时的气候比较温暖湿润。在风尘土状堆积中找到化石的可能应该是很大的。因此,本文作者认为给这一暂缺化石的地层段留一应有的位置,待有化石资料

后补充完善是较为合适的。

2.7 早更新世早期含第七化石组合的第七地层段 (MU7)

年龄约在 2.6~1.8 Ma B.P. 之间。本层段的哺乳类化石, 种类及数量都较多, 分布也较广。黄土剖面中的古土壤层在 35 层左右(S_0 - S_{35})。第七地层段包括了完整黄土剖面的最下部, 从 M/G 界线向上到 S_{26} 。其中的化石组合大致可分上下二部分, 下部层位中有龙胆动物群^[45], 该动物群产自甘肃临夏龙胆黄土剖面午城黄土下部, 古地磁测定年龄分别为 2.55 Ma B.P. 及 2.16 Ma B.P. 的两个黄土层中。经邱占祥等研究, 该动物群无论化石属种, 或标本数量都非常丰富且保存完美, 共有 29 属, 31 种: 高冠松鼠 (*Aepyosciurus oreintalis*)、旱獭 (*Marmota parva*)、鼯鼠 (*Mimomys cf. gansunicus*)、灞河鼠 (*Bahomys*)、丝绸兔 (*Sericolagus brachypus*)、猕猴 (*Macaca cf. anderssoni*)、副长吻猴 (*Paradolichopithecus gansuensis*)、狐 (*Vulpes chikushanensis*)、犬类 (*Canis teilhardi*, *C. longdanensis*, *C. brevcephalus*)、震旦豺 (*Sinicuon cf. dubius*)、貂鼬 (*Eirictis robusta*)、狗獾 (*Meles teilhardi*)、豹鬣狗 (*Chasmaporthetes progressus*)、硕鬣狗 (*Pachycrocuta licenti*)、斑鬣狗 (*Crocuta honanensis*)、剑齿虎类 (*Homotherium crenatidens*, *Megantereon nihowanensis*)、西瓦猎豹 (*Sivapanthera linxiaensis*)、虎 (*Panthera palaeosinensis*)、猫 (*Felis teilhardi*)、猞猁 (*Lynx shansius*)、三趾马 (*Hipparion (Proboscoidipparion) sinensis*)、马 (*Equus eisenmannae*)、披毛犀 (*Coelodonta nihowanensis*)、黄昏爪兽 (*Hesperotherium sp.*)、日本鹿 (*Nipponicervus longdanensis*)、羚羊 (*Gazella cf. blacki*)、丽牛 (*Leptobos brevicornis*)、半牛 (*Hemibos gracilis*)。其中食肉类种数约占动物群总种数的一半。没有食虫类代表, 缺少象、貉、熊等动物, 鹿、羚羊类等的化石数量很少。原作者认为^[45]在这些动物种类中, 爪兽是吃乔木树叶的; 松鼠、灞河鼠、猴类及日本鹿可能以乔木或灌木的树叶和浆果为食; 除爪兽外的奇蹄类及偶蹄类分别适应于草原边缘及草原生活; 而小猫、猞猁主要生活在灌丛地带。动物群中

没有生活于沙漠环境的动物, 也没有以林地为主要栖息地的动物代表。龙胆动物群的特征, 既反映了其生活地点的特殊性, 即化石产地处于青藏高原与黄土高原交界处的一个小型断陷盆地, 动物群中除黄土高原的属种外, 也包含了一些青藏高原和东洋动物区系的残存种类; 同时又反映了其生存时气候的特殊性, 即龙胆化石产自黄土层中, 黄土是干冷冬季风的产物, 干冷气候使有些动物如马的体型变得巨大, 眶前长度大为增加。但从它有那么丰富的物种及数量, 且大型动物占主导地位看, 在该小盆地中水草应该比较丰盛, 可能还有较多灌丛及小片稀树。因之, 小盆地的气候环境可能并不是太冷、太干, 总体上至少是温凉半干或半湿的比较封闭的疏林草地, 只是在它受到黄土高原上冷干气候的较大影响, 可能会变的比较干冷。

