中国科学: 地球科学 2020 年 第 50 卷 第 2 期: 194 ~ 208
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文

# 青藏高原库木库里盆地中中新世末期动植物群与古环境

李强[1,2,3,4*], 周新郢[1,2], 倪喜军[1,2,3,4†], 付碧宏[3,5], 邓涛[1,2,3,4]

1. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室, 北京 100044;
2. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044;
3. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101;
4. 中国科学院大学, 北京 100049;
5. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094
* 通讯作者, E-mail: liqiang@ivpp.ac.cn
† 通讯作者, E-mail: nixijun@ivpp.ac.cn

收稿日期: 2019-05-30; 收修改稿日期: 2019-09-25; 接受日期: 2019-09-26; 网络版发表日期: 2019-11-13
中国科学院战略性先导科技专项项目(编号: XDB26030304、XDB26030300、XDA20070203、XDA19050100)和国家自然科学基金项目(批准号: 41625005)资助

**摘要** 报道了青藏高原北部新疆库木库里盆地石马沟组顶部中中新世末期(~12.5Ma)的7种小哺乳动物和16类孢粉化石. 新建化石小哺乳1种: 库木库里欧洲花鼠*Spermophilinus kumkolensis* sp. nov. 库木库里盆地中中新世末期动物群与欧洲和中国北方地区同时期动物群有较高的相似性, 表明在这一时期, 欧亚之间的小型哺乳动物在动物地理上存在非常密切的交流. 孢粉中乔木类型占主导, 草本和灌丛类型次之, 乔木型中又以栎和水青冈类等阔叶乔木为主. 依据孢粉重建的植物群呈现出常绿阔叶林和干热草原交汇的景观. 通过与云南地区的现代植被对比, 在中中新世末期, 库木库里盆地的植被在当时呈现明显的垂直差异性分布. 整体上, 中中新世末期库木库里盆地的动、物植物群的生态类型与现代存在明显差别, 当时的环境无疑远比现代适宜得多.

**关键词** 青藏高原, 库木库里盆地, 中中新世末期, 小哺乳动物, 孢粉

## 1 引言

青藏高原剧烈隆升无疑是新生代地球上最蔚为壮观的构造事件, 高原的抬升对亚洲乃至全球的气候环境和生物演化造成了深远的影响(Yao等, 2015). 长期以来, 中国的古生物工作者试图通过研究化石所蕴含的生物演化信息来反演青藏高原隆升和气候变化的过程(例如, Chang等, 2008; Deng和Ding, 2015; Wang等, 2015; Deng等, 2019; Su等, 2019) , 主要聚焦于2个重要的科学问题: (1) 生物演化如何对青藏高原新生代隆升进行响应? (2) 高原隆升的时间和幅度究竟是怎样的? 青藏高原地区新生代大小陆相沉积盆地近百个(张克

中文引用格式: 李强, 周新郢, 倪喜军, 付碧宏, 邓涛. 2020. 青藏高原库木库里盆地中中新世末期动植物群与古环境. 中国科学: 地球科学, 50: 194–208, doi: 10.1360/SSTe-2019-0116
英文引用格式: Li Q, Zhou X, Ni X, Fu B, Deng T. 2020. Latest Middle Miocene fauna and flora from Kumkol Basin of northern Qinghai-Xizang Plateau and paleoenvironment. Science China Earth Sciences, 63: 188–201, https://doi.org/10.1007/s11430-019-9521-8

© 2019 《中国科学》杂志社 

信等, 2010) , 是研究高原隆升、气候变化和生物演化三者之间关系的重要对象. 不过, 并不是每个盆地都产出丰富的脊椎动物或植物化石, 化石研究未系统展开, 此时回答上述科学问题还为时尚早, 需要古生物工作者付出更多的努力.

位于新疆、青海和甘肃三省交界处的阿尔金山构成了青藏高原的北部边界(陈宣华等, 2010), 夹在阿尔金山和东昆仑山之间的库木库里盆地是青藏高原内新生代沉积保存最完整、与高原隆起同步发育的盆地之一(潘桂棠等, 2013), 也是探讨青藏高原北部边界形成、阿尔金断裂构造活动、完善青藏高原新生代生物年代框架及恢复高原北部古植被、古高度和古气候等多方面科学问题的理想工作区域. 自2012年10月至2015年1月期间, 中国科学院的遥感与数字地球研究所、古脊椎动物与古人类研究所、地质与地球物理研究所、寒区旱区环境与工程研究所和中国地质科学院地质研究所等5所先后4次对库木库里盆地进行了联合野外考察, 掌握了盆地构造变形、岩石地层、生物地层、磁性地层、孢粉和古环境等多方面的第一手资料, 其中磁性测年已有成果发表(Lu等, 2016). 虽然目前在库木库里盆地发现的化石有限, 但极为难得地为我们打开了一扇窗, 通过它可以窥探青藏高原北部边界地区中中新世末期时的动植物面貌、古动物地理和古气候环境.

## 2　地理位置与地质背景

库木库里盆地位于青藏高原北部新疆维吾尔自治区若羌县内, 紧邻新疆塔里木、青海柴达木和西藏羌塘盆地(图1c). 它是东昆仑山中最大的一个内陆封闭性高原盆地, 平均海拔超过4km. 盆地轮廓呈三角形, 西高东低, 被西北的阿尔金山、东北的祁漫塔格山和南部的阿尔格山包围. 盆地东西长约250km, 南北最宽处约70km(肖爱芳等, 2005). 盆地内部有阿亚克库木湖和阿其克库勒湖两个咸水湖, 盆地内的河流内流汇入这两个湖中(图1a).

库木库里盆地位于祁连-东昆仑地体(早古生代造山带)之上(许志琴等, 2007), 构造上属于拉分-压陷复合型盆地, 受控于北部的祁漫塔格南断裂、南部的阿尔格山断裂、西部的库木布彦山断裂和东部的土房子断裂(肖爱芳等, 2005). 盆地内新生代沉积巨厚, 可达7km, 暴露于地表的地层时代跨越渐新世-更新世. 目前对于盆地新生代沉积地层的划分方案尚未统一, 被不同研究者命名的组包括石马沟组、花条山组、石壁梁组、红石梁组、红梁组、碱土梁组和风尘口组等, 这些组的有效性和组间的界限仍有争议(高振家等, 1981; 张云翔等, 1996; 陕西省地质调查院, 2003; 广西壮族自治区地质调查研究院, 2003). 根据野外实地观测, 我们沿用高振家等(2014a, 2014b)的划分方案, 即库木库里盆地内新生代沉积自下而上可分为: 石马沟组(?N1~2, 花条山组是其同物异名)、石壁梁组(N2, 红石梁组是其同物异名; 即Lu等(2016)中的Shibiliang Fm.)、红梁组(N2, 碱土梁组是其同物异名; 即Lu等(2016)中的Hongshiliang Fm.)和所谓的“新疆群”砾岩(Q)(图1b).

由于受到青藏高原抬升和断裂带活动的强烈影响, 库木库里盆地内褶皱构造非常发育, 从西往东沿花条山-大黑山-条石山一带呈现多条褶皱隆起带(图1a~1b). 哺乳动物化石地点KMKL2013030901(37°11′2.70″N, 89°27′52.10″E, 海拔4071m)位于盆地百泉河流域的百泉河背斜的北翼, 百泉河东岸红色砂岩和砾岩层中的一层约1m厚的富含植物碎屑的灰白和灰绿色粉砂岩夹层(图1d). 化石的层位位于Lu等(2016)的石马沟组的顶部, 其古地磁年龄测定为~12.5Ma, 可以对应到国际磁性年代标准柱上的C5Ar负极性带, 为中中新世末期(Gradstein等, 2012).

## 3　材料、方法和缩写

2013年野外期间发现KMKL2013030901地点, 当时只采集到一片可能是羊类(Caprinae)的牙皮. 2014年野外期间在该地点共采集砂样90袋, 总重约1t. 筛洗后挑选出40余件脊椎动物化石, 除了4件蜥蜴科(Lacertidae)牙床之外, 其余的均为小哺乳动物的牙齿和骨骼. 所有化石标本均保存于中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本馆内. 2014年野外同时采集孢粉测试岩样4kg, 于中国科学院脊椎动物演化与人类起源重点实验室内采用常规酸碱处理法, 具体流程参考Faegri等(1989)和李小强等(2006).

哺乳动物化石标本的观察和测量使用奥林巴斯SZX7型双筒体式解剖镜, 测量精确到0.1mm. 除非做特别说明, 牙齿的长度和宽度均指其从近中端(mesial)

