

# 青藏高原腹地温泉地区新生代生态环境演化 与高原表面隆升过程分析

段志明<sup>1</sup> 李 勇<sup>2</sup> 沈战武<sup>1</sup> 祝向平<sup>1</sup> 钟成全<sup>3</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059;  
3. 四川蜀西地质工程勘测院, 四川 成都 611730)

**摘要:**采自青藏高原腹地温泉地区新生代地层中的孢粉组合资料表明:从古新世到早中新世,古植被由早期的针阔叶混交林—森林草原植被向晚期的疏林草原植被演化,古气候也由亚热带暖湿气候向温凉气候演化;从上新世到早更新世,阔叶树种明显减少,而草本植物显著增多,反映气候开始向干冷方向演化;而中更新世晚期以来,出现稀疏草原植被向荒漠草原植被的演化,最终塑造了现代以藜、蒿为主的荒漠草原植被环境。高原腹地生态环境变化揭示了青藏高原自古新世以来至少经历了 3 次具有生态环境意义的表面隆升事件:古新世—早渐新世沱沱河组冲积扇砾岩沉积以及孢粉组合分析表明,青藏高原在白垩纪末—古新世初已隆升至 1000~1500 m,高原地形可能是高原(高山)与盆地相间的地貌格局;早中新世五道梁组植被中亚热带成分的显著增高,可能与高原表面隆升诱发高原季风而导致气候湿润有关,推测高原已隆升至 2000~2500 m;而中更新世晚期以草本植物为主,反映高原植被已经发生了转型,高原已隆升至 3000 m 以上。

**关键词:**孢粉组合;生态环境;表面隆升;新生代;温泉地区

**中图分类号:**X141 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)04-0688-09

青藏高原白垩纪末以来的隆起是地球历史上最重大的地质事件之一<sup>[1-3]</sup>,它不仅改变了全球大气环流的格局,而且对全球气候及环境产生了极其深远的影响<sup>[6-9]</sup>。高原的阶段性隆升,不仅塑造了现今的高原地貌形态,而且改造和作用于高原本身及其周缘地区,并在不同时期的沉积物中,清晰地记录了与不同隆升阶段相适应生态环境效应。通过高山地区一些具有指示性的孢粉种属来恢复古植被特征仍是一种行之有效的办法<sup>[10-13]</sup>。

笔者通过对沱沱河盆地古新世—渐新世沱沱河组、渐新世—中新世雅西措组、中新世五道梁组典型层位的孢粉分析、温泉盆地钻孔倒数第二次冰期冰碛物孢粉分析、以及研究区中部刻莫风成砂土剖面孢粉分析,并结合邻区的前人研究成果<sup>[14-17]</sup>,以孢粉学研究为基础,从古生态学、古环境学的角度,探讨高原腹地新生代以来的生态环境变迁、以及高原内部的表面隆升过程,进而为研究青藏高原形成演化的动力学过程提供了新的制约条件。

## 1 地质概况

温泉地区位于青藏高原腹地,地理坐标为北纬:33°00'~34°15',东经 91°30'~93°00',大地构造地处拉竹龙—金沙江缝合带和班公错—怒江缝合带之间的羌塘地体东缘<sup>[18]</sup>。

研究区新生代地层分布广泛,按其时代可进一步划分为古新世—早渐新世沱沱河组、渐新世雅西措组,早中新世五道梁组,上新世—早更新世曲果组,中—上更新世冰碛、湖积和全新世冲洪积、风成砂土等(表 1)。其中古新世—早中新世沱沱河盆地以陆源碎屑为主,沉积物总厚达 3192 m,包括了陆相红层砂砾岩的沱沱河组,古地磁定年为 56.0~31.3 Ma<sup>[19-21]</sup>;陆相红层砂岩夹石膏的雅西措组,古地磁定年为 31.3~23.8 Ma<sup>[19-21]</sup>;以及以湖相灰岩为主的五道梁组,古地磁定年为 23.8~21.8 Ma<sup>[21]</sup>。上新世—早更新世瓦里百里塘断陷盆地曲果组湖相粘土,古地磁年龄为 4.32~2.20 Ma<sup>[15]</sup>。中更新世冰碛 TL 年龄为 246.36~150.21 ka B. P.<sup>[22]</sup>,<sup>10</sup>B-<sup>26</sup>Al-<sup>21</sup>Ne 核素暴露年龄为

收稿日期:2006-11-12;改回日期:2006-12-25

基金项目:中国地质调查局 1:25 万温泉兵站幅(146C003002)区域地质调查项目成果。

作者简介:段志明,男,1963 年生,博士,高级工程师,从事第四纪地质研究;E-mail:duanzm2003@163.com。

表 1 温泉地区新生代地层划分

Table 1 Summary of the Cenozoic biostratigraphic division in the Wenquan area

界	年代地层			沉积相及成因类型	代号	厚度(m)
	系	统	组			
新生代	第四系	全新统		风成砂土	$Q_4^{eol}$	0.1~2.2
				冲洪积	$Qh^{apl}$	8.5~344.7
		中—上更新统		湖相沉积	$Qp^{2-3l}$	15~161
				冰碛	$Qp^{2-3gl+slf}$	100~1000
	新近系	下更新统	曲果组	湖相沉积	NQ <sub>q</sub>	330.5
		上新统				
		中新统	五道梁组	湖相沉积	N <sub>1w</sub>	200
	古近系	渐新统	雅西错组	湖泊相沉积 扇三角洲相沉积	E <sub>3y</sub>	2192
				冲积扇相沉积	E <sub>1-3t</sub>	≥800 (未见底)
		始新统	沱沱河组			
古新统						

表 2 刻莫风成砂土剖面 <sup>14</sup>C 测年结果Table 2 <sup>14</sup>C dating of the Kemo eolian sand section

样品编号	采样深度/cm	样品物质	年代/a	校正年代/a
S5138— <sup>14</sup> C <sub>1</sub>	40	风成砂土	910±60	-
S5139— <sup>14</sup> C <sub>1</sub>	195	风成砂土	5590±75	6380±70

