

doi:10.3799/dqkx.2010.090

西藏南部吉隆盆地中新世一早更新世 孢粉组合带及其地质意义

徐亚东^{1,2}, 张克信^{1,2*}, 王国灿^{2,3}, 向树元², 江尚松², 陈奋宁⁴

1. 中国地质大学生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074
2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074
4. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

摘要: 吉隆盆地为高喜马拉雅中新世晚期约 10 Ma 时期形成的一个南北向断陷盆地, 其东侧为同沉积正断层, 沃马剖面位于盆地沉降中心的东南部。在该剖面下部新发现一套中新世巨厚砾岩层(旦增竹康组)。通过锆石和磷灰石裂变径迹年代学研究得出吉隆盆地控盆断裂早期活动时间为 13.4 ± 1.9 Ma, 源区 12~11 Ma 发生构造热事件, 据此推算出吉隆盆地初始裂陷后开始沉积的底界年龄约为 10 Ma。综合前人在吉隆盆地得出的 7.20~1.67 Ma 古地磁测年值, 可得出吉隆盆地旦增竹康组年龄为 10.0~7.4 Ma, 沃马组年龄为 7.40~1.67 Ma。根据孢粉组合带和孢粉组合反映的植物类型和古环境变化, 沿剖面自下而上划分为 3 个孢粉组合带和 9 个孢粉组合及其对应的植被类型。吉隆地区古气候变化可划分为 3 个阶段: (1) 组合带 I 和孢粉组合 1~2, 为温暖偏干环境的常绿与落叶针阔叶混交林, 地层对比时代为晚中新世(10.0~7.0 Ma); (2) 组合带 II 和孢粉组合 3~7, 为寒冷干旱环境的落叶针叶林, 期间存在一次暖湿气候的波动, 地层对比时代为晚中新世晚期—早上新世(7.0~3.3 Ma); (3) 组合带 III 和孢粉组合 8~9, 为温凉偏干的气候下生长暗针叶林和落叶阔叶林构成的针阔叶混交林, 地层对比时代为晚上新世(3.30~1.67 Ma)。

关键词: 青藏高原; 吉隆盆地; 孢粉组合; 古气候变化; 新近纪。

中图分类号: P534

文章编号: 1000-2383(2010)05-0759-15

收稿日期: 2010-05-31

Geological Significance of Miocene-Early Pleistocene Palynological Zones in the Gyirong Basin, Southern Tibet

XU Ya-dong^{1,2}, ZHANG Ke-xin^{1,2*}, WANG Guo-can^{2,3}, XIANG Shu-yuan², JIANG Shang-song²,
CHEN Fen-ning⁴

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
3. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
4. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China

Abstract: The Gyirong basin is one of east-west extensional basins distributed among the high Himalayas. The Late Cenozoic sequence is mainly Woma Formation, consisting of lacustrine and fluvial deposits, from which a Hipparion fauna in 7 Ma was found. However, Danzengzhukang Formation is newly found at the base of the section attributed to alluvial sequence. The zircon and apatite fission track thermochronology shows that eroded source experienced tectonic thermal event at 12–11 Ma, and early activity of the east boundary normal fault of the basin occurred during 13.4 ± 1.9 Ma. Based on the previous paleomagnetostratigraphic researches of the basin, the age interval of the section is most reasonably determined as between 10 and 1.67 Ma. Through abundant palynological analyses, 3 palynological zones and 9 palynological assemblages and vegetable types are recognized, and 3 phases of paleoclimatic changes are revealed: (1) 10.0–6.7 Ma, correlating with palynological zone I

基金项目: 中国地质调查局项目(No. 1212010610103); 国家自然科学基金项目(Nos. 40830212, 40921062)。

作者简介: 徐亚东(1983—), 男, 博士研究生, 从事地层古生物等研究。E-mail: yuren36@gmail.com.

* 通讯作者: 张克信, E-mail: kx_zhang@cug.edu.cn

and assemblages 1—2, it was warm and damp-dry coniferous-leaved and broad-leaved mixed forests, but became cool and humid during 9.5—7.0 Ma. (2) 6.7—3.3 Ma, correlating with palynological zone II and assemblages 3—7, it turned cold and arid deciduous coniferous-leaved forests, marked by the increase in the cold-tolerant tree taxa and drought-tolerant herb taxa, but the relative increase of broad-leaved taxa suggests climate underwent warm and humid fluctuations during 5.0—4.3 Ma. (3) 3.30—1.67 Ma, correlating with palynological zone III and assemblages 8—9, it got cool and damp-dry deciduous coniferous-leaved and broad-leaved mixed forests.

Key words: Qinghai-Tibetan plateau; Gyirong basin; palynological assemblage; paleoclimate change; Neogene.

新生代印度和欧亚板块的碰撞及持续挤压造成喜马拉雅山脉的隆起,形成的气候屏障作用影响了区域和全球的气候格局(施雅风和刘东生,1964; Mercier *et al.*, 1987; Klootwijk *et al.*, 1992; Harrison *et al.*, 1993; Molnar *et al.*, 1993; 施雅风等, 1998, 1999; Nakayama and Ulak, 1999; Hoorn *et al.*, 2000; An *et al.*, 2001; Wu *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2008; Garziona, 2008; Pei *et al.*, 2009). 吉隆盆地(N28°30′~29°00′, E84°40′~85°30′)为高喜马拉雅构造带上的一个近南北向山间断陷盆地,其东侧发育同沉积正断层. 吉隆盆地沉积记录为研究构造—沉积耦合关系和古环境变化提供了理想的素材. 前人的研究涉及到了地层学(陈万勇等,1977;陈万勇,1982;张克信等,2007; Zhang *et al.*, 2008)、古生物学(施雅风和刘东生,1964;徐仁等,1973;黄万波和计宏祥,1979;李传夔和计宏祥,1981)、构造学(李吉均等,1979;朱诚,1995;刘德民等,2005;刘超等,2007)、古地磁学(申旭辉等,1995;王富葆等,1996;岳乐平等,2004)、碳氧同位素学(邓涛和李玉梅,2005; Wang *et al.*, 2006;王德朝等,2009)和孢粉学(吴玉书和余浅黎,1980;郑亚惠,1983;王富葆等,1996;孙黎明等,2007)等领域,为本次研究提供了丰富的基础地质资料. 吉隆盆地的孢粉学研究已取得了许多进展. 吴玉书和余浅黎(1980)对吉隆沃马村黑沟剖面孢粉研究建立了2个孢粉组合,反映古气候为温暖湿润;王富葆等(1996)在吉隆盆地建立了6个孢粉带,古地磁测年为各带提供了年代约束;张振利等(2004)建立了6个孢粉组合,分析了古植被和古气候特征,认为吉隆盆地在新近纪时期海拔高度为1000~1300 m;孙黎明等(2007)在吉隆盆地强波沟剖面划分了6个孢粉组合带,分析了古植被和古气候演化阶段,并讨论了吉隆盆地的形成和演化. 但是,前人的孢粉分析均限于沃马组,不是吉隆盆地完整的沉积序列,对沃马组之下的旦增竹康组的研究尚为空白,并且对沃马组孢粉所反映的古环境与区域和全球的古环境变化对比研究

不够. 本次实测和研究的沃马剖面,代表了吉隆盆地10.00~1.67 Ma的完整沉积地层序列,是研究该盆地新近纪古环境变化的另一新的良好载体. 对吉隆盆地新近系进行了精细的地层剖面测量和孢粉组合(带)研究,其目的为:(1)建立吉隆盆地10.00~1.67 Ma精细的沉积序列;(2)基于吉隆盆地孢粉学研究进一步探讨该地区的地质时代和古环境变化.

1 地质背景和剖面概况

1.1 地质背景

吉隆盆地位于西藏自治区西南部的中国—尼泊尔边境,其三面环山,向南敞开呈漏斗状,吉隆河顺沟向南流入尼泊尔(图1). 该盆地在区域大地构造位置上属于北喜马拉雅分区特提斯沉积褶皱冲带的南带. 吉隆盆地属于构造(断陷)盆地,受南北方向断层控制,形成南北长、东西窄的带状,基底不平,呈波状起伏,因而造成地层厚度差距较大. 盆地基底由侏罗纪地层组成,发育由两背两向组成的一巨型复式背斜构造,在两翼伴生有一系列不对称的褶皱. 该盆地在新近纪遭受南北向断层改造,从而形成吉隆盆地的河湖相沉积.

1.2 剖面概况

本次实测的沃马剖面位于吉隆盆地南部沃马村南约2 km处(N28°45′01″, E85°17′56″),据区域地质填图资料^①,本次实测的剖面位于盆地沉积中心. 剖面自下而上出露的地层为中新统旦增竹康组(217.0 m)、中新统一更新统沃马组(386.4 m)和下更新统顶盖砾岩(<60 m)(图2). 沃马剖面上的旦增竹康组和沃马组总厚为603.4 m. 本次实测剖面下部的旦增竹康组以往在吉隆盆地没有报道过,其岩性为灰红、紫红、粉红、橘红夹灰白、灰色和灰黄色等以红色为主的杂色巨厚层状砾岩,叠瓦状构造和冲刷面十分发育,夹紫红色含砾薄层泥岩、含砾粉

^①河北省地调院,石家庄经济学院,2003. 1:250 000 萨嘎县幅(H45C003001),吉隆县幅(H45C004001)区域地质调查报告.