在黄土高原腹地如在洛川、旬邑、午城的本时段中也产有一些哺乳类化石, 但都不如龙胆的那样丰富和集中, 层位可能比龙胆动物群的靠上, 时代稍晚。在洛川、旬邑黄土剖面的 S_{31} ~ S_{25} 及午城黄土剖面的下段有甘肃鼯鼠 (*Mimomys gansuensis*)、鼯鼠 (*M. sp.*)、艾克氏异仓鼠 (*Allicricetus ehiki*)、奥米加鼯鼠 (*Yangia omegodon*)、丁氏鼯鼠 (*Y. tingi*)、鼠平鼯鼠 (*Allosiphnus arvicolinus*)、赵氏鼯鼠 (*Myospalax chaoyatseni*)、许家坪鼯鼠 (*M. hsuchiapingensis*)、柯氏鼠 (*Kowalskia sp.*)、达乌尔鼠兔 (*Ochotona davurica*)、熊 (*Ursus sp.*)、山西猞猁 (*Lynx shansius*)、黄河马 (*Equus huangheensis*)、犀 (*Rhinoceros sp.*)、似真枝角鹿 (*cf. Euctenoceros sp.*)、中国羚羊 (*Gazella sinensis*)、牛类 (*Bovinae*) 及鸵鸟 (*Struthio sp.*) 等^[2,3,7,22,44~46]。其中一大半是干旱草原生活的鼠及兔类, 另一小半是体型较大的动物。现代猞猁遍布于全世界林区, 在中国东北、新疆、西藏、云南等地常栖居于多岩的密林中, 犀、鹿也多是林栖动物, 除了这几类外, 其他的都是草原生活的动物。仅从哺乳类化石就可分析得知, 当时黄土高原主体部分的气候环境是凉、干旱或半干旱的灌丛草原或干草原。在这个大的气候环境背景下, 有较之稍暖湿或更冷干的多次交替变化。

2.8 早更新世中期含第八化石组合的第八地层段(MU8)

巴家咀动物群¹⁾^[46,47]是一个很好的化石组合代表,产于甘肃庆阳巴家咀黄土剖面下部。目前虽尚无可靠年龄资料,但化石层及化石组合对比都处于龙担和公王岭二动物组合及其层位之间的偏下部,巴家咀动物群可作为早更新世中期动物组合的代表。经初步鉴定研究,共有11属22种: 鼯鼠(*Myospalax*)、锯齿虎(*Homotherium crenatidens*)、巨颞虎(*Megantherium*)、直狼(*Canis chihliensis*)、拟豺(*Cuon cf. dubius*)、沙狐(*Vulpes cf. corsac*)、贾氏獾(*Meles cf. chia*)、猫(*Felis*)、中国鬣狗(*Hyaena sinensis*)、披毛犀(*Coelodonta nihowanensis*)、长鼻三趾马(*Hipparion (Proboscidea) sinensis*)、几种真马(*E. teilhardi*, *E. wangi*及*E. qingyangensis*)^[48]、李氏猪(*Sus lydekkeri*)、真枝角鹿(*Euctenoceros*)、中国羚羊(*Gazella sinensis*)、? 鹞喉羚(*Gazella? subgutturosa*)、短角丽牛(*Leptobos brevicornis*)等。巴家咀动物群与前述龙担动物群有某些相似的特点,如二者的小型动物如鼠、兔类很少,肉食类比较多,缺乏象、熊、貉等动物。与后者不同的是巴家咀动物群中没有生活在林中的猴类及生活在疏林中的爪兽等,而草原生活的真马种类及标本数量以及羚羊的数量都比龙担的丰富得多,这可能反映了巴家咀动物群在时代上比龙担动物群稍晚,生存环境比龙担的要干凉,是一个温凉半湿气候条件的开阔草原。

2.9 早更新世晚期含第九化石组合的第九地层段(MU9)

