

## 新疆准噶尔盆地北缘新近系顶山盐池组 及相关地层问题<sup>1)</sup>

孟津<sup>1,2</sup> 叶捷<sup>1</sup> 吴文裕<sup>1</sup> 倪喜军<sup>1</sup> 毕顺东<sup>3</sup>

(1 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

(2 美国自然历史博物馆 纽约 10024)

(3 美国宾夕法尼亚州印第安纳大学生物系 印第安纳 PA 15705)

**摘要:** 在新疆准噶尔盆地北缘乌伦古河流域建立了一个新近纪岩石地层单位: 顶山盐池组。该组平行不整合于哈拉玛盖组之上, 是一套以红色泥质粉砂岩为主体的细碎屑岩堆积, 厚约 50 m, 含有上下两个化石带。上化石带时代为中新世晚期或上新世; 下化石带为中中新世中晚期, 与通古尔期默尔根小哺乳动物群大体相当。根据岩性和化石组合, 推测顶山盐池组含有风成沉积物, 或主要为风成堆积。其下部地层与流域中可可买登组为同期异相沉积。通过下伏的哈拉玛盖组, 顶山盐池组可以和附近地区的铁尔斯哈巴合剖面衔接, 构成乌伦古河流域一个从晚渐新世到中新世晚期或上新世大体连续的地层序列。这个序列有可能包含了塔本布鲁克期至保德期的沉积物和动物群。我们将这个序列与中国以及欧洲的相同时段生物年代序列进行了初步的对比, 并讨论了有关的生物年代和年代地层问题。以哈拉玛盖动物群为代表的中中新世动物群的繁盛与它们的地理分布和中中新世全球气候最佳期的温暖气候可能相关。

**关键词:** 准噶尔盆地, 中新世, 顶山岩池组, 生物地层, 环境变化

**中图法分类号:** P534. 621 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3118(2008)02-0090-21

新疆准噶尔盆地北缘福海县境内乌伦古河以南、顶山盐池的西北方有相当大面积的第三系出露(图 1、2)。该地层由下部的浅色河湖相沉积和上部的红色细碎屑岩组成。在 1992 年出版的“新疆维吾尔自治区区域地质志”1:150 万地质附图中(BGMRXUA, 1993), 这些岩石被笼统地标注为古近纪的  $E_{2-3}$  或  $E_{2-3}$ 。在相应的第三系划分对比表中, 准噶尔盆地北缘的索索泉组被认为主要是渐新世地层, 仅顶部为早中新世的地层。由于顶山盐池的这套红色细碎屑岩与乌伦古河流域出露的索索泉组岩性相近, 故前人有可能将其简单地对比为索索泉组。

在 2001 年的野外工作中, 笔者在该套地层下伏的河湖相沉积物中发现了典型的中中新世哈拉玛盖动物群化石, 认定这些浅色河湖相沉积应当是哈拉玛盖组。由于索索泉组是位于哈拉玛盖组之下的地层, 因此, 顶山盐池西北一带覆盖在哈拉玛盖组之上的红色细碎屑岩不可能是索索泉组, 而是晚于哈拉玛盖组的地层。但在以后几年的野外工作中, 没

1) 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号:KZCX2-YW-120)和国家自然科学基金项目(编号:40472022)资助。

收稿日期:2007-09-21

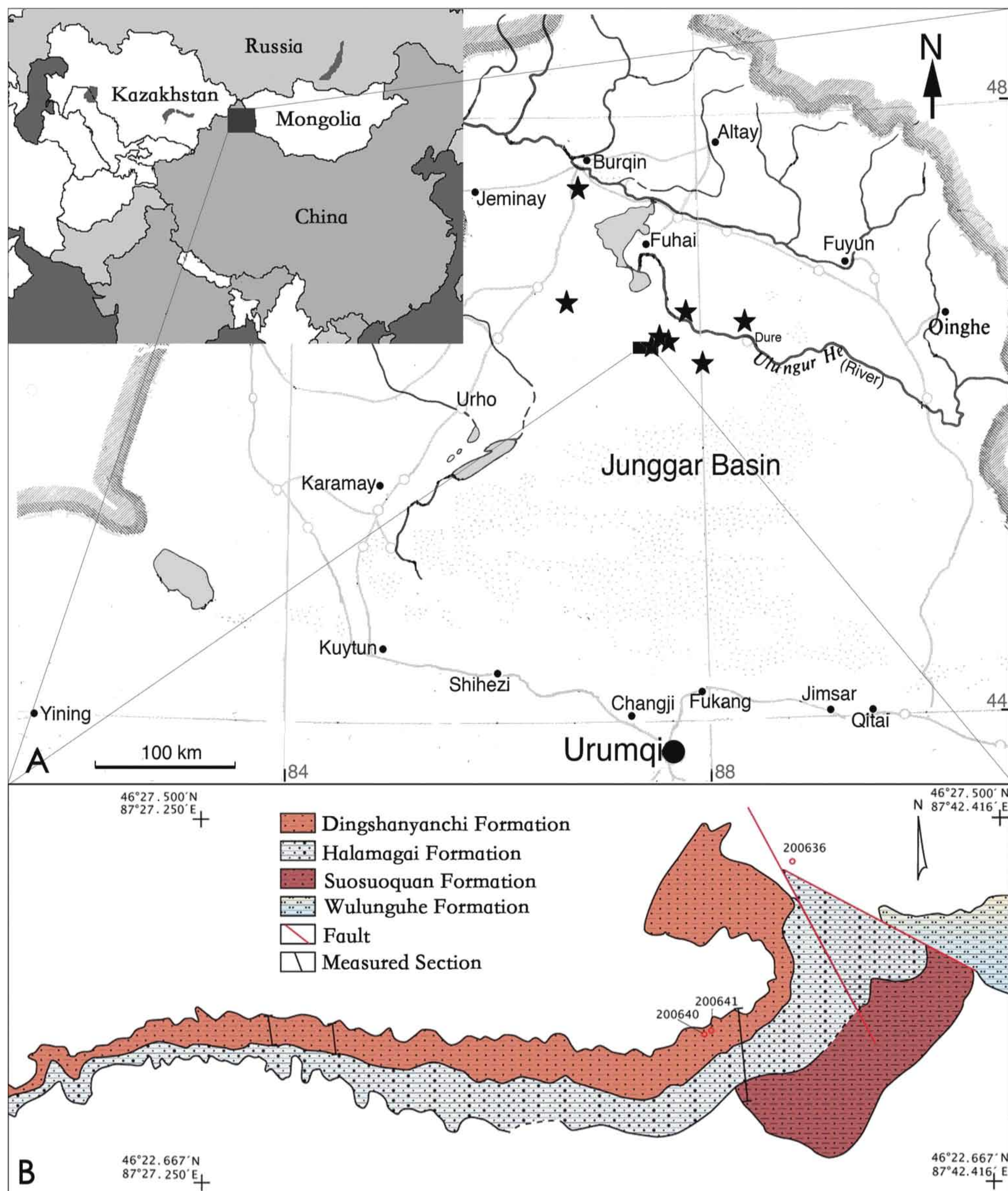


图1 工作区地理位置及顶山盐池地质略图

Fig. 1 Location map for studied area and geological sketch map of the area of Dingshan Salt Lake  
 A. 地理位置图,其中五星代表乌伦古河流域具有渐新世和中新世地层的地点 Location map, Oligocene and Miocene localities are represented by stars (see also Meng et al., 2006); B. 地质略图,依据野外观察、GPS 数据以及 Google 卫星照片成图 Geological sketch map based on field observation, GPS loggings and Google satellite image of the area

能在这套红色地层中找到化石。因此,这套地层的年代一直没有确定。2006 年的野外季度中,我们首次在这套红色地层的底部和上部分别发现了两个哺乳动物化石层。通过动物群

对比,我们能够初步判断这套地层的年代跨越了中中新世中晚期到晚中新世晚期甚至上新世。在此基础上,我们有可能将这套地层与下伏于哈拉玛盖组的索索泉组加以区别,将其命名为顶山盐池组,成为乌伦古河流域哈拉玛盖组之上的一个新的岩石地层单位。

顶山盐池组的识别和建立,加上已知的铁尔斯哈巴合组、索索泉组以及哈拉玛盖组,使新疆准噶尔盆地北缘的晚渐新世到中新世晚期甚至上新世的陆相地层记录趋于完整。由于这些地层有着明确的上下关系、构造简单、比较连续和具有良好的古地磁物理特性,并且含有多个层位的丰富化石,它们将会为中国相关时期的陆相生物和年代地层研究提供很好的依据。这一时期是青藏高原隆起并对东亚季风的形成产生影响的关键时期,也是东亚、中亚一带现代气候环境以及生物区系初步形成的时期。因此,本文还对乌伦古河流域的有关生物地层、生物年代以及这一时段内本区域可能的环境变化做了初步的综合性讨论。

## 1 顶山盐池组的岩石学特征

目前,已知的顶山盐池组主要分布在顶山盐池西北侧,向西延伸约 23 km。根据野外实地观察以及判读卫星图片,这一地区的哈拉玛盖组和顶山盐池组分布如图 1 所示。顶山盐池组地层出露范围东起  $87^{\circ}38.7'E$ ,西至  $87^{\circ}20.5'E$ ;北达  $46^{\circ}28.5'N$ ,南抵  $46^{\circ}23.9'N$ 。整个露头的南缘地层出露较好,相对完整。我们自东向西共测制了 3 条剖面,依次编为顶山盐池剖面 I、剖面 II 和剖面 III。由于在剖面 III 中含有两个化石层位,我们将该剖面作为建组层型剖面,其余两个剖面作为辅助剖面(图 1,见附录;受篇幅限制,其中仅列出剖面 I)。

