

中国北方哺乳动物群在中中新世气候适宜期的记录和表现

邓 涛^{①②③}

(^①中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044;

^②中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101; ^③西北大学地质学系, 西安 710069)

摘要 哺乳动物的起源和演化无不受其生活环境的调控和制约, 因此化石物种及其组合的特点与变化是反映气候环境变化的重要标志之一。东亚的哺乳动物群在晚新生代期间经历了多次重大的转换, 中新世中、晚期之交即发生了一次剧烈的动物群演替事件, 适应于森林环境的铲齿象动物群被适应于草原环境的三趾马动物群所取代。中中新世全球气候变化也达到一个顶峰, 南极冰量显著减少, 大洋底层水温度进一步上升, 形成 17~15Ma 期间的中中新世气候适宜期(Middle Miocene Climatic Optimum, 简称 MMCO), 代表了地质历史时期与人类活动无关的一次强烈的增温事件。中国中中新世的哺乳动物群对 MMCO 的升温事件有敏感的反应, 出现了大量喜暖喜湿的哺乳动物, 如铲齿象、上猿、河狸、睡鼠、安琪马、爪兽、库班猪、利齿猪和古麟等。中中新世的铲齿象动物群反映了相当暖湿的气候环境, 上猿等典型的森林动物在此背景下甚至分布到新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等中国的北方地区。尽管中国的中中新世哺乳动物群几乎都产自河湖相沉积中, 尤其以河流相的砂岩为主, 保存为化石的机会较少, 但仍然有充分的材料显示出哺乳动物对温暖湿润环境的适应性状, 从而有足够的记录来描绘哺乳动物在 MMCO 期间的表现和响应。

主题词 哺乳动物 森林 中中新世 气候适宜期 中国

中图分类号 Q915.87, P534.62⁺1 **文献标识码** A

中国的新近纪沉积物中产有丰富的哺乳动物化石, 它们不仅保留了生物进化的重要线索, 同时也包含了反映其生态特征的关键信息, 从而可以为同一时期气候环境的变化提供一份独立的记录。东亚的哺乳动物群在晚新生代期间经历了多次重大的转换, 以甘肃临夏盆地的晚新生代哺乳动物群序列为例, 这个序列涵盖了一系列重要的哺乳动物群转换事件: 生活于疏林环境的巨犀动物群在 23Ma 之前的晚渐新世绝灭, 随后长鼻类获得了分异度和个体数量上的大发展, 至中中新世形成了适应于森林环境的铲齿象动物群; 然而, 自 12.6Ma 开始的严重干旱化事件使自北美迁徙而来的三趾马动物群取代了铲齿象动物群的地位, 在开阔的草原环境中获得了绝对的优势, 并一直延续到上新世末期; 随着第四纪冰期的到来, 新的一波迁徙浪潮以真马为代表并伴随着多样性的食肉动物再次从北美扩散而来,

在 2.6Ma 迅速替代了三趾马及其共生的其他哺乳动物, 形成现代动物群的基础^[1-3]。

哺乳动物的起源和演化无不受其生活环境的调控和制约, 因此化石物种及其组合的特点与变化是反映气候环境变化的重要标志之一, 基于这一逻辑关系, 哺乳动物化石所诠释的演化历史能够判别新近纪气候环境的重大变化^[4]。中国在新近纪的哺乳动物方面有着世界上得天独厚的条件, 沉积盆地发育、化石地点众多、标本数量巨大, 为这一时期的气候环境变化提供了非常好的证据记录(图 1)。本文将重点讨论中国北方的哺乳动物群在中中新世气候适宜期内的表现和响应。

1 中中新世气候适宜期

在渐新世初期发生了全球降温和极地冰量的增长^[5], 这一过程一直持续到晚渐新世的变暖事

作者简介: 邓涛 男 53 岁 研究员 新生代哺乳动物学及地层学专业 E-mail: dengtao@ivpp.ac.cn

* 国家自然科学基金重点项目(批准号:41430102)、中国科学院战略性先导科技专项项目(批准号:XDB03020104)和国家重点基础研究发展规划项目(973 项目)(批准号:2012CB821906)共同资助

2016-01-21 收稿, 2016-03-18 收修改稿

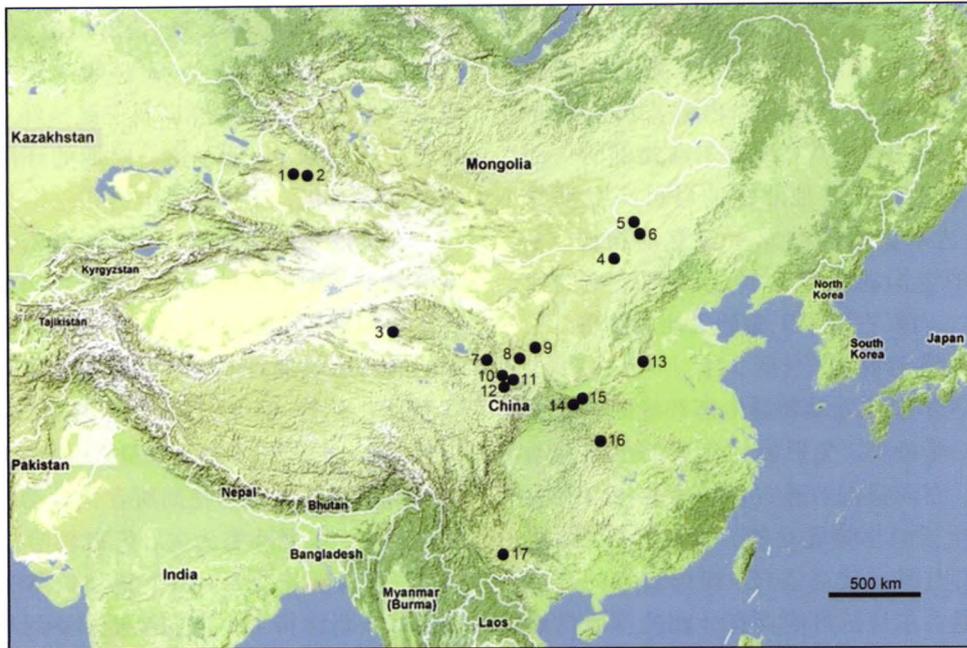


图 1 中国中中新世通古尔期的哺乳动物群化石地点分布

1. 可可买登 (Kekemaideng); 2. 哈拉玛盖 (Halamagai); 3. 欧龙布鲁克 (Olongbuluk); 4. 大庙 (Damiao); 5. 通古尔 (Tunggur); 6. 推饶木 (Tairum Nor); 7. 李二堡 (Li'erpu); 8. 泉头沟 (Quantougou); 9. 丁家二沟 (Dingjia'er gou); 10. 老沟 (Laogou); 11. 石那奴 (Shinanu); 12. 曾家 (Zengjia); 13. 九龙口 (Jiulongkou); 14. 寇家村 (Koujiacun); 15. 冷水沟 (Lengshuigou); 16. 二郎岗 (Erlanggang); 17. 小龙潭 (Xiaolongtan)