本地层段大约包括从 $L_{15} \sim S_8$ 之间的地层,其古地磁年龄约在1.2~0.78 Ma B.P.之间。有两个层位明确的化石组合。层位较下的一个是公王岭动物群^[49],产自陕西蓝田公王岭黄土剖面 L_{15} 中。 L_{15} 的古地磁年龄是1.15 Ma B.P.^[50] 公王岭动物群除有直立人类化石外,由41个动物属种组成: 麝鼯(*Scaptochirus moschatus*)、蓝田金丝猴(*Rhinopithecus lantianensis*)、多种鼠类(*Arvicola terrae-rubrae*, *Microtus epirat-*

ticeps, *Myospalax tingi*, *M. fontanieri*, *M. sp.*, *Cricetus cf. griscus*, *C. sp.*, *Bahomys hyposodonta*, *Gerbillus sp.*, *Petaurista sp.*, *Apodemus sp.*, *Hystrix cf. subcristata*)、两类兔(*Ochotonoides complicidens*, *Ochotona cf. thibetana*)、变异狼(*Canis variabilis*)、埃楚斯熊(*Ursus cf. etruscus*)、大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca fovealis*)、獾(*Meles cf. leucurus*)、鬣狗(*Hyaena sinensis*)、虎(*Panthera cf. tigris*)、豹(*P. pardus*)、更新猎豹(*Sivapanthera pleistocaenicus*)、蓝田剑齿虎(*Megantherion lantianensis*)、东方剑齿象(*Stegodon orientalis*)、三门马(*Equus sanmenensis*)、两种犀(*Dicerorhinus lantianensis*, *D. cf. mercki*)、两类獾(*Megatapirus augustus*, *Tapirus sinensis*)、爪兽(*Nestoritherium sinensis*)、李氏野猪(*Sus lydekkeri*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalaphus*)、葛氏斑鹿(*Pseudaxis grayi*)、公王岭大角鹿(*Sinomegaloceros konwanlinensis*)、短角丽牛(*Leptobos brevicornis*, *L. sp.*)、苏门羚(*Capricornis sumatraensis qinlingensis*)。其中的金丝猴、大熊猫、东方剑齿象、巨獾、獾、中国爪兽、毛冠鹿、苏门羚等不仅都是中国南方动物,而且都是森林性动物,这使公王岭动物群带有很浓的南方色彩,很暖湿的环境性质。原作者对此已作了一定解释。本文作者认为这种大量南方动物北上的现象除与当时该地区的气候相当适宜这些动物生活外,很大可能与秦岭当时尚未抬升得很高,形成足以阻挡这些大型动物北上的地理屏障也有关^[51]。如果暂不考虑那些南方分子,动物群中的林栖动物只有松鼠类、熊、猪等动物,林缘动物如鹿及草原栖居者如马、丽牛及多种鼠类。这些动物反映当时该地区的气候环境就远不如那么多南方林栖种类一起反映的气候那么暖湿了。就公王岭动物群组成成分分析,在距今约1.15 Ma时该地区是相当暖热,多雨湿润,近山坡具有大片森林,林外有灌丛草地。但是,这样的分析结论与许多非生物指标所揭示的化石产出层 L_{15} 为干冷气候条件的沉积相矛盾。从越向西,向北, L_{15} 及其上下层位产出的化石,如午城、旬邑及洛川等地^[2,7,22,51]有多种鼯鼠(*Myospalax tingi*, *M. chaoyatseni*, *M.*

1) 薛祥煦. 陕西关中、陕北及陇东地区第四纪哺乳动物石及其地质意义. 北京:中国第四纪研究委员会第二届学术会议论文摘要汇编, 1964

hsuchapingensis, *M. chanchenensis*)、上新异费鼠(*Allophaiomys* cf. *pliocenicus*)、短脚野兔(*Hypolagus brachypus*)、貉(*Nyctereutes sinensis*)、长鼻三趾马(*Hipparion (Proboscideipparion) sinensis*)、李氏猪(*Sus lydekkeri*)等,以体型小的、草原生活的动物为主,而靖远的化石更多的是干旱寒冷荒漠草原常见的动物,如蒙古黄鼠、沙鼠等. 这些与 L_{15} 的岩性和非生物代用指标的结果更一致些. 当然,公王岭动物群的产地处在黄土高原最南缘秦岭北坡脚下,生物面貌及与之相应的气候环境受到中国南方及秦岭北坡热带、亚热带潮湿森林环境影响是很自然的. 不过,其所反映的环境信息有很大的地域局限性.