### 1.1 建组层型剖面

层型剖面位于西干渠伴渠公路 41 km 处东南侧。剖面起点:  $46^{\circ}24.544'N$ ,  $87^{\circ}28.619'E$ ;剖面终点:  $46^{\circ}24.782'N$ ,  $87^{\circ}28.484'E$ (本剖面以哈拉玛盖组上部的一层易于辨别和追索的灰白色钙质石英粗砂岩顶部为起点,其下出露的大部分哈拉玛盖组地层未被测入剖面。相关内容见附录)。

实测剖面自上而下为:

上覆地层(时代不确定)

17. 灰绿色河床相砾岩。砾石成分为石英岩、砂岩和灰绿色板岩等,次磨圆度,中等分选,大小不等 4.9 m

-----平行不整合-----

顶山盐池组(共 46.2 m)

16. 红棕色泥质粉砂岩,较为坚硬 8.7 m  
 15. 红棕色泥质细砂岩 0.4 m  
 14. 红棕色泥质粉砂岩,较致密坚硬,在地貌上形成土柱状,局部可见球形风化。在距

底部 39.7 m 处(化石点 XJ 200614)发现三趾马和鸵鸟蛋皮化石	7 m
13. 红棕色泥质粉砂岩与泥质细砂岩互层	1.5 m
12. 红棕色泥质粉砂岩	9.5 m
11. 浅红棕色泥质细砂岩,风化表面浅灰白色	0.3 m
10. 棕色泥质粉砂岩	3 m
9. 棕色细砂岩	1.8 m
8. 土黄色细泥砾岩,泥砾稍圆,有时相变为粗砂岩	0.3 m
7. 红棕色泥质粉砂岩,风化地表见大量细粒钙质结核	7.5 m
6. 土黄色细砂岩,呈薄片状,局部见微细纹理	2.4 m
5. 红棕色泥质粉砂岩,断面可见黑色铁锰质浸染。风化地表见大量细粒钙质结核	0.8 m
4. 红棕色含砂泥岩,较为坚硬、呈块状,风化面呈浅灰白色。含哺乳动物和无脊椎动物化石(小哺乳动物砂样、化石点 XJ 200613)	7 m
3. 红棕色泥岩,断面可见零星岩屑和黑色铁锰质浸染	2.3 m

-----平行不整合-----

#### 哈拉玛盖组

2. 灰绿色细砂岩,向上渐变为泥质粉砂岩	2.8 m
1. 灰白色钙质石英粗砂岩,局部见细砾。向上变细,顶部为细砂岩	2.4 m

### 1.2 岩性特征

顶山盐池组已知的分布范围不及索素泉组广泛。其顶部覆有一层成分复杂的砾岩,二者为平行不整合接触关系(图 2)。目前该砾岩层的性质尚不清楚,但它是第四系的可能性比较小。顶山盐池组的顶、底界面都很清楚,可以在野外大范围观测到。下伏的哈拉玛盖组在各地点的岩性变化不大,具有直观的对比性(图 2)。哈拉玛盖组和顶山盐池组的岩性差别明显,但两者间的接触关系在同一陡坎的不同野外点上呈现不同的情况。一些地点两者间有不整合面,而在另外的地点(包括建组剖面所在的位置)两套地层间没有明显的沉积间断。我们目前以“平行不整合”来处理它们的接触关系,并认为如果有沉积间断,缺失的时间不会很长。

总体而言,顶山盐池组是一套厚约 50 m、以红色为基调的细碎屑堆积(图 2)。主体地层是厚层泥质粉砂岩,岩性较均一,可见有规律的颜色深浅变化的水平沉积旋回,不具有水成岩特有的层理纹理等结构。剖面上半段的厚层泥质粉砂岩遭侵蚀后形成土柱状地貌,有时可在断壁上见到似球形风化面,并在剖面 II 的柱状断面上局部见到高角度的大型斜层理。在整套地层的中部有一层厚约 0.3 m 的较粗的碎屑岩(第 8 层),是以稍圆的小泥砾为主的细砾岩,有时相变为粗砂岩。推测该细砾岩应是干旱气候环境中不稳定水流的产物。在剖面 I、II 的上、中、下部地层中均可见到岩石断面有浸染状的黑色铁锰质斑纹,并在个别层位上较为富集,这些浸染状的铁锰质微斑,类似棕、红土化阶段土壤中的铁锰胶膜。在一些层位的风化表面可见大量的钙质细结核,在某些层位中还观察到“虫管构造”。这些特征与前人所描述的黄土堆积中的古土壤层十分相近。尽管尚未进行相关的沉积岩石学分析,但地层岩性、剥蚀后的土柱状地貌和在下部层位中发现的一些代表典型



图2 顶山盐池组地层

Fig. 2 The Dingshanyanchi Formation

A. 顶山盐池组地层近观,可见水平状沉积旋回和柱状节理,白色箭头以上为时代不明的砾岩层(层型剖面中第17层) A close view of the strata, showing sedimentary rhythms and columnar structures of outcrops; the white arrow points to the contact with the capping conglomerates of unknown age; B. 顶山盐池组与下伏的哈拉玛盖组 Superpositional relationship of Dingshanyanchi and Halamagai formations; C. 在顶山盐池组建组位置附近地层出露远观 Escarpment of the type locality of Dingshanyanchi Formation

的风尘沉积的蜗牛化石等(见下文),说明该组地层很可能含有风成沉积,甚至是一套以风成堆积为主体的陆相地层。顶山盐池组虽然基本为红色沉积,但其色泽偏黄,靠上部个别层段已为土黄色。相比之下,索索泉组的红色显得颜色较深。

## 2 顶山盐池组中的化石组合

到目前为止在顶山盐池组地层中发现有两个含哺乳动物化石层位。一个化石层近底部,在建组剖面中该含化石层距该组底界 2.3 m 处(XJ 200613),在剖面 II 中化石产自该组底部砂岩透镜体中(XJ 200617);另一个含化石层位位于该组的上半部,在建组剖面中位于距底界 34.5 m、距顶界 12.4 m 处(XJ 200614),其他上部化石地点(XJ 200640、XJ 200641、XJ 200642)均位于距顶界约十余米厚度的位置。

### 2.1 顶山盐池组底部哺乳动物化石组合

顶山盐池组底部 XJ 200613 和 XJ 200617 化石点层位相当,两个地点共有相当多的小哺乳动物,应是同时代的动物群。我们将两个地点的动物化石综合起来,称为顶山盐池组底部动物群,对动物群的研究将另文发表。

该动物群的名单为:

Insectivora	<i>Paracricetulus schaubi</i> Young, 1927
Soricidae gen. et sp. indet. (large)	<i>Plesiodipus leei</i> Young, 1927
Soricidae gen. et sp. indet. (small)	<i>Cricetodon</i> sp. nov.
Talpidae gen. et sp. indet.	<i>Miodyromys</i> sp.
Chiroptera	<i>Myocricetodontinae</i> gen. et sp. indet.
<i>Myotis</i> sp.	<i>Plesiosciurus</i> sp.
Lagomorpha	<i>Keramidomys fahlbuschi</i> Qiu, 1996
<i>Alloptox gobiensis</i> (Young, 1932)	<i>Sayimys</i> sp.
<i>Desmatolagus</i> sp.	Rodentia fam. indet.
Rodentia	Carnivora
<i>Heterosminthus orientalis</i> Schaub, 1930	<i>Hemicyon</i> cf. <i>H. stehlini</i>
<i>Protalactaga major</i> Qiu, 1996	Perissodactyla
<i>P. grabau</i> Young, 1927	<i>Anchitherium</i> sp.
<i>Democricetodon lindsayi</i> Qiu, 1996	Artiodactyla
<i>D. tongi</i> Qiu, 1996	Cervoidea gen. et sp. indet. (large)
<i>Megacricetodon sinensis</i> Qiu et al., 1981	Cervoidea gen. et sp. indet. (small)
<i>M. pusillus</i> Qiu, 1996	Proboscidea fam. indet.

