论文

早渐新世兰州盆地的巨犀及南坡坪动物群组合特征与环境意义

李智超^{①②}, 李永项^{①②*}, 张云翔^{①②}, 李文厚^①, 谢坤^{①②}^① 西北大学地质学系, 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069;^② 西北大学新生代地质与环境研究所, 西安 710069

* 通讯作者, E-mail: mzlyx11@163.com

收稿日期: 2015-10-29; 接受日期: 2016-03-01; 网络版发表日期: 2016-05-23

国家自然科学基金重大项目(批准号: 41290253)资助

摘要 在兰州盆地渐新统韩家井组新发现的巨犀化石, 属于南坡坪动物群, 该动物群主要由大小两类动物组成. 小型哺乳动物主要为梳趾鼠 *Ctenodactylidae* 等草原啮齿类, 大型林栖哺乳动物主要由巨犀 *Paraceratherium*、副猪 *Paraentelodon* 等组成. 动物群 23 个属种类型中, 森林型占 ~40%, 草原型占 ~60%. 与同期南北两侧的临夏椒子沟动物群和党河叮当沟动物群相比较, 明显具有过渡区特点. 以哺乳动物化石证据推测, 渐新世中国干旱带南界很可能从兰州盆地附近通过.

关键词 早渐新世, 兰州盆地, 巨犀, 南坡坪动物群, 古环境

1 引言

近几十年来, 全球环境变化已经成为国际社会关注的焦点. 干旱化作为一个对现代人类生活影响极为深刻和广泛的生存环境问题日益受到广泛的重视, 中国北方地区的干旱化就是我们所面临的一系列与环境变化相关的重大生存环境问题之一(符淙斌、安芷生, 2002; 方小敏等, 2007; 安成邦、陈发虎, 2009).

干旱化过程导致沉积环境的改变和动物群的迁徙, 进一步发展将导致沙漠和风成沉积序列的形成.

研究表明, 我国西部的风成沉积早在约 25Ma 前已经形成(Sun 等, 2010; 张小科等, 2010), 但对西部干旱化的起始年代、早期演化及其环境特征的进一步认识还需要更多的古生物证据. 同时, 对于渐新世古环境格局中横贯中国中(西)部干旱带的南界, 前人也有不同的认识. 刘东生等(1998)认为该界线大约在兰州盆地以南不远, 但其他人又认为该界线可能向南推移很远(张仲石、郭正堂, 2005; An, 2014).

渐新世兰州盆地的气候环境对于确定我国西部干旱化的起始年代、早期演化特征以及相关时期中国古气候格局都具有重要意义, 因此兰州盆地早渐新

中文引用格式: 李智超, 李永项, 张云翔, 李文厚, 谢坤. 2016. 早渐新世兰州盆地的巨犀及南坡坪动物群组合特征与环境意义. 中国科学: 地球科学, 46: 824–833, doi: 10.1360/N072015-00459
英文引用格式: Li Z C, Li Y X, Zhang Y X, Li W H, Xie K. 2016. Nanping fauna of the Lanzhou Basin and its environmental significance. Science China Earth Sciences, 59: 1258–1266, doi: 10.1007/s11430-016-5288-6

世晚期韩家井组的气候环境研究受到相关研究者的重视, 在古生物学及地层学研究等方面都取得了相当大的进展(邱占祥、邱铸鼎, 1990; 邱占祥等, 1997; 邱占祥、谷祖纲, 1998; 岳乐平等, 2000; 王伴月、邱占祥, 2000; 颀光普, 2004). 然而, 对于这一时期的环境气候却有截然不同的认识: 亚热带干旱或周期性干旱气候(耿宝印等, 2001), 或者环境并不严酷, 为半干旱半暖湿气候下的森林环境, 间有开阔的草原地带(颀光普、赵得思, 2011), 为温带半湿润的气候环境(孙柏年等, 2004), 甚至比现在兰州更加温暖湿润(姚妮妮等, 2010). 那么究竟该如何理解和把握该区这一时期的气候环境特点?

在国家自然科学基金重大项目“渐新世以来亚洲内陆干旱化与西风气候演化”支持下, 课题组近年来对兰州盆地进行了多次考察, 在兰州盆地渐新统韩家井组发现了属于南坡坪动物群的巨犀化石. 依据新发现的化石证据及前人的研究成果, 本文拟对上述问题作进一步讨论.

2 南坡坪动物群的组成、地层分布及时代

依据新发现的化石及前人研究成果(邱占祥等, 1997; 颀光普, 2004; 邱占祥、王伴月, 2007), 南坡坪动物群由下列属种组成: 鼠兔Ochotonidae、微型链兔*Desmatolagus pusillus*、德氏鄂尔多斯兔*Ordolagus teilhardi*、洛异鼠*Anomoemys lohculus*、阿尔泰察干鼠*Tsaganomys altaicus*、亚洲真古仓鼠*Eucricetodon asiaticus*、党河副蹶鼠*Parasminthus tangingoli*、小副蹶鼠*P. parvulus*、褶齿塔塔鼠*Tataromys plicidens*、西玛塔塔鼠*T. sigmodon*、小塔塔鼠*T. minor*、步氏丘齿鼠*Bounomys bohlini*、乌兰塔塔尔丘齿鼠*B. ulantatalensis*、谷氏阴河鼠*Yindirtemys grangeri*、喀拉鼠*Karakoromys* sp.、单沟河狸“*Monosaulax*” sp.、河狸*Steneofiber* sp.、山河狸 *Aplodontidae*、河套裂爪兽*Schizotherium ordosium*、副獾*Paraentelodon* sp.、图尔盖异角犀 *Allacerops* cf. *A. turgaica*、兰州巨獾犀*Aprotodon lanzhouensis*和巨犀*Paraceratherium* sp.等, 共有23个属种(表1).