层位靠上的一个动物群是阳郭动物群^[52],产自陕西渭南阳郭西岔弯黄土剖面 S_{10-11} 中. 该化石层处在松山倒转极性段的贾拉米洛正极性亚段中,年龄为 $0.98\sim 1.05$ MaB.P.^[7],比公王岭动物群的时代稍晚. 阳郭动物群由 21 种组成,仓鼠 2 种(*Cricetulus varians*, *C. cf. friseus*)、鼯鼠 3 种(*Myospalax chaoytseni*, *M. tingi*, *M. arvicolinus*)、豪猪(*Hystrix subcristata*); 桑氏鬣狗(*Hyaena licenti*)、山西猓獾(*Lynx shansius*)、古中国豹(*Felis cf. palaeosinensis*)、柯氏小熊(*Ursus kokeni*); 长鼻三趾马(*Hipparion (Proboscideipparion) sinensis*)、三门马(*Equus sanmeniensis*); 4 类鹿(*Elaphurus chinanensis*, *Rusa elegans*, *Axis cf. rogosus*, *A. cf. shansius*)、丽牛 3 种(*Leptobus brevicornis*, *L. laochihensis*, *L. amplifrontalis*)、野牛(*Bison*)及羚羊(*Gazella sinensis*). 其中猓獾、豹及熊等是森林动物,黑鹿、麋鹿喜居于河湖沼泽地带,鼠、马、羚羊、牛等为草原动物. 草原动物的种类及标本数都较其他动物的多,反映了当时该地区气候较温和湿润,是一个生长有一定森林的草原环境. 古生物反映的气候环境与含化石的厚层红色古土壤形成于湿热环境的结论是彼此协调的. 此外,洛川黄土剖面 $S_{14}\sim S_8$ 的地层中产有多种鼯鼠及拟布氏田鼠(*Microtus brandifoides*)^[7,51]; 午城黄土剖面本层段中,除有两种鼯鼠外,还有午城马(*E. wuchenensis*)、?大角鹿(*Megaloceros ?pachyosteus*)、转角羊(*Spiroceros peii*)^[1,2,7],往西在甘肃靖远黄土剖面的本层段中则仅见达鸟尔鼠兔(*Ochotona davurica*)等^[7]. 午城、洛川、靖远剖面上的化石都较

少,难于依之作全面的气候环境分析. 不过,又一次看出在黄土高原区从南向北,从东到西大面积内的气候环境并不完全一样,东、东南近秦岭山区要温湿些,越向北,向西化石数量、种类总的说来都少,且主要为体型小的动物,鼠、兔类动物为主,说明其气候环境不如靠东、靠南的暖湿,而主要为草原甚至干草原.

2.10 中更新世含第十化石组合的第十地层段(MU10)

本层段包括 $L_8\sim L_2$ 的地层及化石,其年龄为 $0.78\sim 0.13$ Ma B.P. 在黄土-古土壤沉积序列中, S_5 是一个几乎处处能见到的标志层,它由三层各厚约 1 m 的古土壤复合而成,故通常称 S_5 为“红三条”,是一段较长的温湿气候的产物. 在这一时段中有著名的含有蓝田猿人下颌骨的陈家窝动物群. 该动物群产于陕西蓝田县泄湖镇陈家窝子村“三条相距甚近的棕红色古土壤层上下,可视为采自同一层中”^[54]. 除蓝田直立人外,动物群由 14 个属种组成. 啮齿类 5 种: 鼯鼠 2 种(*Myospalax tingi*, *M. cf. fontanieri*)、仓鼠(*Bahomys hypsodonta*)、小鼠(*Apodemus cf. sylvaticus*)、豪猪(*Hystrix*)、复齿拟鼠兔(*Ochotonoides complicidens*)、翁氏兔(*Lepus wongi*)、象(*Elephas*)、李氏野猪(*Sus cf. lydekkeri*)、葛氏斑鹿(*Pseudaxis grayi*)、大角鹿(*Sinomegaceros*). 其中鼠、兔类共 7 种,约占整个动物群总种数的一半,但标本数量最多的是葛氏斑鹿. 除象、猪和林姬鼠有较明确的森林生活特点外,其他的生活范围都很广,以草原或灌丛草原生活者为多. 不难看出,陈家窝动物群反映了当时的生活环境为温-半湿、半干具有小片树林,或疏林灌丛的草原. 此外,在铜川川口 S_5 之下的黄土层中采到方氏鼯鼠、似最后剑齿虎(*Homotherium cf. ultima*)及鼬科、犬科化石、梅氏犀(*Dicerorhinus mercki*)、三门马(*Equus sanmeniensis*)及扁角大角鹿(*Megaloceros flabellatus*)、鹿(*Cervus*)等^[55]; 洛川地区 S_5 之下的 L_6 黄土层顶部有洛川大角鹿(*M. luochuanensis*),中部有方氏鼯鼠、拟布氏田鼠^[51]; 旬邑的 S_5 中有马(*Equus*), L_8 中有柯氏鼠兔(*Ochotona cf. koslowi*)^[22]; 靖边黄土剖面本层段中的化石,仍然是鼯鼠、仓鼠、田鼠及鼠兔,未找到大型动物化石^[7]. 总的看来,本层段化石反映

