



论文

内蒙古二连地区古近纪早期地层序列、哺乳动物演化及其环境响应

王元青^{①*}, 孟津^②, Christopher K. BEARD^③, 李茜^①, 倪喜军^①, Daniel L. GEBO^④,
白滨^①, 金迅^①, 李萍^①

① 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 脊椎动物进化系统学重点实验室, 北京 100044;

② American Museum of Natural History, New York 10024, USA;

③ Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh 15213, USA;

④ Northern Illinois University, DeKalb, 60115, USA

* E-mail: wangyuanqing@ivpp.ac.cn

收稿日期: 2010-06-11; 接受日期: 2010-09-02

国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2006CB806400)、国家自然科学基金重点项目(批准号: 40532010)、科技部基础性专项(编号: 2006FY120300-15)和中国科学院化石发掘与修理专项基金以及美国科学基金项目(编号: EAR-0120727, BCS-0309800)资助

摘要 内蒙古二连盆地呼和勃尔和地区古近系包括 3 个组: 脑木根组、阿山头组和伊尔丁曼哈组, 从中可以划分出 12 个含哺乳动物化石的层位, 其中脑木根组 4 个, 阿山头组 6 个, 伊尔丁曼哈组 2 个. 研究表明, 美国中亚考察团在这一地区划分的“呼尔井组”实际上是伊尔丁曼哈组, 而“伊尔丁曼哈组”则为阿山头组. 根据最新的古地磁资料, 对相关组的时代和哺乳动物分期的延续时间进行了重新厘定, 指出脑木根组上部包含了早始新世地层, 阿山头组绝大部分属于早始新世, 而不是过去认为的中始新世. 将格沙头期、伯姆巴期和阿山头期分别与国际地质年表的坦尼特期、伊普里斯期早期和伊普里斯期中晚期至鲁帝特期最早期相对比, 同时认为它们分别与北美古近纪提法尼期晚期至克拉克福期、华沙溪期早期和华沙溪期中晚期及勃里吉期大部相当. 古近纪早期, 哺乳动物群演替以新科出现和属种更替为主, 与这一时期大多数情况下气候的逐渐变化相对应; 而众多目一级现代哺乳动物类群在始新世之初的突然出现则很可能与发生在古新世-始新世之交的高温事件有关.

关键词

二连盆地
古近纪
哺乳动物
演化
生物年代学
环境响应

蒙古高原是古近纪古脊椎动物学和地层学研究的重要地区之一. 自 20 世纪 20 年代美国自然历史博物馆中亚考察团(以下简称中亚考察团)在这一地区开展考察以来, 发现了为数众多的哺乳动物化石地点和大量化石标本^[1]. 大多数亚洲古近纪哺乳动物分期都是根据这一地区发现的哺乳动物群提出的^[1,2].

这些哺乳动物分期构成了亚洲哺乳动物年代学的框架, 成为东亚地区古近纪相关研究的标尺, 被广泛运用于区域及洲际陆相古近系对比以及相关(如古近纪哺乳动物群演替和古动物地理学等)的讨论中^[3-7]. 然而, 由于缺乏对亚洲古近纪陆相哺乳动物分期的年代界定, 从而不仅影响了洲际生物地层对

引用格式: Wang Y Q, Meng J, Beard C K, et al. Early Paleogene stratigraphic sequences, mammalian evolution and its response to environmental changes in Erlian Basin, Nei Mongol, China. *Sci China Earth Sci*, 2010, doi: 10.1007/s11430-010-4095-8

比, 而且妨碍了对主要哺乳动物类群演化历史的认识.

中国内蒙古中部地区, 特别是二连盆地, 古近纪地层相当发育^[8], 哺乳动物化石也极为丰富^[1,9], 是许多古近纪地层单位的命名地点, 亚洲陆相哺乳动物分期中有不少是建立在这一地区哺乳动物群的基础之上的^[2,7,10,11], 因此二连盆地在亚洲古近纪哺乳动物生物地层学、年代学研究中有着举足轻重的地位. 由于陆相地层横向变化较大, 而且几乎所有命名地点的地层出露都不完整, 以往的工作中有关岩石地层划分对比存在诸多错误, 进而造成了动物群组成的混淆. 虽然过去已经认识到这一问题的存在, 并做了一定的努力, 但并未真正解决这一问题^[12-15].

近年来, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所考察队在内蒙古二连盆地东部进行了大量的野外工作, 澄清了一系列长期存在的岩石地层学和生物地层学方面的问题^[16], 完善了二连盆地东部生物地层序列, 并结合磁性地层学研究^[17], 建立了哺乳动物年代框架.

1 地质背景

二连盆地处于内蒙古自治区中部, 紧邻中蒙边界(图 1), 盆地内古近纪地层发育. 在其东部出露的主要为古近系下部, 包括 3 个组: 脑木根组、阿山头组和伊尔丁曼哈组^[14,16,18].

脑木根组的命名地点位于四子王旗脑木更苏木的海流图(哈留特), 为砂岩、泥质砂岩和砂质泥岩为主的地层^[18,19]. 阿山头组和伊尔丁曼哈组的命名地点都在二连浩特市东南约 30 km 的伊尔丁曼哈陡坎. 剖面上出露的地层最初全部被归入伊尔丁曼哈组^[20]. 1924 年, 剖面下部的红色泥岩和粉砂岩被单独划分出来, 并依 11 km 以外的阿山头敖包将其暂时称为阿山头组^[21]. 后来, 明确将下部的红色泥岩和粉砂岩称为阿山头组^[22]. 这样, 伊尔丁曼哈组就只限于剖面上部的白色砂质泥岩、砂岩和砾岩.