注: 由中国地震局地质所同位素年代研究室测试; <sup>14</sup>C<sub>1</sub> 的半衰期采用 5568 年, 起始计年为 1950A. D., 液闪仪器型号 Quantulus1220 (LKB)。

200.1~186.9 ka<sup>[23-24]</sup>。上更新世湖积, U 系同位素年龄 88.9~56.2 ka<sup>[17]</sup>。全新世刻莫风成砂土, <sup>14</sup>C 同位素年龄 6380~910 a (表 2)。

## 2 新生代孢粉组合特征与生态环境演化

在温泉地区新生代不同层位所采孢粉样品的分析与鉴定, 均由华北油田孢粉研究室张金元老师完成。

### 2.1 古新世—早渐新世孢粉组合与生态环境演化分析

古新世—早渐新世沱沱河组在沱沱河盆地样品中的孢粉化石较少, 但在 1:25 万直根尕卡幅的马日曲产较为丰富的孢粉化石<sup>①</sup>, 其中孢粉组合以裸子植物花粉为主 (含量达 60% 以上), 被子植物花粉次之, 蕨类孢子含量极少。可建立 1 个孢粉化石组合带 (A. Z.) (表 3)。

*Quercoidites-Pinuspollenites* A. Z. 孢粉组合带产于沱沱河组中上部, 除代表种外, 还有裸子植物花粉: *Taxodiaceapollenites*, *Inaperturopollenites*, *Abiespollenites*, *Laricoidites*, *Ephedripites*, *Seguoiapollenites*, *Piceapollis*, *Cedripites*; 被子植物花

粉: *Artemisiaepollenites*, *Chenopodipollis*, *Graminidites*, *Fraxinoipollenites*, *Ranunculacidites*, *Salixipollenites*, *Liquidamberpollenites*, *Euphorbiacites*, *Tubulifloridites*, *Juglanspollenites*, *Betulaceoipollenites*, *Carpinipites*, *Cupuliferoipollenites*, *Rutaceoipollis*, *Meliaceoidites*, *Echitricolporites*, *Ericipites*, *Liliacidites*, *Caryophyllidites*, *Lonicerapollis*, *Nitrariadites*; 蕨类孢子: *Lycopodiumsporites*, *Polypodiisporites*, *Polypodiaceasporites*, *Granulatisporites* 等。此外还含有介形虫: *Cypris decargi*, *Gautheir*, *Candoniella albicans* (Brady), *Danvinula* sp.; 轮藻: *Peckichara serialis* Z. Wang 等。该组合带大致与西宁民和盆地的祁家川组孢粉化石组合: ① *Ephedripites-Proteacidites-Normapollis*; ② *Ephedripites-Parcisporites-Echitriporite*; ③ *Polypodiaceosporites-Ephedripites-Myrtaceoidites* 大致相当<sup>[25]</sup>, 地质时代为古新世—早渐新世。反映当时山地是以乔木为主的针阔叶混交林—森林草原植被, 具热带—亚热带、暖湿—半干旱的气候特征。

### 2.2 渐新世孢粉组合与生态环境演化分析

渐新世雅西错组产较为丰富的孢粉化石。本组孢粉组合以被子植物、裸子植物为主 (图 1), 其中被子植物孢粉含量 43.5%~67.1%, 裸子植物孢粉含量 27.6%~50.0%, 蕨类孢子含量 5.3%~6.5%。自下而上可建立 2 个孢粉化石组合带 (A. Z.) (表 3)。

*Echitricolporites-Ephedripites-Polypodiaceasporites* A. Z. 孢粉组合产于雅西错组下部, 除代表种外, 还有被子植物花粉: *Quercoidites*, *Artemisiaepollenites*, *Chenopodipollis*, *Graminidites*, *Juglanspollenites*, *Caryophyllidites*, *Salixipollenites*, *Betulaceoipollenites*, *Euphorbiacites*, *Tubulifloridites*, *Tricolporopollenites*, *Liquidamberpollenites*, *Ranunculacidites*, *Retitricolpites*; 裸子植物花粉: *Taxodiaceapollenites*,

① 宜昌地质矿产研究所. 1:25 万直根尕卡幅区域地质调查报告, 2004.

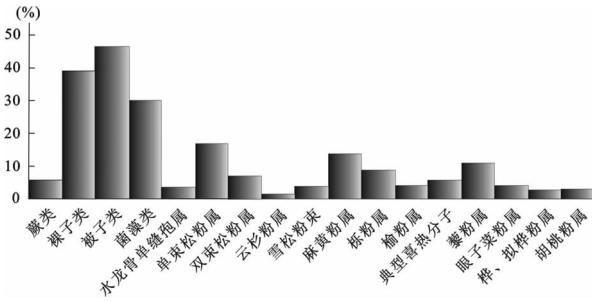


图 1 雅西措组植物孢粉谱图

Fig.1 Plant sporopollen spectrum of the Yaxicuo Formation

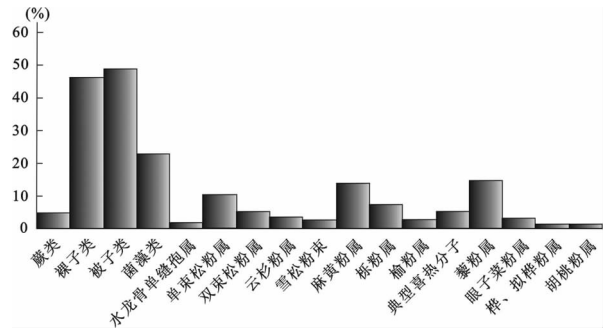


图 2 五道梁组植物孢粉谱图

Fig.2 Plant sporopollen spectrum of the Wudaoliang Formations

表 3 沱沱河盆地沱沱河组—五道梁组生物地层划分

Table 3 Biostratigraphic division of the Tuotuo River–Wudaoliang formation in the Tuotuo River basin