动物群组成简单, 主要包括大小两类动物. 小型哺乳动物主要为草原啮齿类, 还有一部分林栖的大动物. 巨獾犀、裂爪兽、副獾和河狸等的存在, 说明

附近有相当规模的森林和水体的存在. 动物群23个属种类型中, 森林型占~40%, 草原型占~60%. 虽然草原型小啮齿类占有较高的比例, 但其中一些齿冠较低的类型又说明这些草原型啮齿类可能与今天干旱的高冠类型有明显的区别. 据研究(黄学诗, 1993), 洛异鼠 *Anomoemys lohculus* 为曾见于内蒙古乌兰塔塔尔的一种古老的跳鼠, 其齿冠相对较低. 它可能与今天广布于亚、非、欧三大洲的干旱与半干旱地区的草原啮齿类动物跳鼠不同, 正如早期取食嫩枝嫩叶的马类与后期干草原上的马类的区别(邓涛, 2004)一样, 早期的低冠啮齿类与后期或现在的啮齿类所代表的环境可能也有一定的差异. 当时的兰州盆地应该是一个半干半湿略为偏干的环境, 处于南部湿润区与北部干旱区的过渡地带, 少数南侧湿润环境的巨獾犀、副獾、裂爪兽及河狸等可以扩散到这里生存, 北部干旱环境的大量啮齿类也可以在这里生活, 因此南坡坪动物群并不是一个典型的较湿润(姚妮妮等, 2010)或者干旱环境(耿宝印等, 2001; 姚妮妮等, 2011)的动物组合, 而是一个特殊的过渡区动物组合.

南坡坪动物群产于兰州盆地渐新统韩家井组(邱占祥等, 1997; 颀光普, 2004), 典型地点位于兰州市西固区黄河北岸的南坡坪村(图1). 由于近年来道路、工业发展等原因, 又有较好地层剖面出露, 因此我们对该区出露地层进行了实测. 研究认为(邱占祥等, 1997; 颀光普, 2004), 该区渐新统包括野狐城组上部、韩家井组及甘家滩组. 野狐城组主要为棕红色泥岩夹棕红色砂岩, 局部见薄层绿色泥岩, 上部发现大量腹足类、介形类及少量鱼类碎片, 石膏层较下部明显减少; 韩家井组主要以灰白色、灰黄色砂岩为主, 见大量红色泥砾及槽状交错层理, 同时在该组的近底部发现巨犀及一些啮齿类化石; 甘家滩组则主要为棕红色粘土岩、砂质泥岩. 沉积相分析显示该区渐新世早期为湖泊沉积, 之后出现河流沉积环境, 后期又过渡为湖泊沉积. 南坡坪动物群主要产于河流相的砂岩中, 地层年龄约为31.5Ma(岳乐平等, 2000; 张鹏, 2015). 此动物群中的小哺乳动物化石, 以梳齿鼠类*Tataromys*和*Bounomys*大量出现、*Karakoromys*趋于消失、缺乏比较进步的中华鼠兔*Sinolagomys*为特征, 在组成上和内蒙古千里山地区乌兰布拉格组上段的小哺乳类几乎没有什么区别. 大哺乳动物化石有我

表 1 兰州盆地及其邻区三个动物群组成比较

组成	椒子沟动物群	南坡坪动物群	叮当沟动物群
小峰古鼯 <i>Palaeoscaptor</i> cf. <i>P. acridens</i>			+
古鼯 <i>Palaeoscaptor</i> sp.			+
党河鲜松鼠 <i>Oligosciurus dangheensis</i>			+
亚洲腔齿鼠 <i>Coelodontomys asiaticus</i>			+
仓鼠 <i>Cricetidae</i> gen. et sp. Indet.			+
鼠兔 <i>Ochotonidae</i>		+	
戈壁链兔 <i>Desmatolagus gobiensis</i>			+
微型链兔 <i>Desmatolagus pusillus</i>		+	+
德氏鄂尔多斯兔 <i>Ordolagus teilhardi</i>		+	
洛异鼠 <i>Anomoemys lohculus</i>		+	
阿尔泰察干鼠 <i>Tsaganomys altaicus</i>	+	+	
亚洲真古仓鼠 <i>Eurcricetodon asiaticus</i>		+	
党河副蹶鼠 <i>Parasminthus tangingoli</i>		+	
小副蹶鼠 <i>P. parvulus</i>		+	
副蹶鼠 <i>Parasminthus</i> spp.			+
褶齿塔塔鼠 <i>Tataromys plicidens</i>		+	
西玛塔塔鼠 <i>T. sigmodon</i>		+	+
小塔塔鼠 <i>T. minor</i>		+	
步氏丘齿鼠 <i>Boumymys bohlini</i>		+	
乌兰塔塔尔丘齿鼠 <i>B. ulantatalensis</i>		+	
谷氏阴河鼠 <i>Yindirtemys grangeri</i>		+	
退隐卡拉鼠 <i>Karakoromys decessus</i>		+	+
卡拉鼠 <i>Karakoromys</i> sp.		+	
单沟河狸“ <i>Monosaulax</i> ” sp.		+	
河狸 <i>Steneofiber</i> sp.		+	
山河狸科 <i>Aplodontidae</i>		+	
河套裂爪兽 <i>Schizotherium ordosium</i>	+	+	+
巨颌副獾 <i>Paraentelodon macrognathus</i>	+		
副獾 <i>Paraentelodon</i> sp.		+	
图尔盖异角犀 <i>Allacerops</i> cf. <i>A. turgaica</i>		+	
异角犀 <i>Allacerops</i> sp.	+		+
兰州巨獾犀 <i>Aprotodon lanzhouensis</i>	+	+	
巨翼齿兽 <i>Megalopterodon</i> sp.	+		
三趾原犀 <i>Triplopus</i> sp.	+		
阿丁犀 <i>Ardynia</i> sp.	+		
高冠阿丁犀新种 <i>Ardynia altaica</i>	+		
霍尔果斯准噶尔巨犀 <i>Dzungariotherium orgosense</i>	+		
巨犀 <i>Paraceratherium</i> sp.	+	+	
龙佐犀 <i>Ronzotherium</i> sp.	+		
副短齿兽 <i>Parabrachyodus</i> sp.			+

