

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.142>



抚顺盆地中-晚始新世古植被与古气候

韦一¹, 杨兵^{2*}, 夏浩东², 邓会娟²

1. 华北科技学院安全工程学院, 河北廊坊 065201

2. 自然资源实物地质资料中心, 河北廊坊 065201

摘要: 为重建东北地区中-晚始新世古气候, 对抚顺盆地孢粉进行传统鉴定, 利用有序聚类分析划分孢粉组合, 结合共存分析法对孢粉组合定量化以建立研究区的古气候参数值. 鉴定出孢粉 67 属, 划分出 (I) *Quercoidites-Tricolpopollenites-Betulaceoipollenites* 组合; (II) *Piceapollis-Tiliaepollenites-Chenopodipollis* 组合; (III) *Quercoidites-Betulaceoipollenites-Ulmipollenites* 组合; (IV) *Pinuspollenites-Abietinaepollenites-Ephedripites* 组合; (V) *Betulaceoipollenites-Taxodiaceapollenites-Quercoidites* 组合, 其中组合 I、II、III 时代为中始新世; 组合 IV、V 时代为晚始新世. 植被类型也经历了: 落叶阔叶林-草原型植被→针阔叶混交林-草原型植被→落叶阔叶林-草原型植被→针叶林→针阔叶混交林. 气候带经历了由亚热带、亚热带-温带湿润性气候向温带半湿润性气候的转变, 年均温和年降雨量均呈降低的趋势, 这些变化趋势与全球温度变化趋势相耦合.

关键词: 抚顺盆地; 始新世; 孢粉组合; 古气候; 共存分析法; 环境地质.

中图分类号: P52

文章编号: 1000-2383(2021)05-1848-14

收稿日期: 2020-06-15

Paleovegetation and Paleoclimate during Mid-Late Eocene in Fushun Basin

Wei Yi¹, Yang Bing^{2*}, Xia Haodong², Deng Huijuan²

1. School of Safety Engineering, North China Institute of Science and Technology, Langfang 065201, China

2. Cores and Samples Centre of Natural Resources, Langfang 065201, China

Abstract: For rebuilding the paleoclimate during Mid-Late Eocene in Northeast China, it analyzes the palynological characteristics in Fushun basin. Combining coniss analysis with co-existence approach, it quantitatively reconstructs the paleoclimate parameters in research area. 67 genera are identified and divided into 5 assemblages as: (I) *Quercoidites-Tricolpopollenites-Betulaceoipollenites* Assemblage; (II) *Piceapollis-Tiliaepollenites-Chenopodipollis* Assemblage; (III) *Quercoidites-Betulaceoipollenites-Ulmipollenites* Assemblage; (IV) *Pinuspollenites-Abietinaepollenites-Ephedripites* Assemblage; (V) *Betulaceoipollenites-Taxodiaceapollenites-Quercoidites* Assemblage. The age of assemblages I, II, III belongs to Middle Eocene, and the age of assemblages IV, V belongs to Late Eocene. The vegetation types of the basin experienced the transformation as deciduous broadleaf forest-steppe type vegetation→coniferous and broadleaf mixed forest-steppe type vegetation→deciduous broadleaf forest-steppe type vegetation→coniferous forest→coniferous broadleaf mixed forest. The climatic zone changed from subtropical-temperate to temperate, the humidity changed from humid to semi-humid, and the average annual moderate and annual average rainfall decreased. This trend is coupled with the global temperature trend.

Key words: Fushun basin; Eocene; sporopollen assemblage; paleoclimate; co-existence approach; environmental geology.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 41702366); 中央高校基本科研业务费项目 (Nos. 3142018004, 3142018025).