Fig. 1 Geographical distribution of the Middle Miocene localities of the Tunggurian mammalian faunas in China

件^[6]。此后,全球冰量保持在较低水平,大洋底层水温略有升高,此趋势在中中新世达到顶峰,全球冰量显著减少,大洋底层水温度进一步上升^[7,8],形成 17~15Ma 期间的中中新世气候适宜期 (Middle Miocene Climatic Optimum, 简称 MMCO^[6])。中中新世的升温事件是全球性的,气温比今天高出 4~5℃,甚至更高;此后,在晚中新世重新发生降温事件,南极冰盖再次形成^[9,10]。 $\delta^{18}\text{O}$ 的平均值在晚中新世持续上升,直到早上新世^[6-9]。晚中新世的降温过程也是全球性的^[11,12],这个时期气候变冷和海退同时进行,海平面下降幅度达 40~50m^[13]。

中中新世气候适宜期代表了地质历史时期与人类活动无关的一次强烈的增温事件,当时南极冰盖小于现代的规模,减小的幅度约 10%~25%^[14],据估计 MMCO 在地球上中纬度地区的温度比现在高 6℃^[10]。然而,MMCO 增温的原因以及当时大气 CO_2 的水平 and 作用仍然存在极大争议,对中中新世古 CO_2 浓度的估计可能低至冰期的水平,也可能比现代高两倍,洋流循环和山脉隆升也被解释是这一事件的驱动力^[15]。

2 中国中中新世的哺乳动物群

中中新世是东亚哺乳动物向现代转变的一个重要

时期,现代哺乳动物中大部分科在这一时期先后出现。早中新世肉食目动物兴起,长鼻目由非洲迁入,奇蹄目进一步发展,偶蹄目明显分化。中中新世长鼻类和偶蹄类的多样性显著增加,主要由古仓鼠类、安琪马 (*Anchitherium*)、犀类、长鼻类、库班猪 (*Kubanochoerus*) 和皇冠鹿 (*Stephanocemas*) 等组成了“铲齿象动物群”。晚中新世哺乳动物进入了更高的演化阶段:啮齿目中的鼠形类占绝对优势,食肉目中的鼬科、鬣狗科和猫科开始繁盛,奇蹄目以三趾马 (*Hipparion*) 和大唇犀 (*Chilotherium*) 占优势,偶蹄目更加兴旺,组成了“三趾马动物群”^[16]。

中国新近纪的分期主要以陆生哺乳动物化石为划分依据,中中新世为通古尔期,生物标志以内蒙古自治区苏尼特左旗通古尔组的铲齿象动物群为典型代表^[3,17]。由于 MMCO 增温事件的影响,中国中中新世南北方的动物群处于同一个哺乳动物地理区之内。中国中中新世的哺乳动物群可以分为两个阶段:通古尔早期以宁夏同心的丁家二沟动物群为代表^[18],还包括内蒙古苏尼特左旗的推饶木动物群^[19]、新疆准噶尔盆地北缘的哈拉玛盖动物群^[20,21]、青海民和的李二堡动物群^[22,23]、甘肃兰州盆地的泉头沟动物群^[24-27]、甘肃广河的石那奴动

物群和曾家动物群^[3,28,29]、陕西蓝田的冷水沟动物群^[30]、河北磁县的九龙口动物群^[31]、湖北房县的二郎岗动物群^[32]；通古尔晚期以内蒙古苏尼特左旗的默尔根动物群为代表^[33]（通古尔动物群的一部分），还包括新疆准噶尔盆地北缘的可可买登动物群^[20]、青海柴达木盆地的欧龙布鲁克动物群^[34]、甘肃临夏盆地的老沟动物群^[3,35,36]、陕西蓝田的寇家村动物群^[37]、内蒙古四子王旗的大庙动物群^[38]、云南开远的小龙潭动物群^[39]（图1）。

过去对通古尔期哺乳动物群生态环境的研究侧重于以食虫类、啮齿类、兔形类为代表的小哺乳动物化石。例如，在内蒙古的通古尔动物群中含有大量适应于草原生活的小哺乳动物，如刺猬类、跳鼠类、鼠兔类和部分具有较高齿冠、嵴形齿脊的仓鼠类，指示当时通古尔地区可能具有开阔的草原自然景观。然而，在通古尔动物群中多种河狸（*Monosaulax*、*Anchitheriomys* 和 *Hystricops*）与软体动物及鱼类的并存，要求有较丰富的水源、湖泽。食虫类的属种在通古尔动物群中占有相当大的比例，意味着作为这些动物食料的昆虫和果实也相当丰富，有茂密草地，有为这些动物提供栖息的下层林丛^[40]。从上述结论看，中中新世中国北方的自然环境似乎与晚中新世的温带干旱、半干旱以草原或森林草原为主的生态类型^[41]差别不大。

然而，中国中中新世与晚中新世的动物群组成明显不同，也很少有中中新世哺乳动物群的成员在种级甚至属级水平上跨越中、晚中新世界线延续下来。结合气候环境背景在中、晚中新世的显著变化，尤其是中中新世 MMCO 的增温和晚中新世南极冰盖扩张的降温，中中新世应该有不同于晚中新世的陆地生态系统。实际上，哺乳动物群的气候环境背景在中、晚中新世的变化已经被注意到，中中

新世铲齿象动物群反映了相当暖湿的气候环境（图2），可能与全球 15Ma 时的气候变暖有关，而晚中新世三趾马动物群以及三趾马红土在华北和西北的广泛出露，表明了这一时期的环境发生了一次较明显的变化，气候变得干热^[16]。

在准噶尔盆地北缘，早中新世风成堆积的索索泉组之上是中中新世河湖相的哈拉玛盖组和可可买登组堆积期，年龄为 16.8~13.5Ma。哈拉玛盖组沉积的通古尔早期具有大、小哺乳动物空前繁荣并伴有鳄鱼生存的暖湿生态环境，还有上猿（*Pliopithecus*）出现，指示 MMCO 的森林环境；可可买登组沉积的通古尔晚期所含化石动物群组成种类明显减少，以偶蹄类为主，齿冠较哈拉玛盖组中者增高，反映环境变干，但上猿和长鼻类的继续存在表明气候仍维持了一定的温暖和潮湿程度。到晚中新世的顶山盐池组气候再次干冷，发生第二次风成堆积^[42]。

在临夏盆地的中中新世哺乳动物群中，大型动物的属种数量比之前的早中新世动物群有明显增加^[1,2]，显示其体重分布的群落线（cenogram）具有低缓的斜率，没有显著的中断^[43]。群落线依据动物群中食草动物不同种类体重的自然对数值绘制，对大量现生哺乳动物群群落线的研究，证明体重的分布样式与环境紧密相关：连续的体重分布，即不缺乏某一体重范围的动物，指示茂密的森林环境，而缺失中等体重（0.5~8.0kg）动物是开阔草原环境的特征；具有丰富大型动物（体重大于 8kg）而使群落线的斜率变得低缓是湿润气候的体现，相反，大型动物较少而使斜率变得高陡反映干旱的条件^[44]。根据体重群落线判断，临夏盆地的中中新世哺乳动物代表了茂密和湿润的森林环境，明显不同于晚中新世开阔和干旱的草原环境^[43]。

