

临夏盆地上中新统的年代地层划分与对比^①

邓涛¹⁾²⁾ 侯素宽¹⁾ 颜光普³⁾ 王世骥¹⁾ 史勤勤¹⁾⁴⁾ 陈少坤¹⁾⁵⁾ 孙博阳¹⁾⁴⁾ 卢小康¹⁾⁴⁾

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) 西北大学地质系 陕西西安 710069; 3) 甘肃省博物馆 甘肃兰州 730050;

4) 中国科学院研究生院 北京 100049;

5) 重庆中国三峡博物馆, 重庆三峡古人类研究所 重庆 400015

摘要: 中国上中新统的陆相地层非常发育, 其中在华北地区广泛分布的红黏土堆积富含三趾马动物群化石。甘肃临夏盆地的上中新统即是一套红黏土地层, 其岩石地层单位名称为柳树组。已发现柳树组的大量化石地点, 按其在剖面中出现的层位可以自下而上分为4个动物群, 已根据代表性地点依次命名为郭泥沟、大深沟、杨家山和青卜山动物群。古地磁测年数据显示, 柳树组涵盖了整个晚中新世的沉积, 即包括上中新统下部的灞河阶和上中新统上部的保德阶。郭泥沟、大深沟和杨家山动物群属于灞河阶, 青卜山动物群属于保德阶。灞河阶底界如与海相 Tortonian 阶一致, 则这条界线(古地磁 C5r. 2n 下界)存在于临夏盆地沉积序列中, 年龄为 11.6 Ma, 三趾马的首现位置略高于此界线, 年龄为 11.1 Ma。保德阶底界如与海相 Messinian 阶一致, 可以在柳树组和西藏吉隆的沃马组中准确划定这条界线的位置。由于山西保德是保德阶的命名地点, 因此保德阶的底界层型应选择保德县腰庄乡冀家沟剖面保德组靠近红黏土底部的古地磁 C3Br. 1r 之内, 年龄为 7.25 Ma, 三趾马 *Hipparion forstenae* 的首现可作为其生物标志。

关键词: 年代地层, 陆相沉积, 界线层型, 灞河阶, 保德阶, 中新统, 临夏盆地, 甘肃

中图法分类号: P 534.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4959(2013)04-0417-11

中国的中新世地层及其所含哺乳动物化石的研究工作开展较早, 尤其是晚中新世的红黏土沉积和三趾马动物群。1920年桑志华在甘肃庆阳地区的辛家沟和赵家岔的红黏土中进行了大规模的发掘, 采得十分丰富的哺乳动物化石(Licent, 1936), 这些材料后来经邱占祥等(1979, 1987)的研究, 证明代表了晚中新世晚期。几乎与桑志华同时, 安特生在山西保德也发现了哺乳动物化石, 由 Zdansky 从 1922 年开始进行系统的发掘和征集(Zdansky, 1923; Mateer & Lucas, 1983), 随后对这个地点的化石进行了全面深入的研究(Zdansky, 1924; Ringström, 1924; Bohlin, 1926, 1935; Sefve, 1927; Pearson, 1928; Hopwood, 1935 等)。保德地点的化石尽管在时代上略早于庆阳地点, 但仍然属于晚中新世晚期(邱占祥等, 1987)。中国的晚中新世化石地点还有很多, 如青海柴达木盆地的托素湖(Bohlin, 1937)、陕西蓝田灞河(刘东生等, 1978)和府谷老高川(Xue X. X. *et al.*, 1995)、西藏比如布隆(郑绍

华, 1980)和吉隆沃马(计宏祥等, 1980)、内蒙古化德二登图(Schlosser, 1924; Fahlbusch *et al.*, 1983)、山西榆社马会(邱占祥等, 1987)、云南禄丰石灰坝(祁国琴, 1985)和元谋小河(祁国琴、董为, 2006)等。

以上这些产化石地点的缺点是地层连续性和化石丰富度不能完整地体现在一个剖面上。如化石丰富的保德地点, 仅发育晚中新世晚期的地层。邓涛等(2004a, 2008b)和朱艳明等(Zhu Y. M. *et al.*, 2008)对保德地区三趾马红土进行了系统的研究, 并做了古地磁测定, 其结果是保德组最低化石层约为 7.2 Ma(C3Br. 1r 上部), 下部没有晚中新世早期的沉积, 而是以不整合覆盖在石炭纪灰岩之上; 剖面连续发育的柴达木盆地托素湖地点, 则化石相当稀少, 仅有晚中新世早期的托素动物群和深沟动物群, 分别以少量大哺乳动物和小哺乳动物为代表(Wang X. M. *et al.*, 2007)。

中国新近纪陆相地层的系统划分和对比始于 20 世纪 80 年代, 李传夔等(1984)首次将中国陆相

^① 国家自然科学基金重点项目(No. 40730210)、国家重点基础研究发展计划项目(2012CB821906)和全国地层委员会中国新近系地层建群研究项目资助。

文稿接受日期: 2013-06-21; 修改稿收到日期: 2013-09-18。

第一作者简介: 1963年6月生, 男, 四川宜宾人, 博士、研究员, 从事晚新生代哺乳动物、陆相地层和气候环境研究; E-mail: dengtao@ivpp.ac.cn

新近纪划分为 7 个期,其中的灞河期和保德期代表晚中新世,对应于欧洲的 Vallesian 期和 Turolian 期。不过,这些期的建立并没有按照《国际地层指南》(Hedberg, 1976)和《中国地层指南》(全国地层委员会,1981)的建议,使“期”建立在“阶”的基础上。邱占祥、邱铸鼎(1990)认为灞河期与保德期在哺乳动物组成上缺乏明显的区分特征,应归入后者,从而将保德期对应于 Vallesian 期和 Turolian 期的总和,代表中国的整个晚中新世。1999 年第二届全国地层委员会正式确认以年代地层单位“保德阶”代表中国的整个上中新统,其时限与中国陆生哺乳动物分期中代表整个晚中新世的保德期对应,此方案在 2000 年召开的第三届全国地层会议上获得通过(全国地层委员会,2001)。1997 年起,对灞河期的命名地点陕西蓝田地区的新近系又进行了大规模的考察,根据新获得的资料灞河期被重新启用(Zhang Z. Q. *et al.*, 2002),其后邓涛(Deng T., 2006b)也恢复采用了将晚中新世分为灞河期和保德期的方案。

近年来在甘肃临夏盆地晚新生代沉积中已发现从晚渐新世至早更新世异常丰富的哺乳动物化石,其中以晚中新世的三趾马动物群在物种多样性和个体数量上最为突出,至少包含 4 个层位的化石且地点众多(图 1)。临夏盆地的晚新生代地层连续发育、出露良好,上中新统的柳树组为岩性单一的红黏土沉积,并包含了整个晚中新世的时间阶段(邓涛等,2004b; Deng T., 2005)。因此,临夏盆地是中国进行上中新统地层研究的最有利地区。

一、地层剖面

临夏盆地位于青藏高原东北缘,其北、西、南三面具有清晰的构造边界,东面的界线逐渐过渡。盆地内充填了厚度巨大的晚新生代沉积物,可达 700~2000 m,主要是红色的湖泊相粉砂岩和泥岩,夹有河流相的砾岩和砂岩,顶部有 30~200 m 的第四纪黄土覆盖。黄河及其支流大夏河和洮河从盆地内穿过,切割出一系列良好的研究剖面(Li J. J. *et al.*, 1995)。临夏盆地的新生代沉积从始新世开始,在盆地北面覆盖于白垩系之上,中央部分的基底为古生代花岗岩,南面的高山由古生代和中生代岩系构成(Fang X. M. *et al.*, 2003)。

临夏盆地晚中新世的柳树组由 Li J. J. 等(1995)命名,相当于原临夏组第四段的中、下部,时代为晚中新世。柳树组的岩性在整个组内相当均一,为褐红色(或灰橘色)粉砂质泥岩,即典型的红黏土沉积,含大量 2~10 cm 的钙质结核层。柳树组的