作者简介: 韦一 (1989-), 女, 讲师, 博士, 主要从事新生代微体古生物研究. ORCID: 0000-0003-2568-2186. E-mail: ostracods@126.com

***通讯作者:** 杨兵, ORCID: 0000-0002-8088-2247. E-mail: yangbing0932@126.com

引用格式: 韦一, 杨兵, 夏浩东, 等, 2021. 抚顺盆地中-晚始新世古植被与古气候. 地球科学, 46(5):1848-1861.

始新世全球古气候变化一直是一个热点话题,该期间,由早始新世的气候最适宜期(EECO),到中始新世气候最佳期(MECO),再到中/晚始新世气候变冷事件(MLEC),最后到始新世/渐新世之交的Oil-1事件(Zachos *et al.*, 2001; 苗运法等, 2008),地球气候系统一直发生着显著的变化. 这些事件与我国当时的古气候的变化有着密切的联系. 抚顺盆地是中国东北地区新生代盆地中地层发育较全的盆地,尤其以始新统最为突出,记录了该时期健全的地质信息. 对抚顺盆地始新世古气候的研究,不仅能恢复该时期东北地区的古气候,也能对全球古气候变化的研究提供重要的背景信息.

植被能随气候及生长地区的纬度、高度变化而发生快速的更替和迁移,所以植物历来有自动“温度计”之称(王伟铭和张大华, 1990),对环境变化的研究有着重要的意义. 已有前人鉴定地层中孢粉种类,确定孢粉组合,再利用孢粉组合来恢复其母体植物群(王晓梅等, 2005). 故研究地层中的孢粉组合是恢复古气候的有效手段.

目前,前人从各方面对抚顺盆地的孢粉做了大量工作. 早期洪友崇等(1974)对抚顺盆地煤田地层的生物群做了综述性研究,对地层进行了划分和地质时代的确定;宋之琛和曹流(1976)对抚顺盆地早第三纪下部玄武岩凝灰岩夹B组煤层中孢粉组合进行了研究,确定其年代为古新世;曲淑琴(1993)对抚顺盆地耿家街组孢粉组合年代进行了研究,确定其地质年代

为始新世中晚期,并确定了其植被类型和古气候特征;车启鹏等(1994)对抚顺盆地西露天组孢粉年代进行了研究,并确定其年代为中晚始新世;史冀忠等(2008)对抚顺盆地孢粉组合及古气候进行了定量研究. 然而前人的研究大多针对某一方面进行研究,缺乏综合性研究或新方法的使用,在各地质单元的地质年代的确定也有着或多或少的差别. 而史冀忠等(2008)虽然对孢粉组合进行了定量分析,重建了抚顺盆地的古气候,但其仅将抚顺盆地孢粉作为一个组合来研究,在精度上略显不足,此外,还缺少对耿家街组的研究. 本文通过对抚顺盆地计军屯组、西露天组、耿家街组的孢粉组合进行了精确划分,确定其地质年代,并通过传统分析手段和定量法——共存分析法(the co-existence approach)定量化的建立研究区的古气候参数值,进而恢复该地区的古环境. 并通过对比不同纬度气候参数来探讨该时期全国古气候特点以及全球温度变化在东北地区的响应.

1 地质背景

抚顺盆地位于辽宁省抚顺市南部,盆地南部为连绵起伏的丘陵地带,北部为浑河,东部为东洲河,西部为古城子河,东西长为19 km,南北宽为4 km,总面积为76 km²(图1). 地处郯庐断裂带北延分支—敦密断裂带西端,是我国重要的煤炭和油页岩工业基地.