这个动物群已知的 22 种小哺乳动物中有 12 个是与通古尔默尔根小哺乳动物群的分子相同的:*Alloptox gobiensis*, *Desmatolagus* sp., *Heterosminthus orientalis*, *Protalactaga major*, *P. grabau*, *Democricetodon lindsayi*, *D. tongi*, *Megacricetodon sinensis*, *M. pusillus*, *Plesiodipus leei*, *Miodyromys* sp., *Keramidomys fahlbuschi*。大型哺乳动物中能鉴定的属种有 *Anchitherium* 和 *Hemicyon* cf. *H. stehlini*, 也是通古尔动物群中有记载的属。我国与通古尔动物群时代相当的动物群还有甘肃的泉头沟和青海的车头沟动物群(邱铸鼎, 2000, 2001;

邱铸鼎等,2006)。泉头沟动物群有 11 属 12 种小哺乳动物,与顶山盐池组底部动物群相同的种有 6 个: *Heterosminthus orientalis*, *Protalactaga major*, *P. grabau*, *Megacricetodon sinensis*, *Plesiodipus leei* 和 *Paracricetulus schaubi*。其中前 5 个种是与通古尔动物群共有的,而 *Paracricetulus schaubi* 仅为泉头沟和顶山盐池组底部动物群共有。此外,泉头沟动物群中的 *Myocricetodon* 和 *Mellalomys* 在通古尔动物群中是没有的,而在顶山盐池组底部动物群中有属于 *Myocricetodontinae* 的成员。车头沟动物群中小哺乳动物只有 *Heterosminthus orientalis* 和 *Megacricetodon sinensis*,但这两个属种的共生表明该动物群的时代可与通古尔动物群相当,也可能与顶山盐池组动物群时代相当。

最近,邱铸鼎等(2006)依据近年来内蒙古地区新近纪动物群研究的新进展,将内蒙古的动物群做了进一步排序。将其中的推饶木、默尔根和铁木钦三个动物群组成了广义的通古尔动物群。从这三个动物群的产出层位和动物分子组成来看,它们确实代表了时代不同的动物组合。其中默尔根动物群相当于狭义的通古尔动物群,在较晚的铁木钦动物群中的 *Plesiodipus progressus* 是较 *P. leei* 更为进步的一个种,而在较早的推饶木动物群中包含有从渐新世和早中新世延续下来的属。顶山盐池组底部的动物群应与默尔根动物群相当。依据邱铸鼎等的排序,这些动物群的时代与欧洲新近纪陆相哺乳动物分期中 MN5 的后期至 MN7 + 8 相当,跨越了整个中中新世。顶山盐池组的时代则相当于这一段时间的中期:MN7 + 8 的早期。

此外,顶山盐池组底部动物群大致可与秦安剖面 A4 组合对比。秦安剖面中的 A4 组合位于剖面层位 148 m 处,有 *Desmatolagus* sp., *Alloptox gobiensis*, *Mioechinus* sp., *Ansomys* sp., *Plesiodipus leei* (原鉴定为 *Gobicricetodon* sp.), 可与通古尔动物群对比 (Guo et al., 2002), 显然较索泉组 III 带 (孟津等, 2006) 晚。A4 与其下部层位 (197 m) 的 A5 化石组合之间相差近 50 m。在秦安剖面大约 160 m 处有一枚属于 *Ansomys* sp. 的 M1/2, 其齿冠高度及尺寸与江苏泗洪双沟的 *Ansomys orientalis* 接近, 但齿面构造简单些, 没有附脊, 有可能是山旺期的代表。

## 2.2 顶山盐池组底部其他化石组合

除了哺乳动物化石以外,在 XJ 200617 地点有 3 枚鲤科鱼类咽喉齿化石 (张弥曼先生鉴定)。我们还从顶山盐池组下部层位中筛洗出一些植物草籽化石和软体动物化石。草籽化石由中国科学院南京地质古生物研究所王伟铭先生初步鉴定为紫草属 (*Lithospermum*), 我国有 4 个现生种, 分布于西南至西北、华北、东北等温带地区。软体动物化石经中国科学院地质与地球物理研究所李丰江和吴乃琴先生鉴定, 共有腹足类化石 8 种, 其中水生种两个, 是一个陆生软体动物种类和标本数量占绝对优势的组合 (表 2)。陆生种类中的 *Pupilla* cf. *P. aeoli*、*Punctum orphana*、*Vallonia* cf. *V. pulchella* 以及 *Gastrocopta* sp. 为典型的风尘沉积中常见的蜗牛代表, 在黄土高原第四纪黄土—古土壤序列和甘肃秦安董湾晚中新世—上新世黄土地层中是优势种类, 在秦安 QA-I 剖面也有发现 (李丰江等, 2005)。李丰江和吴乃琴认为就蜗牛化石而言, 这主要是风尘沉积的生物组合。

顶山盐池组底部腹足类化石组合如下:

陆生腹足类化石种类

*Pupilla* cf. *P. aeoli*(杂色虹蛹螺相似种),14 个个体

*Abida* cf. *A. frumentum*,14 个个体

*Punctum orphana*(显口多点螺),13 个个体

*Gastrocopta* sp.(砂螺未定种),11 个个体

*Vallonia* cf. *V. pulchella*(美丽瓦娄蜗牛相似种),9 个个体

*Vertigo* sp.(旋转螺未定种),2 个个体

水生腹足类化石种类

*Amnicola* sp.(河边螺未定种),1 个个体

*Planorbarius* sp.(类扁卷螺未定种)2 个个体

### 2.3 顶山盐池组上部化石组合

在上部层位中(地点 XJ 200614,46°24.757'N; 87°28.476'E)仅发现有大型哺乳动物化石碎片,初步判断有齿冠较高(约 70 mm)的很可能是贺风三趾马 *Hipparion* (*Plesiohipparion*) *houfenense*、犀类和长鼻类的化石残片,也有鸵鸟蛋皮碎片。已有的化石显示出三趾马动物群的性质,尤其是高冠的贺风三趾马出现时代从中新世晚期至上新世(或更新世早期?)(邱占祥等,1987)。因此,上部哺乳动物化石时代很可能为晚中新世晚期或上新世。

根据上、下层位的化石组合,我们初步判断顶山盐池组地层的沉积时代应为中中新世中晚期至晚中新世晚期或上新世。

## 3 顶山盐池组的生物地层学意义

顶山盐池组的建立,使准噶尔盆地北缘的第三纪地层内容及其划分对比更为完整、清楚。在顶山盐池组被发现之前,可可买登组被认为是乌伦古河两岸已知最晚的覆盖于哈拉玛盖组之上的第三纪堆积(叶捷等,2000,2001a)。由于顶山盐池组也是覆盖于哈拉玛盖组之上,且两者间没有明显的沉积间断,因此,顶山盐池组与可可买登组的关系成为一个新的问题。两组岩性完全不同,而且产出的化石类型也不一样。可可买登组为一套褐黄色、粒度较粗、磨圆度好的粗碎屑岩河床相堆积,目前所知该组的分布局限于乌伦古河南岸夺勒布勒津台地的顶部,厚约 14.2 m 左右。在河北岸仅出露于铁尔斯哈巴合东的第三级台地的顶部,厚度较小。这套地层过去被作为哈拉玛盖组的上段——可可买登段(童永生等,1990),2001 年叶捷等依据其特殊的岩性、与下伏哈拉玛盖组间有沉积间断、所含化石组合与下伏哈拉玛盖组者明显不同,以及在乌伦古河两岸均有发育等特性,将其划分为一个独立的组。

可可买登组中目前发现的主要是大化石(叶捷等,1999,2000,2001a,b;陈冠芳,1988),这可能与其河流相粗碎屑岩的沉积环境有关。已知的 7 种化石均为内蒙古通古尔



动物群(狭义的)成员。其中最常见的是葛氏双叉角鹿(*Dicrocerus grangeri*)及铲齿象(*Platybelodon sp.*)。在该动物群中,下伏哈拉玛盖组中常见的牛科化石始羚(*Eotragus halamagaiensis*)已不存在,代之出现的是牛科动物土耳其羊(*Turcocerus kekemaidengensis*)。因此,可可买登动物群与通古尔动物群可对比,相当于邱铸鼎等(2006)建立的默尔根动物群,其时代与欧洲新近纪陆相哺乳动物分期中的 MN7 + 8 相当,为中中新世中晚期(邱铸鼎等,2006)。

顶山盐池组中采集的化石则以小哺乳动物为主,这可能和它的沉积环境以及化石采集方法(筛洗)有关。如前所述,顶山盐池组底部小哺乳动物化石组合与狭义的通古尔小哺乳动物群(默尔根动物群)相近。因此,目前最为合适的解释是可可买登组与顶山盐池组下部的一段地层为同期异相沉积,但前者分布范围较为局部。

顶山盐池组下部动物群的发现,有助于了解下伏的哈拉玛盖动物群时代,后者在前人的研究中一直有不同的认识。哈拉玛盖组中有多个层位的哺乳动物化石,但目前采集到的不同种类的化石大部分来自底部层位。因此,本文将哈拉玛盖动物群特指为哈拉玛盖组近底部的层位中的哺乳动物化石组合。吴文裕(1988)曾依据小哺乳动物认为该动物群的时代大致为通古尔期,与欧洲陆生哺乳动物分期 MN7-8 相当。齐陶(1989)根据两种肉食类的研究认为它们的时代略晚于山旺动物群,但早于保德动物群,和通古尔动物群相当。叶捷(1989)在研究哈拉玛盖组的偶蹄类以及陈冠芳(1988)研究长鼻类时,都认为哈拉玛盖组比通古尔组的沉积时期稍早或相当,但在他们当时的研究中,哈拉玛盖组包含了哈拉玛盖段和可可买登段,这有可能影响对狭义哈拉玛盖动物群的时代判断。董永生等(1995)把哈拉玛盖动物群归入中中新世中晚期的通古尔期中。王晓鸣等(1998)对哈拉玛盖组中食肉类的研究认为不能肯定含化石层的确切时代,但有可能早于通古尔期。叶捷等(2001a,b)和吴文裕等(2003)依据 1995 年以来的生物地层工作和新的化石发现认为哈拉玛盖动物群与宁夏同心动物群最为接近,其时代与欧洲新近纪哺乳动物分期中的 MN6 大体相当,为中中新世早期。依据“始羚—铲齿象”组合特征,可认为哈拉玛盖组下部动物群与欧洲 MN6(或部分下延至 MN5)对比比较合适。这一认识与本文提到的哈拉玛盖动物群的产出层位与顶山盐池组底部化石层位间尚有 40 余米厚的河湖相地层存在的情况较为符合。依上述分析,顶山盐池组下部层位的动物群时代与狭义通古尔动物群相当,因此哈拉玛盖组动物群时代应当不会晚于通古尔期的早期(MN6)。同时,生物地层的证据也说明,顶山盐池组和哈拉玛盖组之间没有大的时间间断。

