

青藏高原晚新生代孢粉组合与古环境演化

吴珍汉 吴中海 叶培盛 胡道功 彭 华

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:对取自沱沱河盆地、通天河盆地、那曲盆地、东温泉盆地、乌郁盆地的新近纪湖相沉积与取自巴斯错、错鄂、纳木错的晚第四纪湖相沉积, 进行孢粉分析; 结合西宁—民和盆地、伦坡拉盆地、南木林盆地、渭河盆地的孢粉资料, 分析青藏及邻区新生代晚期古植被和古环境的演化过程。发现渐新世晚期—中新世早期青藏与周边邻区的古环境发生了显著分异, 导致青藏地区热带亚热带植物濒临消亡, 与全球温暖气候条件和青藏地区古纬度环境不符, 是青藏高原隆升的重要标志。中新世早期—第四纪晚期, 青藏高原落叶阔叶林和针叶林呈现总体减少趋势和准周期性波动, 与全球气候变化呈良好对应关系。第四纪晚期草本植物含量逐步增高, 出现蒿—松—桦为主, 针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物混生的植被景观。

关键词:孢粉组合; 古植被; 古环境; 新生代晚期; 青藏高原隆升

中图分类号: P532; Q913.84 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)05-0966-14

新生代晚期是青藏高原隆升和古环境演变的重要地质历史时期。很多学者认为青藏高原隆升发生在中新世中晚期, 如 Harrison et al^[1]推断青藏高原隆升早于 8 Ma, Blisniuk et al^[2]推断青藏高原隆升早于 13.5 Ma, Spicer et al^[3]推断青藏高原隆升早于 15 Ma。Turner et al^[4]推断青藏高原隆升时代为 13~14 Ma; 部分学者认为青藏高原隆升主要发生于第四纪, 如李吉均等^[5]和张青松等^[6]认为青藏高原整体隆升开始于 3.4 Ma 或 2.5 Ma, 钟大赉等^[7]认为青藏高原整体快速隆升主要发生于 3 Ma 之后。迄今为止, 青藏高原隆升时代仍然是国际地球科学领域关注的热点问题。由于青藏高原隆升对古气候环境和古植被具有重要影响^[8], 因此通过对青藏高原新生代晚期不同时期的湖相沉积进行系统取样和孢粉鉴定, 不仅可以为分析地层时代和古环境演化提供地质依据, 而且能够为分析青藏高原隆升时代提供重要线索。

1 沉积地层与岩石组合

青藏高原在经历渐新世晚期(30~23.5 Ma)约 6.5 Ma 的区域性隆升和剥蚀夷平之后^[9], 中新世早期广泛发育厚达 300~350 m 的湖相沉积, 与雅西错群呈平行不整合或微角度不整合接触。中新统湖相沉积地层在青藏高原北部统称为五道梁

群, 以灰白色含碳酸盐岩的湖相沉积为主(图 1), 底部发育褐红色古土壤和紫红色砂砾岩^[9]。在昆仑山南部的东温泉盆地, 五道梁群以灰白色泥灰岩、钙质粉砂岩、砂岩为主, 与风火山群红层呈角度不整合接触, 但由于断层破坏和第四系覆盖, 五道梁群地层厚度不详。在五道梁盆地, 五道梁群以浅灰白色中厚层—薄层状白云岩与白云质灰岩为主, 夹生物碎屑灰岩、叠层石灰岩和菱铁矿薄层, 厚度为 310 m。在北麓河盆地, 五道梁群厚度达 357 m, 以灰色—灰白色中厚层—薄层状白云岩与白云质灰岩为主, 夹生物碎屑灰岩和菱铁矿薄层, 底部发育褐红色古土壤和紫红色砂砾岩。在沱沱河盆地, 五道梁群厚度 310 m, 以浅灰绿色中薄层状白云质灰岩、泥灰岩、灰色钙质粉砂岩为主, 夹少量红色泥岩和石膏。在通天河盆地, 五道梁群以灰白色薄层状泥晶灰岩、泥灰岩、泥岩为主, 局部夹石膏薄层, 厚度超过 350 m, 最大厚度达 510 m。在唐古拉山脉和冈底斯—念青唐古拉山脉之间的那曲、班戈、色林错、伦坡拉、双湖各盆地, 中新世早中期发育灰色—灰白色湖相泥灰岩、钙质砂岩与粉砂岩, 顶部发育厚度不大但分布面积很大的砾岩, 与青藏高原北部的五道梁群具有良好的可对比性。

在结束中新世早期湖相沉积并经历隆升剥蚀之后, 中新

收稿日期: 2006-03-07; 改回日期: 2006-05-19

基金资助: 国际科技合作重点项目(2001CB711001)与国际合作项目(INDEPTH-IV)联合资助。

作者简介: 吴珍汉, 男, 1965 年生, 博士, 研究员, 长期从事青藏高原区域地质调查与大陆动力学研究工作; E-mail: wuzhenhan@yahoo.com.cn。

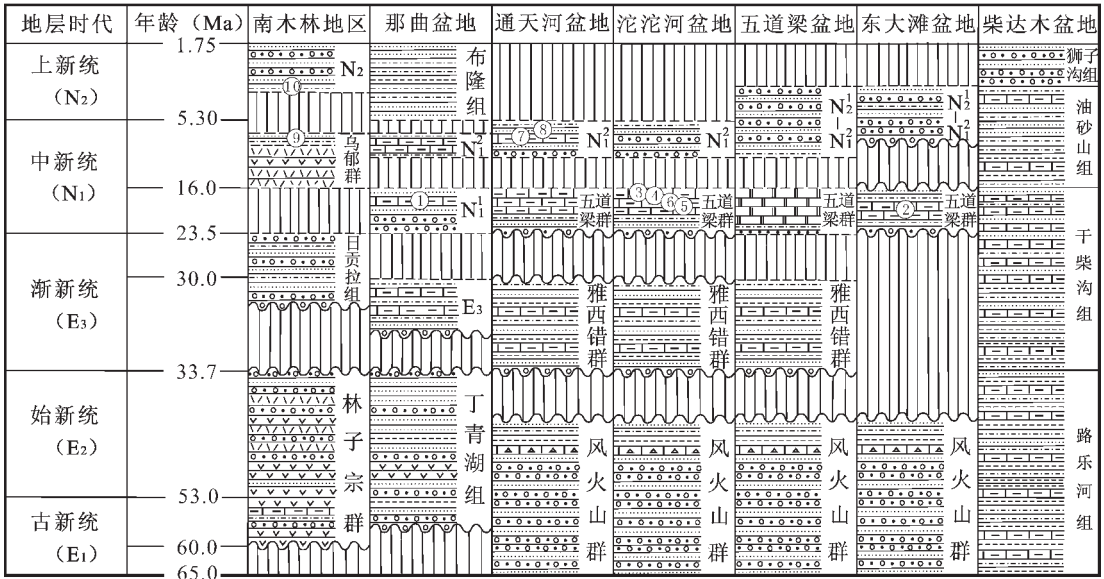


图 1 青藏高原新生代地层对比与样品剖面位置分布图

(中新世湖相沉积地层的厚度详见正文,风火山群与林子宗群地层厚度普遍大于 2 000 m)

Fig.1 Stratigraphic correlation of the Cenozoic of the Qinghai-Tibet Plateau and sampling locations

(for the thickness of Miocene lacustrine sediments, see text; the Fenghuoshan and Linzong groups are generally >2 000 m thick)

世晚期—上新世部分地区发育河湖相砂砾岩;如五道梁盆地局部发育灰色厚层砾岩、含砾砂岩与复成分砂岩,在山前地带沉积厚度达千余米,与五道梁群呈平行不整合或微角度不整合接触;沱沱河盆地发育河湖相含砾砂岩和砂岩,通天河盆地发育湖相砂岩、粉砂岩,与五道梁群呈平行不整合接触;那曲盆地发育布隆组湖相泥灰岩和粉砂质泥岩互层,岩层产状平缓,倾角小于 10°;东温泉盆地发育暗紫色砂砾岩,与五道梁群湖相沉积地层呈角度不整合接触。

晚更新世间冰期,青藏高原湖泊面积增大,古湖面曾高出现今湖面 140 m^[9],导致很多湖泊相互连通,形成面积巨大的泛湖或古大湖^[10],在纳木错、色林错等湖盆形成高位湖相沉积;晚更新世末期—全新世早期(冰后期)在湖面下降和波动期间,发育多至 6 级的湖积阶地^[11],全新世晚期在纳木错周缘形成 15 级湖岸堤。晚更新世—全新世湖相沉积以粉砂、砂质粘土和含砾粉砂土为主,夹泥炭层,在湖滨过渡为砂砾石层。

2 孢粉组合

对青藏高原中段不同盆地的中新统和上新统湖相沉积地层,在野外观测的基础上采集样品(图 2),按照常规实验流程,进行孢粉分析。采集样品的岩性主要包括泥灰岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩。在五道梁盆地和北麓河盆地中新统白云质灰岩内未发现孢粉化石,但在沱沱河盆地、通天河盆地、那曲盆地新近纪湖相沉积地层中发现数量不等的孢粉化石。其

中 3 个样品(D6-29-10、D7-9-6、D7-6-3)孢粉数量较多,达到百分含量统计要求;5 个样品(D6-30-4、D7-8-4、D6-29-11、D6-29-12、D6-28-13)孢粉数量偏少,2 个样品(D6-19-5、D6-30-6)孢粉数量稀少。尽管部分样品的孢粉数量偏少甚至稀少,但由于存在能够指示时代的特征分子,因此仍然能够为分析地层时代和古环境提供有价值的线索。

在现代代表性湖泊的不同部位,取晚更新世和全新世湖相沉积砂土样品(图 2),包括巴斯错北岸(D2-25-1)、错鄂东南岸(D3-9-6)和纳木错西岸(D6-24-1);孢粉数量较多,都达到百分含量统计要求,为分析孢粉组合和第四纪晚期气候环境演化提供了重要的依据。