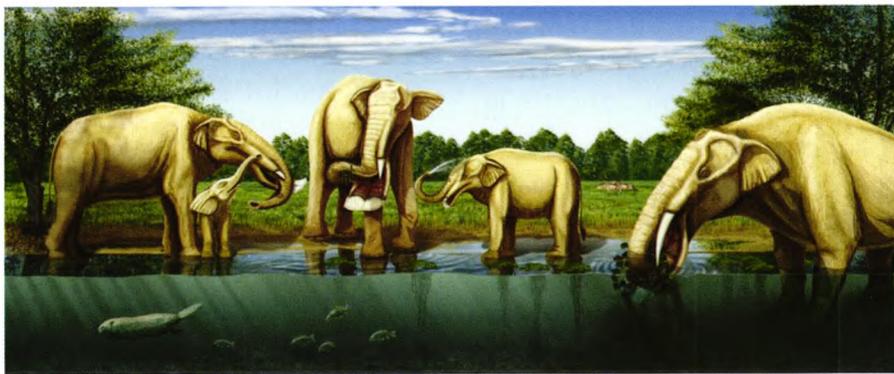


图2 内蒙古中部通古尔地区中中新世铲齿象动物群生态环境复原

Fig. 2 Reconstruction of the ecological environment of the Middle Miocene *Platybelodon* fauna in the Tunggur area of central Inner Mongolia

中国中中新世的哺乳动物群几乎都产自河湖相沉积中, 尤其以河流相的砂岩为主, 与晚中新世的三趾马动物群主要产于红粘土堆积中的情况截然不同^[16, 18, 30]。由于中中新世哺乳动物群主要为森林型动物, 因此保存为化石的机会明显少于红粘土堆积, 但仍然有足够的化石记录(图 3)来描绘它们在 MMCO 期间的行为。根据前文中各个地点的文献记录^[16-43], 我们绘制了图 3。显然, 中国中中新世的哺乳动物群对 MMCO 的升温事件有敏感的响应, 我们将逐一来看北方地区动物群中主要成员所表现出的对温暖湿润环境的适应性状。

3 通古尔期动物群中的喜暖喜湿动物

3.1 铲齿象 (*Platybelodon*)

铲齿象是中中新世动物群中最丰富的类型, 尤其以葛氏铲齿象 (*Platybelodon grangeri*) 的个体数量最多。铲齿象的形态特征与其生活环境密切相关, 以其宽阔和扁平的下门齿为最突出之处, 一直以来被推断取食沼泽地带的水生或半水生植物, 显示其靠近河流或沼泽地的生活环境^[45]。最近也有研究认为铲齿象用其下门齿从树上刮下树皮或切割、刮取植物^[46]。铲齿象臼齿和下门齿的微磨痕分析被利用来判断其食性, 检验上述判断是否准确。结果

显示, 铲齿象成年个体的臼齿与现生食叶有蹄类具有相同的微磨痕特征, 尤其相似于现生的森林象 (*Loxodonta cyclotis*), 而与生活于相对更开阔环境的非洲象 (*Loxodonta africana*) 和亚洲象 (*Elephas maximus*) 差别较大, 由此证明铲齿象是一种森林环境中生活的动物^[47]。

在长鼻的帮助下, 伸长的下颌联合部和铲形的下门齿可以支持铲齿象收割水草(图 2), 向后倾斜的下颌支和下颌联合部上粗壮的横嵴可以确保下颌在力学上的稳定性。此外, 多齿嵴、高齿冠的臼齿, 带有许多小的釉质锥体和厚实的白垩质, 可以帮助铲齿象咀嚼含有小的沉积颗粒的食物^[45]。因此, 铲齿象很够很好地适应温暖潮湿的环境, 在中中新世晚期广泛分布于东亚。然而, 在中中新世结束时, 铲齿象在欧亚大陆绝灭了, 可能归因于环境变化和与“真正”的象类的竞争^[48]。

3.2 上猿 (*Pliopithecus*)

在新疆准噶尔盆地北缘铁尔斯哈巴合中中新世哈拉玛盖组的底部第二砂层中发现了毕氏上猿 (*Pliopithecus bii*) 的 4 枚牙齿, 与其共生的哈拉玛盖动物群的时代为中中新世早期, 与欧洲新近纪陆生哺乳动物分期的 MN6 相当, 是在中国最早出现的上猿^[21]。产自宁夏同心丁家二沟动物群的占祥上

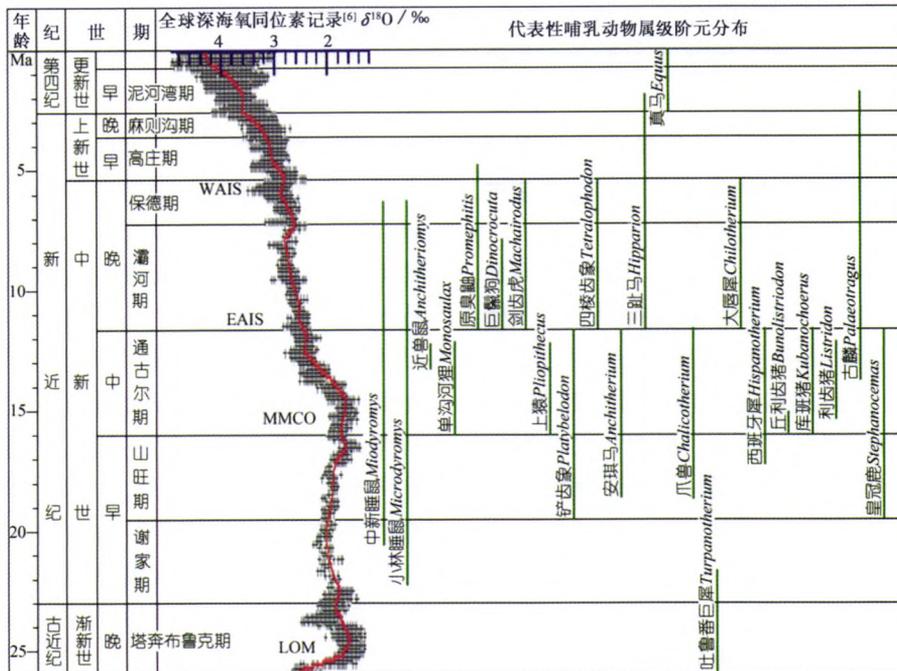


图 3 中国晚新生代代表性哺乳动物化石属的地层分布

Fig. 3 Stratigraphical distribution of the Late Cenozoic representative genera of mammalian fossils in China

WAIS: West Antarctic Ice-sheet; EAIS: East Antarctic Ice-sheet;
MMCO: Middle Miocene Climatic Optimum; LOM: Late Oligocene Warming

猿 (*Pliopithecus zhanxiangi*), 其时代为中中新世晚期, 相当于 MN7^[49,50]。上猿化石也发现于甘肃和政的老沟地点^[35] 和内蒙古四子王旗的大庙地点^[51], 其时代都为中中新世。

