

中国新近纪孢粉植物群的区域定位与环境响应*

王伟铭¹⁾ 舒军武¹⁾ 邓涛²⁾

1) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008, wmwang@nigpas. ac. cn;

2) 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044

摘要 中国新近纪孢粉植物群的变迁, 与当时全球性和区域性气候和环境的变化休戚相关, 结果导致现代植物群分布格局的逐渐形成。鉴于新近纪环境变化的错综复杂性, 不同地区间的表现存在着很大的差别, 因此, 在对比孢粉植物群和探讨植物群变化规律时, 需要考虑各种不同的影响因素。本文在综述新近纪全球性海洋和气候事件, 以及区域性构造和环境变化的同时, 结合新近纪地层建阶工作的研究进展, 对中国新近纪孢粉植物群的区域定位提出讨论, 进而探索孢粉植物群的一些综合性变化规律, 以及对环境变化的响应。研究表明, 在新近纪前期, 尤其在中新世气候最适宜期, 中国东部地区的孢粉植物群已经受到逐渐盛行的夏季风的影响。随着青藏高原的逐渐隆起, 以及全球性气候变冷的加剧, 冬季风开始明显增强, 导致草原型干旱性植被在内蒙古地区的形成。其影响在我国华北等地上新世孢粉植物群中反映尤为明显。青藏高原的抬升, 直接导致高原孢粉植物区的形成; 而横断山脉地区的孢粉植物群由于区内地形、气候复杂而拥有多种生境, 加上垂直幅度大, 上升运动的连续和持久, 保留了许多源于不同植物区系的成份, 成为一个独立的孢粉植物区。

关键词 孢粉植物群 古环境 区域对比 地层划分 新近纪

地球环境在晚新生代发生的剧烈变化, 对中国植被分布格局的形成及植物区系的演变产生重要的影响。如果说新生代早期温暖适宜的气候环境, 曾导致被子植物迅速崛起和发展的话, 那么, 晚新生代全球性大规模的气候波动和区域性环境变更, 则对现今植物群的分布产生更为直接的影响。由于中国的地域辽阔, 植物生境的区域变化大, 新生代构造运动和气候环境的变更在不同地区的表现存在着很大的差异, 加上新近纪地层都以陆相沉积为主, 出露多不连续, 从而给地层对比、探索过去植物群的变化过程, 以及植物群对环境变化的响应等带来困难。中国新近纪孢粉植物群经过半个多世纪的研究, 已积累有大量的一手资料。受地层测年手段的限制, 孢粉学曾一度作为地层划分与对比的主要手段, 在生产部门得到了广泛的运用。随着资料的日益增加, 对过去植物群变化规律的探索已从最初的个例研究, 逐渐扩展到对一个地区乃至整个区域的综合研究。但早期的工作多为粗线条的, 孢粉学并没有完全从地层化石组合的对比中摆脱出来。随着研究的深入, 人们越来越清醒地认识到, 学科交叉和综合性

研究工作的重要性。孢粉学想要在现有的基础上取得新的突破, 唯有借助其它可能的研究手段, 在不同的研究地区建立统一的地层时间标尺, 才能在各种错综复杂的环境背景下, 真实而有效地揭示过去植物群的变化规律。

长期以来, 哺乳动物一直是我国陆相地层对比的一个重要标准。中国新近纪地层划分的最初方案, 就是根据哺乳动物化石证据提出的, 参照了与欧洲新近纪哺乳动物分期的对比关系 (Chiu *et al.*, 1979; 李传夔等, 1981)。在此基础上, 刘耕武 (1988) 将我国北方的孢粉组合与其相对应, 提出了一个初步的孢粉变化序列; 王伟铭 (1990a) 进而对部分代表性孢粉植物群进行了综合分析和气候对比。其它相关研究还包括: 有关中国新近纪孢粉植物区系和气候的讨论 (Wang, 1994), 中国新近纪孢粉植物区系间孢粉序列的对比 (王伟铭, 1992; 宋之琛等, 1999; Wang, 2006) 等工作。但基于哺乳动物化石群的地层划分, 主要是与一些地区特定的地层组相联系, 而不是具体的产出层位, 因此地层时代的确定仍需要通过其它的有效手段来完善。近年来, 结合中国

新近纪地层建阶工作,我们对一些代表性层型剖面开展了古地磁、孢粉等方面的综合研究,取得部分新进展(邓涛等,2003,2004,2006;王伟铭、邓涛,2005)。本文通过阐述新生代,尤其是新近纪全球气候与环境变化事件,结合我国特定的构造活动和气候变化规律,以及近年来我们在地层研究工作中所取得的进展,综合探讨中国新近纪孢粉植物群的区域定位与环境响应等问题。

1 环境背景

1.1 海洋与气候事件

陆生植物的演化、发展,及其分布规律,往往会受到一些大的全球性事件的制约,如大陆的漂移与板块运动、大陆与海洋的面积变化、海平面的升降、极地冰川的形成与全球性的气候波动等。有关新生代气候的研究,最早的记载可追溯到一个多世纪之前。然而,上世纪七十年代之前的研究主要局限在陆地和沿岸地区,依据大多来自化石及具指示意义的沉积岩的岩性变化(如 Dorf, 1964; Wolfe and Hopkins, 1967; Tanai and Huzioka, 1967 等)。近半个多世纪以来,随着新理论和新方法不断出现和采纳,有关新生代海洋和气候等方面的研究开始呈现出广泛的发展前景。Urey(1947)提出的氧同位素分析方法的理论基础,成功地揭示出海底碳酸钙堆积中 ^{18}O 与古气候的关系,使古气候的研究开始走向定量。始于上世纪六十年代的深海钻探计划(DSDP)和其后的海洋钻探计划(ODP),不断地为我们提供世界各个海域的钻孔资料,使古海洋和古气候的研究趋于全球性和系统化。Urey 理论加上深海样品,给新生代海洋学和气候等方面的研究注入了新的活力,成为国际学术界一个持续的研究热点(Douglas and Savin, 1975; Shackleton and Opdyke, 1977; Buchardt, 1978; Matthews and Poore, 1980; Woodruff *et al.*, 1981; Shackleton *et al.*, 1984; Kennett and von der Borch, 1985; Kennett and Hodell, 1986; Zachos *et al.*, 2001; Barrett, 2003)。

