第49卷 第2期
2011年4月
古 脊 椎 动 物 学 报
VERTEBRATA PALASIATICA
pp.229-240
fig.1

甘肃董湾晚新近纪地层及中新统/上新统界线[1)]

刘丽萍 郑绍华 张兆群 王李花
(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)

摘要:古地磁测年表明,甘肃董湾晚新近纪剖面代表了7.3~3.5 Ma间的连续风成古土壤堆积。在74.8 m厚的剖面上,发现了小哺乳动物化石层位40个,共产出小哺乳动物39种。根据小哺乳动物组合特点,董湾剖面可以划分出4个生物地层带,I+II带为晚中新世晚期,相当于保德期;III+IV带为上新世早期,相当于榆社期早期。中新统/上新统界线(5.33 Ma)位于剖面距顶部35.5 m处,比以鼢鼠 *Mesosiphneus* 最早出现为标志的生物地层III带的底界低2 m。由于榆社阶底界直接对应于中新统/上新统界线,该剖面因其良好的地层和生物条件可被推荐为榆社阶界线层型的候选剖面。

关键词:甘肃董湾,晚中新世-早上新世,生物地层,榆社阶,界线层型
中图法分类号:P534.62 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-3118(2011)02-0229-12

中新世和上新世是莱伊尔(Charles Lyell)1833年根据意大利都灵地区一套约5000 m厚的海相地层中两个含现生种比例不同的瓣鳃动物群创立的。虽然这两个年代单位一直沿用至今,但莱伊尔当时并没有指定它们之间的界线,后人在他所指定的含中新世和上新世瓣鳃动物群的地层之间,又分出了代表早晚顺序的Tortonian, Messinian, Tabianian(后被Zanclean代替)和Piacenzian四个期的地层(Mayer-Eymar, 1858, 1868)。围绕着这些期或对应阶的归属,中新世(统)/上新世(统)界线问题也争执了100多年。直到Cita(1975)在研究意大利西西里地区时,提出以赞克尔期(Zanclean)的底界作为上新世的开始,才使中新世(统)/上新世(统)界线的分歧渐趋统一。最近,这条界线得到了国际地科联(IUGS)的确认(Van Couvering et al., 2000)。与海相地层相比,陆相地层的划分和对比就更加复杂。欧洲是新生代陆相地层研究最早,也是对我国影响最为深远的地区。欧洲的陆相哺乳动物化石地点多是发现在彼此孤立的盆地中,它们之间缺乏直接的地层接触关系,给地层和动物群之间的对比带来了很多混乱。造成这种混乱的一个重要原因是这一时期的哺乳动物群中通常都含有三趾马。三趾马动物群一开始就被认为代表着同一时代,称为蓬蒂期(Pontian)。在我国,由于保德地区的三趾马动物群种类最为丰富,最具代表性,因此最初也都被归入蓬蒂期,相当于后来的保德期(李传夔等,1984)。

1)国家自然科学基金项目(编号:40872018)、国家重点基础研究发展规划项目(编号:2006CB806400)和中国科学院化石发掘与修理专项资助。

收稿日期:2010-09-07

在副地中海地区命名的蓬蒂期,后被莱伊尔对比到地中海地区的中新世和上新世之间。沿用这个观点,后人将蓬蒂期和海相的 Piacenzian 期相对比,归入上新世。直到有绝对年龄测定数据后,蓬蒂期才与晚中新世的 Tortonian 期对比(Vass, 1979; Steininger and Papp, 1979)。我国以保德红土(Zdansky, 1923; Andersson, 1923)为代表的保德期也就随着蓬蒂期的变化而改为晚中新世(李传夔等,1984)。这样一来,就需要重新定义早上新世生物地层含义。在中国传统的三趾马动物群中,仅有山西静乐动物群年龄肯定比保德年轻(Teilhard de Chardin and Young, 1930), 李传夔等(1984)因此将其作为早上新世,命名了静乐期。但他们明确指出,静乐动物群的性质并不清楚,年龄有可能会比较晚。后来,在静乐红土典型地点(贺丰小红凹)三趾马红土的底部,发现了性质清楚的小哺乳动物群,证实其年代应该为上新世晚期(周晓元,1988)。这样,静乐期就失去了存在的意义。

1990 年以后,随着山西榆社盆地和甘肃灵台地区生物地层工作的开展,我国早上新世哺乳动物群的面貌才开始逐渐明朗。由于榆社盆地化石丰富、地层发育、古地磁工作基础较好,以榆社盆地为命名地点的高庄期(全国地层委员会,2001; 邓涛等,2010)或榆社期(Qiu et al.,1999; in press)就取代了静乐期,前者仅代表上新世早期,而后者代表整个上新世。目前多数意见倾向于使用榆社期(Qiu et al., in press),本文采用了这一观点。作为生物地层工作的一个重要任务,榆社阶底界的界线层型至今仍然无法确定。这是因为榆社期的命名地区——榆社盆地虽然有性质比较清楚的动物群,但其所依附的地层高庄组是一套粉砂岩为主的河湖相沉积,与其上的麻则沟组和其下的马会组之间都为不整合接触,高庄组本身也有一个很长的沉积间断;同时按照古地磁确定的中新世/上新世界线附近还没有发现任何化石(Tedford et al., 1991; Flynn et al., 1995, 1997; Qiu et al., in press)。因此,如果按国际地层委员会对界线层型的要求来看,榆社盆地从地层发育到化石分布条件都不理想。另一个化石比较富集、地层条件较好、有古地磁测年的甘肃灵台文王沟剖面,同样在中新世最晚期和上新世最早期有沉积间断,且化石相对较少(郑绍华、张兆群,2001), 也不具备作为界线层型剖面的基本条件。按照国际地层委员会的要求,界线层型应该选择在一个沉积连续、构造简单、化石丰富的剖面上,同时满足这些条件的剖面,在我国并不多见。