上猿的化石在欧洲发现于西班牙、法国、瑞士、德国、奥地利、斯洛伐克和波兰的中中新世地层中。上猿在法国、德国和瑞土地点的出现时间最早, 为 MN5, 在欧洲延续到晚中新世早期 (MN9)^[52-54]。

上猿的体型中等, 四肢细长, 其大小和形态与现代的长臂猿相似, 它们可能有亲缘关系, 尽管也许不是直接的祖裔关系^[55,56]。但也有的研究者认为上猿和长臂猿外形上的相似可能是趋同进化的结果, 因为它们具有相同的生活环境和生活方式^[57]。与无尾的长臂猿不同, 上猿有一条短尾, 只有部分的立体视觉。上猿修长的四肢和手脚有能力像长臂猿一样用其前臂在树上从一个枝杈向另一个枝杈悬吊移动, 因此主要营在树木上的生活。对其牙齿微磨痕的分析也显示上猿以柔软的树枝和嫩叶为食, 因此是典型的森林动物^[52,53]。

3.3 河狸 (beavers)

河狸是中中新世动物群中的特征性动物, 在中国北方的多个地点都有发现, 如内蒙古通古尔和新疆哈拉玛盖的通古尔近兽鼠 (*Anchitheriomys tungurensis*)^[40,58]、通古尔和青海柴达木的通古尔单沟河狸 (*Monosaulax tungurensis*)^[40,59] 和豪狸 (*Hystricops*)^[40] (图 2)。通古尔近兽鼠向西分布到哈萨克斯坦斋桑盆地的中中新世地层中, 因此这种河狸的分布从东亚一直延伸到中亚^[40]。

河狸的门齿锋利, 咬肌尤为发达。现代河狸 (*Castor fiber*) 用其门齿咬断大树来构筑堤坝, 一棵直径 40cm 的树只需 2 小时就能咬断。河狸的堤坝围成封闭的池塘, 它们就在池塘建造居住的巢穴。河狸喜食多种植物的嫩枝、树皮、树根, 也食水生植物, 杨、柳的幼嫩枝叶及树皮, 因此河狸生活在邻近丰富水体的森林环境中^[59,60]。

3.4 睡鼠 (dormice)

在中国北方不少中中新世哺乳动物群中都有睡鼠化石发现, 如内蒙古通古尔动物群中有小林睡鼠 (*Microdyromys*) 和中新睡鼠 (*Miodyromys*)^[40]、大庙动物群有小林睡鼠^[38]、宁夏丁家二沟动物群有原睡鼠 (*Prodyromys*)^[18]、甘肃泉头沟动物群有小林睡

鼠^[26]、新疆哈拉玛盖动物群有小林睡鼠和中新睡鼠^[20]。

根据臼齿的形态和构造, 睡鼠的臼齿被分成 6 组, 不同的臼齿类型指示不同的食性和生态位。小林睡鼠属于杂食的森林动物, 而中新睡鼠则是地栖的类型^[61]。睡鼠科的现生种类生活于阔叶林、针阔混交林和山地沟谷灌丛, 它们在夜间和晨昏活动, 有很强的攀缘能力, 善于在树枝上奔跑, 并在枝杈间营巢。其食物有果实、种子、嫩枝的皮和芽、草本植物的茎叶以及部分昆虫, 有时也吃小鸟的卵^[60]。从上述特点可以看出, 睡鼠是典型的森林动物。

3.5 安琪马 (*Anchitherium*)

在中国中中新世哺乳动物中, 安琪马发现于内蒙古通古尔地区^[62]、江苏南京方山^[63]、湖北房县地区^[32]、甘肃临夏盆地^[35]、新疆准噶尔盆地北缘^[64]等地。

动物的取食行为和运动方式是其系统演化和生存策略的表现, 马类颊齿和四肢的进化最能反映其对自然环境的适应过程, 因此它们的化石具有很好的环境指示标志意义。安琪马的体重据估计在 200kg 到 400kg 之间, 在临夏盆地发现的安琪马的体重为 255kg^[43]。其腿短, 每肢有三趾, 颊齿为低冠脊形齿, 结构简单, 无白垩质覆盖, 以嫩枝叶为食, 生活于森林或森林边缘 (图 2)。它们可能有相当大的领地范围, 食物具有季节性变化, 包括果实和树叶^[65,66]。

有蹄类的吻部构造和门齿形态与其食物的类型有关, 取食树叶的有蹄类吻部很窄, 门齿呈弧形排列, 从中央到外侧逐步减小, 而取食草本植物的有蹄类吻部更宽, 所有门齿的尺寸接近, 排列的弧形减弱, 甚至呈直线型^[67]。安琪马具有窄的吻部和尺寸依次减小并排列成弧形的门齿, 这是其以树叶为食的又一项证据。安琪马三趾型的脚部与原始的马类, 如始祖马一样存在趾垫, 相同于现代生活于森林中的貘类, 具有较低的运动速度; 而在进步的草原生活的马类, 如三趾马和真马中, 趾垫完全与蹄愈合在一起, 成为高速奔跑的重要条件^[65]。因此, 脚部结构是安琪马生活于森林环境的重要证据。

3.6 爪兽 (*Chalicotherium*)

中国北方中中新世的爪兽化石产自内蒙古通古尔地区的默尔根动物群 (*Chalicotherium breviorstris*)^[68]、河北磁县的九龙口动物群

(*Ch. hebeiense*)^[69], 甘肃临夏盆地的老沟动物群 (*Chalicotherium* sp.)^[3]。

爪兽是地史时期出现过的最为奇特的哺乳动物门类之一, 它们肢骨的末端不是有蹄动物常具有的蹄, 而是大型且中间开裂的爪。其特化的蹄骨并没有显示出挖掘的适应, 而是具有抓握的能力, 由于这一特殊的骨骼结构, 该类群被认为是典型的食叶动物^[70]。因而, 爪兽常被作为湿润森林环境的指示物种。

爪兽的牙齿低冠、颊齿列较短, 说明其适应于质软的食物。同位素的分析显示中新世的爪兽主要生活于森林中, 少数时间会到开阔地带饮水和进食^[71]。从牙尖形态和微痕分析来看, 这一时期的爪兽以果实或树叶为主要食物, 夹杂少量较为耐磨的树枝^[72, 73]。目前的各种证据都支持 *Chalicotherium* 等爪兽动物为典型的林栖者。

3.7 库班猪 (*Kubanochoerus*)

库班猪发现于宁夏同心 (*Kubanochoerus lantienensis*)^[74]、内蒙古通古尔 (*Kubanochoerus* sp.)^[19]、陕西蓝田寇家村 (*K. lantienensis* 和 *K. gigas*)^[75]、甘肃和政老沟 (*K. gigas*)^[3] 和兰州泉头沟 (*K. gigas*)^[76]、青海民和李二堡 (*K. minheensis*)^[22] 等地的中中新世地层中。库班猪的体型巨大, 其体重可以达到近 1000kg (*K. gigas*)^[43]。