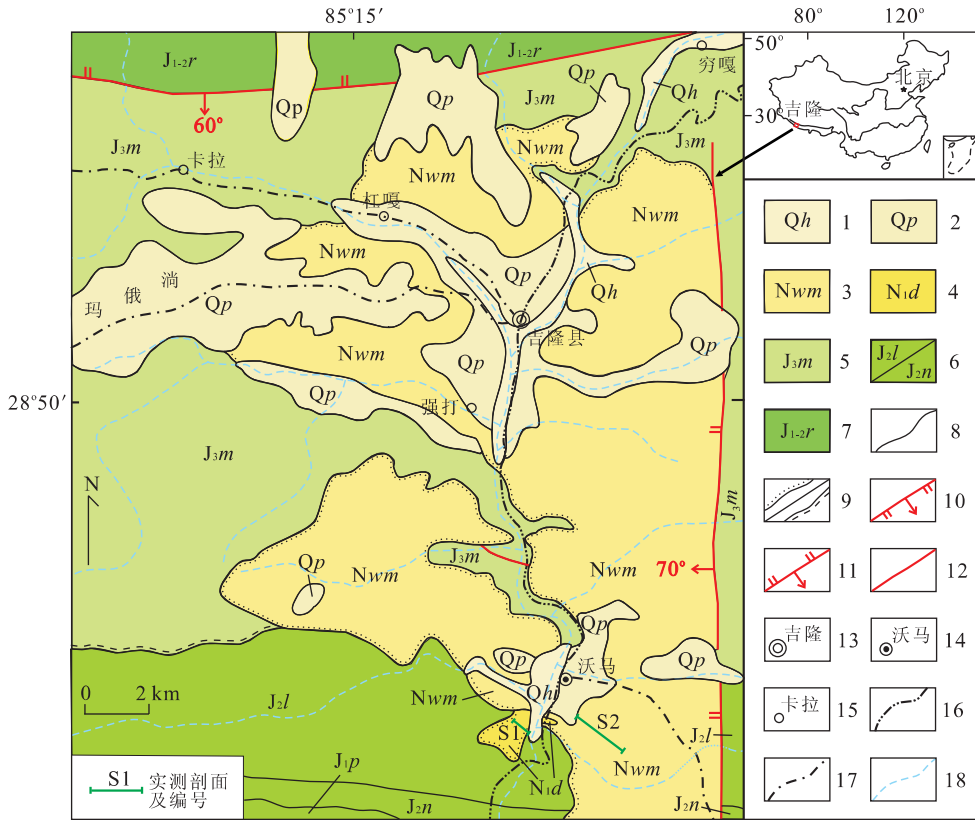


图 1 西藏吉隆沃马剖面交通位置与地质简图

Fig. 1 Location and geological map showing the study Oma Section in the Gyrong basin in Tibet, China

- 1. 全新统; 2. 更新统; 3. 中新统一下更新统沃马组; 4. 中新统旦增竹康组; 5. 上侏罗统门卡墩组; 6. 中侏罗统拉弄拉组/聂聂雄拉组; 7. 下一中侏罗统日当组; 8. 一般地质界线; 9. 角度不整合、平行不整合界线; 10. 正断层; 11. 逆断层; 12. 性质不明断层; 13. 县行政所在地; 14. 村镇; 15. 居民点; 16. 公路; 17. 简易公路; 18. 河流

砂质泥岩、含砾粗砂岩透镜体和灰白色砂质条带,为洪冲积扇沉积。旦增竹康组与下伏上侏罗统门卡墩组呈角度不整合接触,与上覆中新统一下更新统沃马组整合接触。沃马组下部和上部均以灰黄、黄褐砾岩和含砾粗砂岩与灰黄、黄褐、灰黑等杂色粉砂岩、泥岩互层为主,中部以灰黄、黄褐夹蓝灰、灰黑等杂色砂岩、粉砂岩、泥岩为主夹少量砾岩和含砾粗砂岩,为湖泊夹多层水下扇沉积。关于本剖面详细层序与岩性岩相详见图 2。

青藏高原一系列近南北向断陷盆地(Tapponnier *et al.*, 1981; Mercier *et al.*, 1987; Hodges *et al.*, 1992; Pan and Kidd, 1992; Yin *et al.*, 1999)被认为是由于青藏高原达到最大地壳厚度和海拔高度之后,重力垮塌产生近东西向拉伸形成的,记录了青藏高原地表隆升到最大高度后的环境变化信息。尼泊尔木斯塘(Thakkhola)地堑的研究(Coleman and Hodges, 1995; Garzzone *et al.*, 2003)认为在 14.0 Ma 该地区即达到现在的高度,使得盆地在 11.0 Ma(Tetang Formation)开始接受沉积;而尼泊

尔中西部喜马拉雅山前地区冲洪积物集中出现在 10.5~9.5 Ma(Nakayama and Ulak, 1999)。锡金地区(Catlos *et al.*, 2004) Th-Pb 独居石年龄指示主中央剪切带在 12.0~10.0 Ma 有一次强烈活动。在 10.0~7.0 Ma,青藏高原南部喜马拉雅主边界逆冲断裂(MBT)形成(Meigs *et al.*, 1995; Brozovic and Burbank, 2000),高原北部地壳增厚(Molnar *et al.*, 1993)。喀喇昆仑断裂(李海兵等, 2006)在 12.0 Ma 发生正断运动造成阿依拉日居山的快速隆升,其西南侧的札达盆地在 9.5~9.2 Ma(Wang *et al.*, 2008; Saylor *et al.*, 2009)开始接受沉积。12.0~11.5 Ma 喜马拉雅山北侧聂拉木地区(王瑜等, 2001)发生快速隆升。本次通过锆石和磷灰石裂变径迹年代学研究得出吉隆盆地控盆断裂早期活动时间为 13.4±1.9 Ma,源区 12.0~11.0 Ma 发生构造热事件;已有裂变径迹年代学统计数据得出青藏高原周缘不同地区 13.0~11.0 Ma 都经历强烈的隆升剥露(刘超等, 2007; Zhang *et al.*, 2008)。据此推算吉隆盆地初始裂陷后开始沉积的底界年龄约为

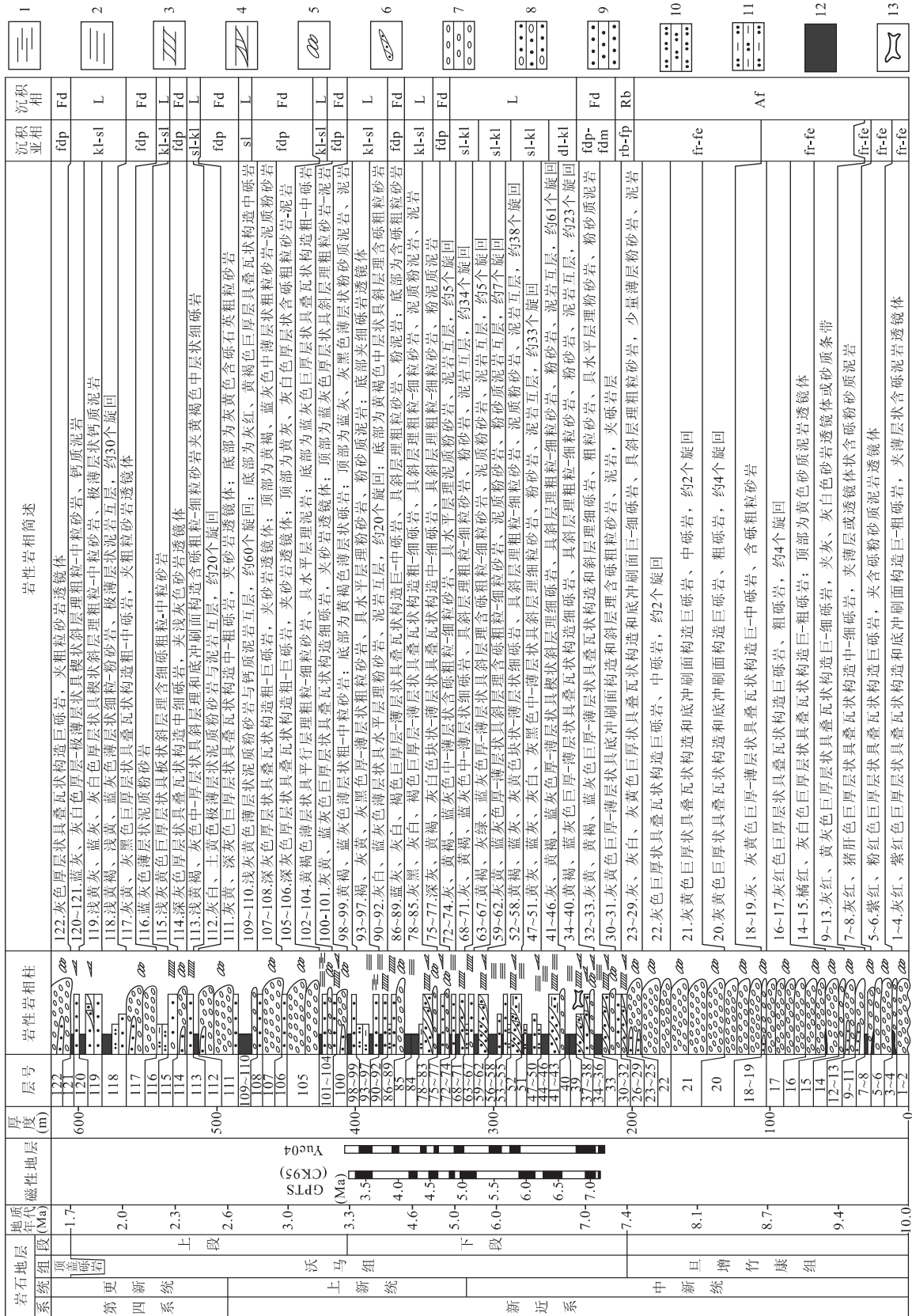


图2 西藏吉隆沃马剖面新近系巨增竹康组-沃马组地层柱状图

Fig. 2 Composite strata column section of Neogene Danzengzhukang Formation and Oma Formation in Gyirong basin, Tibet

1. 平行层理; 2. 水平层理; 3. 板状交错层理; 4. 楔状交错层理; 5. 叠瓦状构造; 6. 砂砾石透镜体; 7. 砾岩; 8. 含砾砂岩; 9. 砂岩; 10. 粉砂岩; 11. 泥质粉砂岩; 12. 粉砂质泥岩、泥岩; 13. 三趾与动物群化石点. Af: 冲积扇; fb-fp: 扇根-扇端; Rb: 河流; fdp-fdm: 扇三角洲平原; fdp-fdm: 扇三角洲平原-前缘; L: 湖泊; kl-sl: 湖泊; sl: 浅湖; dl: 深湖

10.0 Ma. 前人(王富葆等,1996;施雅风等,1998)对吉隆盆地的塔干沟、加莫沟和龙骨沟3条剖面的沃马组进行了系统地古地磁测年,得出年龄为7.00~1.67 Ma. 岳乐平等(2004)对龙骨沟沃马组的古地磁测年为7.2~3.2 Ma. 综合上述古地磁测年值与盆地形成的锆石和磷灰石裂变径迹年代学研究资料,对比Cande and Kent(1995)地磁极性年表,将吉隆盆地裂陷初始沉积的时间确定为约10.0 Ma,可得出吉隆沃马剖面上旦增竹康组年龄为10.0~7.4 Ma,沃马组年龄为7.40~1.67 Ma(图2).