最近在甘肃秦安发现的董湾剖面非常符合这些条件。这套 70 余米厚的红色风成古土壤堆积,包含了相当于地磁极时间表中 C3Br. 1n 到 C2An. 3n 之间所有古地磁磁极带(Hao and Guo, 2004), 涵盖了 7.3 ~3.5 Ma 的时间范围(Gradstein et al., 2004)。因此,该剖面包含了中新统/上新统的界线,也就是榆社阶的底界。董湾剖面除了连续沉积的地层和精细的古地磁工作外,还在多个层位上发现了小哺乳动物化石(Hao and Guo, 2004)。这些条件与国际地层委员会对界线层型的要求非常接近。

但董湾剖面最初获得的化石不论种类还是数量都很少,要建立生物地层序列和确定榆社阶的底界还远远不够。2007, 2009 和 2010 年三个野外季度,我们对该剖面地层进行了重新观测,并采用筛洗法和直接剥离粘土法系统采集了一大批小哺乳动物化石。这些化石分布在剖面 40 个不同水平层位,种类达到 39 种。同一剖面上化石分布密度如此之大,在我国红粘土剖面中是罕见的。除了小哺乳动物、蜥蜴和蜗牛化石外,该剖面没有发现任何大哺乳动物化石。小哺乳动物化石多数为零散牙齿,但也有下颌、上颌和部分头骨材料。

本文的目的是对这三个年度及之前郝青振等(Hao and Guo, 2004)采集到的小哺乳动物化石种类及其在剖面上的分布予以综合报道,并结合岩石地层学、磁性地层学和古生物学,探讨榆社阶界线层型的确立问题。

1　地层划分和剖面描述

剖面位于秦安县莲花乡董湾村附近,从县城通往董湾村公路边的深沟处(34°58′N, 105°47′E)。最上部被黄土覆盖,出露不好。剖面 1 ~ 20 层为郝青振等(Hao and Guo, 2004)进行古地磁测量的部分,0 层为其下一段含化石层,顶部以一薄层细砾岩和上部地层相隔。本文 1 ~ 20 层的古地磁根据剖面深度直接采用郝青振等(Hao and Guo, 2004)的研究结果。这套红粘土剖面至少可以识别出 82 个古土壤旋回(红色淋滤层和灰白色钙质淀积层), 为简便起见,根据剖面钙结核层厚度及发育程度的差异,从上向下分为 21(0 ~ 20)个层进行描述:

20. 黄土覆盖,出露差,多套浅灰白色钙结核层和棕红色粉砂质粘土层交替互层的古土壤旋回。从古地磁采样的探槽中采集到 *Ochotonoma* n. sp. 2 和 *Mesosiphneus praetingi*　9.7 m
19. 4 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层较为松散,中部产 *Ochotonoma* n. sp. 2, *Chardinomys nihowanicus*, *Mesosiphneus praetingi*, *Pliosiphneus lyratus* 和 *Chardina truncatus*　6.85 m
18. 10 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层胶结强,成层性好,每套旋回的厚度相差不大,呈现出很好的韵律性,底部和中部产 *Mesosiphneus praetingi*　4.65 m
17. 两套薄层灰白色钙结核层与略厚的棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层胶结强,成层性好,产 *Chardina truncatus*　1.3 m
16. 10 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核胶结差,比较松散,下部和中部产 *Mimomys* sp., *Erinaceus* sp., *Parasoriculus* sp., *Ochotona minor*, *O. lingtaica*, *Ochotonoma* n. sp. 2, *Cricetinus mesolophidus*, *Sinotamias* n. sp., *Mesosiphneus* sp., *Apodemus* sp., *Chardinomys* sp., *Pseudomeriones abbreviatus*, *P. complicidens*, *Trischizolagus mirificus*, *Chardina truncatus*, *C. sinensis*, *Sinocricetus zdanskyi* 和 *Chardinomys yusheensis*　6.4 m
15. 7 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层胶结强,成层性好,下部产 *Sinocricetus zdanskyi*, *Chardina sinensis*, *Mesosiphneus* sp., *Pliosiphneus lyratus*, *Cricetinus mesolophidus* 和 *Ochotona lingtaica*　4.6 m
14. 6 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,下部和上部产 *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis*, *Ochotona plicodenta*, *O. gracilis*, *Ochotonoma primitiva*, *Ochotonoma* n. sp. 2, *Sinocricetus zdanskyi*, *Sicista* sp., *Parasoriculus* sp., *Prosiphneus eriksoni*, *Sulimskia* sp., *Chardinomys* sp., *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi* 和 *Apodemus* sp.　4.9 m
13. 6 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层薄,胶结好,成层性好,含 *Prosiphneus eriksoni*　5.8 m
12. 6 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层较为松散,下部和上部产 *Ochotona plicodenta*, *Prosiphneus eriksoni* 和 *Chardina* n. sp.　4.8 m

11. 5 套薄层灰白色钙结核层与薄层棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,产 *Ochotonoma* n. sp. 2, *Allorattus* sp. 和 *Prosiphneus eriksoni* 2.1 m
10. 3 套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,中、上部产 *Prospermophilus orientalis*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Ochotona gracilis*, *Ochotonoma primitiva* 和 *Prosiphneus eriksoni* 3.2 m
9. 5 套薄层灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层较为致密,中部粘土岩中产 *Ochotonoma primitiva*, *Prospermophilus orientalis*, *Prosiphneus eriksoni* 和 *Sinocricetus zdanskyi* 2.6 m
8. 两套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层较薄,胶结松散,粘土层较厚,粘土层中产 *Ochotona gracilis*, *Hansdebruijnia pusillus* 和 *Prosiphneus eriksoni* 2.3 m
7. 3 套厚层灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,中间粘土层产 *Quyania chowi*, *Ochotonoma primitiva*, *Ochotona minor*, *O. lagreli*, *Prospermophilus orientalis*, *Sinocricetus zdanskyi*, *Sicista* sp., *Prosiphneus tianzuensis* 和 *Pseudomeriones abbreviatus* 3.4 m
6. 两套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核层较薄,结构致密,下层粘土中铁锰斑点在局部集中,见完整蜗牛化石,含大量细小钙质管状结晶,上部粉砂岩顶部颜色较暗,含细的水平纹层 1.3 m
5. 两套灰白色钙结核层与棕红色粉砂质粘土岩交替互层的古土壤旋回,钙结核较为松散,含铁锰质斑点,局部见完整蜗牛化石,含 *Pseudomeriones abbreviatus* 3.1 m
4. 3 套灰白色钙结核层与浅棕红色粘土质粉砂岩交替互层的古土壤旋回,本旋回的结核层较薄,胶结较强,含 *Prosiphneus licenti* 2 m
3. 两套灰白色钙结核层与浅棕红色粘土质粉砂岩交替互层的古土壤旋回,下部钙结核层厚 40 cm, 钙质胶结强,风化面突出于浅红色粘土质粉砂岩之上,成层性好,可做标志层。粉砂岩中含 *Quyania chowi*, *Ochotonoma* n. sp. 1, *Ochotona lagreli*, *Prosiphneus licenti* 和 *Pseudomeriones abbreviatus* 1.2 m
2. 4 套由灰白色钙结核层与浅红色粉砂质粘土岩交替互层构成的古土壤旋回,钙结核层较薄,比较松散 2.9 m
1. 浅棕红色粘土质粉砂岩,含铁锰质斑点,分布不均匀。产 *Ochotonoma* n. sp. 1, *Ochotona minor*, *Prospermophilus orientalis*, *Prosiphneus licenti*, *Hansdebruijnia pusillus* 和 *Pseudomeriones abbreviatus* 0.6 m
0. 浅灰色湖相沉积和浅红色土壤混合层。局部有细水平纹层,浅红色土壤中有细砾石,砾石大小混杂,粒径 2 mm ~ 1.5 cm, 下部未见底,产 *Lophocricetus grabaui*, ? *Kowalskia* sp. 和 *Pseudomeriones abbreviatus* 1.1 m