(1)样品 D7-6-3:取自那曲盆地南部罗马南山(图 2),岩性为铁质胶结泥灰岩。样品含蕨类植物孢子 6.9%、裸子植物花粉 28.6%、被子植物花粉 64.3%,孢粉保存较差,存在比较明显的挤压变形。蕨类植物孢子:*Pterisporites*(凤尾蕨孢)0.8%,*Polypodicoisporites*(聚环水龙骨孢)1.7%,*Leiotriletes*(光面三缝孢)2.6%,*Deltoidospora*(三角孢)1.7%。裸子植物花粉:*Pinuspollenites*(双束松粉)13.0%,*Piceapollenites*(云杉粉)2.6%,*Cedripites*(雪松粉)0.8%,*Keteleeriaepollenites*(油杉粉)2.6%,*Tsugaepollenites*(铁杉粉)1.7%,*Ginkgocycadophytus*(银杏粉)1.7%,*Pinaceae*(具囊松科花粉)6.0%。被子植物花粉:*Quercoidites*(栎粉)11.3%,*Celtispollenites*(朴粉)9.5%,*Cupuliferoipollenites*(栗粉)1.7%,*Salixipollenites*(柳粉)0.8%,

Chenopodipollis (藜粉) 11.3%, *Caryophyllidites* (石竹粉) 2.6%, *Artemisiaepollenites* (蒿粉) 0.8%, *Liliacidites* (百合粉) 2.6%, *Compositoipollenites* (菊粉) 1.7%, *Scabiosapollis* (山萝卜粉) 1.7%, *Fupingpollenites* (伏平粉) 0.8%, *Rhoipites* (漆树粉) 0.8%, *Tricolpites* (三沟粉) 7.8%, *Retitricolpites* (网面三沟粉) 1.7%, *Triporopollenites* (三孔粉) 0.8%, *Tricolporopollenites* (三孔沟粉) 4.3%, *Stephanocolpites* (稀沟粉) 1.7%, *Leguminosae* (豆科花粉) 1.7%。

(2) 样品 D6-19-5: 取自东温泉盆地 (图 2), 岩性为灰白色泥灰岩, 孢粉数量稀少, 仅发现 *Graminidites* (禾本粉)、*Chenopodipollis* (藜粉)、*Quercoidites* (栎粉)、*Juglanspollenites* (胡桃粉)。

(3) 样品 D6-29-10: 样品取自沱沱河盆地北部五道梁群上部 (图 1~2), 岩性为灰绿色粉砂质泥岩。样品中孢粉含量较高, 孢粉类型较多, 保存较好 (图版 II)。孢粉组合为: 蕨类植物孢子 8.1%, 裸子植物花粉 13.8%, 被子植物花粉 77.9%。蕨类植物孢子: *Leiotriletes* (光面三缝孢) 1.8%, *Deltoidospora* (三角孢) 0.6%, *Polypodiaceasporites* (水龙骨单缝孢) 5.0%, *Extrapuctatosporites* (外颗粒单缝孢) 0.6%。裸子植物花粉: *Pinuspollenites* (双束松粉) 5.6%, *Piceapollenites* (云杉粉) 1.2%, *Abiespollenites* (冷杉粉) 0.6%, *Abietinaepollenites* (单束松粉) 0.6%, *Cedripites* (雪松粉) 0.6%, *Podocarpidites* (罗汉松粉) 1.2%, *Keteleeriaepollenites* (油杉粉) 0.6%, *Ephedripites* (麻黄粉) 3.1%。被子植物花粉: *Chenopodipollis* (藜粉) 6.2%, *Sparganiaceapollenites* (黑三棱粉) 3.7%, *Artemisiaepollenites* (蒿粉) 1.8%, *Graminidites* (禾本粉) 0.6%, *Labitricolpites* (唇形三沟粉) 1.8%, *Ranunculacidites* (毛茛粉) 1.8%, *Potamogetonacidites* (眼子菜粉) 1.2%, *Liliacidites* (百合粉) 1.2%, *Salixipollenites* (柳粉) 0.6%, *Quercoidites* (栎粉) 15.0%, *Cupuliferoipollenites* (栗粉) 2.5%, *Betulaceoipollenites* (拟桦粉) 5.6%, *Betulaepollenites* (桦粉) 1.2%, *Alnipollenites* (桤木粉) 1.2%, *Carpinipites* (鹅耳枥粉) 1.2%, *Ostryoipollenites* (苗榆粉) 1.2%, *Caryapollenites* (山核桃粉) 0.6%, *Engelhardtoidites* (黄杞粉) 1.8%, *Nitrariadites* (拟白刺粉) 3.1%, *Qinghaipollis* (青海粉) 0.6%, *Trilobapollis* (三瓣粉) 2.5%, *Operculumpollis* (具盖粉) 0.6%, *Celtisipollenites* (朴粉) 1.8%, *Liquidambarpollenites* (枫香粉) 0.6%, *Euphorbiacites* (大戟粉) 1.2%, *Rhoipites* (漆树粉) 0.6%, *Meliaceoidites* (楝粉) 1.2%, *Cyrillaceapollenites* (西里拉粉) 1.2%, *Magnoliapollenites* (木兰粉) 0.6%, *Stephanocolpites* (稀沟粉) 0.6%, *Tricolpites* (三沟粉) 3.7%, *Retitricolpites* (网面三沟粉) 2.5%, *Tricolporopollenites* (三孔沟粉) 6.2%。

(4) 样品 D6-29-11: 取自沱沱河盆地北部五道梁群上部 (图 1~2), 岩性为棕黄色泥灰岩。在样品中共发现孢粉 38 粒, 包括蕨类植物孢子 4 粒、裸子植物花粉 11 粒、被子植物花粉 23 粒。蕨类植物孢子: *Polypodiaceasporites* (水龙骨单缝孢) 2 粒, *Leiotriletes* (光面三缝孢) 2 粒。裸子植物花粉: *Pinuspollenites* (双束松粉) 4 粒, *Ephedripites* (麻黄粉) 7 粒。被

子植物花粉: *Betulaceoipollenites* (拟桦粉) 1 粒, *Carpinipites* (鹅耳枥粉) 1 粒, *Quercoidites* (栎粉) 9 粒, *Lonicerapollis* (忍冬粉) 3 粒, *Chenopodipollis* (藜粉) 1 粒, *Liliacidites* (百合粉) 1 粒, *Compositae* (菊科花粉) 1 粒, *Tricolpites* (三沟粉) 4 粒, *Tricolporopollenites* (三孔沟粉) 2 粒。

(5) 样品 D6-29-12: 取自沱沱河盆地北部五道梁群中部 (图 1~2), 岩性为灰白色泥灰岩。样品含孢粉 18 粒, 包括 *Nitrariadites* (拟白刺粉) 5 粒, *Quercoidites* (栎粉) 1 粒, *Salixipollenites* (柳粉) 1 粒, *Tricolpites* (三沟粉) 1 粒, *Pinuspollenites* (双束松粉) 7 粒, *Piceapollenites* (云杉粉) 2 粒, *Ephedripites* (麻黄粉) 1 粒。

(6) 样品 D6-28-13: 取自沱沱河盆地北部中上部 (图 1~2), 岩性为浅黄色粉砂质粘土。样品中含 54 粒孢粉, 包括蕨类植物孢子 5 粒, 裸子植物花粉 39 粒, 被子植物花粉 10 粒。蕨类植物孢子: *Polypodiisporites* (平瘤水龙骨孢) 1 粒, *Polypodiaceasporites* (水龙骨单缝孢) 4 粒。裸子植物花粉: *Piceapollenites* (云杉粉) 11 粒, *Pinuspollenites* (双束松粉) 14 粒, *Abiespollenites* (冷杉粉) 2 粒, *Keteleeriaepollenites* (油杉粉) 2 粒, *Podocarpidites* (罗汉松粉) 4 粒, *Dacrydiumites* (泪杉粉) 1 粒, *Abietinaepollenites* (单束松粉) 2 粒, *Pinaceae* (具囊松科花粉) 3 粒。被子植物花粉: *Quercoidites* (栎粉) 1 粒, *Lonicerapollis* (忍冬粉) 1 粒, *Artemisiaepollenites* (蒿粉) 1 粒, *Labitricolpites* (唇形三沟粉) 2 粒, *Echitricolporites* (刺面三孔沟粉) 3 粒, *Tricolpites* (三沟粉) 2 粒。

(7) 样品 D6-30-4: 取自通天河盆地、布曲河西岸 (图 2), 岩性为青灰色泥灰岩。样品含孢粉 60 粒, 包括蕨类植物孢子 5 粒、裸子植物花粉 7 粒、被子植物花粉 48 粒。蕨类植物孢子: *Polypodiisporites* (平瘤水龙骨孢) 1 粒, *Leiotriletes* (光面三缝孢) 4 粒。裸子植物花粉: *Ephedripites* (麻黄粉) 6 粒, *Pinuspollenites* (双束松粉) 1 粒。被子植物花粉: *Nitrariadites* (拟白刺粉) 6 粒, *Qinghaipollis* (青海粉) 4 粒, *Chenopodipollis* (藜粉) 15 粒, *Graminidites* (禾本粉) 1 粒, *Compositoipollenites* (菊粉) 1 粒, *Artemisiaepollenites* (蒿粉) 1 粒, *Labitricolpites* (唇形三沟粉) 2 粒, *Liliacidites* (百合粉) 1 粒, *Quercoidites* (栎粉) 4 粒, *Juglanspollenites* (胡桃粉) 1 粒, *Meliaceoidites* (楝粉) 1 粒, *Ulmipollenites* (榆粉) 1 粒, *Cupuliferoipollenites* (栗粉) 1 粒, *Tricolpites* (三沟粉) 5 粒, *Triporopollenites* (三孔粉) 1 粒, *Tricolporopollenites* (三孔沟粉) 2 粒, *Polyporopollenites* (多孔粉) 1 粒。

