

# 中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化的响应

邓 涛

研究员,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所,北京 100044

关键词 哺乳动物 新近纪 气候环境 青藏高原 对比研究

新近纪是全球环境发生重大变化的时期,而青藏高原的形成与演变是亚洲乃至全球气候环境变迁的重要驱动力。认清新近纪哺乳动物从青藏高原到蒙古高原的分布规律和生态特征,是了解青藏高原隆升对我国地貌和气候的改造及其对全球气候格局的影响的重要手段。哺乳动物对气候环境的变化非常敏感,而中国在新近纪哺乳动物方面有着得天独厚的优势。临夏盆地和蒙古高原中部分别处于青藏高原隆升的堆积区和影响区,有广泛发育的能够反映隆升和古气候的沉积物,地层出露完好,保存有非常丰富的哺乳动物化石。在两个地区进行对比研究的结果对于理解全球新近纪一系列重大环境和生态事件,特别是青藏高原隆升以及亚洲季风形成和生物交流等问题具有重要科学意义。

新近纪是新生代的第二个纪,它代表的时间段从距今 2 300 万年到 260 万年前,在它之前是古近纪,在它之后是第四纪。新近纪是现代地理格局、气候体系、生态环境形成的关键转折时期,也是哺乳动物极度辐射并向现代化演变的重要发展时期。

## 1 前沿动态

生物具有指示气候环境的功能。气候的冷暖、干湿,地形和地势的变化,必然会在生物的分布中得到反映。哺乳动物对气候环境的变化非常敏感,因此其演化历史能够反证新生代晚期,特别是新近纪时期气候环境的重大变化<sup>[1-6]</sup>。中国有着世界上得天独厚的新近纪哺乳动物化石资源优势,具有利用化石恢复生态环境的时空变化、推断青藏高原隆升的时间和幅度的巨大潜能<sup>[7,8]</sup>。最近的研究结果又显示,中国东、西部新近纪的哺乳动物群以及保存化石的沉积物之间存在明显的差异,这些差异可能正是青藏高原隆升的反映<sup>[5]</sup>。哺乳动物化石釉质以及沉积物的稳定碳同位素分析表明,中国西北在晚中新世没有出现与全球一致的 C<sub>4</sub> 植物扩散,而东部地区却已显示 C<sub>4</sub> 植物增加的趋势<sup>[9,10]</sup>。对青藏高原西南部吉隆盆地化石釉质同位素的分析,还指示在晚中新世出现了与南亚西瓦立克一致的 C<sub>4</sub> 环境,说明该地其时的海拔高度应该在 3 000 m 以下(图 1,图 1~图 5 见彩插二)<sup>[11]</sup>。这些迹象表明自晚中新世开始,中国的地貌和气候条件在东西和南北方向上都已发生强烈的分异。

对哺乳动物化石的研究表明,我国新生代各地质时期,特别是自中新世以来,不同地区哺乳动物群的组成及特征具有明显的区域性差异,哺乳动物的分布与自然气候息息相关(图 2)。在新生代,我国既经历了全球性气候的变化,也经受了喜马拉雅运动,特别是青藏高原隆升的影响。所有这些变化,必然会对我国哺乳动物的分布和地理区系的演变产生影响,这些演变也会记录在埋藏的化石之中。因此,对哺乳动物化石的研究是进行环境恢复和古动物区系再造的重要手段(图 3)。国内外学者从不同的角度,用不同的手段对青藏高原的隆升及其环境效应做过不少研究,并获得了很重要的资料和认识。在古生物学方面,通过哺乳动物的演化能够推测古环境的变化,进而从哺乳动物化石的角度探索我国新生代环境的变迁和青藏高原隆升的历史。

青藏高原是世界上最年轻和最高的高原,其高度占据对流层的 1/3,动力和热力效应巨大,影响着亚洲大气环流的变化(图 4)。近年来的研究表明,全球环境演化历程中许多重大事件的根源集中在亚洲地区,其中青藏高原的隆升被认为是全球晚新生代气候变化的重要因素,对季风环境的形成演化和西风环流的行为有着重要的影响。青藏高原的隆升及环境效应是当今国际地学界的热门研究课题,它的形成和演变对亚洲乃至全球气候和环境的变迁留下了深刻的印记<sup>[12-14]</sup>。然而,青藏高原是在距今 14 Ma 的中中新世就已经达到或接近目前的高度<sup>[15,16]</sup>,还是在 3.6 Ma 前后的上新世才强烈隆升<sup>[13,17]</sup>? 这些牵涉到青藏高原隆升历史和过程的诸多问题还未解决,仍然存在激烈的争论,尚需寻找更多的