2 材料和方法

对实测的沃马剖面的旦增竹康组和沃马组自下而上600多米厚的地层系统采集孢粉分析样品共计159件,沃马组的样品主要取自泥岩和粉砂岩;剖面下部的旦增竹康组由于由大套厚—巨厚层砾岩构成,其孢粉样主要采自砾岩层中的砂泥质透镜体和砾岩胶结物. 处理的每个孢粉样重1 kg,用李光瑜等(1995)的孢粉分析技术,先用氢氟酸(45%)和盐酸(30%)除去样品中的硅酸盐、硫酸盐、碳酸盐和氟化物等,然后用重液ΠΠ-6(比重2.18)分离孢粉,经5%的冰醋酸水溶液浮选,把孢粉化石移至10 mL的小试管中,在实验室鉴定时滴加甘油(丙三醇)的水溶液(折射率1.43~1.47),增强化石的清晰度. 经分析在剖面上有52个层位含孢粉化石,其中41个层位的化石数量较多,最多层位化石个数达到404粒;此外,孢粉化石的保存较好,没经过较强的后期氧化和侵蚀作用. 鉴定结果如图3和图4,化石放大倍数均为500倍,括号内阿拉伯数字为实验室内编号;所有标本皆保存于中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质教育部重点实验室微体古生物孢粉分室.

3 吉隆盆地孢粉组合(带)研究

根据多种植物类型的孢粉属种(图3和图4)及其丰度在剖面上的变化(图5),自下而上划分为3个孢粉组合带和9个孢粉组合(图5). 各个孢粉组合带和孢粉组合的特征分述如下.

3.1 孢粉组合带特征分析

3.1.1 组合带 I: *Quercus*-*Betulaceae*-*Juglandaceae* 组合带(1~38层;0~249.8 m;10.0~7.0 Ma,旦增竹康组) 该组合带特征是含有大量的阔叶植物

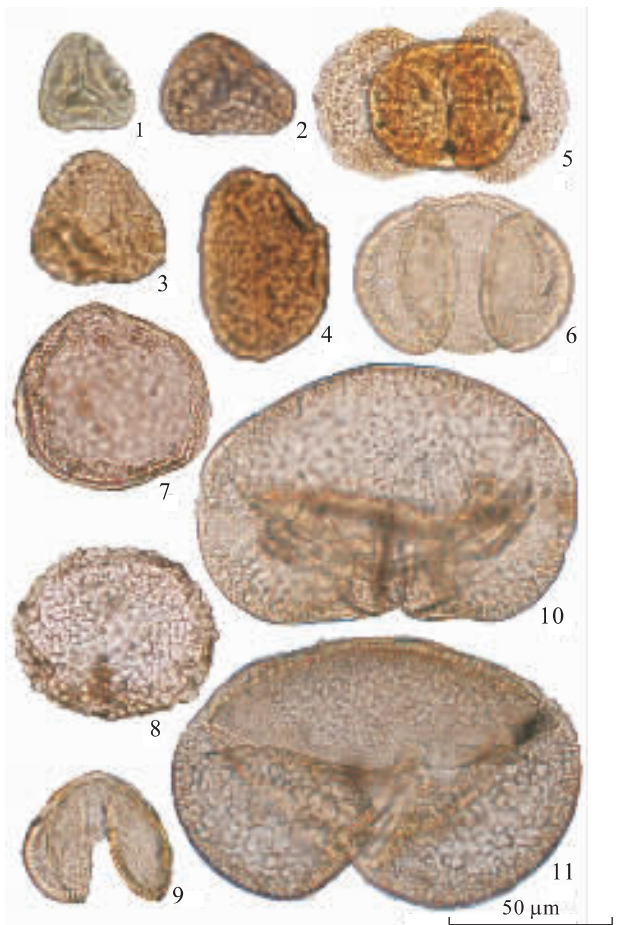


图3 吉隆沃马剖面蕨类和裸子植物孢子主要类型属种化石
Fig. 3 Representative photographs of fern and gymnosperm spore grains from the Oma Section in the Gyirong basin
1. 凤尾蕨 *Pteris* sp.; 样品号: S₂BF62-6(71); 2. 瘤足蕨 *Plagiogyria* sp.; 样品号: S₂BF62-6(71); 3. 海金沙 *Lygodium* sp.; 样品号: S₂BF62-7(72); 4. 水龙骨 *Polypodium* sp.; 样品号: S₂BF62-7(72); 5. 罗汉松 *Podocarpus* sp.; 样品号: S₂BF88-5(44); 6. 松 *Pinus* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6); 7. 无囊铁杉 *Tsuga* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6); 8. 具周囊铁杉 *Tsuga* sp.; 样品号: S₂BF62-7(72); 9. 雪松 *Cedrus* sp.; 样品号: S₁BF22-1(13); 10. 云杉 *Picea* sp.; 样品号: S₁BF22-1(13); 11. 冷杉 *Abies* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6)

(14.47%~83.33%)、针叶植物(0%~75.00%)和干旱植物(0%~48.39%)、少量的蕨类植物(0%~6.67%)。阔叶植物主要有栎(*Quercus* deciduous, *Quercus* evergreen)、桦(*Betula*)和榆(*Ulmus*),胡桃科(*Juglandaceae*)、桦木科(*Betulaceae*)和壳斗科(*Fagaceae*)的其他属种,以及槭(*Acer*)和楝(*Melia*)均较为常见,其中可见忍冬(*Lonicera*)、唇形科(*Labiatae*)以及水生黑三菱(*Sparganium*)和眼子菜(*Potamogeton*)。针叶植物主要有松(*Pinus*)和铁杉(*Tsuga*),还可见落叶松(*Larix*)、罗汉松(*Podocarpus*)、苏铁(*Cycas*),以及暖性针叶树种雪松(*Cedrus*)



图 4 吉隆沃马剖面被子植物花粉主要类型属种化石

Fig. 4 Representative photographs of angiosperm pollen grains from the Oma Section in Gyirong basin

1. 柳 *Salix* sp.; 样品号: S₂BF63-6(82); 2. 楝 *Melia* sp.; 样品号: S₂BF48-3(47); 3. 鹅耳枥 *Carpinus* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6); 4. 榛 *Corylns* sp.; 样品号: S₂BF96-4(50); 5. 常绿栎 *Quercus* evergreen; 样品号: S₂BF48-3(47); 6. 落叶栎 *Quercus* deciduous; 样品号: S₂BF48-3(47); 7. 桤木 *Alnus* sp.; 样品号: S₁BF22-1(13); 8. 桦 *Betula* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6); 9. 枫杨 *Pterocarya* sp.; 样品号: S₂BF96-4(50); 10. 胡桃 *Juglans* sp.; 样品号: S₂BF62-7(72); 11. 椴 *Tilia* sp.; 样品号: S₂BF48-4(48); 12. 蒿 *Artemisia* sp.; 样品号: S₁BF15-1(7); 13. 菊科 *Compositae*; 样品号: S₂BF36-2(30); 14. 藜 *Chenopodium* sp.; 样品号: S₁BF14-1(6)

和罗汉松 (*Podocarpus*), 杉科的破隙杉 (*Taxodia hiatus*) 也达到较高含量. 干旱的灌木和草本植物常见的有麻黄 (*Ephedra*)、蒿 (*Artemisia*)、菊科 (*Compositae*) 和藜科 (*Chenopodiaceae*). 蕨类植物孢子少见, 以桫欏 (*Cyathea*)、水龙骨 (*Polypodium*) 和瓶蕨 (*Trichomanes*) 为主.

3.1.2 组合带 II: Pinaceae-Chenopodiaceae-Polypodium 组合带 (39~99 层; 249.8~401.7 m; 7.0~3.3 Ma, 沃马组下部) 与前一组组合带相比, 该组合带发生显著变化, 其中阔叶植物含量锐减, 仅在期间发生一次复苏, 含量最高达到 69.23%, 主要类型是落叶栎 (*Quercus deciduous*)、桦 (*Betula*)、榆 (*Ulmus*) 和山核桃 (*Carya*) 等. 针叶植物 (9.26%~98.04%) 占据主导地位, 蕨类植物含量 (0%~22.22%) 和干旱植物含量 (0%~69.23%) 变化较大. 针叶植物以松 (*Pinus*) 为主, 常见雪松 (*Cedrus*)、云杉 (*Picea*) 和铁杉 (*Tsuga*), 此外暖性针叶类型的雪松 (*Cedrus*) 和罗汉松 (*Podocarpus*), 以及高寒针叶类型的冷杉 (*Abies*) 和云杉 (*Picea*) 增幅也很明显, 可见苏铁 (*Cycas*) 和落叶松 (*Larix*). 蕨类植物主要为水龙骨 (*Polypodium*)、石松 (*Lycopodium*) 和瓶蕨 (*Trichomanes*), 常见紫萁 (*Osmunda*)、岩蕨 (*Woodsia*)、铁角蕨 (*Asplenium*)、瘤足蕨 (*Plagiogyria*) 和凤尾蕨 (*Pteris*). 干旱植物类型主要是灌木植物麻黄 (*Ephedra*) 和草本植物藜科 (*Chenopodi-*

aceae), 还常见菊科 (*Compositae*).