(8) 样品 D6-30-6: 取自通天河盆地布曲河西岸 (图 2), 岩性为青灰色粉砂岩, 孢粉数量稀少, 仅发现 *Tubulifloridites grandis* Nagy (巨型菅华菊粉)、*Persicarioipollis lusaticus* Krutzsch (卢沙蓼粉)、*Pterisporites* (凤尾蕨孢), 但巨型菅华菊粉和卢沙蓼粉是新近纪的特征分子, 具有比较重要的时代意义。

(9) 样品 B7-9-6: 取自乌郁盆地中部 (图 2), 岩性为灰白色粉砂质泥岩, 呈角度不整合覆盖在中新世火山岩之上,

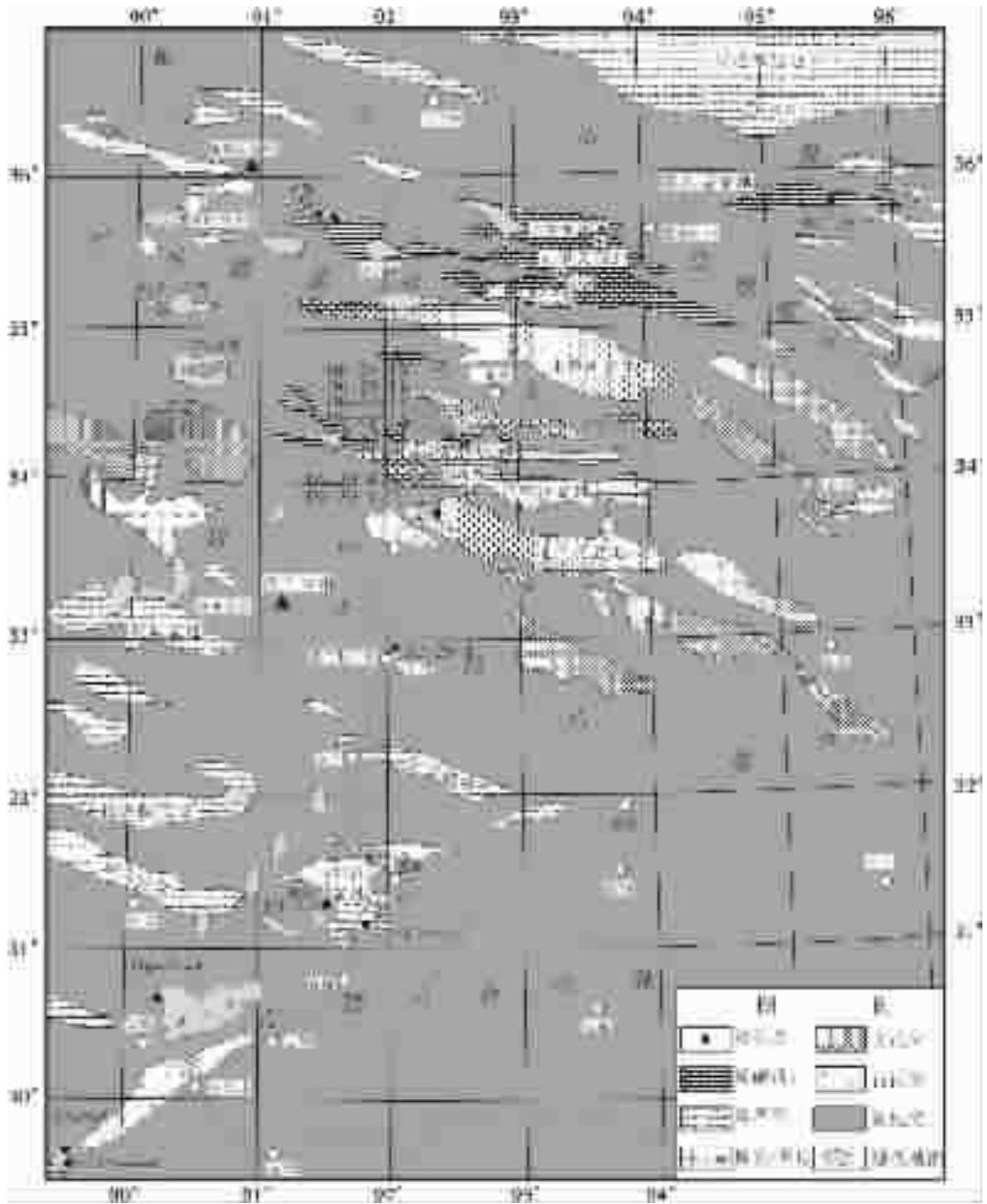
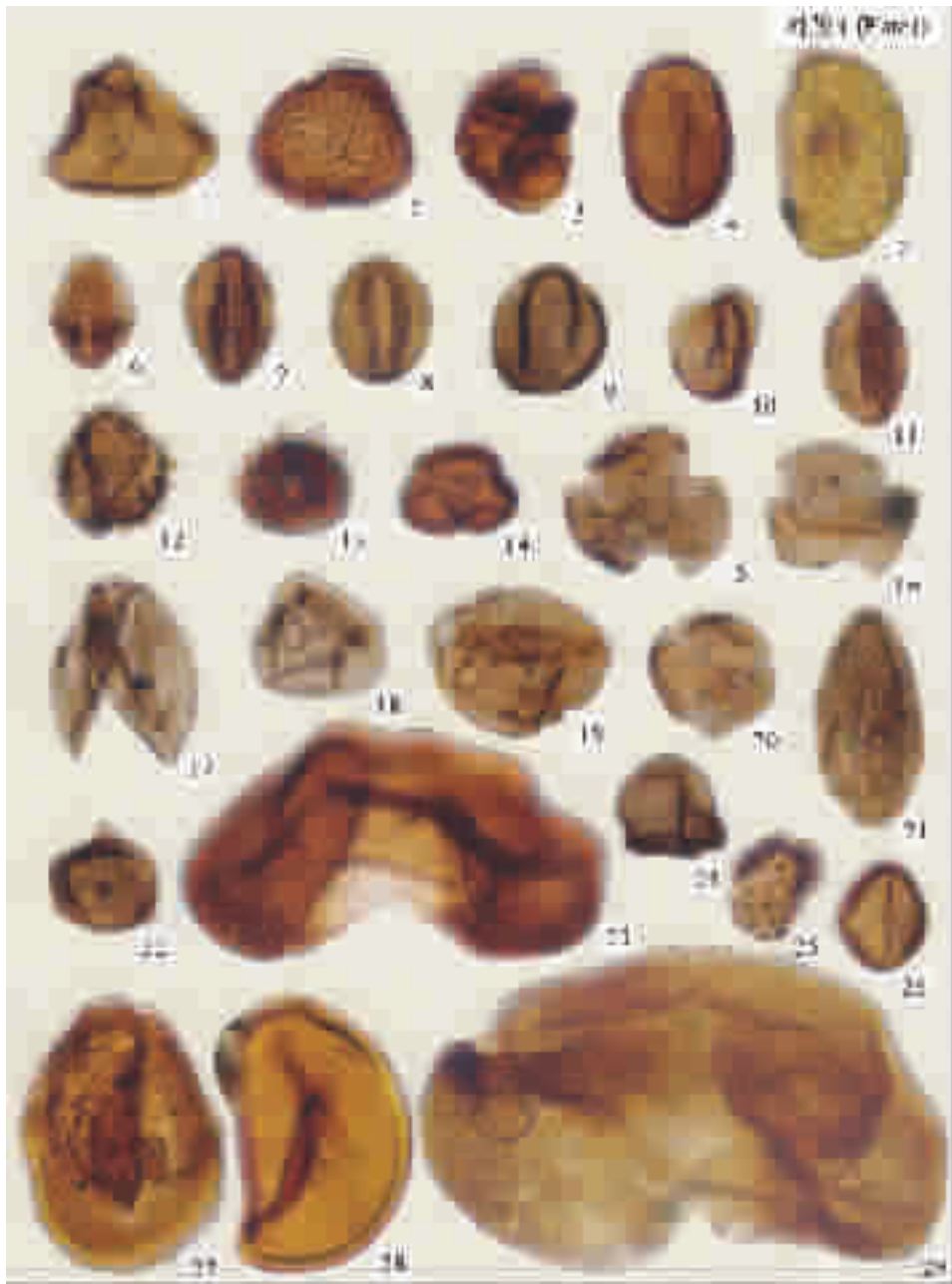


图 2 青藏高原中新世沉积地层与取样点位置分布图
 Fig.2 Miocene sediments of the Qinghai-Tibet Plateau and sampling locations

中新世火山岩年龄为 14~15Ma^[4]。样品含蕨类植物孢子 3.2%，裸子植物花粉 53.5%，被子植物花粉 43.1%。蕨类植物孢子：*Polypodiisporites* (平瘤水龙骨孢) 1.9%，*Leiotriletes* (光面三缝孢) 0.6%，*Deltoidospora* (三角孢) 0.6%。裸子植物花粉：*Piceapollenites* (云杉粉) 15.0%，*Pinuspollenites* (双束松粉) 9.8%，*Podocarpidites* (罗汉松粉) 4.5%，*Cedripites* (雪松粉) 1.9%，*Abiespollenites* (冷杉粉) 9.1%，*Keteleeriaepollenites* (油杉

粉) 5.2%，*Abietinaepollenites* (单束松粉) 3.2%，*Laricoidites* (落叶松粉) 1.3%，*Taxodiaceapollenites* (杉粉) 1.9%，*Pinaceae* (具囊松科花粉) 1.3%。被子植物花粉：*Quercoidites* (栎粉) 15.0%，*Ranunculacidites* (毛茛粉) 5.2%，*Echitricolporites* (刺三孔沟粉) 2.6%，*Graminidites* (禾本粉) 0.6%，*Labitricolpites* (唇形三沟粉) 4.5%，*Euphorbiacites* (大戟粉) 0.6%，*Rhoipites* (漆树粉) 0.6%，*Betulaepollenites* (桦粉) 0.6%，*Ulmipollenites* (苗榆粉) 0.6%，