2 生物地层分带与年代范围

董湾剖面共发现化石小哺乳动物(包括猬形类、食虫类、兔形类和啮齿类)总计 39 个种类(图 1)。根据小哺乳动物化石在地层中的分布,可以将董湾剖面从下而上划分为 4 个生物带。

I 带 地层层位 0 ~ 7 层,厚 15.6 m。起点对应于古地磁极性带 C3Br. 1n 的顶部,顶

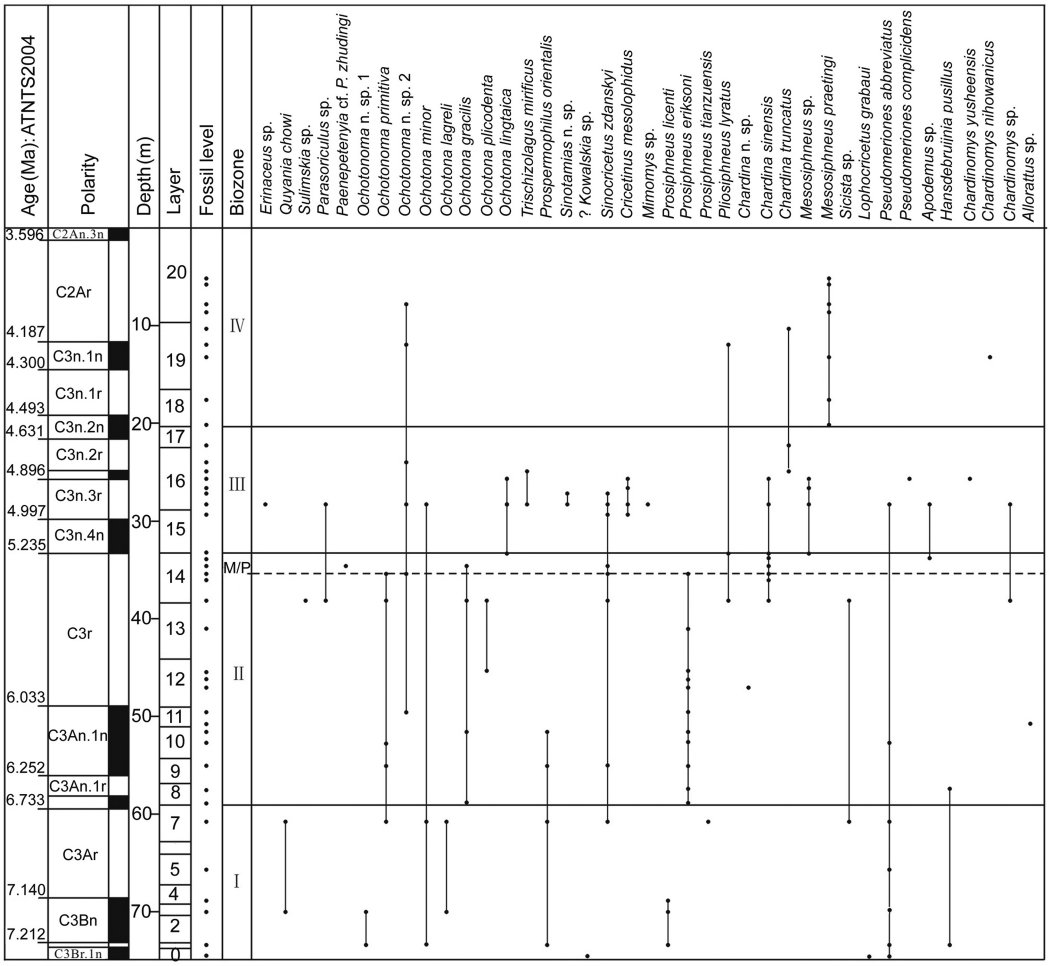

图 1　董湾剖面磁性地层(依据 Hao and Guo, 2004)、生物地层、中新统/上新统(M/P)界线及小哺乳动物化石分布

Fig. 1　Magnetostratigraphy (following Hao and Guo, 2004), biostratigraphy, small mammals of Dongwan section and the boundary of Miocene/Pliocene (M/P)

点位于 C3An. 2n 的下部,年代范围 7.3 ~6.5 Ma (Gradstein et al., 2004)。小哺乳动物组合由 *Quyania chowi*, *Ochotonoma* n. sp. 1, *O. primitiva*, *Ochotona minor*, *O. lagreli*, *Sicista* sp., *Prospermophilus orientalis*, *Sinocricetus zdanskyi*, ? *Kowalskia* sp., *Prosiphneus licenti*, *P. tianzuensis*, *Lophocricetus grabaui*, *Pseudomeriones abbreviatus* 和 *Hansdebruijnia pusillus* 等 11 属 14 种构成。