3.1.3 组合带 III: Pinaceae-Quercus-Juglandaceae 组合带 (100~121 层; 401.7~609.9 m; 3.30~1.67 Ma, 沃马组上部) 该组合带中针叶植物 (22.08%~84.76%)、阔叶植物 (6.67%~51.67%) 和干旱植物 (1.90%~40.69%) 都较常见, 但含量变化大. 针叶类松科的各属型均常见, 主要为松 (*Pinus*)、云杉 (*Picea*) 和冷杉 (*Abies*). 阔叶类落叶栎 (*Quercus deciduous*)、桦 (*Betula*)、胡桃科 (*Juglandaceae*)、槭 (*Acer*) 和榆 (*Ulmus*) 等常见, 干旱植物主要是灌木麻黄 (*Ephedra*) 和草本藜科 (*Chenopodiaceae*), 蒿属 (*Artemisia*) 也较常见. 蕨类植物可见水龙骨 (*Polypodium*)、紫萁 (*Osmunda*)、石松 (*Lycopodium*)、岩蕨 (*Woodsia*)、瘤足蕨 (*Plagiogyria*) 等.

3.2 孢粉组合特征分析

3.2.1 孢粉组合 1: Pinus-Ephedra-Quercus-Betula 组合 (1~13 层; 0~49.0 m; 10~9.5 Ma) 该组合特征是含有大量的阔叶植物 (36.56%~83.33%)、针叶植物 (0%~43.75%) 和干旱植物 (0%~48.39%), 少量的蕨类植物 (0%~6.67%). 阔叶植物主要有落叶栎 (*Quercus deciduous*)、桦 (*Betula*) 和榆 (*Ulmus*), 常见山核桃 (*Carya*)、槭 (*Acer*) 和楝 (*Melia*) 等. 针叶植物主要有松 (*Pinus*) 和铁杉 (*Tsuga*), 还可见少量暖性针叶树种雪松 (*Cedrus*) 和罗汉松 (*Podocarpus*). 干旱的灌木和草本植物常

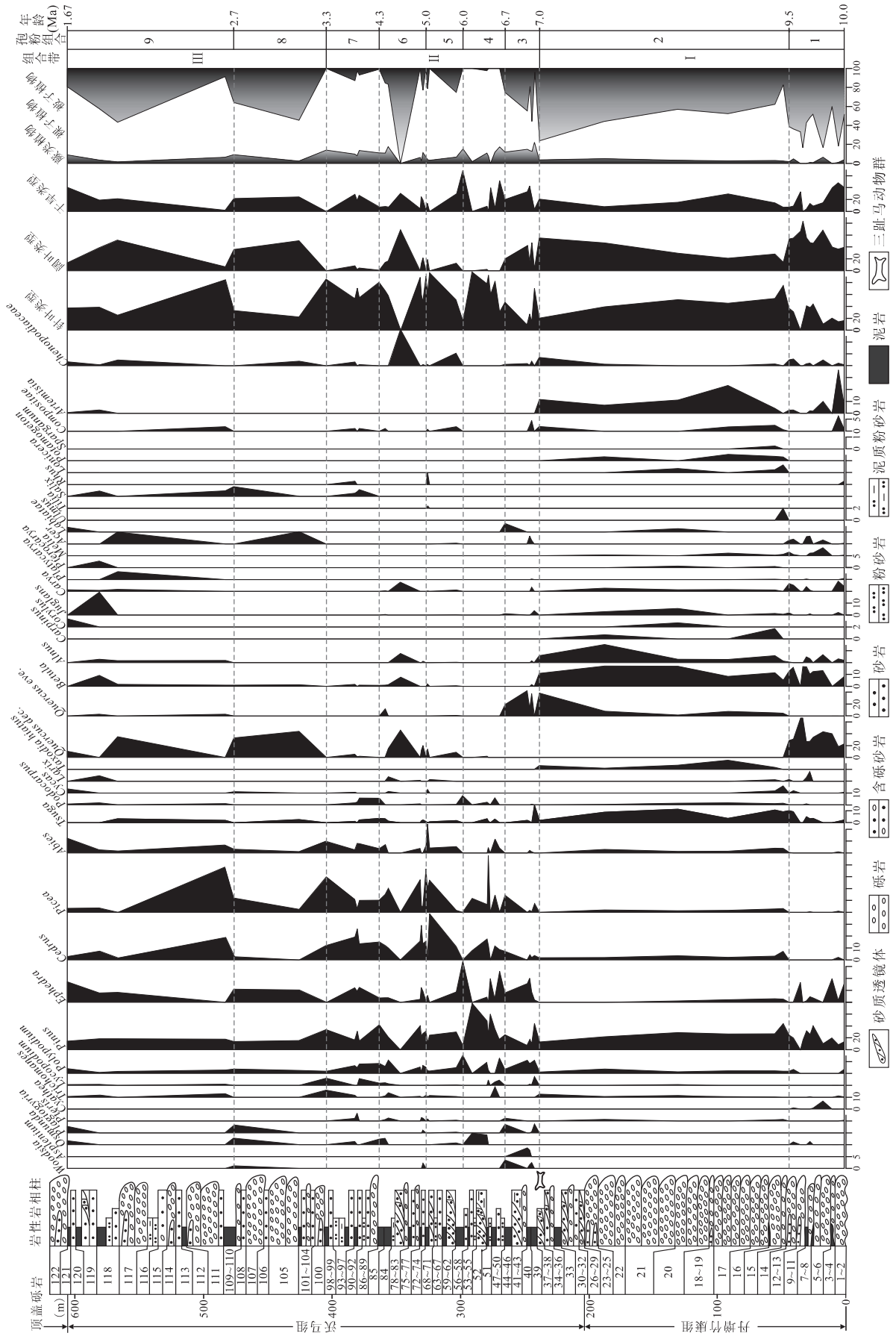


图5 西藏吉隆沃马剖面中-上新世孢粉谱
Fig.5 Overview of the palynological diagram and major vegetation changes during the Mio-Pliocene in the Gyirong basin

见的有麻黄(*Ephedra*)、蒿(*Artemisia*)、菊科(Compositae)和藜科(Chenopodiaceae)。蕨类植物孢子少见,以桫欏(*Cyathea*)和水龙骨(*Polypodium*)为主。

3.2.2 孢粉组合 2: *Pinus-Tsuga-Quercus-Betula* 组合(14~38 层; 49.0~249.8 m; 9.5~7.0 Ma) 该组合特征与孢粉组合 1 比较,仍以大量的阔叶植物(14.47%~55.19%)、针叶植物(20.13%~75.00%)和干旱植物(7.24%~29.56%)为主。阔叶植物含量稍减,以桦(*Betula*)、常绿栎(*Quercus evergreen*)和榆(*Ulmus*)为主,胡桃科(Juglandaceae)、桦木科(Betulaceae)和壳斗科(Fagaceae)的其他属种也较为常见,其中可见忍冬(*Lonicera*)、唇形科(Labiatae),以及水生黑三菱(*Sparganium*)和眼子菜(*Potamogeton*)。而针叶植物含量增加,常见松(*Pinus*)和铁杉(*Tsuga*),松科的其他属种也较为常见,杉科的破隙杉(*Taxodia hiatus*)常见且含量达到剖面分布的峰值,可见落叶松(*Larix*)、罗汉松(*Podocarpus*)和苏铁(*Cycas*)。干旱的灌木、草本植物常见分子未变,但含量较组合 1 略微减少,其中蒿属(*Artemisia*)含量最多。蕨类植物孢子(2.04%~5.07%)依旧少见,其中水龙骨(*Polypodium*)和瓶蕨(*Trichomanes*)较为常见。

3.2.3 孢粉组合 3: *Polypodium-Ephedra-Pinus-Quercus* 组合(39~46 层; 249.8~271.7 m; 7.0~6.7 Ma) 与前两个孢粉组合比较,该孢粉组合中蕨类植物含量明显增加(12.05%~22.22%),针叶植物(9.26%~70.37%)、阔叶植物(3.70%~47.26%)和干旱植物(3.70%~43.09%)变化不明显。其中,蕨类植物主要为水龙骨(*Polypodium*)和石松(*Lycopodium*),还常见岩蕨(*Woodsia*)、铁角蕨(*Asplenium*)和瘤足蕨(*Plagiogyria*)等。针叶植物以松(*Pinus*)为主,其他常见雪松(*Cedrus*)、云杉(*Picea*)和铁杉(*Tsuga*)等。阔叶植物主要是常绿栎(*Quercus evergreen*),其他可见胡桃(*Juglans*)、山核桃(*Carya*)和槭(*Acer*)等。干旱植物以灌木麻黄(*Ephedra*)为主,其他常见的草本植物有菊科(Compositae)和藜科(Chenopodiaceae)。

3.2.4 孢粉组合 4: *Polypodium-Pinus-Picea-Cedrus* 组合(48~57 层; 271.7~302.2 m; 6.7~6.0 Ma) 该孢粉组合特征发生显著变化,其中阔叶植物几乎消失殆尽,针叶植物(15.38%~98.04%)占据主导地位,蕨类植物含量(0%~17.39%)仍较高,干旱植物含量(0%~69.23%)变化较大。针叶植物以松(*Pinus*)为主,暖性针叶树种

雪松(*Cedrus*)和罗汉松(*Podocarpus*)含量增幅明显,高寒针叶树冷杉(*Abies*)和云杉(*Picea*)增幅也很大,指示针叶树在该组合时期比较繁盛。常见的蕨类植物主要有水龙骨(*Polypodium*)和石松(*Lycopodium*),可见紫萁(*Osmunda*)和瓶蕨(*Trichomanes*)等。干旱植物类型仅可见灌木植物麻黄(*Ephedra*),并达到较高含量。