库班猪最显著的特征就是在雄性的眼眶上方存在一个巨大的角, 这种角可能用于种内搏斗, 表明在库班猪中存在一种罕见的领地情况。库班猪的争斗模式可能类似于现代非洲的巨林猪 (*Hylochoerus*)。巨林猪在争斗时经常彼此猛烈地撞击前额, 并且拥有相应增厚的额骨。巨林猪生活于林间空地^[77], 库班猪的生态环境应与其接近。

3.8 利齿猪 (*listriodonts*)

包括发现于内蒙古通古尔^[19] 和甘肃和政^[3] 的蒙古利齿猪 (*Listriodon mongoliensis*)、湖北房县的粗壮利齿猪 (*L. robustus*)^[32] 以及发现于陕西蓝田^[75] 和宁夏同心^[78] 的中间丘利齿猪 (*Bunolistriodon intermedius*), 它们是一类体型中到大型的中中新世猪科动物, 如蒙古利齿猪的体重可达 163kg^[43]。

利齿猪以具脊形齿为特征, 它偏离了早中新世猪类普遍的杂食食性, 而倾向于一种完全食叶的食性。利齿猪分布于整个欧亚大陆, 从中国穿越希

腊-伊朗生物大区和中欧再到伊比利亚半岛。利齿猪最典型的性状就是其门齿的特殊形态, 这些门齿宽而短, 可能有利于切割植物, 非常适应摄食硬叶类常绿树林地的坚韧植被。根据对利齿猪牙齿微磨痕的分析显示, 其食物中含有非常少的矿物成分, 这意味着从非特化猪类的典型拱掘行为向特化为摄食坚韧植被的变化, 生存于温暖气候环境中的常绿阔叶林下层灌木丛内^[79]。

3.9 古麟 (*Palaeotragus*)

在中国北方内蒙古中部和甘肃临夏盆地的中中新世动物群中发现有通古尔古麟 (*Palaeotragus tungurensis*)^[3, 80], 它是长颈鹿科的动物, 其身材与现代的霍加狓 (*Okapia johnstoni*) 类似。现代的霍加狓分布在非洲中部刚果的雨林地带, 其舌头长 (约 30cm) 而灵活, 用于卷取树上的嫩叶, 因此霍加狓与现代的长颈鹿 (*Giraffa camelopardalis*) 一样, 都是典型的食叶者^[60]。

古麟虽然是长颈鹿科的原始类型, 但其体型仍然比其他偶蹄类更大, 站立时的肩高达到接近 2m 的程度, 使其很容易够得着高树的树叶。古麟的牙齿是低冠的, 颊齿的釉质与所有的长颈鹿一样, 褶皱出复杂的纹样, 以增强牙齿在咀嚼枝叶食物时的研磨能力; 其圆形的吻部也说明其具有食叶或食叶与食草的混合食性^[81]。

4 结论

发生于 17~15Ma 期间的增温事件形成了中中新世气候适宜期 (MMCO), 是中中新世全球气候变化达到的一个顶峰, 在地质记录反映的气候要素上表现为当时的南极冰量显著减少, 大洋底层水温度进一步上升。MMCO 是自然界的气候重大变化, 代表了地质历史时期与人类活动无关的一次强烈的增温事件。哺乳动物的起源演化和分布迁徙对气候变化有敏感的反应, 因此, 中中新世的哺乳动物群特征也记录下了 MMCO 事件的影响。东亚的哺乳动物群在晚新生代期间经历了多次重大的转换, 其中最显著的转换事件之一就是适应于森林环境的中中新世铲齿象动物群被后续的适应于草原环境的晚中新世三趾马动物群所取代。中国中中新世的哺乳动物群化石地点丰富, 其组成特点与 MMCO 的升温事件有清楚的吻合, 出现了大量喜暖喜湿的哺乳动物, 如铲齿象、上猿、河狸、睡鼠、安琪马、爪兽、库班猪、利齿猪和古麟等。中中新世的铲齿象动物

群反映了相当暖湿的气候环境,上猿等典型的森林动物在此背景下甚至分布到新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等中国的北方地区。尽管中国的中中新世哺乳动物群几乎都产自河湖相沉积中,尤其以河流相的砂岩为主,保存为化石的机会较少,但仍然有充分的材料显示出哺乳动物对温暖湿润环境的适应性状,清晰地描绘了哺乳动物在 MMCO 期间的森林型生活行为,体现出对气候变化的精确响应。

致谢 感谢邱占祥院士、邱铸鼎研究员、王晓鸣研究员、王世骥研究员、侯素宽博士、史勤勤博士等在野外工作和室内研究中的大力支持与帮助,感谢 Julie Selan 绘制复原图。

参考文献 (References)