厚度在不同剖面差别很大,这主要是后期的侵蚀作用造成的。例如在和政县三合乡老沟地点柳树组的厚度仅为 17 m,其上直接覆盖第四纪砾岩,显示柳树组上部和整个何王家组都被剥蚀掉。柳树组厚度较大的剖面,如和政县三合乡杨家山有 165.6 m,广河县城关乡十里墩有 90 m。还有一些可间接判断厚度的地点,如广河县官坊乡槐沟和石磊的柳树组可达 150 m。而在靠近临夏盆地西南缘的地点,由于中间夹有多层砾石,柳树组的厚度将近 200 m。

杨家山为面南的山地,该地点的地层出露良好,由下至上为中中新统下部东乡组、中中新统上部虎家梁组、上中新统柳树组、下上新统何王家组、上上新统积石组、下更新统午城黄土和上更新统马兰黄土,我们详细测制了其中的柳树组剖面(图 2)。剖面的在起点湫池的地理坐标为 103° 21' 44.8" E、35° 28' 20.3" N,海拔高度为 2197 m,在曹家山何王家组中部的地理坐标为 103° 21' 13.9" E、35° 28' 29.9" N,海拔高度为 2384 m。地层为水平状,没有断层和褶皱发育。剖面始于柳树组下伏虎家梁组砾岩的顶部,止于上覆的何王家组,序列从顶到底如下:

上更新统马兰黄土

~~~~~ 不 整 合 ~~~~~

下上新统何王家组:

15. 红黏土,含少量 5~10 cm 的钙结核层(未见顶)
14. 锈黄色块状砂砾岩,砾径 1~10 cm 为主,以肉红色亮晶灰岩和深灰色泥晶灰岩为主,含极少量石英砾石及石英粗砂岩。砾石无分选,颗粒支撑,胶结物主要为钙质及细砂。靠近下部夹粗砂岩透镜体 ~15.0 m

----- 假 整 合 -----

上中新统柳树组:

13. 灰橘色(Munsell 岩石色表:10YR7/4)块状泥岩夹细砂岩层。细砂岩的成分主要为石英,含少量岩屑、正长石及暗色矿物,颗粒支撑,钙质胶结较疏松,局部含极少量 2 mm 左右的磨圆度较好的石英砾及岩屑。化石层接近此层顶部,含哺乳动物 *Parazhizomys hipparionum*, *Simocyon primigenius*, *Parataxidea sinensis*, *Ictitherium* sp., *Hyaenictitherium wongii*, *H. hyaenoides*, *Mechairodus palanderi*, *Metailurus minor*, *Hipparion* sp., *Chilotherium wimani* 和 *Cervavitus novoras-siae* 29.0 m
12. 灰橘色厚层一块状钙质粉砂质泥岩、泥

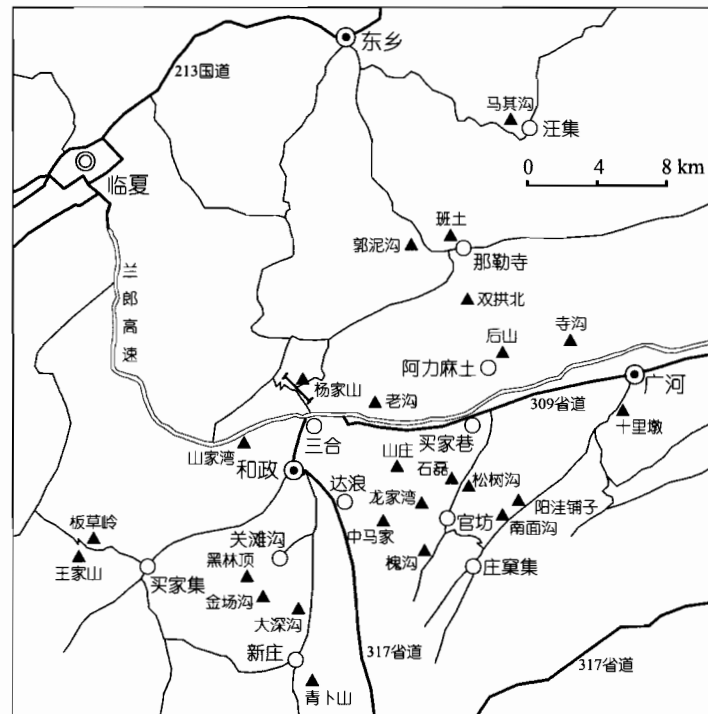


图 1 甘肃临夏盆地上中新统主要化石地点和剖面位置图

Fig. 1 Locations of the main late Miocene fossil localities and sections in the Linxia Basin, Gansu Province

- |                                                                                                                                                                         |        |                                                                                                                                    |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 岩、钙质泥岩及团块状钙质泥质粉砂岩的混合岩层,在新鲜面上无明显层理,风化面上可观察到钙质条带,破裂面上发育大量铁锰质胶膜                                                                                                            | 16.0 m | 明显成层的钙质层,但新鲜面上无明显层理,含大量方解石晶洞、虫孔及中等含量的团点状分布的铁锰质                                                                                     | 11.5 m |
| 11. 灰橘色块状粉砂质泥岩夹泥岩层,局部含淡黄绿色及灰绿色泥灰岩。含小的方解石晶洞。粉砂质泥岩的破裂面含大量铁锰质胶膜                                                                                                            | 25.0 m | 5. 灰橘色中一厚层钙质结核层夹泥岩层,钙结核层与泥岩层在风化面上比较容易辨认,在新鲜面上则没有明显界限。下部基本辨认不出层理,上部可见比较明显的厚约 30~40 cm 的钙质粉砂岩层,含大的方解石晶体以及很大的晶洞(直径可达 3 cm)及虫管(长度达数厘米) | 7.2 m  |
| 10. 灰橘色块状泥岩,上部夹 4 层薄层状(5 cm)钙结核层,结核层的层间距约 30 cm                                                                                                                         | 10.1 m | 4. 黄棕色(10YR5/4)中厚层一块状钙质泥质粉砂岩与粉砂质泥岩互层。钙质层胶结坚硬,含大量结晶方解石和少量铁锰质成分,含大的晶洞;粉砂质泥岩层钙质成分相对少,较疏松,铁锰质及炭质成分含量中等,含大的晶洞                           | 14.3 m |
| 9. 灰橘色无明显层理的钙结核层,钙结核的分布比较松散                                                                                                                                             | 4.9 m  | 3. 灰橘色块状钙质粉砂岩、钙质泥质粉砂岩与浅黄棕色中厚层一块状泥岩互层。含少量结晶方解石及中等含量铁锰质胶膜                                                                            | 16.0 m |
| 8. 灰橘色中厚层(20~35 cm)钙质粉砂质泥岩与浅黄棕色(10YR6/4)中厚层(30~40 cm)泥岩的互层,局部发育钙质含量较高的钙结核或钙质团块,含少量方解石晶洞及铁锰质胶膜。中上部发育两层黄灰色(5Y7/2)中薄层(10~15 cm)钙质泥质粉砂岩,顶部为一层黄绿色(10Y7/2)中层(厚约 20 cm)钙质泥质粉砂岩 | 6.0 m  | 2. 灰橘色厚层到块状钙质泥质粉砂岩、钙结核层与浅黄棕色中厚层一块状泥岩互层。钙质层含虫管,被方解石充填,含大量结晶方解石及铁锰质胶膜                                                                | 17.4 m |
| 7. 灰橘色块状钙结核层,钙质结核在泥岩中的含量很高,但未成层。含介形虫 <i>Lineocypris</i> cf. <i>namaganica</i>                                                                                           | 3.6 m  | 1. 底部为灰橘粉色(5YR7/2)薄层泥灰岩,厚度不到 1 m。砂状结构,主要为粉砂级别的方解石细颗粒。含较多钙质,风化后成褐黄色团块状;含少量灰绿色脉状泥灰岩,结晶程度较差,多呈团块状,粒度较灰橘粉色                             |        |
| 6. 灰橘色块状钙质泥质粉砂岩,钙质含量比第 6 层的少,但局部发育钙结核或钙质团块,上部发育厚约 1 m 的在风化面上比较                                                                                                          |        |                                                                                                                                    |        |

泥灰岩的更细,含较多团点状黑色铁锰质胶膜。其上为灰橘色薄到中层钙质泥岩与极浅的橘色(10YR8/2)中厚层钙结核层互层;钙质泥岩下部薄层状,含少量灰绿色泥灰岩小团块、粗砂、方解石脉及铁锰质胶膜,中部中—厚层状,上部块状。含介形虫 *Candon* cf. *erlingensis*, *Lineocypris ad-*

*vena*, *L. cf. namaganica*

4.6 m

中中新统虎家梁组:

0. 灰白色块状砾岩(未测量至底),砾石成分主要为石英质的中砾(红色的变质石英岩成分较多),含少量黑色的硅质岩,砾石滚圆度较差,磨圆度中等,分选中等

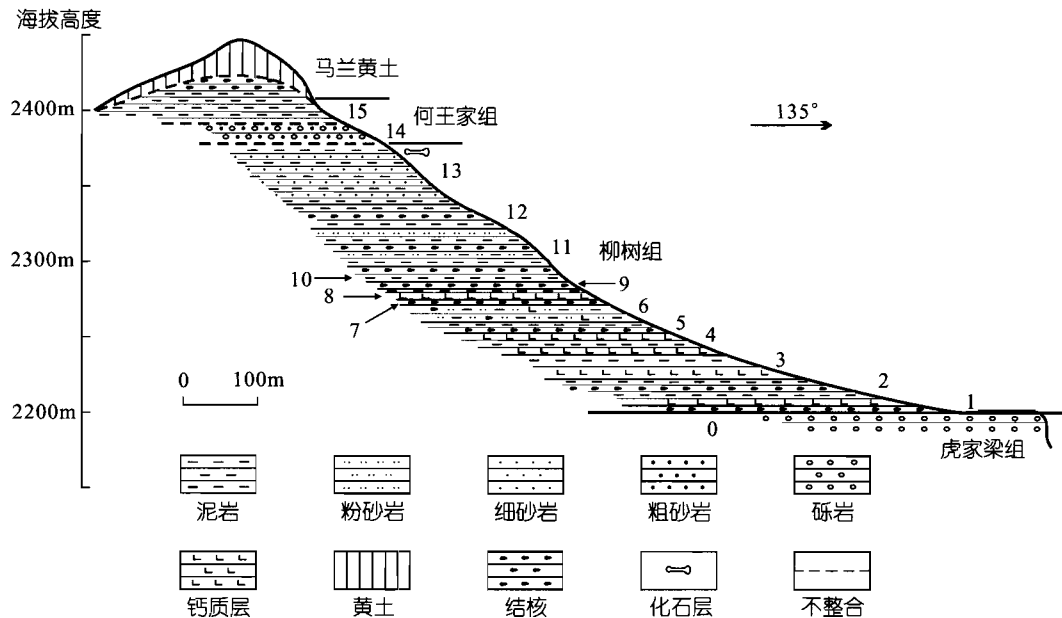


图 2 和政县三合乡杨家山剖面的地层序列

Fig. 2 Stratigraphical sequence of the Yangjiashan section in Sanhe Township, Hezheng County

在广河县买家巷乡兰家山剖面的柳树组中下部含介形虫 *Candoniella albicans*, *C. suzini*, *Candon* *kirgizica*, *Ilyocypris errabundis*, *I. cf. dunschanensis*, *Cycloocypris xiningensis*, *Lineocypris advena*, *L. cf. namaganica*, *Eucypris subovata*, *E. cf. notabilis*, *Pseudoeucypris mancus* 和 *Heterocypris gregarius*。

## 二、柳树组哺乳动物群特点

根据化石在剖面中的位置,柳树组中的化石自下而上明显可以分为 4 个化石层位,相应的动物群分别称为郭泥沟、大深沟、杨家山和青卜山动物群。下部的郭泥沟、大深沟和杨家山动物群代表了晚中新世早、中期,即灞河期的特点,上部的青卜山动物群则表现出晚中新世晚期,即保德期的色彩。

### 1 柳树组下部哺乳动物化石

柳树组下部的哺乳动物化石主要产自东乡县那勒寺乡郭泥沟(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所化石地点编号: LX 0042)、班土(LX 0043)、双拱北(LX 0009),汪集乡马其沟(LX 0215);和政县

达浪乡中马家(LX 0049),新庄乡大深沟(LX 0011);广河县买家巷乡山庄(LX 0027),阿力麻土乡后山(LX 0008)、寺沟(LX 0007)等。已知的化石包括啮齿目鼯鼠科的原鼯鼠(*Prosiophneus* sp.),拟速掘鼠科的三趾马层副竹鼠(*Pararhizomys hipparionum*);食肉目半犬科的戈壁犬(*Gobicyon* sp.),熊科的郊熊(*Agriotherium* sp.)、印度熊(*Indarctos* sp.),鼬科的中华貂(*Sinictis* sp.)、中华副美洲獾(*Parataxidea sinensis*)、大蜜齿獾(*Melodon majori*)、小原臭鼬(*Promephitis parvus*)、霍氏原臭鼬(*P. hootoni*),鬣狗科的巨鬣狗(*Dinocrocuta gigantea*)、鼬鬣狗(*Ictitherium* sp.)、翁氏鬣形兽(*Hyaenictitherium wongii*)、鬣狗型鬣形兽(*H. hyaenoides*),猫科的巴氏剑齿虎(*Machairodus palanderi*)、野猫(*Felis* sp.);长鼻目恐象科的中华原恐象(*Prodeinotherium sinense*)、嵌齿象科的保德四棱齿象(*Tetralophodon exoletus*);奇蹄目马科的东乡三趾马(*Hipparion dongxiangense*)、渭河三趾马(*H. weihoense*)、贾氏三趾马(*H. chiaii*)、膜鼻三趾马(*H. dermatorhinum*),爪兽科的临夏奈王爪兽