证据。新近纪是全球环境发生重大变化的一个时期,特别是在青藏高原隆升的驱动下,东亚古季风逐渐加强,亚洲内陆逐渐变冷、变干,中国北方出现了富含哺乳动物化石的风成新近纪晚期红粘土堆积<sup>[18-20]</sup>。新生代哺乳动物群的演替特征及环境变化,显然指示了青藏高原自渐新世以来的逐渐隆升。然而,中国新近纪环境与生物协同演化的过程还远未了解清楚。

中国有许多富含新近纪哺乳动物化石的盆地和地区,如青藏高原西北角的甘肃临夏盆地(图5)和蒙古高原中部的内蒙古地区,通过对这些盆地和地区新生代堆积物和所含哺乳动物化石的研究,结合古地磁和氧碳同位素的测定,将能够更准确地探索青藏高原在晚新生代的隆升历史及其对气候环境变化的影响,重建新近纪时期东亚的古环境变化过程,探讨其与青藏高原隆升的关系。对青藏高原隆升历史的全面探索有赖于完整的沉积和化石记录。临夏盆地和内蒙古中部地区分别处于青藏高原的直接沉积区和间接影响区,新近系广泛发育、露头好,并都发现有丰富的哺乳动物化石。将临夏盆地和蒙古高原中部这两个已有良好工作基础、时代相同、生物和地层上各有特色的区域进行深入持续的对比性研究,相互补充优化,就能在认识新近纪时期陆生哺乳动物多样性及其演变过程、探索青藏高原的隆升时序及其气候环境效应方面取得突破性的进展。

临夏盆地地处青藏高原与黄土高原过渡区,堆积了来自青藏高原隆升的剥蚀产物,其地质发展历史和生态环境演变与青藏高原的隆升有更紧密的关系。这里分布着从渐新世至第四纪的巨厚沉积物,近年来的持续工作揭示它是欧亚大陆甚至世界上晚新生代哺乳动物化石最丰富的一个地点<sup>[6]</sup>,是研究青藏高原隆升及其气候环境效应的最好地点之一<sup>[4,13]</sup>。临夏盆地晚新生代哺乳动物化石、陆相生物地层和气候环境演变方面的研究已经取得重要进展。对晚渐新世巨犀动物群、中中新世铲齿象动物群、晚中新世三趾马动物群和早更新世真马动物群进行了详细研究,描述众多属种并建立其系统发育关系(图6,见彩插三)。根据在临夏盆地发现的大量哺乳动物化石,对地层的划分和时代的确定提出了新的看法,已理清沉积序列,并在充分的哺乳动物化石证据的基础上重新厘定了各个岩石地层单位所对应的地质时代。以古地磁测年为手段,初步建立了临夏盆地晚新生代的地质年表。

通过对不同动物群所代表的生态特征的分析,恢复了临夏盆地晚新生代以来的气候环境演变过程。临夏盆地在晚渐新世以温暖湿润的森林环境为主,间杂有一些开阔地带;中中新世的森林更加茂密,水体更加丰富;

晚中新世演变为炎热半干旱的稀树草原环境,季节性变化加强;早更新世气候寒冷而干燥,并伴有显著的海拔升高。在垂向上,临夏盆地的各个晚新生代动物群不仅组成截然不同,含化石的沉积物也明显有别,造成动物群生态差异的原因正是青藏高原的隆升。研究结果表明,临夏盆地含晚新生代哺乳动物群化石地层的岩性也与中国中、东部有差异。以三趾马动物群为例,在保德地区是典型的所谓“三趾马红土”,是气候比较湿润时期的产物,而在临夏盆地则是一种很接近黄土的灰橘色土状堆积,它所反映的气候条件更为干旱。这些迹象表明自晚中新世开始,临夏盆地的古地貌和古气候条件已经和黄河中下游地区有所区别<sup>[4]</sup>。青藏高原在晚渐新世的隆升幅度还不足以阻挡大型哺乳动物在高原南北的交流,但到中中新世已成为明显的障碍,至晚中新世对动物迁徙的阻碍作用更加突出,而临夏盆地在早更新世已达到相当的高度,产生了一个高原或高山的动物群。