Berger(1982)对比了氧同位素资料后认为:新生代全球气候呈阶梯状变化,这些变化的发生时间有的与传统的地质界线一致,有的则不一致。其宏观特征为:初期气候相对中期和晚期要稳定,当时地球的温度梯度小、中高纬度的气候要比目前的温暖得多(Shackleton, 1984);气候从中期开始逐渐恶

化,在晚期发展成冰盛期。Barrett(2003)认为新生代地球气候在渐新世之前仍属温室世界(Greenhouse world),经过渐新世至中新世早期的不确定阶段(Doubthouse world),开始步入冰室世界(Icehouse world)。插图 1 汇总了新生代全球深海氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)温度曲线、极地冰盖变化,以及重要的气候与构造事件,由此我们可以较为全面地了解这些事件之间可能的互相关联和制约关系。氧同位素温度曲线反映新生代气候在整体上为一个逐渐的变冷过程,南极小冰盖早在始新世晚期就已经局部形成,这或许与先前印度—亚洲板块的碰撞和重组有一定的关联。进入新近纪时,晚渐新世暖期气候开始为 Mi-1 冰期所替代,再逐步演化成中新世气候最适宜期,之后地球气候随着南极东部和西部冰盖的先后形成,越变越冷,东亚季风也在中新世晚期增强。新近纪主要的构造事件包括早中新世青藏高原隆升的加速、红海张裂和板块重组、及安第斯山脉的隆升,早/中中新世的哥伦比亚河火山,以及早上新世巴拿马海道的关闭等(Zachos *et al.*, 2001)。

1.2 青藏高原的隆升与东亚季风的形成

位于亚洲中部的青藏高原,平均海拔高度 4 500m,面积 $250 \times 104 \text{ km}^2$,素有“世界屋脊”和“世界第三极”之称。由于它的规模和高度,对大气环流,区域及全球气候的变化,沙漠黄土、高原冰雪、湖水系及生态系统的发展、演化等,都造成了深刻的影响(刘晓东,1999)。中国植被的分布在很大程度上受制于高原的形成过程,及由此引起的全国各地水热分布的变化。青藏地区的隆起源于印度—亚洲大陆的碰撞,其起始时间有从晚白垩世(约 70Ma)(Jaeger *et al.*, 1989)到始新世/渐新世之交(约 34Ma)(Garzanti *et al.*, 1987)等多种观点。最近 Aitchison *et al.* (2008)根据新的野外证据和对已有数据的重新评估,提出尽管印度板块和亚洲大陆汇聚的速率在 55Ma 突然减缓,被广泛地认为是初始碰撞的标志,但这次碰撞所造成的主要构造效应直到 20 多个百万年以后才显现出来,他们认同初始碰撞时间为始新世/渐新世之交的观点。

据中国科学院青藏高原综合科学考察队(1983)的研究结果:涉及青藏高原隆升的构造运动可分为三期,分别发生在始新世晚期到渐新世(40—30Ma)、中新世(20—10Ma)和第四纪初至今(3—2Ma)。在第一期构造运动之后,西藏地区最终完全脱离海侵,上升为陆。但在始新世以后很长一段时

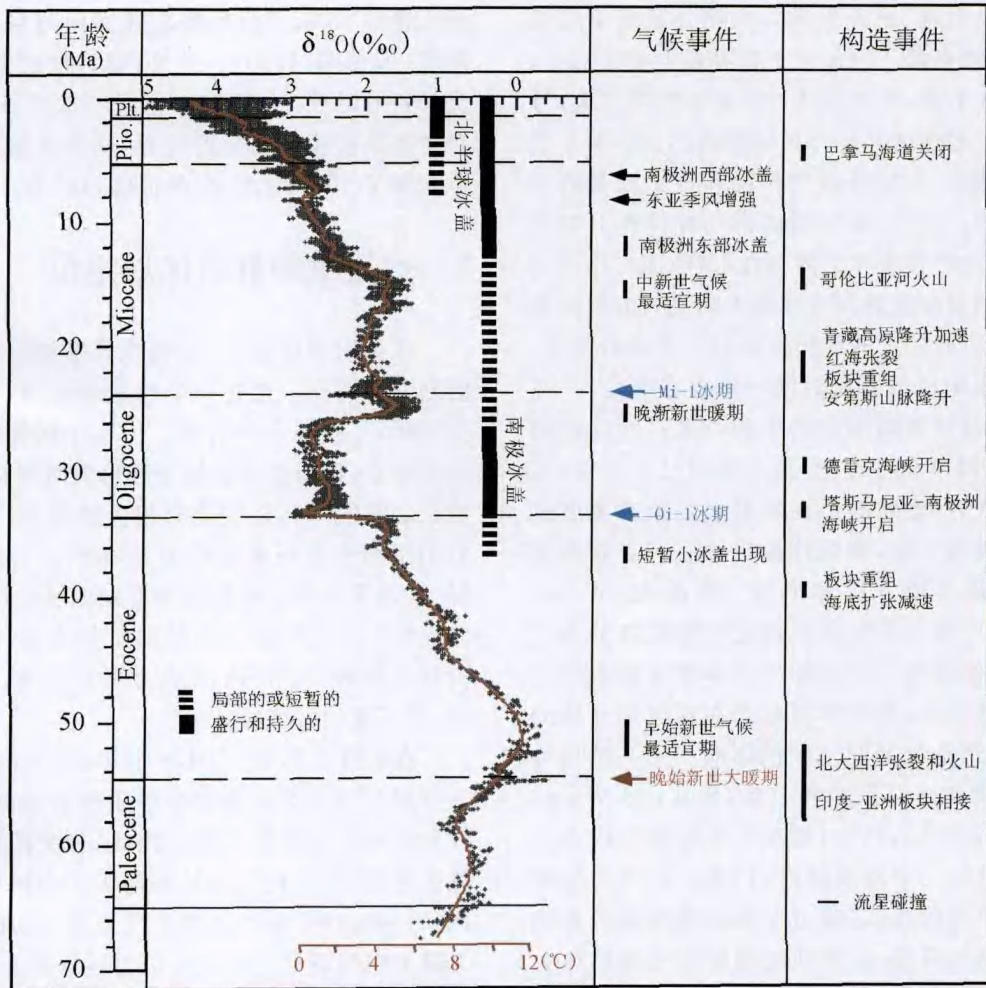


插图 1 新生代全球深海氧同位素温度曲线 ($\delta^{18}O$)、极地冰盖变化, 以及重要气候与构造事件(据 Zachos 等, 2001 改编)
 Cenozoic global deep sea $\delta^{18}O$ temperature curve, changes in ice-sheets at polar regions, major climatic and tectonic events
 (adapted from Zachos *et al.*, 2001)