(*Nestoritherium linxiaense*)、犀科的原始大唇犀(*Chilotherium primigenius*)、维氏大唇犀(*Ch. wimani*)、和政无鼻角犀(*Acerorhinus hezhengensis*)、简单副板齿犀(*Parelasmotherium simplym*)、临夏副板齿犀(*P. linxiaense*)、阔鼻宁夏犀(*Ningxiatherium euryrhinus*)、摩氏伊朗犀(*Iranotherium morgani*)、甘肃黑犀(*Diceros gansuensis*)；偶蹄目猪科的蒙古利齿猪(*Listriodon mongoliensis*)、斯氏弓颌猪(*Chleuastochœrus stehlini*)，鹿科的后鹿(*Metacervulus* sp.)，长颈鹿科的萨摩麟(*Samotherium* sp.)、舒氏河南兽(*Honanotherium schlosseri*)，牛科的陕西旋角羊(*Shaanxispira* sp.)、羚羊(*Gazella* sp.)、中新羚(*Miotragocerus* sp.)、步氏和政羊(*Hezhengia bohlini*)、柴达木兽(*Tsaidamotherium* sp.)。

柳树组下部动物群带有鲜明的灞河期特点。*Dinocrocuta gigantea* 是亚洲早期三趾马动物群中的代表类型，在中国还发现于陕西蓝田灞河(刘东生等, 1978; Zhang Z. Q. et al., 2002)和府谷老高川(Xue X. X. et al., 1995; 张云翔、薛祥煦, 1996)、甘肃天祝松山(郑绍华, 1982)、西藏比如布隆(郑绍华, 1980)。*Hipparion dongxiangense* 是中国已知最小的三趾马，其强烈的次尖收缩和宽深的次尖沟是北美中中新世三趾马类的常见特征(邱占祥、谢骏义, 1998)。*H. weihoense* 和 *H. chiai* 是灞河动物群中的重要分子，其眶前窝距眼眶较远并相当深，原尖扁长，被归入晚中新世早期的 *Hippotherium* 亚属(邱占祥等, 1987)。*Parelasmotherium* 和 *Ningxiatherium euryrhinus* 比晚中新世晚期的 *Sinootherium* 更原始，是目前所知向高冠齿方向发展的大型板齿犀的最早代表(邱占祥、谢骏义, 1998; Deng T., 2001, 2008)。*Shaanxispira* 也出现于灞河动物群中(刘东生等, 1978; Zhang Z. Q. et al., 2002)。原臭鼬在晚中新世和上新世广泛分布于欧亚大陆，其中 *Promephitis parvus* 仅发现于甘肃临夏盆地以及山西的榆社和武乡地区，时代为晚中新世；*P. hootoni* 在中国分布于临夏，以及山西的保德、寿阳、武乡，陕西的府谷等地，在国外见于土耳其，时代均为晚中新世(Wang X. M. & Qiu Z. X., 2004)。原恐象(*Prodeinotherium*)主要分布于欧亚、非三洲的早一中中新世，此前有极少量化石出现于德国 Eppelsheim 等地的晚中新世地层中，因此 *P. sinense* 在柳树组底部的出现也指明其地层时代较早(邱占祥等, 2007)。奈王爪兽(*Nestoritherium*)目前已知有 3 个种，*N. sivalense* 和 *N. wu-*

*duense* 分别发现于印度的更新统和甘肃武都的上中新统上部，而 *N. linxiaense* 具有一系列原始特征，如上臼齿的原小尖和原脊存在、齿列较长、齿隙较短等，在 *Nestoritherium* 中是已知最原始的种(陈少坤等, 2012)，因此其时代必然早于 *N. wuduense* 所属的保德期(张云翔、薛祥煦, 1995)。大唇犀是欧亚大陆、尤其是东亚晚中新世最繁盛的犀科类群，在柳树组的各个层位都有发现。大深沟和杨家山两个动物群中的 *Ch. wimani* 在个体数量上占有绝对优势，而郭泥沟动物群的 *Ch. primigenius* 目前仅有一件标本，代表了已知最原始的大唇犀，因此也指示较早的时代(Deng T., 2006a)。黑犀(*Diceros*)最早发现于非洲的阿尔及利亚晚中新世早期地层，在东地中海地区广泛分布的 *D. neumayri* 的时代主要是晚中新世晚期。柳树组中的 *D. gansuensis* 比 *D. neumayri* 更原始，因此其时代为晚中新世早期(邓涛、邱占祥, 2007)。*Hezhengia bohlini* 的角和牙齿比晚中新世晚期的 *Plesiaddax* 更原始，因此前者的时代更早(邱占祥等, 2000)。*Acerorhinus hezhengensis* 具有非常狭窄的下颌联合部，顶嵴相当靠拢以至形成高耸的矢状嵴，比保德动物群的 *A. palaeosinensis* 原始(邱占祥等, 1987)。

## 2 柳树组中部哺乳动物化石

柳树组中部的哺乳动物化石主要产自和政县三合乡杨家山(LX 0004)、山家湾(LX 0025)，关滩沟乡黑林顶(LX 0035)；广河县庄窠集乡阳洼铺子(LX 0018)、南面沟(LX 0020)，买家巷乡龙家湾(LX 0022)，官坊乡槐沟(LX 0029)、松树沟(LX 0030)、石磊(LX 0031)等。已知的哺乳动物包括啮齿目拟速掘鼠科的三趾马层副竹鼠，鼠科的巢鼠(*Micromys* sp.)，豪猪科的甘肃豪猪(*Hystrix gansuensis*)；食肉目浣熊科的原始扁鼻犬(*Simocyon primigenius*)，熊科的意外郊熊(*Agriotherium inexpetans*)，鼬科的短颌近狼獾(*Plesiogulo brachygnathus*)、中华副美洲獾、小原臭鼬、霍氏原臭鼬，鬣狗科的鼬鬣狗、翁氏鬣形兽、鬣狗型鬣形兽、稀有副鬣狗(*Adcrocuta eximia*)，猫科的后猫(*Metailurus* sp.)、小后猫(*M. minor*)、野猫；奇蹄目马科的膜鼻三趾马、腔脊三趾马(*Hipparion coelophyes*)、平齿三趾马(*H. platyodus*)，犀科的和政无鼻角犀、林氏山西犀(*Shansirhinus ringstroemi*)、维氏大唇犀；偶蹄目猪科的斯氏弓颌猪、大弱獐猪(*Microstonyx major*)，鹿科的后鹿、叉角鹿(*Dicrocercus* sp.)、新罗斯祖鹿(*Cervavitus novorossiae*)，长颈鹿科的小齿古麟(*Palaeotragus microdon*)、舒氏河南兽(*Ho-*

*nanotherium schlosseri*)、牛科的羚羊、中新羚、原大羚(*Protoryx* sp.)、中华羚(*Sinotragus* sp.)。

最早的豪猪化石出现在欧洲的晚中新世早期, *Hystrix gansuensis* 比晚中新世的 *H. aryanensis* 进步, 但比早上新世的 *H. depereti* 原始, 因此其时代为晚中新世和早上新世(王伴月、邱占祥, 2002)。短吻犬(*Simocyon*)在欧洲分布于整个晚中新世, 但在北美和中国可延续到上新世(Wang X. M., 1997)。临夏的 *Agriotherium inexpetans* 比所有已知的上新世郊熊都要原始, 因此其属于晚中新世是合理的。*Shansirhinus ringstroemi* 先前发现于山西榆社、云南元谋和甘肃天祝的上中新统或下上新统。弱獠猪是欧洲和西亚晚中新世动物群中的常见分子, 包括 Vallesian 期的 *Microstonyx antiquus* 和 Vallesian 晚期到 Turolian 期的 *M. major*, 临夏盆地的 *M. major* 非常相似于希腊 *Pikermi*、保加利亚 *Kalimanci* 和伊朗 *Maragheh* 等 Turolian 期地点的弱獠猪, 此前 *M. major* 也发现于陕西蓝田和彬县的晚中新世地层(Liu L. P. et al., 2004)。

### 3 柳树组上部哺乳动物化石

柳树组上部的哺乳动物化石主要产自和政县关滩沟乡金场沟(LX 0033), 新庄乡青卜山(LX 0203), 买家集乡王家山(LX 0501)、板草岭(LX 0050)等。已知的哺乳动物包括食肉目熊科的师氏印度熊(*Indarctos zdanskyi*); 蹄兔目蹄兔科的上新蹄兔(*Pliohyrax* sp.); 奇蹄目马科的粗壮中华马(*Sinhippus robustus*), 爪兽科的钩爪兽(*Ancylotherium* sp.), 獾科的和政獾(*Tapirus hezhengensis*), 犀科的林氏额鼻角犀(*Dicerorhinus ringstroemi*); 偶蹄目鹿科的叉角鹿(*Dicrocerus* sp.)等。

*Indarctos zdanskyi* 此前报道于山西保德和河南新安, 其时代应为晚中新世晚期(邱占祥、Tedford, 2003)。欧洲的 *Pliohyrax graecus* 分布较为广泛, 其时代不早于 MN 12-13, 仅有一个地点的 *P. rossignoli* 产于 MN 10(Heissig, 1999a)。山西保德动物群中也报道过可能有 *Pliohyrax* 化石(童永生、黄万波, 1974), 青卜山动物群中发现的 *Pliohyrax* 化石可能与其时代相当。山西保德和内蒙古化德等地发现的 *Sinhippus zitteli* 都属于晚中新世晚期, 而 *S. robustus* 比 *S. zitteli* 更粗壮, 因此其时代不会早于晚中新世晚期(侯素宽等, 2007)。*Tapirus hezhengensis* 在体型上小于欧洲中新世最晚期到上新世的 *T. arvernensis*, 也小于山西武乡晚中新世最晚期的 *T. teilhardi*, 因此 *T. hezhengensis* 的时代不会晚于晚中新世晚期(邓涛等,

2008a)。欧洲和西亚的 *Ancylotherium pentelicum* 在晚中新世只分布于 MN12-13(Heissig, 1999b), 而非洲的 *A. cheboitense* 产自晚中新世晚期(6.1~5.9 Ma), *A. hennigi* 产自晚上新世和早更新世(3.7~1.3 Ma)地层(Coombs & Cote, 2010)。在中国的其他地点也发现过 *Ancylotherium* 的化石, 如山西霍县安乐(童永生等, 1975)、甘肃平凉(吴文裕、陈冠芳, 1976)、四川德格汪布顶(宗冠福等, 1996)、陕西镇安(李晓晨、邓凯, 2003), 其已知的时代都不早于晚中新世晚期。因此, 青卜山动物群的 *Ancylotherium* 应当属于保德期。此外, 以前山西保德等地发现的 *Dicerorhinus ringstroemi* 和 *Dicrocerus* 也是保德期的代表性化石(Ringström, 1924; Zdansky, 1925), 它们在柳树组上部的存在显示含化石层位的时代应为保德期。