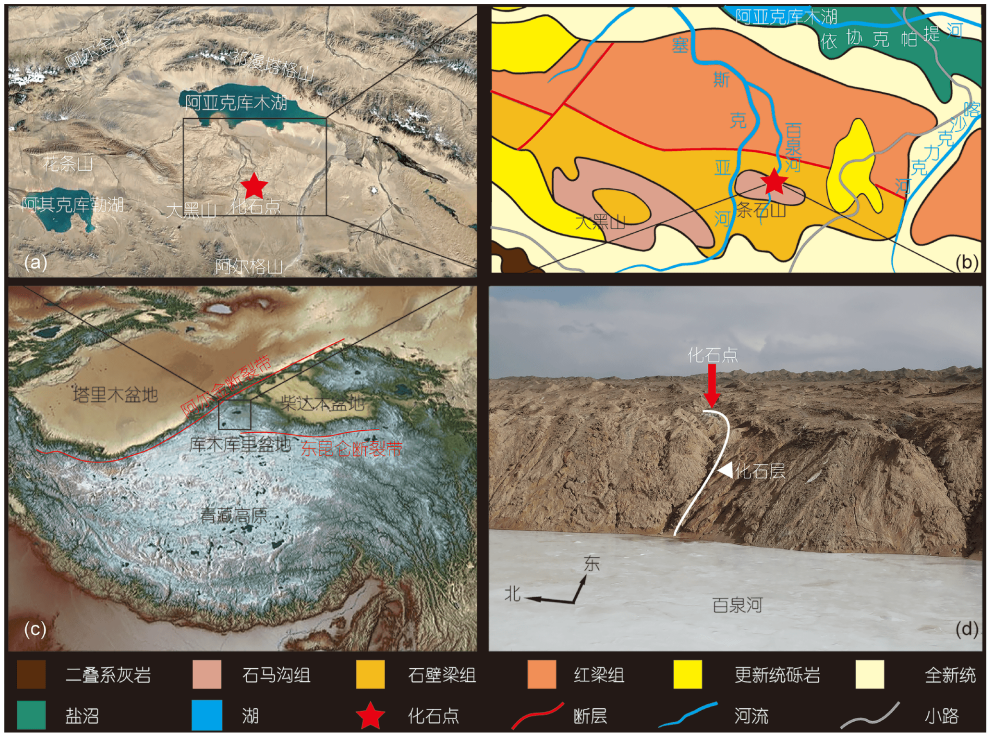



**图 1　库木库里盆地化石点的地理位置和色斯克亚河-百泉河流域地质概图**

到远中端(distal)的最大长度和从唇侧(buccal)到舌侧(lingual)的最大宽度. 相关牙齿结构术语, 刺猬类参考邱铸鼎和童永生(2015), 蝙蝠类参考郑绍华(2015), 松鼠类、跳鼠类、睡鼠类和仓鼠类均参考邱铸鼎和李强(2016). 孢粉的鉴定主要参考朱宗浩等(1985)和宋之琛等(1999).

缩写: IVPP, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所; V, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所化石标本编号; KMKL, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所野外地点编号, 代表库木库里之意.

## 4　小哺乳动物群

库木库里KMKL2013030901地点小哺乳动物群包含4目、7科、7属和7种(图2), 分别为: 蒙古刺猬(相似种)*Erinaceus* cf. *E. mongolicus* Schlosser, 1924、棕蝠(未定种)*Eptesicus* sp.、库木库里欧洲花鼠(新种)*Spermophilinus kumkolensis* sp. nov.、马里乍鼠尾睡鼠*Myomimus maritsensis* De Bruijn et al., 1970、矮小三趾跳鼠*Dipus nanus* Qiu et Li, 2016、林氏众古仓鼠*Democricetodon lindsayi* Qiu, 1996和鼠兔科(属种未定) Ochotonidae gen. et sp. indet.. 下面为其详细描述.

食虫目Insectivora Bodwich, 1821

刺猬科Erinaceidae Bonaparte, 1838

刺猬亚科Erinaceinae Fischer von Waldheim, 1817

刺猬属*Erinaceus* Linnaeus, 1758

蒙古刺猬(相似种)*Erinaceus* cf. *E. mongolicus* Schlosser, 1924

(图2.5)

归入标本: 1枚残破的左M2, IVPP V 26178.

测量: 舌侧最大长2.56mm, 近中端最大宽3.58mm.

描述: 仅存的这枚破牙无疑属于刺猬. 虽然它的后唇侧部分已经破损, 但我们可以清楚看到, 原尖最大, 次尖和前尖大小差不多, 但都比原尖小. 无原小尖. 后小尖清晰可见, 但没有像次尖那样尖利, 后小尖与原尖后臂连接, 同时也通过一条细的脊与次尖相连. 前侧、后侧和舌侧齿带均发育. 根据其尺寸较大及后小尖和次尖之间的连接脊比较强等特征, 这枚牙齿很明显区

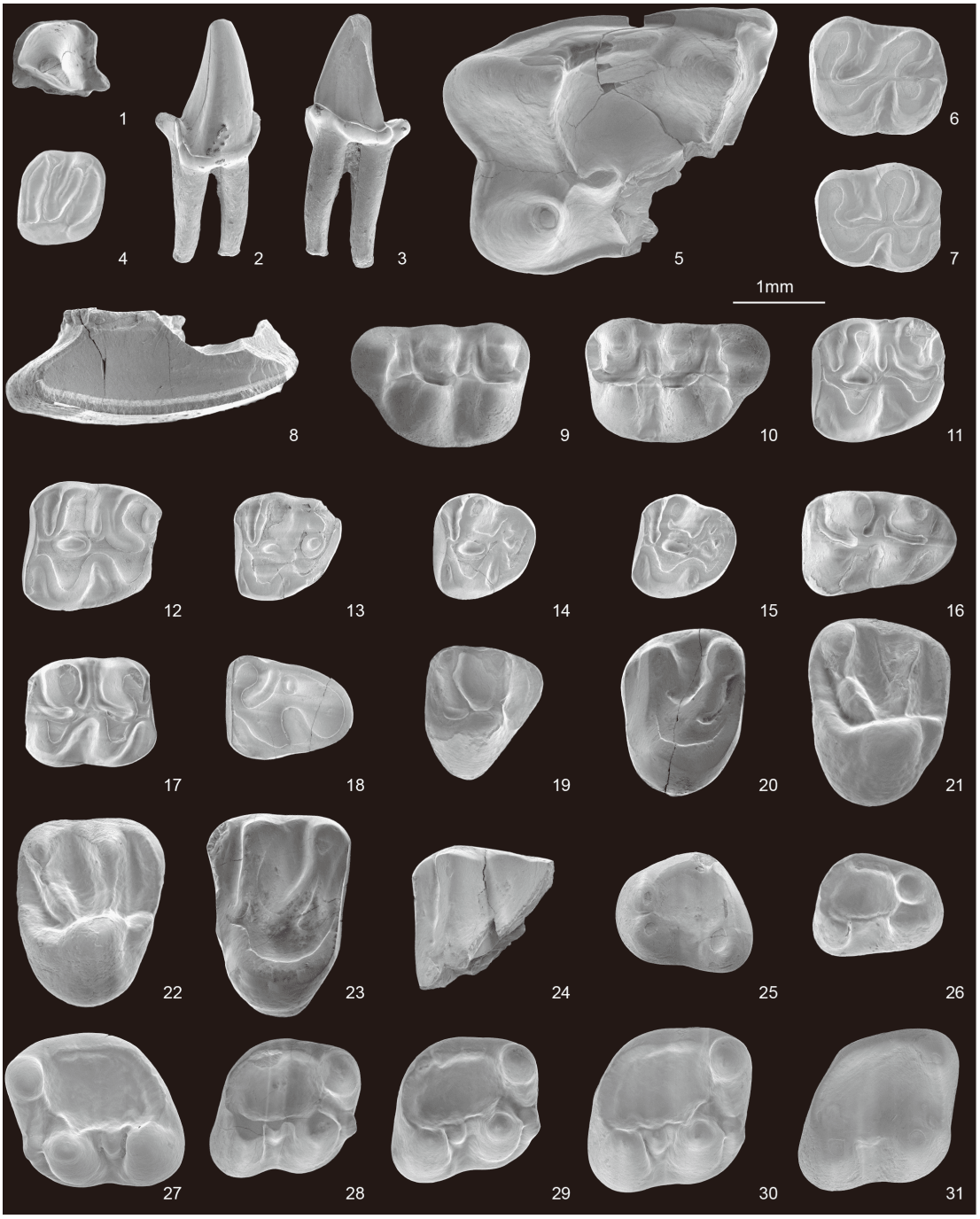



**图 2　新疆库木库里盆地KMKL2013030901地点的小哺乳动物化石**

1~3. *Eptesicus* sp., 右p4, V 26179; 4. *Myomimus maritsensis*, 右M1/2, V 26182; 5. *Erinaceus* cf. *E. mongoicus*, 左M2, V 26178; 6~7. *Dipus nannus*: 6. 右M1,V 26183.1, 7. 右M2,V 26183.2; 8. Ochotonidae gen. et sp. indet., 上中间颊齿碎片, V 26185; 9~18: *Democricetodon lindsayi*, 9. 左M1,V 26184.1, 10. 右M1, V 26184.2, 11. 左M2, V 26184.3, 12. 左M2, V 26184.4, 13. 左M3, V 26184.5, 14. 左M3, V 26184.6, 15. 左M3, V 26184.7, 16. 右m1, V 26184.10, 17. 右m2, V 26184.11, 18. 左m3, V 26184.12; 19~31: *Spermophilinus kumkolensis* sp. nov.: 19. 右DP4, V 261814.1, 20. 左P4, V 261814.2, 21. 左M1/2, V 261814.3, 22. 左M1/2, V 261814.4, 23. 右M1/2, V 261814.7, 24. 左M3, V 261814.9, 25. 左dp4, V 261814.10, 26. 右p4, V 261814.11, 27. 正型, 左m1/2, V 26180, 28. 右m1/2, V 261814.15, 29. 右m1/2, V 261814.16, 30. 右m1/2, V 261814.17, 31. 右m3, V 261814.20. 2为唇侧视, 3为舌侧视, 其余均为冠面视

别于内蒙古中中新世的*Miochinus*? *Gobiensis*(邱铸鼎, 1996), 而与中国北方新近纪常见的*Erinaceus*更接近. *Erinaceus*是一个现生属, 在中国它的化石种类从晚中新世到更新世均有出现(邱铸鼎和童永生, 2015). 牙齿形态上, 库木库里的这枚刺猬类的M2与内蒙古晚中新世二登图和早上新世比例克地点的*E. mongolicus*比较相似(Fahlbusch等, 1984; Qiu和Storch, 2000). 不过, 库木库里的这枚M2尺寸相对略小, 后小尖更尖锐, 形态显得比二登图和比例克的*E. mongolicus*稍微原始一点.

翼手目Chiroptera Blumenbach, 1779

蝙蝠科 Vespertilionidae Gray, 1821

蝙蝠亚科 Vespertilioninae Gray, 1821

棕蝠属 *Eptesicus* Rafinesque, 1820

棕蝠(未定种) *Eptesicus* sp.