找到大型动物化石^[7]。总的看来,本层段化石反映的气候环境大体是温-温凉、半干-干的疏林灌丛草原。与其前期相似,仍然有高原东、南较西部、北部相对要暖湿,植被发育好些的情况。

2.11 晚更新世含第十一化石组合的第十一地层段(MU11)

地层年龄在0.13~0.01 Ma之间。在此阶段的黄土沉积中,化石很少,即使有也几乎都是鼠类的牙齿及零散骨骼。这种现象并不意味着当时动物就真的贫乏,因为在同时异相的河湖相地层中,动物化石还是比较丰富的。这很可能与当时气候更干冷、高原面上风更大、植被稀少,不适于动物,尤其是大动物生存有关。相对而言,在河谷低地的各种生存条件比高原面上的都要好得多,在那里会有许多生物生存。谢骏义等曾在甘肃华池柔远地区的马兰黄土中采集到一批化石,称为柔远动物群^[56],其中有虎(*Felis tigris*)、最后鬣狗(*Crocota ultima*)、野驴(*Equus hemionus*)、野马(*E. przewalskii*)、披毛犀(*Coelodonta antiquitatis*)、赤鹿(*Cervus (E.) canadensis*)、普氏羚羊(*Gazella przewalskyi*)、原始牛(*Bos primigenius*)。化石的组成展示了一个较温和、较湿润有树林的草原环境,犹如原作者所说该动物群可能是“当马兰黄土在华北大面积沉积时,高原上十分干冷,这些动物经受不了风沙的袭击,退居到其上残留的少数几个岛状的林地边缘了^[55]”。

2.12 全新世含第十二哺乳类兽骨组合的第十二近代黄土层段(MU12)

在陕西西安东郊半坡村一个距今约6000年的新石器时代古人类遗址中出土了许多文物,包括一大批与半坡人共存的动物骨骼^[57],有田鼠(*Myospalax*)、竹鼠(*Rhizomys*)、兔(*Lepus*, *Ochotona*)、狗(*Canis*)、狐(*Vulpes*)、貉(*Nyctereutes*)、马(*Equus*)、猪(*Sus*)、羊(*Ovis*)、斑鹿(*Pseudaxis*)、麝(*Hydropotes*)、羚羊(*Gazella*)等及许多鸟、鱼的骨骼。其主要特点是全为现生属种,还有一些人工饲养的动物如猪、马、狗、羊、牛等。竹鼠、麝等是南方型动物,竹鼠生长在竹林中,斑鹿生活在林边的丘陵地带。这些都说明了当