脑木根组的时代过去一直认为是晚古新世^[10,19,23,24]. 在巴彦乌兰地区, 曾报道巴彦乌兰组的时代为早始新世, 但所列的哺乳动物化石则都是古

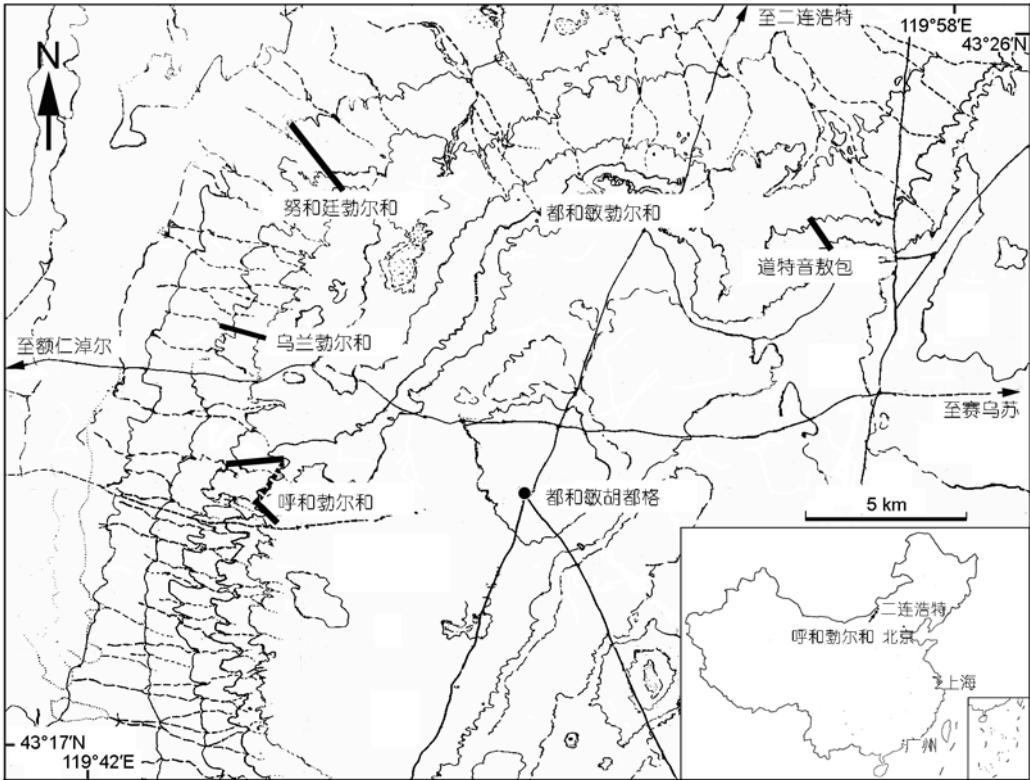


图 1 内蒙古二连盆地呼和浩特地区及剖面位置图

据文献[16]修改

新世的典型属种^[18]. 后来的研究认为, 巴彦乌兰组很可能是脑木根组的相变, 时代应该是古新世^[25]. 阿山头组的时代被认为是中始新世^[10]或早-中始新世^[7,11], 伊尔丁曼哈组则属于中始新世^[7,9~11]. 直到在乌兰勃尔和脑木根组上部发现 *Gomphos elkema* 等蒙古早始新世典型化石之后, 才确定了二连盆地早始新世早期地层的存在^[16].

在现称的呼和勃尔和地区(大致相当于中亚考察团马捷茨营地及周边地区), 我们实测了4条剖面, 分别位于道特音敖包、努和廷勃尔和、乌兰勃尔和以及呼和勃尔和(图 1). 根据努和廷勃尔和与呼和勃尔和两条实测剖面, 可以综合成一条完整剖面, 代表了这一地区出露的全部古近纪地层(图 2). 综合剖面的厚度为 82.5 m, 两个假整合面将其划分为3个部分. 根据层位关系、与命名剖面的岩性对比, 并结合哺乳动物化石, 认为自下而上依次是: 脑木根组、阿山头组和伊尔丁曼哈组^[16], 厚度分别是 37.5、35.2 和 9.8 m. 综合剖面的岩性描述如下:

伊尔丁曼哈组

18) 基部为灰白色及黄绿色细砂岩夹泥砾, 向上是砂质砾岩夹少量泥岩, 并含有分选、磨圆较差的黑色岩屑. 化石丰富, 包括 *Lophialetes expeditus* 和 *Protitan* sp. 在平台顶部或戈壁滩等相同层位, 是砂岩和分选与磨圆均较好的石英组成的砾岩层. 4.2 m

17) 灰绿色泥质砂岩和粗砂岩, 包含白色结核和来自下伏地层的红褐色泥岩团块; 薄层黄绿色砂质泥岩和砂岩, 夹有砾岩和红色砂质泥岩透镜体. 与下伏地层接触面极不平整. 化石丰富, 包括 *Tarkops mckennai*, *Propterodon morrisi*, *Harpagolestes leei*, *Andrewsarchus mongoliensis*, *Lophialetes expeditus*, *Deperetella* sp., *Gomphos shevyreva*, *Tamquammys* sp., *Asiomys* sp., *Cricetidae*, *Yuomyidae* 和 *Lagomorpha*.

5.6 m

-----假整合(上部沉积间断) -----

阿山头组

16) 杂色(黄绿色及红棕色) 泥质砂岩夹粉砂岩及砂质泥岩. 产 *Schlosseria magister*. 4.9 m

15) 灰绿色及杂色粉砂岩和细砂岩, 层理发育, 底部与下伏地层接触面局部不平整. 含有来自下伏地层的泥岩团块和奇蹄类的化石. 产 *Schlosseria magister*, *Gobiatherium mirificum*, *Fostercooperia*

confluens, *Tamquammys* sp. 和 *Yuomyidae*. 7.7 m

14) 浅红棕色泥岩或粉砂岩, 表面有黑色锈斑. 一些层位砂质较多, 最上部约 30 cm 为红褐色泥岩. 产 *Schlosseria magister* 及 *Teleolophus* sp. 2.1 m

13) 浅肉红色或红棕色泥质粉砂岩夹砂岩透镜体及少量泥岩, 层理发育, 化石丰富. 产 *Schlosseria magister*, *Tamquammys* sp. 和 *Yuomyidae*. 8.1 m

12) 红色砂质泥岩夹少量粉砂岩, 有黑斑及锰质结核. *Schlosseria magister* 非常丰富, 同时产有 *Sinosinopa sinensis*, *Archetypomys erlianensis*, *Erlianomys combinatus*, *Tamquammys wilsoni*, *Advenimus burkei*, *Apternodontidae* 和 *Lagomorpha* 等化石. 2.7 m

11) 杂色粉砂岩, 夹有细砂岩和泥岩. 有骨头碎片和硅化木, 多来自下伏的灰绿色地层. 4.4 m

10) 河流相砂岩、砾岩夹细岩屑和交错层理发育的砂、泥岩, 砾石成分为泥质及长英质. 含 *Archetypomys erlianensis*, *Erlianomys combinatus*, *Advenimus burkei*, *Tamquammys wilsoni*, *Paramyidae*, *Apternodontidae*, *Dawsonolagus antiquus*, *Gobiatherium mirificum*, *Metacoryphodon luminis*, *Litolophus gobiensis*, *Schlosseria magister*, *Teleolophus* sp., *Hyrachyus* sp. 以及 *Mesonyx üqbulakensis* 化石.

5.3 m

-----假整合(下部沉积间断) -----

脑木根组

9) 红棕色及黄绿色砂质泥岩, 底部含有灰白色钙质结核, 上部地层多为杂色(红褐色及灰绿色)泥岩且含较多砂质成分, 表面风化呈棕褐色. 产有 *Gomphos elkema*, *Baataromomys ulaanus*, *Anatolostylops zhaii*, *Pataecops parvus*, *Lophialetidae* gen. et sp. nov., *Ctenodactyloidea* gen. et sp. nov. 及 *Lagomorpha* 等化石. 该层底部往上约 5 m 处还产有 *Uintatherium* sp.