根据目前掌握的资料,我们认为乌伦古河流域的新生代中期地层应当包括时代上相当于秦安剖面的地层内容,含有秦安剖面缺失的最早中新世地层和晚渐新世地层。秦安剖面具有比较完整的地磁记录及若干个生物组合,其中动物组合 A4 内容比较丰富,被认为与通古尔动物群有较高的可对比性,相当于欧洲的 MN7 + 8,地质时间为 12.5-11.2 Ma (Guo et al., 2002)。顶山盐池组底部动物群和秦安 A4 最为接近。但在和秦安剖面对比时我们发现 A4 动物组合在剖面上的深度位置(148 m)位于地磁标准极性柱 C5Br 当中(又见邓涛,2006),时间大约是 15.5 Ma。因此,秦安剖面上 A4 的地磁时间较生物对比得出的年龄早了至少 3 Ma,相当于欧洲的 MN5。邓涛(2006)根据古地磁年龄将秦安剖面上 A4 对应到山旺期晚期。但从乌伦古河流域有明确地层关系的动物群序列中,我们没有化

石证据来支持 A4 动物组合在山旺期晚期就已经出现、并一直延续到通古尔晚期的可能性。今后对顶山盐池组的古地磁研究和对秦安剖面上生物带的进一步研究将会有助于澄清这一问题。

## 4 相关的生物年代地层

在最近的研究中, Ye et al. (2003) 和孟津等(2006) 认为铁尔斯哈巴合剖面时代跨越了渐新世—中新世界线, 并包含了早中新世和部分中中新世。但该剖面缺失了大部分中晚中新世以后的沉积。顶山盐池组恰好填补了这一缺失。从化石组合上看, 其时代应当跨越了中中新世中晚期至晚中新世或上新世。铁尔斯哈巴合和顶山盐池两个剖面可以通过哈拉玛盖组衔接起来(图 3)。在夺勒布勒津地点, 索索泉组和哈拉玛盖组基本上是连续的, 因此, 在乌伦古河流域的这个晚渐新世—晚中新世地层组合序列中, 没有大的沉积间断, 很可能包含了塔本布鲁克期、谢家期、山旺期、通古尔期、瀚河期以及保德期等上下关系明确的地层(图 3)。这些地层中, 目前除了还没有发现瀚河期的动物分子外, 其他期的动物群分子, 或者是大致相当动物群分子都有不同程度的发现(尚待进一步研究)。根据这个综合地层序列, 我们可以将乌伦古河流域的晚渐新世—中新世生物地层与中国和欧洲相应的生物年代序列做一个初步的对比(图 3)。由于这些陆相生物年代体系中存在的问题以及乌伦古河流域的晚渐新世—中新世地层古生物研究还不够, 我们的对比只能是初步的, 在此仅讨论这一时段内准噶尔盆地北缘地区生物年代地层学中的相关问题。

在图 3 中我们分别引用了邓涛(2006) 和 Nargolwalla et al. (2006) 提出的中国和欧洲的年代地层划分方案进行对比。Nargolwalla et al. (2006) 使用的年代划分参考了许多近期欧洲相关的地层研究。对比这两个列表, 我们注意到以下几点: 1) 两者间的对比划分并不一致。比如, 两者所用的欧洲 MN 带时间跨度有很大的出入。2) 欧洲学者间对欧洲相关年代地层的对比划分存在分歧。比如, Nargolwalla et al. (2006) 和 Ivanov et al. (2006) 在同一出版物中所表述的相关 MN 带的内容就有所不同。他们使用的年代地层概念也不一致, 比如是用生物年代的哺乳动物“期(age)”还是生物地层的“大带(Mega-zone)” (Steininger, 1999)。3) 中国学者间对中国相关年代地层的对比划分也有明显的差别。比如邓涛(2006) 和邱铸鼎等(2006) 在同一出版物中对中国生物年代单位的划分对比就有明显的不同。邓涛使用了瀚河期, 而邱铸鼎等没有。邓涛在哺乳动物期内使用了新近纪哺乳动物群单位(NMU), 而邱铸鼎等则把部分哺乳动物期以早、中、晚来划分。这些差别给我们下面的讨论带来了一定的困难。

### 4.1 塔本布鲁克期(阶)

生物地层和磁性地层资料表明铁尔斯哈巴合剖面中包含了狭义的塔本布鲁克期地层(孟津等, 2006), 这个期的地层跨越了铁尔斯哈巴组和索索泉组的岩石地层界线, 并含有三个化石带。从时间上看, 这些化石带整体上可以和欧洲 PM28-30 对比(图 3), 它们各自是否能与 PM28-30 分别对比还不能确定。但它们的客观存在, 使我们认识到在古近纪

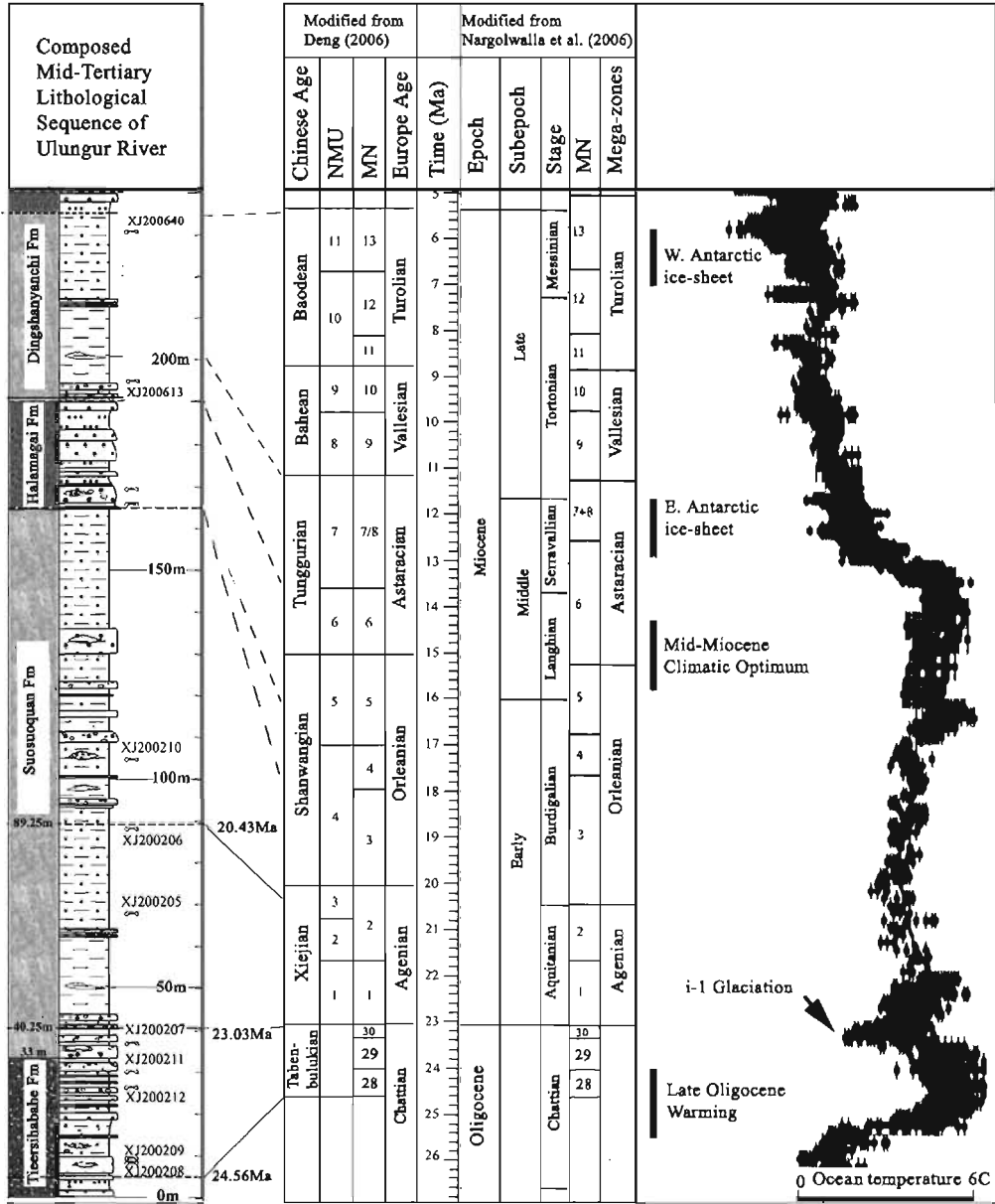


图3 乌伦古河流域晚渐新世—中新世地层划分对比

Fig. 3 Late Oligocene-Miocene sequence in the Ulungur River Region, composed from sections from the Tiersihabahe locality and Dingshan Salt Lake locality

综合柱状图由铁尔斯哈巴合剖面 (孟津等, 2006) 和顶山盐池剖面构成; 对比图依据邓涛 (2006), Nargolwalla et al. (2006) 以及 Mosbrugger et al. (2005, fig. 3) 综合修改而成; 其中氧同位素曲线源自 Zachos et al. (2001), 实线对比依据孟津等 (2006) 的古地磁资料, 虚线为动物群对比的初步认识 Correlations are based on and modified from works of Zachos et al. (2001), Mosbrugger et al. (2005), Deng (2006), Meng et al. (2006) and Nargolwalla et al. (2006); solid lines are based on magnetic polarities from the Tiersersihabahe section and dashed lines are preliminary biostratigraphic correlations