图 1 动物群位置、地层剖面及其与邻区比较图

据 Fang 等(2003)、Wang 等(2003)、Sun 等(2005)、张鹏(2015)修改

国渐新世的特征种 *Schizotherium ordosium* (邱占祥等, 1997). 根据目前国际上对于渐新世下界的修订意见

(王伴月, 1997), 认为该动物群的时代为早渐新世晚期 (邱占祥等, 1997). 植物化石 *Rhus turcomanica*, 过

去仅在前苏联的中始新世至早渐新世地层中发现过(邱占祥等, 1997). 动物群中的*Tsaganomys*, 最早出现于早渐新世晚期, 其确切的化石记录终止于晚渐新世早期, 它是亚洲渐新世的标志化石之一(Wang等, 2001; 邓涛等, 2004).

岳乐平等(2000)、张鹏(2015)先后对兰州盆地新生代地层进行了磁性年代学分析, 结果表明, 咸水河组(邱占祥等1997年的划分方案, 包括上中下三部分, 韩家井组相当于其下段的下部)底界年龄约为31.5Ma, 南坡坪动物群的年代约为29.5~31.5Ma.

3 同期相邻动物群及比较

从已经发现的哺乳动物化石资料来看, 渐新世在兰州盆地南北两侧还有两个哺乳动物群, 分别是临夏椒子沟动物群和党河叮当沟动物群(图1).

临夏椒子沟动物群见于该区渐新统他拉组 and 椒子沟组. 在毛沟剖面中, 渐新世他拉组(Li, 1995), 不整合于花岗岩之上, 下部为紫红色砂砾岩, 夹石膏薄层; 中部为浅紫红色粉砂岩、泥岩互层, 钙质胶结; 上部为紫红色块状泥岩. 椒子沟组(邱占祥、邱铸鼎, 1990; 邓涛等, 2004), 下部为褐黄色砂岩及砂砾岩, 夹少量紫红色泥岩, 含石膏层; 上部为褐红色泥岩, 局部见韵律层, 发育大量石膏层. 渐新世该区主要为河流相沉积与湖相沉积交替出现的环境. 椒子沟动物群中已知的种类(表1)主要包括啮齿类的阿尔泰查干鼠(*Tsaganomys altaicus*), 肉齿类的巨翼齿兽(*Megalo-pterodon* sp.), 奇蹄类的河套裂爪兽(*Schizotherium ordosium*)、巨犀(*Paraceratherium* sp.)、偶蹄类的巨颌副猪(*Paraentelodon macrognathus*)等(邱占祥等, 2004a, 2004b; 邓涛, 2004; Deng 等, 2013). 该动物群以准噶尔巨犀为代表, 又被称之为巨犀动物群(邓涛, 2004). 巨犀是地质历史中最大的陆生哺乳动物, 体长可超过8m, 肩高可超过5m, 而准噶尔巨犀是已知最大的巨犀(邱占祥, 1973; 邓涛, 2004). 巨犀的颈部和四肢长, 颊齿为构造原始的低冠齿, 以柔嫩多汁的树叶和树枝等为食. 巨犀是亚洲的土著类型, 除在中国有最为丰富的化石发现以外, 在蒙古、哈萨克斯坦、格鲁吉亚和巴基斯坦等地也有分布. 不同于现生的犀牛, 巨犀的颈椎较长, 这样便于它在取食高树的枝叶时向前上方斜伸头部. 巨犀的前腿明显比后腿

长, 特别是桡骨要比胫骨长许多, 因此巨犀在站立时, 前半身能抬得更高, 显然这也是取食树叶的适应性状(Lucas、Sobus, 1989). 巨犀化石在临夏盆地的大量发现反映出晚渐新世该区森林广布, 能够支持食量巨大的巨犀生存.

临夏椒子沟巨犀动物群中的其他种类也大都低冠的食树叶动物, 其中包括爪兽、巨獠犀等. 爪兽是奇蹄类中惟一的脚上有爪而不是有蹄的, 前腿比后腿长. 巨獠犀(*Aprotodon*)属于犀科, 它的下颌联合部十分宽大, 在形态上相似于河马, 最初的研究者曾因此将它当作是河马的一类(Foster-Cooper, 1915), 巨獠犀在临夏盆地的存在反映当时应该有大量的水体(Deng、Downs, 2002). 临夏椒子沟巨犀动物群中还包括4种跑犀, 即三趾原犀、异无角犀和2种阿丁犀. 跑犀的个体较小, 具有长而侧向受力的掌骨, 适应于奔跑的生活方式(Prothero等, 1989). 由于跑犀具有善跑的习性, 因此它们生活的环境中森林不会过于茂密, 存在有大片的林间疏地.