- 1 邓涛. 临夏盆地晚新生代哺乳动物群演替与青藏高原隆升背景. 第四纪研究, 2004, **24**(4): 413~420
Deng Tao. Evolution of the Late Cenozoic mammalian faunas in the Linxia Basin and its background relevant to the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(4): 413~420
- 2 邓涛. 临夏盆地晚新生代哺乳动物的多样性变化及其对气候环境背景的响应. 第四纪研究, 2011, **31**(4): 577~588
Deng Tao. Diversity variations of the Late Cenozoic mammals in the Linxia Basin and their response to the climatic and environmental backgrounds. *Quaternary Sciences*, 2011, **31**(4): 577~588
- 3 Deng Tao, Qiu Zhanxiang, Wang Benyue *et al.* Late Cenozoic biostratigraphy of the Linxia Basin, Northwestern China. In: Wang Xiaoming, Flynn L J, Fortelius M eds. *Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology*. New York: Columbia University Press, 2013. 243~273
- 4 邓涛, 王晓鸣, 王世骥等. 中国新近纪哺乳动物群的演化与青藏高原隆升的关系. 地球科学进展, 2015, **30**(4): 407~415
Deng Tao, Wang Xiaoming, Wang Shiqi *et al.* Evolution of the Chinese Neogene mammalian faunas and its relationship to uplift of the Tibetan Plateau. *Advances in Earth Science*, 2015, **30**(4): 407~415
- 5 Hambrey M J, Ehrmann W U, Larsen B. Cenozoic glacial record of the Prydz Bay continental shelf, East Antarctica. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1991, **119**: 77~132
- 6 Zachos J, Pagani M, Sloan L *et al.* Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65Ma to present. *Science*, 2001, **292**: 686~693
- 7 Miller K G, Wright J D, Fairbanks R G. Unlocking the Ice House: Oligocene-Miocene oxygen isotopes, eustasy, and margin erosion. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 1991, **96**: 6829~6848
- 8 Wright J D, Miller K G, Fairbanks R G. Early and Middle Miocene stable isotopes: Implications for deepwater circulation and climate. *Paleoceanography*, 1992, **7**: 357~389
- 9 Vincent E, Killingley J S, Berger W H. Miocene oxygen and carbon isotope stratigraphy of the tropical Indian Ocean. *Geological Society of America Memoir*, 1985, **163**: 103~130
- 10 Flower B P, Kennett J P. Middle Miocene deepwater paleoceanography in the Southwest Pacific: Relations with East Antarctic Ice Sheet development. *Paleoceanography*, 1995, **10**(6): 1095~1112
- 11 马小林, 田军. 15Ma 以来海陆记录的轨道-构造尺度东亚季风的演化以及西北内陆的干旱化. 第四纪研究, 2015, **35**(6): 1320~1330
Ma Xiaolin, Tian Jun. East Asian monsoon evolution and aridification of Northwest China viewed from land and sea on the tectonic-orbital time scale since 15Ma. *Quaternary Sciences*, 2015, **35**(6): 1320~1330
- 12 何同, 刘连文, 陈旸等. 晚中新世-上新世黄土高原佳县红粘土剖面碳同位素记录与 C₄ 植被演化. 第四纪研究, 2015, **35**(4): 791~800
He Tong, Liu Lianwen, Chen Yang *et al.* Carbon isotope record of authigenic calcite from the northern Chinese Loess Plateau: Implications for C₄ vegetation evolution during Late Miocene-Pliocene. *Quaternary Sciences*, 2015, **35**(4): 791~800
- 13 Kennett J P. *Marine Geology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1982. 1~813
- 14 de Boer B, van de Wal R S W, Bintanja R *et al.* Cenozoic global ice-volume and temperature simulations with 1-Dice-sheet models forced by benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Annals of Glaciology*, 2010, **51**: 23~33
- 15 You Y, Huber M, Müller R D *et al.* Simulation of the Middle Miocene Climate Optimum. *Geophysical Research Letter*, 2009, **36**: doi: 10.1029/2008GL036571
- 16 Qiu Zhuding, Li Chuankui. Evolution of Chinese mammalian faunal regions and elevation of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. *Science in China (Series D)*, 2005, **48**(8): 1246~1258
- 17 Deng T, Hou S K, Wang H J. The Tunggurian Stage of the continental Miocene in China. *Acta Geologica Sinica*, 2007, **81**(5): 709~721
- 18 Qiu Z X, Qiu Z D. Chronological sequence and subdivision of Chinese Neogene mammalian faunas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1995, **116**: 41~70
- 19 Wang X M, Qiu Z D, Opdyke N D. Litho-, bio-, and magnetostratigraphy and paleoenvironment of Tunggur Formation (Middle Miocene) in central Inner Mongolia, China. *American Museum Novitates*, 2003, **3411**: 1~31
- 20 叶捷, 吴文裕, 孟津. 新疆乌伦古河地区第三纪哺乳动物群初析及地层年代确定. 地层学杂志, 2001, **25**(4): 283~287
Ye Jie, Wu Wenyu, Meng Jin. The age of Tertiary strata and mammal faunas in Ulungur River area of Xinjiang. *Journal of Stratigraphy*, 2001, **25**(4): 283~287
- 21 Wu Wenyu, Meng Jin, Ye Jie. The discovery of *Pliopithecus* from northern Junggar Basin, Xinjiang. *Vertebrata Palasiatica*, 2003, **41**(1): 76~86
- 22 邱铸鼎, 李传夔, 王士阶. 青海西宁盆地中新世哺乳动物. 古脊

- 椎动物学报, 1981, **19**(2): 156~173
Qiu Zhuding, Li Chuankuei, Wang Shijie. Miocene mammalian fossils from Xining Basin, Qinghai. *Vertebrata Palasiatica*, 1981, **19**(2): 156~173
- 23 李传夔, 邱铸鼎, 王士阶. 青海西宁盆地中新世地层及哺乳动物群性质. 古脊椎动物学报, 1981, **19**(4): 313~320
Li Chuankui, Qiu Zhuding, Wang Shijie. Discussion on Miocene stratigraphy and mammals from Xining Basin, Qinghai. *Vertebrata Palasiatica*, 1981, **19**(4): 313~320
- 24 邱铸鼎. 甘肃兰州盆地中中新世泉头沟动物群的食虫类、跳鼠类和兔形类. 古脊椎动物学报, 2000, **38**(4): 287~302
Qiu Zhuding. Insectivore, dipodoidean and lagomorph from the Middle Miocene Quantougou Fauna of Lanzhou, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, 2000, **38**(4): 287~302
- 25 邱铸鼎. 甘肃兰州盆地中中新世泉头沟动物群的仓鼠类. 古脊椎动物学报, 2001, **39**(3): 204~214
Qiu Zhuding. Cricetid rodents from the Middle Miocene Quantougou Fauna of Lanzhou, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, 2001, **39**(3): 204~214
- 26 邱铸鼎. 甘肃兰州盆地中中新世泉头沟动物群的睡鼠类和沙鼠类. 古脊椎动物学报, 2001, **39**(4): 297~305
Qiu Zhuding. Glirid and gerbillid rodents from the Middle Miocene Quantougou Fauna of Lanzhou, Gansu. *Vertebrata Palasiatica*, 2001, **39**(4): 297~305
- 27 Qiu Z D, Li C K. Rodents from the Chinese Neogene; Biogeographic relationships with Europe and North America. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2003, **279**: 586~602
- 28 曹忠祥, 杜恒俭, 赵其强等. 甘肃广河地区中中新世哺乳动物化石的发现及其地层学意义. 现代地质, 1990, **4**(2): 16~29
Cao Zhongxiang, Du Hengjian, Zhao Qiqiang *et al.* Discovery of the Middle Miocene fossil mammals in Guanghe district, Gansu and their stratigraphic significance. *Geoscience*, 1990, **4**(2): 16~29
- 29 关键. 宁夏同心和甘肃广河地区中新世地层及其哺乳动物化石. 北京自然博物馆研究报告, 1988, **42**: 1~21
Guan Jian. The Miocene strata and mammals from Tongxin, Ningxia and Guanghe, Gansu. *Memoirs of Beijing Natural History Museum*, 1988, **42**: 1~21
- 30 邱占祥, 邱铸鼎. 中国晚第三纪地方哺乳动物群的排序及其分期. 地层学杂志, 1990, **14**(4): 241~260
Qiu Zhanxiang, Qiu Zhuding. Neogene local mammalian faunas: Succession and ages. *Journal of Stratigraphy*, 1990, **14**(4): 241~260
- 31 陈冠芳, 吴文裕. 河北磁县九龙口中新世哺乳动物. 古脊椎动物学报, 1976, **14**(1): 6~15
Chen Guanfang, Wu Wenyu. Miocene mammalian fossils of Jiulongkou, Ci Xian district, Hebei. *Vertebrata Palasiatica*, 1976, **14**(1): 6~15
- 32 阎德发. 湖北房县几种中新世哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 1979, **17**(3): 189~199
Yan Defa. Einige der fossilen Miozänen Säugetiere der Kreis von Fangxian in der Provinz Hupei. *Vertebrata Palasiatica*, 1979, **17**(3): 189~199
- 33 Qiu Zhuding, Wang Xiaoming, Li Qiang. Faunal succession and biochronology of the Miocene through Pliocene in Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vertebrata Palasiatica*, 2006, **44**(2): 164~181
- 34 Wang X M, Qiu Z D, Li Q *et al.* Vertebrate paleontology, biostratigraphy, geochronology, and paleoenvironment of Qaidam Basin in northern Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, **254**(3/4): 363~385
- 35 Deng T. New material of *Hispanotherium matritense* (Rhinocerotidae, Perissodactyla) from Laogou of Hezheng County (Gansu, China), with special reference to the Chinese Middle Miocene elasmotheres. *Geobios*, 2003, **36**(2): 141~150
- 36 Deng T. A new species of the rhinoceros *Alicornops* from the Middle Miocene of the Linxia Basin, Gansu, China. *Palaeontology*, 2004, **47**(6): 1427~1439
- 37 刘东生, 丁梦麟, 高福清. 西安蓝田间新生代地层剖面. 地质科学, 1960, (4): 199~208
Liu Tungsheng, Ding Menglin, Gao Fuqing. The Cenozoic stratigraphical sections between Xi'an and Lantian. *Chinese Journal of Geology*, 1960, (4): 199~208
- 38 张兆群, 王李花, Kaakinen A 等. 内蒙古大庙中新世哺乳动物群序列与环境变化. 第四纪研究, 2011, **31**(4): 608~613
Zhang Zhaoqun, Wang Lihua, Kaakinen A *et al.* Miocene mammalian faunal succession from Damiao, central Nei Mongol and the environmental changes. *Quaternary Sciences*, 2011, **31**(4): 608~613
- 39 董 为. 云南开远小龙潭动物群的性质及时代的进一步探讨. 古脊椎动物学报, 1987, **25**(2): 116~123
Dong Wei. Miocene mammalian fauna of Xiaolongtan, Kaiyuan, Yunnan Province. *Vertebrata Palasiatica*, **25**(2): 116~123
- 40 邱铸鼎. 内蒙古通古尔中新世小哺乳动物群. 北京: 科学出版社, 1996. 1~216
Qiu Zhuding. Middle Miocene Micromammalian Fauna from Tunggur, Nei Mongol. Beijing: Science Press, 1996. 1~216
- 41 童永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 中国新生代哺乳动物区系演变. 古脊椎动物学报, 1996, **34**(3): 215~227
Tong Yongsheng, Zheng Shaohua, Qiu Zhuding. Evolution of Cenozoic mammalian faunal regions of China. *Vertebrata Palasiatica*, **34**(3): 215~227
- 42 叶 捷, 吴文裕, 倪喜军等. 新疆准噶尔盆地北缘夺勒布勒津剖面的地层学及环境意义. 中国科学: 地球科学, 2012, **42**(10): 1523~1532
Ye Jie, Wu Wenyu, Ni Xijun *et al.* The Duolebulejin section of northern Junggar Basin and its stratigraphic and environmental implication. *Science China: Earth Sciences*, 2012, **42**(10): 1523~1532
- 43 Deng Tao. Late Cenozoic environmental change in the Linxia Basin (Gansu, China) as indicated by mammalian cenograms. *Vertebrata Palasiatica*, 2009, **47**(4): 282~298
- 44 Legendre S. Les communautés de mammifères du Paléogène (Eocène supérieur et Oligocène) d'Europe occidentale: Structures, milieux et évolution. *Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen*,