时西安乃至陕西中部气候温暖湿润,长有树林、竹林,富有大大小小的水体。大量动物骨骼的集中很可能与当时先民们的捕杀与打猎有关。

3 结论

(1) 中国黄土高原区新近纪—第四纪风尘红黏土-黄土层中的哺乳类化石从老到新的演变趋势是:早期(即晚中新世中、晚期)物种丰富,分异度大,大型动物多,标本数量多,动物群中以稀树灌丛草原动物为主,有一定水生或水边生活的动物及少量林中生活的动物。其间虽有暖湿、凉干一些的动物组合交替,但总体上说动物组合的变化并不很明显。动物化石的特点反映了当时黄土高原区为热半干半湿、较暖半湿至暖-较湿的以疏林草原为主的气候环境。这时的气候环境有波动变化,但变化幅度不大、时间不长,相对稳定的环境使生活在其中的动物群得以相对地稳定发展。中期(即上新世),只在晚上新世早期发现化石,特征是物种分异度小,标本数量减少,耐旱耐寒以食干草为主的草原甚至沙漠生存的动物出现,说明了气候环境在向干、凉变化,林区缩小,草原面积扩大,甚至出现了干草原或小面积沙漠。从非生物气候代用指标揭示的早上新世与晚上新世晚期的气候却是暖湿与较暖湿一些。晚期(即第四纪)时,第三纪的动物大量死亡、绝灭,耐干耐寒的动物更多了,林地动物急剧减少,而草原动物快速增多,大型动物变少,中-小型物种增多,啮齿类大量发展且几乎成了各阶段动物群的主体。其次,兔类、马、羊、牛也为常见动物,反映了黄土高原区第四纪的气候环境与第三纪的明显不同,向干、冷恶变,变化幅度大而周期长。如此巨大的环境变化,促使物种更替快,生物组合变化大。总之,哺乳动物的这种明显演变反映了从800多万年前到现在黄土高原区的气候环境变化,大致是由热半干半湿、较暖半湿、暖-较湿→较暖湿、凉干、较暖湿→冷干与温半湿频繁交替;植被环境有从稀树灌丛草原、多树灌丛草原、亚热带森林草原→稀树草原、干草原→灌丛草原、干草原、荒漠的变化。

(2) 从中国黄土高原区风尘红黏土与黄土层中哺乳类演化所揭示的该地区古气候环境,在新近纪

晚期是以暖湿为背景的较小波动, 而到第四纪时则恶变为以冷干为背景的较大波动看, 第四纪是一个气候环境变化很大的独立阶段. 引起新近纪与第四纪气候较大变化的原因, 主要是新近纪末期青藏高原更剧烈的抬升及同时期所发生的北极冰盖的明显形成与扩大.

(3) 黄土高原区从第四纪起, 越来越明显地表现出同一时期不同地区的气候有所不同. 偏东靠南的地带及一些特殊地区, 如龙胆、公王岭、柔远等地的气候比偏西靠北, 甚至高原腹地总的气候要稍暖湿一些.

上述黄土高原大约从 800 万以来, 晚中新世中期至今的红黏土-黄土地层 12 个层段的古气候环境, 用哺乳类化石分析、推断的结果, 与前人用其他气候代用指标分析测试的结果基本一致^[25~28]. 某些不协调之处, 可能与化石不是每个层位都能采到, 而其他非生物气候代用指标的分析, 由于能连续采样, 分析的结果是连续的曲线, 二者不好完全对比所致.