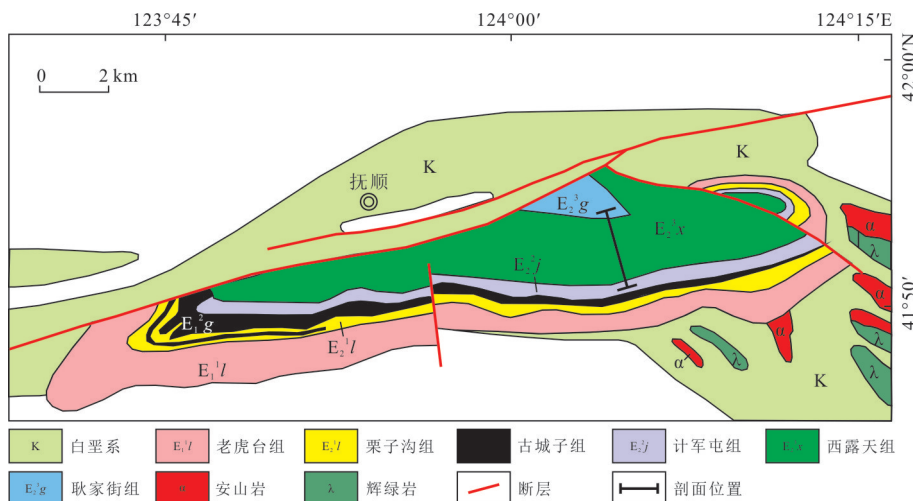


图1 抚顺盆地地质简图

Fig.1 Geological sketch of Fushun basin

东露天剖面位于抚顺市东部约 5 km 的东露天煤矿矿坑内,自下而上分别为:土城子组、计军屯组、西露天组、耿家街组,其中古城子组仅出露少量煤层,未计入厚度统计.计军屯组(0~87.7 m),主要岩性为深灰色、灰褐色炭质页岩,夹少量油页岩和泥岩;西露天组(87.7~168.3 m),其下部为灰绿色泥岩夹少量浅灰白色泥灰岩条带的岩石组合,上部为灰绿色泥岩夹青灰色、棕色页岩的岩石组合.岩石中常见有腹足类、双壳类以及介形类化石.该组以出露灰绿色岩系为主要特征.耿家街组(168.3~215.3 m 未见顶),主要岩性为黑色泥岩和黑色页岩的岩石组合,页岩中常见有植物化石碎屑.

2 孢粉组合

抚顺始新世计军屯组、西露天组和耿家街组

地层孢粉样品共分析 16 块,共发现并鉴定出植物孢粉 67 个属(图 2).其中,裸子植物花粉有 13 属,被子(木本)植物花粉有 28 种,被子(草本)植物花粉有 20 属,蕨类植物孢子有 6 属.此外还见有藻类植物有 1 属:盘星藻(*Pediastrum*).

根据镜下孢粉鉴定统计分析结果,按照植物的生态类型特征进行归纳整理,选取主要和典型代表性 38 个植物孢粉种类以及 5 个综合指标(裸子植物、被子植物(木本)、被子植物(草本)、蕨类植物和孢粉总浓度)以及盘星藻等,运用孢粉专业作图软件(Tilia)作出孢粉百分比含量图式,并根据有序聚类分析(Coniss)结果,将 16 个孢粉样品划分为 5 个孢粉组合(图 3),各孢粉组合特征所反映的植被类型分述如下:

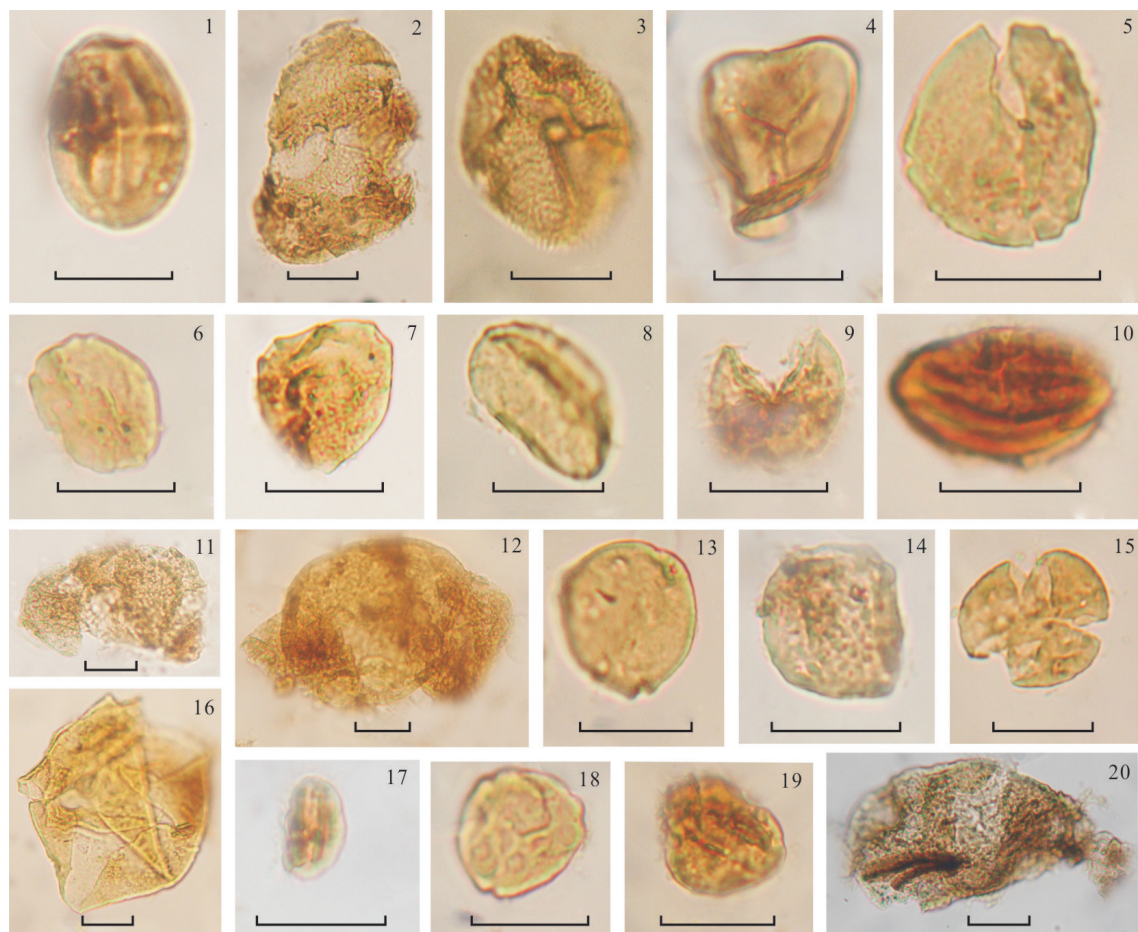


图 2 抚顺盆地东露天剖面中-晚始新世部分典型孢粉

Fig.2 Major representatives of spore and pollen of Donglutan section in Fushun basin through the Mid-Late Eocene
1.*Rutaceoipollis*; 2.*Abietinaepollenites*; 3.*Tiliaepollenites*; 4.*Deltoidospora*; 5.*Ostryoipollenites*; 6.*Juglanspollenites*; 7.*Betulaceoipollenites*; 8.*Polypodiaceasporites*; 9.*Taxodiaceapollenites*; 10. *Labitricolpites*; 11.*Pinuspollenites*; 12.*Abiespollenites*; 13.*Carpinipites*; 14.*Ulmipollenites*; 15.*Tricolporopollenites*; 16.*Laricoidites*; 17.*Cupuliferoipollenites*; 18.*Momipites*; 19.*Quercoidites*; 20.*Piceapollis*(图中比例尺=20 μm)