- Reihe A, *Geologie und Paläontologie*, 1989, **16**: 1~110
- 45 Borissiak A. On a new direction in the adaptive radiation of mastodonts. *Palaeobiologica*, 1929, **2**: 19~33
- 46 Lambert W D. The feeding habits of the shovel-tusked gomphotheres; Evidence from tusk wear patterns. *Paleobiology*, 1992, **18**(2): 132~147
- 47 Semperebon G, Deng T, Solounias N *et al.* Dietary reconstruction of Chinese shovel-tusked gomphotheres (Mammalia: Proboscidea): Evidence from dental microwear of molar teeth and tusks. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 2011, **31** (Supplement): 192
- 48 Wang Shiqi, He Wen, Chen Shanqin. The gomphotheriid mammal *Platybelodon* from the Middle Miocene of Linxia Basin, Gansu, China. *Acta Palaeontologica Polonica*, 2013, **58**(2): 221~240
- 49 邱占祥, 关键. 宁夏同心发现的一颗上猿牙齿. 人类学学报, 1986, **5**(3): 201~207
Qiu Zhanxiang, Guan Jian. A lower molar of *Pliopithecus* from Tongxin, Ningxia Hui Autonomous Region. *Acta Anthropologica Sinica*, 1986, **5**(3): 201~207
- 50 Harrison T, Delson E, Guan J. A new species of *Pliopithecus* from the Middle Miocene of China and its implications for early catarrhine zoogeography. *Journal of Human Evolution*, 1991, **21**: 329~361
- 51 Zhang Z Q, Harrison T. A new Middle Miocene pliopithecoid from Inner Mongolia, China. *Journal of Human Evolution*, 2008, **54**: 444~447
- 52 Andrews P, Harrison T, Delson E *et al.* Distribution and biochronology of European and Southwest Asian Miocene catarrhines. In: Bernor R L, Fahlbusch V, Mittmann H-W eds. *The Evolution of Western Eurasian Neogene Mammal Faunas*. New York: Columbia University Press, 1996. 168~207
- 53 Köhler M, Moyà-Solà S, Andrews P. Order Primates. In: Rössner G E, Heissig K eds. *The Miocene Land Mammals of Europe*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 1999. 91~104
- 54 Harrison T, van der Made J, Ribot F. A new Middle Miocene pliopithecoid from Sant Quirze, Northern Spain. *Journal of Human Evolution*, 2002, **42**: 371~377
- 55 Simons E G, Fleagle J G. The history of extinct gibbon-like primates. *Gibbon and Siamang*, 1973, **2**: 121~148
- 56 Meldrum J, Pan Y R. Manual proximal phalanx of *Laccopithecus robustus* from the latest Miocene site of Lufeng. *Journal of Human Evolution*, 1988, **17**: 719~732
- 57 Harrison T. The phylogenetic relationships of the early catarrhine primates: A review of the current evidence. *Journal of Human Evolution*, 1987, **16**: 41~80
- 58 吴文裕. 准噶尔盆地北缘中新世啮齿类. 古脊椎动物学报, 1988, **26**(4): 250~264
Wu Wenyu. The first discovery of Middle Miocene rodents from the northern Junggar Basin, China. *Vertebrata Palasiatica*, 1988, **26** (4): 250~264
- 59 李强, 王晓鸣. 青海柴达木盆地新近纪河狸化石及其古环境意义. 第四纪研究, 2015, **35**(3): 584~595
Li Qiang, Wang Xiaoming. Discovery of Neogene beavers (Castoridae, Mammalia) in central Qaidam Basin, and their paleoenvironmental significance. *Quaternary Sciences*, 2015, **35** (3): 584~595
- 60 Nowak R M, Paradiso J L. *Walker's Mammals of the World*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1982. 1~1362
- 61 van der Meulen A J, de Bruijn H. The mammals from the Lower Miocene of Aliveri (Island of Evia, Greece), Part 2: The Gliridae. *Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Proceedings B*, 1982, **85**(4): 485~524
- 62 Colbert E H. A new anchitheriine horse from the Tung Gur Formation of Mongolia. *American Museum Novitates*, 1939, **1019**: 1~9
- 63 周明镇, 胡长康. 南京方山中新世哺乳动物化石的发现. 古生物学报, 1956, **4**(4): 525~533
Chow Minchen, Hu Changkang. The occurrence of *Anchitherium aurelianense* at Fangshan, Nanking. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1956, **4**(4): 525~533
- 64 叶捷, 吴文裕, 孟津. 准噶尔盆地北缘哈拉玛盖组中的 *Anchitherium*. 古脊椎动物学报, 2005, **43**(2): 100~109
Ye Jie, Wu Wenyu, Meng Jin. *Anchitherium* from the Middle Miocene Halamagai Formation of northern Junggar Basin, Xinjiang. *Vertebrata Palasiatica*, 2005, **43**(2): 100~109
- 65 McFadden B J. *Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and Evolution of the Family Equidae*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 1~369
- 66 侯素宽, 邓涛, 何文等. 甘肃和内蒙古新发现的中华马化石. 古脊椎动物学报, 2007, **45**(3): 213~231
Hou Sukuan, Deng Tao, He Wen *et al.* New materials of *Sinohippus* from Gansu and Nei Mongol, China. *Vertebrata Palasiatica*, 2007, **45**(3): 213~231
- 67 Janis C M, Ehrhardt D. Correlation of relative muzzle width and relative incisor width with dietary preference in ungulates. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 1988, **92**: 267~284
- 68 Colbert E H. Chalicotheres from Mongolia and China in the American Museum. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1934, **67**: 353~387
- 69 陈少坤, 刘艳. 河北磁县九龙口中中新世 "*Macrotherium cf. M. brevirostris*" 的分类地位. 古脊椎动物学报, 2013, **51**(3): 205~210
Chen Shaokun, Liu Yan. The taxonomic status of "*Macrotherium cf. M. brevirostris*" from the Middle Miocene of Jiulongkou, Cixian County, Hebei Province. *Vertebrata Palasiatica*, 2013, **51**(3): 205~210
- 70 Coombs M C. Large mammalian clawed herbivores: A comparative study. *Transactions of the American Philosophical Society*, 1983, **73**(7): 1~96
- 71 Nelson S V. Isotopic reconstructions of habitat changes surrounding the extinction of *Sivapithecus*, a Miocene hominoid, in the Siwalik Group of Pakistan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, **243**: 204~222
- 72 Schulz E, Fahlke J M. The diet of *Metaschizotherium bavaricum* (Chalicotheriidae, Mammalia) from the MN 5 of Sandelzhausen (Germany) implied by the mesowear method. *Paläontologische*