(图2.1~3)

归入标本: 1枚零散的右p4, IVPP V 26179.

测量: 最大长=1.10mm, 前大宽=0.82mm.

描述: 仅有的这枚前臼齿证明了蝙蝠类在该动物群中的出现. 牙齿具有前后两枚分开的齿根. 冠面形态未臼齿化, 由一个高而尖锐的齿尖和一圈位于牙齿基部的齿带组成. 牙齿磨蚀面位于齿尖后舌侧, 从齿尖往齿基部从上往下由宽变窄. 下跟座不发育. 从冠面视, 牙齿基部的轮廓多少呈四方形. 牙齿前端和舌侧远端部分非常突出, 形成尖角, 分别承载前侧和后侧的附尖们. 根据p4略成方型、齿带发达而连续、前侧和后舌侧的附尖非常发达、牙齿磨蚀面后舌向延展等特征, 这枚牙齿很可能属于棕蝠属(*Epteiscus*). 由于材料的缺乏, 不能再做种一级鉴定. 棕蝠的化石和现生种类的地理分布均较广. 最早的化石记录可能来自北美早中新世地层(McKenna和Bell, 1997), 在中国该属的化石记录从晚中新世晚期持续到晚更新世的较低海拔地区(邱铸鼎等, 1984, 1985; 同号文等, 2008; 金昌柱和汪发志, 2009). 不过, 现生的北棕蝠(*E. nilssoni*)在青藏高原北部和周边高海拔地区均有分布, 能够适应寒冷和高海拔的环境(冯祚建等, 1986; 李德浩等, 1989; 袁国映等, 1991; 张荣祖等, 1997; 王应祥, 2003).

啮齿目Rodentia Bowdich, 1821

松鼠科 Sciuridae Fischer von Waldheim, 1817

松鼠亚科 Sciurinae Fischer von Waldheim, 1817

欧洲花鼠属*Spermophilinus* De Bruijn et Mein, 1968

库木库里欧洲花鼠(新种) *Spermophilinus kumkolensis* sp. nov.

(图2.19~31)

命名: 种名指示该种的模式产地为新疆东南部的库木库里盆地.

正型: 1枚左m1或m2, IVPP V 26180(图2.27).

副型: 其他产自同一地点的20枚零散颊齿, 包括1枚DP4、1枚P4、6枚M1或M2、1枚残破的M3、2枚dp4、1枚p4、6枚m1或m2、1枚m3, IVPPV 26181.1~20.

模式产地: 新疆库木库里盆地KMKL20130901地点, 石马沟组顶部, ~12.5Ma.

种征: 牙齿尺寸比*Spermophilinus bredai*, *S. turolensis*和*S. giganteus*小, 比*S. besanus*大. M1/2上无中附尖. 下臼齿上: 下中尖非常发达, 下前边尖明显呈尖状, 年轻个体上的下前边脊中断, 下前边尖与下原尖之间的连接脊细弱, 下原脊微弱, 下三角座未完全封闭.

测量: 见表1.

描述: DP4轮廓呈三角形, 前附尖比P4者更凸出, 但呈脊形. 原小尖和中附尖均缺失. 后小尖出现在后脊上. 后脊在与原尖汇聚前明显收缩. 前边谷比较宽.

P4的尖和脊均比DP4要粗壮一些, 前附尖不向前凸出, 前边谷非常狭窄.

M1和M2在牙齿形态上不太容易区分. 它们的前附尖呈脊形, 与前边脊融合. 原小尖和中附尖缺失. 后小尖微弱. 原脊呈横向, 而后脊前舌向, 两者汇聚于原尖. 原脊和后脊在与原尖相接之前均明显收缩. 前边脊和后边脊完整、连续. 后边谷比前边谷宽一些, 但比三角座要窄一些.

M3仅有一件残破的标本. 这枚M3的三角座明显比M1或M2者宽得多. 原脊中断, 不与原尖相连, 而与前边脊连接, 前边谷狭窄.

dp4比p4尺寸稍小. 下后尖与下原尖紧紧靠在一起. 下中尖和下中附尖小而弱. 下外脊长且近纵轴向延伸.

p4的下三角座比dp4宽一些. 在一件磨蚀程度较轻的标本上, 其下前边尖非常发达. 下中尖清晰可见. 下中附尖和下内尖与舌侧齿带完全融合.

m1和m2在大小和牙齿形态上不太容易区分. 它们

**表 1　库木库里欧洲花鼠(新种)*Spermophilinus kumkolensis* sp. nov. 颊齿测量**

| 牙齿 | 最大长 | | | 最大宽 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 数量 | 均值(mm) | 范围(mm) | 数量 | 均值(mm) | 范围(mm) |
| DP4 | 1 | 1.28 | – | 1 | 1.40 | – |
| P4 | 1 | 1.40 | – | 1 | 1.84 | – |
| M1或M2 | 6 | 1.59 | 1.52~1.66 | 5 | 2.07 | 1.84~2.18 |
| dp4 | 2 | 1.40 | 1.40~1.40 | 2 | 1.26 | 1.16~1.35 |
| p4 | 1 | 1.44 | – | 1 | 1.36 | – |
| m1或m2 | 7 | 1.67 | 1.54~1.84 | 8 | 1.67 | 1.54~1.86 |
| m3 | 1 | 1.78 | – | 1 | 1.78 | – |

都有一个菱形的轮廓. 在磨蚀程度较轻的标本上, 下前边尖非常强壮, 与下后尖分开, 通过一条短脊与下原尖发生连接. 下前边脊不连续, 因此出现一个比较狭窄的前唇谷. 下后脊非常微弱. 下三角座几乎开放, 比下跟座更小更浅. 下中尖非常发达, 位置上相对下原尖而言更靠近下次尖. 下中附尖不可辨识. 下内尖轻微膨大, 融入舌侧齿带. 舌侧齿带包围下跟座. 在磨蚀程度较高的标本上, 下前边尖与下后尖融合形成下前边脊. 连接下原尖和下前边尖之间的脊变得更粗壮. 前唇谷依然存在. 下三角座与下跟座之间依然由微弱的下后脊隔开.

m3后舌侧收缩. 在磨蚀程度较高的标本上, 下前边尖向舌侧通过下前边脊横向与下后尖连接, 向后方通过一条短小的脊与下原尖连接. 前唇谷和下三角座都非常浅. 下中尖非常发达.

比较: 库木库里的松鼠类颊齿具有如下特点: 尺寸相对较小, 齿凹表面光滑, P4到M2的原脊和后脊比较连续并且有汇聚的趋势(两者不平行), 下颊齿下原尖和下前边脊之间的连接非常弱, 下中尖非常发达. 这些特征明显区别于飞松鼠型, 也不同于大多数新近纪东亚常见的地栖型或树栖型松鼠化石类型(松鼠三种生态类型的划分参考: De Bruijn, 1999; 邱铸鼎和李强, 2016), 比如*Sciurus*、*Eutamias*(=*Tamias*)、*Marmota*、*Tamiops*、*Atlantoxerus*、*Palaeosciurus*、*Sinotamias*、*Prospermophilus*、*Spermophilus*和*Apeyosciurus*等, 反而非常符合欧洲新近纪常见的*Spermophilinus*属的属征. *Spermophilinus*属为De Bruijn和Mein(1968)依据法国La Grive的*Sciurus bredai* Von Meyer, 1848所建立. 除了模式种*Spermophilinus bredai*之外, *Spermophilinus*属还包括其他4个种, 它们分别是西班牙晚中新世Los Mansuetos的*S. turolensis*(De Bruijn和Mein, 1968)、希腊晚中新世Rhode的*S. giganteus*(De Bruijn等, 1970)、西班牙早中新世Calatayud-Montalbán的*S. besanus* (Cuenca, 1988)和中国内蒙古中部地区晚中新世早期至晚期的*S. mongolicus*(邱铸鼎和李强, 2016), 上述5个种时代范围从早中新世到晚中新世.

与新种相比: 模式种*S. bredai*牙齿尺寸明显小(图3), 其下原脊非常发达, 下前边尖与下原尖之间的连接更强, m1或m2的下三角座完全封闭; *S. turolensis*的牙齿尺寸稍大, M1或M2上具有中附尖, 下前边尖更脊形化, 下原尖与下前边尖之间完全分开; *S. giganteus*的牙齿尺寸明显大得多, p4具有非常发达的下前边尖, 下臼齿的下前边尖更脊形化, m1或m2的下三角座被下前边脊和下原脊完全封闭; *S. besanus*牙齿尺寸明显小, 下臼齿的下前边尖更脊形化, 下前边尖与下原尖之间完全无连接; *S. mongolicus*牙齿尺寸稍大, m1或m2的下前边尖与下原尖之间连接更强, 下中尖弱, 下原脊更发达. De Bruijn(1995)认为欧洲的*Spermophilinus*在演化上具有个体逐渐增大的趋势. 在所有6个种中, 库木库里新种的尺寸是比较小的, 仅大于欧洲时代最早的(早中新世)*S. besanus*(图3). 此外, 新种下颊齿的下前边尖较孤立, 下原脊弱, 下三角座未完全闭合, 这些特征都显示出其时代可能要比*S. bredai*或*S. mongolicus*稍早一点.