该动物组合总体表现出中国北方晚中新世-上新世小哺乳动物组成的典型特点,以鼠兔 *Ochotona*, 仓鼠 *Sinocricetus*, *Kowalskia* 和 *Prosiphneus*, 林跳鼠 *Lophocricetus*, 以及地松鼠 *Prospermophilus* 等为主体,鼢鼠为原始的凸枕型类型。在属级分类单元上,*Ochotona*, *Prosiphneus*和 *Lophocricetus* 最早出现在晚中新世早期的阿木乌苏动物群(Qiu et al., 2006)和

灞河动物群(Qiu et al., 2008), 但 *Lophocricetus grabaui* 比灞河动物群中的 *L. xianensis* 要明显进步(Qiu et al., 2008), 并且没有发现灞河组中的原始鼠科类型 *Progonomys*。该组合出现的 *Ochotonoma*, *Prospermophilus*, *Pseudomeriones* 和 *Hansdebruijnia*, 都是晚中新世晚期以后才出现的新类型。因此,该生物带从动物组合上虽然与灞河期动物群有一定的连续性,但明显要进步。

Prosiphneus licenti 在蓝田组底部(Zhang et al., in press), *Hansdebruijnia* 在保德地区的杨家沟、冀家沟和戴家沟的出现(Kaakinen et al., in press), 说明这个生物组合和保德期动物组成最接近。最新的古地磁结果表明保德地区下部的化石层位,如陈家峁沟(108 地点)的年龄为 6.5 Ma, 杨木沟(49 地点)的年龄为 7 Ma, 都在本组合的年代范围内,而上部 30 地点的年龄(5.7 Ma)可能比本组合要晚(Kaakinen et al., in press)。I 带中生存年限比较确定的是桑氏原鼢鼠 *Prosiphneus licenti*。在另一个具有比较精确古地磁测年的秦安 QA-II 剖面,*P. licenti* 最早出现于 7.6 Ma, 最晚出现于 6.5 Ma (Guo et al., 2002; 郑绍华等,2004), 和本组合的分布时限一致,因此,*P. licenti* 可以作为本组合带的指示化石。根据 *P. licenti* 的存在,甘肃庆阳附近的教子川赵家岔(115 地点)或辛家沟(116 地点)(Andersson, 1923; Teilhard de Chardin, 1926)的时代也落在本生物带的时间范围内。内蒙古阿巴嘎旗宝格达乌拉(Baogedawula)动物群(Qiu et al., 2006)顶部玄武岩年龄为 7.11 Ma, 也应该属于这个生物带的范围,两者共同的种类有 *Ochotona* cf. *O. lagreli*, *Prosiphneus*, *Hansdebruijnia pusillus* 和 *Kowalskia* sp.。此外,灵台 I 带与本带可以对比的种类有 *Ochotona lagreli*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Sinocricetus zdanskyi* 和 *Hansdebruijnia pusillus* (郑绍华、张兆群,2001), 甘肃天祝松山第一点(郑绍华、李毅,1982)和本带相同的种有 *Ochotonoma primitiva* 和 *Prosiphneus tianzuensis*, 说明它们的年代可能也在本带的范围内。

II 带包括 8 ~ 14 层,厚 25.7 m。古地磁极性带从 C3An. 2n 的下部至 C3n. 4n (Thvera)的底界,年代范围 6.5 ~ 5.24 Ma (Gradstein et al., 2004)。动物组合由 *Sulimskia* sp., *Parasoriculus* sp., *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi*, *Ochotonoma primitiva*, *Ochotonoma* n. sp. 2, *Ochotona minor*, *O. gracilis*, *O. plicodenta*, *Prospermophilus orientalis*, *Sinocricetus zdanskyi*, *Prosiphneus eriksoni*, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina* n. sp., *Chardina sinensis*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Sicista* sp., *Apodemus* sp., *Hansdebruijnia pusillus*, *Chardinomys* sp. 和 *Allorattus* sp. 等 15 属 20 种构成,其中 *Ochotonoma primitiva*, *Prospermophilus orientalis*, *Sicista* sp. 和 *Hansdebruijnia pusillus* 从 I 带延续至本带并最后消失;*Prosiphneus eriksoni*, *Sulimskia* sp., *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi*, *Ochotona gracilis*, *O. plicodenta*, *Chardina* n. sp. 和 *Allorattus* sp. 等 7 个种类只在本带出现。本带以 *Prosiphneus eriksoni* 的最早出现为标志。

该组合和 I 带有较强的继承性,鼢鼠类依然以凸枕型占优势,但明显的变化是在中、晚期出现了凹枕型鼢鼠 *Chardina* n. sp. 和 *C. sinensis*。尽管 *Chardina* 在甘肃灵台、内蒙古高特格和河北泥河湾上新世地层中都有发现(郑绍华、张兆群,2001; 李强等,2003; 张兆群等,2003), 但在董湾剖面最早出现在 II 带的中部,相对应的古地磁年龄为 5.8 Ma, 是目前该属在我国最早的化石记录。该材料特征比较原始,代表了一种新的早期类型。*Chardina sinensis* 最早发现于剖面 38.5 m 处,相应的年龄是 5.4 Ma 左右,比灵台的最早记录 4.8 Ma(郑绍华、张兆群,2001)略早。

Prosiphneus eriksoni 在二登图动物群和灵台雷家河动物群中都已经出现,在雷家河剖面大约出现在 4.9 Ma 左右(郑绍华、张兆群,2001)。在董湾剖面,*P. eriksoni* 最早出现于 59 m 处,最晚发现于剖面 35.5 m 处(Hao and Guo, 2004),对应的古地磁年龄为 6.5 ~ 5.3 Ma,因此 *P. eriksoni* 的生存时限比过去了解的(郑绍华、张兆群,2001;郑绍华等,2004)要早很多。二登图动物群(Qiu et al., 2006)和哈尔鄂博动物群(Fahlbusch et al., 1983)与本带可以对比的种类有 *Sinocricetus zdanskyi*, *Pseudomeriones abbreviatus* 和 *Prosiphneus eriksoni*,特别是 *P. eriksoni* 只发现在本带,因此这两个动物群的年龄都应该在本生物带的年代范围之内。灵台 II 带中出现了与 *P. eriksoni* 演化接近的 *P. murinus*,也含有本带中的 *Pseudomeriones abbreviatus*, *Sinocricetus zdanskyi* 和 *Hansdebruijnia pusillus* (郑绍华、张兆群,2001),这两个生物带应该可以对比。榆社盆地的马会组-高庄组动物组合(Flynn et al., 1997)中含有 *Prosiphneus murinus* 和 *Pseudomeriones abbreviatus*,年代也应该在本生物带的范围中。