致谢 西北大学邱世祥教授为本文作了大量工作; 西北大学地质系李永项工程师及中国科学院地球环境研究所于学峰博士帮助作图, 特此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 刘东生, 张宗祜. 中国的黄土. 地质学报, 1962, 42(1): 1~13
- 2 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 1~468
- 3 丁仲礼, 刘东生. 中国黄土研究新进展(一)黄土地层. 第四纪研究, 1989, (1): 24~35
- 4 刘东生, 丁仲礼. 中国黄土研究新进展(二)古气候与全球变化. 第四纪研究, 1990, (1): 1~9
- 5 丁仲礼, 余志伟, 刘东生. 中国黄土研究新进展(三)时间标尺. 第四纪研究, 1991, (4): 336~346
- 6 刘东生, 丁仲礼. 二百万至五万年季风环境与大陆冰量变化的阶段性耦合过程. 第四纪研究, 1992, (1): 12~23
- 7 岳乐平, 薛祥熙. 中国黄土古地磁学. 北京: 地质出版社, 1996. 89~116
- 8 Evans M E, Wang Y, Rutter N W, et al. Preliminary magnetostratigraphy of the red clay underlying the loess sequence at Baoji, China. Geophysical Research Letters, 1991, (18): 1409~1412
- 9 孙东怀, 刘东生, 陈明扬, 等. 中国黄土高原红黏土序列的磁性地层与气候变化. 中国科学, D 辑, 1997, 27(3): 265~270
- 10 丁仲礼, 孙继敏, 朱日祥, 等. 黄土高原红黏土成因及上新世北方干旱化问题. 第四纪研究, 1997, (2): 147~157
- 11 孙东怀, 陈明扬, Shaw J, 等. 晚新生代黄土高原风尘堆积序列的磁性地层年代与古气候记录. 中国科学, D 辑, 1998, 28(1): 79~84
- 12 Sun D H, Shaw J, An Z S, et al. Magnetostratigraphy and paleoclimatic interpretation of a continuous 7.2 Ma Late Cenozoic eolian sediments from the Chinese Loess Plateau. Geophysical Research Letters, 1998, 25 (1): 85~88[DOI]
- 13 Ding Z L, Sun J M, Yang S L, et al. Preliminary magnetostratigraphy of a thick eolian red clay-loess sequence at Lingtai, the Chinese Loess Plateau. Geophysical Research Letters, 1998, 25(8): 1225~1228[DOI]
- 14 安芷生, 王苏民, 吴锡浩, 等. 中国黄土高原的风积证据: 晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动. 中国科学, D 辑, 1998, 28(6): 481~490
- 15 Sun D H, An Z S, J Shaw, et al. Magnetostratigraphy and palaeoclimatic significance of Late Tertiary aeolian sequences in the Chinese Loess Plateau. Geophysical Journal International, 1998, 134: 207~212[DOI]
- 16 丁仲礼, 孙继敏, 杨石岭, 等. 灵台黄土-红黏土序列的磁性地层及粒度记录. 第四纪研究, 1998, (1): 86~94
- 17 郭正堂, 彭淑贞, 郝青振, 等. 晚第三纪中国西北干旱化的发展及其与北极冰盖形成演化和青藏高原隆升的关系. 第四纪研究, 1999, (6): 556~567
- 18 Qiang X K, Li Z X, Powell M C A, et al. Magnetostratigraphic record of the Late Miocene onset of the East Asian monsoon, and Pliocene uplift of northern Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 187: 83~93
- 19 宋友桂, 方小敏, 李吉均, 等. 六盘山东麓朝那剖面红黏土年代及其构造意义. 第四纪研究, 2000, 20(5): 457~463
- 20 杨石岭, 侯圣山, 王旭, 等. 泾川晚第三纪红黏土的磁性地层及其与灵台剖面的对比. 第四纪研究, 2000, 20(5): 423~434
- 21 安芷生, 孙东怀, 陈明扬, 等. 黄土高原红黏土序列与晚第三纪的气候事件. 第四纪研究, 2000, 20(5): 435~446
- 22 薛祥熙, 张云翔, 岳乐平. 黄土高原一个连续的晚新生代剖面及其划分与对比. 地层学杂志, 2001, 25(2): 81~88
- 23 薛祥熙, 岳乐平, 王建其. 从陕西旬邑上新世剖面看黄土高原新近系/第四系界线. 地层学杂志, 2001, 25(3): 161~165
- 24 薛祥熙, 鹿化煜, 周杰. 旬邑新近系红土剖面粒度组成的古气候意义. 沉积学报, 2002, 20(1): 118~123
- 25 薛祥熙, 岳乐平, 张云翔, 等. 陕西旬邑新近系化学地层及环境变迁. 地层学杂志, 2002, 26(2): 81~86
- 26 薛祥熙, 周杰, 岳乐平, 等. 陕西旬邑晚新生代红土-黄土序列磁化率特征与环境变迁. 第四纪研究, 2002, 23(1): 103~108
- 27 薛祥熙, 赵景波. 陕西旬邑新近纪红黏土微形态特征及其意义. 沉积学报, 2003, 21(3): 448~452
- 28 薛祥熙, 张云翔, 岳乐平. 陕西府谷老高川三趾马动物群的发现及时代分期. 科学通报, 1995, 40(5): 447~449
- 29 张云翔, 薛祥熙, 岳乐平. 陕西府谷老高川新第三纪“红层”的划分与时代. 地层学杂志, 1997, 19(3): 214~219
- 30 郑作新. 脊椎动物分类学. 北京: 农业出版社, 1964. 292~371