睡鼠科Gliridae Muirhead, 1819

鼠尾睡鼠亚科Myomyinae Daams, 1981

鼠尾睡鼠属*Myomimus* Ognev, 1924

马里乍鼠尾睡鼠 *Myomimus maritsensis* De

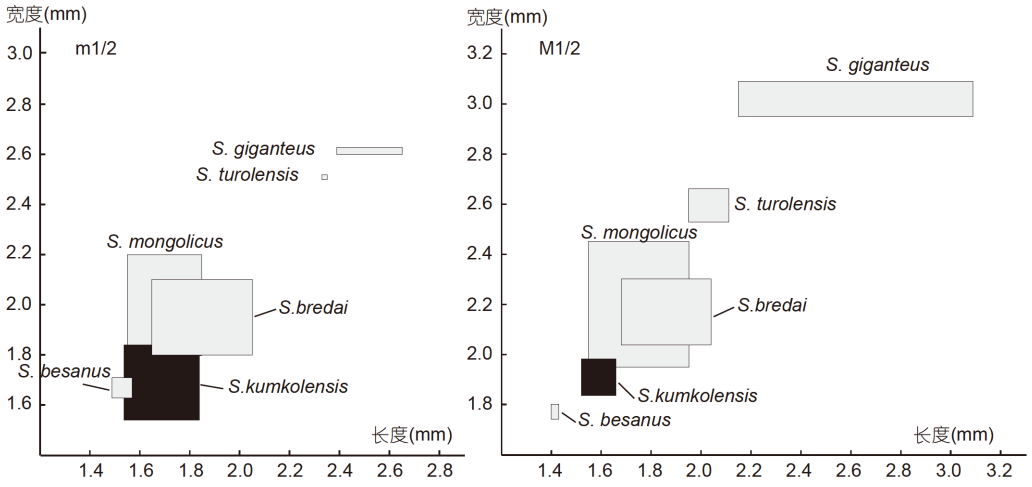



**图 3　欧洲花鼠所有种类臼齿(M1/2和m1/2)大小分布图**

黑色为本文描述的新种, 灰色为已知种

Bruijn et al., 1970

(图2.4)

归入标本: 1枚右M1或M2, IVPP V 26182.

测量: 最大长=0.90mm, 最大宽=1.0mm.

描述与比较: 这枚牙齿非常小, 冠面轮廓呈矩形(宽大于长). 牙齿轻微前舌-后唇向挤压. 牙冠低, 咀嚼面强烈凹陷. 冠面形态比较简单, 具有4条近横向的主脊, 从前往后依次为前边脊、原脊、后脊和后边脊. 前中间脊非常发达, 但后中间脊极弱. 在其他睡鼠牙齿上常见的一些附脊(trope)和附尖(style), 如前边附脊(anterotrope)、原附脊(prototrope)、后附脊(metatrope)、后边附脊(posterotrope)以及中附尖(mesostyle)等都彻底消失. 前边脊与原尖分离, 前边谷和后边谷均较宽. 原尖舌侧壁上具有纹饰. 这些特征明显区别于中国晚渐新世的*Gliruloides zhoui*、早中新世至晚中新世的*Microdyromys*、中中新世的*Orientiglis*(Wu, 1985; 邱铸鼎, 1996; Qiu, 2001; Wu等, 2009, 2016; Maridet等, 2011; 邱铸鼎和李强, 2016), 这些早期的属种的颊齿上发育有非常复杂的附脊, 后中间脊非常强壮. 新疆哈巴河早中新世和内蒙古中部地区早中新世至晚中新世早期的*Miodyromys asiamediae*的后中间脊非常粗壮, 原脊明显大角度弯折, 牙齿轮廓更显四方形, 因此库木库里的睡鼠牙齿不太可能归入该属种. 新疆准噶尔早中新世的*Eliomys*? sp.(Maridet等, 2011)M2(IVPP V 18131)形态比较简单, 但其前边脊与原尖之间有一个非常强壮的连接, 这也是*Eliomys*属的属征之一, 明显不同于库木库里的睡鼠. 中国现生的四川毛尾睡鼠*Chaetocauda sichuanensis*的上臼齿形态又过于简单, 仅有4条主脊(王酉之, 1985). 与另一种中国现生的林睡鼠*Dryomys nitedula*相比, 库木库里的睡鼠臼齿的前边谷和后边谷更宽, 前边脊和原尖不连接, 具有弱的后中间脊. 库木库里的标本与鼠尾睡鼠亚科中的*Peridyromys*和*Myomimus*属最具有可比性. 法国中中新世晚期Collet Redon的*Peridyromys* cf. *hamadryas*的M1/2上多了一条原附脊(Aguilar和Clauzon, 1979); 西班牙Calatayud-Daroca早中新世的*P. sondaari*牙齿上附脊发达, 形态复杂, *P. darocensis*个体偏大, 原脊和后脊呈V型汇聚于原尖(Daams, 1999); 土耳其安纳托利亚中中新世Paşalar的*P. lavocati*形态简单, 但其后边脊与原尖之间中断, 原脊与后脊呈V型汇聚于原尖(Peláez-Campomane和Daams, 2002). 内蒙古晚中新世二登图的中华鼠尾睡鼠*Myomimus sinensis*的上牙多发育额外的脊(Wu, 1985; 吴文裕, 2019), 土耳其晚中新世Hayranlı地点的*M. maritsensis*(Kaya和Kaymakçı, 2013)构造简单, 与库木库里的标本最相似. *Peridyromys*仅出现于欧洲渐新世至中中新世, *Myomimus*的化石种类在亚洲出现于早中新世到更新世, 在欧洲出现于中中新世至更新世(McKenna和Bell, 1997). 不过, Freudenthal和Martín-Suárez(2013)指出那些早中新世的*Myomimus*都应归入*Peridyromys*, 两个属时代上不重合, 可能是一种祖裔关系. 根据原脊与后脊呈U型汇聚于原尖这一特征, 库

木库里的睡鼠标本归入*Myomimus*的可能性更大一些, 基于简化的牙齿形态, 暂时归入*M. maritsensis*种中. *Myomimus*属其现生种类仅局限于欧洲东南部和中亚地区, 生活于较贫瘠的岩石低灌丛地区(Nowak和Paradiso, 1983).

跳鼠科Dipodidae Fischer von Waldheim, 1817

三趾跳鼠亚科Dipodinae Fischer von Waldheim, 1817

三趾跳鼠属*Dipus* Zimmermann, 1780

矮小三趾跳鼠*Dipus nanus* Qiu et Li, 2016

(图2.6~7)

归入标本: 1枚右M1(IVPP V 26183.1)和1枚右M2(IVPP V 26183.2).

测量: M1的最大长=1.46mm, 最大宽=1.24mm; M2的最大长=1.38mm, 最大宽=1.12mm.

描述与比较: M1前边脊非常弱. 内脊与原脊融合成一条粗壮的前唇向的斜脊. M2前边尖相对比较发育. 内脊近纵轴向, 与原脊几乎形成直角. 这两枚上臼齿具有典型的三趾跳鼠臼齿模式, 无明显的中尖、中脊、后边脊等结构. 它们的牙齿尺寸明显比晚中新世晚期的*Dipus fraudator*(Qiu, 2003; 李强和邱铸鼎, 2005; Liu等, 2008)、早上新世的*D. pliocenicus*(邱铸鼎和李强, 2016)、以及现生种类如*D. sagitta*小得多, 但又明显大于个体更小的心颅跳鼠如*Salpingotus primitivus*和*Cardiocranius pusillus*(李强和郑绍华, 2005; 邱铸鼎和李强, 2016). 在中中新世晚期至晚中新世早期时段, 亚洲北部曾出现过一类小型的、朝着现代三趾跳鼠演化的化石跳鼠, 如哈萨克斯坦中中新世Shomyshtin组的*Mynsudipus ustjurtensis*、内蒙古晚中新世早期沙拉的*Dipus nanus*及新疆顶山盐池组最上部晚中新世的*Dipus* sp.2(Kordikova等, 2004; Wu等, 2014; 邱铸鼎和李强, 2016). 它们中的*M. ustjurtensis*的下臼齿已经简化为三趾跳鼠型, 但其上臼齿还保留了一些五趾跳鼠型特征, 很可能表明三趾跳鼠类是从五趾跳鼠类中衍生出来的. 库木库里的跳鼠牙齿上无明显的中尖和中脊的痕迹, 斜脊也比较发达, 比*Mynsudipus ustjurtensis*更进步, 更符合*Dipus nanus*的种征, 应该归入后者. 库木库里矮小三趾跳鼠的发现显示, 在中中新世/晚中新世之交, 三趾类跳鼠的早期类型就已经广泛分布于亚洲北方了.

仓鼠科Cricetidae Rochebrune, 1883

仓鼠亚科Cricetinae Stehlin et Schaub, 1951

众古仓鼠属*Democricetodon* Fahlbusch, 1964

林氏众古仓鼠*Democricetodon lindsayi* Qiu, 1996

(图2.9~18)

归入标本: 13枚零散的臼齿, 包括2枚M1、2枚M2、3枚M3、3枚m1、1枚m2和2枚m3(IVPP V 26184.1~13).

测量: 见表2.

描述: M1前边尖为单尖, 较宽, 前缘轻微凹陷, 位置较偏唇侧. 前边脊为单支, 前舌向与前边尖的舌侧部分连接. 前边脊唇侧刺粗壮, 但未延伸至牙齿边缘. 原小脊I弱而不完整, 但原小脊II粗壮而且完整. 无外脊. 中脊长, 往唇侧延伸的长度约为到齿缘长度的一半或3/4. 后小脊I完全消失, 后小脊II保留并指向后舌侧. 后边谷被后边脊包围. 未保存齿根.

M2原小脊双支, 两支几乎同样粗壮. 中脊发达, 往唇侧延伸的长度约为到齿缘长度的一半. 后小脊I缺失, 后小脊II发育并指向后方. 后边脊终止于后尖唇侧基部, 与后小脊II一起围合出一个小但清晰的后边谷, 具有3个齿根.