III 带 含 15 ~ 17 层,厚 12.3 m。古地磁极性带从 C3n.4n 底界至 C3n.2n (Nunivak)上部,年代范围 5.24 ~ 4.55 Ma (Gradstein et al., 2004)。动物组合由 *Erinaceus* sp., *Parasoriculus* sp., *Ochotonoma* n. sp.2, *Ochotona minor*, *O. lingtaica*, *Trischizolagus mirificus*, *Sinotamias* n. sp., *Sinocricetus zdanskyi*, *Cricetinus mesolophidus*, *Mimomys teilhardi*, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis*, *C. truncatus*, *Mesosiphneus* sp., *Pseudomeriones abbreviatus*, *P. complicidens*, *Chardinomys yushe-ensis*, *Chardinomy* sp. 和 *Apodemus* sp. 等 15 属、19 种构成。其中,从 II 带延续上来的种有 9 个,包括 *Parasoriculus* sp., *Ochotonoma* n. sp.2, *O. minor*, *Sinocricetus zdanskyi*, *Chardina sinensis*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Apodemus* sp., *Chardinomys* sp. 和 *Pliosiphneus lyratus*,其余 10 个种类在本带首次出现。本带以 *Mesosiphneus* sp. 的首次出现为标志。

和 II 带相比,本带一半的种类为新类型,生物组成发生了明显的改变。不但凹枕型鼢鼠 *Chardina* 和 *Mesosiphneus* 取代了凸枕型鼢鼠 *Prosiphneus* 的优势地位,还出现了 *Cricetinus mesolophidus*, *Mimomys teilhardi*, *Chardina truncatus*, *Pseudomeriones complicidens* 和 *Chardinomys yusheensis* 等典型上新世的分子。

Pseudomeriones complicidens 和 *Chardinomys yusheensis* 最早出现于剖面 26 m 处,对应的古地磁年龄为 4.88 Ma;*Trischizolagus mirificus*, *Cricetinus mesolophidus* 和 *Mimomys teilhardi* 最早出现于 28 m 处,对应的古地磁年龄为 4.95 Ma;*Chardina truncatus* 最早出现于 25.2 m 处,对应的古地磁年龄为 4.85 Ma。这是我国目前在连续剖面上发现的最早的上新世生物组合,这个组合带对了解我国早上新世的小哺乳动物组成意义重大,可以为其他孤立或短时限剖面的动物群年代对比提供可靠依据。根据磁性地层学资料,在榆社盆地,上新世起点位于高庄组的桃阳段中,但桃阳段中化石非常贫乏(Flynn et al., 1997),在灵台综合剖面,上新世最早期为一套砾岩,其中没有发现化石(郑绍华、张兆群,2001)。

比例克动物群(Qiu and Storch, 2000)和本带相同的种类有 *Pseudomeriones abbreviatus*, *Trischizolagus mirificus*, *Ochotona minor*, *Apodemus*, *Pliosiphneus lyratus* 和 *Chardinomys yusheensis*。因为 *Pseudomeriones abbreviatus* 和 *Ochotona minor* 在本带最晚出现,而 *Chardinomys yusheensis* 在本带最早出现,所以比例克动物群应该对应到本生物带中。同样原因,高特

格动物群(李强等,2003)、灵台 III 和 IV 带(郑绍华、张兆群,2001),以及泥河湾壶流河化石组合(张兆群等,2003)因为有 *Pseudomeriones abbreviatus*, *Chardinomys yusheensis* 和 *Pliosiphneus lyratus* 的缘故,也应该属于本生物带。榆社南庄沟和醋柳沟段组合(Flynn et al., 1997)与本带相同的种类有 *Chardinomys yusheensis*, *Chardina truncatus*, *Cricetinus mesolophidus* 和 *Apodemus*, 也应该在本带的年代范围内。

IV 带 本带地层层位为 18 ~20 层,起点对应于古地磁极性带 C3n. 2n 的上部,顶点位于本剖面的顶部,C2An. 3n 下部,厚 21. 2 m, 对应的年代是 4. 55 ~3. 5 Ma (Gradstein et al., 2004)。动物组合由 *Ochotonoma* n. sp. 2, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina truncatus*, *Mesosiphneus praetingi* 和 *Chadinomys nihowanicus* 等 5 属、5 种构成。

Ochotonoma n. sp., *Pliosiphneus lyratus* 和 *Chardina truncatus* 由 III 带延续到本带,*Mesosiphneus praetingi* 和 *Chardinomys nihowanicus* 在本带首次出现。本带以 *Mesosiphneus praetingi* 的首次出现为标志,以凹枕型鼢鼠 *Chardina truncatus* 和 *Mesosiphneus praetingi* 相伴生为特征。

Mesosiphneus praetingi 在灵台、榆社和泥河湾都发现于上新世晚期的沉积中(郑绍华、张兆群,2001;李强等,2008), 因此,董湾的 *M. praetingi* 是目前最早的化石记录。*Chardinomys nihowanicus* 也是泥河湾和灵台上新世晚期的典型分子(郑绍华、张兆群,2001; 李强等,2008), 在董湾剖面首次出现于剖面 14 m 处,相当于 4. 25 Ma 左右,也比以前所知的要早。由于本带地层出露不好,发现的化石非常有限,暂不讨论与其他动物群的对比,但 *M. praetingi* 和 *C. nihowanicus* 在本剖面的首次出现都早于过去的资料,因此可以推测,一些传统上的"晚上新世动物群"有可能年龄较早。