的各个哺乳动物分期中以生物带为基础再细分生物时带的可能性和必要性。

#### 4.2 谢家期(阶)

孟津等(2006)讨论过,在铁尔斯哈巴合剖面中包含有相当于谢家阶的全部地层,其底界对应于阿基坦阶、中新统以及新近系的底界,位于剖面由下向上 40.25 m 处,年龄为 23.03 Ma。我们要进一步指出,对谢家阶底界的对比仅仅是依据 2002 年《中国区域年代地层(地质年代)表说明书》(下简称为《中国年代》)中对这些生物年代单位的抽象定义,通过古地磁的手段而不是通过生物手段来做的,因为这些生物年代单位的底界都没有明确的生物定义。正如邱铸鼎等(2006)指出,目前中国的哺乳动物期缺乏独立于生物演化序列的时间参考体系,每个生物年代单位没有明确的界定,也缺乏定义明确、特征清楚的生物组合。这在很大程度上妨碍了生物地层和生物年代的精确对比。我们认为,当前中国陆相地层生物年代体系中最大的问题在于几乎所有的生物年代单位的底界都是一个抽象概念,没有一个能够与特定岩石剖面上具体界线位置相联系的、有时间校正的明确定义。

以 NMU1 为例。NMU 是以非正式的“单位”而不是生物分带提出的(Qiu et al., 1999; 与邱占祥先生个人交流)。邓涛(2006)进一步将它们和 MN 带完全对比。比如, NMU1 的底界对应于 MN1 以及古地磁极 C6Cn. 2n 底界。但这一对比的依据并不清楚。邓涛等(2006)认为索索泉动物群可以作为谢家阶底界,也就是 NMU1 底界的最好生物标志。但 2006 年以前文献中所指的“索索泉动物群”应该相当于索-III 带化石组合(孟津等, 2006),它的底界和 MN1 底界并不能对应。邓涛(2006)认为代表 NMU1 的索索泉动物群能以首次在中国出现的 *Metaxallerix* (即 *M. junggarensis*) 作为底界标志性动物。但 *M. junggarensis* 目前确切的化石记录只见于索-III 带中。在铁尔斯哈巴合剖面上, *M. junggarensis* 出现在从底向上约 70 m 的位置上,以古地磁校正的地质时间大约是 22.4 Ma (孟津等, 2006)。如果以 *M. junggarensis* 已知的首次出现来定义 NMU1 的底界,那么,它的底界应当是 22.4 Ma, 晚于 MN1 底界,即 C6Cn. 2n 底界的时间。同理,如果以 *M. junggarensis* 已知的首次出现来定义生物年代单位谢家期的底界,那么谢家阶的底界就成了 22.4 Ma。我们仅把这个可能性提出来,谢家阶底界的选定,需要更多的讨论。我们认为,遵循多元地层划分对比的思想,既没有必要将中国的陆相生物年代单位界线和欧洲 MN 带的界线牵强地对等起来,也无须使哺乳动物分期、分带的界线与以海相地层为基础的年代地层单位界线完全一致。欧洲的哺乳动物分期、分带实际上也和海相年代地层界线不完全一致。

#### 4.3 山旺期(阶)

孟津等(2006)讨论过,在铁尔斯哈巴合剖面中与山旺阶(期)底界对应的位置,通过地磁极对比应当在剖面由下向上 89.25 m 处,其地质时间是 20.43 Ma。这条界线与 Nargolwalla et al. (2006)所用的界线吻合,与邓涛使用的界线有一定的出入(图 3)。由于山旺阶的底界定义不明确,出现这样的不一致在所难免。但依据《中国年代》,山旺阶大致可与国际地层表中的布尔迪加尔阶(Burdigalian)对比。因此,我们仍然将山旺阶底界暂时直接与布尔迪加尔阶底界对比,以与《中国年代》的定义相一致。这一对比也不是根据

生物内容。

从古地磁对比来看,铁尔斯哈巴合剖面的索索泉组含有相当于几乎全部 MN1-3 时间段的地层(孟津等,2006)。但索索泉组上半段目前采集到的化石不多。从已有的化石来看,我们目前无法将它们与欧洲的 MN1-3 直接对比。这有两种可能的解释:一是这个剖面中缺失相当的生物内容,二是这个剖面的记录代表了一个区域性的动物序列。我们更倾向于后面一种认识,并希望在以后的工作中将这个地区系统的动物分带建立起来。

铁尔斯哈巴合剖面中索索泉组与哈拉玛盖组间有沉积间断。在夺勒布勒津地点,索索泉组与哈拉玛盖组基本连续,在索索泉组近顶部的两个灰白色砂岩夹层中发现的 11 种化石均为哈拉玛盖动物群分子,但哈拉玛盖动物群中的常见分子铲齿象(*Platybelodon*)没有出现,表明时代稍早于哈拉玛盖动物群,其时代可能为中中新世最早期,但也不排除为早中新世最晚期的可能性,相当于 MN5(Ye et al., 2001a,b)。如果这样,那么铁尔斯哈巴合剖面中索索泉组与哈拉玛盖组间的间断相当于缺失了 MN4 和部分 MN5 时段,即山旺期晚期的地层,时间超过 1 Ma 的地层(图 3)。这些缺失的地层在夺勒布勒津地点可能存在。此外,顶山盐池南面的南干渠地点产出的哺乳动物群具有 MN4 或 5 时期的动物群的特点(待刊),说明这个时期的地层在这个点上也可能存在,但在铁尔斯哈巴合剖面上,同时期的地层有可能被侵蚀掉。

#### 4.4 通古尔期(阶)

上面我们已经对哈拉玛盖动物群和顶山盐池底部动物群的时代进行了讨论。两者所跨越的时代有可能从 MN5 晚期到 MN7 + 8,相当于山旺期最晚期和大部分通古尔期。此处不再重复。

#### 4.5 灞河期(阶)

灞河期目前还不是一个被广泛接受的哺乳动物分期(李传夔等,1984;邱占祥、邱铸鼎,1990;张兆群等,2002;邓涛,2006;邱铸鼎等,2006)。如果没有灞河期的划分,则保德期将跨越晚中新世一段相当长的时间(> 5 Ma)。我们目前还没有在乌伦古河流域发现相当于灞河期的生物群。从地层上看,相当的地层应当存在于顶山盐池组内。这需要有进一步的化石或古地磁证据来验证。

#### 4.6 保德期(阶)

顶山盐池组上部所含有的贺风三趾马化石表明其时代为中新世晚期或上新世。我们目前将其处理为末中新世,相当于保德期。因此,顶山盐池组中、上部地层有可能包含了 MN9-13 的沉积物。在进一步的古地磁和地层古生物工作完成前,我们只能根据已有的三趾马化石做这样的初步的估计,并在图 3 中以虚线表示。我们也注意到,根据目前的对比,顶山盐池组的厚度相对于它跨越的时间显得比较薄,可能有几种原因。一是顶山盐池组中有沉积物缺失,但从野外露头的观察我们没有发现明显的间断面。第二,可能是顶山盐池组的沉积物的沉积速率很低,有可能是成因上造成的差别,可以通过进一步的沉积学研究来澄清。第三,可能是顶部化石带年代鉴定的问题,即它可能没有我们现在认识的这

么晚。这一点也可以通过进一步的化石收集和古地磁工作来验证。

## 5 乌伦古河流域古环境

在晚渐新世—晚中新世这个时段中,全球和区域性的环境,从海相(Zachos et al., 2001)到欧洲的陆相记录(Mosbrugger et al., 2005)都比较一致地反映出以下几个方面变化:1)晚渐新世的全球温暖期;2)中新世的全球气候最佳期(Mid-Miocene Climatic Optimum);3)晚中新世后全球气候变冷(Zachos et al., 2001)(图3)。此外,这段时间也是青藏高原抬升以及受此影响的东亚季风和风成沉积物形成的关键时期。乌伦古河流域地处中亚内陆,在同一个地理区域中拥有这一时段比较连续的地层和动物群,为这些地质事件提供了十分有价值的参考。

铁尔斯哈巴合组的地层和动物群基本上形成于晚渐新世的全球温暖期到中新世第一次冰川期的过渡时期。在铁尔斯哈巴合组下部层位中,动物群很繁盛,但仍然保留了早渐新世“蒙古重建”(Meng and McKenna, 1998)以来以啮齿类、兔形类和食虫类等小哺乳动物为主要成员的格局。在渐新世—中新世界线附近,动物群分子明显减少。虽然在渐新世—中新世转换过程中哺乳动物在属一级分类单元上变化不明显,但在种一级分类单元上的差别还是十分明显的(孟津等,2006:图3)。绝大部分的渐新世种都没有越过界线。此外,从渐新世末期开始,乌伦古河流域的沉积岩岩性出现了一个明显的变化,即从始新世—渐新世以河湖相粗碎屑岩为主的浅色地层,变化到有可能含有风成沉积的红色地层。本地区动物群和沉积物的变化有可能与地区和全球气候的变化有关。这里涉及到一个有关渐新世晚期全球温暖期的争议问题。按照Zachos et al. (2001)综合各大洋深海钻探资料得出的结论,渐新世晚期全球是一个温暖期,南极冰盖缩小。但Pekar et al. (2006)认为Zachos et al. (2001)对不同洋区资料解释上存在偏差,南极冰盖在晚渐新世并未减小,而是有明显的冰期活动。因此,晚渐新世全球温暖期的看法有待进一步的验证。