系	统	组	生物地层
新近系	中新统	五道梁组	4 <i>Pinuspollenites-Quercoidites-Chenopodipollis-Granodiscus</i> A. Z.
古近系	渐新统	雅西错组	3 <i>Ephedripites-Faguspollenites-Inapertisporites-Osmundacidites</i> A.Z. 2 <i>Echitricoporites-Ephedripites-Polypodiaceasporites</i> A. Z.
		沱沱河组	1 <i>Quercoidites-Pinuspollenites</i> A. Z.
	始新世		
	古新统		

*Inaperturopollenites*, *Pinuspollenites*, *Abiespollenites*, *Laricoidites*, *Seguoiapollenites*, *Piceapollis*, *Cedripites*; 蕨类孢子: *Lycopodiumsporites*, *Granulatisporites*, *Polypodiisporites*, *Lygodiumsporites*, *Osmundacidites* 等,地质时代为始新世—渐新世。

*Ephedripites-Faguspollenites-Inapertisporites-Osmundacidites* A. Z.孢粉组合产于雅西错组上部,除代表种外,还有被子植物花粉:*Quercoidites*,*Rhoipites*,*Graminidites*,*Labitricolpites*,*Ranunculacidites*,*Scabiosapollis*,*Liquidambarpollenites*,*Echitricolporites*,*Artemisiaepollenites*,*Ulmipollenites*,*Salixipollenites*,*Chenopodipollis*,*Betulaepollenites*,*Peltandripites*,*Betulaceoipollenites*,*Juglanspollenites*,*Potamogetonacidites*,*Rutaceoipollis*,*Meliaceoidites*,*Fraxinoipollenites*,*Alnipollenites*; 裸子植物花粉:*Abietinaepollenites*,*A. microalatus f. minor*,*A. microsibiricus*,*Pinuspollenites*,*Piceapollenites*,*Cedripites*,*Laricoidites*,*Keteleeriaepollenites*,*Podocarpidites*,*Taxodiaceapollenites*; 菌藻类化石:*Multicellaesporites*,*Dicellaesporites*,*Minutissimumsphaeridia*,*Granodiscus*,*Leiosphaeridia*; 蕨类孢子:*Cicatricosisporites*,*Schizaeoisporites*,*Polypodiaceasporites*,*Contignisporites* 等,地质时代大致为始新世—渐新世。

此外本组还含有介形虫:*Cyclocypris* sp.,*Ilyocypris* sp.,*Eucypris lenghuensis* Yang F.,*E. sp.*,*Darvinula* sp.,*Candoniella albicans* (Brady),*C. suzini* Schneide,*Cyprinofus*,*Candoniella* sp.等;

昆虫:*Lycoria* sp. (imago),*Biblio* sp. (imago),*Lycoria* sp. (larra),*Lycoria* sp. (prepupa) 等; 轮藻:*Rantzieniella mitida*,*Rhabdochara stockmans*,*Amblyochara subejensis* Huang et Xu, *Hornichara qinghaiensis* Di, Chare sp.,*Gyrogona shannanensis* Z. Wang, *Rantzieniella qusongensis*,*Tectochara swiss*,*T. huangi* (Lu) Wang, *T. misei*,*T. globula*,*T. meriani*,*T. nisei*,*Charites molassica*,*Charites* sp.,*Shphaerochara rugulosa*,*Obtusochara brevicylindrica* Xu et Huang, *Obtusochara grandicosta* Z. Wang.,*O. sp.*等。

渐新世雅西措组孢粉组合反映当时山地是以松、桦为主的针阔叶林草原植被,耐旱的麻黄灌丛植物(*Ephedripites*)亦有一定含量(3.3%~10.5%),具亚热带、冷干气候特征。生态植被类型的变化,反映了在温泉地区从始新世到渐新世经历了由暖湿向冷干气候环境的转变;同时在雅西措组底部出现含膏泥岩和石膏层,也说明当时气候经历了显著变干的过程。

2.3 早中新世孢粉组合与生态环境演化分析

早中新世五道梁组产丰富的孢粉化石。孢粉组合以被子植物和裸子植物为主,其中被子植物孢粉含量 43.5%~54.3%,裸子植物孢粉含量 41.7%~51.1%,两者含量非常接近,蕨类孢子含量 4.0%~5.3%(图 2)。可建立 1 个孢粉化石组合带(A. Z.)(表 3)。

*Pinuspollenites - Quercoidites - Chenopodipollis - Granodiscus* A.

Z. 孢粉组合产于五道梁组下部,除代表种外,还有裸子植物花粉:*Abietinaepollenites*, *A. microalatus f. minor*, *A. microsibiricus*, *Ephedripites*, *Piceapollenites*, *Cedripites*, *C. cornisaccatus*, *C. ovatus*, *Laricoidites*, *Keteleeriaepollenites*, *Podocarpidites*, *Tsugaepollenites*, *Taxodiaceapollenites*; 被子植物花粉:*Faguspollenites*, *Rhoipites*, *Momipites*, *Graminidites*, *Labitricolpites*, *Liquidambarpollenites*, *Echitricolporites*, *Ulmipollenites*, *Ulmoideipites*, *Salixipollenites*, *Betulaepollenites*, *Betulaceopollenites*, *Juglanspollenites*, *Potamogetonacidites*, *Rutaceopollis*, *Meliaceoidites*, *Fraxinoipollenites*, *Alnipollenites*, *Euphorbiacites*, *Randiapollis*, *Ranunculacidites*, *Tricolpites*, *Tiliaepollenites*; 菌藻类化石:*Multicellaesporites*, *Dicellaesporites*, *Inapertisporites*, *Staphlosporites*, *Leiosphaeridia*, *Campenia*, *Ovoidites*; 蕨类孢子有:*Klukisporites*, *Polypodiaceasporites*, *Sphagnumsporites*, *Contignisporites*, *Undulatisporites*, *Pterisisporites* 等。此外本组还含有介形虫:*Candona* sp., *Eucypris goibeigouensis* Sun, *E. sp.*, *E. qaibeigouensis* Sun, *Limnocythere limbosa* Bodina, *L. sp.*, *Candoniella marcida*, *Mandelstam*, *Cyclocypris* sp., *Darwinula nadinae* Bodina, *Candoniella* sp. 等,地质时代为中新世。