7 m

8) 下部肉红色及黄绿色泥质砂岩, 上部以红棕色泥岩为主, 含有黑色锈斑及锰质结核. 6.2 m

7) 含有 0.5~1 mm 白色小结核的肉红色及土褐色疏松泥质粉砂岩或粉砂质泥岩; 向上岩性为呈牛肉色的致密胶结泥岩, 包含钙质和砂质团块. 在小山包顶部有一厚度 5~10 cm、含有白色结核的不连续透镜体. 产 *Lambdopsalis bulla* 及 *Pastoralodon lacustris* 等化石. 8.6 m

6) 红棕色及黄绿色泥质砂岩及粗砂岩. 2.7 m

5) 下部为层理发育的肉红色砂质泥岩, 含有粒径 2~20 mm, 以小颗粒为主的结核. 向上过渡为细粒含砾砂岩夹泥岩. 2.8 m

4) 灰白色和绿色细砂岩, 局部含粉砂岩及泥岩, 水平层理发育. 下部地层含有粒径范围 5~40 mm 的白色钙质结核, 许多部位含有大量硅化木碎片. 地层向上过渡为杂色(棕灰色、绿色) 粉砂质泥岩, 层理清晰. 1.7 m

3) 杂色(土黄色、浅红色) 砂质泥岩, 含有结构疏松的泥岩团块. 可见硅化木碎片, 哺乳动物化石丰富, 有 *Lambdopsalis bulla*, *Prionessus lucifer*, *Bayanulanius tenuis*, *Tribosphenomys minutus*, *Eomylus borealis*, *Prodinoceras xinjiangensis* 及 *Palaeostylops iturus* 等. 3.4 m

2) 浅红棕色疏松泥质砂岩, 含有小结核, 层理不发育, 夹有黄绿色砂岩透镜体和细层理发育的粉砂岩, 风化表面呈咖啡色. 2.9 m

1) 浅灰绿色疏松砂质粘土, 含有细岩屑, 上覆有 5~10 cm 厚的坚硬砂岩层. 2.2 m

下伏地层掩盖

总体来说, 脑木根组以红色泥岩、粉砂质泥岩以及砂岩夹层为主. 阿山头组底部为含砾粗砂岩, 往上主要是泥质粉砂岩. 伊尔丁曼哈组主要由含砾粗砂岩构成. 经过在呼和浩特地区的详细工作, 并对比中亚考察团的野外记录, 可以肯定中亚考察团的马捷茨营地附近重要化石地点的位置. 马捷茨营地位于现称为都和敏勃尔和的陡坎边缘的某个地点; 马捷茨营地以西 9.6 km (6 miles west of Camp Margetts) 地点应该是现在的努和廷勃尔和; 马捷茨营地西南 16 km (10 miles west of Camp Margetts) 地点应该是呼和勃尔和; 马捷茨营地西南 235° 11 km (7 miles at 235° of Camp Margetts) 和西 11 km (7 miles west of Camp Margetts) 分别是乌兰勃尔和和一个被暂时称为“乌兰勃尔和北”的地点. 与相关组命名剖面的岩性

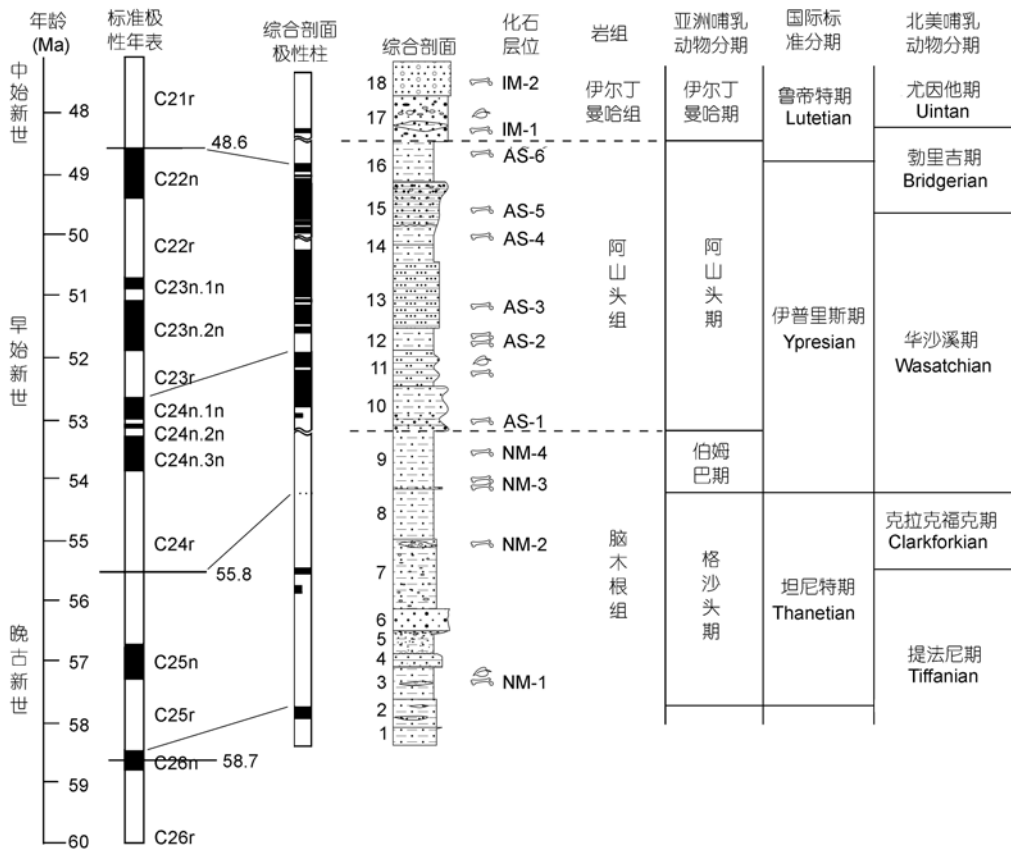


图2 二连盆地东部古近纪地层、磁性柱、哺乳动物层位及其国际对比
古地磁资料引自文献[17], 地层剖面修改自文献[16]

对比(结合生物化石),显示中亚考察团在马捷茨营地及周边地区的所谓“呼尔井组”实际上是伊尔丁曼哈组,而“伊尔丁曼哈组”则为阿山头组.这些看法与前人的基本一致,但需要说明的是,以前的文献中对于有关地点和层位存在误读.马捷茨营地曾被认为位于现今的呼和浩特和一带,而其西南及以西的各个地点则被认为位于巴彦乌兰一带^[14],后来的研究者指出了这一错误,并认为马捷茨营地位于都和敏勃尔和陡坎边缘^[15].在最近的工作中,乌兰勃尔和也曾被误以为是呼和浩特和,剖面顶部灰白色含砾中粗粒砂岩也被误认为是伊尔丁曼哈组^[26,27].后来,因将1930年Granger野外记录中马捷茨营地以西11 km地点的剖面图误读为西南235° 11 km者,从而认为美国中亚考察团马捷茨营地及附近地区(即呼和浩特和地区)的“‘伊尔丁曼哈组’属于阿山头组和/或脑木根组”^[16].实际上,通过分析对比我们最近野外工作中所获得的资料与美国中亚考察团的野外记录^[28],可以认为这一地区中亚考察团原认为属于“伊尔丁曼哈组”的化石中并没有来自脑木根组的化石.