对临夏盆地晚新生代哺乳动物化石中不同种类食草动物的牙齿釉质样品所作的稳定碳同位素分析表明,<sup>13</sup>C值落在-8.4‰~-12.4‰的范围内,显示了以C<sub>3</sub>植物占绝对优势的植被环境。不同动物之间<sup>13</sup>C值的差异表明这个盆地存在显著的生态环境分异,包括有林地和草地的混交以及独立的草原和森林地带。C<sub>4</sub>植物250万年之前在临夏盆地的分布相当稀少,与青藏高原南侧在距今700~500万年时期C<sub>4</sub>植物的快速扩散形成鲜明的对比,这是由不同地区之间雨量和大气条件的差异引起的,说明东亚季风的强度在新近纪时期还比较弱。另一方面,临夏盆地的<sup>18</sup>O在距今600万年之后存在明显的负偏移,是全球变冷趋势在这一地区的反映<sup>[10]</sup>。中国新近纪晚期的三趾马动物群化石非常丰富。根据动物群组合特点及有蹄类高冠齿的普遍存在,中国以及欧亚大陆其他地点的三趾马动物群都曾被认为生活于稀树草原环境中。分析中国三趾马动物群化石釉质碳同位素组成的结果显示:中国西部在晚中新世和早上新世是以C<sub>3</sub>草本植物为特征的温带草原,并非以C<sub>4</sub>植物占优势的稀树草原。另一方面,C<sub>4</sub>植物直到晚中新世最晚期才开始在山西东部地区出现,其比例在上新世时得到进一步的提高,但仍未占据统治地位。青藏高原在中中新世开始的明显上升造成了高原北部的降温和干旱,抑制了C<sub>4</sub>植物在中国北方,尤其是西北部的扩散。随着东亚夏季风的加强,C<sub>4</sub>植物才逐渐从东向西扩散,造成了上新世时期华北地区在东西方向上的显著环境分异。

蒙古高原虽远离青藏高原,但受到青藏高原隆升产

生的气候效应的影响。研究结果表明,新近纪时蒙古高原出现了大量适应半干旱气候下开阔草原环境的哺乳动物,其演化历史也诠释了青藏高原的隆升过程。这是因为随着青藏高原的隆升,蒙古高原也被相对抬高,使季风在这个地区的影响变得很弱。更为重要的是,内蒙古中部是我国新近纪哺乳动物化石研究历史最长、含哺乳动物化石层位最多的经典地区(图7,见彩插三)。这个地区目前所发现的化石涵盖了华北和西北地区新近纪哺乳动物群的大部分属种,能较为真实地反映古生态环境特征,并为建立亚洲新近纪陆相生物年代框架奠定了重要基础<sup>[21-23]</sup>。另外,这一地区的部分地层还夹有数层玄武岩,是中国少有可以进行同位素测年的新近纪地点(图8,见彩插二)。这样有利的条件将能够建立起精确的年代地层框架,从而为中国新近纪的哺乳动物化石和气候环境背景研究提供一个对比的标准或参照体系。

植物是古气候环境的另一个显著指标,因此加强古植物的研究至关重要,可以作为判断陆地生态环境的重要辅助手段。中国晚新生代的陆相沉积中植物大化石比较缺乏,但孢粉化石丰富,可以反馈气候环境演变的有效信息,提取的孢粉类型还可以部分指示  $C_4/C_3$  植物的分布。晚中新世以来,全球的植被发生了从  $C_3$  植物向  $C_4$  植物的演替,但  $C_4$  植物在世界各地的扩散并不同时。晚新生代青藏高原的隆升对东亚地区的哺乳动物演化具有直接而深远的影响<sup>[5]</sup>,随之而来的全球性  $C_3$  植被向  $C_4$  植被的变迁显然与气候变化有直接的关系,而食草哺乳动物也从低冠齿向高冠齿演化以不断适应草中硅质矿物的增高<sup>[24]</sup>。