- Zeitschrift*, 2009, **83**(1): 175~181
- 73 Semperebon G M, Sise P J, Coombs M C. Potential bark and fruit browsing as revealed by stereomicroscopy analysis of the peculiar clawed herbivores known as chalicotheres (Perissodactyla, Chalicotherioidea). *Journal of Mammalian Evolution*, 2011, **18**(1): 33~55
- 74 邱占祥, 叶捷, 霍福臣. 记宁夏同心发现的库班猪头骨化石. 古脊椎动物学报, 1988, **26**(1): 1~19
Qiu Zhanxiang, Ye Jie, Huo Fuchen. Description of a *Kubanochoerus* skull from Tongxin, Ningxia. *Vertebrata Palasiatica*, 1988, **26**(1): 1~19
- 75 刘东生, 李玉清. 记陕西蓝田等地点的利齿猪化石. 古脊椎动物学报, 1963, **7**(4): 291~304
Liu Tungsheng, Lee Yuching. New species of *Listriodon* from Miocene of Lantien, Shensi, China. *Vertebrata Palasiatica*, 1963, **7**(4): 291~304
- 76 Pearson H S. Chinese fossil Suidae. *Palaeontologia Sinica*, Series C, 1928, **5**: 1~75
- 77 Hou Soukuan, Deng Tao, He Wen *et al.* Foraging behavior of *Chleuastochoerus* (Suidae, Artiodactyla): A case study of skull and mandible morpho-functional analysis. *Science China: Earth Sciences*, 2014, **57**(5): 988~998
- 78 叶捷, 邱占祥, 张国典. 记宁夏同心中中新世的 *Bunolistriodon intermedius*. 古脊椎动物学报, 1992, **30**(2): 135~145
Ye Jie, Qiu Zhanxiang, Zhang Guodian. *Bunolistriodon intermedius* (Suidae, Artiodactyla) from Tongxin, Ningxia. *Vertebrata Palasiatica*, 1992, **30**(2): 135~145
- 79 Agustí J, Antón M. Mammoths, Sabertooths, and Hominids: 65 Million Years of Mammalian Evolution in Europe. New York: Columbia University Press, 2002. 1~313
- 80 Colbert E H. *Palaeotragus* in the Tung Gur Formation of Mongolia. *American Museum Novitates*, 1936, **690**: 1~7
- 81 Solounias N. Family Giraffidae. In: Prothero D R, Foss S E eds. *The Evolution of Artiodactyls*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007. 257~277

RECORDS AND CHARACTERISTICS OF THE MAMMALIAN FAUNAS OF NORTHERN CHINA IN THE MIDDLE MIOCENE CLIMATIC OPTIMUM

Deng Tao^{①②③}

(^①Key Laboratory of Vertebrate Evolution and Human Origins, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; ^②CAS Center for Excellence in Tibetan Plateau Earth Sciences, Beijing 100101;

^③Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

The origin and evolution of mammals must be controlled and constrained by their living environments, so the characteristics and variations of their fossil species and assemblages are one of important signals reflecting the climatic and environmental changes. The East Asian mammalian faunas underwent several significant turnovers during the Late Cenozoic. There was a dramatic turnover event of mammalian faunas in the transition between the Middle and Late Miocene, namely, the forest-adapted *Platybelodon* fauna was replaced by the grassland-adapted *Hipparion* fauna. The global climatic change peaked in the Middle Miocene with the marked reducing of Antarctic continental ice-sheets and the further rising of ocean bottom temperatures, so that the Middle Miocene Climatic Optimum (MMCO) was formed from 17Ma to 15Ma, representing a major warming event irrelative to human activities in the geological time. The Middle Miocene mammalian faunas in China had sensitive responses to the MMCO warming event, so a large number of warm- and wet-adapted mammals appeared, such as *Platybelodon*, *Pliopithecus*, beavers, dormice, *Anchitherium*, *Chalicotherium*, *Kubanochoerus*, listriodonts, and *Palaeotragus*. The Middle Miocene *Platybelodon* fauna reflected relatively warm and wet climate and environment, and *Pliopithecus* and other typical forest animals dispersed even into Xinjiang, Gansu, Ningxia, and Inner Mongolia of North China under this background. Although almost all of the Chinese Middle Miocene mammalian faunas are preserved in fluvial and lacustrine deposits, especially fluvial sandstones, lacking dense fossils concentrations, there are sufficient materials to show the adaptive characteristics of mammals to warm and wet environments, thus there are enough records to display the behavior and response of mammals during the MMCO.

Key words mammal, forest, Middle Miocene Climatic Optimum (MMCO), climatic optimum, China