间里, 西藏地区包括喜马拉雅在内, 并没有大幅度隆起, 相反却遭受着长期的剥蚀夷平。始于中新世的构造运动对整个青藏高原的影响很大, 当时强烈的断裂活动使西藏地区形成众多的断块山地和断陷盆地, 加剧了地势的起伏, 并且使整个青藏地区缓缓上升。与此同时, 青藏高原内部却在上新世发育了高度在 1 000m 左右的夷平面, 构成了第四纪初强烈隆起前的原始高原面。到了上新世末期—第四纪, 喜马拉雅山脉和整个青藏高原才开始急剧隆起, 达到目前平均海拔 4 500m 的高度。郑度和姚檀栋 (2006) 揭示出高原北部的隆起, 是一个多旋回、阶段性的同步异幅过程, 即经历了 4 期显著的阶段性隆升和 3 期夷平。隆升分别发生在约 45—40Ma、33—30 Ma、23—22Ma 以前和 8Ma BP 以来, 夷平面形成于前 3 次隆升的末期。开始于 3. 6Ma 以来的隆升具有强烈的整体性和阶段性, 但隆升幅度的

差异性显著。高红山等 (2004) 同样认为, 青藏地区在 37—3. 6Ma 期间经历过两次隆升与两次夷平; 而 3. 6Ma 开始的青藏运动, 是新生代以来青藏高原最大规模的隆升, 对高窄的形成起着决定性作用。

中国东部属东亚季风的范畴, 地理上大致以大兴安岭、阴山、贺兰山至青藏高原东部为界, 东南南部主要受太平洋季风的影响, 西南部受印度洋季风的影响, 面积占我国国土的 47. 6% (Zhang, 1989)。据现代气候研究表明: 季风的范围和强度取决于大陆和海洋的相对大小、大陆所在的纬度及地球的纬向温差 (高由禧, 1984)。汪品先 (2009) 在对季风的空分布和随时间的变化规律进行分析后, 认为存在构造尺度即 10^6 — 10^8 年的时间尺度、轨道尺度即 10^4 — 10^5 年的时间尺度, 以及受太阳活动周期等多种因素调控的千年及更短的时间尺度。其中构造尺度全球季风受大陆分合的“威尔逊旋回”调控, 合成

“超级大陆”时出现“超级季风”，大陆分解后季风减弱。目前，亚洲东部一方面处于世界最大的大陆上，滨临广阔的太平洋，受海陆热力差异的影响很大；另一方面其所在的纬度又是行星风带南北位移季节变化最明显的地区，海陆分布的作用和行星风带的季节位移相叠加。另外，在中国西部还有世界上海拔最高、面积最大的青藏高原的存在，高原面与高度自由大气之间的温度差异同海洋和大陆之间的温度差异一样，也能引起特定的气压分布和气流场的增强。

有关东亚季风的起始时间一直存在分歧，一些学者认为：随着特提斯海的消失和青藏高原隆起的开始，季风气候早在古近纪/新近纪间已经形成；另一些学者则认为：青藏高原在新近纪的抬升幅度还不足以构成季风气候，季风环流应该直到青藏高原在第四纪大幅度隆升后才形成。汪品先(Wang, 1984)曾根据中国古近纪和新近纪气候带的分布变化，认为古近纪横贯中国东部的干旱带在新近纪已移向中国的西北部，说明中国东部在新近纪开始的时候，已经受到季风湿润气候的影响。这一结论与现有的古植物和岩石资料相一致(Sun and Wang, 2005)。Zhang(1984, 1989)把东亚地区新生代古大气环流形式分为三个发展阶段：1)古近纪受行星风系控制的无季风阶段；2)新近纪单纯受海陆分布格局控制的古季风阶段；3)第四纪期间在受海陆热力差异影响的一般背景下，由于青藏高原阶段性强烈抬升对大气热力作用和动力作用不断增强而开始形成的东亚季风阶段。

根据新生代主要的海陆事件和全球性气候的变化规律，不难看出：促成东亚季风的形成机制可以是多元的。尽管青藏高原大规模的隆升不仅破坏了东亚地区行星风带的分布，而且还因高原大气层本身热力和动力作用，而对东亚气候产生重大的影响。但在青藏高原整体隆起之前，地球上的众多变化已经开始促使季风气候的形成(Wang, 1991)。首先表现在气候上，始于始新世的全球性变冷在其后的发展中不断加强，使气候带向赤道方向移动，从而加大了地球的纬向温差。其次是古地理的变化，欧亚大陆自始新世后逐渐联合，从而加大了海陆热力差异的影响。在这一发展过程中，始新世末印度板块与欧亚大陆直接接触无疑是重要的一步，此后特提斯海开始退出西藏南部和中亚平原，大陆内部的地势分异增大。第三还可能由于古近纪以来地球极位置的变化和大陆位置的移动，使亚洲东部处于冬夏行星风带南北位移最为明显的纬度。古近纪由于极

位置的不同，当时的纬度线方向与目前的成一定角度(邢嘉明, 1980)。此外，据古地磁推算：在新生代开始的时候，中国地理位置一般在 $5-40^{\circ}$ 之间，以后逐渐推移到现今的位置，这样从始新世晚期至今北移了 $10-13^{\circ}$ 之多(吴征镒, 1980)。