3 中新统/上新统界线-榆社阶底界的讨论

2008 年发表的国际地层年表中,中新统/上新统的界线以海相梅辛阶(Messinian)和赞克尔阶(Zanclean)的界线为准,赞克尔阶的底界位于 C3r 地磁极性带之顶,特拜拉(Thvera)正极性年代亚带(C3n. 4n)之前约 100 ka 处,天文年代学的年龄值为 5. 332 Ma(章森桂等,2009)。

在我国,榆社期代表上新世,其底界和海相中新统/上新统的界线对应。按古地磁年龄推算,董湾剖面中新统/上新统界线位于剖面距顶部 35. 5 m 处,或 14 层的上部,比生物地层带 II 和 III 带的界线低 2 m 左右(图 1)。这条界线是 *Prosiphneus eriksoni* 和 *Ochotonoma primitiva* 最后出现的层位,其上 1 ~2. 5 m 处 *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi*, *Apodemus* sp., *Ochotona lingtaica* 和 *Mesosiphneus* sp. 首次出现,其下约 3 m, *Parasoriculus* sp., *Sulimskia* sp., *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis* 和 *Chardinomys* sp. 首次出现,*Ochotona plicodenta* 和 *Sicista* sp. 最后出现。因此,在界线附近具有多个生物标志。

在董湾剖面,中新统/上新统界线附近 *Prosiphneus eriksoni* 和 *Ochotonoma primitiva* 最后消失,*Ochotona lingtaica* 和 *Mesosiphneus* sp. 最早出现。*Ochotona lingtaica* 和 *Ochotonoma primitiva* 是否真的代表各自最早或最晚的记录,还有待今后证明。但就目前的记录看,

Mesosiphneus 在灵台和榆社的最早记录都比董湾要晚很多,董湾的 *Mesosiphneus* sp. 在形态上也显得最为原始,因此,董湾的 *Mesosiphneus* 代表了该属目前最早的化石记录。*Prosiphneus eriksoni* 最晚的化石记录也可以基本肯定,因为除了在内蒙古二登图地点(保德期)外,目前还没有任何地点发现和报道过凸枕型 *Prosiphneus eriksoni* (Schlosser, 1924)。尽管以该种名记述过山西保德火山沙湾子附近的材料(Teilhard de Chardin and Young, 1931)以及陕西陇县白牛峪(Peiniuyu)的材料(Mi, 1943),但它们似应属凹枕型鼢鼠中的 *Chardina truncatus* (郑绍华,1997)。

哺乳动物所反映的环境变化也较为明显。就整个剖面而言,晚中新世-上新世期间当地应是以草原环境为主、间有局部林地和荒漠化现象。但根据臼齿带牙根鼢鼠类从低冠向高冠的进化过程(郑绍华,1994, 1997; 郑绍华等,2004)判断,该剖面从早到晚反映出的气候环境应是逐渐从相对湿润到相对干旱的演变过程。就中新统/上新统界线附近而言,凸枕型鼢鼠中的 *Pliosiphneus lyratus* 逐渐替代了晚中新世的 *Prosiphneus eriksoni*; 凹枕型鼢鼠中的 *Chardina* 已进化到 *C. sinensis* 阶段并成为跨越晚中新世进入早上新世的种;凹枕型鼢鼠从上新世开始迅速占据了鼢鼠类中的优势地位,特别是 *Mesosiphneus* sp. 在上新世初的突然出现表明,从中新世到上新世的环境转变是一个较明显的突变过程。

通过上述分析不难看出,董湾剖面具有地层岩性单一且沉积连续、有完整古地磁年代记录、小哺乳动物种类较多且一些种类进化线路清晰和哺乳动物指示的环境明显等优势,是中国已知的任何剖面都无可比拟的。这些条件符合《国际地层指南》对界线层型剖面的基本要求,因此可推荐为榆社阶界线层型一个非常有前景的候选剖面。

4　初步结论

(1) 根据磁性年代学及小哺乳动物组合,董湾剖面从下到上的 21 层可分为 4 个生物地层带:I 带(0 ~ 7 层)7.3 ~ 6.5 Ma, II 带(8 ~ 14 层)6.5 ~ 5.24 Ma, III 带(15 ~ 17 层)5.24 ~ 4.55 Ma, IV 带(18 ~ 20 层)4.55 ~ 3.5 Ma; I+II 带相当于晚中新世保德期,III+IV 带相当于上新世榆社期早期。

(2) 董湾剖面是我国目前已知的晚中新世-早上新世沉积最为连续(几乎连续的风成堆积)、含小哺乳动物化石最为丰富(39 种)、具有古地磁测年(约 7.3 ~ 3.5 Ma)和指示环境变化明晰(鼢鼠类属种转换速率快)的较为典型的剖面,可推荐为榆社阶界线层型的候选剖面。

致谢　中科院地质与地球物理研究所郭正堂研究员和郝青振、葛俊逸博士提供了野外工作指导和原始的地层资料。中科院古脊椎动物与古人类研究所邱占祥院士、邱铸鼎和邓涛研究员对本文写作的有关问题提供了建设性意见;高级工程师周伟参加野外发掘和化石修理;曹仁荒、李录、王少彬、向本霞、刘恋、李浩、唐辉、黄明和边晨曦参加了野外化石采集,作者在此一并深表谢意。

LATE MIOCENE-EARLY PLIOCENE BIOSTRATIGRAPHY AND MIOCENE/PLIOCENE BOUNDARY IN THE DONGWAN SECTION, GANSU

LIU Li-Ping ZHENG Shao-Hua ZHANG Zhao-Qun WANG Li-Hua
(*Key Laboratory of Evolutionary Systematics of Vertebrates*, *Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology*, *Chinese Academy of Sciences* Beijing 100044 liuliping@ ivpp. ac. cn)

Key words Dongwan, Gansu; Late Miocene-Early Pliocene; biostratigraphy; stratotype of Yushean Stage

Summary

The Dongwan section is located near Dongwan Village, Qin'an County, Gansu Province (34°58′N, 105°47′E). The section is a continuous eolian red clay sequence and is dated from 7.3 to 3.5 Ma by paleomagnetic study. The 74.8 m long section is divided into 21 layers (0 to 20) and 39 species of small mammals are found from 40 fossil levels. Based on faunal composition of small mammals, especially the myospalacines, four biozones are recognized.