1—*Deltoidospora irregularis* (Pflug) Song et Tsao (不规则三角孢); 2—*Corrugatisporitis elegans* Song et Zhong (精致栉瘤孢); 3—*Triporopollenites* sp. (三孔粉未定种); 4—*Polypodiaceasporites haardti* (Pot. et Ven.) Potonie (哈氏水龙骨单缝孢); 5—*Polypodiites conicus* Song et Zhong (锥瘤凸瘤水龙骨孢); 6—*Quercoidites microhenrici* (Pot.) Potonie (小亨氏栎粉); 7—*Quercoidites henrici* (Pot.) Pot., Thoms. et Thier. (亨氏栎粉); 8—*Quercoidites asper* (Thoms. et Pfl.) Song et Zheng (粗糙栎粉); 9—*Quercoidites rotundus* (Zakl.) Ke et Shi (圆形栎粉); 10—*Quercoidites* sp. (栎粉未定种); 11—*Euphorbiacites* sp. (大戟粉未定种); 12~13—*Echitricolpites microchinatus* (Trevisan) Zheng (小刺刺三孔沟粉); 14—*Quercoidites* sp. (栎粉未定种); 15~16—*Ranunculacidites vulgaris* Song et G. X. Li (平常毛茛粉); 17—*Taxodiaceapollenites hiatus* (Potonie) Kremp (破隙杉粉); 18—*Graminidites leavigatus* Krutzsch (平滑禾本粉); 19—*Juglanspollenites* sp. (胡桃粉); 20—*Ranunculacidites hailongjingensis* M. R. Sun (海龙井毛茛粉); 21—*Retitricolpites* sp. (栎粉未定种); 22—*Betulaceoipollenites bituitus* (Pot.) Potonie (拟桦粉); 23—*Pinuspollenites labdacus f. maximus* (Pot.) Potonie (大型双束松粉); 24—*Betulaceoipollenites spackmanii* (Trav.) Zhou (斯氏拟桦粉); 25—*Echitricolpites* sp. (刺三孔沟粉未定种); 26—Leguminosae (豆科花粉); 27—*Scabiosapollis distriatus* Song et Zhu (双条萝卜粉); 28—*Polypodiaceasporites crassicoides* (Krutzsch) Li (厚壁水龙骨单缝孢); 29—*Abiespollenites sibiriciformis* (Zakl.) Krytzsch (西伯利亚冷杉粉)



- 1—*Engelhardtoidites punctatus* (Potonie) Potonie (点状拟黄杞粉); 2—*Alnipollenites extraporus* Chen (凸孔桤木粉); 3—*Sparganiaceapollenites sparganioides* (Meryer) Krutzsch (黑三棱粉); 4—*Sparganiaceapollenites neogenicus* Krutzsch (新近纪黑三棱粉); 5—*Polypodiaceasporites haardtii* (Pot. et Venity) Potonie (哈氏水龙骨单缝孢); 6—*polypodiaceasporites* sp. (水龙骨单缝孢未定种); 7—*Cyrtillaceopollenites* sp. (西里拉粉未定种); 8—*Nitrariadites minimus* Zhu et Xi Ping (微小拟白刺粉); 9~11—*Meliaceoidites rhomboiporus* Wang (菱孔棘粉); 12—*Stephanocolpites* sp. (稀沟粉未定种); 13—*Rhoipites Pseudodolium* Song et Zheng (假桶形漆树粉); 14—*Tricolporopollenites* sp. (三孔沟粉未定种); 15—*Meliaceoidites rotundiporus* Ke et Shi (圆孔棘粉); 16—*Salixipollenites* sp. (柳粉未定种); 17—*Betulaceopollenites infraquens* (Stanley) Sun et Tsao (稀少拟桦粉); 18—*Cupuliferoipollenites* sp. (栗粉未定种); 19—*Quercoidites henrici* (Pot.) Pot., Thoms. & Thiergart (亨氏栎粉); 20—*Deltoidospora brevis* (G. X. Li) Li (短缝三角孢); 21—*Quercoidites* sp. (栎粉未定种); 22—*Ephedripites eocenipites* (Wodehouse) Krutzsch (始新麻黄粉); 23—*Ephedripites* (*E.*) *mangnaiensis* Zhu et Wu (芒崖麻黄粉); 24—*Ephedripites* (*E.*) *dafengshanensis* Zhu et Wu (大风山麻黄粉); 25—*Polypodiaceasporites haardtii* (Pot. et Venity) Potonie (哈氏水龙骨单缝孢); 26—*Piceapollenites planoides* (Krutzsch) X.J. Sun et Li (扁平云杉粉); 27—*Pinuspollenites labdacus minor* (Pot.) Potonie (小型双束松粉); 28—*Pinuspollenites taedaiformis* (Zakl.) Ke et Shi (扁体双束松粉); 29—*Cedripites deodariformis* (Zauer) Krutzsch (雪松型雪松粉); 30—*Leiotriletes* sp. (光面三缝孢未定种); 31—*Cedripites* sp. (雪松粉未定种)

Leguminosae (豆科花粉)1.3%,Rosaceae (蔷薇科花粉)0.6%,*Tricolpites* (三沟粉)7.1%,*Retitricolpites* (网面三沟粉)0.6%,*Tricolporopollenites*(三孔沟粉)1.9%。代表性孢粉特征见图版 I。

(10)样品 D7-8-4:样品取自乌郁盆地北部(图 2),岩性为黑色泥炭,夹于缓倾斜的砂岩和砂砾岩之间,不整合在中新世火山岩(14~15 Ma)之上。样品含孢粉 21 粒,包括 *Betulaceoipollenites*(拟桦粉)2 粒,*Alnipollenites*(桤木粉)2 粒,*Quercoidites* (栎粉)1 粒,*Tubulifloridites* (管花菊粉)4 粒,*Cichorieacidites*(拟菊苣粉)2 粒,*Compositae*(菊科花粉)2 粒,*Artemisiaepollenites* (蒿粉)1 粒,*Graminidites* (禾本粉)1 粒,*Cyperaceapollis*(莎草粉)1 粒,*Scabiosapollis*(山萝卜粉)1 粒,*Polypodiaceasporites*(水龙骨单缝孢)1 粒,*Gleicheniidites*(里白孢)2 粒,*Leiotriletes*(光面三缝孢)1 粒。

(11)样品 D2-25-1:取自唐古拉山口北侧巴斯错北岸现代湖岸沉积阶地(图 2),为灰白色粘土质粉砂,松散、未胶结,呈水平产状。样品含乔木植物花粉约 47%,灌木及草本植物花粉约 38%,蕨类植物孢子 12%。乔木植物:*Abies*(冷杉)5%,*Pinus*(松)28%,*Betula*(桦)6%,*Juglans*(胡桃)0.8%,*Tilia*(椴)0.8%,*Leguminosae*(豆科)0.8%,*Cedrus*(雪松)0.8%,*Picea*(云杉)0.8%,*Alnus*(桤木)0.8%,*Cupuliferoi*(栗)0.8%,*Ulmus*(榆)0.8%,*Rosaceae*(蔷薇科)0.8%,*Rhamnaceae*(鼠李科)0.8%。灌木及草本植物:*Artemisia*(蒿)24%~48%,*Ephedra*(麻黄)3%,*Chenopodiaceae*(藜)3%,*Gramineae*(禾本)2%,还出现少量 *Caryophyllaceae*(石竹)、*Compositae*(菊粉)、*Sparganiaceae*(黑三棱)、*Cyperaceae*(莎草)及 *Ericaceae*(杜鹃科)、*Polygonum*(蓼属)等植物花粉。蕨类植物:*Polypodiaceae*(水龙骨)5%,*Polypodium*(平瘤水龙骨)4%,*Pteris*(凤尾蕨)0.8%及 *Lycopodium*(石松属)、*Selaginella*(卷柏属)、*Osmunda*(紫萁属)等孢子。样品还出现少量藻类。

(12)样品 D3-9-6:取自鄂鄂东南岸现代湖岸沉积阶地(图 2),为灰白色粉砂质粘土,松散、未胶结,呈水平产状。样品含乔木植物花粉约 47%,灌木及草本植物花粉约 33%,蕨类植物孢子 20%。乔木植物:*Abies*(冷杉)4%,*Pinus*(松)26%,*Betula*(桦)7%,*Juglans*(胡桃)1.0%,*Tilia*(椴)0.8%,*Leguminosae*(豆科)0.8%,*Alnus*(桤木)1.6%及少量 *Cedrus*(雪松)、*Picea*(云杉)、*Rosaceae*(蔷薇科)、*Rhamnaceae*(鼠李科)、*Cupuliferoi*(栗)、*Ulmus*(榆)。灌木及草本植物:*Artemisia*(蒿)17%~21%,*Ephedra*(麻黄)0.8%,*Chenopodiaceae*(藜)2.4%~5.1%,*Gramineae*(禾本)4%,还出现少量 *Caryophyllaceae*(石竹)、*Compositae*(菊)、*Sparganiaceae*(黑三棱)、*Cyperaceae*(莎草)及 *Ericaceae*(杜鹃科)等植物花粉。蕨类植物:*Polypodiaceae*(水龙骨)5%~10%,*Polypodium*(平瘤水龙骨)8%~10%,*Pteris*(凤尾蕨)0.8%及 *Lycopodium*(石松属)、*Selaginella*(卷柏属)、*Osmunda*(紫萁属)及少量藻类。

(13)样品 D6-24-1:取自纳木错西岸 T1 湖积阶地(图 2),为灰白色砂土,含水草、螺壳和泥炭,湖相沉积高出现今湖面 1.5~8.3 m。样品含乔木植物花粉 46%~78%,灌木及草本