M3外形呈三角形. 形态上与M2相似, 但后部的次尖和后尖更退化一些. 原小脊I非常发达, 原小脊II朝前延伸与原小脊I连接. 中脊在3枚牙齿上均出现. 在2枚磨蚀程度较轻的标本上, 可以观察到发育有小的后小脊I, 并与中脊连接. 具有3个齿根.

m1的下前边尖为单尖, 较宽. 下前边脊为单支, 朝前指向下前边尖的中间, 下后脊短, 前唇向与下前边脊连接. 下中脊长, 在2枚牙齿中延伸到了齿缘, 在另1枚牙齿中只延伸到了齿缘长度的一半, 仅在1枚牙齿上能观察到小的下外中脊, 下次脊近横向延伸, 与下次尖前臂相连.

m2的下前边脊的舌侧支比唇侧支弱. 下后脊同下原尖的前臂朝前在下前边脊上汇合. 下中脊长, 延伸到齿缘, 终端膨大形成下中附尖. 下次脊短, 前唇向与下后脊的后部连接. 下后边脊长, 近横向.

m3与m2相比, 其后部退化. 在磨蚀程度较轻的标本中, 下前边脊为双支; 但在高度磨蚀的标本上, 下前边脊几乎消失. 下后脊和下原尖前臂并未在下前边脊

**表 2　库木库里盆地林氏众古仓鼠(*Democricetodon lindsayi*)臼齿测量表**

| 牙齿 | 最大长 | | | 最大宽 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 数量 | 均值(mm) | 范围(mm) | 数量 | 均值(mm) | 范围(mm) |
| M1 | 2 | 1.88 | 1.86~1.90 | 2 | 1.37 | 1.36~1.38 |
| M2 | 2 | 1.40 | 1.40~1.40 | 2 | 1.35 | 1.30~1.40 |
| M3 | 3 | 1.10 | 1.02~1.18 | 3 | 1.09 | 1.08~1.10 |
| m1 | 1 | 1.64 | – | 3 | 1.12 | 1.10~1.16 |
| m2 | 1 | 1.38 | – | 1 | 1.20 | – |
| m3 | 1 | 1.36 | – | 2 | 1.10 | 1.10~1.10 |

上汇合. 下中脊长, 延伸至齿缘. 在磨蚀程度较轻的标本上, 下次脊近横向与下次尖的前臂连接.

比较: 上述牙齿具有如下特征: 个体相对较大, 牙齿较宽, 前边尖和下前边尖为单尖, 中脊和下中脊较发达, M2的原小脊为双支. 这些特征非常符合众古仓鼠*Democricetodon* Fahlbusch, 1964的属征. 牙齿尺寸上, 库木库里的仓鼠比中中新世内蒙古通古尔组的*D. tongi*和早中新世新疆索索泉组的*D. suni*者大, 落入通古尔地点的*D. lindsayi*的变异范围(邱铸鼎, 1996; Maridet等, 2011). 形态上, 库木库里的仓鼠也与*D. lindsayi*者较一致, 它们都拥有发达的中脊和下中脊、宽的前边尖和下前边尖、发达的M1前边脊唇侧刺、近纵轴向的M2后脊等. 除了通古尔地区之外, *D. lindsayi*还见于内蒙古早中新世晚期至晚中新世早期的一些地点, 如嘎顺音阿德格、敖尔班、阿木乌苏等, 以及甘肃的红崖子盆地中中新世地点(Li等, 2013; 邱铸鼎和李强, 2016). 与早中新世及中中新世的*D. lindsayi*相比, 库木库里的*D. lindsayi*略有细微差别, 后者M1具有明显的原小脊I, M1和M2的后小脊II更靠唇侧, m1的下外中脊几乎彻底消失, 显得稍微进步一点.

兔形目Lagomorpha Brandt, 1885

鼠兔科Ochotonidae Thomas, 1897

鼠兔科属种未定gen. et sp. indet.

(图2.8)

仅有半片中间上颊齿(后叶)(IVPP V 26185)保存. 根据其舌侧褶角内平滑无褶皱判断, 它可能不是兔科而属于鼠兔科.

## 5　动物群年代与古动物地理

KMKL2013030901地点的7种小哺乳动物中, *Democricetodon lindsayi*的典型产地是内蒙古通古尔组, 时代是中中新世, 该种可以存活到晚中新世早期(邱铸鼎, 1996; 邱铸鼎和李强, 2016). *Spermophilinus*在中国已知仅在内蒙古中部地区晚中新世早期有*S. mongolicus*一个代表, 库木库里的*S. kumkolensis*较之稍原始一点. 小型的三趾跳鼠除了内蒙古晚中新世早期沙拉的*Dipus nanus*之外, 还在新疆准噶尔晚中新世顶山盐池组(*Dipus* sp.2)和哈萨克斯坦中中新世Shomyshtin组(*Mynsudipus ustjurtensis*)中有类似的代表出现(Kordikova等, 2004; Wu等, 2014). 内蒙古中部地区新近纪小哺乳动物群序列是目前最全面反映中国北方小哺乳动物群更迭和生物地层年代框架的典范, 在内蒙古地区*Democriectodon-Spermophilinus-Dipus*三者共存的时段可以被限定于中中新世末期至晚中新世早期狭小的时间范围之内(Qiu等, 2013; 邱铸鼎和李强, 2016). 基于*Spermophilinus kumkolensis*比*S. mongolicus*稍微原始一点的特点, 我们判断库木库里KMKL2013030901小哺乳动物群的时代更有可能为中中新世末期, 这与Lu等(2016)的磁性年代学结果(12.5 Ma)吻合.

库木库里KMKL2013030901地点小哺乳动物群所有7种均为古北区分布种类, 从属一级来说, *Erpteiscus*广布于欧亚和北美, *Erinaceus*、*Democricetodon*、*Spermophilinus*、*Myomimus*广布于欧亚, *Dipus*局限于中亚和东亚的北方. 邱铸鼎和李强(2016)统计了内蒙古中部地区和欧洲新近纪不同时期啮齿类同属数量的变化情况, 结果显示中新世期间欧洲和亚洲啮齿类的交流呈现逐渐增强的趋势, 直到晚中新世晚期才达到

最高峰. 库木库里盆地小哺乳动物群中欧亚共有的属占到了所有属的57%, 与中国北方晚新生代共有的属为100%, 这表明在中中新世末期, 青藏高原北部边界地区与欧洲和亚洲北部地区的小型哺乳在动物地理上确实存在较广泛的交流.

## 6　孢粉植物群

分析了4个(KMKL-01~04)来自KMKL2013030901哺乳动物化石地点的孢粉样品, 共得到孢粉546粒, 共有16种类型, 其中乔木类型的花粉占57%, 草本和灌丛类型占43%, 未见蕨类孢子. 乔木类型花粉中, 针叶类乔木包括松属(*Pinus*)和云杉属(*Picea*)两种, 阔叶类乔木包括栎属(落叶型)(*Quercus*. D)、栎属(常绿型)(*Quercus*. E)、桦属(*Betula*)、水青冈属(*Fagus*)、榛属(*Corylus*)和梣属(*Fraxinus*); 草本类型包括蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、菊科(Asteraceae)和禾本科(Poaceae); 灌木类型主要有沙棘属(*Hippophae*)、麻黄属(*Ephedra*)和蔷薇科(Rosaceae)(图4和5).

整体面貌上, KMKL2013030901地点花粉化石组合与已知的柴达木盆地(Miao等, 2011, 2013)和青藏高原中部(Song等, 2010)的中新世孢粉结果相类似, 均以