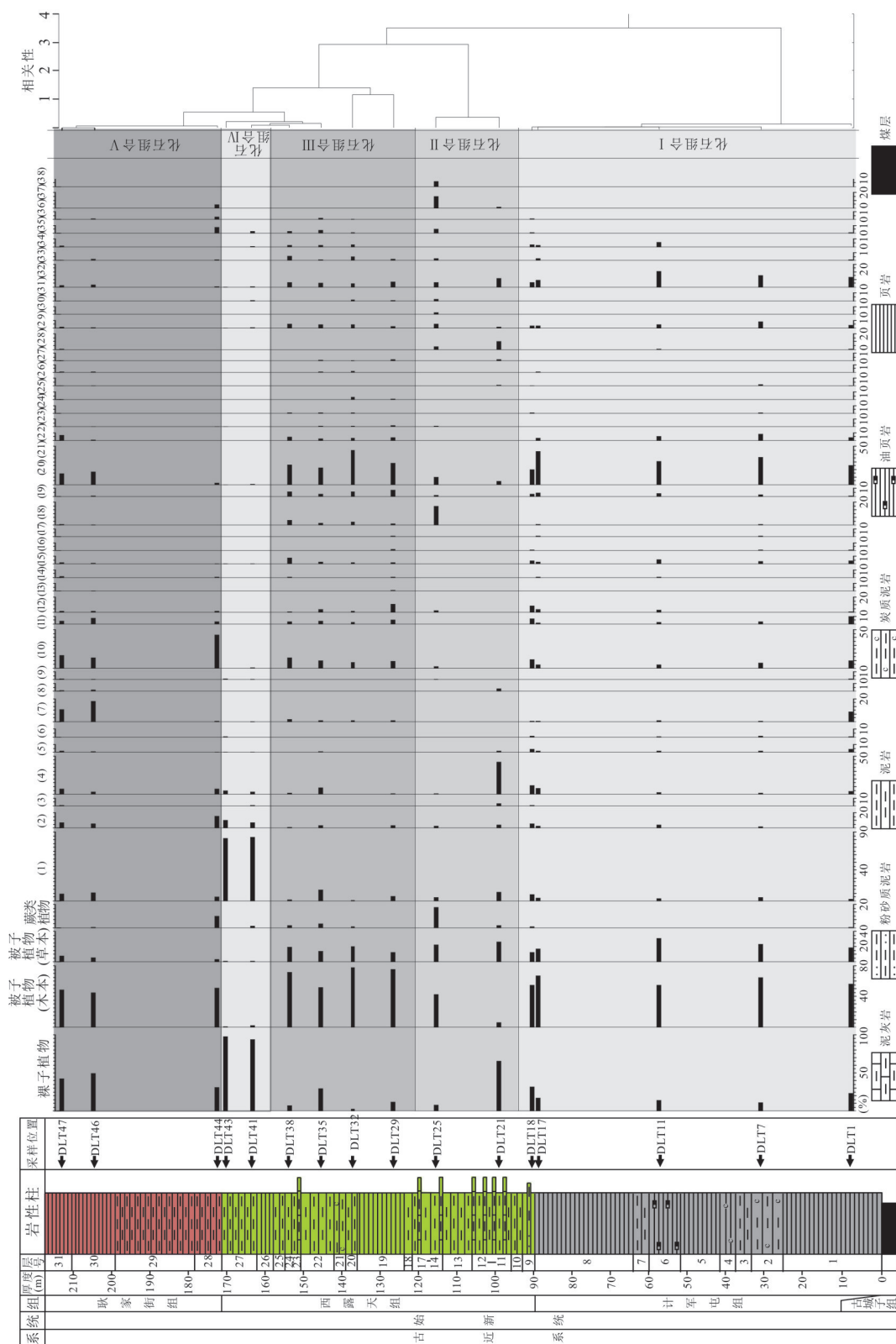


图 3 抚顺盆地东露天剖面中-晚始新世重要孢粉垂直向分布

Fig. 3 Vertical distribution of major representatives of spore and pollen of Donglutan section in Fushun basin through the Mid-Late Eocene