2 孢粉植物群的区域定位

在孢粉学研究中，孢粉组合常被应用于对地层的划分与对比。这在一个特定的区域，如全国的各大油区，一般都十分有效。但鉴于新近纪环境变化的复杂性，孢粉组合若缺乏准确的时间标尺，远距离地层之间的对比往往会有很大的风险。因此，当我们引用孢粉资料来讨论古植物和古气候变化的时候，首先需要对各孢粉植物群做区域定位，这样的工作应包括含化石组合地层的年代测定，以及对孢粉资料本身的综合评估，如孢粉的产出率、上下变化规律，及可能的区域特征等。

在实际工作中，上述要求并不是总能如愿满足，一些层位由于其本身岩性等条件的限制，至今没有针对性的有效测年手段。因此，相关的研究工作任重而道远，需要我们的长期努力。全国地层委员会(2001)提出的“中国区域年代地层(地质年代)表”，无疑为中国新近纪年代地层的划分提出了一个完整的标准。表中新近系含6个阶，包括中新统谢家阶、山旺阶、通古尔阶和保德阶，上新统高庄阶和麻则沟阶。在《中国区域年代地层(地质年代)表说明书》中，对各个阶的命名及层型剖面、生物标志、层型剖面岩性特征、同期岩石地层单位、与国际地层表中阶的对比、部分底界年龄作了较详细的定义，并提出与“国际地层表”的大致对应关系，它们分别为：谢家阶——阿启坦阶、山旺阶——布尔迪加尔阶、通古尔阶——塞拉瓦尔阶和兰哥阶、保德阶——梅辛阶和托尔通阶，高庄阶——赞克尔阶、麻则沟阶——皮亚森兹阶。由于中国新近纪主要分布陆相地层，基于海相地层为划分标准的国际更新统底界在这里不易识别，而松山/高斯地磁极性年代界线(2.588Ma)在全国各地都有分布，因此，在表中被采纳作为更新统的底界(全国地层委员会, 2001)。

过去几年中，我们在全国地层委员会的倡议下，开展了建立符合现代地层学规范的谢家阶、山旺阶、通古尔阶和保德阶的尝试。研究表明：定义谢家阶底界的古地磁标志 C6Cn. 2n(23. 03 Ma)，位于青海湟中谢家村车头沟剖面的第2层，即马哈拉沟组

上部的棕红色块状泥岩连续沉积中,距谢家组底部 48m、距车头沟组底部 160m;山旺阶的底界在本剖面位于第 4 层,即谢家组中部的灰绿色、黄绿色泥岩连续沉积中,距车头沟组底部 52m。因此,本层型剖面包含了完整的谢家阶地层(邓涛等,2006)。山东临朐山旺组古地磁和同位素年龄,反映山旺组岩石地层单位的底界年龄约为 18 Ma。因此,山旺剖面缺乏定义山旺阶的底界地层(布尔迪加尔阶底界的磁异常校正年龄为 20.43 Ma)(邓涛等,2003)。内蒙古苏尼特左旗通古尔组的哺乳动物化石和古地磁资料显示通古尔阶底界位于推饶木剖面第 1 层之内,即下部红色泥岩的连续沉积中,距中部砂岩的底部 7.6 m,以 Chron C5Bn. 1r 的底部为标志,年龄为 15.0 Ma(Deng *et al.*, 2007)。山西保德冀家沟剖面的古地磁,揭示其顶界年龄为 5.30 Ma、底界年龄不超过 10 Ma,显示该剖面同样不存在定义保德阶的底界地层(托尔通阶底界天文年代学年龄现为 11.608 Ma)(邓涛等,2004)。从各个阶的情况来看,上新统麻则沟阶和高庄阶有望在命名剖面上定义底界并确立界线层型和点位,中新统山旺阶和保德阶的底界有待在其它地区确认(Deng *et al.*, 2004;王伟铭、邓涛,2005)。

地层建阶工作的开展,使我们对中国新近系一些代表性层位的真实内涵有了进一步的了解,由此对其中的孢粉植物群的理解与定位,得以统一在明确的时间尺度上。这对今后不同地区间的地层对比工作,必将起到积极的推动作用。

3 孢粉植物群的环境响应

现有的孢粉资料表明,中国早中新世孢粉植物群在一些地区以裸子植物花粉高含量,伴随有较多的柔荑花序植物和榆科(Ulmaceae)花粉为特征(王宪曾,1978;甘振波,1982),可以与中国哺乳动物分期谢家期(李传夔等,1984)相比较(刘耕武,1988;王伟铭,1990a)。对谢家阶层型剖面中的孢粉研究发现,裸子植物花粉,尤其是云杉花粉的含量在两个含孢粉丰富的样品中,由下到上含量明显增加;与此同时,耐旱植物,尤其是藜科(Chenopodiaceae)和蒺藜科(Zygophyllaceae)花粉的含量明显降低,在一定程度上反映了研究区早中新世气候可能具变冷趋势,同时湿度也有较明显的增加(王伟铭、邓涛,2009)。从全球性气候变化来看,地球气候在晚渐新世经历了短暂的变暖后,在渐新世/中新世之交开始为 Mi-

1 冰期所取代,南极地区冰川在中新世初期明显增强(Troedson and Riding, 2002),但由于随后的中新世气候最适宜期(Böhme, 2003),早中新世全球的气候特征更多地呈过渡性特征,具有先趋冷,再逐渐回暖的过程(插图 1; Zachos *et al.*, 2001)。与此同时,我国许多地区开始受到青藏高原二期隆升运动的影响(潘保田等,1998)。