早中新世五道梁组孢粉组合反映当时山地是以栎为主的针阔叶疏林草原植被,其中耐旱的麻黄灌丛植物(*Ephedripites*)含量达 13.1%~14.5%,反映冷干生境的山地针叶植被(*Abietinaepollenites*, *Pinuspollenites*)则呈现出显著下降的趋势(由 17.2%降为 10.3%),而反映暖湿环境的热带、亚热带植物(*Podocarpidites*, *Tsugaepollenites*)含量则由 3%上升为 11%,具温带、湿润的气候特征。同时在该组中产淡水—半咸水生物化石,也说明当时气候的湿润程度较高。

上述孢粉组合除具明确地质时代意义外,更有气候意义。从古新世到早中新世,古植被由早期的针阔叶混交林—森林草原植被向晚期的疏林草原植被演化,古气候也由亚热带暖湿气候向温带气候演化。该孢粉组合所反映的植被演化和气候环境变化规律,除受新生代全球变冷的影响外<sup>[20]</sup>,更主要的原因可能是受青藏高原隆升的影响,是青藏高原隆升所致,这一认识得到了青藏高原在 22 Ma 以前已隆升至 2000~2500 m 的有力支持<sup>[6,8-9]</sup>。同时,孢粉组合所反映的植被演化和气候环境变化规律也代表了高原腹地唐古拉山早期隆升的植被和气候环境响应。

2.4 上新世—早更新世孢粉组合与生态环境演化分析

上新世—早更新世曲果组的孢粉含量并不丰富<sup>[14]</sup>,整个剖面的孢粉组合均以草本植物为主。上新世早期以发育藜科、毛茛科为优势组合的稀疏草原植被,具温带、干旱—半干旱气候特征;其中藜科、毛茛科等草本植物含量达 61.0%~86.1%,兼有少量的菊科、豆科、百合科等;乔木植物主要为松属、栎属、桦属和冷杉,兼有少量的亚热带雪松、芸香及楝科植物花粉。上新世中—晚期的孢粉极为贫乏,仅发育以园柏—藜科为优势组合的稀疏荒漠草甸植被;其中草本植物仍以藜科为主,灌木植物园柏和白刺花粉少量出现,而乔木花粉基本消失,说明当时的环境已急剧恶化、气候变冷变干。上新世

末—早更新世发育以桦—栎为优势组合的稀树草原植被;初期植被仍以藜科和园柏占优势,且出现乔木,后期的乔木植物含量可达 50%以上,其中以桦科和栎属为主,次为松和云杉,兼有少量的亚热带雪松、铁杉和桃金娘科等,表明当时气温有所回升,植被较繁茂,气候温凉偏干。

上新世—早更新世孢粉组合分析表明,研究区植被经历了温湿→冷干→温凉偏干的气候过程,植被呈现出稀疏草原→稀疏荒漠草甸→稀树草原的演化特征;早上新世—早更新世,阔叶树种明显减少,而草本植物显著增多,反映气候开始向干冷方向演化。

2.5 中更新世孢粉组合与生态环境演化分析

浦庆余等<sup>[15]</sup>在瓦里百里塘倒数第二次冰期的冰碛(TL 年龄 246.36±20.94 ka<sup>[21]</sup>)中采有 4 件孢粉分析样,经鉴定发现含有少量的孢粉化石,冰碛物孢粉组合以草本植物为主,计有藜科、菊科、蒿属、豆科和石竹科等,此外还含有较多的木本植物园柏和杜鹃花粉,反映了寒冷干燥的气候环境。

温泉盆地浅钻倒数第二次冰期的冰碛—冰水泥砾(TL 年龄 150.21±12.77 ka<sup>[22]</sup>)中产较为丰富的孢粉化石。孢粉组合以被子植物中的草本植物非常发育为特点,其中被子植物孢粉含量达 77.8%,蕨类植物孢粉含量 20.8%,裸子植物孢粉仅个别出现(仅为 1.4%)(图 3)。计有草本植物花粉:*Echitricolporites*, *Artemisiaepollenites*, *Chenopodipollis*, *Nitrariadites*; 木本植物花粉:*Salixipollenites*, *Quercoidites*, *Betulaepollenites*, *Alnipollenites*, *Juglanspollenites*; 蕨类孢子:*Sphagnumsporites*, *Polypodiaceasporites*, *Polypodiisporites*, *Leptolepidites*; 菌藻类化石:*Minutissimumsphaeridia*, *Multicellaesporites*, *Dicellaesporites* 等。

中更新世晚期冰碛物孢粉组合反映当时山地是以藜、蒿为主的高寒灌丛草甸—高寒草原植被,其中适应冷干生境的高寒菊科植物(*Echitricolporites*, *Artemisiaepollenites*, *Chenopodipollis*)含量达 38.9%;反映湿生的柳粉属植物(*Salixipollenites*)含量为 13.1%,喜温凉的栎、桦植物

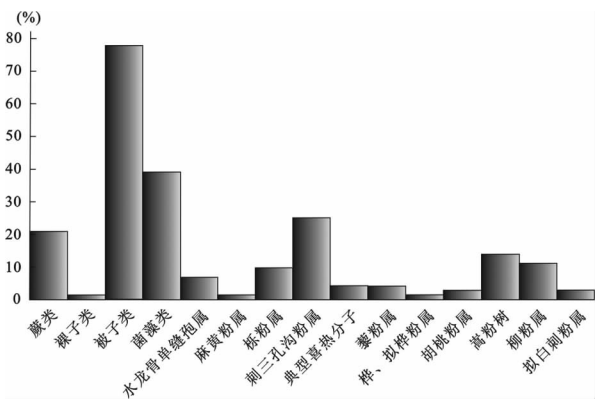


图 3 温泉盆地倒数第二次冰期冰碛植物孢粉谱图  
Fig.3 Plant sporopollen spectrum of tills in the last second glacial age of the Wenquan basin