3.2.5 孢粉组合 5: *Ephedra-Cedrus-Picea-Chenopodiaceae* 组合(58~70 层; 302.2~326.0 m; 6.0~5.0 Ma) 该组合特征仍以针叶植物(50.92%~96.53%)占主导地位,雪松(*Cedrus*)和云杉(*Picea*)含量持续增加,冷杉(*Abies*)含量达到峰值,还常见铁杉(*Tsuga*)和少量落叶松(*Larix*)。蕨类植物含量(3.47%~6.81%)略有减少,仍以水龙骨(*Polypodium*)为主。该阶段出现了少量的阔叶植物(0%~19.18%),但含量均较低,以落叶栎(*Quercus deciduous*)为主,可见山核桃(*Carya*)、桦(*Betula*)、槭(*Acer*)、椴(*Tilia*)和漆(*Rhus*)等。干旱植物(0%~29.75%)主要是灌木植物麻黄(*Ephedra*)和草本植物藜科(Chenopodiaceae),还常见菊科(Compositae)。

3.2.6 孢粉组合 6: *Cedrus-Pinus-Quercus-Chenopodiaceae* 组合(71~85 层; 326.0~359.5 m; 5.0~4.3 Ma) 该孢粉组合反映阔叶植物含量(0%~69.23%)达到又一次高峰,主要是落叶栎(*Quercus deciduous*),还常见桦(*Betula*)、榆(*Ulmus*)和山核桃(*Carya*)等。针叶植物(0%~88.98%)主要有松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)和雪松(*Cedrus*),常见铁杉(*Tsuga*),可见罗汉松(*Podocarpus*)、苏铁(*Cycas*)和落叶松(*Larix*)。蕨类植物含量(0%~17.72%)和干旱植物含量(4.72%~30.77%)变化不明显,其中蕨类植物主要有水龙骨(*Polypodium*)和瓶蕨(*Trichomanes*),还常见石松(*Lycopodium*)、凤尾蕨(*Pteris*)和紫萁(*Osmunda*)。干旱植物常见草本植物藜科(Chenopodiaceae)和灌木麻黄(*Ephedra*)。

3.2.7 孢粉组合 7: *Pinus-Ephedra-Picea-Abies* 组合(86~99 层; 359.5~401.7 m; 4.3~3.3 Ma) 该组合特征与组合带 5 相似,以针叶植物(53.04%~86%)为优势类型,主要有雪松(*Cedrus*)、松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)和冷杉(*Abies*),还常见罗汉松(*Podocarpus*)和铁杉(*Tsuga*),苏铁(*Cycas*)少见。蕨类植物含量(8.13%~14%)较高,以水龙骨(*Polypodium*)和石松(*Lycopodium*)较为常见,其他零星可见瓶蕨(*Trichomanes*)、紫萁(*Osmunda*)和

凤尾蕨(*Pteris*)、阔叶植物含量(0%~8.29%)较低,常见桦(*Betula*)、落叶栎(*Quercus deciduous*)和柳(*Salix*)等。干旱植物(0%~28.73%)主要为灌木植物麻黄(*Ephedra*),零星出现菊科(*Compositae*)和藜科(*Chenopodiaceae*)。

3.2.8 孢粉组合 8: *Ephedra-Picea-Quercus-Betula* 组合(100~110层;401.7~477.2 m;3.3~2.7 Ma) 该组合特征发生了显著变化,针叶植物含量(22.08%~32.97%)明显降低,而阔叶植物含量(35.71%~50.65%)显著增加。松科主要为松(*Pinus*),常见云杉(*Picea*)和冷杉(*Abies*),可见暖湿的雪松(*Cedrus*)、铁杉(*Tsuga*)和罗汉松(*Podocarpus*)。阔叶植物常见落叶栎(*Quercus deciduous*)和槭(*Acer*),柳(*Salix*)含量较高。干旱植被(21.98%~24.68%)主要是灌木麻黄(*Ephedra*)和草本藜科(*Chenopodiaceae*)。蕨类植物(2.60%~9.34%)常见水龙骨科(*Polypodium*)、岩蕨(*Woodsia*)、紫萁(*Osmunda*)和瘤足蕨(*Plagiogyria*)。

3.2.9 孢粉组合 9: *Ephedra-Picea-Abies-Quercus* 组合(111~121层;477.2~609.9 m;2.70~1.67 Ma) 该组合特征中针叶植物(25%~84.76%)、阔叶植物(6.67%~51.67%)和干旱植物(1.90%~40.69%)都较常见,但含量变化大;针叶类松科的各属种类型均常见,阔叶类落叶栎(*Quercus deciduous*)、桦(*Betula*)、山核桃(*Carya*)和榆(*Ulmus*)等常见,干旱植物主要是麻黄(*Ephedra*)和藜科(*Chenopodiaceae*)。蒿属(*Artemisia*)也较常见。蕨类植物(1.67%~8.97%)常见水龙骨科(*Polypodium*)、石松(*Lycopodium*)和瓶蕨(*Trichomanes*)。

4 讨论

4.1 孢粉组合反映的古植被和古环境意义

根据孢粉组合特征,可以将吉隆剖面的古植被和古环境变化分为9个阶段:

10.0~9.5 Ma,为孢粉组合1,该阶段植被类型丰度和分异度均较高,以落叶阔叶栎树林为主,伴生有桦树、榆树、槭树、槭树和胡桃科等落叶乔木;针叶林有一定分布,但代表高寒类型的冷杉和云杉含量很低。同时干旱分子类型多样,主要有灌木植物麻黄和草本植物蒿属、菊科(非蒿类)和藜科;林下蕨类孢子分布零星且含量较低。反映此时植被是温暖偏干的落叶针阔叶混交林。

9.5~7.0 Ma,为孢粉组合2,该阶段植物类型的分异度更显著,阔叶林优势树种为桦树、榆树和常绿栎为主,落叶栎

少见甚至消失,其他常见分子有槭树、槭树、胡桃科和唇形科树种等。针叶林中松树含量最高,暖湿的铁杉分布广泛且达到剖面的较高含量,破隙杉也较为常见,而高寒类型的冷杉和云杉含量较低,但已经常见。蕨类植物常见温湿的水龙骨科孢子。干旱的草本蒿属较为常见,还有少量的菊科和藜科。此时植被是温凉湿润的常绿与落叶针阔叶混交林,高海拔地带生长有冷杉、云杉和松。

7.0~6.7 Ma,为孢粉组合3,与前者相比,该阶段植被丰度和分异度明显降低。针叶林以松和雪松为主要成分,可见罗汉松、铁杉等类型;高海拔地带生长有云杉林,伴生有冷杉。低地地带的阔叶常绿栎林伴生有槭、山核桃和胡桃等。林下蕨类植物繁盛,多为阴湿生境的水龙骨科、石松等孢子。灌木麻黄和少量草本藜科、菊科反映温干的气候波动。植被主体为温暖偏干的常绿与落叶针阔叶混交林。

6.7~6.0 Ma,为孢粉组合4,该阶段植被类型发生显著变化,针叶林繁盛,松树和云杉树占优势地位,高寒冷杉也出现了较高含量,同时暖性针叶树种雪松和罗汉松亦常见且含量较高;在地势低缓地带仅可见极少量落叶阔叶栎树植物;林下伴生的蕨类中水龙骨科、石松、紫萁和瓶蕨均可见。在林中的部分地段可见干旱类型的灌木麻黄出露。植被为湿冷温暖的亚高山落叶针叶林。

6.0~5.0 Ma,为孢粉组合5,该阶段针叶林持续繁盛,松树、云杉和雪松占优势地位,冷杉含量也较高并达到其剖面分布的峰值,依然可见暖性针叶树种罗汉松树,并出现了落叶松树,明显地反映出地势分异加强,气候向温凉转变。阔叶植物类型开始少量出现;蕨类植物类型延续了之前的特征。反映干旱气候的类型增多,灌木麻黄、草本菊科和高寒类型的藜科都较常见,总体为温凉干旱的亚高山落叶针叶林。

5.0~4.3 Ma,为孢粉组合6,该阶段植被发生显著变化,落叶阔叶林突然繁盛起来,与背景发育的针叶林组成针阔叶混交林,优势树种为阔叶类的栎树、桦树、榆树、山核桃和针叶类的松、云杉、雪松。阔叶植物类型复苏反映该时段为一次暖湿气候波动;林下的蕨类常见有水龙骨科、石松、凤尾蕨和紫萁等;此外,高寒草本藜科达到较高含量。虽然植被为温暖湿润的落叶针阔叶混交林,但在高海拔地带发育高寒灌丛草甸。

4.3~3.3 Ma,为孢粉组合7,该阶段针叶林达到鼎盛期,各种类型的树种均较常见,如高寒的冷杉和云杉,暖湿的雪松和罗汉松,以及温湿的铁杉等;伴生的阔叶植物和蕨类均较前者有所降低;干旱类型以灌木麻黄为主,可见少量的干旱草本,反映植被为寒冷干旱的亚高山落叶针叶林。

3.3~2.7 Ma,为孢粉组合8,发展到该阶段,植被是以落叶栎、槭树和松组成的落叶针阔叶混交林,伴生有暖湿的雪松、罗汉松和铁杉,蕨类植物类型较多。植被特征为温凉偏湿的落叶针阔叶混交林。

2.70~1.67 Ma,为孢粉组合9,植被是松、雪松和落叶栎等组成的落叶针阔叶混交林,高海拔处为云杉和冷杉组成的针叶林,并发育早生的灌木麻黄和草本菊科、藜科,指示灌丛和高寒草原的存在,气候为寒冷干旱。