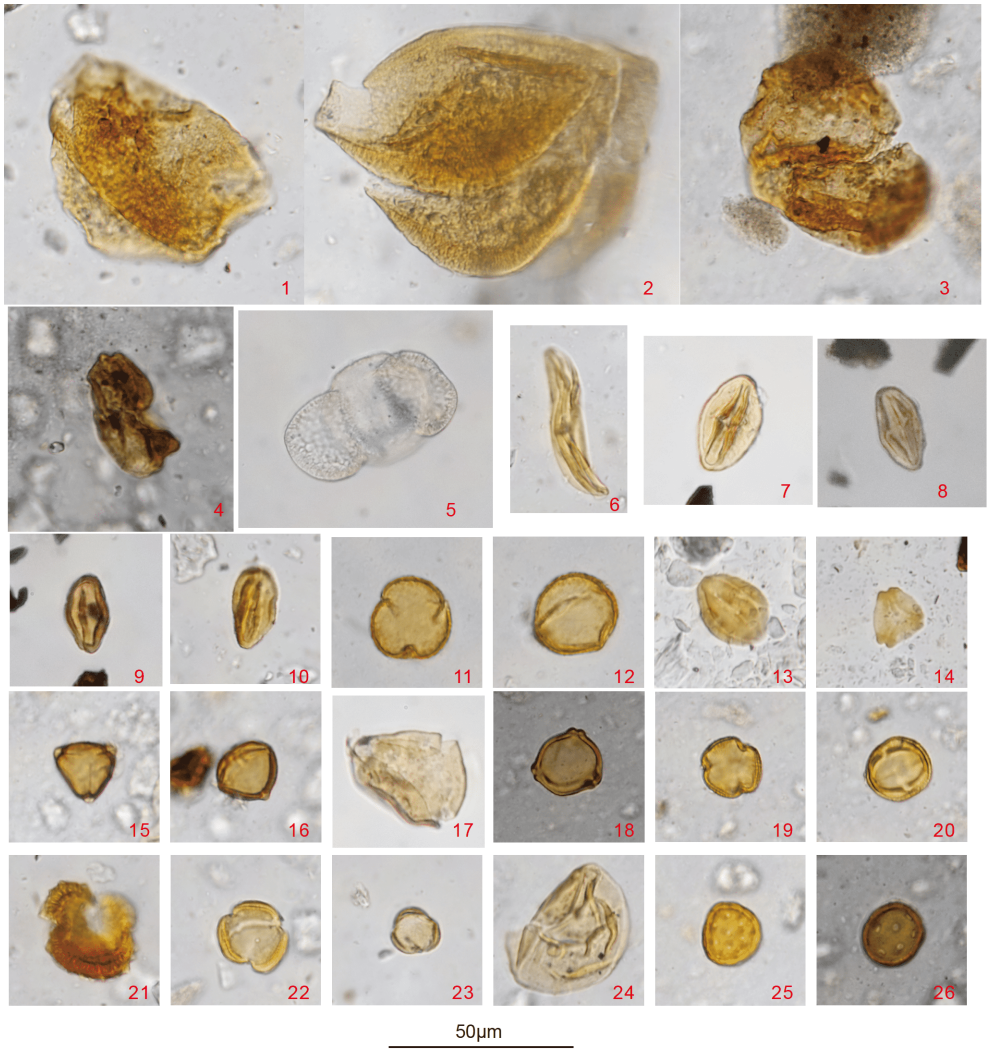



**图 4　库木库里盆地哺乳动物化石地点的主要孢粉图谱**

1~3. 云杉(*Picea*); 4~5. 松属(*Pinus*); 6. 麻黄属(*Ephedra*); 7~10. 栎属(常绿型)(*Quercus*. E); 11~13. 栎属(落叶型)(*Quercus*. D); 14. 榛属(*Corylus*); 15~16. 沙棘属(*Hippophae*); 17. 梣属(*Fraxinus*); 18. 桦属(*Betula*); 19~20. 蔷薇科(Rosaceae); 21. 菊科(Asteraceae); 22~23. 蒿属(*Artemisia*); 24. 禾本科(Poaceae); 25~26. 藜科(Chenopodiaceae)

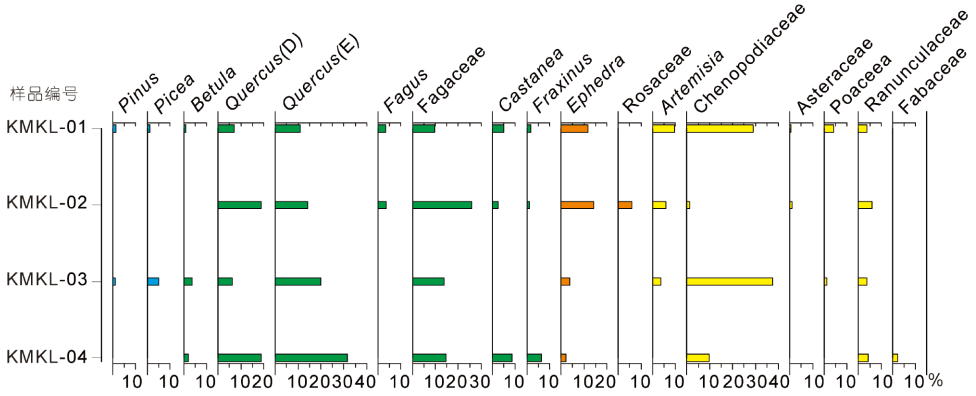



**图 5　库木库里盆地哺乳动物化石地点主要孢粉类型的百分比统计**

开阔的林地环境为主. 另外, 云杉、松属、栎属(落叶型)、栎属(常绿型)和水青冈属等花粉都具有非常明确的生态指示意义, 其分别为现代山地暗针叶林(云杉)、针阔叶混交林(松属和落叶栎型)、常绿阔叶林(常绿栎和水青冈属)、及光适应的小乔木(桦属和榛属)和灌丛(蔷薇科和沙棘属).

新近纪以来青藏高原加速隆升, 库木库里盆地的盆山结构日益显著, 样品采集地层为湖相地层, 应处于古代盆地比较中心的位置. 鉴于花粉的大气传播能力, 具有不同生态意义的花粉在样品中同时出现, 指示了其可能具有比较复杂和广泛的来源, 不仅仅具有局地的植被信息, 可能也包含有周边山地的外来花粉, 这在现代湖泊沉积物中已经被证实(尚雪等, 2009). 这样, 我们可以通过解析生态建群种获得过去周边山地的垂直植被信息, 借此了解当时周边山地的主要植被群落, 并通过与青藏高原周边地区现生植被群落对比, 探讨在当时的植被垂直分布情况.

现生植被的垂直海拔分布对于了解过去孢粉植物群重建的海拔具有重要指示意义(Lu等, 2008, 2011; Hoorn等, 2012). 现代柴达木盆地表土花粉垂直分布十分显著, 山地草甸中以莎草科(Cyperaceae)、菊科和禾本科为主, 而干草原和荒漠草原中则主要为禾本科和蒿属, 荒漠区藜科的占比通常在60%以上, 整体上柴达木盆地表土内基本上没有乔木花粉的出现(Zhao和Herzschuh, 2009). 这与KMKL2013030901地点中的孢粉组合完全不同, 同时也指示了中新世时期与现代区域的海拔、降水及温度的巨大差异. 事实上, 中新世柴达木盆地与现代青藏高原台面、北缘和西缘的植被群落、植被组成及其代表的气候型差异太大, 在这些地区无法找到其对应的植物群及气候型. 因此, 在青藏高原南缘和西南缘寻找相似的植被组成可能更为合适.

与青藏高原西南缘的云南地区相比对, 我们发现, KMKL2013030901地点中常绿栎和水青冈属反映的是该地区常见的常绿阔叶林, 现在分布于1500~3000m的海拔范围, 集中分布在2000~2500m的中海拔地区, 而更低海拔地区(1000~1900m)则为干热的草原及灌丛(吴征镒等, 1980). 由于KMKL2013030901地点孢粉样品中草本的含量也较高, 并含有较多麻黄, 且缺乏蕨类植物孢子, 所以我们认为在中中新世末期, 库木库里盆地底部的花粉很可能来源于盆地内部的干热草原及周边的常绿阔叶林, 显示出一派常绿阔叶林和干热草原交汇的植被景观.

另外, 作为山地针叶林的典型代表, 云杉属在青藏高原西南部和柴达木盆地周边山地的海拔分布都主要集中在2500~4000m的范围内, 其上限在约4000m左右, 下限在约2500m左右(Lu等, 2008, 2011; Hoorn等, 2012). 虽然KMKL2013030901地点样品中云杉出现的比例很低, 仅在0~5%, 但由于大多数情况下云杉属于低代表性的花粉, 我们认为云杉花粉的零星出现可能暗示库木库里盆地周边山地中中新世末期已经达到了2500~4000m的高度, 区域植被呈现出明显的垂直分布.

## 7　古环境

众所周知, 全球性气候自始新世~50Ma以来呈现逐渐变冷的大趋势(Zachos等, 2001), 不过却在中中新

世时期(约17~15Ma)又一次短暂地达到了温暖的高峰状态, 被称为中中新世气候适宜期(MMCO)(如Flower和Kennett, 1994; Böhme, 2003; Pound等, 2012), 随后又是一次降温事件(约15~13Ma), 被称为中中新世气候转折(MMCT)(见Lear等, 2010; Shevenell等, 2008; Holbourn等, 2005). 库木库里KMKL2013030901动、植物群的时代(~12.5Ma)正好处于MMCO与MMCT结束后、晚中新世即将开始的节点. 在这一时期, 欧亚大陆鼠亚科还未占据优势, 欧洲的小哺乳动物以仓鼠-始鼠-睡鼠组合为特点(Kälin, 1999), 植被以森林为主, 气候较为温暖和湿润; 中国北方则以仓鼠-林跳鼠-跳鼠组合为特征(邱铸鼎和李强, 2016), 植被除了林地和灌丛外, 已经出现了开阔草原, 相比欧洲更干旱一些.

库木库里KMKL2013030901地点小哺乳动物群指示出一种林地、灌丛与草原混杂的环境. 化石标本数量上, 松鼠和仓鼠占绝对优势, 跳鼠和睡鼠较稀少. *Spermophilinus*与*Tamias*一样, 生态类型介于树栖和地栖之间, 它的出现指示了林丛混合草原的环境(邱铸鼎和李强, 2016); *Democricetodon*可能生活于树林环境中, *Erinaceus*和*Myomimus*多适应林丛或灌丛的生境, 而鼠兔科无疑指示了草原的环境(Nowak和Paradiso, 1983). 这与孢粉植物群的判断较为一致. 库木库里盆地的动、植物化石显示, 该盆地的底部植被以常绿阔叶林和干热草原为主, 其中生活着蝙蝠、刺猬、松鼠、仓鼠、跳鼠、睡鼠和鼠兔等多种小哺乳动物和羊类中型食草动物.

根据周嘉熵等(1985)和冯祚建(1990)的记录, 现代库木库里盆地内已知的小哺乳动物共有7种, 包括黑唇鼠兔(*Ochotona curzoniae*)、高原兔(*Lepus oiostolus*)、喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*)、小毛足鼠(*Phodopus roboroskii*)、三趾跳鼠(*Dipus sagitta*)、子午沙鼠(*Meriones meridianus*)和白尾松田鼠(*Pitymys leucurus*). 现代库木库里小哺乳群中缺少蝙蝠、刺猬和睡鼠, 虽然也有鼠兔、松鼠、仓鼠和跳鼠4类动物, 但它们都是高度适应高寒荒漠和高寒草原环境的种类. 事实上, 沙鼠和田鼠在演化历史上出现时间相对较晚, 在中国北方分别于晚中新世和上新世才出现, 邱铸鼎和李强(2016)认为这两类的出现与亚洲北部新近纪晚期干旱化加剧和草原扩张相关. 现代库木库里盆地内的自然环境非常严酷, 生长着高等植物27科, 96属和241种, 其中以紫花针茅(*Stipa purpurea*)、羽柱针茅(*S. basiplumosa*)、垫状驼绒藜(*Ceratoides compact*)、硬叶苔草(*Carex moorcroftii*)、银穗草(*Leucopoa olgae*)和匍匐水柏枝(*Myricaria prostrata*)等高寒草原成分和蒿叶猪毛菜(*Salsola abrotanoides*)、刺叶柄棘豆(*Oxytropis aciphylla*)和沙生针茅(*Stipa gloreosa*)等半灌木荒漠和荒漠草原成分为优势种(张立运和张希明, 1987), 这与中中新世末期主要以较低海拔的常绿阔叶林和干热草原为主的植被景观截然不同.