(*Quercoidites*, *Betulaepollenites*)也有发育(含量为 11.2%),可能为间冰期暖湿气候下的产物,总体具高寒、干燥的气候特征。冰碛物孢粉组合分析表明:青藏高原腹地温泉地区在中更新世晚期已出现植被转型——先存的森林植被已被草原植被所替代。

2.6 上更新世孢粉组合与生态环境演化分析

刘琦胜等<sup>[7]</sup>在通天河盆地九十五道班南的晚更新世湖相剖面(U系同位素年龄为 88.9~ 56.2 ka)中采集了 29 件孢粉分析样品,经鉴定均含有丰富的孢粉化石。孢粉组合分析表明:该湖相沉积的早期和晚期,山地植被是以松、桦、冷杉等乔木植物和蒿、藜等草本植物为主,气候温暖湿润;湖相沉积的中期,山地植被中的蒿、藜、禾本科和麻黄等草原植被明显增多,气候凉爽干燥;反映上更新世早-中期间的气候曾经历了暖湿→凉爽干燥→温湿的波动,且植被与气候的变化具有

从未次间冰期晚期经末次冰期早冰段到末次冰期间冰段中期的特征。

2.7 全新世孢粉组合与生态环境演化分析

研究区中部刻莫风成砂土剖面中产较为丰富的孢粉化石。孢粉组合以被子植物中的草本植物及其繁茂为特征,其中被子植物含量达 72.2%,裸子植物含量为 16.5%,蕨类孢子含量 11.4%(图 4)。计有被子植物花粉:*Chrysanthemum*, *Tubulifloridites*, *Artemisia*, *Chenopodium*, *Gramineae*; 木本植物花粉:*Quercus*, *Betula*, *Alnus*, *Juglans*, *Potamogeton*; 裸子植物花粉:*Ephedra*, *Pinus*, *Larix*; 蕨类孢子:*Polypodiaceasporites*, *Azolla*; 菌藻类化石:*Leiosphaeridia*, *Granodiscus*, *Inapertisporites*, *Multicell-aesporites*等。

全新世刻莫风成砂土的孢粉组合反映当时山地是以藜、蒿为主高寒草甸-荒漠草原植被。喜冷干生境的菊科

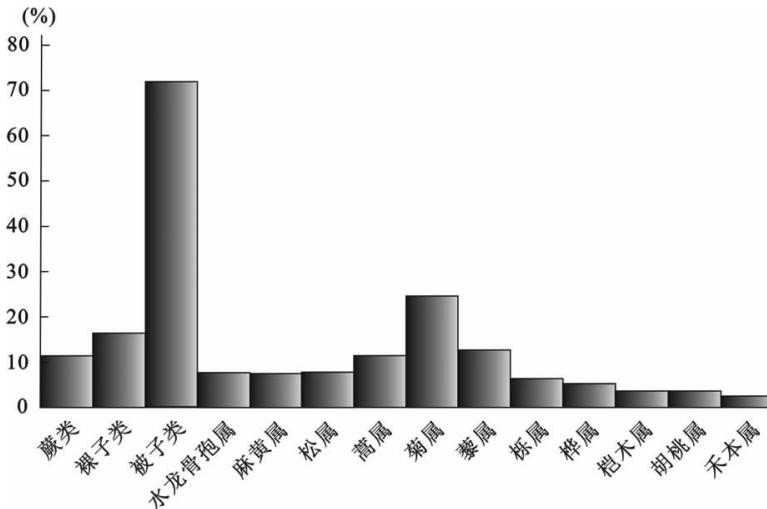


图 4 全新世刻莫风成砂土植物孢粉谱图

Fig.4 Plant sporopollen spectrum of Holocene Kemo eolian sand

表 4 新生代生态环境演化与青藏高原表面隆升过程

Table 4 Evolution of Cenozoic ecological environment and process of surface uplift of the Qinghai-Tibet Plateau

纪	世	孢粉组合反映的生态环境演化规律	表面隆升高度/m	注 释
第四纪	全新世	而中更新世以来, 出现稀疏草原植被向荒漠草原植被的演化, 最终塑造了现代以藜、蒿为主的荒漠草原植被环境	4500	唐古拉山的古植被演化规律, 反映古气候向干冷反向演化, 这除受新生代全球变冷的影响外, 更主要的原因是受青藏高原隆升的影响, 由于高原的隆起, 促使高原内部气候越变越干, 且气候变干的程度远远超过气温降低造成的影响的缘故
	晚更新世		3500~4000	
	中更新世		3000~3500	
新近纪	早更新世	从上新世到早更新世, 阔叶树种明显减少, 而草本植物显著增多, 反映气候开始向干冷方向演化	2500~3000	
	上新世			
古近纪	中新世	古新世-中新世, 古植被由早期的针阔叶混交林-森林草原植被向晚期的疏林草原植被演化, 古气候也由亚热带干热气候向湿润气候演化	2000~2500	
	渐新世		1500~2000	
	始新世 古新世		1000~1500	

(*Chrysanthemum*, *Tubulifloridites*)、蒿属 (*Artemisia*)、藜属 (*Chenopodium*)含量高达48.2%;暖温型阔叶树栎属 (*Quercus*)、桦属 (*Betula*)、桤木属 (*Alnus*)、胡桃 (*Juglans*)属等也有少量发育,可能为间冰期较暖气候下发育于地势较低的汇水盆地或者河道附近,具寒冷、干燥的气候特征。

### 3 新生代生态环境演化与高原表面隆升过程分析

白垩纪末的印—亚板块碰撞、以及碰撞后的陆内汇聚,导致了青藏高原的崛起<sup>[1-3]</sup>。但是青藏高原的表面隆升 (Surface uplift)并不等于高原的地壳隆升 (Crust uplift),它还受控于高原剥蚀速率的影响。