### 三、灞河阶和保德阶的底界

有关新近纪陆相阶的底界定义方面, 目前存在两种观点: 一种观点是将陆相阶的底界与海相阶完全等同, 另一种观点是依据哺乳动物化石来定义阶的底界。具体到中国上中新统的分阶, 前一种观点是灞河阶底界与 Tortonian 阶底界一致, 年龄为 11.6 Ma, 保德阶底界与 Messinian 阶底界一致, 年龄为 7.2 Ma(王乃文、何希贤, 2005); 而后一种观点是灞河阶的底界以三趾马的首次出现为标志, 年龄为 11.1 Ma, 保德阶的底界以巨鬣狗的末次出现为标志, 年龄为 7.7 Ma(Qiu Z. X. et al., 2013)。由于哺乳动物化石的首现和末现难于确定, 且海陆不同的界线增加了地层划分对比的复杂性, 因此我们倾向于以海相分阶的古地磁标志作为灞河阶和保德阶的底界定义, 同时以哺乳动物化石作为判断界线位置的辅助标志。

灞河期为李传夔等(1984)根据陕西蓝田地区的灞河组所建, 并与欧洲的 Vallesian 期对比, 其哺乳动物群中含保德动物群中所未见 *Dinocrocuta*, *Shaanxispira* 和 *Hipparion weihoense* 等。在灞河期的命名地点陕西省蓝田县灞河地区, 最早的三趾马化石出现层位在古地磁 C5n. 2n(9.99~11.04 Ma)内, 年代定为 10.2 Ma(Zhang Z. Q. et al., 2002)。在“国际年代地层表(2013)”中, 中中新世-晚中新世界线, 即海相 Tortonian 阶的底界以古地磁的 C5r. 2n 下界为标志, 年龄为 11.62 Ma(国际地层委员会, 2013)。在临夏盆地, 最早的三趾马化石出现于郭泥沟地点的柳树组底部, 其下为含中中新世铲齿象动物群的虎家梁组砂砾岩。根据方小敏等

(个人通讯)的古地磁测定,这一层位落在 C5r 的顶部,大约应在 C5r. 1r(11.04~11.12 Ma)内。

临夏盆地已有古地磁剖面资料发表(方小敏等, 1997; Fang X. M. *et al.*, 2003),该剖面经哺乳动物化石重新校正后,已获得整个晚新生代序列比较精确的年龄框架(Deng T. *et al.*, 2013)。王九一等(2010)对临夏盆地内和政县关滩沟乡黑林顶剖面进行了高精度的古地磁测年,该剖面包含了完整的晚中新世柳树组及其上覆的早上新世何王家组和下伏的中中新世虎家梁组,且剖面厚度巨大,代表了临夏盆地最厚的柳树组沉积,因此,这一古地磁剖面可以作为临夏盆地上中新统地层的主要对比标准。根据黑林顶剖面,如果灞河阶的底界与“国际地质年表”的海相 Tortonian 阶一致,则这条界线在黑林顶剖面位于深度 218 m 处(王九一等, 2010, 图 3)。

保德阶是我国新近系中最早使用的阶名,第一次见于《全国地层会议学术报告汇编 中国的新生界》(裴文中等, 1963)。虽然在书中没有正式和明确地指定层型剖面,但保德阶所指很明确,即 Zdansky (1923)所称的山西保德(以戴家沟和冀家沟为中心)“三趾马红土(*Hipparion red clay*)”。邓涛等(2004a)和 Zhu Y. M. 等(2008)对保德地区三趾马红土进行了系统的研究,并做了古地磁测定。冀家沟剖面的三趾马红土共分 13 层,总厚约 60 m(包括 15 m 厚的底砾),其中归入保德组的约为 45 m,归入静乐组的约 15 m。古地磁对比的年龄结果是:保德组(不带底砾)为 8~5.2 Ma,而静乐组为 5.3~2.6 Ma。Zhu Y. M. 等在该区做了更广泛的考察,从 10 个剖面中选择 3 个进行研究:炭峪沟剖面地层最厚(保德组约 90 m,静乐组约 40 m);杨家沟 I 剖面厚 43 m,其中保德组 36 m,静乐组 7 m;杨家沟 II 剖面厚 56 m,全为保德组,且含 3 个化石层。

在“国际地层表”中,晚中新世海相 Messinian 阶的底界,即与 Tortonian 阶之间界线的 GSSP 在 2000 年确定,落在古地磁的 C3Br. 1r 之内,年龄为 7.25 Ma(Hilgen *et al.*, 2000)。中国陆相新近纪的分期一直以来都是与欧洲的哺乳动物分期对比,李传夔等(1984)定义保德期大致相当于欧洲陆生哺乳动物分期的 Turolian 期(MN11~13)。Turolian 期的底界位于古地磁 C4r. 2r 之底,年龄为 8.7 Ma。

保德地区的三趾马红土都是以不整合覆盖在石炭系灰岩之上,根据古地磁解释,保德组红黏土沉积的底部年龄约为 8 Ma(C4n. 2n 之内),未达到相当于 Turolian 期底界的 8.7 Ma(C4r. 2r 之底)。如果将保德阶的底界确定在与海相 Messinian 阶底界一

致的 C3Br. 1r 之内,年龄为 7.25 Ma,则在保德地区的保德组和临夏盆地的柳树组内都存在这条界线,并且有哺乳动物化石作为参考标志。在临夏盆地的柳树组中,与 Messinian 阶底界对应的界线位于黑林顶剖面的 52 m 深度(王九一等, 2010, 图 3)。这条界线之上即是黑林顶地点的主要含化石层位(LX 0035),已知的哺乳动物包括 *Hystrix gansuensis*, *Promephitis* sp., *Plesiogulo brachygnathus*, *Meles* sp., *Ictitherium* sp., *Hyaenictitherium wongii*, *H. hyaenoides*, *Adcrocuta eximia*, *Machairodus palanderi*, *Metailurus major*, *Felis* sp., *Hipparion* sp., *Chilotherium wimani*, *Chleuastochoerus stehlini* 等。

#### 四、中国陆相上中新统地层的对比

##### 1 灞河阶

临夏盆地上中新统柳树组下部的郭泥沟和大深沟动物群属于灞河期,在中国北方有众多这一时期的化石地点,可以与柳树组的灞河期动物群进行对比,我们重点关注可能存在灞河阶底界的地点。

陕西蓝田地区是灞河组和灞河期的命名地点,灞河组所产的三趾马动物群中含有保德组三趾马动物群中未见的 *Dinocrocuta*、*Shaanxispira* 和 *Hipparion weihoense* 等,且在岩性上与“三趾马红土”不同,为以黄色为主的河湖相沉积,并与上覆的蓝田组(“三趾马红土”)之间有一明显的不整合(李传夔等, 1984)。刘东生等(1978)对蓝田地区的哺乳动物化石进行了详细报道,此后 Zhang Z. Q. (2002)又进行了系统整理并补充了新发现的化石。灞河组中与柳树组下部郭泥沟和大深沟动物群中相同的哺乳动物化石种类包括: *Dinocrocuta gigantea*, *Tetralophodon exoletus*, *Hipparion weihoense*, *H. chiai*, *Acerorhinus*, *Chleuastochoerus stehlini*, *Metacervulus* 和 *Shaanxispira* 等。灞河组在灞河南岸大部分地区均未见底,在白鹿塬的西端和骊山的西坡灞河组与下伏的寇家村组则为不整合接触(张玉萍等, 1978)。对蓝田地区的古地磁测定结果显示,灞河组的年龄为 11~6.8 Ma(Kaakinen, 2005)。据最近的总结,灞河组最早的三趾马化石发现于 L 50 地点,其古地磁在 C5n. 2n(9.99~11.04 Ma)内,年代定为 10.2 Ma(Zhang Z. Q. *et al.*, 2013)。如果将灞河阶底界与海相的 Tortonian 阶对比,则蓝田地区的灞河组并未包含晚中新世最早期的地层,这里也就没有灞河阶底界存在。

中国目前所知最早的三趾马化石还出现于青海



柴达木盆地。托素动物群产自上油砂山组下部,从层位上看可与郭泥沟动物群对比,二者共有的属包括 *Ictitherium*, *Tetralophodon* 和 *Tsaidamotherium*。柴达木盆地最早的三趾马化石,根据王晓鸣等的追索(Wang X. M. *et al.*, 2007),系一左距骨(邓涛、王晓鸣, 2004; 图 3, 6),发现于璠格剖面深沟动物群之下 200 m 相当于产托素动物群的地方。上油砂山组的深沟动物群可与临夏盆地的大深沟动物群对比,共有的属种包括 *Ictitherium*, *Promephitis parvus*, *Acerorhinus*, *Hipparion cf. chiai* 和 *H. weihoense* 等。上油砂山组的地层相当连续,且厚度巨大。方小敏等(Fang X. M. *et al.*, 2007)对柴达木盆地的怀头他拉剖面进行了高分辨率的古地磁分析,结果显示,作为灞河阶底界的 Chron C5r. 2n 下界位于剖面 1270 m 厚度处,正在托素动物群的 CD9812 地点之下。Dupont-Nivet 等(2007)根据古地磁资料把托素动物群的年代定为 10~12 Ma,但无产三趾马化石点的确切年代。

从动物群的组成看,内蒙古自治区苏尼特右旗朱日和镇西面 13 km 处的阿木乌苏动物群应该也是灞河期最早的代表,同一地区的沙拉动物群可能代表灞河期中期的动物群。阿木乌苏的小面积露头由红色泥岩和灰黄色河流相砂岩组成,整个厚度不到 10 m,化石即产自砂岩之中,包含大、小哺乳动物。阿木乌苏动物群已发现 34 种哺乳动物化石,可确定的 24 个属中有 17 个在中中新世的通古尔动物群中也能发现,但通古尔期最常见的动物,如 *Plesiodipus*, *Megacricetodon*, *Alloptox*, *Bellatona* 和 *Platybelodon* 已不再出现,相反出现了很多新成员,如 *Castor*, *Paralactaga*, *Prosiophneus*, *Sinozapus*, *Bellatonoides* 和 *Ictitherium* 等,它们都是晚中新世的代表性类群(Qiu Z. D. *et al.*, 2006)。以前曾报道在阿木乌苏有三趾马与安琪马共生(Qiu Z. D., 1988),但 *Hipparion* 化石在这个地点的发现未能得到确认。由于剖面太短,阿木乌苏地点的古地磁工作无法得到可以很好解释的结果,因此尚难确定灞河阶底界的存在。

## 2 保德阶

保德期是三趾马动物群的主要生活时期,此时的哺乳动物化石地点在中国最为丰富,以山西保德县的诸多地点最为典型,近年来在临夏盆地的柳树组上部有更多的保德期化石地点发现,我们重点关注可能存在保德阶底界的地点。

保德地区是保德阶的命名地点,剖面出露良好,哺乳动物化石丰富,含有保德期的典型种类 *Adcro-*