近年来古哺乳动物的研究在青藏高原周缘地带都有长足的进展。以美国和法国古生物学家为主的研究人员在印度及巴基斯坦的西瓦立克地区连续几十年的努力,已经对南亚次大陆哺乳动物的演化顺序有了较详细的了解。而在青藏高原腹地和北缘,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所过去20多年间在西藏、青海、甘肃、新疆、内蒙古等地都建立起一系列晚新生代哺乳动物化石剖面。在青藏高原周边国家以及我国的云南等地也都不同程度上建立了哺乳动物演化序列,将各个动物群面貌进行对比,就能识别出青藏高原及其邻区新近纪以来的分化。

晚新生代青藏高原的隆升对东亚地区哺乳动物的演化具有直接而深远的影响,而对化石的研究是恢复环境变化历史和认识青藏高原隆升过程的重要手段。我国北方新生代各时期的哺乳动物化石地点和发现的材料都比较多,是研究哺乳动物演化及环境背景不可多得的地区。由于哺乳动物演化速度快,对环境变化反映灵

敏,其组合和分布能够指示环境的变迁。因此,通过对哺乳动物时空演化的研究去探索古环境的变迁无疑是很有潜力的课题。

## 2 研究内容

围绕中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化的响应这个主题,研究内容将主要包括以下几个方面:

(1) 新近纪青藏高原和蒙古高原代表性地点的哺乳动物群性质研究。对青藏高原东北缘临夏盆地的研究显示,其新近纪的动物群包含许多不同于中国东部的哺乳动物新属种,而蒙古高原中部地区则可以作为中国经典新近纪哺乳动物群的代表,显示这两个区域在动物生态类型及其环境背景上有显著的差别。今后还将对这两个工作地区新近纪动物群的性质进行深入研究,比较哺乳动物群之间的异同,并与大的构造背景相结合,探讨动物群分异和演替的机制,进而精确地判断它们所代表的环境特征。

(2) 哺乳动物化石与古地磁测定相结合的年代地层框架建立。甘肃临夏盆地和内蒙古中部地区的晚新生代地层非常发育,沉积较连续,出露良好,产状平缓,地层构造简单,富含哺乳动物化石,可以建立欧亚大陆最完好的晚新生代陆相地层的标准剖面,并进行严格的国际对比。哺乳动物化石能够确定相对的地质时代,而作为新近纪远距离不同区域的生态特征和环境背景的精对比显然需要严格同时的时间框架。两个对比研究工作地区有进行古地磁分析的适宜沉积物,并且在内蒙古中部地区夹有玄武岩。因此,有条件建立精确的年代地层学框架并用于生态环境特征的等时对比。

(3) 哺乳动物釉质和沉积物稳定碳、氧同位素的生态环境意义研究。植被特征是环境演变的有效指示,尤其在新近纪青藏高原隆升和亚洲干旱化形成的重要时期具有更关键的意义。 $C_4$  植物的出现时间及其与  $C_3$  植物的消长关系是需要回答的关键问题,而  $C_4$  植物扩散或抑制的机制显然与高原隆升影响大气环流和碳循环有关。根据对食草哺乳动物化石和古土壤中稳定碳、氧同位素的分析可以较为准确地反映出植被演变的过程,此前的研究已经得到一些重要的线索,但在新近纪同一时期从青藏高原到蒙古高原的连续演变序列尚不清楚,下一步的研究结果将提供详细的信息。

(4) 哺乳动物、植被及沉积物的性质对青藏高原隆升时序和幅度的确定。青藏高原的隆升已被证实是东亚甚至全球晚新生代气候环境演变的重要驱动力,但关

于其隆升的过程尚有许多未知的问题,并存在极大的争议。生物与环境密切相关,甘肃临夏盆地和内蒙古中部地区哺乳动物的分布、迁徙和生态特征可以直接反映高原的隆升幅度。孢粉化石能够对地质历史时期的植被情况作出较为精确的判断,而沉积物的变化也是环境演变的直接体现。通过对工作地区新近纪哺乳动物演化、植被特征、沉积物性质和稳定同位素水平的综合研究,在精确的古地磁测年的基础上将对青藏高原的隆升时序和幅度作出可信的判断。