绝对年代 (Ma)	欧洲		中国		
	地质时代	海相	陆相		中国南方孢粉植物群 (王伟铭, 1992)
		阶	哺乳动物期	代表性地方哺乳动物群	
-5	更新世	Calabrian 卡拉布里亚阶	泥河湾	下沙沟	草本和灌木植物丰富度和分异度增加, 针叶植物减少气候趋于干旱反映为高寒荒漠和干冷草原(韩建恩等, 2005) 阶段4:一般较早上新世更加干冷, 达盆地资料反映气候具有从寒凉-温暖-寒冷变化的
		Piacenzian 皮亚琴察阶	榆社	麻测沟	
	上新世	Zanclean 赞克尔阶	保德	高庄	组合带3: Pinaceae, Ulmaceae, Compositae, Ranunculaceae, Betulaceae, Juglandaceae, Ephedripteris, Potamogeton, Fupingopollenites
		Messinian 梅辛阶		二登图	
	-10	晚	Tortonian 托尔通阶	保德	保德
中			瓦里西期	禄丰	禄丰
		澜河		澜河	
		柴达木		柴达木	
新		Serravallian 塞拉瓦尔阶	通古尔	通古尔	组合带5: Ulmipollenites, Quercoidites, Caryapollenites, Juglanspollenites, Liquidambarpollenites, Tiliaepollenites, Carpinipites, Chenopodiipollis, Compositae, Polyodiaceae, Fupingopollenites, Pinuspollenites, Coratopteris, Trapa
	世	Langhian 兰哥阶	冷水沟	冷水沟	
早			山旺	丁家二沟	丁家二沟
	山旺	山旺			
	酒洪	酒洪			
-20	早	Burdigalian 布尔德加尔阶	张家坪	张家坪	阶段2: 与前者相比, 被子植物花粉大量增加, 绝对优势代表干旱的 Chenopodiaceae 等草本植物花粉明显减少, 裸子植物花粉一般含量较低, 个别地区见有丰富的 Dacrydiumites, 反映温暖气候的热带、亚热带分子普遍存在
	-24	晚	Aquitanian 阿启坦阶	谢家	谢家
Orleanian 奥尔良期			兰州	兰州	

图 6 吉隆盆地新近纪孢粉组合带及其划分对比 Fig. 6 Neogene palynological zones of Gyirong basin and its division and correlation with other sequences

4.2 孢粉组合带对比和古气候阶段划分

组合带 I 以被子植物花粉占第一位,裸子植物花粉也有较高含量,蕨类植物孢子很少。在被子植物花粉中以栎、桦和桤木为最多,其次是胡桃、榆、鹅耳枥等。裸子植物花粉以松为主,其次是铁杉,尚有一定数量的雪松、冷杉、云杉、罗汉松和杉科等。草本植物花粉已有较大的数量,主要为蒿、藜科和菊科,可见黑三棱和眼子菜等花粉。蕨类孢子主要是水龙骨科,其他的少见。该组合带特征与西藏伦坡拉盆地晚中新世丁青组上段(王开发等,1975)的孢粉组合 5 可以进行很好地对比,两者的主要特征完全吻合,与山东临朐晚中新世的组合(宋之琛,1959)也接近,均以木本植物花粉为主,裸子植物花粉次之,其中的主要孢粉类型也类似,反映该组合带时代为晚中新世,对应于中国哺乳动物期的保德期(邱占祥和邱铸鼎,1990)(图 6)。

组合带 II 的代表花粉为裸子植物松科,其中松、雪松、云杉、冷杉和铁杉含量均较高,罗汉松也较为常见。蕨类孢子以水龙骨最多,并有少量的紫萁、岩蕨、铁角蕨、瘤足蕨和凤尾蕨。而被子植物和草本植物花粉锐减,仅在 5.0~4.3 Ma 发生一次复苏,两者常见有栎、桦、桤木、山核桃和藜科等。该组合带和组合带 I 之间发生显著的变化,与中国南方孢粉植物群(王伟铭,1992)的阶段 3 和中国北方孢粉序列(刘耕武,1988)可进行很好地对比,明显反映出气候逐渐变冷的趋势。西藏南木林乌龙组上段孢粉组合(宋之琛和刘金陵,1982)中,草本植物和松科花粉的增加也指示气候略有变凉,与吉隆盆地演化十分接近的札达盆地早期阶段的孢粉组合(李文漪和梁玉莲,1983;吕荣平等,2006)亦以木本松科花粉为主,并含有较多的冷杉和云杉,阔叶木本和草本植物花粉较少,其时代为早上新世。相邻的普兰盆地涕松剖面孢粉植物群(曹流,1982)反映混杂多种植物成分,认为存在植物垂直分布带,使得常绿与落叶、针叶与阔叶等植被类型并存,时代为上新世早、中期。吉隆盆地强波沟剖面建立了 6 个孢粉组合带(孙黎明等,2007),其中孢粉带 I-IV 反映为以松和冷杉为建群中的山地针叶林,伴生少量桦、栎、桤木等阔叶树种,低洼生长有水龙骨等蕨类植物,气候从温暖湿润转为冷湿(略干),时代为晚中新世—早上新世,约 6.5~3.9 Ma。该组合带的特征与中国大范围的孢粉资料对比较好,并在细节上均反映出早上新世一次暖湿的气候波动,时代为晚中新世晚期—早上新世,对应于哺乳动物期的保德期—榆社期(邱占祥和邱铸鼎,1990)。

组合带 III 的主要特征是阔叶木本植物和草本植

物增多,与针叶植物 3 者之间呈此消彼长的波动变化,其中主要分子有松科、栎、胡桃科、桦、麻黄、藜科等,蕨类植物少见,主要为水龙骨、紫萁、石松、岩蕨等。中国北方晚第三纪的孢粉序列(刘耕武,1988)上新世晚期组合带 V 的重要成分有松科、榆科、菊科、藜科和毛茛科等,并有桦科、胡桃科、水龙骨科和山毛榉科等存在,而且下部榆科和松科含量较高,上部以藜科和毛茛科为主,两者常可交替出现高含量,具有气温频繁波动的特征,反映针叶林与阔叶林或草原交替;该组合特征与之吻合较好,与中国南方孢粉植物群(王伟铭,1992)阶段 4 对比,均反映出向干冷变化的趋势,而札达盆地晚上新世(李文漪和梁玉莲,1983;韩建恩等,2005;余佳等,2007)孢粉组合亦经历了寒凉—温暖—寒冷的转变。吉隆盆地强波沟剖面(孙黎明等,2007)孢粉带 V-VI 指示冷杉植物的持续增加和耐旱草本蒿、麻黄的逐渐增加,而蕨类植物趋于减少,反映出气候从温湿变得冷干,时代为晚上新世,约 3.3~1.7 Ma,与本组合带在特征和时限上是一致的,对应于哺乳动物期的榆社期—泥河湾期(邱占祥和邱铸鼎,1990)。

吉隆沃马剖面的孢粉组合(带)反映出 3 个明显的古环境变化阶段(图 6):10.0~7.0 Ma,为组合带 I,发育温暖偏干的常绿与落叶针阔叶混交林,期间稍微变得温凉湿润;7.0~3.3 Ma,为组合带 II,发育寒冷干旱的落叶针叶林,草本藜科的出现指示存在高寒灌丛草甸,在 5.0~4.3 Ma 间存在一次暖湿气候的波动;3.30~1.67 Ma,为组合带 III,发育温凉偏干的气候下暗针叶林和落叶阔叶林构成的针阔叶混交林。

5 结论

锆石和磷灰石裂变径迹年代学研究得出吉隆盆地控盆断裂早期活动时间为 13.4 ± 1.9 Ma,源区 12~11 Ma 发生构造热事件(刘超,2008),已有裂变径迹年代学统计数据得出青藏高原周缘不同地区 13~11 Ma 都经历强烈的隆升剥露(刘超等,2007; Zhang *et al.*, 2008)。据此推算吉隆盆地初始裂陷后开始沉积的底界年龄约为 10 Ma。综合前人在吉隆盆地进行系统的古地磁测年值(王富葆等,1996;施雅凤等,1998),可得出吉隆盆地巨增竹康组年龄为 10.0~7.4 Ma,沃马组年龄为 7.4~1.67 Ma。

通过对吉隆盆地南部沃马村南约 2 km 处实测的新近系地层剖面的孢粉组合研究得出植物类型变化的 9 个阶段:10.0~9.5 Ma,孢粉组合 1,为温暖

偏干的落叶针阔叶混交林; 9.5~7.0 Ma, 孢粉组合 2, 为温凉湿润的常绿与落叶针阔叶混交林; 7.0~6.7 Ma, 孢粉组合 3, 为温暖偏干的常绿与落叶针阔叶混交林; 6.7~6.0 Ma, 孢粉组合 4, 为湿冷偏暖的亚高山落叶针叶林; 6.0~5.0 Ma, 孢粉组合 5, 为温凉干旱的亚高山落叶针叶林; 5.0~4.3 Ma, 孢粉组合 6, 为温暖湿润的落叶针阔叶混交林, 但在高海拔地带发育高寒灌丛草甸; 4.3~3.3 Ma, 孢粉组合 7, 为寒冷干旱的亚高山落叶针叶林; 3.3~2.7 Ma, 孢粉组合 8, 为温凉偏湿的落叶针阔叶混交林; 2.70~1.67 Ma, 孢粉组合 9, 为寒冷干旱的松、雪松和落叶栎等组成的落叶针阔叶混交林, 高海拔处为云杉和冷杉组成的针叶林, 并发育灌丛和高寒草原。

根据 3 个孢粉组合带对比研究, 将吉隆地区古气候变化划分为 3 个阶段: (1) 组合带 I, 为温暖偏干环境的常绿与落叶针阔叶混交林, 时代为晚中新世(10.0~7.0 Ma); (2) 组合带 II, 为寒冷干旱环境的落叶针叶林, 期间存在一次暖湿气候的波动, 时代为晚中新世晚期—早上新世(7.0~3.3 Ma); (3) 组合带 III, 为温凉偏干的气候下生长暗针叶林和落叶阔叶林构成的针阔叶混交林, 时代为晚上新世(3.30~1.67 Ma)。

致谢: 参加野外剖面测量工作的还有中国地质大学(武汉)朱宗敏讲师, 硕士研究生孟艳宁, 辽宁省有色地质局勘察研究院的刘超, 成都地质矿产研究所的王鹏, 中国科学院博士研究生曾方明。论文中孢粉的鉴定得到北京大学王宪曾教授和中国地质大学(武汉)喻建新副教授的指导, 在此谨表示谢意。