根据目前所知的地层分布、岩性特征和化石内容,我们认为乌伦古河流域索索泉组和顶山盐池组都可能含有风成沉积物。但与秦安剖面比较,两个地区地层上有一个很大的差别,那就是整个秦安剖面以大体均一的风成沉积物为主体,中间没有明显的沉积物变化(Guo et al., 2002)。而在乌伦古河流域,索索泉组和顶山盐池组之间却有哈拉玛盖组这一套典型的以灰绿、灰白色为主的河湖相沉积,与上、下的地层岩性明显不同。此外,哈拉玛盖组中有大量的偶蹄类、奇蹄类、长鼻类、食肉类、灵长类,以及小哺乳动物(兔形类、啮齿类、食虫类、翼手类)等至少9个目49种化石(吴文裕,1988;齐陶,1989;叶捷,1989;陈冠芳,1988;王晓鸣等,1998;毕顺东,1999, 2000;叶捷等,2001a, b, 2005;吴文裕等,1998a, b, 2003),表明这个时期哺乳动物群十分繁盛。这一多样性很高的动物群明显反映了一种暖湿且植物繁盛的环境,与铁尔斯哈巴合组、索索泉组以及顶山盐池组中相对单调的动物群所反映的环境应当有明显的不同,也与秦安剖面上同期地层和生物群所反映的环境明显不同。如果哈拉玛盖动物群时代确实相当于MN6,它刚好位于中中新世全球气候最佳期中。这个时期是南极东部永久冰川形成前中新世的一个全球高温期,在海相

和陆相地层中都有相关的记录(Zachos et al., 2001; Mosbrugger et al., 2005)。在北美中中新世也有类似的哺乳动物群变化现象,但其原因未定(Barnosky et al., 2001; Barnosky and Carrasco, 2002)。其中一个主要原因是,Barnosky 和 Carrasco (2002)认为晚渐新世的温暖期中没有见到相应的动物群变化,所以中中新世的变化用气候变化来解释似乎不够有力。但如果前述的晚渐新世温暖期确实存在问题,那么,北美中中新世的动物群变化和气候变化的关系就可以建立起来。在中国其他地区的中中新世也有类似的变化,比如临夏盆地(邓涛等,2004;邓涛,2004, 2006; Qiu and Qiu, 1995),柴达木盆地(邓涛、王晓鸣,2004a, b),以及宁夏同心(关键,1988)。

由于各个地区动物群的确切年龄并不是很清楚,它们之间的对比很可能会有出入。但在比较了秦安剖面 and 乌伦古河流域中新世岩石地层和动物群后,我们可以得出一个初步的结论:如果地层和动物群的时代鉴定没有大的差错,那么,紧靠青藏高原东缘的秦安剖面没有表现出明显的环境以及动物群的变化,而位于青藏高原北部距离较远的北疆地区以及中国北方其他地区中新世中期却发生过明显的环境和动物群变化。我们认为中国北方的陆生哺乳动物群很有可能是受到中中新世全球气候最佳期温暖气候以及纬度分布的影响,在相对温湿和植被繁盛的环境中各种哺乳动物都得以发展,而在中新世晚期后,随着气候的进一步变冷变干,动物群组成发生了明显的变化。

从岩性和动物群来看,顶山岩池组与哈拉玛盖组有明显的差别。因此,这段地层完全有可能与晚中新世时期大约 14 Ma 前后的全球气候逐渐变冷有关。索索泉组和顶山盐池组之间也存在一些明显的差别。动物群和古地磁资料表明,索索泉组跨越了末渐新世到中中新世早期约 6 Ma 的时间。如果顶山盐池组的确跨越了中中新世中晚期到晚中新世末期,那么它所跨越的时间大约也有 6 Ma(图 3)。从动物群和沉积岩的特征来看,顶山盐池组为风成沉积的可能性要高于索索泉组。它在时代上更接近于青藏高原东北缘 14 Ma(鹿化煜等,2004)以及 11~12 Ma 的风成堆积(王先彦等,2006)。但无论是索索泉组还是顶山盐池组,如果它们的确含有风成堆积,由于其地理位置位于过去认为的中国风成堆积物的主要物源区的北边或西北边(Sun, 2002),说明这个地区的堆积物与甘肃秦安、青海后湾以及中国其他地区的风成堆积物的物源区有很大差异。这对了解亚洲内陆干旱化、沙漠化以及风成堆积的形成过程都是十分有意义的。

致谢 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所邱占祥先生对三趾马化石的鉴定提供指导并对生物年代内容的讨论提供了意见;张弥曼先生鉴定了鲤科鱼类咽喉齿化石;中国科学院地质与地球物理研究所李丰江和吴乃琴先生鉴定了腹足类化石;中国科学院南京地质古生物研究所王伟铭先生鉴定了植物化石;中国科学院地质与地球物理研究所孙继敏先生对文章的修改有重要帮助;伍少远、魏涌澎、刘丽萍、董为、金迅、冯文清、范贵忠、李岩、苏剑锋和郑新伟等先后参加野外地层调查和化石的发掘筛洗;岳其皖女士完成了标本挑选。作者在此表示诚挚的谢意。

## THE NEOGENE DINGSHANYANCHI FORMATION IN NORTHERN JUNGGAR BASIN OF XINJIANG AND ITS STRATIGRAPHIC IMPLICATIONS

MENG Jin<sup>1,2</sup> YE Jie<sup>1</sup> WU Wen-Yu<sup>1</sup> NI Xi-Jun<sup>1</sup> BI Shun-Dong<sup>3</sup>

(1 *Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044*)

(2 *American Museum of Natural History New York NY 10024 USA jmeng@amnh.org*)

(3 *Department of Biology, Indiana University of Pennsylvania Indiana PA 15705 USA*)

**Key words** Junggar Basin, Miocene, Dingshanyanchi Formation, biostratigraphy, environmental change

### Summary

A new lithological unit, the Dingshanyanchi (Dingshan Salt Lake) Formation, is established based on a set of reddish silts that is distributed in the area of Dingshan Salt Lake in the southern area of the Ulungur River, northern Junggar Basin, Xinjiang (Fig. 1). At the type locality, the Dingshanyanchi Formation measures 46.2 m in thickness, overlays the Middle Miocene Halamagai Formation, and is capped by a set of 5 m thick conglomerates of unknown age (Fig. 2). Along the escarpment, the contact between the Halamagai and Dingshanyanchi formations varies from place to place. In some areas, a hiatus is distinct between the two units, whereas in others they appear continuous. We tentatively consider that a disconformity exists between the two formations and that the hiatus, if any, does not represent a major sedimentary gap.

Within the basal beds of the Dingshanyanchi Formation, 2.3 m above the base of the formation, a fossil assemblage was collected, consisting of two dozens of species, mainly small mammals. Of the 22 small mammals, 12 are in common with the Tunggur fauna of Nei Mongol (Inner Mongolia): *Alloptox gobiensis*, *Desmatolagus* sp., *Heterosminthus orientalis*, *Protalacraga major*, *P. grabaui*, *Democricetodon lindsayi*, *D. tongi*, *Megacricetodon sinensis*, *M. pusillus*, *Plesiodipus leei*, *Miodyromys* sp., and *Keramidomys fahlbuschi*. Among identifiable larger mammals, *Anchitherium* and *Hemicyon* cf. *H. stehlini* are also present in Tunggur fauna. Faunal correlation suggests that the lower beds containing the fossil assemblage are middle to late Middle Miocene in age and are correlative to European MN7 + 8 or part of the Chinese Tunggurian. In addition to mammal fossils, 8 gastropod species were collected from the same beds, of which 6 are terrestrial species and are common taxa in the Chinese loess. The lithology and faunas indicate the aeolian origin of these red beds, or at least some of them.

The upper beds of Dingshanyanchi Formation, at the level of 12.4 m below the top of the formation, yield sparse and fragmentary fossils. The only identifiable specimens belong to *Hipparion* (*Plesiohipparion*) *houfenense*. This species, along with tooth fragments of rhinocerotids and proboscidean from the same level, suggests a *Hipparion* fauna with the age of Late Miocene Baodean or Pliocene. Fossils from the two levels indicate that the Dingshanyanchi Formation spans a time interval from the middle Middle Miocene to Late Miocene, or even Pliocene. However, the thickness of the formation appears thin in contrast to the time interval inferred from the fossils.

Previously, the Kekemaideng Formation overlying the Halamagai Formation was considered the youngest Tertiary record in the Ulungur River area. The Kekemaideng fauna consists of mainly large mammals that are correlative to those of Tunggur fauna. We interpret that the Kekemaideng Formation, which consists of primarily conglomerates, is laterally equivalent to the lower portion of the Dingshanyanchi Formation and represents a different facies that has a



more restricted geographic distribution. The macrofauna from the Kekemaideng Formation may well be attributable to its taphonomy.

The age of the Halamagai fauna has remained uncertain. Different views treat it as from MN5 to MN7 + 8, respectively. Given the superpositional relationship of the Dingshanyanchi and Halamagai formations, the Dingshanyanchi faunas provide an age constraint of being no later than MN6 for the Halamagai fauna. The age of the Halamagai fauna, which consists of fossils primarily from the lower beds of the formation, is probably equivalent to MN6, possibly plus part of MN5.