2 哺乳动物化石产出层位

二连盆地下古近系的一些层位中哺乳动物化石比较丰富.过去,标本采集都是以组为单位进行的,同一个组中产出的化石都被归入到一个动物群中^[1,9,13,14].同时,由于曾经存在的地层划分对比的错误,相关动物群的组成上出现了混乱的状况.在野外工作中,我们在仔细划分地层的基础上,系统地分层采集了哺乳动物化石,在呼和浩特和地区共划分出12个含哺乳动物化石的层位,其中脑木根组4个,阿山头组6个,伊尔丁曼哈组2个.按照产出层位,自下而上分别编号为NM-1至NM-4, AS-1至AS-6以及IM-1和IM-2(图2).各个层位已经发表或鉴定出的哺乳动物化石有:

IM-2: 综合剖面第18层,产奇蹄类 *Lophialetes expeditus*, *Protitan* sp.

IM-1: 综合剖面第17层,产灵长类 *Tarkops mckennai*^[29],肉齿类 *Propterodon morrisi*,中兽类 *Harpagolestes leei*, *Andrewsarchus mongoliensis*,奇蹄类 *Lophialetes expeditus*, *Deperetella* sp.,啮形类 *Gomphos shevyrevae*^[30],啮齿类 *Tamquammys* sp., *Asiomys* sp., *Cricetidae*, *Yuomyidae*,兔形类.

AS-6: 综合剖面第16层,产奇蹄类 *Schlosseria magister*.

AS-5: 综合剖面第15层,产奇蹄类 *Schlosseria magister*, *Fostercooperia confluens*,恐角类 *Gobiattherium mirificum*,啮齿类 *Tamquammys* sp., *Yuomyidae*.

AS-4: 综合剖面第14层,产奇蹄类 *Schlosseria magister*, *Teleolophus* sp.

AS-3: 综合剖面第13层,产奇蹄类 *Schlosseria magister*,啮齿类 *Tamquammys* sp., *Yuomyidae*.

AS-2: 综合剖面第12层,产奇蹄类 *Schlosseria magister*^[31],兔形类 *Dawsonolagus antiquus*,啮齿类 *Archetypomys erlianensis*^[32], *Erlianomys combinatus*^[33], *Tamquammys wilsoni*, *Advenimus burkei*,食虫类 *Sinosinopa sinensis*, *Apternodontidae*.

AS-1: 综合剖面第10层,产啮齿类 *Archetypomys erlianensis*^[32], *Erlianomys combinatus*^[33], *Tamquammys wilsoni*, *Advenimus burkei*, *Paramyidae*,兔形类 *Dawsonolagus antiquus*^[34],食虫类 *Apternodontidae*,奇蹄类 *Litolophus gobiensis*^[35], *Schlosseria magister*, *Teleolophus* sp., *Hyrachyus* sp.,恐角类 *Gobiattherium mirificum*^[36],全齿类 *Metacoryphodon luminis*,中兽类 *Mesonyx üqbulakensis*.

NM-4: 综合剖面第9层上部,产啮形类 *Gomphos elkema*,恐角类 *Uintatherium* sp.^[36],奇蹄类 *Pataecops parvus*,啮齿类 *Ctenodactyloidea* indet.

NM-3: 综合剖面第9层底部,产啮形类 *Gomphos elkema*^[27],灵长类 *Baataromomys ulaanus*^[37],北柱兽类 *Anatolostylops zhaiti*^[38],中兽类 *Dissacus* sp.,奇蹄类 *Pataecops parvus*,脊齿獾科一新种^[39],梳趾鼠类一新种,一种待定兔形目.

NM-2: 综合剖面第7层顶部,产全齿类 *Pastoralodon lacustris*,多瘤齿兽类 *Lambdopsalis bulla*.

NM-1: 综合剖面第3层,产多瘤齿兽类 *Lambdopsalis bulla*, *Prionessus lucifer*,北柱兽类 *Palaeostylops iturus*,恐角兽类 *Prodinoceras xinjiangensis*,食虫类 *Bayanulanius tenuis*,假古狨类 *Pseudictops lophiodon*,啮形类 *Tribosphenomys minutes*.

除了前面列出的哺乳动物化石之外,美国中亚考察团发现于呼和浩特和地区并认为产于“伊尔丁曼哈组”的化石应该产于阿山头组.层位应该属于阿山头组的化石还包括:中兽类 *Mongolonyx dolichogna-*

thus^[40], 肉齿类 *Sarkastodon mongoliensis*^[41], 奇蹄类 *Metatelmatherium cristatum*^[42] 和 *Helaletes fissus*^[43] 等。而原认为产于“呼尔井组”的化石则多数产于伊尔丁曼哈组。

此外, 在巴彦乌兰地区以及苏崩地区发现的脑木根组化石^[25,44~47], 其层位应该与NM-1 大体相当。

根据现有的哺乳动物化石资料, 内蒙古二连盆地呼和勃尔和地区的古新统与始新统界线应该位于NM-2 和NM-3 两个化石层之间^[48]。但由于没能获得稳定碳同位素的证据, 无法准确确定古新统和始新统界线。衡东岭茶地区岭茶组所产的哺乳动物化石中有不少与蒙古奈玛盖特盆地(Nemegt Basin)伯姆巴期(Bumbanian)化石可以对比, 被认为时代相当, 而NM-3 化石层亦与伯姆巴期化石层相当。因此可以将二连盆地含 *Gomphos elkema* 等化石的层位与岭茶组化石层间接对比。而且岭茶组含哺乳动物化石的层位中也富含钙质结核, 与含 *Gomphos elkema* 等化石的地层很相似^[48]。古地磁和碳同位素研究显示, 岭茶组哺乳动物化石层位于磁极性C24r 和 $\delta^{13}\text{C}$ 负漂移的时间段内, 因而可以认为其时代为早始新世最早期^[3,49]。结合呼和勃尔和地区古近系的实际情况, 将古新统和始新统界线置于NM-3 化石层之底(即综合剖面第9层之底)应该是可以接受的。