同期在兰州和临夏盆地西北侧党河流域发现的叮当沟动物群(王伴月等, 2003; 王伴月、邱占祥, 2004; 王晓鸣等, 2008)(图1), 则主要由链兔、跳鼠、仓鼠等草原啮齿类组成, 与东南侧代表湿润环境的动物组成截然不同.

党河地区新生代地层广泛出露, 经典的地点包括西水沟、铁匠沟、燕丹图和五个泉子等, 渐新世地层主要发育孢牛泉组, 其上下界限受断层控制(Burchfiel等, 1991; Metivier等, 1998), 底部出露红色砾岩与粉砂质泥岩互层, 下部为泥质砂岩夹砂砾岩, 向上逐渐变细, 为灰绿色、棕红色泥岩, 上部出现厚层灰白色、浅灰黄色砾岩与泥岩互层, 红色泥岩中见石膏(Wang等, 2003). 渐新世该区整体为湖相, 底部及顶部发育河流相沉积, 沉积环境与南坡坪及临夏地区几近相同.

叮当沟动物群以小型草原啮齿类为主, 主要包括古鼯 *Palaeoscaptor*、松鼠 *Oligosciurus* 塔塔鼠 *Tataromys*、卡拉鼠 *Karakoromys*、腔齿鼠 *Coelodontomys*、副蹶鼠 *Parasminthus*、仓鼠 *Cricetidae*、链兔 *Desmatolagus*、异角犀 *Allacerops*、裂爪兽 *Schizotherium* 及副短齿兽 *Parabrachyodus*(表1). 这些化石的绝大多数都是亚洲早渐新世地层中常见的属种. 其中 *Karakoromys decessus*、*Coelodontomys asiaticus*、

*Desmatolagus gobiensis*和*Allacerops*的已知时代分布限于早渐新世。*Tataromys sigmodon*、*Desmatolagus pusillus*、*Schizotherium ordosium*和*Parabrachyodus*的时代为早渐新世晚期到晚渐新世。*Palaeoscaptor*和*Parasminthus*的产出时代主要是渐新世,但可能延续到早中新世。综合分析上述各类的时代分布,叮当沟哺乳动物群的时代可能为早渐新世晚期(王伴月、邱占祥, 2004)。结合方小敏等尚未发表的古地磁结果,叮当沟动物群的时代在31.5~26.5Ma左右(王晓鸣等, 2008)。

塔塔鼠(*Tataromys*)、卡拉鼠(*Karakoromys*)及腔齿鼠(*Coelodontomys*)均属于梳趾鼠科,而现代梳趾鼠是只生活在北非和东非的沙漠和半沙漠地带的岩石地区或多砾的山地的一类小型啮齿动物,喜欢热而干燥的气候环境(王伴月, 2001)。其他的仓鼠(*Cricetidae*)、戈壁链兔(*Desmatolagus*)等都属于荒漠、草原类型,动物组合在总体上明显地显示出比较干旱的特点。

4 讨论

渐新世中国的哺乳动物在演化上有两个显著的现象:一是大量古老动物类型的消失,二是毗邻青藏高原的蒙新高原区出现了一些高冠草原型小哺乳动物(如查干鼠和鼠兔)。哺乳动物的转变与沉积物的变化几乎发生在同一时期,这种现象无疑是古地理和生态环境发生重大改变的结果。据此推测,渐新世中期中国自然地理可能发生了显著变化,地形上改变了始新世相对平坦的状况,形成了西高东低的地貌,西北地区的气候变得干旱(邱铸鼎、李传夔, 2004)。渐新世,中国东西部哺乳动物差异趋于明显,梳齿鼠类的分布仅见于新疆、内蒙古、青海、甘肃、宁夏等地,特别是在蒙新高原如甘肃党河流域出现大量的草原啮齿类,鼠兔、跳兔等(王伴月等, 2003, 2004; 王晓鸣等, 2008),与东南部以两栖犀、石炭兽等为代表的岸边沼泽动物(袁复礼、杜恒俭, 1984)形成鲜明对照。但这两个区域的具体界线究竟在哪里?

从上述兰州盆地及其邻近区域的三个哺乳动物组合的化石证据来看,这个界线应该就在兰州盆地附近。

相比较而言,三个动物群均位于内陆河湖相沉

积环境的地层中,沉积环境相似,各动物群均产于河流相发育的砂岩中。而从动物群组合来看,产于兰州盆地渐新统韩家井组的南坡坪哺乳动物组合明显具有干旱-湿润的过渡特点(表1):森林型的大化石类似于盆地南侧以温暖湿润的森林环境为主(91.7%)的临夏椒子沟巨犀动物群,而草原型的小化石则与盆地西北侧同一时期以小型啮齿类为主(77%)、代表草原环境的党河叮当沟动物群接近;只是代表湿润环境的大化石比例相对较少(~40%),而代表干旱环境的啮齿类比例稍多(~60%)(表1),因而呈现出半干半湿、略微偏干的过渡区特点。