综上所述,将全面系统地对临夏盆地和蒙古高原中部的中新近纪哺乳动物群进行对比研究,根据大量新材料对中国中新近纪哺乳动物的各个门类进行修订和更新,使中国北方的哺乳动物群在系统分类研究上达到当前世界一流水平。在实测剖面的基础上理顺研究地区中新近纪的哺乳动物化石层位,建立其精确生物地层序列,在严格同时的条件下对中新近纪哺乳动物群进行组成、演化和生态特征的恢复与对比。认清青藏高原和蒙古高原中新近纪哺乳动物群的异同,以及两个对比性研究地区各自的哺乳动物群在时间序列上的演变规律。通过对哺乳动物化石粘质与沉积物,特别是古土壤中碳、氧稳定同位素的分析,阐明从青藏高原到蒙古高原  $C_3/C_4$  植被的分布和演化规律。结合孢粉资料指示的植被信息,判断中国北方温度和湿度等气候要素的变化趋势。在对哺乳动物化石和沉积地层综合研究的基础上,探索青藏高原隆升的准确时序和幅度及其对东亚气候环境变迁的影响。

要达到拟定的研究目标,需要解决的关键问题包括:根据研究地区的哺乳动物化石新材料对前人的系统分类工作进行全面的修订和更新;理顺临夏盆地晚新生代的地质剖面,搞清其哺乳动物群转换、沉积间断和环境演变的精确时序;建立蒙古高原中部中新近纪哺乳动物群的组合框架,并与古地磁和同位素年代测定紧密结合;解决中新近纪哺乳动物群在土状堆积中的埋藏学难题,并根据化石粘质和古土壤的稳定同位素组成以及孢粉分析结果重建陆地生态系统;最终阐明青藏高原和蒙古高原中新近纪哺乳动物群的演替对东亚气候环境变迁的响应以及青藏高原隆升背景的耦合关系。

### 3 实施方案

近年来在年代地层学、生物地层学以及古环境分析等各方面都有很多新方法及新技术被采用。如古地磁对绝对年龄的精确测定、筛洗法对小哺乳动物化石的大量收集、哺乳动物牙齿粘质碳同位素对古植被组成的可

靠推测等等。将这些方法应用于青藏高原和蒙古高原的哺乳动物化石和环境背景研究必定会带来令人瞩目的成果。

(1) 化石材料的野外采集和形态特征的深入研究。对临夏盆地和蒙古高原中部的哺乳动物以及其他化石作进一步的采集,重视完善化石材料的积累。增加剖面上化石的数量与种类,寻找新的化石层位,尽可能地逼近地层中化石层纵向“连续”的要求,掌握哺乳动物群的演替过程。在此基础上,深入研究这些化石类群的性质。两个研究地区化石丰富、个体数量巨大,地层出露良好、产状平缓、易于追索,为全面系统地研究其哺乳动物群提供了广阔的前景。中国中新近纪的不少哺乳动物群都产于土状堆积中,其埋藏过程和条件一直令人迷惑不解,研究地区的哺乳动物化石和地层条件都显示是埋藏学研究的理想地区。沉积地层中植被信息的提取是恢复过去地质历史时期气候环境演变的重要手段之一,孢粉植物群能提供很好的气候变化记录,因此,将对孢粉化石的采集和分析给予充分的重视。

(2) 哺乳动物群序列与古地磁年代学框架的建立。理顺临夏盆地和蒙古高原中部中新近纪含哺乳动物的化石层位,对每个地点的具体层位都需要进行细致的野外工作,以搞清不同动物群的组成和确切的产出层位。进行动物群的对比研究,建立和完善相关的哺乳动物分期,探讨动物群的演替并藉此寻找地史事件。哺乳动物化石和古地磁是新生代年代地层学的最佳互补搭档,两个主要研究地区都已发现多个有哺乳动物化石控制年代的剖面,岩性以细粒碎屑岩为主,上下关系清楚,是进行古地磁工作的理想地区。根据野外地层观察、追索和对比,利用化石的研究结果与古地磁、孢粉、地球化学样品的测试结果相结合,不断充实和完善代表性地层剖面。最终将在哺乳动物化石和古地磁综合研究的基础上建立精确的生物年代框架。

(3) 研究地区中新近纪主要植被类型的恢复。植被类型是对古气候环境的重要指示,因此将加强古植物的研究。中国晚新生代的陆相沉积中植物大化石比较缺乏,但孢粉化石常见,可以反馈气候环境演变的有效信息。在重视孢粉分析的同时还将努力寻找植物大化石。两个研究地区的草食性哺乳类化石丰富,为利用牙齿粘质的碳同位素组成恢复晚新生代以来的陆地生态系统演变过程提供了可能。草食性哺乳动物的粘质以固定比例富集取食的  $C_3$  或  $C_4$  植物的稳定碳同位素组成,其分析结果将确定  $C_3$  和  $C_4$  植被的分布特征及气候环境意义,从而为恢复东亚晚新生代以来的陆地生态系统演变过程提供证据。