3 哺乳动物生物年代学

新生代哺乳动物年代学研究以北美地区最有影响, 自从Wood等^[50]提出以哺乳动物化石为基础的生物地层框架——陆相哺乳动物分期(Land Mammal Ages)以来, 相关研究在理论和实践方面都取得了重要进展^[51,52], 通过开展包括哺乳动物化石及生物地层、古地磁、年代测定以及稳定同位素在内的综合研究, 完善了陆相哺乳动物分期系统, 使之能够与国际标准进行很好的对比^[53~56], 同时将北美陆相哺乳动物分期与全球性事件联系起来^[57]。亚洲陆相哺乳动物分期自提出^[2]以来, 经过多年的发展^[1,9,58,59], 形成了比较完整的亚洲陆相哺乳动物分期系统^[7], 并被广泛采用^[4]。内蒙古二连盆地呼和勃尔和地区的古近纪涉及到四个亚洲陆相哺乳动物分期——格沙头期(Gashatan)、伯姆巴期、阿山头期(Arshantan)和伊尔丁曼哈期(Irdinmanhan)。

格沙头期源于蒙古乌兰诺尔盆地(Ulan-Nur

Basin)格沙头组(Gashato Formation)一段的格沙头动物群, 而伯姆巴期则源于蒙古奈玛盖特盆地娜兰布拉克组(Naran-Bulak Formation)伯姆巴段(Bumban Member)的动物群^[2]。

NM-1 和NM-2 两个层位产出的哺乳动物化石都是典型的晚古新世格沙头期的代表, 所有化石均仅见于中国和蒙古的相当地层中^[9,23~25,44,60]。NM-3 和NM-4 两个层位发现的 *Gomphos elkema* 是蒙古早始新世伯姆巴期的典型代表^[27,61]。NM-3 产出的灵长类 *Baataromomys ulaanus* 与北美早始新世华沙溪期(Wasatchian (Wa-0))发现的“*Teilhardina brandti*”^[62]非常相似, 后者被认为与内蒙古化石属于同一个属^[37]。根据现有的化石资料, 可以认为呼和勃尔和地区NM-1 和NM-2 两个层位产出的化石属于格沙头期, NM-3 和NM-4 产出的化石属于伯姆巴期。

阿山头期和伊尔丁曼哈期是根据内蒙古二连盆地东部阿山头组和伊尔丁曼哈组产出的哺乳动物群命名的^[2], 因此从阿山头组和伊尔丁曼哈组中发现的化石应该被分别看作是阿山头期和伊尔丁曼哈期动物群的典型成员(图2)。

中国乃至亚洲古近纪陆相哺乳动物分期虽然已经沿用了近30年, 但各分期的延续时限, 长期没有界定。虽然以前有少量的古地磁工作, 但并没有对相关哺乳动物分期进行年代界定^[3,26,63,64]。直到最近几年, 才在中国部分古近纪地点开展了这一方面的工作, 对相关的分期进行了界定, 但仍主要集中于中国南方古新世较早的时间段^[65,66]。而古近纪其他哺乳动物分期的延续时间则主要是依据与北美的洲际生物地层对比来推测的^[4,7,10,11]。由于这一地区缺乏可以用来进行同位素测年的样品, 古地磁就成了目前所能采用的唯一手段。根据呼和勃尔和地区最新的古地磁研究结果^[17], 我们可以对相关的哺乳动物分期的延续时间进行比较准确的推断。

根据在努和廷勃尔和和呼和勃尔和两条剖面的古地磁研究结果, 呼和勃尔和地区的古近系记录了5个正极性段与6个负极性段, 可以与标准磁性年表的C21r-C26r 之间的极性带对应^[17]。目前, 由于没有合适的剖面, 古新世浓山期和格沙头期的界线并没有很好地确定。根据在江西池江盆地和广东南雄盆地的古地磁工作, 证实浓山期地层主要位于地磁极性的C26r 中^[65,66]。而在呼和勃尔和地区的古地磁研

究结果显示, 较低的含格沙头期哺乳动物化石的地层(NM-1)处于C25r下部^[17]. 因此, 可以暂时将浓山期和格沙头期的界线置于C26n之底. 这样, 格沙头期的延续时间为 58.8~55.8 Ma, 相当于磁极性年表的C26n-C24r下部. 伯姆巴期的延续时间大约为 55.8~54.8 Ma, 位于C24r中. 阿山头期的延续时间为 54.8~47.6 Ma, 相当于C24r-C21r. 伊尔丁曼哈组的顶界并不清楚, 因此依据伊尔丁曼哈组所产的哺乳动物化石而建立的伊尔丁曼哈期只能确定其底界位于C21r上部(图2).

根据以上结果, 我们可以将相关的亚洲陆相哺乳动物分期与国际地质年表和北美陆相哺乳动物分期进行比较准确的对比. 与国际地质年表对比, 格沙头期与坦尼特期大致相当, 伯姆巴期相当于伊普里斯期早期, 阿山头期相当于伊普里斯期中晚期至鲁帝特期最早期. 与北美陆相哺乳动物分期对比, 格沙头期相当于提法尼期晚期至克拉克福克期, 伯姆巴期相当于华沙溪期早期, 阿山头期与华沙溪期中晚期及勃里吉期大部相当(图2).

4 哺乳动物演化与环境响应

海洋沉积的氧同位素记录显示, 在晚古新世晚期至早始新世气候最适宜期(Early Eocene Climatic Optimum), 大洋温度处于逐渐上升的阶段, 期间发生了古新世-始新世之交的以碳同位素负向漂移(CIE)为标志的急速转折事件, 即古新世-始新世高温事件(Paleocene-Eocene Thermal Maximum, 缩写为PETM). 早始新世气候最适宜期之后, 大洋温度逐渐下降, 直至发生始新世/渐新世降温事件^[67]. 根据古地磁标定, 可以将与呼和勃尔和地区古近纪相关的陆相哺乳动物分期与海洋氧碳同位素变化曲线进行间接的对比(图3).