同一时期位于兰州盆地北侧内蒙古阿拉善左旗的乌兰塔塔尔动物群(黄学诗, 1982),其生态特点与叮当沟动物群十分相似,小型的草原啮齿类包括刺猬、兔、鼠等有14种,占绝对优势,而代表森林环境的大型犀类只有2种。这与同期或者相近时期中国东南部的哺乳动物组合截然不同,如云南曲靖蔡家冲动物群所鉴定出来的10种动物中(袁复礼、杜恒俭, 1984),除炭兽和中鼯鹿以外,其余8种均是两栖犀和犀科成员,包括巨犀、卡地犀、两栖犀等,这个组合显然与上述临夏椒子沟动物群相当一致,而与叮当沟和乌兰塔塔尔动物群形成鲜明对照,显示出这一时期中国东南和西北不同区域在生态环境方面的明显不同。尽管曲靖蔡家冲动物群后来被归入晚始新世(童永生等, 1995; 王伴月, 1997),但后来发现的渐新世化石仍为葛氏巨犀、巨两栖犀等(邱占祥, 1962; 齐陶, 1992),表明同一时期或者相近时期具有明确生态特点的代表性动物组合仍然以犀类为主。

由哺乳动物化石推测,渐新世中国干旱带的南界可能从兰州盆地附近通过。

兰州盆地渐新统韩家井组的古植物化石也得到较多的研究。孙柏年等(2004)对韩家井组产出的压型植物化石群进行研究,对其中山杨化石(*Populus davidiana*)做角质层分析,和现生于武山、山丹、昆明等地区的标本对比分析表明,该期兰州地区处于温带半湿润的气候环境,年降雨量大约为500mm。姚妮妮等(2010)通过对兰州盆地渐新统韩家井组9科11属20种植物化石进行共存分析,恢复渐新世年平均降水量为315.7~492.2mm,表明当时气候比较湿润。Miao等(2013)对兰州盆地咸水河组下段28.5~30.5Ma(相当于韩家井组)地层进行了系统的孢粉分析,采集

42件样品, 仅6件样品超过300粒孢粉, 对这些样品运用共存法分析推测当时该区年平均降水量超过800mm, 与现今中国南方湿润气候相当。然而, 全部样品中, 大部分含有少量孢粉, 多位于氧化环境的棕红色粘土等地层中。可以看出, 植物研究结果不尽相同, 估计降雨量从315.7~800mm, 跨度范围较广, 从半干旱-半湿润一直跨越至湿润环境, 但植物化石研究总体上显示该区渐新世存在湿润气候。从耐干旱指数组合E-P-C(*Ephedraceae*麻黄, *Nitraria* (*Pokrovskaja*) 蒺藜和*Chenopodiaceae*藜)可以看出, 西部的西宁盆地为56%(孙秀玉等, 1984), 塔里木、柴达木盆地近60%(朱宗浩, 1985, 王大宁等, 1990), 孢粉组合特征区域上显示出兰州盆地以西干旱化气候特征相当明显。通过我们的野外剖面实际观察, 并对比已有地层孢粉柱状图(Miao等, 2013), 发现兰州地区植物化石富集的层位比较局限, 平面延续性差, 孢粉富集的湿润层段与孢粉匮乏的氧化环境层段交替出现, 含大量孢粉的地层薄且少, 大部分地层孢粉化石匮乏, 表明该区大背景应为半干旱气候环境, 孢粉富集层应该属于半干旱气候背景下的湿润时段。其实, 早期的孢粉研究认为, 咸水河组(包括韩家井组)具旱生植被面貌, 说明这一时期草原景观已很明显(孙秀玉等, 1984)。姚妮妮等(2011)在2010年对甘肃兰州盆地渐新统韩家井组植物化石进行共存分析以后, 又运用共存分析法对产于该组的23种哺乳动物化石进行了分析, 结果为年均水量(MAP)74.8~492.2mm(中值283.5mm), 分析表明渐新世兰州比现在气候较冷、干燥, 表现出半干旱区的环境特点, 与上述区域上三个哺乳动物群的比较结果完全一致, 这也从另一个角度证实了南坡坪动物组合与同期邻近动物群的比较结果。

现今兰州盆地受温带大陆性气候控制, 属温带半干旱区。兰州气象站点(52889, 36°03'N, 103°53'E)1951年到2008年的气象数据显示, 兰州市的年降雨量在189.2~546.7mm之间, 平均为319.4mm(张鹏, 2015)。上述植物化石的分析结果明显偏湿, 而哺乳动物化石讨论, 无论是区域上的动物群比较, 还是共存分析法的运用, 都比较客观地显示出一个与今天兰州盆地类似的、半干旱区的环境特点。