(4) 新近纪气候环境背景的重建。古哺乳动物的生态类型是恢复地史时期气候环境变迁的重要基础, 临夏盆地和蒙古高原中部地区丰富的化石材料有利于这一方法的运用。对已有的大量材料和新采集的化石做进一步深入的研究, 与世界上其他地区新近纪动物群以及相关化石的现生代表进行全面的生态特征对比分析。在深入研究有关哺乳动物类群的系统关系和地理分布的基础上, 进一步认识新近纪青藏高原和蒙古高原哺乳动物群的性质, 重建主要研究地区在新近纪的气候环境背景及其演变规律。最终通过生物与环境的耦合关系, 探讨对东亚环境及全球变化有重大影响的青藏高原隆升的准确时序和幅度。

研究哺乳动物化石来揭示新近纪的环境演变, 其突出的优点是: 哺乳动物在新生代演化迅速, 是陆相地层对比的一个先决条件, 同时与古地磁手段相结合, 能够建立精确的年代地层框架; 哺乳动物对环境变化敏感, 具有短期内占据多种环境的适应能力, 因此其演化过程将反证环境背景的形成机制; 哺乳动物的牙齿化石易于保存, 其形态最能显示动物的食性和行为, 所以哺乳动物化石记录较其他类群更丰富且信息量大; 哺乳类牙齿的釉质是保存各种同位素的良好物质载体, 对间接推测古植被环境及水温都具有很大的帮助。

此项研究的创新点在于: 根据生物形态的各个方面进行“全证据”支序分析, 以获得主要哺乳动物类群的最佳系统发育关系, 完成系统分类的全面修订和更新; 对青藏高原和蒙古高原新近纪哺乳动物群进行组成、演化和生态特征的恢复与对比, 结合孢粉、沉积构造和古土壤证据, 阐明中国北方新近纪温度和湿度等气候要素的变化趋势; 将古地磁和同位素测年手段与哺乳动物在新生代的快速演化特点相结合, 建立完整的东亚新近纪生物年代框架; 通过哺乳动物化石与多学科的综合研究相结合, 更好地探索青藏高原隆升的过程和影响。

## 4 工作展望

自 1978 年起中国科学院古脊椎动物与古人类研究所专门组建了新近纪研究组, 对中国经典地区的晚新生代哺乳动物群各主要门类的化石都进行了整理、修订和再研究, 为系统全面地对我国的哺乳动物群进行世界水平的深入研究, 在人员、对比标本、文献等各方面都打下了坚实的基础。

近年来青藏高原的隆升时间和机制及其对现代和古气候的影响是地球科学的一大研究热点。高原隆升的时间与幅度与东亚季风有直接关联, 并很可能对全球的气

候都具有深远的影响。研究人员近年来连续在青藏高原和蒙古高原工作, 对这些地区的哺乳动物化石进行长期采集与研究, 积累了丰富的经验。不论是野外考察或室内研究都与欧美多方学者密切合作, 并得到国内外的资助。关于中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化响应的研究工作从方向、内容和方法等方面都具有创新意义并切实可行。与此同时, 国内外的同行们也在中国新生代的陆相沉积、年代测定和环境演变等方面做了大量的工作, 为开展此项研究提供了重要的参考。

中国新近纪哺乳动物群的重要性和丰富度在整个欧亚大陆极具代表性。作为此项研究的对比基干, 近年来在临夏盆地应用哺乳动物化石、古地磁、沉积环境、粒度分析及稳定同位素等不同技术和方法对生物地层及生态环境展开多学科的系统研究。目前已经在临夏盆地建立起一个比较连续的晚新生代剖面, 并成为这个时期我国一个高精度、多哺乳动物门类、具有世界先进水平的经典剖面。研究的结果表明, 青藏高原北缘的哺乳动物自渐新世至中新世逐渐与高原南缘印巴次大陆的西瓦立克动物群疏远, 这无疑与高原的隆升有直接关系。在此基础上, 正是将青藏高原与蒙古高原的哺乳动物化石进行对比研究, 并据此更详细地认识高原隆升过程的一个最好时机, 为更全面地了解东亚环境演变创造了极为有利的条件。