*cuta*、鼬鬣狗类、*Metailurus*、中型三趾马、大唇犀类和 *Chleuastochoerus* 等。邓涛等(2004a)正式提出了保德阶的层型剖面,该剖面位于冀家村南主沟南侧支沟中(39°00′10.5″N, 110°09′48.5″E),三趾马红土共分 13 层,总厚约 60 m。古地磁对比的年龄结果是:保德组(不带底砾)为 8~5.3 Ma,而静乐组为 5.3~2.6 Ma。Zhu Y. M. 等(2008)的古地磁解释认为保德组最低化石层约为 7.2 Ma(C3Br. 1r 上部),静乐组为 5.34~2.72 Ma。邓涛等(2004a)当时认为,即使将保德期限于晚中新世晚期,即与欧洲的 Turolian 期对比,由于 Turolian 期的下限在 8.7 Ma(Steininger, 1999),保德剖面上仍然没有这条界线。不过,依前所述,如果将保德阶的底界与海相的 Messinian 阶的底界对比,该界线在 Chron C3Br. 1r 之内,年龄为 7.25 Ma(Hilgen *et al.*, 2000),则在保德冀家沟剖面位于第 9 层之内,恰好在化石层之下(岳乐平等, 2004, 图 3),即保德组下层化石中的首现种类可以作为保德阶底界的生物标志。

陕西蓝田地区的蓝田组直接覆盖在灞河组之上,岩性为深棕红色黏土和砂质黏土,即“三趾马红土”,富含似海绵状钙质结核。根据 Kaakinen 等(2005, Fig. 4)的意见,灞河组与蓝田组的分界线年龄应为 6.8 Ma,略高于 Messinian 阶底界的 7.25 Ma。保德阶的底界如与 Messinian 阶底界对比,则这条界线在蓝田剖面上位于灞河组近顶部位置,蓝田组底部首现的化石可以作为判断保德阶底界相对位置的参考生物标志,如 *Prosiophneus licenti*, *Hyaenictitherium wongii*, *Ictitherium viverrinum*, *Adcrocuta eximia*, *Hipparion cf. hippidiodus*, *Acerorhinus palaeosinensis*, *Chleuastochoerus stehlini*, *Cervavitus novorossiae* 和 *Procapreolus latifrons* 等(Zhang Z. Q. *et al.*, 2002)。

西藏吉隆盆地的沃马组覆于侏罗系地层之上,为一套碎屑岩沉积。黑沟剖面位于沃马西北 1 km 处的吉隆河右岸,在剖面的沃马组下部发现了三趾马动物群化石,包括 *Plesiodipus? thibetensis*, *Himalayataga liui*, *Ochotona guizhongensis*, *Hyaena sp.*, *Hipparion forstenae*, *Chilotherium xizangensis*, *Metacervulus capreolinus*, *Palaeotragus microdon* 和 *Gazella gaudryi* 等(黄万波等, 1980; 邱占祥等, 1987)。对黑沟剖面所做的古地磁分析结果显示,沃马组底部的正极性带为 C3Br. 1n,其上为负极性带 C3Br. 1r,而化石层在紧随其上的 C3Bn 之内(Yue L. P. *et al.*, 2004)。显然,沃马组中包含的 Messinian 阶的底界,并有合适的哺乳动物化石作为



其生物标志。*Hipparion forstenae* 的分布广泛,在山西保德、霍县以及甘肃秦安都有发现,且都只存在于晚中新世晚期。因此,如将保德阶与 Messinian 阶对比,*H. forstenae* 的首现是理想的底界生物标志。

衷心感谢邱占祥院士和王伴月研究员在野外考察和室内研究中的指导与帮助。陈善勤、庞丽波、曾志杰、时福桥等参加野外工作,庞其清教授分析鉴定介形虫化石,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 陈少坤, 邓 涛, 何 文, 陈善勤. 2012. 临夏盆地晚中新世爪兽亚科(奇蹄目, 哺乳纲)一新种. 古脊椎动物学报, **50**(1): 53-73
- 邓 涛, 何 文, 陈善勤. 2008a. 甘肃临夏盆地晚中新世獭类化石(奇蹄目, 獭科)一新种. 古脊椎动物学报, **46**(3): 190-209
- 邓 涛, 邱占祥. 2007. 黑犀(奇蹄目, 犀科)化石在中国的首次发现. 古脊椎动物学报, **45**(4): 287-306
- 邓 涛, 王伟铭, 岳乐平. 2008b. 中国陆相新近系山旺阶和保德阶综合研究报告. 见: 第三届全国地层委员会编. 中国主要断代地层建阶研究报告(2001~2005). 北京: 地质出版社. 13-31
- 邓 涛, 王伟铭, 岳乐平, 张云翔. 2004a. 新近系保德阶建阶研究新进展. 地层学杂志, **28**(1): 41-47
- 邓 涛, 王晓鸣. 2004. 柴达木盆地晚中新世三趾马化石. 古脊椎动物学报, **42**(4): 316-333
- 邓 涛, 王晓鸣, 倪喜军, 刘丽萍, 梁 忠. 2004b. 临夏盆地的新生代地层及其哺乳动物化石证据. 古脊椎动物学报, **42**(1): 45-66
- 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 陈怀录, 曹继秀. 1997. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分. 科学通报, **42**(14): 1457-1471
- 国际地层委员会. 2013. 国际年代地层表(2013). 地层学杂志, **37**(3): 257-258
- 侯素宽, 邓 涛, 何 文, 陈善勤. 2007. 记甘肃和内蒙古新发现的中华马化石. 古脊椎动物学报, **45**(3): 213-231
- 黄万波, 计宏祥, 陈万勇, 徐钦琦, 郑绍华. 1980. 西藏吉隆、布隆盆地的上新世地层. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏古生物, 第一分册. 北京: 科学出版社. 4-17
- 计宏祥, 徐钦琦, 黄万波. 1980. 西藏吉隆沃马公社三趾马动物群. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏古生物, 第一分册. 北京: 科学出版社. 18-32
- 李传夔, 吴文裕, 邱铸鼎. 1984. 中国陆相新第三系的初步划分与对比. 古脊椎动物学报, **22**(3): 163-178
- 李晓晨, 邓 凯. 2003. 记陕西镇安早更新世的两种爪兽化石. 古脊椎动物学报, **41**(4): 332-336
- 刘东生, 李传夔, 翟人杰. 1978. 陕西蓝田上新世脊椎动物化石. 地层古生物论文集, **7**: 149-200
- 裴文中, 周明镇, 郑家坚. 1963. 中国的新生界. 北京: 科学出版社. 1-31
- 祁国琴. 1985. 禄丰古猿化石地点地层概述. 人类学学报, **4**(1): 55-69
- 祁国琴, 董 为主编. 2006. 蝴蝶古猿产地研究. 北京: 科学出版社. 1-352
- 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 1979. 甘肃庆阳上新世鬣狗科化石. 古脊椎动物学报, **17**(3): 200-221
- 邱占祥, 黄为龙, 郭志慧. 1987. 中国的三趾马化石. 中国古生物志, 新丙种, **25**: 1-243
- 邱占祥, 邱铸鼎. 1990. 中国晚第三纪地方哺乳动物的排序及其分期. 地层学杂志, **14**(4): 241-260
- 邱占祥, Tedford R H. 2003. 山西保德印度熊一新种. 古脊椎动物学报, **41**(4): 278-288
- 邱占祥, 王伴月, 李 虹, 邓 涛, 孙 燕. 2007. 中国首次发现恐象化石. 古脊椎动物学报, **45**(4): 261-277
- 邱占祥, 王伴月, 颜光普. 2000. 甘肃和政地区麝牛亚科一新属的初步报道. 古脊椎动物学报, **38**(2): 128-134
- 邱占祥, 谢骏义. 1998. 记甘肃东乡汪集的板齿犀和三趾马化石. 古脊椎动物学报, **36**(1): 13-23
- 全国地层委员会. 1981. 中国地层指南及中国地层指南说明书. 北京: 地质出版社. 1-26
- 全国地层委员会. 2001. 中国地层指南及中国地层指南说明书(修订版). 北京: 地质出版社. 1-59
- 童永生, 黄万波. 1974. 山西上新蹄兔一新种. 古脊椎动物学报, **12**(3): 212-216
- 童永生, 黄万波, 邱铸鼎. 1975. 山西霍县安乐三趾马动物群. 古脊椎动物学报, **13**(1): 35-47
- 王伴月, 邱占祥. 2002. 甘肃临夏盆地晚中新世豪猪一新种. 古脊椎动物学报, **40**(1): 23-33
- 王九一, 方小敏, 张伟林, 管金波, 苗运法, 李仕远. 2010. 临夏盆地黑林顶部剖面磁性地层学及其意义. 海洋地质与第四纪地质, **30**(5): 129-136
- 王乃文, 何希贤. 2005. 新近系. 见: 中国地质调查局地层古生物研究中心编. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社. 523-558
- 吴文裕, 陈冠芳. 1976. 甘肃平凉第三纪晚期爪兽类一新属. 古脊椎动物学报, **14**(3): 194-197
- 岳乐平, 邓 涛, 张云翔, 王建其, 张 睿, 杨利荣, Heller F. 2004. 保德阶层型剖面磁性地层学研究. 地层学杂志, **28**(1): 48-51
- 张玉萍, 黄万波, 汤英俊, 计宏祥, 尤玉柱, 童永生, 丁素因, 黄学诗, 郑家坚. 1978. 陕西蓝田地区新生界. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所甲种专刊, **14**: 1-64
- 张云翔, 薛祥煦. 1995. 甘肃武都龙家沟三趾马动物群埋藏学. 北京: 地质出版社. 1-96
- 张云翔, 薛祥煦. 1996. 陕西府谷巨鬣狗的新材料. 古脊椎动物学报, **34**(1): 18-26
- 郑绍华. 1980. 西藏比如布隆盆地三趾马动物群. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 西藏古生物, 第一分册. 北京: 科学出版社. 33-47
- 郑绍华. 1982. 甘肃天祝松山第二和第三地点化石及松山上新世哺乳动物群. 古脊椎动物学报, **20**(3): 216-227
- 宗冠福, 陈万勇, 黄学诗, 徐钦琦. 1996. 横断山区新生代哺乳动物及其生活环境. 北京: 海洋出版社. 1-279
- Fahlbusch V, 邱铸鼎, Storch G. 1983. 内蒙古化德县二登图和哈尔鄂博新第三纪哺乳动物群. 中国科学, (1): 75-86
- Bohlin B. 1926. Die Familie Giraffidae mit besonderer Berücksichtigung der fossilen Formen aus China. Palaeontologia Sinica, Series C, **4**(1): 1-178
- Bohlin B. 1935. Cavicornier der *Hipparion*-fauna Nord-Chinas. Palaeontologia Sinica (Series C), **9**(4): 1-166
- Bohlin B. 1937. Eine Tertiäre Saugetier-fauna aus Tsaidam. Palae-