The superpositional relationships of formations from Dingshan Salt Lake and Tiersihabahe sections allow us to compose a lithological sequence in the Ulungur River area, including four units: Tiersihabahe, Suosuoquan, Halamagai and Dingshanyanchi formations (Fig. 3). The Tiersihabahe section ranges from the Late Oligocene to Middle Miocene (Meng et al., 2006), whereas the addition of the Dingshanyanchi Formation extends the sequence into the Late Miocene or Pliocene. Magnetostratigraphic work has been done at the Tiersihabahe section, but is pending at the Dingshanyanchi Formation. With the available litho-, bio- and magnetostratigraphic data, we provide a preliminary division and correlation for the composite sequence in question (Fig. 3). The work cited in Fig. 3 is only for convenience of correlation; we note that they differ in several aspects from each other and from other studies on the Chinese Neogene.

The oldest portion of this sequence is represented by the Late Oligocene (Tabenbulukian) Tiersihabahe Formation and the lowest beds of the Suosuoquan Formation. Three biozones have been recognized within the Tabenbulukian sediments and are collectively correlative to the European PM28–30. This suggests the possibility to divide the Chinese Paleogene Land Mammal Ages into biochronologic subunits.

The base of Xiejian Stage, a chronostratigraphic unit of Chinese terrestrial Neogene, is 7.25 m above the base of the Suosuoquan Formation and is correlative to the base of Miocene and Neogene. The recognition of the boundary is based on correlation of magnetic polarity obtained from the formation with the base of C6Cn. 2n, not on biological evidence, because the Xiejian Stage (Age) has not been appropriately defined by any biological marker. Similarly, the base of Shanwangian is identified at the level 56.25 m above the base of the Suosuoquan Formation in the same section, with the geomagnetic polarity age of 20.43 Ma.

The Suosuoquan Formation at the Tiersihabahe section contains beds with a time interval equivalent to MN1–3, but beds of age equivalent to MN4 and part of MN5 appear missing. This suggests that hiatus between the Suosuoquan and Halamagai formations in the Tiersihabahe section represents a gap of *ca* 1 Ma. However, a section in the vicinity of Tiersihabahe locality that has a continuous transition from the Suosuoquan Formation to the Halamagai Formation and a newly discovered fauna correlative to those of MN4 or 5 suggest that sediments deposited during the time of MN4–5 are probably present in the Ulungur River region.

The Halamagai Formation and the lower part of the Dingshanyanchi Formation probably span an interval from part of MN5 to MN7 + 8, or late Shangwangian to Tunggurian, as discussed above. The upper part of the Dingshanyanchi Formation is biostratigraphically less constrained. Based on the fossils and the continuous sequence observed in the field, it possibly represents sediments laid down during the time equivalent to MN9–13. If this is the case, the depositional rate of these beds must be very low.

The lithology and faunas from the Late Oligocene-Miocene strata in the Ulungur River area are significant in several aspects. Given the paleomagnetic and biostratigraphic calibrations available and interpreted, the Late Oligocene faunas are coincident with the Late Oligocene warming, although the faunal structure remains similar to those of the Oligocene in the Mongolian Plateau, which had been established during the Mongolian Remoulding at the Eocene-Oligocene transition. The transition from the Oligocene to Miocene does not show significant turnover of

mammals at the generic level. Many Oligocene genera survived into the Early Miocene. However, at the species level, there is a considerable turnover at the transition.

The fluvial sediments and highly diverse fauna of the Halamagai Formation are in sharp contrast to those below and above. The fauna contains 49 species from almost all Neogene mammalian groups, including primates, proboscideans, and bats. Large numbers of specimens were from ungulates, carnivoreans and small mammals. Similar Middle Miocene faunas have also been known in other areas of northern China. The fauna convincingly indicate a warm, wet environment with flourishing vegetation, probably including patches of forests. Because of its coincidence with the Mid-Miocene Climatic Optimum, we entertain a causal relationship of the Halamagai fauna with the global climate. In contrast, the Miocene Qin'an section (Guo et al., 2002) at the east rim of the Tibet Plateau displays a different record, in which there are no significant lithological and faunal changes during the Middle Miocene.

The lithology and faunas of the Suosuoquan and Dingshanyanchi formations suggest aeolian origin of the sediments, more so for the latter. If this proves to be true, the source areas must be different from the loess deposits that have been laid down in central China, and the formation of the Dingshanyanchi Formation is probably related to the global cooling starting from the late Middle Miocene.

附录:

顶山盐池组 I 剖面

剖面起始点 46°23.758'N, 87°37.668'E; 终止点 46°24.779'N, 87°37.442'E

27. 灰绿色河床相砂砾岩,砾石次圆,成分复杂,分选较差 8.5 m

-----平行不整合-----

顶山盐池组

26. 黄粉色薄层泥质细砂岩 1.5 m

25. 棕黄色钙质粉砂岩 6 m

24. 棕黄色钙质粉砂岩,断面见浸染状黑色铁锰质条纹 2.5 m

23. 泥质细砂岩 0.5 m

22. 棕黄色泥质粉砂岩,断面见浸染状黑色铁锰质条纹 3.5 m

21. 泥质细砂岩 1 m

20. 棕黄色钙质粉砂岩 1 m

19. 含砂泥质粉砂岩 0.5 m

18. 棕黄色钙质粉砂岩,断面见浸染状黑色铁锰质条纹和虫孔构造 6 m

17. 黄棕色泥质粉砂岩,断面见浸染状黑色铁锰质条纹 19 m

16. 棕色含浸染状黑色铁锰质条纹泥岩,风化地表见许多细结核,小结核直径 5-10 mm 1 m

15. 浅红色泥岩,断面见浸染状黑色铁锰质条纹 2.5 m

14. 黄棕色泥质粉砂岩,致密块状,断面见浸染状黑色铁锰质条纹 6.3 m

13. 黄棕色薄层细砂岩 0.2 m

12. 黄棕色粉砂岩,致密坚硬,断面可见零星浸染状黑色铁锰质条纹 3 m

11. 浅棕红色粉砂质泥岩,致密块状,断面可见浸染状的黑色铁锰质条纹 4.5 m

-----? 整合或平行不整合-----

哈拉玛盖组

10. 浅灰黄色中粒石英砂岩,向上变细,逐渐变为泥质细砂岩,具微层理 3 m

9. 土黄色泥质粉砂岩,较致密 2 m

8. 灰白色中细粒石英砂岩,可见较多细砾岩透镜体,其中砾石多为滚圆的泥砾 1.5 m

7. 土黄色泥质粉砂岩 3.5 m

- |   |       |
|---|-------|
| 6. 浅灰绿色云母石英细砂岩,较疏松,可见斜层理  | 1.5 m |
| 5. 浅棕黄色钙质长石英细砂岩,可见斜层理。岩性向上变粗顶部为粗砂岩                                  | 1.5 m |
| 4. 土黄色泥质粉砂岩,断面可见灰绿色细网纹。向上变细,泥质增加,颜色变暗                               | 11 m  |
| 3. 灰白色石英粗砂岩,局部夹细砾岩透镜体,可见红泥岩角砾,斜层理发育。向上有粒度变细趋势,近顶部为细砂岩               | 4.5 m |
| 2. 土黄色泥质粉砂岩,断面可见灰绿色细网纹,质地较坚硬  | 1.5 m |
| 1. 浅灰绿色中粗粒石英砂岩,局部为细砂岩、细砾岩,也可见泥岩透镜体。底部见小交错层理,上部见斜层理。该层上部泥质细砂岩中含较多的化石 | 9 m   |

-----平行不整合-----

索索泉组红色泥岩含灰绿色团块

## References

- Barnosky A D, Carrasco M A, 2002. Effects of Oligo-Miocene global climate changes on mammalian species richness in the northwestern quarter of the USA. *Evol Ecol Res*, **4**: 811–841
- Barnosky A D, Hadly E A, Bell C J, 2001. Mammalian response to global warming on varied temporal scales. *J Mammal*, **84** (2): 354–368
- Bi S D (毕顺东), 1999. *Metaxalleries* from the Early Miocene of north Junggar Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **37**(2): 140–155 (in Chinese with English summary)
- Bi S D (毕顺东), 2000. *Erinaceidae* from the Early Miocene of north Junggar Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **38**(1): 43–51 (in Chinese with English summary)
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region (BGMRXUA, 新疆维吾尔自治区地质矿产局), 1993. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Geol Mem (地质专报)*, Ser 1, **32**: 1–841 (in Chinese with English summary)
- Chen G F (陈冠芳), 1988. Remarks on the *Oioceros* species (*Bovidae*, *Artiodactyla*, *Mammalia*) from the Neogene of China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **26**(3): 157–172 (in Chinese with English summary)
- Deng T (邓涛), 2004. Establishment of the Middle Miocene Hujialiang Formation in the Linxia Basin of Gansu and its features. *J Stratigr (地层学杂志)*, **28**(4): 307–312 (in Chinese with English abstract)
- Deng T (邓涛), 2006. Chinese Neogene mammal biochronology. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **44**(2): 143–163
- Deng T (邓涛), Wang W M (王伟铭), Yue L P (岳乐平), 2006. The Xiejian Stage of the continental Miocene series in China. *J Stratigr (地层学杂志)*, **30**(4): 315–322 (in Chinese with English abstract)
- Deng T (邓涛), Wang X M (王晓鸣), 2004a. New material of the Neogene rhinocerotids from the Qaidam Basin in Qinghai, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **42**(3): 216–229 (in Chinese with English summary)
- Deng T (邓涛), Wang X M (王晓鸣), 2004b. Late Miocene *Hipparion* (*Equidae*, *Mammalia*) of eastern Qaidam Basin in Qinghai, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **42**(4): 316–333 (in Chinese with English summary)
- Deng T (邓涛), Wang X M (王晓鸣), Ni X J (倪喜军) et al., 2004. Cenozoic stratigraphic sequence of the Linxia Basin in Gansu, China and its evidence from mammal fossils. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **42**(1): 46–66 (in Chinese with English summary)
- Guan J (关键), 1988. The Miocene strata and mammals from Tongxin, Ningxia and Guanghe, Gansu. *Mem Beijing Nat Hist Mus (北京自然博物馆研究报告)*, **42**: 1–21 (in Chinese with English summary)
- Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z et al., 2002. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China. *Nature*, **416**: 159–163
- Ivanov M, Musil R, Brzobohaty R, 2006. Terrestrial and marine faunas from the Miocene deposits of the Mokrá Plateau (Dráňany Upland, Czech Republic) — impact on palaeogeography. *Beitr Paläont Österr*, **30**: 223–239
- Li C K (李传夔), Wu W Y (吴文裕), Qiu Z D (邱铸鼎), 1984. Chinese Neogene: subdivision and correlation. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **22**(3): 163–178 (in Chinese with English summary)