通过对青藏高原腹地温泉地区新生代以来植被孢粉组合与生态环境演化的系统研究,并结合前人对青藏高原隆升机制和过程的研究成果<sup>[11-5,27-29,31]</sup>,建立了青藏高原内部的表面隆升过程(表4)。

伴随青藏高原的表面隆升过程,高原内部的生态环境也相应发生了巨大的变化,并形成与之相应生态组合。通过对研究区孢粉组合中木本植物和草本植物的分异程度,反映的生态环境演化规律是:从古新世到早中新世,古植被由早期的针阔叶混交林—森林草原植被向晚期的疏林草原植被演化,古气候也由亚热带暖湿气候向温凉气候演化;从上新世到早更新世,阔叶树种明显减少,而草本植物显著增多,反映气候开始向干冷方向演化。而中更新世晚期以来,出现稀疏草原植被向荒漠草原植被的演化,最终塑造了现代以藜、蒿为主的荒漠草原植被环境。孢粉组合反映了新生代古植被由早期的针阔叶混交林→现代以藜、蒿为主的荒漠草原植被演化,古气候由亚热带暖湿气候→干冷气候方向演化。该古植被和古气候演化规律,除受新生代全球变冷的影响外<sup>[2]</sup>,更主要的原因可能是受青藏高原隆升的影响,是青藏高原表面隆升所致,由于隆起的高原所造成的地貌环境差异和周围极高山地的屏障作用,促使高原内部气候越变越干,且气候变干的程度远远超过气温降低造成的影响,致使植被发育的条件越来越差,最终塑造了现代以藜、蒿为主的荒漠草原植被环境。

高原腹地生态环境变化揭示了青藏高原自古新世以来至少经历了3次具有生态环境意义的表面隆升事件。古新世—早渐新世巨厚的的沱沱河组冲积扇砾岩沉积以及孢粉组合反映当时山地是以乔木为主的针阔叶混交林—森林草原植被生境,推测青藏高原在白垩纪末—古新世初已隆升至1000~1500 m,高原地形可能是高原(高山)与盆地相间的地貌格局;早中新世五道梁组植被中亚热带成分的显著增高,可能与高原表面隆升诱发高原季风而导致气候湿润有关,推测高原已隆升至2000~2500 m;而中更新世晚期以草本植物为主,反映高原植被已经发生了转型,高原已隆升至3000 m

以上;全新世孢粉组合则显示出稀树草原→荒漠草原→高寒草原的植被演化特征,反映了高原表面隆升对高原生态环境的控制作用,高原表明已隆升至4000~4500 m,从而形成现今高峻的地形地貌景观。

### 4 结论与讨论

(1)青藏高原腹地温泉地区的孢粉组合特征及生态环境变迁,与高原内部一系列的重大地质事件是相吻合的。古新世—早渐新世巨厚的沱沱河组冲积扇砾岩沉积、以及孢粉组合反映当时山地是以乔木为主的针阔叶混交林—森林草原植被生境,推测青藏高原在白垩纪末—古新世初已隆升至1000~1500 m。青藏高原由一系列地体拼合而成,随着昆仑洋盆、金沙江洋盆、班公错—怒江洋盆以及雅鲁藏布江洋盆的消减和随后的碰撞,都会发生明显的地壳加厚及地形隆起;特别是高原腹地唐古拉山中央隆起带,自三叠纪末金沙江洋盆闭合以来,一直继续着汇聚作用;三叠纪末,伴随拉竹龙—金沙江缝合带的闭合,昆仑地体产生向南逆冲和构造加载作用,在被动大陆边缘多岛洋体制下,形成羌塘复合型前陆盆地<sup>[20]</sup>,唐古拉山呈现(推测当时的海拔高度为100~500 m),并持续发展至早白垩世。晚侏罗世—早白垩世,由于班公错—怒江洋由东向西逐渐闭合,冈底斯地体北向俯冲于羌塘地体之下,加之昆仑地体向南仰冲,羌塘地体从此结束了海相沉积,引起羌塘地体的缩短、加厚以及唐古拉山隆起<sup>[21]</sup>,推测当时已隆升至500~1000 m;白垩纪末的印—亚板块碰撞加速了新特提斯洋的消亡,新特提斯洋壳在晚白垩纪中—晚期沿延伸达2000 km的STDS<sup>①</sup>向北俯冲一直到班公错—怒江缝合带<sup>[22]</sup>,受阻于岩石圈巨厚的较“软”的羌塘地体<sup>[23]</sup>,由于强大的陆内汇聚作用,使羌塘地体的地壳缩短,岩石圈增厚,并在远离印—亚碰撞带达400 km的唐古拉山形成同碰撞—晚造山期的壳—幔型龙亚拉花岗岩岩体和木乃花岗岩体<sup>[24]</sup>。同时结合地壳均衡作用模式推断,此时的高原表面隆升高度已达1000~1500 m,高原地形可能是高原(高山)与盆地相间的地貌格局。

(2)从古新世到早中新世,古植被由早期的针阔叶混交林—森林草原植被向晚期的疏林草原植被演化,古气候也由亚热带暖湿气候向温凉气候方向演化。该孢粉组合所反映的植被演化和气候环境变化规律,得到了青藏高原在22 Ma以前已隆升至2000~2500 m的有力支持<sup>[6,8-9]</sup>。

(3)从上新世到早更新世,阔叶树种明显减少,而草本植物显著增多,反映气候开始向干冷方向演化;至中更新世晚期以来,出现稀疏草原植被向荒漠草原植被的演化规律。这与唐古拉山在(300~250)ka B. P.,才隆升至临界3000 m以上,大面积进入冰冻圈的认识是一致的<sup>[22-24]</sup>。

(4)本文从青藏高原腹地温泉地区新生代生态环境演化规律,所得出的青藏高原表面隆升过程,尚有待于从地球物

① Hauck M L, et al. A reexamination of INDEPTH-I data: Evidence for STDS continuation to 27km depth and internal structure of the MHT. 12th Himalaya-Karakorum-Tibet workshop, 1997, 147-148.