- ontologia Sinica (Series C), **14**: 1-111
- Coombs M C & Cote S M. 2010. Chalicotheriidae. In: Werdelin L & Sanders W J eds. Cenozoic mammals of Africa. Berkeley: University of California Press. 659-667
- Deng T. 2001. New remains of *Parelasmotherium* (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene in Dongxiang, Gansu, China. *Vertebrata Palasiatica*, **39**(4): 306-311
- Deng T. 2005. Character, age and ecology of the Hezheng Biota from northwestern China. *Acta Geologica Sinica*, **79**(6): 739-750
- Deng T. 2006a. A primitive species of *Chilotherium* (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of the Linxia Basin (Gansu, China). *Cainozoic Research*, **5**: 93-102
- Deng T. 2006b. Chinese Neogene mammal biochronology. *Vertebrata Palasiatica*, **44**(2): 143-163
- Deng T. 2008. A new elasmothere (Perissodactyla, Rhinocerotidae) from the Late Miocene of the Linxia Basin in Gansu, China. *Geobios*, **41**(6): 719-728
- Deng T, Qiu Z X, Wang B Y, Wang X M & Hou S K. 2013. Late Cenozoic biostratigraphy of the Linxia Basin, northwestern China. In: Wang X M, Flynn L J, Fortelius M eds. Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology. New York: Columbia University Press. 243-273
- Dupont-Nivet G, Krijgsman W, Langereis C G, Abels H A, Dai S & Fang X M. 2007. Tibetan Plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition. *Nature*, **445**: 635-638
- Fang X M, Garzzone C, Van der Voo R, Li J J & Fan M J. 2003. Flexural subsidence by 29 Ma on the NE edge of Tibet from the magnetostratigraphy of Linxia Basin, China. *Earth and Planetary Science Letters* **210**: 545-560
- Fang X M, Zhang W L, Meng Q Q, Gao J P, Wang X M, King J, Song C H, Dai S & Miao Y F. 2007. High-resolution magnetostratigraphy of the Neogene Huaitoutala section in the eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau, Qinghai Province, China and its implication on tectonic uplift of the NE Tibetan Plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, **258**: 293-306
- Hedberg H D ed. 1976. *International Stratigraphic Guide: a guide to stratigraphic classification, terminology and procedure*. New York: John Wiley and Sons. 1-200
- Heissig K. 1999a. Suborder Hyracoidea. In: Rössner G E & Heissig K eds. *The Miocene land mammals of Europe*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 169-170
- Heissig K. 1999b. Family Chalicotheriidae. In: Rössner G E & Heissig K eds. *The Miocene land mammals of Europe*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 189-192
- Hilgen F J, Iaccarino S, Krijgsman W, Villa G, Langereis C G & Zachariasse W J. 2000. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Messinian Stage (uppermost Miocene). *Episodes*, **23**: 172-178
- Hopwood A T. 1935. Fossil Proboscidea from China. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, **9**(3): 1-108
- Kaakinen A. 2005. A long terrestrial sequence in Lantian: a window into the Late Neogene palaeoenvironments of northern China. Helsinki: Yliopistopaino. 1-49
- Li J J *et al.* 1995. Uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and global change. Lanzhou: Lanzhou University Press. 1-207
- Licent E. 1936. Vingt deux années d'exploration dans le Nord de la Chine, en Mandchourie, en Mongolie et au Bas-Tibet (1914-1935). *Publications du Musée Hoang Ho Pai Ho*, **39**: 1-41
- Liu L P, Kostopoulos D S & Fortelius M. 2004. Late Miocene *Microrostonyx* remains (Suidae, Mammalia) from northern China. *Geobios*, **37**: 49-64
- Mateer N J & Lucas S G. 1983. Swedish vertebrate paleontology in China: a history of the Lagrelius Collection. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala, New Series*, **11**: 1-24
- Pearson H S. 1928. Chinese fossil Suidae. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, **5**(5): 1-75
- Qiu Z D. 1988. Neogene micromammals of China. In: Chen E K J ed. *The paleoenvironment of East Asian from the Mid-Tertiary*, II. Hong Kong: University of Hong Kong. 834-848
- Qiu Z D, Wang X M & Li Q. 2006. Faunal succession and biochronology of the Miocene through Pliocene in Nei Mongol (Inner Mongolia). *Vertebrata Palasiatica*, **44**(2): 164-181
- Qiu Z X, Qiu Z D, Deng T, Li C K, Zhang Z Q, Wang B Y & Wang X M. 2013. 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. *Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology*. New York: Columbia University Press. 29-90
- Ringström T. 1924. Nashörner des *Hipparion*-fauna Nord-Chinas. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, **1**(4): 1-156
- Schlosser M. 1924. Tertiary vertebrates from Mongolia. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, **1**(1): 1-119
- Sefve I. 1927. Die Hipparionen Nord-Chinas. *Palaeontologia Sinica (Series C)*, **4**(2): 1-94
- 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 E & Heissig K eds. *The Miocene land mammals of Europe*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 9-24