- 31 Bourliere F. Mammals of the World, Their Life & Habits. London: George G Harrap & Co, 1955. 1~186
- 32 Savage R J G, Long M R. Mammal Evolution, An Illustrated Guide. New York: Facts on File Publications, 1986. 226~229
- 33 Vaughan Jennifer. Wild Animals. London: Macdonad and Company (Publishers) Ltd, 1973. 1~25
- 34 Penny Malcolm. Rhinos. England: Wayland Ltd, 1991. 1~28
- 35 Arnold Caroline. Giraffe. New York: William Morrow and Company Inc, 1978. 1~46
- 36 Hamilton W R. The life of animals with hooves. London: Macdonald educational, 1975. 1~50
- 37 张云翔, 岳乐平, 曹红霞. 黄河中游新近纪三趾马动物群生态序列. 科学通报, 2001, 46(14): 1196~1199
- 38 张云翔, 薛祥煦. 甘肃武都家沟三趾马动物群埋藏学. 北京: 地质出版社, 1995. 16~18
- 39 薛祥煦, Delson E. 中国甘肃森林古猿 - 新种. 科学通报, 1988, 33(6): 449~453
- 40 Xue X X, Coombs M. A new species of *Chalicotherium* from the upper Miocene of Gansu Province, China. Journal of Vertebrate Paleontology, 1985, 5(4): 336~344
- 41 张云翔, 孙东怀, 安芷生, 等. 甘肃灵台上新世晚期红黏土中的哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 1999, 27(3): 190~199
- 42 薛祥煦. 陕西渭南-早更新世哺乳动物群及其层位. 古脊椎动物与古人类, 1981, 19(1): 35~44
- 43 陈晓峰. 山西静乐县“静乐期”地层及大哺乳动物化石. 第四纪研究, 1994, (4): 339~353
- 44 周晓元. 山西静乐上新世小哺乳动物群及静乐组的时代讨论. 古脊椎动物学报, 1988, 26(3): 181~197
- 45 邱占祥, 邓涛, 王伴月. 甘肃东乡龙担早更新世哺乳动物群. 北京: 科学出版社, 2004. 1~156
- 46 王永焱, 薛祥煦, 何汝昌, 等. 陕北陇东黄土区第四纪地层的划分. 地质学报, 1966, 46(1): 102~117
- 47 薛祥煦. 中国黄土分布区第四纪哺乳动物化石. 见: 王永焱, 雒山贞雄, 主编. 中国黄土研究的新进展. 西安: 陕西人民出版社, 1985. 115~146
- 48 邓涛, 薛祥煦. 中国的真化石及其生活环境. 北京: 海洋出版社, 1999. 5~24
- 49 胡长康, 齐陶. 陕西兰田田公王岭更新世哺乳动物群. 北京: 科学出版社, 1978. 1~62
- 50 安芷生, 高万一, 祝一志, 等. “兰田人”的磁性地层年龄. 人类学学报, 1990, (1): 1~7
- 51 薛祥煦, 张云翔. 中国第四纪哺乳动物地理区划. 兽类学报, 1994, 14(1): 15~23
- 52 计宏祥. 陕西蓝田地区的早更新世哺乳动物化石. 古脊椎动物与古人类, 1975, 13(3): 169~177
- 53 薛祥煦. 记洛川大角鹿(新种) *Megaloceros luochuanensis* 附: 陕西洛川黑木沟黄土剖面上的其他哺乳类化石. 古脊椎动物与古人类, 1982, 20(1): 228~235
- 54 周明镇, 李传夔. 陕西蓝田陈家窝中更新世哺乳类化石补记. 古脊椎动物与古人类, 1965, 9(4): 377~393
- 55 闫嘉祺, 薛祥煦, 张云翔, 等. 陕西铜川黄土层中的哺乳动物群及其时代. 中国第四纪研究, 1989, 8(1): 79~88
- 56 谢骏义, 许俊臣. 甘肃华池马兰黄土中的哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 1988, 26(2): 149~152
- 57 李有恒, 韩德芬. 陕西西安半坡新石器时代遗址中的兽类骨骼. 古脊椎与古人类, 1959, 1(4): 166~172