长期以来,山旺期孢粉植物群在我国更多地被作为中中新世的代表,鉴于全国地层委员会(2001)定义山旺阶与布尔迪加尔阶相对比,其年龄值应该在 20.43—15.97 Ma 之间。而新的古地磁和同位素测定,反映山旺组岩石地层单位的底界年龄仅为 18 Ma(邓涛等,2003)。考虑到下/中中新统的界限定在布尔迪加尔阶/兰哥阶之间(Gradstein *et al.*, 2004),年龄值为 15.97 Ma,因此,山旺期孢粉植物群所反映的应该是早中新世晚期特征。在日本,台岛型植物群代表了日本新近纪最温暖时期(Tanai, 1972),分布时限为 17—15 Ma,其间代表温暖气候条件的孢粉类型,如陆均松属(*Dacrydium*)、山核桃属(*Carya*)、栎属(*Quercus*)中的常绿类群、枫香属(*Liquidambar*)和红树林植物花粉大量分布(Yamanoi, 1989; Wang and Yamanoi, 1996),与中新世全球性气候温暖期,及当时相关海洋事件,如日本海的开启、印度尼西亚海洋通道的部分闭合,以及黑潮暖流的形成等相吻合(Wang and Zhou, 1999)。因此,山旺期孢粉植物群与日本台岛型植物群大致同期,代表了我国华北地区新近纪气候适宜期的孢粉组合特征。在层位上,曾被认为是尧山组底部的沉积夹层,也应归在山旺阶中(山东省地质矿产局, 1991),其孢粉面貌(刘耕武,1986)与山旺组的特征相衔接,而不同于与尧山组同时代的巴漏河组孢粉组合(王伟铭等,2002)。因此,尧山组实际上全部由黑褐色厚层玄武岩、粗粒碱性橄榄玄武岩、橄榄钛辉玄武岩及少量辉绿岩组成,不含沉积夹层,其 K-Ar 同位素年龄值约为 4.34 Ma,属上新世(山东省地质矿产局,1991)。

纵观我国新近纪孢粉植物群的变化规律,可以发现早中新世和中中新世以后的孢粉植物群之间存在着明显的差别。在孢粉植物分区上,位于我国西北的内陆孢粉植物区在中中新世以前大致包括贺兰山脉以西、昆仑山脉以北地区;中中新世以后开始向东发展,扩张到现在的内蒙古大部分地区(Wang, 1994)。从内蒙古通古尔期及其后的孢粉组合可以看出,当地的植被已从早中新世时的阔叶林逐渐向

森林草原和草原转变(王伟铭,1990b;王伟铭、张大华,1990;Wang,1996)。在中国西南地区,早中新世时的西南森林孢粉植物区在中中新世以后,逐渐分异出青藏高原和横断山脉两个独立的孢粉植物区(Wang,1994)。在青藏高原孢粉植物区中,裸子植物花粉和被子植物温带成分一般发育,包括部分灌木植物和草本植物花粉(曹流,1982;宋之琛、刘金陵,1982;李文漪、梁玉莲,1983;郑亚惠,1983;黄赐璇、梁玉莲,1983);而在横断山脉森林孢粉植物区中,众多的亚热带植物花粉类型与温带成分共存,同时含有丰富的松科(Pinaceae)花粉(陶君容、孔昭宸,1973;李文漪、吴细芳,1978;李文漪、梁玉莲,1983;宋之琛、钟碧珍,1984;宋之琛,1988)。

中国新近纪孢粉植物群的变迁,是对当时环境变化的响应。在新近纪开始的时候,尤其是在其后的中新世气候最适宜期期间,中国东部地区的孢粉植物群已经受到逐渐盛行的夏季风的影响。其影响范围向西可达青藏高原的东北缘,如临夏剖面在 21.8 Ma 前,植被从稀疏草原转变为森林(施雅风等,1998)。随着青藏高原的逐渐隆起,以及全球性气候变冷的加剧,冬季风开始明显增强,直接导致草原型干旱性植被在内蒙古地区的形成。此外,冬季风的影响在我国华北及邻近地区的新近纪,尤其是上新世孢粉植物群中,也有明显的反映。如在中国东部孢粉植物区系中,草本被子植物花粉和裸子植物松科花粉的含量在上新世的孢粉组合中大量增加(宋之琛等,1999;Wang,2006)。青藏高原孢粉植物区的形成,是高原抬升运动的直接结果;而横断山脉森林孢粉植物区,由于区内地形、气候复杂而拥有多种生境,加上垂直幅度大,上升运动的连续和持久,保留了许多源于不同植物区系的成份,包括一些古老的孑遗植物。此外,由于受到全球性气候变冷和新构造运动所引起地形分异,草本被子植物在中中新世之后开始迅速崛起。其中藜科在中中新世中晚期得以繁盛,与此同时,菊科(Asteraceae)和禾本科(Gramineae)等草本被子植物也开始逐渐发展,并随着新生代气候的进一步恶化和构造运动的加剧,在上新世及其后地层中得以广泛分布(Wang,2004;王伟铭等,2006)。

致谢 本文工作得到国家自然科学基金项目(40730210,40872014)、全国地层委员会中国新近系地层建阶研究项目(批准号:No. 14)和国家重点基础研究发展规划项目(2006CB806400)的资助。

参 考 文 献 (References)

- Aitchison J C, Ali J R, Davis A M, 2008. When and where did India and Asia collide? *Geological Bulletin of China (地质通报)*, **2** (9): 1351—1370 (in Chinese with English abstract).
- Barrett P, 2003. Cooling a continent. *Nature*, **421**: 221—223.
- Berger W H, 1982. Deep-sea stratigraphy; Cenozoic climate steps and the search for Chemo-climatic feedback. In: Einsele G, Seilacher A (eds.), *Cyclic and Event Stratification*. Springer-Verlag, 121—157.
- Böhme M, 2003. The Miocene Climatic Optimum; evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **195**: 389—401.
- Buchardt B, 1978. Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North Sea area. *Nature*, **275**: 121—123.
- Cao Liu (曹流), 1982. Pliocene palynological flora in Disong of Burang, Xizang (Tibet). *Acta Palaeontologica Sinica (古生物学报)*, **21**: 470—483 (in Chinese with English abstract).
- Chiu C S, Li C K, Chiu C T, 1979. The Chinese Neogene; a preliminary review of the mammalian localities and faunas. *Annales Geologiques des Pays Helleniques, Hors Serie*, (1): 263—272.
- Comprehensive Expedition Team to Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica (中国科学院青藏高原综合科学考察队), 1983. *Quaternary Geology in Xizang*. Beijing: Science Press. 1—192 (in Chinese).
- Deng Tao, Hou Su-kuan, Wang Hong-jiang, 2007. The Tunggurian Stage of the continental Miocene in China. *Acta Geologica Sinica (地质学报)*, **81**: 709—721.
- Deng Tao (邓涛), Wang Wei-ming (王伟铭), Yue Le-ping (岳乐平), 2003. Recent advances of the establishment of the Shanwang Stage in the Chinese Neogene. *Vertebrata Palasiatica (古脊椎动物学报)*, **41** (4): 314—323 (in Chinese with English abstract).
- Deng Tao (邓涛), Wang Wei-ming (王伟铭), Yue Le-ping (岳乐平), Zhang Yun-xiang (张云翔), 2004. New advances in the establishment of the Neogene Baode Stage. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, **28** (1): 41—47 (in Chinese with English abstract).
- Deng Tao (邓涛), Wang Wei-ming (王伟铭), Yue Le-ping (岳乐平), 2006. The Xiejian Stage of the continental Miocene Series in China. *Journal of Stratigraphy (地层学杂志)*, **30** (4): 315—322 (in Chinese with English abstract).
- Deng Tao, Wang Xiao-ming, Ni Xi-jun, Liu Li-pin, 2004. Sequence of the Cenozoic mammalian faunas of the Linxia Basin in Gansu, China. *Acta Geologica Sinica (地质学报)*, **78** (1): 8—14.
- Dorf E, 1964. The use of fossil plants in palaeoclimatic interpretation. In: Nairn A E M (ed.), *Problems of Palaeoclimatology*. London: Interscience. 13—30.
- Douglas R G, Savin S M, 1975. Oxygen and carbon isotope analyses of Tertiary and Cretaceous microfossils from Shatsky Rise and other sites in the North Pacific Ocean. *Initial Reports of the*