## 8　结论

(1) 库木库里盆地KMKL2013030901地点的小哺乳动物化石共有7个种, 其中包括*Spermophilinus kumkolensis*新种. 结合古地磁数据, 动物群的年代被限定为中中新世末(~12.5Ma).

(2) 库木库里盆地小哺乳动物化石在组成上与欧洲和亚洲北部同期动物群具有较高的相似性, 表明在中中新世末期, 欧亚之间的小哺乳动物交流依然非常活跃, 进而直接影响到青藏高原北部边界小哺乳动物群的构成.

(3) 依据孢粉重建的中中新世末期库木库里植物群整体面貌上呈现的是常绿阔叶林和干热草原交汇的景观, 具有明显的垂直植被带差异性分布特征.

(4) 小哺乳动物和孢粉化石证据显示, 库木库里盆地在中中新世末期时的古环境远比现代适宜得多.

**致谢**　对所有参与库木库里盆地联合考察的队员致以最高的敬意, 其中特别感谢中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的苗运法博士、中国科学院遥感与数字地球研究所的时丕龙、薛国梁和马元旭博士、中国地质科学院地质研究所的卢海建博士. 小哺乳鉴定上与中国科学院古脊椎动物与古人类研究所的邱铸鼎研究员、吴文裕研究员、陆晓彧博士和杨阳河山博士进行了有益的讨论, 在此对他们表示衷心的感谢.

## 参考文献

陈宣华, 党玉琪, 尹安, 汪立群, 蒋武明, 蒋荣宝, 周苏平, 刘明德, 叶宝莹, 张敏, 马立协, 李丽. 2010. 柴达木盆地及其周缘山系盆山耦合与构造演化. 北京: 地质出版社. 365

冯祚建. 1990. 喀喇昆仑山-昆仑山地区兽类资源的现状与保护. 自然资源学报, 5: 343–353

冯祚建, 蔡桂全, 郑昌琳. 1986. 青藏高原科学考察丛书——西藏哺乳类. 北京: 科学出版社. 423

高振家, 陈克强, 高林志. 2014a. 中国岩石地层名称辞典(上册). 成都: 电子科技大学出版社. 646

高振家, 陈克强, 高林志. 2014b. 中国岩石地层名称辞典(下册). 成都: 电子科技大学出版社. 700

高振家, 吴乃元, 王爱民, 吴绍祖. 1981. 西北地区区域地层表. 新疆维吾尔自治区分册. 北京: 地质出版社. 496

广西壮族自治区地质调查研究院. 2003. 中华人民共和国区域地质调查报告比例尺1:250000阿尔金山幅(J45C003003). 北京: 中央地质调查局. 490

金昌柱, 汪发志. 2009. 第四章哺乳化石第二节翼手目. 见: 金昌柱, 刘金毅, 编. 安徽繁昌人字洞——早期人类活动遗址. 北京: 科学出版社. 123–155

李德浩, 王祖祥, 武云飞, 郑昌琳, 黄永昭, 蔡桂全, 廖炎发, 王玉学, 郭聚亭. 1989. 青海经济动物志. 西宁: 青海人民出版社. 735

李强, 邱铸鼎. 2005. 对拟蹶鼠属(*Sminthoides Schlosser*)的重新认识. 古脊椎动物学报, 43: 24–35

李强, 郑绍华. 2005. 记陕西蓝田晚中新世灞河组4种跳鼠(Dipodidae, Rodentia)化石. 古脊椎动物学报, 43: 283–296

李小强, 尚雪, 周新郢, 张宏宾. 2006. 黄土花粉分析的筛析-重液综合法. 干旱区地理, 29: 663–667

潘桂棠, 刘宇平, 郑来林, 耿全如, 王立全, 尹福光, 李光明, 廖忠礼, 朱第成. 2013. 青藏高原碰撞构造与效应. 广州: 广东科技出版社. 466

邱铸鼎. 1996. 内蒙古通古尔中新世小哺乳动物群. 北京: 科学出版社. 216

邱铸鼎, 韩德芬, 祁国琴, 林玉芬. 1985. 禄丰古猿地点的小哺乳动物化石. 人类学报, 4: 13–32

邱铸鼎, 李传夔, 胡绍锦. 1984. 云南呈贡三家村晚更新世小哺乳动物群. 古脊椎动物学报, 22: 281–293

邱铸鼎, 李强. 2016. 内蒙古中部新近纪啮齿类动物. 北京: 科学出版社. 684

邱铸鼎, 童永生. 2015. 劳亚食虫目Order Eulipotyphla. 见: 李传夔, 邱铸鼎, 编. 中国古脊椎动物志, 第三卷基干下孔类、哺乳类, 第三册(总第十六册)劳亚食虫类、原真兽类、翼手类、真魁兽类、亚兽类. 北京: 科学出版社. 1–140

陕西省地质调查院. 2003. 中华人民共和国区域地质调查报告比例尺1:250000阿牙克库木湖幅(J45C003004). 北京: 地质调查局. 276

尚雪, 李小强, 安芷生, 纪明, 张宏宾. 2009. 青海湖流域表土花粉分析. 中国科学D辑: 地球科学, 39: 1288–1296

宋之琛, 李曼英, 张一勇, 郑亚惠, 王伟铭, 朱宗浩, 王大宁, 周山富, 赵传本, 赵英娘. 1999. 中国孢粉化石第一卷——晚白垩世和第三纪孢粉. 北京: 科学出版社. 910

同号文, 张双权, 李青, 许治军. 2008. 北京房山十渡西太平洞晚更新世哺乳动物化石. 古脊椎动物学报, 46: 51–70

王应祥. 2003. 中国哺乳动物种和亚种分类名录与分布大全. 北京: 中国林业出版社. 394

王酉之. 1985. 睡鼠科一新属新种——四川毛尾睡鼠. 兽类学报, 5: 67–75

吴文裕. 2019. 睡鼠科Family Gliridae. 见: 李传夔, 邱铸鼎, 编. 中国古脊椎动物志, 第三卷基干下孔类、哺乳类, 第五册(上)(总第十八册上)啮型类II: 啮齿目I. 北京: 科学出版社. 161–177

吴征镒, 王献溥, 刘昉勋, 朱彦丞, 李世英, 李博, 何绍颐, 张新时, 陈昌笃, 周以良, 周广裕, 林英, 侯学煜. 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社. 1375

肖爱芳, 黎敦朋, 李新林, 周小康, 杜少喜. 2005. 新疆库木库里盆地演化. 陕西地质, 23: 59–69

许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 吴才来. 2007. 造山的高原——青藏高原的地体拼合、碰撞造山及隆升机制. 北京: 地质出版社. 458

袁国映, 李宏旭, 张鹏, 张莉. 1991. 新疆脊椎动物简志. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. 537

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. 2010. 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: 地球科学, 40: 1632–1654

张立运, 张希明. 1987. 库木库里盆地的植被. 中国草原, (1): 3–10

张荣祖, 金善科, 全国强, 李思华, 叶宗耀, 王逢桂, 张曼丽. 1997. 中国哺乳动物分布. 北京: 中国林业出版社

张云翔, 车自成, 刘良, 罗静兰. 1996. 新疆库木库里盆地的第三系. 中国区域地质, (4): 311–316

郑绍华. 2015. 翼手目Order Chiroptera. 见: 李传夔, 邱铸鼎, 主编. 中国古脊椎动物志, 第三卷基干下孔类、哺乳类, 第三册(总第十六册)劳亚食虫类、原真兽类、翼手类、真魁兽类、亚兽类. 北京: 科学出版社. 161–283

周嘉熵, 李思华, 谷景合. 1985. 昆仑-阿尔金山盆地兽类初步考察. 兽类学报, 5: 160

朱宗浩, 巫礼玉, 张一勇, 席萍. 1985. 柴达木盆地第三纪孢粉学研究. 北京: 石油工业出版社. 297

Aguilar J P, Clauzon G. 1979. Un gisement à mammifères dans la formation lacustre d'âge Miocène moyen du Collet Redon près de St-Cannat (Bouches-du-Rhone). Implications stratigraphiques. Palaeoverterata, 8: 327–341

Böhme M. 2003. The Miocene climatic optimum: Evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 195: 389–401

Chang M M, Wang X M, Liu H Z, Miao D S, Zhao Q H, Wu G X, Liu J, Li Q, Sun Z C, Wang N. 2008. Extraordinarily thick-boned fish linked to the aridification of the Qaidam Basin (northern Tibetan Plateau). Proc Natl Acad Sci USA, 105: 13246–13251

Cuenca G B. 1988. Revision de los Sciuridae del Aragoniense y del Rambliense en la fosa de Calatayud-Montalban. Scripta Geol, 87: 1–114

Daams R. 1999. *Peridyromys darocensis* and *Peridyromys sondaari*, two new species of Gliridae (Rodentia, Mammalia) from the Lower Miocene (MN3-5) of the Calatayud-Daroca Basin, Zaragoza, Spain. In: Reumer J W F, De Vos J, eds. Elephants Have a Snorkel! Papers in Honour of Pauly Sondaar. Deinsea, 7: 83–90

De Bruijn H. 1995. The vertebrate locality of Maramena (Macedonia, Greece) at the Turolian-Ruscinian Boundary (Neogene). 8. Sciuridae, Petauristinae and Eomyidae (Rodentia, Mammlia). Munchen Geowiss Abh, Reihe A, 28: 87–102

De Bruijn H. 1999. Superfamily Sciuroidea. In: Rössner G E, Hsissig K, eds. The Miocene Land Mammals of Europe. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil Press. 271–280