经过一系列的深入研究, 将有可能在探索中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化的响应问题上取得如下几个方面的进展: 认清临夏盆地和蒙古高原中部地区的哺乳动物群组成、时代及其演替关系, 确立新近纪哺乳动物群自青藏高原到蒙古高原的分布规律, 重建不同区域各个动物群的生态环境特征, 探索哺乳动物群演替对新近纪重大气候环境变化的响应。重建各个哺乳动物群的进化序列和转换过程, 构筑哺乳动物化石与古地磁测年紧密结合的新近纪年代地层学框架。

确定  $C_4$  植物在中国不同区域的出现时间及其与  $C_3$  植物的消长关系, 与孢粉资料相结合, 恢复晚新生代以来青藏高原东北缘和蒙古高原中部的植被演变过程, 进而判别温度和湿度等气候要素的水平。根据哺乳动物群的生态特征推断不同地理区域内的海拔高度, 恢复青藏高原的隆升时序和幅度, 阐述青藏高原隆升的气候环境效应及高原邻区的不同气候特征, 重建亚洲干旱化和季风气候的形成过程。

(2008 年 10 月 7 日收到)

[1] QIU Z X, WANG B Y, QIU Z D, et al. Land mammal geochronology and magnetostratigraphy of mid-Tertiary deposits in the Lanzhou Basin, Gansu Province, China[J]. *Ecolg Geol Helv*, 2001, 94: 373-385.

- [2] QIU Z X. Dispersals of Neogene carnivorans between Asia and North America[J]. *Bull Am Mus Nat Hist*, 2003, 279: 18-31.
- [3] WANG X M, WANG B Y, QIU Z X, et al. Danghe area (western Gansu, China) biostratigraphy and implications in depositional history and tectonics of northern Tibetan Plateau[J]. *EPSL*, 2003, 208: 253-269.
- [4] 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[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(4): 413-420.
- [5] QIU Z D, LI C K. Evolution of Chinese mammalian faunal regions and elevation of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[J]. *Sci China (D)*, 2005, 48: 1246-1258.
- [6] DENG T. Paleocological comparison between Late Miocene localities of China and Greece based on *Hipparion* faunas[J]. *Geodiversitas*, 2006, 28: 499-516.
- [7] QIU Z X, QIU Z D. Chronological sequence and subdivision of Chinese Neogene mammalian faunas [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1995, 116: 41-70.
- [8] QIU Z X, WU W Y, QIU Z D. Miocene mammal faunal sequence of China: paleozoogeography and Eurasian relationship[M]// RÖSSNER G E, HEISSIG K, eds. *The Miocene Land Mammals of Europe*. Munich: Verlag Dr Friedrich Pfeil, 1999: 443-456.
- [9] AN Z S, HUANG Y S, LIU W G, et al. Multiple expansions of C<sub>4</sub> plant biomass in East Asia since 7 Ma coupled with strengthened monsoon circulation [J]. *Geology*, 2005, 33: 705-708.
- [10] WANG Y, DENG T. A 25-Ma record of paleodiet and environmental change from carbon and oxygen isotopes in mammalian tooth enamel and paleosols from the NE margin of the Tibetan Plateau[J]. *EPSL*, 2005, 236: 322-338.
- [11] WANG Y, DENG T, BIASATTI D. Ancient diets indicate significant uplift of southern Tibet after ca. 7 Ma[J]. *Geology*, 2006, 34: 309-312.
- [12] RUDDIMAN W F, KUTZBACH J E. Forcing of Late Cenozoic northern Hemisphere climate by plateau uplift in southern Asia and the America west [J]. *J Geophys Res*, 1989, 94: 18409-18427.
- [13] LI J J, et al. Uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and Global Change[M]. Lanzhou: Lanzhou Univ Press, 1995, 1-207.
- [14] GUO Z T, RUDDIMAN W F, HAO Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China[J]. *Nature*, 2002, 416: 159-163.
- [15] MOLNAR P, ENGLAND P, MARTINOD J. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon [J]. *Rev Geophys*, 1993, 31: 357-396.
- [16] ROWLEY D B, CURRIE B S. Palaeo-altimetry of the late Eocene to Miocene Lunpola Basin, central Tibet[J]. *Nature*, 2006, 439: 677-681.
- [17] FANG X M, YAN M D, VAN DER VOO R, et al. Late Cenozoic deformation and uplift of the NE Tibetan Plateau: evidence from high-resolution magnetostratigraphy of the Guide Basin, Qinghai Province, China [J]. *GSA Bull*, 2005, 117: 1208-1225.
- [18] DING Z L, XIONG S F, SUN J M, et al. Pedostratigraphy and paleomagnetism of a ~7.0 Ma eolian loess-red clay sequence at Lingtai, Loess Plateau, north-central China and the implications for paleomonsoon evolution [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 1999, 152: 49-66.
- [19] AN Z S, KUTZBACH J E, PRELL W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan Plateau since Late Miocene times[J]. *Nature*, 2001, 411: 62-66.
- [20] DUPONT-NIVET G, KRIJGSMAN W, LANGEREIS C G, et al. Tibetan Plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition[J]. *Nature*, 2007, 445: 635-638.
- [21] 邱铸鼎. 内蒙古通古尔中新世小哺乳动物群[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-216.
- [22] QIU Z D. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia, China: *jerboas*[J]. *Senckenbergiana Lethaea*, 2003, 83: 135-147.
- [23] 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 [J]. *Am Mus Novitates*, 2003, 3411: 1-31.
- [24] DENG T. New discovery of *Iranotherium morgani* (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of the Linxia Basin in Gansu, China and its sexual dimorphism[J]. *J Vert Paleont*, 2005, 25: 442-450.