根据哺乳动物化石在呼和勃尔和地区产出的层位, 可以看出古近纪早期哺乳动物演化的一些基本规律(图3). 在古新世格沙头期, 哺乳动物以古老类群为主, 如全齿类、恐角类、北柱兽类、多瘤齿兽类等. 现代类群的祖先类型只占极少的一部分, 如啮齿类的祖先类型——啮形类. 进入始新世伯姆巴期, 若

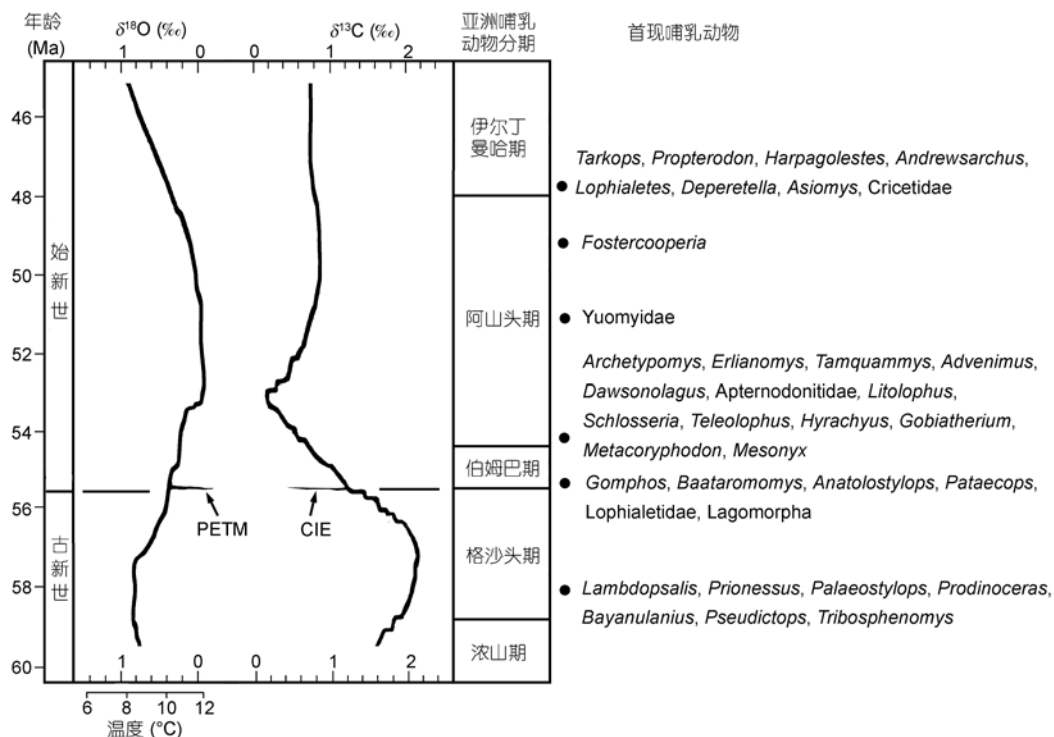


图3 呼和勃尔和地区哺乳动物事件与全球环境变化的对应关系

氧碳同位素曲线依据文献[67]重绘, 哺乳动物科属在剖面中的首现位置以圆点(•)表示

干现生的目一级哺乳动物类群出现, 其中包括奇蹄目、真灵长类、啮齿目和兔形目等。与此同时, 古老类群也发生了属或科一级的变化(如全齿类、恐角类和北柱兽类), 或区域性消失(如多瘤齿兽类), 但总体来说, 在动物群中所占的比例和种数上都有明显的下降^[11]。值得指出的是伯姆巴期发现的跑犀科 *Pataecops parvus* 是迄今最早的犀超科代表, 同时还有獭超科脊齿獭科的一个新种。这两种化石都是世界其他地区同时代地层中未曾发现过的种类。考虑到其他地区同时代地层中已经发现的奇蹄类爪兽超科(蒙古)、马形类(北美)以及等脊獭科(亚洲、北美、欧洲)的代表这一事实, 可以认为, 奇蹄类在始新世之初就开始了强烈的分异, 所有大的分支都已经出现, 从而奠定了在整个始新世繁盛的基础。在随后的演化过程中, 古老类群进一步减少, 多数现生哺乳动物类群表现出的是属种的更替, 尤其是奇蹄类和啮齿类出现了众多新的科属(如奇蹄类的戴氏獭科、獭犀科和雷兽科, 啮齿类的初鼠科、鼠齿类、豫鼠科和仓鼠科), 成为始新世分异度最高的两个大类。这样的演化规律与其他地区的记录是吻合的^[7]。

哺乳动物在古近纪早期的这种演化历程, 在某种程度上也反映了它们对环境变化的响应。在晚古新世至中始新世早期, 无论全球气温是升高还是下降, 在绝大多数情况下都是一个渐变的过程, 因此哺乳动物也表现出了逐渐发展和更替的演化历程。然而, 在古新世-始新世之交发生的高温事件却对哺乳动物演化产生了重要的影响。由于这次高温事件是一个相对比较突然的事件, 全球平均气温短期内上升了大约 5℃^[68]。与此相对应的是, 陆生哺乳动物群

的组成发生了根本性的变化, 导致了众多目一级的哺乳动物类群出现, 哺乳动物群也真正呈现出现代面貌。

5 结论

(1) 纠正了地层划分方面的错误, 澄清了部分哺乳动物群组成方面的混乱。认为原中亚考察团在马捷茨营地及周边地区划分的“呼尔井组”实际上是伊尔丁曼哈组, 而“伊尔丁曼哈组”则为阿山头组。与之相关的阿山头动物群和伊尔丁曼哈动物群的组成也应进行相应的厘定。

(2) 在呼和浩特和地区古近纪地层中共划分出 12 个含哺乳动物化石的层位, 其中脑木根组 4 个(NM-1 至 NM-4), 阿山头组 6 个(AS-1 至 AS-6), 伊尔丁曼哈组 2 个(IM-1 和 IM-2)。

(3) 根据最新的古地磁资料, 对相关组的时代和哺乳动物分期的延续时间进行了重新厘定。确认脑木根组上部包含了早始新世地层, 阿山头组绝大部分属于早始新世, 而不是过去认为的中始新世。将格沙头期、伯姆巴期和阿山头期分别与国际地质年表的坦尼特期、伊普里斯期早期和伊普里斯期中晚期至鲁帝特期最早期相对比, 同时认为格沙头期、伯姆巴期和阿山头期分别与北美陆相古近纪提法尼期晚期至克拉克福克期、华沙溪期早期和华沙溪期中晚期及勃里吉期大部相当。

(4) 呼和浩特和地区的化石记录显示, 在古近纪早期, 哺乳动物群演替以新科出现和属种更替为主, 发生在古新世-始新世之交的高温事件很可能是导致现代面貌的哺乳动物群出现的主要因素。

致谢 李传夔、周伟、曹强、谢树华、李士杰、李祁、李强、陈伟、高伟、李淳、王天宇参加野外工作; 童永生、Mary R. Dawson 在部分化石的鉴定方面提供帮助, 李传夔、童永生、邱占祥、王伴月与作者进行了有益的讨论; 周伟、谢树华、李士杰、李祁、张丽芬、郭臣光、王阳花修理、筛洗和挑选化石, 审稿人提出修改建议, 在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 Russell D E, Zhai R J. The Paleogene of Asia: Mammals and stratigraphy. *Mém Mus Natl d'Hist Nat Sér C-Sci Terre*, 1987, 52: 1–448
- 2 Romer A S. *Vertebrate Paleontology*. Chicago and London: University of Chicago Press, 1966. 1–467
- 3 Bowen G J, Clyde W C, Koch P L, et al. Mammalian dispersal at the Paleocene-Eocene boundary. *Science*, 2002, 295: 2062–2065
- 4 Luterbacher H P, Ali J R, Brinkhuis H, et al. The Paleogene Period. In: Gradstein F M, Ogg J G, Smith A, eds. *A Geological Time Scale 2004*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 384–408