References

- An, Z. S., Kutzbach, J. E., Prell, W. L., et al., 2001. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya—Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 411: 62—66. doi: 10.1038/35075035
- Brozovic, N., Burbank, D. W., 2000. Dynamic fluvial systems and gravel progradation in the Himalayan foreland. *Geological Society of America Bulletin*, 112: 394—412. doi: 10.1130/0016-7606(2000)112<394:DFSAGP>2.0.CO
- Cande, S. C., Kent, D. V., 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B4): 6093—6095. doi: 10.1029/94JB03098
- Cao, L., 1982. Pliocene palynological flora in Disong of Burang, Xizang (Tibet). *Acta Palaeontologica Sinica*, 21 (4): 469—484 (in Chinese with English abstract).
- Catlos, E. J., Dubey, C. S., Harrison, T. M., et al., 2004. Late Miocene movement within the Himalayan main Central Thrust shear zone, Sikkim, North-East India. *Journal of Metamorphic Geology*, 22: 207—226. doi: 10.1111/j.1525-1314.2004.00509.x
- Chen, W. Y., 1982. Pliocene environment of *Hipparion* fauna of middle Himalaya range. *Vertebrata Palasiatica*, 20(1): 45—54 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W. Y., Fan, G. Z., Yu, Q. L., 1977. The sedimentary environments, clay minerals and paleoclimate in the Pliocene of Gyirong basin, Tibet. *Vertebrata Palasiatica*, 15(4): 261—270 (in Chinese).
- Coleman, M., Hodges, K., 1995. Evidence for Tibetan plateau uplift before 14 Myr ago from a new minimum age for east-west extension. *Nature*, 374: 49—52. doi: 10.1038/374049a0
- Deng, T., Li, Y. M., 2005. Vegetational ecotype of the Gyirong basin in Tibet, China and its response in stable carbon isotopes of mammal tooth enamel. *Chinese Science Bulletin*, 50(11): 1109—1113 (in Chinese).
- Garzzone, C. N., 2008. Surface uplift of Tibet and Cenozoic global cooling. *Geology*, 36(12): 1003—1004. doi: 10.1130/focus122008.1
- Garzzone, C. N., DeCelles, P. G., Hodkinson, D. G., et al., 2003. East-west extension and Miocene environmental change in the southern Tibetan plateau: thakkhola graben, Central Nepal. *Geological Society of America Bulletin*, 115(1): 3—20. doi: 10.1130/0016-7606(2003)115<0003:EWEAME>2.0.CO
- Han, J. E., Yu, J., Meng, Q. W., et al., 2005. Palynological records in the Qangzê Section of the Zanda basin, Ngari, Tibet. *Journal of Geomechanics*, 11(4): 320—327 (in Chinese with English abstract).
- Harrison, T. M., Copeland, P., Hall, S. A., et al., 1993. Isotopic preservation of Himalaya/Tibetan uplift, denudation, and climate histories of two molasse deposits. *Journal of Geology*, 101: 157—175. doi: 10.1130/0022-1376/93/0102-006S1.00
- Hodges, K. V., Parrish, R. R., Housh, T. B., et al., 1992. Simultaneous Miocene extension and shortening in the Himalayan orogen. *Science*, 258: 1466—1470. doi: 10.1126/science.258.5087.1466
- Hoorn, C., Ohja, T., Quade, J., 2000. Palynological evidence for vegetation development and climatic change in the Sub-Himalayan zone (Neogene, Central Nepal). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 163: 133—161. doi: 10.1016/S0031-0182(00)00149-8
- Huang, W. B., Ji, H. X., 1979. Discovery of *Hipparion* fauna in

- Xizang. *Chinese Science Bulletin*, 19:885—888 (in Chinese).
- Klootwijk, C. T., Gee, J. S., Peirce, J. W., et al., 1992. Neogene evolution of the Himalayan-Tibetan region: constraints from ODP site 758, northern ninetyeast ridge; bearing on climatic change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 95(1—2): 95—110. doi: 10.1016/0031-0182(92)90167-4
- Li, C. K., Ji, H. X., 1981. Two new rodents from Neogene of Chilong basin, Tibet. *Vertebrata Palasiatica*, 19(3): 246—256 (in Chinese with English abstract).
- Li, G. Y., Qian, Z. S., Hu, Y., 1995. Technical manual of pollen analysis. Geological Publishing House, Beijing, 65—70 (in Chinese).
- Li, H. R., Valli, F., Xu, Z. Q., et al., 2006. Deformation and tectonic evolution of the Karakorum fault, western Tibet. *Chinese Geology*, 33(2): 239—255 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. J., Wen, S. X., Zhang, Q. S., et al., 1979. Discussing age, extent and form about uplifting of the Tibet plateau. *Science in China (Ser. A)*, 6: 608—616 (in Chinese).
- Li, W. Y., Liang, Y. L., 1983. Sporo-pollen analysis on the lacustrine deposits in Zanda basin during the Pliocene. In: The comprehensive scientific expedition to the Qinghai-Xizang plateau, Chinese Academy of Sciences, ed., Quaternary Geology of Tibet, Science Press, Beijing, 132—144 (in Chinese).
- Liu, C., 2008. Fission track thermochronology study of tectonic exhumation in the Gyirong of Tibet (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 33—44 (in Chinese).
- Liu, C., Wang, G. C., Wang, A., et al., 2007. Fission-track evidence of Cenozoic different uplift processes of Himalayan Mountains. *Earth Science Frontiers*, 14(6): 273—281 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. M., Li, D. W., Yang, W. R., et al., 2005. Evidence from fission track ages for the tectonic uplift of the Himalayan orogen during Late Cenozoic. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(2): 147—152 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. W., 1988. Late Tertiary palynological sequence of northern China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 27(1): 75—85 (in Chinese with English abstract).
- Lü, R. P., Luo, P., Han, J. E., et al., 2006. Features of the sporopollen assemblage at the Toling Section in the Zhada basin, Tibet, China, and its paleoclimatic significance. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1475—1480 (in Chinese with English abstract).
- Meigs, J. A., Burbank, D. W., Beck, R. A., 1995. Middle-Late Miocene (>10 Ma) formation of the main boundary thrust in the western Himalaya. *Geology*, 23(5): 423—426. doi: 10.1130/0091-7613(1995)023<0423:MLMMFO>2.3.CO
- Mercier, J. L., Armijo, R., Tapponnier, P., et al., 1987. Change from Late Tertiary compression to Quaternary extension in southern Tibet during the India-Asia collision. *Tectonics*, 6(3): 275—304.
- Molnar, P., England, P., Martinod, J., 1993. Mantle dynamics, up lift of the Tibetan plateau, and the Indian monsoon. *Reviews of Geophysics*, 31: 357—396. doi: 10.1029/93RG02030
- Nakayama, K., Ulak, P. D., 1999. Evolution of fluvial style in the Siwalik Group in the foothills of the Nepal Himalaya. *Sedimentary Geology*, 125(3—4): 205—224. doi: 10.1016/S0037-0738(99)00012-3
- Pan, Y., Kidd, W. S. F., 1992. Nyainqentanglha shear zone: a Late Miocene extensional detachment in the southern Tibetan plateau. *Geology*, 20(9): 775—778. doi: 10.1130/0091-7613(1992)020<0775:NSZALM>2.3.CO
- Pei, J. L., Sun, Z. M., Wang, X. S., et al., 2009. Evidence for Tibetan plateau uplift in Qaidam basin before Eocene-Oligocene boundary and its climatic implications. *Journal of Earth Science*, 20(2): 430—437. doi: 10.1007/s12583-009-0035-y
- Qiu, Z. X., Qiu, Z. D., 1990. The sort and stage of Neogene local mammalian faunas group in China. *Journal of Stratigraphy*, 14(4): 241—260 (in Chinese with English abstract).
- Saylor, J. E., Quade, J., Dettman, D. L., et al., 2009. The Late Miocene through present paleoelevation history of southwestern Tibet. *American Journal of Science*, 309: 1—42. doi: 10.2475/01.2009.01
- Shen, X. H., Wang, F. B., Zhang, J., 1995. Late Cenozoic magnetostratigraphy and concerned discussion of Gyirong basin, south of Tibet. In: Annual of formation and environment of Tibetan plateau with environmental system research, Science Press, Beijing, 103—110 (in Chinese).
- Shi, Y. F., Li, J. J., Li, B. Y., 1998. Late Cenozoic uplift and environmental change of Qinghai-Tibet plateau. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou, 1—463 (in Chinese).
- Shi, Y. F., Li, J. J., Li, B. Y., et al., 1999. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau and East Asia environmental change during Late Cenozoic. *Acta Geographica Sinica*, 54(1): 10—20 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Y. F., Liu, D. S., 1964. Preliminary report of scientific expedition in the region of Mount Shishapangma. *Chinese Science Bulletin*, 10: 928—938 (in Chinese).
- Song, Z. C., 1959. Miocene palynological assemblage in Shanwang, Shandong Province. *Acta Palaeontologica Sini-*