植物花粉 21%~52%,蕨类植物孢子和藻类 3%~7%。乔木植物:*Pinus*(松)39%~52%,*Betula*(桦)3%~18%,*Abies*(冷杉)3%~5%,*Tilia*(椴)0.8%~4.5%及少量 *Alnus*(桤木)、*Picea*(云杉)、*Juglans*(胡桃)。灌木及草本植物:*Artemisia*(蒿)10%~50%,*Ephedra*(麻黄)0.8%,*Compositae*(菊)0.6%~1.7%,*Chenopodiaceae*(藜)0.8%~3.3%,*Gramineae*(禾本)1.3%~5.0%,还出现少量 *Caryophyllaceae*(石竹)、*Sparganiaceae*(黑三棱)、*Cyperaceae*(莎草)及 *Ericaceae*(杜鹃科)等植物。蕨类植物以 *Polypodiaceae*(水龙骨)、*Polypodium*(平瘤水龙骨)、*Pteris*(凤尾蕨)、*Selaginella*(卷柏属)、*Lycopodium*(石松属)为主。

3 沉积时代与古环境演化

3.1 沉积时代

沱沱河盆地五道梁群湖相沉积样品(D6-29-10、D6-29-11、D6-29-12、D6-28-13)大量出现古近纪晚期—新近纪早期的重要分子如拟白刺粉(*Nitrariadites*)、*Trilobapollis*(三瓣粉)、楝粉(*Meliaceoidites*)、具盖粉(*Operculumpollis*)及桦科(*Betulaceae*)、山毛榉科(*Fagaceae*)的某些分子,普遍出现新近纪常见分子如栎粉(*Quercoidites*)、忍冬粉(*Lonicerapollis*)及新近纪早期常见裸子植物如云杉粉(*Piceapollenites*)、双束松粉(*Pinuspollenites*)、罗汉松粉(*Podocarpidites*)、泪杉粉(*Darcrydiumites*)、冷杉粉(*Abiespollenites*)、单束松粉(*Abietinaepollenites*)、油杉粉(*Keteleeriaepollenites*)及具囊松科花粉(*Pinaceae*);比例不同地发育新近纪占优势的菊科花粉如蒿粉(*Artemisiaepollenites*)、唇形三沟粉(*Labitricolpites*)、刺面三孔沟粉(*Echitricolporites*)。鉴于沱沱河盆地五道梁群湖相沉积地层与下伏渐新世雅西错群之间存在平行不整合或微角度不整合关系,根据孢粉组合,综合判断地层形成时代为中新世早中期。

通天河盆地布曲河西岸的湖相沉积样品(D6-30-4、D6-30-6)新近纪草本植物花粉占突出地位,包括藜粉(*Chenopodipollis*)、禾本粉(*Graminidites*)、菊粉(*Compositoipollenites*)。出现较多的拟白刺粉(*Nitrariadites*)、唇形三沟粉(*Labitricolpites*)、青海粉(*Qinghaipollis*)、麻黄粉(*Ephedripites*)、三沟粉(*Tricolpites*)与光面三缝孢(*Leiotriletes*),少量出现双束松粉(*Pinuspollenites*)、蒿粉(*Artemisiaepollenites*)、百合粉(*Liliacidites*)、楝粉(*Meliaceoidites*)、栎粉(*Quercoidites*)、胡桃粉(*Juglanspollenites*)、榆粉(*Ulmipollenites*);含有巨型管花菊粉(*Tubulifloridites grandis* Nagy)、卢沙蓼粉(*Persicarioipollis lusaticus* Krutzsch)、凤尾蕨孢(*Pterisisporites*),巨型管花菊粉和卢沙蓼粉是新近纪中晚期的特征分子,反映地层时代为中新世晚期—上新世。

罗马盆地南部的铁质胶结泥灰岩样品(D7-6-3)被子植物花粉 64.3%,裸子植物花粉 28.6%,蕨类植物孢粉 6.9%;新近纪草本类型占突出位置,如菊粉(*Compositoipollenites*)

1.7%、蒿粉 (*Artemisiaepollenites*)0.8%、藜粉 (*Chenopodioidites*)11.3%、石竹粉 (*Caryophyllidites*)2.6%、伏平粉 (*Fupingpollenites*)0.8%,其中菊粉和石竹粉的主要发展时期为中新世中晚期—上新世,很少发现古近纪代表性花粉。鉴于罗马盆地南部泥灰岩发育于渐新世晚期区域性夷平面和近水平产状的上新世布隆组湖相沉积地层之间,结合孢粉组合,综合判断地层时代为中新世中晚期。

乌郁盆地中部的泥灰岩样品(D7-9-6)大量出现云杉粉 (*Piceapollenites*) (15%)、冷杉粉 (*Abiespollenites*) (9.1%)、双束松粉 (*Pinuspollenites*) (9.8%)、罗汉松粉 (*Podocarpidites*) (4.5%)、油杉粉 (*Keteleeriaepollenites*) (5.2%)及被子植物栎粉 (*Quercoidites*) (15%)。普遍出现草本植物如毛茛粉 (*Ranunculacidites*)5.2%、刺面三孔沟粉 (*Echitricolporites*)5.2%、唇形三沟粉 (*Labitricolpites*)4.5%及禾本粉 (*Graminidites*)0.6%。根据孢粉组合,结合泥灰岩与下伏年龄中新世火山岩(14~15 Ma)的不整合接触关系,推断乌郁盆地中部泥灰岩沉积时代为中新世中晚期。乌郁盆地北部的泥炭层大量出现上新世开始繁盛的植物花粉如菊科的拟菊苣粉 (*Cichorieacidites*)、菅花菊粉 (*Tubulifloridites*)、蒿粉 (*Artemisiaepollenites*)、菊科花粉 (*Compositae*)及草本植物如莎草粉 (*Cyperaceapollis*)、禾本粉 (*Graminidites*)、山萝卜粉 (*Scabiosapollis*),而且含泥炭层的砂岩和砂砾岩呈角度不整合覆盖在中新世火山岩(14~15 Ma)之上,推断乌郁盆地北部泥炭层形成时代为上新世。

巴斯错湖积粘土质粉砂(D2-25-1)与错鄂湖积粉砂(D3-9-6)均取自现代湖岸沉积阶地,呈平行不整合覆盖在晚更新世冰碛之上,上覆全新世砂砾石;蒿 (*Artemisia*)含量高达17%~48%,松科含量(*Pinus*)高达26%~28%,桦 (*Betula*)6%~7%,灌木及草本植物花粉超过33%~38%;形成时代为晚更新世晚期,属间冰期湖相沉积。

取自纳木错西岸T₁湖积阶地的砂土样品D6-24-1的铀系等值线年龄和泥炭夹层的¹⁴C同位素年龄为4~11 ka,属全新世早期湖相沉积,形成时代为MIS1冰后期(扎弄满期)^[13]。

3.2 古环境演化

孢粉组合对古植被和古环境具有良好的指示意义^[13]。对青藏高原中新世—全新世不同时代湖相沉积的孢粉组合进行系统分析,能够较好地揭示青藏高原内部新生代晚期的古环境演变过程。

沱沱河盆地北部五道梁群中上部粉砂质泥岩(D6-29-10)和棕黄色泥灰岩(D6-29-11)的孢粉组合,显示早中新世晚期青藏高原发育落叶阔叶林和针叶林植被景观。落叶阔叶林占较大比例(30%),以栎粉、拟栎粉、鹅耳枥粉为主,也发育少量热带亚热带植物,如大戟粉 (*Euphorbiacites*)、漆树粉 (*Rhoipites*)、枫香粉 (*Liquidambarpollenites*)、西里拉粉 (*Cyrtaceapollenites*)、木兰粉 (*Magnoliapollis*)、楝粉 (*Meliaceoidites*)、山核桃粉 (*Caryapollenites*);针叶林花粉占9%,草本植物花粉占21%,指示温暖气候环境。还发育较多的

水生植物,如 *Sparganiaceapollenites* (黑三棱粉)和 *Potamogetonacidites*(眼子菜粉)等,与中新世早期古湖泊面积大幅增大呈良好对应关系。沱沱河盆地北部五道梁群中下部的灰白色泥灰岩(D6-29-12)与浅黄色粉砂质粘土(D6-28-13),孢粉组合显示针叶林和干旱草原植被,以针叶林为主,显示早中新世早期曾处于温凉气候环境。

那曲盆地南部、罗马南侧的中新世中晚期铁质胶结泥灰岩(D7-6-3)孢粉组合,显示中新世中期青藏高原发育落叶阔叶林(24%)、针叶林(24%)和草本植物(25%)混生的植被景观,热带亚热带植物稀少,濒临消失,草本植物和针叶林含量增高,草本植物以藜粉含量最高(11%);同时出现较多的喜温凉树种,如松粉、朴粉、栎粉等,水生植物孢粉含量降低,指示温凉气候和比较干旱的环境。

中新世晚期—上新世早期,青藏高原气候进一步向干冷方向发展。通天河盆地中新世晚期—上新世早期泥灰岩(D6-30-4)和粉砂岩(D6-30-6)孢粉组合显示,干旱植物分子较多,以藜粉、麻黄粉、拟白刺粉为主,乔木树种减少,显示干旱草原灌丛植被景观。乌郁盆地中部中新世中晚期泥灰岩(D7-9-6)孢粉组合显示针叶林植被景观,针叶林花粉含量达40%,包括云杉15%、松16%、冷杉9%,草本植物含量降低至13%,落叶阔叶林减少到16%,热带亚热带植物基本消失,指示暖温带—温带高寒气候环境。

南木林宗当盆地上新世孢粉组合^[18]显示气候回暖,针叶林植物花粉含量显著增高,达40%,以云杉15%、松16%、冷杉9%为主;落叶阔叶林植物含量略有增加,达23%,以栎粉为主;草本植物含量约13%,指示温带高寒气候环境。乌郁盆地北部上新世黑色泥炭(D7-8-4)孢粉数量稀少,以草本植物花粉为主,显示稀疏草原植被和高寒气候环境。