南坡坪哺乳动物组合与相邻动物群的比较结果显示, 研究区当时的环境特点与现今比较接近, 属于

半干旱环境, 这既显示渐新世中国干旱带南界可能从兰州盆地附近通过, 同时也暗示现今中国地理格局的雏形在渐新世就已初步出现。

渐新世中国气候大致呈行星风系控制的东西走向格局, 东南部相对湿润(刘东生等, 1998)。近年来研究显示, 自65~56Ma以来印度板块与欧亚板块初始碰撞, 在56~45Ma达到碰撞高峰, 至45~34Ma全面碰撞, 青藏高原逐渐隆升(张克信等, 2010a), 但并未达到有意义的高度。Ramstein等(1997)模拟早渐新世(~30Ma)气候, 显示高原仅在南部存在有限隆升, 而Tapponnier等(2001)认为高原由南向北逐渐推进多阶段隆升, 中部隆升出现在渐新世至中新世, 古高度恢复显示古近纪青藏高原未整体隆升, 仅限于冈底斯一带, 海拔在2000m以下(李吉均等, 1979)。只有当青藏高原达到现代高度的一半时, 才可能产生明显的气候环境效应, 才算达到有意义的高度(孙东怀等, 1998)。不同学者恢复的古高度不尽相同, 即使同一地区也有所差异。David等(2006)根据同位素古海拔高度计, 测出伦坡拉盆地在35Ma时, 海拔已升高到4000m; Sun等(2014)根据孢粉组合推测晚渐新世伦坡拉盆地古高度不低于3000m; 吴珍汉等(2007)根据构造变形、孢粉组合、全球变化、古气温及年代资料, 推断青藏高原渐新世晚期隆升高度达4000m左右。渐新世青藏高原可能已经抬升到了一定高度, 开始影响中国气候格局(童永生等, 1996), 但更多学者认为青藏高原大幅度隆升是新近纪以来的事件(张克信等, 2013; 李吉均等, 2015), 渐新世最大的构造地貌为冈底斯、喜马拉雅和喀喇昆仑的隆升(张克信等, 2010b), 主要位于青藏高原西南-南缘, 北部柴达木、塔里木、吐鲁番-哈密以及准格尔等地区处于一个水域, 近似统一的泛盆地(葛肖虹等, 2006)。随着40Ma左右藏南新特提斯残留海消亡, 印度板块与欧亚板块全面碰撞(张克信等, 2010a), 欧亚大陆面积急剧扩大, 导致海陆热力差异增大, 同时随着晚始新世南极冰盖出现, 至渐新世冰盖加大(Zachos等, 1993; 拓守廷等, 2003)南半球信风进入北半球低纬度, 陆地带来的海洋水汽增加(刘东生等, 1998), 我国东南-西北干湿气候差异趋于明显。渐新世兰州盆地南坡坪动物组合及相邻动物群比较所反映出来的生态环境差异, 应该就是这种大的构造背景下动物生活环境特点的真实写照。

5 结论

在兰州盆地渐新统韩家井组下部发现巨犀 *Paraceratherium* 化石, 属于早渐新世南坡坪动物群的主要成员之一. 渐新世兰州盆地南坡坪动物群主要由大小两类动物组成. 小型哺乳动物主要为梳趾鼠 *Ctenodactylidae* 等草原啮齿类, 大型林栖哺乳动物主要为巨犀 *Paraceratherium*、副猿 *Paraentelodon* 等. 动物群23个属种类型中, 森林型占~40%, 草原型占~60%, 具有半干半湿、略微偏干的环境特点.

研究区及其附近3个动物群所在盆地在渐新世沉积环境相似, 均为内陆的河湖相沉积, 但动物群的组合特点存在明显差异, 西北部的党河町当沟动物群主要由草原啮齿类组成, 而南侧的临夏椒子沟动物群则主要为巨犀等森林型的大型食草动物, 与之相比中部南坡坪动物群明显具有过渡区特点.

据哺乳动物化石证据推测, 在早渐新世晚期(大约31Ma±)中国干旱带南界很可能从兰州盆地附近通过. 在韩家井期, 该区气候为半干旱半湿润环境, 代表南侧湿润环境和北侧干旱环境的两类不同含义的动物类型在这一区域共生, 这一时期兰州盆地及其附近地区应为干湿环境的过渡地带.

致谢 审稿人提出了建设性意见, 张宏发高级工程师参加野外化石发掘, 西北大学赵聚发高级技师修复标本, 贲杭生参加了野外发掘及室内整理修复, 贲桂云女士对化石的发现、发掘及室内整理做出了大量工作, 对他们的无私帮助和辛勤劳动, 特致以衷心感谢.

参考文献

- 安成邦, 陈发虎. 2009. 中东干旱区全新世气候变化的西风模式——以湖泊研究为例. 湖泊科学, 21: 329–334
- 邓涛, 王晓鸣, 倪喜军, 刘丽萍, 梁忠. 2004. 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: 45–66
- 邓涛. 2004. 临夏盆地晚新生代哺乳动物群演替与青藏高原隆升背景. 第四纪研究, 24: 413–420
- 方小敏, 徐先海, 宋春晖, 韩文霞, 孟庆泉, 乌居雅之. 2007. 临夏盆地新生代沉积物高分辨率岩石磁学记录与亚洲内陆干旱化过程及原因. 第四纪研究, 27: 989–1000
- 符淦斌, 安芷生. 2002. 我国北方干旱化研究-面向国家需求的全球变化科学问题. 地学前缘, 9: 271–275
- 葛尚虹, 任收麦, 马立祥, 吴光大, 刘永江, 袁四化. 2006. 青藏高原多期次隆升的环境效应. 地学前缘, 13: 118–130