- ca, 7(2): 99—115 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. C., Liu, J. L., 1982. The Tertiary spore-pollen assemblages from Namlin of Xizang. In: The comprehensive scientific expedition to the Qinghai-Xizang plateau, Chinese Academy of Sciences ed., *Palaeontology of Xizang* (Book 5). Science Press, Beijing, 153—164 (in Chinese).
- Sun, J. M., Zhang, L. Y., Deng, C. L., et al., 2008. Evidence for enhanced aridity in the Tarim basin of China since 5.3 Ma. *Quaternary Science Reviews*, 27(9—10): 1012—1023. doi:10.1016/j.quascirev.2008.01.011
- Sun, L. M., Yan, T. S., Tang, G. Y., et al., 2007. Neogene sporopollen assemblages and paleogeography in the Gyirong basin, Tibet. *Geology in China*, 34(1): 49—54 (in Chinese with English abstract).
- Tapponnier, P., Mercier, J. L., Armijo, R., et al., 1981. Field evidence for active normal faulting in Tibet. *Nature*, 294: 410—414. doi:10.1038/294410a0
- Wang, D. C., Zhang, J. J., Yang, X. Y., et al., 2009. Tectonic and environmental evolution of Gyirong basin, and its relationship to the uplift of Tibetan plateau. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(1): 79—89 (in Chinese with English abstract).
- Wang, F. B., Li, S. F., Shen, X. H., et al., 1996. Formation and evolution of the Gyirong basin with its environmental transform and uplift of the Himalayas. *Science in China (Ser. D)*, 26(4): 329—335 (in Chinese).
- Wang, K. F., Yang, J. W., Li, Z., et al., 1975. On the Tertiary spore-pollen assemblages from Lunpola basin of Xizang, China and their palaeogeographic significance. *Scientia Geologica Sinica*, 4: 366—378 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. F., Zhang, W. L., Feng, X. M., et al., 2008. Magnetostratigraphy of the Zanda basin in Southwest Tibet plateau and its tectonic implications. *Chinese Science Bulletin*, 53(9): 1393—1400. doi:10.1007/s11434-008-0132-9
- Wang, W. M., 1992. Palynofloristic changes in the Neogene of South China. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 9(1): 81—95 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y., Deng, T., Biasatti, D., 2006. Ancient diets indicate significant uplift of southern Tibet after ca. 7 Ma. *Geology*, 34(4): 309—312. doi:10.1130/G22254.1
- Wang, Y., Wan, J. L., Li, D. M., et al., 2001. Thermochronological evidence of tectonic uplift in Nyalam, South Tibetan detachment system. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4): 292—294 (in Chinese with English abstract).
- Wu, N. Q., Pei, Y. P., Lu, H. Y., et al., 2006. Marked ecological shifts during 6.2—2.4 Ma revealed by a terrestrial molluscan record from the Chinese Red Clay Formation and implication for palaeoclimatic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 233: 287—299. doi:10.1016/j.palaeo.2005.10.006
- Wu, Y. S., Yu, Q. L., 1980. Pollen-spores assemblages from localities of Hipparion fauna in Xizang and its significance. In: The comprehensive scientific expedition to the Qinghai-Xizang plateau, Chinese Academy of Sciences, *Palaeontology of Tibet* (Book 1). Science Press, Beijing, 76—82 (in Chinese).
- Xu, R., Tao, J. R., Sun, X. J., 1973. On the discovery of a quercus semicarpifolia bed in Mount Shishapangma and its significance in botany and geology. *Acta Botanica Sinica*, 15(1): 103—119 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Kapp, P., Murphy, M., 1999. Significant Late Neogene east-west extension in northern Tibet. *Geology*, 27: 787—790. doi:10.1130/0091-7613(1999)027<0787:SLNEWE>2.3.CO
- Yu, J., Luo, P., Han, J. E., et al., 2007. Sporopollen records in the Guge Section of the Zanda basin, Tibet, and palaeoenvironmental information reflected by it. *Geology in China*, 34(1): 55—60 (in Chinese with English abstract).
- Yue, L. P., Deng, T., Zhang, R., et al., 2004. Paleomagnetic chronology and records of Himalayan uplift on the Longgugou Section of Gyirong-Oma basin in Xizang (Tibet). *Chinese Journal of Geophysics*, 47(6): 1009—1016 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Cao, K., et al., 2008. Cenozoic sedimentary records and geochronological constraints of differential uplift of the Qinghai-Tibet plateau. *Science in China (Ser. D)*, 51(11): 1658—1672. doi:10.1007/s11430-008-0132-2
- Zhang, K. X., Wang, G. C., Chen, F. N., et al., 2007. Coupling between the uplift of Qinghai-Tibet plateau and distribution of basins of Paleogene-Neogene. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 583—597 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. L., Tian, L. F., Fan, Y. G., et al., 2004. New results and major progress in geological survey of the Saga County, Sangsang district and Gyirong County sheets. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 427—432 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. H., 1983. Palynological assemblages of OMA formation in the Gyirong basin. In: The comprehensive scientific expedition to the Qinghai-Xizang plateau, Chinese Academy of Sciences ed., *Quaternary Geology of Tibet*. Science Press, Beijing, 145—152 (in Chinese).
- Zhu, C., 1995. Neotectonism and Quaternary glaciation of

Gyirong basin, Xizang. *Mountain Research*, 13 (4): 219—225 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹流, 1982. 西藏普兰涕松上新世孢粉植物群. *古生物学报*, 21(4): 469—484.
- 陈万勇, 1982. 喜马拉雅山中段上新世三趾马动物群生活环境的探讨. *古脊椎动物与古人类*, 20(1): 45—54.
- 陈万勇, 范贵忠, 于浅黎, 1977. 西藏吉隆盆地上新世沉积相、粘土矿物特征及古气候. *古脊椎动物与古人类*, 15(4): 261—270.
- 邓涛, 李玉梅, 2005. 西藏吉隆盆地的植被生态类型及其在哺乳动物牙齿釉质稳定碳同位素组成上的响应. *科学通报*, 50(11): 1109—1113.
- 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 等, 2005. 西藏阿里札达盆地香孜剖面孢粉分析. *地质力学学报*, 11(4): 320—327.
- 黄万波, 计宏祥, 1979. 西藏三趾马动物群的首次发现及其对高原隆起的意义. *科学通报*, 19: 885—888.
- 李传夔, 计宏祥, 1981. 西藏吉隆上新世啮齿类化石. *古脊椎动物与古人类*, 19(3): 246—256.
- 李光瑜, 钱泽书, 胡昀, 1995. 孢粉分析技术手册. 北京: 地质出版社, 65—70.
- 李海兵, Valli, F., 许志琴, 等, 2006. 喀喇昆仑断裂的变形特征及构造演化. *中国地质*, 33(2): 239—255.
- 李吉均, 文世宣, 张青松, 等, 1979. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. *中国科学(A辑)*, 6: 608—616.
- 李文漪, 梁玉莲, 1983. 札达盆地上新世湖相沉积的孢粉分析. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编, *西藏第四纪地质*. 北京: 科学出版社, 132—144.
- 刘超, 2008. 西藏吉隆一带构造剥露的裂变径迹年代学研究(学位论文). 武汉: 中国地质大学, 33—44.
- 刘超, 王国灿, 王岸, 等, 2007. 喜马拉雅山脉新生代差异隆升的裂变径迹热年代学证据. *地学前缘*, 14(6): 273—281.
- 刘德民, 李德威, 杨巍然, 等, 2005. 喜马拉雅造山带晚新生代构造隆升的裂变径迹证据. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(2): 147—152.
- 刘耕武, 1988. 我国北方晚第三纪孢粉序列. *古生物学报*, 27(1): 75—85.
- 吕荣平, 罗鹏, 韩建恩, 等, 2006. 西藏札达盆地托林剖面孢粉组合特征及其古气候意义. *地质通报*, 25(12): 1475—1480.
- 申旭辉, 王富葆, 张捷, 1995. 藏南吉隆盆地晚新生代磁性地层学研究及相关讨论. 见: 青藏高原形成演化, 环境变迁与生态系统研究学术论文年刊. 北京: 科学出版社, 103—110.
- 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(4): 241—260.
- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 1998. 青藏高原晚新生代隆升与环

境变化. 广州: 广东科技出版社, 1—463.

- 施雅风, 李吉均, 李炳元, 等, 1999. 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化. *地理学报*, 54(1): 10—20.
- 施雅风, 刘东生, 1964. 希夏邦马峰地区科学考察初步报告. *科学通报*, 10: 928—938.
- 宋之琛, 1959. 山东山旺中新世地层中的孢粉组合. *古生物学报*, 7(2): 99—115.
- 宋之琛, 刘金陵, 1982. 西藏南木林第三纪孢粉组合. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编, *西藏古生物(第五分册)*. 北京: 科学出版社, 153—164.
- 孙黎明, 阎同生, 唐桂英, 等, 2007. 西藏吉隆盆地新近纪孢粉组合及古地理研究. *中国地质*, 34(1): 49—54.
- 王德朝, 张进江, 杨雄英, 等, 2009. 吉隆盆地构造、环境演化与青藏高原隆升. *北京大学学报(自然科学版)*, 45(1): 79—89.
- 王富葆, 李升峰, 申旭辉, 等, 1996. 吉隆盆地的形成演化、环境变迁与喜马拉雅山隆起. *中国科学(D辑)*, 26(4): 329—335.
- 王开发, 杨蕉文, 李哲, 等, 1975. 根据孢粉组合推论西藏伦坡拉盆地第三纪地层时代及其古地理. *地质科学*, 4: 366—378.
- 王伟铭, 1992. 中国南方晚第三纪孢粉植物群的变迁. *微体古生物学报*, 9(1): 81—95.
- 王瑜, 万景林, 李大明, 等, 2001. 藏南伸展拆离系聂拉木一带构造抬升的热年代学证据. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 292—294.
- 吴玉书, 余浅黎, 1980. 西藏高原含三趾马动物群化石地点孢粉组合及其意义. 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, 76—82.
- 徐仁, 陶君容, 孙湘君, 1973. 希夏邦马峰高山栎化石层的发现及其在植物学和地质学上的意义. *植物学报*, 15(1): 103—119.
- 余佳, 罗鹏, 韩建恩, 等, 2007. 西藏札达盆地古格剖面孢粉记录及其反映的古环境信息. *中国地质*, 34(1): 55—60.
- 岳乐平, 邓涛, 张睿, 等, 2004. 西藏吉隆—沃马盆地龙骨沟剖面古地磁年代学及喜马拉雅山抬升记录. *地球物理学报*, 47(6): 1009—1016.
- 张克信, 王国灿, 陈奋宁, 等, 2007. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(5): 583—597.
- 张振利, 田立富, 范永贵, 等, 2004. 萨嘎县幅、桑桑区幅、吉隆县幅地质调查新成果及主要进展. *地质通报*, 23(5—6): 427—432.
- 郑亚惠, 1983. 吉隆盆地沃马组孢粉组合. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编, *西藏第四纪地质*. 北京: 科学出版社, 145—152.
- 朱诚, 1995. 西藏吉隆盆地的新构造运动及第四纪冰川. *山地研究*, 13(4): 219—225.