理、同位素年代学、沉积作用等多学科的进一步深化和论证。

### 参考文献(References):

- [1] 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制[J]. 地球学报, 1995, (1):1-9.  
Li Tingdong. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Geologica Sinica, 1995, (1):1-9(in Chinese with English abstract).
- [2] 肖序常, 王军. 青藏高原构造演化及隆升的简要评述 [J]. 地质论评, 1998, 44 (4):372-381.  
Xiao Xuchang, Wang Jun. A brief review of tectonic evolution and uplift of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Review, 1998, 44 (4):372-381(in Chinese with English abstract).
- [3] 王成善, 丁学林. 青藏高原隆升研究新进展综述 [J]. 地球科学进展, 1998, 13(6):526-532.  
Wang Chengshan, Ding Xuelin. The new researching progress of Tibet plateau uplift[J]. Advance in Earth Science, 1998, 13(6):526-532(in Chinese with English abstract).
- [4] Li Tingdong, Gao Rui, Wu Gongjian. Lithospheric evolution and geodynamic process of the Qinghai-Tibet Plateau:an inspiration from the Yagong-Golmud-Ejin Geoscienc Transect [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 1999, 73(2):173-180.
- [5] 尹安. 喜马拉雅—青藏高原造山带地质演化——显生宙亚洲大陆生长[J]. 地球学报, 2001, 22(3):193-230.  
Yi An. The geology evolvement of Himalayan-Tibet plateau orogeny—The growth of Asia continent in Phanerozoic eon[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22 (3):193-230 (in Chinese with English abstract).
- [6] Prell W E, Kutzbach J E. Sensitivity of the Indian monsoon to forcing parameters and implications for its evolution[J]. Nature, 1992, 360:647-652.
- [7] Sun Honglie, Zheng Du. Studies on Qinghai-Xizang Plateau[C]// Qin Dahe, Chen Panqin, Ge Quansheng (eds.). Advances in Global Change Studies of China. Beijing:China Ocean Press, 1998:60-57.
- [8] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himaya-Tibtan plateau since Late Miocene times[J]. Nature, 2001, 441:62-66.
- [9] Guo Z T, Rudiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 Ma ago inferred from loess deposits in Chian[J]. Nature, 2002, 416:159-163.
- [10] Spear R W. Late-Quaternary history of high elevation vegetation in the White Mountains of New Hampshire [J]. Ecological Monographs, 1989, 59:125-151.
- [11] Jack son S T, Smith S J. Pollen dispersal and representation on an isolated, forested plateau[J]. New Phytologist, 1994, 128:181-193.
- [12] Lynch E A. The ability of pollen from small lakes and ponds to sense fine-scale vegetation patterns in the Central Rocky Mountains, USA [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1996, 94:197-210.
- [13] Sun Xiangjun, Li Xu. A pollen record of the last 37 ka in deep sea core 17940 from the northern slope of the South China Sea [J]. Marine Geology, 1999, 156:227-244.
- [14] 刘兰锁. 藏公路沿线上新世-早更新世孢粉组合及其意义 [C]//青藏高原地质文集(4). 北京:地质出版社, 1982:136-150.  
Liu Lansuo. The Pliocene-early Pleistocene spore-pollen assemblage along the Qinghai-Xizang highway and its significance [C]//Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (4). Beijing:Geol. Pub. House, 1982:136-150(in Chinese with English abstract).
- [15] 浦庆余, 吴锡浩, 钱方. 藏公路沿线唐古拉山地区的第四纪地质问题[C]//青藏高原地质文集(4). 北京:地质出版社, 1982:19-33.  
Pu Qingyu, Wu Xihao, Qian Fang. The Quaternary geology problem of the Tanggula Mountain region along the Qinghai-Xizang Highway [C]//Professional Paper on Geology Studies of Qinghai-Xizang Plateau (4). Beijing:Geological Publishing House, 1982:19-33(in Chinese with English abstract).
- [16] 吴珍汉, 江万, Doug Nelson, 等. 藏北多格错仁红层及孢粉组合特征[J]. 现代地质, 2002, 16(3):225-232.  
Wu Zhenhan, Jiang Wan, Doug Nelson, et al. Strata and spores association of Dogai Coring redbeds of north Tibetan Plateau [J]. Geoscience, 2002, 16(3):225-232(in Chinese with English abstract).
- [17] 刘琦胜, 赵希涛, 叶培盛, 等. 长江上游布曲盆地晚更新世湖相沉积的发现及其古植被与古气候[J]. 地质学报, 2004, 4:257-533.  
Liu Qisheng, Zhaoxitao, Ye Peisheng, et al. Discovery of Late Pleistocene lacustrine deposits in the Buqu Basin of the Yangtze River source and its palaeovegetation and palaeoclimate [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 4:257-533(in Chinese with English abstract).
- [18] 潘裕生. 青藏高原的形成与隆升[J]. 地学前缘, 1999, 6(3):153-163.  
Pan Yusheng. Formation and uplifting of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3):153-163(in Chinese with English abstract).
- [19] 刘志飞, 王成善, 伊海生, 等. 藏北可可西里盆地老第三纪沉积物源区分析及其高原隆升意义[J]. 地球科学, 2001, 26(1):1-6.  
Liu Zhifei, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Provenance of paleogene sediments in Hoh Xil basin, north of Qingzang Plateau, and its significance for Plateau uplift[J]. Earth Science, 2001, 26(1):1-6 (in Chinese with English abstract).
- [20] Liu Z, Zhao X, Wang C, et al. Magnetostratigraphy of Tertiary sediments from the Hoh Xil Basin: implications for the Cenozoic tectonic history of the Tibetan plateau [J]. Geophysical Journal International, 2003, 154:233-252.
- [21] 刘志飞, 王成善, 金玮, 等. 青藏高原沱沱河盆地渐新-中新世沉积环境分析[J]. 沉积学报, 2005, 23(2):210-217.  
Liu Zhifei, Wang Chengshan, Jin Wei, et al. Oligo-Miocene depositional environment of the Tuotuohe Basin, Central Tibetan Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23 (2):210-217(in Chinese with English abstract).
- [22] 段志明, 李勇, 李亚林, 等. 青藏高原唐古拉山口第四纪冰碛层划分及其地质环境意义[J]. 中国地质, 2005, 32(1):128-134.  
Duan Zhiming, Li Yong, Li Yalin, et al. Quaternary tills at the pass