- Deep Sea Drilling Project, **32**: 509—520.
- Gan Zhen-bo(甘振波), 1982. Sporo-pollen assemblage from the Early Miocene of Wuluogong, North Hebei. Selected Papers for 1st Symposium of Palynological Society of China. Beijing: Science Press. 59—63(in Chinese).
- Gao Hong-shan(高红山), Pan Bao-tian(潘保田), Li Ji-jun(李吉均), Sui Yu-zhu(隋玉柱), 2004. Environment change and uplift of Qinghai-Tibetan Plateau. Journal of Qingdao University(E&T)(青岛大学学报, 工程技术版), **19**(4): 40—47(in Chinese with English abstract).
- Gao You-xi(高由禧), 1984. The formation of climate in China. In: Editing Committee on Natural Geography of China(中国自然地理编委会)(ed.), Natural Geography of China: Climate. Beijing: Science Press. 1—27(in Chinese).
- Garzanti E, Baud A, Mascle G, 1987. Sedimentary record of the northward flight of India and its collision with Eurasia (Ladakh Himalaya, India). Geodinamica Acta, **1**(4/5): 297—312.
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, Bleeker W, Lourens L J, 2004. A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, **27**(2): 83—100.
- Huang Ci-xuan(黄赐璇), Liang Yu-lian(梁玉莲), 1983. Sporo-pollen analysis on the lacustrine deposits in north part of the Northern Xizang Plateau. In: Comprehensive Expedition Team to Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica(中国科学院青藏高原综合科学考察队)(ed.), Quaternary Geology in Xizang. Beijing: Science Press. 153—161(in Chinese).
- Jaeger J J, Courtinot V, Tapponnier P, 1989. Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision. Geology, **17**: 316—319.
- Kennett J P, Hodell D A, 1986. Major events in Neogene oxygen isotopic records. Suid-Afrikaanse Tydskrif Wetenskap, **82**: 497—498.
- Kennett J P, von der Borch C C, 1985. Southwest Pacific Cenozoic paleoceanography. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **XC**: 1493—1517.
- Li Chuan-kui(李传夔), Qiu Zhu-ding(邱铸鼎), Wang Shi-jie(王士阶), 1981. Discussion on Miocene stratigraphy and mammals from Xining Basin, Qinghai. Vertebrata Palasiatica(古脊椎动物学报), **19**(4): 313—320(in Chinese with English abstract).
- Li Chuan-kui(李传夔), Wu Wen-yu(吴文裕), Qiu Zhu-ding(邱铸鼎), 1984. Chinese Neogene: subdivision and correlation. Vertebrata Palasiatica(古脊椎动物学报), **22**(3): 163—178(in Chinese with English abstract).
- Li Wen-yi(李文漪), Liang Yu-lian(梁玉莲), 1983. Sporo-pollen analysis on the lacustrine deposits in Zanda Basin during the Pliocene. In: Comprehensive Expedition Team to Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica(中国科学院青藏高原综合科学考察队)(ed.), Quaternary Geology in Xizang. Beijing: Science Press. 132—144(in Chinese).
- Li Wen-yi(李文漪), Wu Xi-fang(吴细芳), 1978. A palynological investigation on the Late Tertiary and Early Quaternary and its significance in the paleogeographical study in central Yunnan. Acta Geographica Sinica(地质学报), **33**: 142—155(in Chinese with English abstract).
- Liu Geng-Wu(刘耕武), 1986. A Miocene palynological assemblage from the Yaoshan Formation of Shandong Province. Acta Palaeobotanica et Palynologica(古植物学和孢粉学文集), **1**: 65—84(in Chinese with English summary).
- Liu Geng-Wu(刘耕武), 1988. Neogene palynological sequence of Northern China. Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报), **27**(1): 75—90(in Chinese with English summary).
- Liu Xiao-dong(刘晓东), 1999. Influences of Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau uplift on the atmospheric circulation, global climate and environment changes. Plateau Meteorology(高原气象), **18**(3): 321—332(in Chinese with English abstract).
- Matthews R K, Poore R Z, 1980. Tertiary $\delta^{18}\text{O}$ record and glacioeustatic sea-level fluctuations. Geology, **8**: 501—504.
- National Commission on Stratigraphy(全国地层委员会), 2001. Stratigraphic Guide of China and its Explanation (Revised edition). Beijing: Geological Publishing House. 1—59(in Chinese).
- Pan Bao-tian(潘保田), Fang Xiao-min(方小敏), Li Ji-jun(李吉均), Shi Ya-feng(施雅风), Cui Zhi-jiu(崔之久), 1998. Uplift and environmental changes of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau during the Late Cenozoic Period. In: Shi Ya-feng(施雅风), Li Ji-jun(李吉均), Li Bing-yuan(李炳元)(eds.), Uplift and Environmental Changes of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau in the Late Cenozoic. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 373—414(in Chinese).
- Shackleton N J, 1984. Oxygen isotope evidence for Cenozoic climatic change. In: Brenchley P J(ed.), Fossils and Climate. London: John Wiley and Sons Ltd. 27—34.
- Shackleton N J, Opdyke N D, 1977. Oxygen isotope and paleomagnetic evidence for early Northern Hemisphere glaciation. Nature, **270**: 216—219.
- Shackleton N J, Backman J, Zimmerman H, Kent D V, Hall M A, Roberts D G, Schnitker D, Baldauf J G, Desprairies A, Horighausen R, Huddleston P, Keene J B, Kaltenback A J, Krumsiek K A O, Morton A C, Murray J W, Westberg-Smith J, 1984. Oxygen isotope calibration of the onset of ice-rafting and history of glaciation in the North Atlantic region. Nature, **307**: 620—623.
- Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources(山东省地质矿产局), 1991. Geological Report of Ministry of Geology and Mineral Researches, the People's Republic of China — Regional Geology 26: Regional Geological Table of Shandong. Beijing: Geological Publishing House. 191—223(in Chinese).
- Shi Ya-feng(施雅风), Tang Mao-cang(汤懋苍), Ma Yu-zhen(马玉贞), 1998. Linkage between the second uplifting of the Qinghai-Xizang(Tibetan) Plateau and the initiation of the Asian monsoon system. Science in China(series D)(中国科学 D 辑), **28**(3): 263—271(in Chinese).
- Song Zhi-chen(宋之琛), 1988. Late Cenozoic palynoflora from Zhao-tong, Yunnan. Memoirs of Nanjing Institute of Geology and Pa-