- 5 Meng J, McKenna M C. Faunal turnovers of Palaeogene mammals from the Mongolian Plateau. *Nature*, 1998, 394: 364–367
- 6 Tsubamoto T, Takai M, Egi N. Quantitative analyses of biogeography and faunal evolution of Middle to Late Eocene mammals in East Asia. *J Vert Paleont*, 2004, 24: 657–667
- 7 Wang Y Q, Meng J, Ni X J, et al. Major events of Paleogene mammal radiation in China. *Geol J*, 2007, 42: 415–430
- 8 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部地质专报——区域地质, 1991, 25: 1–725
- 9 Li C K, Ting S Y. The Paleogene mammals of China. *Bull Carneg Mus Nat Hist*, 1983, 21: 1–93
- 10 童永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 中国新生代哺乳动物分期. *古脊椎动物学报*, 1995, 33: 290–314
- 11 王元青, 孟津, 倪喜军, 等. 中国古近纪哺乳动物的辐射. 见: 戎嘉余, 等, 主编. 生物起源、辐射与多样性演变——华夏化石记录的启示. 北京: 科学出版社, 2006. 735–755, 948–950
- 12 Radinsky L B. Notes on Eocene and Oligocene fossil localities in Inner Mongolia. *Am Mus Novitat*, 1964, (2180): 1–11
- 13 齐陶. 内蒙古呼和浩特和陡坎晚始新世伊尔丁曼哈层及其哺乳动物群. *古脊椎动物学报*, 1980, 18: 28–32
- 14 Qi T. The Middle Eocene Arshanto fauna (Mammalia) of Inner Mongolia. *Ann Carnegie Mus*, 1987, 56: 1–73
- 15 孟津. 双尖齿兽科(Didymoconidae)——新种及有关地点地层问题. *古脊椎动物学报*, 1990, 28: 206–217
- 16 Meng J, Wang Y Q, Ni X J, et al. New stratigraphic data from the Erlian Basin: Implications for the division, correlation, and definition of Paleogene lithological units in Nei Mongol (Inner Mongolia). *Am Mus Novitat*, 2007, (3570): 1–31
- 17 孙勃, 岳乐平, 王元青, 等. 二连盆地古近系的磁性地层学研究. *地层学杂志*, 2009, 33: 62–68
- 18 江浩贤. 内蒙古二连盆地第三系的划分. *内蒙古地质*, 1983, 2: 18–36
- 19 周明镇, 齐陶, 李荣. 内蒙古四子王旗古新世地层及哺乳动物群的性质与对比. *古脊椎动物学报*, 1976, 14: 228–233
- 20 Granger W, Berkey C P. Discovery of Cretaceous and older Tertiary strata in Mongolia. *Am Mus Novitat*, 1922, (42): 1–7
- 21 Berkey C P, Morris F K. Basin structures in Mongolia. *Bull Amer Mus Nat Hist*, 1924, 51: 103–127
- 22 Berkey C P, Morris F K. The Geology of Mongolia—A reconnaissance report based on the investigations of the years 1922–1923. In: *Natural History of Central Asia. Vol. II.* New York: American Museum of Natural History, 1927. 1–475
- 23 Wang Y Q, Hu Y M, Chow M C, et al. Chinese Paleocene mammal faunas and their correlation. In: Beard K C, Dawson M R, eds. *Dawn of the Age of Mammals in Asia.* *Bull Carneg Mus Nat Hist*, 1998, 34: 89–123
- 24 周明镇, 齐陶. 内蒙古四子王旗晚古新世哺乳类化石. *古脊椎动物学报*, 1978, 12: 77–85
- 25 Meng J, Zhai R J, Wyss A R. The late Paleocene Bayan Ulan fauna of Inner Mongolia, China. In: Beard K C, Dawson M R, eds. *Dawn of the Age of Mammals in Asia.* *Bull Carneg Mus Nat Hist*, 1998, 34: 148–185
- 26 Bowen G J, Koch P L, Meng J, et al. Age and correlation of fossiliferous late Paleocene-early Eocene strata of the Erlian Basin, Inner Mongolia, China. *Am Mus Novitat*, 2005, (3474): 1–26
- 27 Meng J, Bowen G J, Ye J, et al. *Gomphos elkema* (Glires, Mammalia) from the Erlian Basin: Evidence for the early Tertiary Bumbanian Land Mammal Age in Nei-Mongol, China. *Am Mus Novitat*, 2004, (3245): 1–24
- 28 Granger W. Records of fossils collected in Mongolia. *Central Asiatic Expeditions (Field Notes)*. New York: American Museum of Natural History, 1930. 1–163
- 29 Ni X J, Meng J, Beard K C, et al. A new tarkadectine primate from the Eocene of Inner Mongolia, China: Phylogenetic and biogeographic implications. *Proc R Soc B-Biol Sci*, 2010, 277: 247–256
- 30 Meng J, Kraatz B P, Wang Y Q, et al. A new species of *Gomphos* (Glires, Mammalia) from the Eocene of the Erlian Basin, Nei Mongol, China. *Am Mus Novitat*, 2009, 3670: 1–11
- 31 Li P, Wang Y Q. Newly discovered *Schlosseria magister* (Lophialetidae, Perissodactyla, Mammalia) skulls from central Nei Mongol, China. *Vert PalAsiat*, 2010, 48: 119–132
- 32 Meng J, Li C K, Ni X J, et al. A new Eocene rodent from the lower Arshto Formation in the Nuhetingboerhe (Camp Margetts) Area, Inner Mongolia. *Am Mus Novitat*, 2007, (3569): 1–18
- 33 Li Q, Meng J. *Erlianomys combinatus*, a primitive myodont rodent from the Eocene Arshanto Formation, Nuhetingboerhe, Nei Mongol, China. *Vert PalAsiat*, 2010, 48: 133–144
- 34 Li C K, Meng J, Wang Y Q. *Dawsonolagus antiquus*, a primitive lagomorph from the Eocene Arshanto Formation, Nei Mongol, China. In: Beard K C, Luo Z X, eds. *Mammalian Paleontology on a Global Stage: Papers in honor of Mary R. Dawson.* *Bull Carneg Mus Nat Hist*, 2007, 39: 97–110
- 35 Bai B, Wang Y Q, Meng J. New craniodental materials of *Litolophus gobiensis* (Perissodactyla, Eomoropidae) from Inner Mongolia, China, and phylogenetic analyses of Eocene chalicotheres. *Am Mus Novitat*, 2010, 3688: 1–27, doi: 10.1206/678.1
- 36 Bai B. New materials of Eocene Dinocerata (Mammalia) from the Erlian Basin, Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vert PalAsiat*, 2006, 44: 250–261
- 37 Ni X J, Beard K C, Meng J, et al. Discovery of the first early Cenozoic euprimate (Mammalia) from Inner Mongolia. *Am Mus Novitat*, 2007, (3571): 1–11
- 38 Wang Y Q, Meng J, Ni X J, et al. A new Early Eocene arctostyloid (Arctostylopida, Mammalia) from the Erlian Basin, Nei Mongol (Inner Mongolia), China. *J Vert Paleont*, 2008, 28: 553–558