- Li F J (李丰江), Wu N Q (吴乃琴), Pei Y P (裴云鹏), 2005. Terrestrial mollusk evidence for the origin of a Late Tertiary loess-plaeosol sequence at Qin'An in the western Chinese loess plateau. *Quat Sci (第四纪研究)*, **25**(4): 510–515 (in Chinese)
- Lu H Y (鹿化煜), An Z S (安芷生), Wang X Y (王晓勇) et al., 2004. Geomorphologic evidence of phased uplift of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau since 14 million years ago. *Sci China (中国科学)*, Ser D, **34**(9): 855–864 (in Chinese)
- Meng J, McKenna M C, 1998. Faunal turnovers of Palaeogene mammals from the Mongolian Plateau. *Nature*, **394**: 364–367
- Meng J (孟津), Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕) et al., 2006. A recommended boundary stratotype section for Xiejian Stage from northern Junggar Basin; implications to related bio-chronostratigraphy and environmental changes. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **44**(3): 205–236 (in Chinese with English summary)
- Mosbrugger V, Utescher T, Dilcher D L, 2005. Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *PNAS*, **102**: 14964–14969
- Nargolwalla M C, Hutchison M P, Begun D R, 2006. Middle and Late Miocene terrestrial vertebrate localities and paleoenvironments in the Pannonian Basin. *Beitr Paläont Österr*, **30**: 247–260
- National Committee of Stratigraphy, China (NCSC, 全国地层委员会), 2002. Introduction to the Table of Chinese Regional Chronostratigraphy (Geochronology). Beijing: Geological Publishing House. 1–72 (in Chinese)
- Pekar S F, DeConto R M, Harwood D M, 2006. Resolving a Late Oligocene conundrum: deep-sea warming and Antarctic glaciation. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol*, **231**: 29–40
- Qi T (齐陶), 1989. Miocene carnivores from Altai Region, Xinjiang. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **27**(2): 133–139 (in Chinese with English summary)
- Qiu Z D (邱铸鼎), 1996. Middle Miocene Micromammalian Fauna from Tunggur, Nei Mongol. Beijing: Science Press. 1–216 (in Chinese with English summary)
- Qiu Z D (邱铸鼎), 2000. Insectivore, dipodoidean and lagomorph from the Middle Miocene Quantougou fauna of Lanzhou, Gansu. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **38**(4): 287–302 (in Chinese with English summary)
- Qiu Z D (邱铸鼎), 2001. Cricetid rodents from the Middle Miocene Quantougou fauna of Lanzhou, Gansu. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **39**(3): 204–214 (in English with Chinese summary)
- Qiu Z D (邱铸鼎), Wang X M (王晓鸣), Li Q (李强), 2006. Fauna succession and biochronology of the Miocene through Pliocene in Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **44**(2): 164–181
- Qiu Z X (邱占祥), Huang W L (黄为龙), Guo Z H (郭志慧), 1987. The Chinese hipparionine fossils. *Palaeont Sin (中国古生物志)*, New Ser C, **25**: 1–243 (in Chinese with English summary)
- Qiu Z X (邱占祥), Qiu Z D (邱铸鼎), 1990. Neogene local mammalian faunas: succession and ages. *J Stratigr (地层学杂志)*, **14**(4): 241–260 (in Chinese)
- Qiu Z X, Qiu Z D, 1995. Chronological sequence and subdivision of Chinese Neogene mammalian faunas. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol*, **116**: 41–70
- Qiu Z X, Wu W Y, Qiu Z D, 1999. Miocene mammal faunal sequence of China: palaeozoogeography and Eurasian relationships. In: Rössner G, Heissig K eds. *The Miocene Land Mammals of Europe*. München: Pfeil Verlag. 443–455
- Steininger F F, 1999. Chronostratigraphy, geochronology and biochronology of the Miocene “European Land Mammal Mega-Zones (ELMMZ)” and the Miocene “Mammal-Zones (MN-Zones)”. In: Rössner G, Heissig K eds. *The Miocene Land Mammals of Europe*. München: Pfeil Verlag. 9–24
- Sun J M, 2002. Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese Loess Plateau. *Earth Planet Sci Lett*, **203**: 845–859
- Tong Y S (童永生), Qi T (齐陶), Ye J (叶捷) et al., 1990. Tertiary stratigraphy of the north of Junggar Basin, Xinjiang. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **28**(1): 59–70 (in Chinese with English summary)
- Tong Y S (童永生), Qiu Z D (邱铸鼎), Zheng S H (郑绍华), 1995. Cenozoic mammal ages of China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **33**(4): 290–314 (in Chinese with English summary)

- Wang X M (王晓鸣), Ye J (叶捷), Meng J (孟津) et al., 1998. Carnivora from Middle Miocene of northern Junggar Basin, Xinjiang Autonomous Region, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **36**(3): 218–243 (in Chinese with English summary)
- Wang X Y (王先彦), Lu H Y (鹿化煜), Ji J F (季峻峰) et al., 2006. Origin of the Red Earth sequence on the northeastern Tibetan Plateau and its implications for regional aridity since the Middle Miocene. *Sci China (中国科学)*, Ser D, **36**(3): 261–272 (in Chinese)
- Wu W Y (吴文裕), 1988. The first discovery of Middle Miocene rodents from the northern Junggar Basin, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **26**(4): 250–264 (in Chinese with English summary)
- Wu W Y (吴文裕), Ye Jie (叶捷), Meng J (孟津) et al., 1998a. Progress of the study of Tertiary biostratigraphy in north Junggar Basin. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **36**(1): 24–31 (in Chinese with English summary)
- Wu W Y (吴文裕), Ye J (叶捷), Meng J (孟津) et al., 1998b. New lagomorph from the Miocene of northern Junggar Basin, Xinjiang, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **36**(4): 319–329 (in Chinese with English summary)
- Wu W Y (吴文裕), Ye J (叶捷), Meng J (孟津), 2003. The discovery of *Pliopithecus* from northern Junggar Basin of Xinjiang. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **41**(1): 76–84
- Ye J (叶捷), 1989. Middle Miocene artiodactyls from the northern Junggar Basin. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **27**(1): 37–52 (in Chinese with English summary)
- Ye J, Meng J, Wu W Y, 2003. Oligocene/Miocene beds and faunas from Tickersihabahe in the northern Junggar Basin of Xinjiang. *Bull Am Mus Nat Hist*, **279**: 568–585
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Bi S D (毕顺东) et al., 1999. A new species of *Turcocerus* from the Middle Miocene of the northern Junggar Basin. In: Wang Y Q, Deng T eds. *Proceedings of the Seventh Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. Beijing: China Ocean Press. 157–165 (in Chinese with English summary)
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Meng J (孟津), 2001a. Tertiary stratigraphy in the Ulungur River Area of the northern Junggar Basin of Xinjiang. *J Stratigr (地层学杂志)*, **25**(3): 193–200 (in Chinese with English abstract)
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Meng J (孟津), 2001b. The age of Tertiary strata and mammal faunas in Ulungur River Area of Xinjiang. *J Stratigr (地层学杂志)*, **25**(4): 283–287 (in Chinese with English abstract)
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Meng J (孟津), 2005. *Anchitherium* (Perissodactyla, Mammalia) from the Middle Miocene Halamagai Formation of northern Junggar Basin, Xinjiang. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **43**(2): 100–109 (in Chinese with English summary)
- Ye J (叶捷), Wu W Y (吴文裕), Meng J (孟津) et al., 2000. New results in the study of Tertiary biostratigraphy in the Ulungur River Region of Xinjiang, China. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **38**(3): 192–202
- Zachos J, Pagani M, Sloan L et al., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, **292**: 686–693
- Zhang Z Q (张兆群), Gentry A W, Kaakinen A et al., 2002. Land mammal faunal sequence of the Late Miocene of China: new evidence from Lantian, Shanxi Province. *Vert PalAsiat (古脊椎动物学报)*, **40**(3): 165–176