- of the Tanggula Mountains on the Qinghai-Tibet Plateau and their geological-environmental significance [J]. *Geology in China*, 2005, 32(1):128-134(in Chinese with English abstract).
- [23] 赵志忠, 吴锡浩, Schluchter C, 等. 青藏高原第四纪冰川的宇宙核素暴露年龄首次测定[J]. *地质力学学报*, 2002, 8(4):306.
- Zhao Zhizhong, Wu Xihao, Schluchter C, et al. The first determination on nuclide's exposure age of Quaternary glacier in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, 8(4): 306(in Chinese with English abstract).
- [24] Jorg M. Schafer, Silvio Tschudi, Zhizhong Zhao, et al. The limited influence of glaciations in Tibet on global climate over the past 170 000 yr[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 194:287-297.
- [25] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:225-248.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai. Regional Geology of Qinghai [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1991:225-248(in Chinese with English abstract).
- [26] Miller K, et al. Tertiary Oxygen isotope synthests. Sea-level history, and continental margin erosion[J]. *Paleoceanography*, 1987, 2:1-19.
- [27] Harrison T M, Copeland P K W, et al. Raising Tibet [J]. *Science*, 1992, 255:1663-1670.
- [28] S. Turner A, Hawkesworth C, Liu J, et al. Timing of Tibetan uplifts constrained by analysis of volcanic rocks [J]. *Nature*, 1993, 364:50-54.
- [29] 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. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and its mechanism[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39: 369-379(in Chinese).
- [30] 李勇, 王成善, 伊海生, 等. 青藏高原中侏罗世——早白垩世羌塘复合型前陆盆地充填模式[J]. *沉积学报*, 2001, 19(1):20-27.
- Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Fill models of in the Qiangtang composite foreland basin in Qinghai-Xizang Plateau, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1):20-27 (in Chinese with English abstract).
- [31] 段志明, 李勇, 张毅, 等. 青藏高原唐古拉山中新生代花岗岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其大陆动力学意义 [J]. *地质学报*, 2005, 79(1):88-97.
- Duan Zhiming, Li Yong, Zhang Yi, et al. Zircon U-Pb age, continent dynamics significance and geochemical characteristics of the Mesozoic and Cenozoic Granites from the Tanggula Range in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(1): 88-97(in Chinese with English abstract).
- [32] 孔祥儒, 王谦身, 熊绍柏. 西藏高原西部综合地球物理与岩石圈结构研究[J]. *中国科学(D辑)*, 1996, 26:308-315.
- Kong Xiangru, Wang Qianshen, Xiong Shaobo. Comprehensive geophysics and lithospheric structure in the western Xizang (Tibet) Plateau[J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39 (4):348-358(in Chinese).



## Analysis of the evolution of the Cenozoic ecological environment and process of plateau surface uplift in the Wenquan area in the interior of the Qinghai-Tibet Plateau

DUAN Zhi-ming<sup>1</sup>, LI Yong<sup>2</sup>, SHEN Zhan-wu<sup>1</sup>,  
ZHU Xiang-ping<sup>1</sup>, ZHONG Cheng-quan<sup>3</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China

3. Sichuan Shuxi Institute of Geology and Engineering Exploration, Chengdu 611730, Sichuan, China)

**Abstract:** The data of sporopollen assemblages collected from Cenozoic strata in the Wenquan area in the interior of the Qinghai-Tibet Plateau indicate that: from the Paleocene to early Miocene, paleovegetation evolved from mixed needleleaf and broadleaf forests-forest grassland vegetation in the early stage to veld vegetation in the late stage and the paleoclimate also evolved from the warm-wet subtropical climate to warm-cool one; from Pliocene to early Pleistocene, broadleaf trees were obviously reduced, while herbaceous plants increased markedly, reflecting that the climate began to evolve towards the dry-cold climate; and since the late part of the middle Pleistocene, the evolution from veld vegetation to desert grassland vegetation appeared, which finally molded an environment of modern desert grassland vegetation represented mainly by Chenopodiaceae and Artemisia. The change of the ecological environment in the interior of the Qinghai-Tibet Plateau reveals that the Qinghai-Tibet Plateau has undergone at least three uplift events with ecological-environmental significance since the Paleocene. Fanglomerate sediments and sporopollen assemblages in the Paleocene-early Oligocene Tuotuo River Formation indicate that: the Qinghai-Tibet Plateau had been uplifted to the altitudes of 1000-1500 m above sea level by the terminal Cretaceous-early Paleocene and the plateau landform might have a framework of alternating high mountains and basins; the noticeable increase in subtropical components in the vegetation of the early Miocene Wudaoliang Formation might be related to the climatic wetness caused by plateau monsoons induced by the plateau surface uplift and it is inferred that the plateau had uplifted to 2000-2500 m above sea level. In the late part of the middle Pleistocene, herbaceous plants predominated, indicating that the type of plateau vegetation had changed and that the plateau has been uplifted to an altitude of more than 3000 m above sea level.

**Key words:** sporopollen assemblages; ecological environment; surface uplift; Cenozoic; Wenquan area

---

**About the first author:** DUAN Zhi-ming, male, born in 1963, doctor and senior engineer, engages in research on Quaternary geology; E-mail: duanzm2003@163.com.