- Wang X M. 1997. New cranial material of *Simocyon* from China, and its implications for phylogenetic relationship to the red panda (*Ailurus*). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **17**(1): 184-198
- Wang X M, Qiu Z D, Li Q, Wang B Y, Qiu Z X, Downs W, Xie G P, Xie J Y, Deng T, Takeuchi G, Tseng Z J, Chang M M, Liu J, Wang Y, Biasatti D, Sun Z C, Fang X M & Meng Q Q. 2007. Vertebrate paleontology, biostratigraphy, geochronology, and paleoenvironment of Qaidam Basin in northern Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **254**: 363-385
- Wang X M & Qiu Z X. 2004. Late Miocene *Promephitis* (Carnivora, Mephitidae) from China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **24**: 721-731
- Xue X X, Zhang Y X & Yue L P. 1995. Discovery and chronological division of the *Hipparion* fauna in Laogaochuan Village, Fugu County, Shaanxi. *Chinese Science Bulletin*, **40**: 926-929
- Yue L P, Deng T, Zhang R, Zhang Z Q, Heller F, Wang J Q & Yang L R. 2004. Paleomagnetic chronology and record of Hi-

- malayan movements in the Longgugou section of Gyirong-Oma Basin in Xizang (Tibet). *Chinese Journal of Geophysics*, **47**: 1135-1142
- Zdansky O. 1923. Fundorte der *Hipparion*-Fanna um Pao-Te-Hsien in NW-Shansi. *Bulletin of the Geological Survey of China*, (5): 69-81
- Zdansky O. 1924. Jungtertiäre Carnivoren Chinas. *Palaeontologica Sinica (Series C)*, **2**(1): 1-150
- Zdansky O. 1925. Fossile Hirsche Chinas. *Palaeontologica Sinica (Series C)*, **2**(3): 1-88
- Zhang Z Q, Gentry A W, Kaakinen A, Liu L P, Lunkka J P, Qiu Z D, Sen S, Scott R S, Werdelin L, Zheng S H & Fortelius M. 2002. Land mammal faunal sequence of the Late Miocene of China: new evidence from Lantian, Shaanxi Province. *Vertebrata Palasiatica*, **40**(3): 165-176
- Zhang Z Q, Kaakinen A, Liu L P, Lunkka J P, Sen S, Gose W A, Qiu Z D, Zheng S H & Fortelius F. 2013. Mammalian biochronology of the Late Miocene Bahe Formation. In: Wang X M, Flynn L J & Fortelius M eds. *Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology*. New York: Columbia University Press. 187-202
- Zhu Y M, Zhou L P, Mo D W, Kaakinen A, Zhang Z Q & Fortelius M. 2008. A new magnetostratigraphic framework for late Neogene *Hipparion* red clay in the eastern Loess Plateau of China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **268**: 47-57

## CHRONOSTRATIGRAPHIC SUBDIVISION AND CORRELATION OF THE UPPER MIOCENE OF THE LINXIA BASIN IN GANSU, CHINA

DENG Tao<sup>12)</sup>, HOU Su-kuan<sup>1)</sup>, XIE Guang-pu<sup>3)</sup>, WANG Shi-qi<sup>1)</sup>, SHI Qin-qin<sup>14)</sup>, CHEN Shao-kun<sup>15)</sup>, SUN Bo-yang<sup>14)</sup> and LU Xiao-kang<sup>14)</sup>

1) *Key Laboratory of Vertebrate Systematics, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044;*

2) *Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;*

3) *Gansu Provincial Museum, Lanzhou 730050;*

4) *Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;*

5) *Chongqing Three Gorges Institute of Paleoanthropology, China Three Gorges Museum, Chongqing 400015*

**Abstract** Terrestrial strata of the upper Miocene are well developed in China, among which the widely distributed red clays in northern China contain very rich mammalian fossils of the *Hipparion* fauna. The upper Miocene of the Linxia Basin in Gansu Province consists of a sequence of red clays of the Liushu Formation, in which many fossil localities were found. The fossil assemblages were subdivided into four mammalian faunas from the bottom to the top according to their horizons in the sections, and respectively named as the Guonigou, Dashengou, Yangjiashan, and Qingbushan faunas based on the representative localities. Paleomagnetic dating shows that the Liushu Formation covers the entire upper Miocene, including the lower upper Miocene Bahean Stage and the upper upper Miocene Baodean Stage. The Guonigou, Dashengou and Yangjiashan faunas belong to the Bahean, while the Qingbushan fauna belongs to the Baodean. If the lower boundary of the Bahean Stage correlated with that of the marine Tortonian Stage (lower boundary of Chron C5r. 2n), it occurs in the sedimentary sequence in the Linxia Basin, with an age of 11.6 Ma, and the first appearance datum of *Hipparion* is slightly higher than this boundary, with an age of 11.1 Ma. If the lower boundary of the Baodean Stage is correlated with that of the marine Messinian Stage, its position can be accurately determined in the Liushu Formation and also in the Woma Formation of Gyirong, Tibet. Because the Baodean was derived from Baode County, Shanxi Province, the lower boundary stratotype of this stage should be based on the Jijiagou section of Yaozhuang Township in this county, within Chron C3Br. 1r near the base of the red clays in the Baode Formation and with an age of 7.25 Ma, and the first appearance datum of *Hipparion forstenae* can be regarded as a biostratigraphic marker.

**Key words** chronostratigraphy, terrestrial deposit, boundary stratotype, Bahean, Baodean, Miocene, Linxia Basin, Gansu