- laeontology, Academia Sinica(中国科学院南京地质古生物研究所集刊), **24**:1—27(in Chinese with English abstract).
- Song Zhi-chen(宋之琛), Liu Jin-ling(刘金陵), 1982. The Tertiary spore-pollen assemblages from Namling of Xizang. In: Comprehensive Expedition Team to Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica(中国科学院青藏高原综合科学考察队)(ed.), Palaeontology of Xizang. Beijing: Science Press. 161—182 (in Chinese).
- Song Zhi-chen(宋之琛), Zheng Ya-hui(郑亚惠), Li Man-ying(李曼英), Zhang Yi-yong(张一勇), Wang Wei-ming(王伟铭), Wang Da-ning(王大宁), Zhao Chuan-ben(赵传本), Zhou Shan-fu(周山富), Zhu Zong-hao(朱宗浩), Zhao Ying-niang(赵英娘), 1999. Fossil Spores and Pollen of China, Vol. 1; the Late Cretaceous and Tertiary Spores and Pollen. Beijing: Science Press. 1—910(in Chinese with English summary).
- Song Zhi-chen(宋之琛), Zhong Bi-zhen(钟碧珍), 1984. Tertiary spore-pollen assemblages from Jinggu, Yunnan. Bulletin of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica(中国科学院南京地质古生物研究所丛刊), **8**:1—15(in Chinese with English abstract).
- Sun Xiang-jun, Wang Pin-xian, 2005. How old is the Asian monsoon system? —Palaeobotanical records from China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **222**:181—222.
- Tanai T, Huzioka K, 1967. Climatic implications of Tertiary floras in Japan. Tertiary Correlations and Climatic Changes in the Pacific, 11th Pacific Science Congress, Sendai. 77—87.
- Tanai T, 1972. Tertiary history of vegetation in Japan. In: Graham A(ed.), Floristics and Paleofloristics of Asia and Eastern North America. Amsterdam: Elsevier, 235—255.
- Tao Jun-rong(陶君容), Kong Zhao-chen(孔昭宸), 1973. The fossil florule and spore-pollen assemblage of the Shang-in Coal Series of Erhuan, Yunnan. Acta Botanica Sinica(植物学报), **15**:120—126(in Chinese with English abstract).
- Troedson A L, Riding J B, 2002. Upper Oligocene to Lowermost Miocene strata of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica, stratigraphy, facies analysis, and implications for the glacial history of the Antarctic Peninsula. Journal of Sedimentary Research, **72**(4):510—523.
- Urey H C, 1947. The thermodynamical properties of isotopic substances. Journal of Chemistry Society(London), 562—581.
- Wang Hsian-Tzeng(王宪曾), 1978. On the discovery of late Tertiary spore-pollen assemblage in the Brown-Coal Beds of Tianchen Region and its significance. Journal of Peijing University(北京大学学报), **4**:89—110(in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian, 1984. Progress in late Cenozoic palaeoclimatology of China; a brief review. In: Whyte R O(ed.), The Evolution of the East Asian Environment, vol. 1. Hong Kong: Hong Kong University Press. 165—187.
- Wang Pin-Xian(汪品先), 2009. Global monsoon in a geological perspective. Chinese Science Bulletin(科学通报), **54**(5):535—556(in Chinese).
- Wang Wei-ming(王伟铭). 1990a. Synthetic analyses and climatic comparisons among the Neogene palynofloras of Northern China. Proceeding of the Symposium on Geological and Geochemical Records of Environments and Environmental Changes in China—Environmental Geochemistry and Health (4). Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House. 100—103(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-ming(王伟铭), 1990b. Spore-pollen assemblage from the Miocene Tongguer Formation of Inner Mongolia and its climate. Acta Botanica Sinica(植物学报), **32**(11):901—904(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-ming. 1991. Some major external effects on the successional processes of Cenozoic vegetation in China. In: Jin Yu-gan et al. (eds.), Palaeoecology of China (1). Nanjing: Nanjing University Press. 281—299.
- Wang Wei-ming(王伟铭), 1992. Palynofloristic changes in the Neogene of South China. Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报), **9**(1):81—95(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-Ming, 1994. Paleofloristic and paleoclimatic implications of Neogene palynofloras in China. Review of Palaeobotany and Palynology, **82**(3/4):239—250.
- Wang Wei-Ming, 1996. On the origin and development of steppe vegetation in China. Palaeobotanist, **45**:447—456.
- Wang Wei-Ming, 2004. On the origin and development of Artemisia (Asteraceae) in the geological past. Botanical Journal of the Linnean Society, **145**(3):331—336.
- Wang Wei-Ming, 2006. Correlation of pollen sequences in the Neogene palynofloristic regions of China. Palaeoworld, **15**:77—99.
- Wang Wei-ming(王伟铭), Deng Tao(邓涛), 2005. A general introduction to recent advance in Neogene studies. Journal of Stratigraphy(地层学杂志), **29**(2):104—108(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-ming(王伟铭), Deng Tao(邓涛), 2009. Palynoflora from the stratotype section of the Neogene Xiejian Stage and its significance. Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报), **48**(1):1—8(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-ming(王伟铭), Zhang Da-hua(张大华), 1990. Tertiary spore-pollen assemblages from the Shangdou-Huade Basin, Inner Mongolia—with discussion on the formation of steppe vegetation in China. Acta Micropalaeontologica Sinica(微体古生物学报), **7**(3):239—252(in Chinese with English abstract).
- Wang Wei-Ming, Yamanoi T, 1996. New data on Miocene pollen floras of the Oga Peninsula, Northeast Honshu of Japan, with comparison to those of Northern China. Japanese Journal of Palynology, **42**(1):1—13.
- Wang Wei-ing, Zhou Xiao-Dan, 1999. Biotic changes in some areas of East Asia associated responses to Neogene evolution of Pacific Ocean gateways. In: Nishimura S, Tsuchi R(eds.), Proceedings of Sixth International Conference on Pacific Neogene Stratigraphy and IGCP-355. Kyoto: Kyoto Institute of Natural History. 6—14.
- Wang Wei-ming(王伟铭), Chen Wei(陈炜), Shu Jun-wu(舒军武), 2006. Evolution of some representative angiospermous xe-