De Bruijn H, Mein P. 1968. On the mammalian fauna of the *Hipparion*-beds in the Calatayud-Teruel Basin (Prov. Zaragoza, Spain): Part V, the Sciurinae. Proc Kon Ned Akad Wetensch Ser B, 71: 73–90

De Bruijn H, Dawson M R, Mein P. 1970. Upper Pliocene Rodentia, Lagomorpha and Insectivora (Mammalia) from the Isle of Rhodes (Greece). I, II and III. Proc Kon Ned Akad Wetensch Ser B, 73: 536–584

Deng T, Ding L. 2015. Paleoaltimetry reconstructions of the Tibetan Plateau: Progress and contradictions. Natl Sci Rev, 2: 417–437

Deng T, Wang X M, Wu F X, Wang Y, Li Q, Wang S Q, Hou S K. 2019. Review: Implications of vertebrate fossils for paleo-elevations of the Tibetan Plateau. Glob Planet Change, 174: 58–69

Faegri K, Kaland P E, Krzywinski K. 1989. Textbook of Pollen Analysis. 4th ed. New York: John Wiley & Sons Chichester. 340

Fahlbusch V Z, Qiu Z D, Sotrch G. 1984. Neogene micromammal from Inner Mongolia: Recent investigations on biostratigrahy, ecology and biogeography. In: Whyte R O, ed. The Evolution of the East Asian Environment: Volume II, Palaeobotany, Palaeozoology, and Palaeoanthropology. Hong Kong: University of Hong Kong. 697–707

Flower B P, Kennett J P. 1994. The Middle Miocene climatic transition: East Antarctic ice sheet development, deep ocean circulation and global carbon cycling. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 108: 537–555

Freudenthal M, Martín-Suárez E. 2013. New ideas on the systematics of Gliridae (Rodentia, Mammalia). Span J Palaeont, 28: 239–252

Gradstein F M, Ogg J G, Schmitz M D, Ogg G M. 2012. The Geologic Time Scale 2012 Volume 2. Oxford: Elsevier. 1144

Holbourn A, Kuhnt W, Schulz M, Erlenkeuser H. 2005. Impacts of orbital forcing and atmospheric carbon dioxide on Miocene ice-sheet expansion. Nature, 438: 483–487

Hoorn C, Straathof J, Abels H A, Xu Y, Utescher T, Dupont-Nivet G. 2012. A late Eocene palynological record of climate change and Tibetan Plateau uplift (Xining Basin, China). Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 344-345: 16–38

Kälin D. 1999. Tribe Cricetini. In: Rössner G E, Hsissig K, eds. The Miocene Land Mammals of Europe. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil Press. 373–387

Kaya F, Kaymakçı N. 2013. Systematics and dental microwear of the late Miocene Gliridae (Rodentia, Mammalia) from Hayranlı, Anatolia: Implications for paleoecology and paleobiodiversity. Palaeontol Electron, 16: 21A

Kordikova E G, Heizmann E P J, de Bruijn H. 2004. Early-Middle Miocene vertebrate faunas from Western Kazakhstan. Part 1. Rodentia, Insectivora, Chiroptera, and Lagomorpha. N Jb Geol Paläont Abh, 231: 219–276

Lear C H, Mawbey E M, Rosenthal Y. 2010. Cenozoic benthic foraminiferal Mg/Ca and Li/Ca records: Toward unlocking temperatures and saturation states. Paleoceanography, 25: PA4215

Li Q, Wang X, Xie G, Yin A, Dodson P. 2013. Oligocene-Miocene mammalian fossils from Hongyazi Basin and its bearing on tectonics of Danghe Nanshan in Northern Tibetan Plateau. PLoS ONE, 8: e82816

Liu L P, Zhang Z Q, Cui N, Fortelius M. 2008. The Dipodidae (Jerboas) from Loc. 30 of Baode and their environmental significance. Vert PalAsiat, 46: 124–132

Lu H J, Fu B H, Shi P L, Ma Y X, Li H B. 2016. Constraints on the uplift mechanism of northern Tibet. Earth Planet Sci Lett, 453: 108–118

Lu H Y, Wu N Q, Yang X D, Shen C M, Zhu L P, Wang L, Li Q, Xu D K, Tong G B, Sun X J. 2008. Spatial pattern of *Abies* and *Picea* surface pollen distribution along the elevation gradient in the Qinghai-Tibetan Plateau and Xinjiang, China. Boreas, 37: 254–262

Lu H Y, Wu N Q, Liu K, Zhu L P, Yang X D, Yao T D, Wang L, Li Q, Liu X Q, Shen C M, Li X Q, Tong G B, Jiang H. 2011. Modern pollen distributions in Qinghai-Tibetan Plateau and the development of transfer functions for reconstructing Holocene environmental changes. Quat Sci Rev, 30: 947–966

Maridet O, Wu W Y, Ye J, Bi S D, Ni X J, Meng J. 2011. Earliest occurrence of *Democricetodon* in China, in the early Miocene of the Junggar Basin (Xinjiang), and comparison with the genus *Spanocricetodon*. Vert PalAsiat, 49: 393–405

McKenna M C, Bell S K. 1997. Classification of Mammals above the Species Level. New York: Columbia University Press. 631

Miao Y, Fang X, Herrmann M, Wu F, Zhang Y, Liu D. 2011. Miocene pollen record of KC-1 core in the Qaidam Basin, NE Tibetan Plateau and implications for evolution of the East Asian monsoon. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 299: 30–38

Miao Y F, Fang X M, Wu F L, Cai M T, Song C H, Meng Q Q, Xu L. 2013. Late Cenozoic continuous aridification in the western Qaidam Basin: Evidence from sporopollen records. Clim Past, 9: 1863–1877

Nowak R M, Paradiso J L. 1983. Walker's Mammals of the World, 4th Vol. 2. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 1362

Peláez-Campomane P, Daams R. 2002. Middle Miocene rodents from Paşalar, Anatolia, Turkey. Acta Palaeontol Pol, 47: 125–132

Pound M J, Haywood A M, Salzmann U, Riding J B. 2012. Global vegetation dynamics and latitudinal temperature gradients during the Mid to Late Miocene (15.97–5.33 Ma). Earth-Sci Rev, 112: 1–22

Qiu Z D. 2001. Glirid and gerbillid rodents from the middle Miocene Quantougou fauna of Lanzhou, Gansu. Vert PalAsiat, 39: 299–306

Qiu Z D. 2003. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China.—12. Jerboas-Rodentia: Dipodidae. Senckenb Lethaea, 83: 135–147

Qiu Z D, Storch G. 2000. The early Pliocene micromammalian fauna of bilike, Inner Mongolia, China (Mammalia: Lipotyphla, Chiroptera, Rodentia, Lagomorpha). Senckenb Lethaea, 80: 173–229

Qiu Z D, Wang X M, Li Q. 2013. Neogene faunal succession and biochronology of central Nei Mongol (Inner Mongolia). In: Wang X M, Flynn L J, Fortelius M, eds. Fossil Mammals of Asia: Neogene Biostratigraphy and Chronology. New York: Columbia University Press. 155–186

Shevenell A E, Kennett J P, Lea D W. 2008. Middle Miocene ice sheet dynamics, deep-sea temperatures, and carbon cycling: A Southern Ocean perspective. Geochem Geophys Geosyst, 9: Q02006

Song X Y, Spicer R A, Yang J, Yao Y F, Li C S. 2010. Pollen evidence for an Eocene to Miocene elevation of central southern Tibet predating the rise of the High Himalaya. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 297: 159–168

Su T, Farnsworth A, Spicer R A, Huang J, Wu F X, Liu J, Li S F, Xing Y W, Huang Y J, Deng W Y D, Tang H, Xu C L, Zhao F, Srivastava G, Valdes P J, Deng T, Zhou Z K. 2019. No high Tibetan Plateau until the Neogene. Sci Adv, 5: eaav2189

Wang X M, Wang Y, Li Q, Tseng Z J, Takeuchi G T, Deng T, Xie G P, Chang M M, Wang N. 2015. Cenozoic vertebrate evolution and paleoenvironment in Tibetan Plateau: Progress and prospects. Gondwana Res, 27: 1335–1354

Wu S Y, Zhang F C, Edwards S V, Wu W Y, Ye J, Bi S D, Ni X J, Quan C, Meng J, Organ C L. 2014. The evolution of bipedalism in jerboas (Rodentia: Dipodoidea): Origin in humid and forested environments. Evolution, 68: 2108–2118

Wu W Y. 1985. The Neogene mammalian faunas of Ertemte and Harr Obo in Inner Mongolia (Nei Mongol), China.—4. Dormice-Rodentia: Gliridae. Senckenb Lethaea, 66: 69–88

Wu W Y, Meng J, Ye Jie, Ni X J, Bi S D, Wei Y P. 2009. The Miocene mammals from Dingshanyanchi Formation of North Junggar Basin, Xinjiang. Vert PalAsiat, 47: 208–233

Wu W Y, Meng J, Ye Jie, Ni X J, Bi S D. 2016. Restudy of the Late Oligocene dormice from northern Junggar Basin. Vert PalAsiat, 54: 36–50

Yao T D, Wu F Y, Ding L, Sun J M, Zhu L P, Piao S L, Deng T, Ni X J, Zheng H B, Ouyang H. 2015. Multispherical interactions and their effects on the Tibetan Plateau's earth system: A review of the recent researches. Natl Sci Rev, 2: 468–488

Zachos J, Pagani M, Sloan L, Thomas E, Billups K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. Science, 292: 686–693

Zhao Y, Herzschuh U. 2009. Modern pollen representation of source vegetation in the Qaidam Basin and surrounding mountains, northeastern Tibetan Plateau. Veget Hist Archaeobot, 18: 245–260

(责任编委: 朱茂炎)