晚更新世间冰期,青藏高原出现暖湿气候环境,湖泊面积大幅度增加,发育针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物混生的植被景观^[11-12]。取自巴斯错的湖积粘土质粉砂(D2-25-1)与取自错鄂的湖积粉砂(D3-9-6)孢粉组合具有良好的相似性,显示蒿 (*Artemisia*)—松 (*Pinus*)—桦 (*Betula*)为主的森林草原植物景观,针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物混生,水生植物孢子也占较大比重,冷杉 (*Abies*)含量不高(4%~5%),麻黄 (*Ephedra*)和藜 (*Chenopodiaceae*)含量较低,指示晚更新世间冰期的暖湿气候环境,与纳木错湖区晚更新世古环境变化具有良好的可对比性。晚更新世116~12 ka BP,纳木错北岸和西岸发育高出现代湖面68~140 m的高位湖相沉积及高出现代湖面9~48 m的6级湖积阶地(T₂-T₆),其间发育12个孢粉带,各孢粉带都以蒿 (*Artemisia*)—松 (*Pinus*)—桦 (*Betula*)组合为特征,指示间冰期暖湿气候环境;但不同孢粉带蒿 (*Artemisia*)、松 (*Pinus*)、桦 (*Betula*)与针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物的孢粉比例存在变化,湖岸阶地沉积、古植被变化与MIS5~MIS2全球气候波动存在密切关系^[12]。

全新世早期(MIS1冰后期),青藏高原气候温暖湿润,在纳木错等湖区再次出现蒿 (*Artemisia*)—松 (*Pinus*)—桦

(*Betula*)为主而且针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物混生的植被景观,乔木以松和桦为主,草本植物以蒿(*Artemisia*)为主,冷杉(*Abies*)与藜(*Chenopodiaceae*)含量不高(1%~4%),与现今以蒿(*Artemisia*)为主的高寒草原与草甸植被景观存在显著差异。根据西藏东南部植被/气候环境的观测资料^[14],形成类似于纳木错湖区全新世早期植被需要的气候条件为年平均气温5℃,年降雨量500mm;而纳木错湖区和羌塘高原的现今年平均气温为-2~0℃,年平均降雨量为300~400mm^[15]。

4 孢粉组合对青藏高原隆升的指示意义

青藏高原新生代晚期孢粉组合与全球古气候、区域古环境存在密切关系。将青藏高原典型沉积盆地与青藏高原东北部西宁—民和盆地、青藏高原东侧渭河盆地等邻近地区不同时期的孢粉组合结合全球古气候背景进行对比(表1),为分析青藏高原隆升时代提供地质依据。

古植物学资料^[13]和大西洋沉积的氧同位素资料^[16]揭示,新生代早中期(古新世—始新世早期)全球处于炎热气候环境,在中国大陆广泛发育的紫红色河湖相沉积地层,在青藏及邻区形成风火山群红层,夹厚度不等的膏盐层。始新世晚期全球气温开始大幅度下降,至渐新世晚期—中新世早期全球气温略有回升。中新世全球气温虽有波动但总体比较稳定,处于暖湿气候环境,中新世古气温远高于现今气温;如邻海的山东山旺盆地年平均气温达16~17℃,最冷月平均气温达5~7℃,比现今最冷月平均气温高3℃^[17];在远离海岸的东亚内陆地区,中新世气温应该比现今气温高出更多。至中新世晚期全球气温缓慢降低,但古气温仍然远高于现今气温;上新世—早更新世,全球气温快速下降,至中晚更新世在欧亚大陆、北美大陆中高纬度地区形成大面积冰盖(图3),但在间冰期气候快速回暖。

受全球气候环境演化的影响,自渐新世开始,青藏及邻区的落叶阔叶林花粉在总体减少的趋势下也发生较大幅度的准周期性波动(图4),与大西洋沉积氧同位素(图3)呈现出相似的变化规律。但自渐新世晚期—中新世早期开始,青藏地区热带亚热带植物花粉含量却发生与全球气候环境不同步的异常变化,对青藏高原的隆升具有重要的指示意义。

在渐新世全球温暖气候环境,青藏及邻区渐新世早中期形成雅西错群砖红色与灰白色碎屑岩互层,孢粉组合显示暖温带植被景观,热带亚热带植物花粉占有较大比例(10%~18%)(表1),包括大戟粉(*Euphorbiacites*)、漆树粉(*Rhoipites*)、枫香粉(*Liquidambarpollenites*)、西里拉粉(*Cyrrillaceapollenites*)、木兰粉(*Magnoliapollis*)、楝粉(*Meliaceoidites*)、山核桃粉(*Caryapollenites*)、棕榈粉(*Palmaepollenites*)、芸香粉(*Rutaceoipollis*)、桃金娘粉(*Myrtaceidites*)、枫杨粉(*Pterocaryapollenites*)、化香树粉(*Platycaryapollenites*)、冬青粉(*Ilexpollenites*),伴有较大比例的针叶林和落叶阔叶林及一定数量的草本植物,形成以乔木植

物居主导地位的古植被景观。如伦坡拉盆地渐新世晚期热带亚热带植物占15%~18%,针叶林植物(云杉+松+冷杉)占32%,落叶阔叶林植物占19%,灌木及草本植物仅占5%~8%^[18-19];西宁—民和盆地渐新世热带亚热带植物占10%~13%,针叶林植物(云杉)占11%~21%,落叶阔叶林植物占15%~21%,麻黄属草本植物占28%~30%^[20];渭河盆地渐新世中晚期热带亚热带植物约占23%,针叶林植物(松+云杉)占16%,落叶阔叶林植物占14%,灌木及草本植物仅占22%~30%^[21];库车盆地渐新世中晚期热带亚热带植物约占15%,针叶林植物(云杉+松)占24%~34%^[13]。

约自渐新世晚期开始至中新世早期,青藏地区热带亚热带植物大幅度减少,直至中新世中晚期—上新世全部消失(图4);如西宁—民和盆地热带亚热带植物花粉含量在渐新世晚期—中新世早期降至3%~5%,中新世中期降为0.5%,中新世晚期全部消失;青藏高原腹地热带亚热带植物花粉在中新世早期降为7%,中新世中晚期下降为约1%,上新世基本消失;在热带亚热带植物减少的同时,针叶林和落叶阔叶林植物比例显著增加,甚至出现以云杉+冷杉为主、高寒针叶林居主导地位的古植被景观,干旱草本植物占一定比例。而青藏周边地区中新世—上新世热带亚热带植物仍然占较大比例(图4),包括棕榈粉(*Palmaepollenites*)、芸香粉(*Rutaceoipollis*)、桃金娘粉(*Myrtaceidites*)、大戟粉(*Euphorbiacites*)、漆树粉(*Rhoipites*)、枫香粉

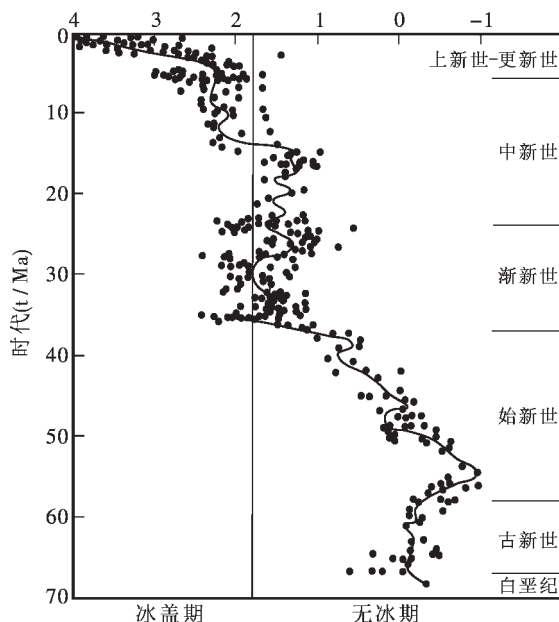


图3 大西洋氧同位素组成演化曲线图

Fig.3 Diagram of the oxygen isotopic composition vs. time of sediments from the Atlantic Ocean (after Schackleton, 1984)

表 1 青藏高原及邻区新生代晚期孢粉组合对比

Table 1 Comparison of Late Cenozoic sporopollen assemblages among the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions

地质时代 沉积盆地	热带亚热带植物 孢粉含量	乔木植物 孢粉含量	针叶林植被孢粉及 主导植物	落叶阔叶林孢粉及 主导植物	灌木与草本 植物孢粉总 含量	干旱草本植物孢粉 含量及主导植物
渐新世晚期 (伦坡拉盆地)	15%~18%	66%~69%	32%(云杉 15%~ 20%+松+冷杉 3%~5%)	19% (栎)	5%~8%	3%~5% (藜科+麻黄属)
渐新世中晚期 (库车盆地)	15%		云杉 10%~12% +松 14%~22%			13% (藜科)
渐新世中晚期 (渭河盆地)	23%	~47%	16% (松+云杉 4%)	14% (栎)	22%~30%	13%~23% (麻黄属+藜科)
中新世 (渭河盆地高陵群)	10%~12%	~36%	8%(云杉 4%+松 3%)	20% (栎)	33%	15% (藜科+麻黄属)
上新世 (渭河盆地永乐店群)	15% (对比: 北京 15%, 天津 9%)	36%	松 3%~5%+云杉 5%~7%	20% (栎)	60%	藜科 24%+麻黄属 30%
渐新世早中期 (西宁—民和盆地)	10%~13.3%	马哈拉沟组	云杉 11%~21%	15%~21% (朴+栎粉)		藜科 1%+麻黄属 28%~30%
晚渐新世—早中新世 (西宁—民和盆地)	3%~5.3%	谢家组	云杉 21%~24%	17%~20% (朴+栎粉)	39%	藜科 5%~7%+麻黄 属 5%~7%
中新世中期 (西宁—民和盆地)	0.5%	车头沟组	云杉 13%~44%	15% (朴+栎粉)		藜科 16%+麻黄属 3.5%
中新世晚期 (西宁—民和盆地)	—	咸水河组	云杉 1%+松 3%	30% (榆+栎+桦)		藜科 56%+麻黄属 1%
中新世早期 (沱沱河盆地 D6-29-10)	7.2%	46.7%	9.2%(松 6.3%+云杉 1.2%+冷杉 0.6%)	30.3% (栎+桦)	20.8%	12.4%(藜+麻黄+拟 白刺粉)
中新世中期 (那曲盆地 D7-6-3)	0.8%	49.1%	24.2% (松 21.6% + 云杉 2.6%)	24.1% (栎+朴粉)	25%	11.3% (藜科)
中新世晚期 (乌郁盆地 D7-9-6)	1.2%	~62.0%	40.1%(云杉 15%+松 16%+冷杉 9.1%)	16.2% (栎)	12.9%	? (藜粉+麻黄粉+拟 白刺粉)
上新世 (南木林宗当盆地)	—	~63%	40% (云杉 23%+松)	23% (栎)	10%~20%	2%~5% (藜科+麻黄属)
晚更新世 (巴斯错盆地)	—	~47%	33% (松 28%+冷杉 5%)	14% (桦)	~38%	6% (藜科+麻黄属)
晚更新世 (错鄂盆地)	—	~47%	30% (松 26%+冷杉 4%)	17% (桦)	~33%	3%~5% (藜科+麻黄属)
晚更新世 (纳木错盆地)	—	~50%	30% (松)	20% (桦)	~50%	10% (藜科)
全新世早期 (纳木错)	—	46%~78%	39%~52% (松 45%+ 冷杉+云杉 3%~5%)	7%~26% (桦)	21%~52%	2%~3% (藜科)