## Response of Mammalian Evolution to the Neogene Climatic and Environmental Changes in China

DENG Tao

Professor, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044, China

**Abstract** The Neogene was the period when the global environment had significant variations, and the formation and evolution of the Tibetan Plateau were the important driving force for the changes of the Asian and even global environment. To recognize the distribution patterns and ecological characteristics of the Neogene mammals from the Tibetan to Mongolian plateaus is an effective method to know the alteration of the Tibetan Plateau's uplift to the terrain and climate in China as well as the influence to the global climatic model. Mammals are very sensitive for climatic and environmental changes, and there are advantaged Neogene mammalian fossils in China. The Linxia Basin and central Mongolian Plateau are situated respectively in the sedimentary and affected regions of the Tibetan Plateau's uplift, and there are well-exposed deposits to reflect the uplift and paleoclimate and very abundant mammalian fossils in the two regions. The results of comparative studies in the Linxia Basin and central Mongolian Plateau will have scientific significance to understand a series of important global environmental and ecological events during the Neogene, especially the uplift of the Tibetan Plateau, the formation of the Asian monsoon, and biotic dispersal and migration.

**Key words** mammal, neogene, climate and environment, Tibetan Plateau, comparative study

(责任编辑:方守狮)





图1 在青藏高原吉隆盆地采集化石

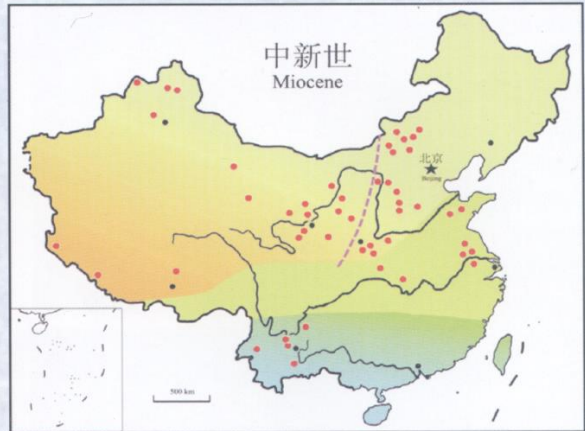


图2 中新世时期中国的哺乳动物地理格局



图3 中国新近纪哺乳动物群的生态复原



图4 从空中俯瞰青藏高原的皑皑雪峰



图5 临夏盆地晚新生代的红色沉积图



图10 蒙古高原阿日善高毕的新近系地层剖面

参见本期“中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化的响应”一文





图 8 临夏盆地极其丰富的哺乳动物化石



图 9 蒙古高原乌兰花的三趾马动物群原地埋藏

参见本期“中国新近纪哺乳动物演化对重大气候环境变化的响应”一文