Biozone I covers layers 0 ~ 7, ranges magnetic polarities from upper part of C3Br. 1n to the lower part of C3An. 2n, and spans from 7.3 to 6.5 Ma. The mammals found in this biozone include *Quyania chowi*, *Ochotonoma* n. sp. 1, *O. primitiva*, *Ochotona minor*, *O. lagreli*, *Sicista* sp., *Prospermophilus orientalis*, *Sinocricetus zdanskyi*, ? *Kowalskia* sp., *Prosiphneus licenti*, *P. tianzuensis*, *Lophocricetus grabaui*, *Pseudomeriones abbreviatus*, and *Hansdebruijnia pusillus*.

Biozone II covers layers 8 ~ 14. It ranges from the lower part of polarity zone C3An. 2n to the base of C3n. 4n, and has a time span from 6.5 to 5.24 Ma. The fossils found in this biozone include *Sulimskia* sp., *Parasoriculus* sp., *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi*, *Ochotonoma* n. sp. 2, *O. primitiva*, *Ochotona minor*, *O. gracilis*, *O. plicodenta*, *Prospermophilus orientalis*, *Sinocricetus zdanskyi*, *Prosiphneus eriksoni*, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina* n. sp., *C. sinensis*, *Pseudomeriones abbreviatus*, *Sicista* sp., *Apodemus* sp., *Hansdebruijnia pusillus*, *Chardinomys* sp., and *Allorattus* sp. The beginning of biozone II is marked by the first appearance of *Prosiphneus eriksoni* in the depth of 59 m.

Biozone III covers layers 15 ~ 17, ranges from the base of C3n. 4n to the upper part of C3n. 2n (Nunivak), and spans the time from 5.24 to 4.55 Ma. Fossils found in this biozone include *Erinaceus* sp., *Parasoriculus* sp., *Ochotonoma* n. sp. 2, *Ochotona minor*, *O. lingtaica*, *Trischizolagus mirificus*, *Sinotamias* n. sp., *Sinocricetus zdanskyi*, *Cricetinus mesolophidus*, *Mimomys teilhardi*, *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis*, *C. truncatus*, *Mesosiphneus* sp., *Pseudomeriones abbreviatus*, *P. complicidens*, *Chardinomys* sp., *C. yusheensis*, and *Apodemus* sp. The beginning of biozone III is marked by the first appearance of *Mesosiphneus* sp. at 35.5 m.

Biozone IV covers layers 18 ~ 20, ranges from the upper part of C3n. 2n to the top of the section, and has a time span from 4.55 to 3.5 Ma. The small mammals found in this biozone include *Ochotonoma* n. sp. 2, *Pliosiphneus lyratus*, *Mesosiphneus praetingi*, *Chardina truncatus*, and *Chardinomys nihowanicus*. The first appearance of *Mesosiphneus praetingi* at the depth of 20.4 m marks the beginning of this biozone.

Biozone I and II are correlated to the late Late Miocene, equivalent to Baodean, while biozone III and IV are correlated to the early Pliocene, equivalent to early Yushean. According to the paleomagnetic study, the boundary of Miocene/Pliocene (5.33 Ma) is located at the depth of 35.5 m of the section, and coincides with the last appearances of *Prosiphneus eriksoni* and *Ochotonoma primitiva*. The Miocene/Pliocene boundary is 2 meters lower than the boundary between biozone II and III, which is marked by the earliest appearance of *Mesosiphneus* sp. Except *Mesosiphneus* sp., the earliest records of *Paenepetenyia* cf. *P. zhudingi*, *Apodemus* sp. and *Ochotona lingtaica* are also found closely above the boundary (1 ~ 2.5 meters). About 3 meters

below the boundary, *Parasoriculus* sp., *Sulimskia* sp., *Pliosiphneus lyratus*, *Chardina sinensis* and *Chardinomys* sp. appear, and *O. plicodenta* and *Sicista* sp. disappear. The continuous sequence and high density of fossil levels qualify the section as a candidate stratotype section of Yushean Stage.

References

Andersson J G, 1923. Essays on the Cenozoic of northern China. Mem Geol Surv China, Ser A, (3): 1-152

Cita M B, 1975. The Miocene-Pliocene boundary: history and definition. In: Saito T, Burckle L D eds. Late Neogene Epoch Boundaries. New York: Micropaleontology Press. 1-30

Deng T(邓涛), Hou S K(侯素宽), Wang T M(王太明) et al., 2010. The Gaozhuangian Stage of the continental Pliocene Series in China. J Stratigr, **34**(3): 226-239

Fahlbusch V, Qiu Z D, Storch G, 1983. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Nei Mongol, China. 1. Report on field work in 1980 and preliminary results. Sci Sin, Ser B, **26**: 205-224

Flynn L, Qiu Z X, Opdyke N D et al., 1995. Ages of key fossil assemblages in the late Neogene terrestrial record of northern China. In: Berggren W, Kent D, Aubry M P et al. eds. Geochronology, Time Scale, and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Spec Publ, **54**: 365-373

Flynn L, Wu W Y, Downs W, 1997. Dating vertebrate microfaunas in the late Neogene record in northern China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, **133**: 227-242

Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, 2004. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge University Press. 1-589

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

Hao Q Z, Guo Z T, 2004. Magnetostratigraphy of a late Miocene-Pliocene loess-soil sequence in the western Loess Plateau in China. Geophys Res Lett, **31**: 1-4

Kaakinen A, Passey B, Zhang Z Q et al. (in press). Stratigraphy and paleoecology of the classical dragon bone localities of Baode County, Shaanxi Province. In: Wang X M, Flynn L J, Fortelius M eds. Neogene Terrestrial Mammalian Biostratigraphy and Chronology of Asia. New York: Columbia University Press

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(古脊椎动物动物学报), **22**(3): 163-178(in Chinese with English abstract)

Li Q(李强), Wang X M(王晓鸣), Qiu Z D(邱铸鼎), 2003. Pliocene mammalian fauna of Gaotege in Nei Mongol (Inner Mongolia), China. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **41**(2): 104-114