- 耿宝印, 陶君容, 颜光普. 2001. 兰州盆地早第三纪植物及古气候意义. 植物分类学报, 39: 105–115
- 黄学诗. 1982. 内蒙古阿左旗乌兰塔塔尔地区渐新世地层剖面及动物群初步观察. 古脊椎动物与古人类, 20: 337–349
- 黄学诗. 1993. 内蒙古乌兰塔塔尔地区中渐新世的圆柱齿鼠科啮齿类. 古脊椎动物学报, 31: 33–43
- 李吉均, 文世宣, 张青松, 王富葆, 郑本兴, 李炳元. 1979. 等青藏高原隆起的时间、幅度和形式的探讨. 中国科学B辑, 6: 608–618
- 李吉均, 周尚哲, 赵志军, 张军. 2015. 论青藏运动主幕. 中国科学: 地球科学, 45: 1597–1608
- 刘东生, 郑绵平, 郭正堂. 1998. 亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性. 第四纪研究, 3: 194–204
- 齐陶. 1992. 记云南巨两栖犀属一新种. 古脊椎动物学报, 30: 229–232+260
- 强小科, 安芷生, 宋友桂, 常宏, 孙有斌, 刘卫国, 敖红, 董吉宝, 符超峰, 吴枫, 卢凤艳, 蔡演军, 周卫健, 曹军骥, 徐新文, 艾莉. 2010. 晚渐新世以来中国黄土高原风成红粘土序列的发现: 亚洲内陆干旱化起源的新记录. 中国科学: 地球科学, 40: 1479–1488
- 邱占祥. 1962. 记云南罗平的巨犀化石并论葛氏巨犀的性质. 古脊椎动物与古人类, 6: 57–71
- 邱占祥. 1973. 新疆准噶尔盆地的巨犀化石. 古脊椎动物学报, 11: 182–191
- 邱占祥, 邱铸鼎. 1990. 中国晚第三纪地方哺乳动物群的排序及其分期. 地层学杂志, 14: 241–260
- 邱占祥, 王伴月, 邱铸鼎, 颜光普, 谢骏义, 王晓鸣. 1997. 甘肃兰州盆地咸水河组研究的新进展. 演化的实证——纪念杨钟健教授百年诞辰论文集. 北京: 海洋出版社. 177–192
- 邱占祥, 谷祖纲. 1998. 甘肃兰州-第三纪中期哺乳动物化石地点. 古脊椎动物学报, 26: 198–213
- 邱占祥, 王伴月, 邓涛. 2004a. 甘肃临夏盆地的渐新世巨犀化石. 古脊椎动物学报, 42: 177–192
- 邱占祥, 王伴月, 邓涛. 2004b. 甘肃临夏盆地牙沟的哺乳动物化石及有关地层问题. 古脊椎动物学报, 42: 261–268
- 邱占祥, 王伴月. 2007. 中国的巨犀化石. 中国古生物志. 总号第193册, 新丙种第29号. 北京: 科学出版社. 1–444
- 邱铸鼎, 李传夔. 2004. 中国哺乳动物区系的演变与青藏高原的抬升. 中国科学D辑: 地球科学, 34: 845–854
- 孙柏年, 阎德飞, 解三平, 丛培允, 辛存林, 云飞. 2004. 兰州盆地古近系杨属叶化石及古气候指示意义. 科学通报, 49: 1283–1289
- 孙秀玉, 赵英娘, 何卓生. 1984. 青海西宁-民和盆地渐新世至中新世孢粉组合. 地质论评, 30: 207–216, 303
- 童永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 1995. 中国新生代哺乳动物分期. 古脊椎动物学报, 33: 290–314
- 童永生, 郑绍华, 邱铸鼎. 1996. 中国新生代哺乳动物区系演变. 古脊椎动物学报, 34: 215–227
- 拓守廷, 刘志飞, 赵泉鸿, 成鑫荣. 2006. 渐新世初大冰期事件:

- 南大西洋ODP1265站的记录. 地球科学, 31: 151–158
- 王伴月. 1997. 陆相渐新统划分中的问题及新进展. 地层学杂志, 21: 81–90
- 王伴月, 邱占祥. 2000. 甘肃兰州盆地咸水河组下红泥岩中的小哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 38: 255–273
- 王伴月. 2001. 会用“梳子”梳毛发的啮齿动物——梳趾鼠. 化石, 3: 8–10
- 王伴月, 邱占祥, 王晓鸣, 颜光普, 谢骏义, Downs W, 邱铸鼎, 邓涛. 2003. 甘肃省党河地区的新生代地层和青藏高原隆升. 古脊椎动物学报, 41: 66–75
- 王伴月, 邱占祥. 2004. 甘肃党河下游地区早渐新世哺乳动物化石的发现. 42: 130–143
- 王大宁, 孙秀玉, 赵英娘, 何卓生. 1990. 青海、新疆部分地区晚白垩世-第三纪孢粉植物群研究. 北京: 中国环境科学出版社. 1–179
- 王晓鸣, 王伴月, 邱占祥. 2008. 步林在甘肃党河流域塔奔布鲁克地区工作记录——经典脊椎动物化石与现代地层框架的解译. 古脊椎动物学报, 46: 1–19
- 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 叶培盛, 周春景. 2007. 青藏高原渐新世晚期隆升的地质证据. 地质学报, 81: 577–587
- 颜光普. 2004. 甘肃兰州盆地的第三纪地层及哺乳动物群. 地层学杂志, 28: 67–80
- 颜光普, 赵得思. 2011. 甘肃新生代气候环境变化与哺乳动物群演替. 第四纪研究, 31: 597–607
- 姚妮妮, 马福军, 闫德飞. 2010. 甘肃兰州盆地渐新世古气候参数重建. 甘肃地质, 19: 20–25
- 姚妮妮, 马福军, 闫德飞. 2011. 共存分析法在兰州盆地渐新世哺乳动物化石研究中的应用. 甘肃科学学报, 23: 72–78
- 袁复礼, 杜恒俭. 1984. 中国新生代生物地层学. 北京: 地质出版社. 1–376
- 岳乐平, Heller F, 邱占祥, 张莉, 颜光普, 邱铸鼎, 张云翔. 2000. 兰州盆地第三系磁性地层年代与古环境记录. 科学通报, 45: 1998–2002
- 张克信, 王国灿, 季军良, 骆满生, 寇晓虎, 王岳明, 徐亚东, 陈奋宁, 陈锐明, 宋博文, 张健钰, 梁银平. 2010a. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应. 中国科学D辑: 地球科学, 40: 1632–1654
- 张克信, 王国灿, 骆满生, 季军良, 徐亚东, 陈锐明, 陈奋宁, 宋博文, 梁银平, 张健钰, 杨永锋. 2010b. 青藏高原新生代构造岩相古地理演化及其对构造隆升的响应. 地球科学, 35: 697–712
- 张克信, 王国灿, 洪汉烈, 徐亚东, 王岸, 曹凯, 骆满生, 季军良, 肖国桥, 林晓. 2013. 青藏高原新生代隆升研究现状. 地质通报, 32: 1–18
- 张鹏. 2015. 兰州盆地中始新世至早中新世磁性地层与古环境演化. 博士学位论文. 西安: 中国科学院地球环境研究所. 1–117
- 张仲石, 郭正堂. 2005. 根据地质记录恢复渐新世和中新世不同时期环境空间特征及其意义. 第四纪研究, 25: 523–530
- 朱宗浩. 1985. 柴达木盆地第三纪孢粉学研究. 北京: 石油工业出版社. 1–297
- An Z S. 2014. Late Cenozoic Climate Change in Asia: Loess, Monsoon and Monsoon-arid Environment Evolution. Dordrecht: Springer. 1–587
- Burchfiel B C, Zhang P Z, Wang Y P, Zhang W P, Song F M, Deng Q D, Molnar P, Royden L. 1991. Geology of the Haiyuan fault zone, Ningxia-Hui Autonomous Region, China, and its relation to the evolution of the Northeastern Margin of the Tibetan Plateau. Tectonics, 10: 1091–1110
- David B Rowley, Brian S Currie. 2006. Paleo-altimetry of the late Eocene to Miocene Lunpola basin, central Tibet. Nature, 439: 677–681
- Deng T, Downs W. 2002. Evolution of Chinese Neogene Rhinocerotidae and its response to climatic variations. Acta Geol Sin, 76: 139–145
- 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
- Fang, X M, Garzione C, Voo R V D, 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 Planet Sci Lett, 210: 545–560
- Foster-Cooper C. 1915. New genera and species of mammals from the Miocene deposits of Baluchistan: Preliminary notice. Ann Mag Nat Hist (Ser 8), 16: 404–410
- Li J J. 1995. Uplift of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and Global Change. Lanzhou: Lanzhou University Press. 1–207
- Lucas S G, Sobus J C. 1989. The systematic of indricotheres. In: Prothero D R, Schoch R M, eds. The Evolution of Perissodactyls. New York: Oxford University Press. 358–378
- Metivier F, Gaudemer Y, Tapponnier P, Meyer B. 1998. Northeastward growth of the Tibet Plateau deduced from balanced reconstruction of two depositional areas: The Qaidam and Hexi Corridor basins, China. Tectonics, 17: 823–842
- Miao Y F, Wu F L, Herrmann M, Yan X L, Meng Q Q. 2013. Late early Oligocene East Asian summer monsoon in the NE Tibetan Plateau: Evidence from a palynological record from the Lanzhou Basin, China. J Asian Earth Sci, 75: 46–57
- Prothero D R, Gurin C, Manning E. 1989. The history of the Rhinocerotidae. In: Prothero D R, Schoch R M, eds. The Evolution of Perissodactyls. New York: Oxford University Press. 321–340
- Ramstein G, Fluteau F, Besse J, Joussaume S. 1997. Effect of orogeny, plate motion and land-sea distribution on Eurasian climate change over the past 30 million years. Nature, 386: 788–795
- Sun J M, Zhu R X, An Z S. 2005. Tectonic uplift in the northern Tibetan Plateau since 13. 7 Ma ago inferred from molasse deposits along the Altyn Tagh Fault. Earth Planet Sci Lett, 235: 641–653
- Sun J M, Ye J, Wu W Y, Ni X J, Bi S D, Zhang Z Q, Liu W M, Meng

- J. 2010. Late Oligocene-Miocene mid-latitude aridification and wind patterns in the Asian interior. *Geology*, 38: 515–518
- Sun J M, Xu Q H, Liu W M, Zhang Z Q, Xue L, Zhao P. 2014. Palynological evidence for the latest Oligocene-Early Miocene paleoelevation estimate in the Lunpola Basin, central Tibet. *Palaeogeogr Paleoclimatol Paleoecol*, 399: 21–30
- Tapponnier P, Xu Z Q, Roger F, Meyer B, Arnaud N, Wittlinger G, Yang. 2001. Geology-Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 294: 1671–1677
- Wang X M, Downs W, Xie J Y, Xie G P. 2001. *Didymoconus* (Mammalia: Didymoconidae) from Lanzhou Basin, China and its Stratigraphic and Ecological Significance. *U. S. A. J Vertebr Paleontol*, 21: 555–564
- Wang X M, Wang B Y, Qiu Z X, Xie G. P, Xie J Y, Will D, Qiu Z D, Deng T. 2003. Danghe area (western Gansu, China) biostratigraphy and implications for depositional history and tectonics of northern Tibetan Plateau. *Earth Planet Sci Lett*, 208: 253–269
- Zachos J C, Lohmann K C, Walker J C, Wise S W. 1993. Abrupt climate change and transient climates during the Paleogene: A Marine Perspective. *J Geol*, 101: 191–213