- rophytes in the Cenozoic of China. *In*: Rong Jia-yu(戎嘉余), Fang Zong-jie(方宗杰), Zhou Zhong-he(周忠和), Zhan Ren-bin(詹仁斌), Wang Xiang-dong(王向东), Yuan Xun-lai(袁训来)(eds.), *Originations, Radiations and Biodiversity Changes—Evidences from the Chinese Fossil Record*. Beijing: Science Press. 769—781, 955—957 (in Chinese with English summary).
- Wang Wei-ming(王伟铭), Li Jing-rong(李经荣), Wang Jing-dong(王京东), He Zhen-jian(贺振健), 2002. Palynological assemblage from Pliocene Zhangqiu Formation of Shandong, and its stratigraphical significance. *Acta Palaeontologica Sinica(古生物学报)*, **41**(1): 72—76(in Chinese with English abstract).
- Wolfe J A, Hopkins D M, 1967. Climatic changes recorded by Tertiary land floras in northwestern North America. *Tertiary Correlations and Climatic Changes in the Pacific, 11th Pacific Science Congress, Sendai*. 67—76.
- Woodruff F, Savin S M, Douglas R G, 1981. Miocene stable isotope record: a detailed deep Pacific Ocean study and its paleoclimatic implications. *Science*, **203**: 455—456.
- Wu Zheng-yi(吴征镒), 1980. Vegetation of China. Beijing: Science Press. 1—1375(in Chinese).
- Xing Jia-ming(邢嘉明), 1980. General introduction on the development of Physiognomy in China. *In*: Editing Committee on Natural Geography of China(中国自然地理编委会)(ed.), *Natural Geography of China; Physiognomy*. Beijing: Science Press. 366—382(in Chinese).
- Yamanoi T, 1989. Neogene palynological zones and events in Japan. *In*: Liu G W, Tsuchi R, Lin Q B(eds), *Proceeding of International Symposium on Pacific Neogene Continental and Marine Events*. Nanjing: Nanjing University Press. 83—90.
- Zachos J, Pagani M, Sloan L, Thomas E, Billups K, 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, **292**: 686—693.
- Zhang Lin-yuan, 1984. Quaternary ice age and evolution of monsoon in China. Special Issue on Evolution of Mountain Glaciers and the Quaternary Glaciation, *Journal of Lanzhou University(兰州大学学报)*, Special Issue, 30—34.
- Zhang Lin-yuan, 1989. Some special geomorphic processes of the monsoon area in East China. *Catena*, **16**: 121—134.
- Zheng Du(郑度), Yao Tan-dong(姚檀栋), 2006. Uplifting of Tibetan Plateau with its environmental effects. *Advances in Earth Science(地球科学进展)*, **21**(5): 451—458 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Ya-hui(郑亚惠), 1983. Sporo-pollen analysis of the Wuoma Formation of the Gyirong Basin. *In*: Comprehensive Expedition Team to Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica(中国科学院青藏高原综合科学考察队)(ed.), *Quaternary Geology in Xizang*. Beijing: Science Press. 145—152(in Chinese).

NEOGENE POLLEN FLORAS IN CHINA WITH REGIONAL ORIENTATION AND ENVIRONMENT RESPONSE

WANG Wei-ming¹⁾, SHU Jun-wu¹⁾ and DENG Tao²⁾

1) Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China, wmwang@nigpas.ac.cn;

2) Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044

Key words Pollen floras, paleoenvironment, regional comparison, stratigraphic division, Neogene

Abstract

Changes in the Neogene pollen floras of China were closely related to global and regional changes in climate and environment, which resulted in the formation of the distribution pattern of modern floras. It was due to the complexity of the Neogene environment changes that floras in various regions displayed great differences. Various controlling factors are considered in comparing the pollen floras and discussing the rule on the floral diversification. This paper summarizes the major Neogene

ocean and climate events, together with some regional tectonic activities and environment changes. Regional orientation in the Neogene pollen floras is proposed in combination with the recent advance on establishing the Neogene stages in China. Some integrated changing rules for pollen floras and their environment response are also discussed. Pollen data show that floras in East China had already been affected by the ever increasing summer monsoon in early Neogene, especially during the Miocene Climatic Optimum. With the gradual uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, and the intensification of global cooling from middle Miocene,

winter monsoon began to prevail, resulting in the formation of steppe in the Inner Mongolia area. This influence is more notable in the Pliocene pollen floras of North China and adjacent regions. The uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau led directly to the formation of the Qinghai-Xizang

palynofloristic region. Meanwhile, pollen flora in the Hengduan Mountains area became an independent palynofloristic region with diverse plant types as a result of complex topographic and climatic conditions.