Li Q(李强), Zheng S H(郑绍华), Cai B Q(蔡保全), 2008. Pliocene biostratigraphic sequence in the Nihewan Basin, Hebei, China. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **46**(3): 210-232(in Chinese with English summary)

Mayer-Eymar K, 1858. Versuch einer neuen Klassification der Tertiär gebilde Europa's. In: Verhandlungen der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft (Trogcn). 165-199

Mayer-Eymar K, 1868. Tableau synchronistique des terrains Tertiaires supérieurs. 4th ed. In: Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft (Zürich). 163-200

Mi T H, 1943. New finds of late Cenozoic vertebrates. Bull Geol Soc China, **23**(3-4): 155-167

National Stratigraphic Commission of China(全国地层委员会), 2001. Stratigraphic Guide of China and its Explanation (revised edition). Beijing: Geological Publishing House. 1-59

Qiu Z D, Storch G, 2000. The early Pliocene micromammalian fauna of Bilike, Inner Mongolia, China (Mammalia: Lipotyphla, Chiroptera, Rodentia, Lagomorpha). Senckenbergiana Lethaea, **80**(1): 173-229

Qiu Z D(邱铸鼎), Wang X M(王晓鸣), Li Q(李强), 2006. Faunal 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 D(邱铸鼎), Zheng S H(郑绍华), Zhang Z Q(张兆群), 2008. Sciurids and zapodids from the Late Miocene Bahe Formation, Lantian, Shaanxi. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **46**(2): 111-123

Qiu Z X, Qiu Z D, Deng T et al. (in press). Neogene land mammal stages/ages of China – Toward the goal to establish an Asian Land Mammal Stage/Age scheme. In: Wang X M, Flynn L J, Fortelius M eds. Neogene Terrestrial Mammalian Biostratigraphy and Chronology of Asia. New York: Columbia University Press

Qiu Z X, Wu W Y, Qiu Z D, 1999. Miocene mammal faunal sequence of China: palaeozoogeography and Eurasian relationships. In: Rössner G E, Heissig K eds. The Miocene Land Mammals of Europe. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 443–455

Schlosser M, 1924. Tertiary vertebrates from Mongolia. Palaeont Sin, Ser C, **1**: 1–119

Steininger F F, Papp A, 1979. Current biostratigraphic and radiometeric correlations of Late Miocene central paratethys stages (Sarmatian s. s., Pannonian s. s. and Pontian) and Mediterranean stages (Tortonian and Messinian) and the Messinian event in the paratethys. Newsl Stratigr, **8**(2): 100–110

Tedford R H, Flynn L, Qiu Z X et al., 1991. Yushe basin, China: paleomagnetically calibrated mammalian biostratigraphic standard from the late Neogene of eastern Asia. J Vert Paleont, **11**: 519–526

Teilhard de Chardin P, 1926. Mammifères Tertiaires de Chine et de Mongolie. Ann Paléont, **15**: 1–51

Teilhard de Chardin P, Young C C, 1930. Some correlations between the geology of China proper and geology of Mongolia. Bull Geol Soc China, **9**: 119–125

Teilhard de Chardin P, Young C C, 1931. Fossil mammals from the late Cenozoic of northern China. Palaeont Sin, Ser C, **9**(1): 1–89

Van Couvering J, Castrdori D, Cita M B et al., 2000. The base of the Zanclean Stage and of the Pliocene Series. Episodes, **23**(3): 179–187

Vass D, 1979. Review of activity – working group for radiometric age and paleomagnetism (1975-1978). Ann Geol Hellen hors Ser, **3**: 1427–1441

Zdansky O, 1923. Fundorte der *Hipparion*-Fauna um Pao-Te-Hsien in NW-Shansi. Bull Geol Surv China, **5**: 69–81

Zhang S G(章森桂), Zhang Y B(张允白), Yan H J(严惠君), 2009. A brief introduction to the "International Stratigraphy Chart" (2008). J Stratigr(地层学杂志), **33**(1): 1–9(in Chinese with English abstract)

Zhang Z Q, Kaakinen A, Liu L P et al. (in press). Mammalian biochronology of the Late Miocene Bahe Formation. In: Wang X M, Flynn L J, Fortelius M eds. Neogene Terrestrial Mammalian Biostratigraphy and Chronology of Asia. New York: Columbia University Press

Zhang Z Q(张兆群), Zheng S H(郑绍华), Liu J B(刘建波), 2003. Pliocene micromammalian biostratigraphy of Nihewan Basin, with comments on the stratigraphic division. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **41**(4): 306–313(in Chinese with English summary)

Zheng S H, 1994. Classification and evolution of the Siphneidae. In: Tomida Y, Li C K, Setoguchi T eds. Rodent and Lagomorph Families of Asia Origins and Diversification. Natl Sci Mus Monogr, Tokyo, **8**: 57–76

Zheng S H(郑绍华), 1997. Evolution of the Mesosiphninae (Siphneidae, Rodentia) and environmental change. In: Tong Y S, Zhang Y Y, Wu W Y et al. eds. Evidence for Evolution – Essays in Honor of Prof. Chungchien Young on the Hundredth Anniversary of His Birth. Beijing: China Ocean Press. 137–150(in Chinese with English abstract)

Zheng S H(郑绍华), Li Y(李毅), 1982. Some Pliocene lagomorphs and rodents from Loc. 1 of Songshan, Tianzu, Gansu. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **20**(1): 35–44(in Chinese with English abstract)

Zheng S H(郑绍华), Zhang Z Q(张兆群), 2001. Late Miocene-Early Pleistocene biostratigraphy of the Leijiahe area, Lingtai, Gansu. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **39**(3): 215–228(in Chinese with English summary)

Zheng S H(郑绍华), Zhang Z Q(张兆群), Cui N(崔宁), 2004. On some species of *Prosiphneus* (Siphneidae, Rodentia) and the origin of Siphneidae. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **42**(4): 297–315(in Chinese with English summary)

Zhou X Y(周晓元), 1988. The Pliocene micromammalian fauna from Jingle, Shanxi, a discussion of the age of Jingle Red Clay. Vert PalAsiat(古脊椎动物学报), **26**(3): 181–197(in Chinese with English summary)