(Liquidambarpollenites)、木兰粉 (Magnoliipollis)、椴粉 (Meliaceoidites) 和昆兰树科等;如青藏北侧库车盆地,中新世热带亚热带植物花粉占有相当比例^[13];青藏东侧现今纬度与沱沱河相当的渭河盆地,热带亚热带植物孢粉在中新世高陵群占 10%~12%,在上新世永乐店群占 15%,甚至在第四纪间冰期仍然占有一定比例^[21];上新世热带亚热带植物孢粉在纬度更高的北京地区占 15%、天津占 9%^[22]。新生代晚期热带亚热带植物花粉含量变化显示,自渐新世晚期—中新世早期开始,青藏地区与周边邻区之间发生了显著的环境分异;青藏地区中新世中晚期热带亚热带植物消亡与全球温暖气候环境不符,与青藏高原隆升存在成因联系(图 4)。

如果考虑古纬度变化,那么孢粉组合对青藏高原隆升的指示意义应该更加显著。根据古地磁和 GPS 测量资料,新生

代中晚期拉萨地块和羌塘地块近南北—北东向运动速度大于 2~3 cm/a^[23],估算中新世早期约 20 Ma 以来各地块的北向运动距离大于 300~600 km,对应的古纬度变化大于 3~6°C (图 5)。中新世早期约 20 Ma,昆仑山口的古纬度与唐古拉山口、四川广元与河南南阳的现今纬度相近,五道梁和北麓河的古纬度低于安多的现今纬度(图 5),与江苏南京的现今纬度相近;沱沱河与通天河的古纬度低于那曲的现今纬度(图 5),与纳木错北岸、念青唐古拉山北麓及四川成都、湖北武汉的现今纬度相近。安多和那曲的古纬度与喜马拉雅山南坡(图 5)、湖南长沙的现今纬度相近。古纬度显示,渐新世晚期—中新世早期青藏主体的古纬度低于秦岭现今纬度,应该处于热带亚热带气候环境。但在当时全球所处的温暖气候环境,在古纬度低于秦岭山脉的青藏地区,热带亚热带植物自

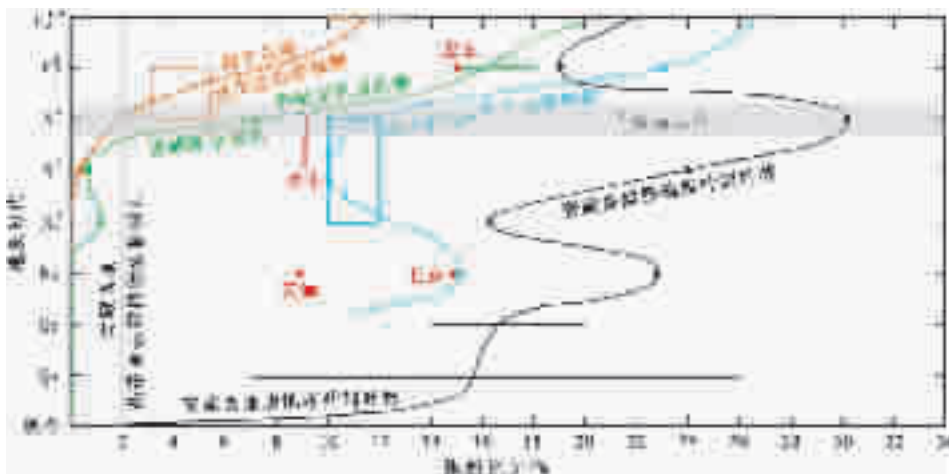


图 4 青藏高原及邻区晚新生代孢粉组合演化曲线图

Fig.4 Evolutionary curve of Late Cenozoic sporopollen assemblage of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent regions

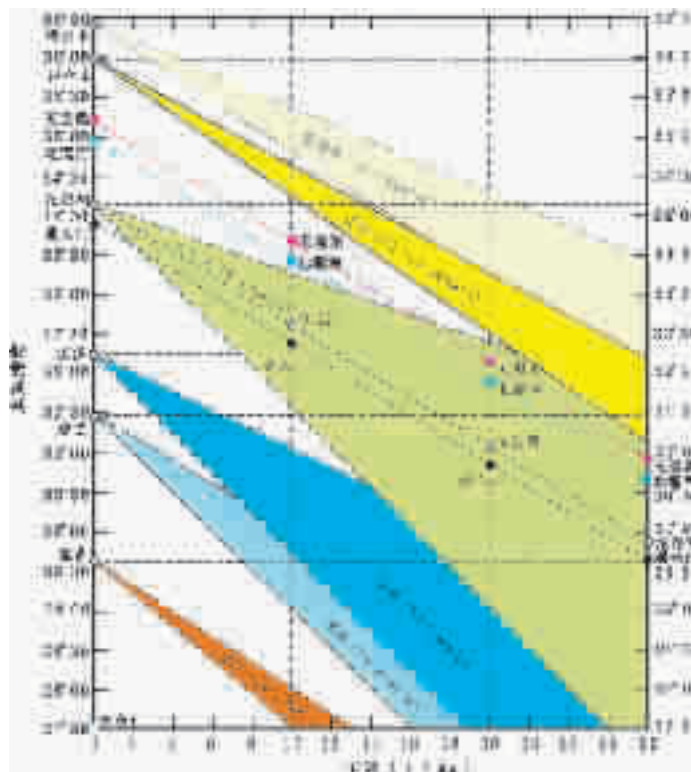


图 5 青藏高原新生代晚期纬度变化图

(最小运动速度为根据现今 GPS 观测资料换算的北向速度分量;最大运动速度为 GPS 测量得出相对于欧亚大陆参考系的现今北东向绝对运动速度,在青藏高原地壳自挤压缩短向伸展走滑转换以前可能代表近南北向运动速度;点虚线为昆仑山口、沱沱河、通天河各点介于最大和最小速度之间的平均运动速度)

Fig.5 Changes in latitude of the Qinghai-Tibet Plateau in the Late Cenozoic

(the minimum movement velocity is the north-directed component obtained by conversion of the present GPS observation data; the maximum movement velocity is the present NE-directed absolute movement velocity relative to the Eurasian Terrestrial Reference System obtained by GPS measurements, which may probably represent the nearly N-S-directed movement velocity prior to the transition from compressional shortening to extensional strike slip of the crust below the Qinghai-Tibet Plateau. The dotted and dashed lines denote the mean movement velocities between the maximum and minimum velocities at the points Kunlun Pass, Tuotuo River and Tongtian River)

渐新世晚期—中新世早期开始大幅度减少,至中新世中期濒临消亡;说明青藏高原最晚在中新世早期已经发生整体隆升,导致青藏高原古气候环境突变和热带亚热带植物濒临灭绝。孢粉资料还显示,在海拔超过5 000 m的唐古拉山(巴斯错)和海拔超过4 700 m的纳木错,晚更新世间冰期和早全新世冰后期仍然生长着针叶林和阔叶林植被,与中新世中晚期的通天河盆地与那曲盆地的植被景观十分相似,仅乔木和草本植物的比例因受全球气候变化的影响而发生波动,草本植物随全球气候变冷而逐步增加;这从另外一个侧面旁证,青藏高原的海拔高度自中新世中晚期以来没有发生显著变化,即青藏高原在中新世早期已经隆升到现今海拔高度。

5 结论和讨论

通过孢粉分析,发现青藏及邻区渐新世晚期—中新世早期的古环境发生了显著分异,导致青藏地区热带亚热带植物大幅度减少,至中新世中期濒临消亡;而青藏周边地区如渭河盆地、库车盆地、北京、天津中新世—上新世仍然发育较多(9%~15%)的热带亚热带植物。中新世早中期青藏地区热带亚热带植物消亡与全球温暖气候条件和较低古纬度环境不符,是青藏高原隆升的重要标志。新生代晚期,青藏高原乔木植物(落叶阔叶林和针叶林)呈现总体减少趋势和准周期性波动,与全球气候变化呈良好对应关系;青藏高原乔木植物花粉含量中新世为47%~63%,晚更新世间冰期为47%~50%。第四纪晚期草本植物含量逐步增高,出现蒿—松—桦为主,针叶林、落叶阔叶林、灌木、草本植物混生的植被景观。青藏高原新生代晚期在乔木植物比较繁盛的气候温暖期,水生植物孢粉含量增高,湖泊面积大幅度增加,在中新世早中期和晚更新世形成巨型古大湖。

虽然新生代晚期湖相沉积的孢粉组合为青藏高原隆升和古环境演化提供了重要的地质依据,但中新世早期青藏高原隆升到多大高度却仍然难以精确估算。冷杉和云杉在天山和台湾现今主要分布于海拔2 500 m以上高山地区,对估算海拔高度具有一定参考意义;但全球气候环境与纬度对冷杉和云杉的生长高度存在显著影响,因此用冷杉和云杉的现今生存高度估算古海拔高度存在很大的不确定性。根据青藏高原南部现今植被及气候条件,结合古纬度与古气候环境,可以对青藏高原新生代晚期的古海拔高度进行对比分析;但由于影响因素很多,因此难以评估古海拔高度的估算精度。对古植被与古气温、古降水量的关系,目前也缺乏可靠的统计分析资料,有待于今后更多的探索和研究工作。

致谢: 新近纪孢粉的分选与鉴定由王大宁研究员协助完成,第四纪孢粉资料由赵希涛研究员提供,在此一并表示感谢。

参考文献 (References):

[1] Harrison T M, Copeland P, Kidd W S F, et al. Activation of the

Nyainqentanghla shear zone: implications for uplift of the southern Tibetan Plateau [J]. *Tectonics*, 1995, 14(3): 658~676.