- 39 Wang Y Q, Meng J, Beard K C, et al. Early Eocene perissodactyls from the upper Nomogen Formation of the Erlian Basin, Inner Mongolia, China. *J Vert Paleont*, 2008, 28: 175A
- 40 Szalay F S, Gould S J. Asiatic mesonychidae (mammalia, condylarthra). *Bull Amer Mus Nat Hist*, 1966, 132: 127–174
- 41 Granger W. A giant oxyaenid from the Upper Eocene of Mongolia. *Am Mus Novitat*, 1938, (969): 1–5
- 42 Granger W, Gregory W K. A revision of the Mongolian titanotheres. *Bull Amer Mus Nat Hist*, 1943, 80: 349–389
- 43 Radinsky L B. Early Tertiary tapiroidea of Asia. *Bull Amer Mus Nat Hist*, 1965, 129: 181–264
- 44 Meng J, Ni X J, Li C K, et al. New material of Alagomyidae (Mammalia, Glires) from the Late Paleocene Subeng locality, Inner Mongolia. *Am Mus Novitat*, 2007, (3579): 1–29
- 45 Missiaen P, Smith T. A new Paleocene nyctitheriid insectivore from Inner Mongolia (China) and the origin of Asian nyctitheriids. *Acta Palaeont Pol*, 2005, 50: 513–522
- 46 Smith T, Van Itterbeeck J, Missiaen P. Oldest Plesiadapiform (Mammalia, Proprimates) from Asia and its palaeobiogeographical implications for faunal interchange with North America. *C R Palevol*, 2004, 3: 43–52
- 47 Meng J, Wyss A R, Hu Y M, et al. Glires (mammalia) from the Late Paleocene Bayan Ulan locality of Inner Mongolia. *Am Mus Novitat*, 2005, (3473): 1–25
- 48 Wang Y Q, Tong Y S, Li Q. The Chinese continental Paleocene-Eocene boundary and its correlation. *Acta Geol Sin*, 2010, in press
- 49 Ting S Y, Bowen G J, Koch P L, et al. Biostratigraphic, chemostratigraphic, and magnetostratigraphic study across the Paleocene-Eocene boundary in the Hengyang Basin, Hunan, China. In: Wing S L, Gingerich P D, Schmitz B, et al, eds. *Causes and Consequences of Globally Warm Climates in the Early Paleogene*. *Geol Soc Am Spec Paper*, 2003, 369: 521–535
- 50 Wood H E, Chaney R W, Clark J, et al. Nomenclature and correlation of the North American continental Tertiary. *Geol Soc Am Bull*, 1941, 52: 1–48
- 51 Woodburne M O. Definition and characterization in mammalian chronostratigraphy. *J Paleont*, 1977, 51: 220–234
- 52 Woodburne M O. Principles and Procedures. In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 1–20
- 53 Lofgren D L, Lillegraven J A, Clemens W A, et al. Paleocene biochronology: The Puercan through Clarkforkian land mammal ages. In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 43–105
- 54 Prothero D R, Emry R J. The Chadronian, Orellan, and Whitneyan North American land mammal ages. In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 156–168
- 55 Robinson P, Gunnell G F, Walsh S L, et al. Wasatchian through Duchesnean biochronology. In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 106–155
- 56 Tedford R H, Albright L B III, Barnosky A D, et al. Mammalian biochronology of the Arikareean through Hemphillian interval (Late Oligocene through Early Pliocene Epochs). In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 169–231
- 57 Woodburne M O. Global events and the North American mammalian biochronology. In: Woodburne M O, ed. *Late Cretaceous and Cenozoic Mammals of North America: Biostratigraphy and Geochronology*. New York: Columbia University Press, 2004. 315–344
- 58 Ting S Y. Paleocene and early Eocene land mammal ages of Asia. In: Beard K C, Dawson M R, eds. *Dawn of the Age of Mammals in Asia*. *Bull Carneg Mus Nat Hist*, 1998, 34: 127–147
- 59 Tong Y S, Zheng S H, Qiu Z D. Cenozoic mammal ages of China. *Vert PalAsiat*, 1995, 33: 290–314
- 60 Szalay F S, McKenna M C. Beginning of the age of mammals in Asia: The late Paleocene Gashato fauna, Mongolia. *Bull Amer Mus Nat Hist*, 1971, 144: 269–318
- 61 Dashzeveg D. Holarctic correlation of non-marine Palaeocene-Eocene boundary using mammals. *J Geol Soc, London*, 1988, 145: 473–478
- 62 Gingerich P D. Early Eocene *Teilhardina brandti*: Oldest omomyid primate from North America. *Contrib Mus Paleont Univ Mich*, 1993, 28: 321–326
- 63 薛祥煦, 岳乐平, 张云翔. 陕西山阳盆地红色地层磁性、生物和岩石地层界线的对比. *中国科学 B 辑*, 1994, 24: 413–417
- 64 赵资奎, 叶捷, 李华梅, 等. 广东省南雄盆地白垩系-第三系交界恐龙绝灭问题. *古脊椎动物学报*, 1991, 29: 1–20
- 65 Clyde W C, Ting S Y, Snell K E, et al. New paleomagnetic and stable-isotope results from the Nanxiong Basin, China: Implications for the K/T boundary and the timing of Paleocene mammalian turnover. *J Geol*, 2010, 118: 131–143
- 66 Clyde W C, Tong Y S, Snell K E, et al. An integrated stratigraphic record from the Paleocene of the Chijiang Basin, Jiangxi Province (China): Implications for mammalian turnover and Asian block rotations. *Earth Planet Sci Lett*, 2008, 269: 553–563
- 67 Zachos J C, Pagani M, Sloan L C, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 2001, 292: 686–693
- 68 Sluijs A, Brinkhuis H, Schouten S, et al. Environmental precursors to rapid light carbon injection at the Palaeocene/Eocene boundary. *Nature*, 2007, 450: 1218–1221