[2] Blisniuk M P, Hacker R B, Glodny J, et al. Normal faulting in central Tibet since at least 13.5Ma ago [J]. *Nature*, 2001, 412: 628~632.

[3] Spicer R A, Harris, N B W, Widdowson M, et al. Constant elevation of southern Tibet over the past 15 million [J]. *Nature*, 2003, 421: 622~624.

[4] Turner S, Arnaud N, Liu L, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts [J]. *Journal of Petrology*, 1996, 37: 45~71.

[5] 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆升的时代、幅度和形式探讨 [J]. *中国科学(B辑)*, 1979, 9(6): 608~616.

Li Jijun, Wen Shixuan, Zhang Qingsong, et al. A discussion on time, amplitude and type of uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Science in China (ser.B)*, 1979, 9(6): 608~616 (in Chinese).

[6] 张青松, 李炳元, 景可, 等. 青藏地区上新世古地理和高原隆起 [A]. 见: 中国科学院青藏高原综合科学考察队编. 青藏高原隆升的时代、幅度和形式问题 [C]. 北京: 科学出版社, 1981. 26~29.

Zhang Qingsong, Li Bingyuan, Jing Ke, et al. Pliocene palaeogeography and uplift of the Qinghai-Tibet region [A]. In: Research Group of Science Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau (ed.). On time, amplitude and type of the Qinghai-Tibet Plateau [C]. Beijing: Science Press, 1981. 26~29 (in Chinese).

[7] 钟大赉, 丁林. 青藏高原的隆起过程及其机制探讨 [J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26(4): 289~295.

Zhong Dalai, Ding Lin. Inquire into the uplift process and its mechanism of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 289~295 (in Chinese).

[8] England P C, Houseman G. A. The mechanics of the Tibetan Plateau [J]. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 1998, Serial A, 326: 301~391.

[9] Wang Chengshan, Liu Zifei, Yi Haisheng, et al. Tertiary crustal shortening and Panplanation in Hoh Xil region: implications for tectonic history of the northern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20: 211~223.

[10] 吴珍汉, 叶培盛, 胡道功, 等. 青藏高原腹地的地壳变形与构造地貌形成演化过程 [M]. 北京: 地质出版社, 2003. 22~24.

Wu Zhenhan, Ye Peisheng, Hu Daogong, et al. Crust Deformation and Tectonic-Geomorphic Evolution of the Central Tibetan Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 22~24 (in Chinese with English abstract).

[11] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次冰期以来的气候变迁和湖面变化 [J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 41~52.

Zhao Xitao, Zhu Dagang, Yan Fuhua, et al. Climatic change and lake-level variation of Namco, Xizang since the last interglacial stage [J]. *Quaternary Research*, 2003, 23(1): 41~52 (in Chinese with English abstract).

[12] 吴中海, 赵希涛, 吴珍汉, 等. 西藏纳木错地区约120 ka B. P. 以来的古植被、古气候和湖面变化 [J]. *地质学报*, 2004, 78(2): 242~252.

- Wu Zhonghai, Zhao Xitao, Wu Zhenhan, et al. Palaeovegetation, palaeoclimate and lake-level change since 120ka B P in Namco, central Xizang [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(2): 242~252(in Chinese with English abstract).
- [13] 宋之琛, 郑亚惠, 李曼英, 等. 中国孢粉化石(第一卷):晚白垩纪和第三纪孢粉 [M]. 北京:科学出版社,1999. 741~773.
- Song Zhichen, Zheng Yahui, Li Manying, et al. Fossil Spores and Pollen of China (vol.1): the Late Cretaceous and Tertiary Spores and Pollen [M]. Beijing: Science Press, 1999. 741~773(in Chinese).
- [14] 黄赐璇, 王燕如, 梁玉莲. 试从孢粉分析论西藏中南部全新世自然环境的演变 [A]. 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 [C]. 北京:科学出版社,1983. 179~192.
- Huang Xixuan, Wang Yanru, Liang Yulian. Analyzing Holocene environment changes of middle south Tibet according to sporopollen assemblages [A]. In: Research Group of Science Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau (ed.). *Quaternary Geology of the Qinghai-Tibet Plateau* [C]. Beijing: Science Press, 1983. 179~192(in Chinese).
- [15] 汤懋苍, 程国栋, 林振耀. 青藏高原近代气候变化及对环境的影响 [M]. 广州:广东科学技术出版社,1998. 121~144.
- Tang Maocang, Cheng Guodong, Lin Zhenyao. Contemporary Climatic Variations over Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and Their Influences on Environments [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998. 121~144(in Chinese).
- [16] Shackleton N J. Oxygen isotope calibration of the onset of ice-rafting and history of glaciation in the North Atlantic region [J]. *Nature*, 1984, 307: 620~623.
- [17] 梁明媚. 应用共存因子分析法定量分析山旺中新世古气候的进展[J]. *植物学通报*, 2000, 17: 259~260(in Chinese with English abstract).
- Liang Mingmei. Application of coexistence approach to quantitative reconstruction of palaeoclimate from Miocene Shanwang palynoflora, China [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17: 259~260(in Chinese with English abstract).
- [18] 宋之琛, 刘金陵. 西藏南木林第三纪孢粉组合 [A]. 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 [C]. 北京:科学出版社,1982. 153~164.
- Song Zhichen, Liu Linling. Tertiary sporopollen assemblages in Namulin area of Tibet [A]. In: Research Group of Science Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau (ed.). *Palaeontology of Tibet, part 5* [C]. Beijing: Science Press, 1982. 153~164(in Chinese).
- [19] 宋之琛, 刘耕武. 西藏东北部早第三纪孢粉组合 [A]. 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 [C]. 北京:科学出版社,1982. 165~190.
- Song Zhichen, Liu Gengwu. Early Tertiary sporopollen assemblages in northeast Tibet [A]. In: Research Group of Science Expedition to the Qinghai-Tibet Plateau (ed.). *Palaeontology of Tibet, part 5* [C]. Beijing: Science Press, 1982. 165~190(in Chinese).
- [20] 孙秀玉, 赵英娘, 何卓生. 青海西宁—民和盆地渐新世至中新世孢粉组合 [J]. *地质论评*, 1984, 30(3): 207~215.
- Sun Xiuyu, Zhao Yingniang, He Zhuosheng. Oligocene-Miocene sporopollen assemblages in Xining-Minhe basins of Qinghai Province [J]. *Geological Review*, 1984, 30(3): 207~215(in Chinese with English abstract).
- [21] 孙秀玉, 范永琇, 邓茨兰, 等. 渭河盆地新生代孢粉组合 [J]. *中国地质科学院地质研究所所刊*, 1980, 1(1): 82~109.
- Sun Xiuyu, Fang Yongxiu, Deng Cilan, et al. Cenozoic sporopollen assemblages in Weihe basin [J]. *Bulletin of Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences*, 1980, 1(1): 82~109.
- [22] Zhang Peizhen, Shen Zhengkang, Wang Min, et al. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data [J]. *Geology*, 2004, 32(9): 809~812.

Late Cenozoic environmental evolution of the Qinghai–Tibet Plateau as indicated by the evolution of sporopollen assemblages

WU Zhen–han, WU Zhong–hai, YE Pei–sheng, HU Dao–gong, PENG Hua

(*Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Sporopollen was analyzed for samples from Neogene lacustrine sediments of the Tuotuohe, Tongtianhe, Nagqu, East Wenquan and Oiyug basins and Late Quaternary lacustrine sediments of Bas Co, Co Ngoin and Nam Co on the Tibetan Plateau. According to these data together with the sporopollen assemblage data from the Xining–Minhe basin, Lunpola basin, Namlin basin and Weihe basin, the authors analyzed the evolution of the Late Cenozoic paleovegetations and paleoenvironment on the Qinghai–Tibet Plateau and in its adjacent regions and found that vegetation and environment differentiation occurred in the Late Oligocene–Early Miocene in the Qinghai–Tibet region and its surrounding regions, resulting in rapid decrease and gradual disappearance of tropical–subtropical plants in the Qinghai–Tibet region. Such a change of vegetation did not coincide with the global warm climate and lower paleolatitudes of the Qinghai–Tibet region in the Late Oligocene–Early Miocene, and the extinction of tropical–subtropical plants indicates that the Qinghai–Tibet Plateau was uplifted in the Early Miocene. The broad–leaf and needle–leaf plants on the plateau showed a trend of general decrease and quasi–periodical fluctuations from the Early Miocene to Late Quaternary, which corresponded well with the global climate changes. In the Late Quaternary herbaceous plants increased gradually, leading to the appearance of the vegetation landscape of mixed needle–leaf plants, broad–leaf plants, shrubs and herbaceous plants dominated by *Artemisia*, *Pinus* and *Betula* on the Tibetan Plateau in the Late Pleistocene and Early Holocene.

Key words: sporopollen assemblage; paleovegetation; paleoenvironment; Late Cenozoic, uplift of the Qinghai–Tibet Plateau

About the first author: WU Zhen–han, born in 1965, doctor and senior researcher, has long engaged in regional geological survey of the Qinghai–Tibet Plateau and continental dynamic study; E–mail: wuzhenhan@yahoo.com.cn.