裸子植物: (1) *Pinuspollenites*; (2) *Abietinaepollenites*; (3) *Podocarpidites*; (4) *Piceapollites*; (5) *Abiespollenites*; (6) *Keteleeris*; (7) *Taxodiaceapollenites*; (8) *Inaperturopollenites*; (9) *Ephedripterites*; 被子植物(木本): (10) *Betulaceoipollenites*; (11) *Carpinipites*; (12) *Ostryoipollenites*; (13) *Tripopollenites*; (14) *Alnipollenites*; (15) *Juglanspollenites*; (16) *Momipites*; (17) *Caryapollenites*; (18) *Tiliaepollenites*; (19) *Ulmipollenites*; (20) *Quercoidites*; (21) *Cupuliferopollenites*; (22) *Elaeangnacites*; (23) *Pokrovskaja*; (24) *Euphorbiacites*; (25) *Rutaceoipollenites*; 被子植物(草本): (26) *Graminidites*; (27) *Artemisiaepollenites*; (28) *Chenopodiipollis*; (29) *Labiricoidipollis*; (30) *Persicarioipollis*; (31) *Lilipollis*; (32) *Tricolpopollenites*; (33) *Tricolpites*; (34) *Tricolporopollenites*; 蕨类植物: (35) *Deltoidospora*; (36) *Polypodiaceasporites*; (37) *Lygodiumsporites*; (38) *Toroisporis*

2.1 组合 I: *Quercoidites* - *Tricolpopollenites* - *Betulaceoipollenites* 组合

孢粉组合 I 位于第 1 层至第 9 层底部 (0~90.7 m), 其中前 8 层属于计军屯组, 第 9 层属于西露天组底部. 该组合孢粉较丰富, 以被子植物 (木本) (54.9%~66.9%, 平均值为 59.7%) 和被子植物 (草本) (12.2%~31.2%, 平均值为 20.5%) 占绝对优势, 其次为裸子植物 (11.4%~31.7%, 平均值为 19.5%), 蕨类植物较少. 裸子植物花粉中各属含量均不高, 其中以 *Piceapollis* (1.6%~11.6%, 平均值为 5.4%), *Pinuspollenites* (2.3%~8.5%, 平均值为 4.3%), *Taxodiaceapollenites* (0.6%~13.2%, 平均值为 3.4%) 占前三; 被子植物花粉 (木本) 中 *Quercoidites* (19.5%~43.4%, 平均值为 30.8%) 占绝对优势, *Betulaceoipollenites* (4.3%~11.0%, 平均值为 7.2%) 次之, 但优势不大, 其余花粉含量较少, 且较为均一; 被子植物花粉 (草本) 主要有: *Tricolpopollenites* (6.1%~20.3%, 平均值为 12.7%), *Labitricolpites* (2.9%~8.1%, 平均值为 4.4%) *Tricolporopollenites* (0.0%~5.8%, 平均值为 2.2%), *Tricolpites* (0.0%~2.2%, 平均值为 0.5%). 该组合中被子植物 (草本) 所占比例大, 裸子植物较少, 且 *Quercoidites* 占有绝对优势等特征, 与车启鹏等 (1994) 在该地区计军屯组所划分的 *Quercoidites microhenrici* - *Momipites* 亚组合特征相似.

2.2 组合 II: *Piceapollis* - *Tiliaepollenites* - *Chenopodipollis* 组合

孢粉组合 II 位于第 10 层至第 14 层 (90.7~111 m), 位于西露天组下部. 孢粉组合中仍以被子植物 (木本) (5.8%~42.7%, 平均值为 24.2%) 和被子植物 (草本) (22.4%~26.1%, 平均值为 24.2%) 占优势. 其次为裸子植物 (7.7%~65.2%, 平均值为 36.5%) 和蕨类植物 (2.9%~26.6%, 平均值为 14.7%). 裸子植物中 *Piceapollis* (0.7%~42.0%, 平均值为 21.4%) 和 *Pinuspollenites* (4.2%~11.6%, 平均值为 7.9%) 占优势, 其余属含量较少, 且较为均一; 被子植物 (木本) 中 *Tiliaepollenites* (0.0%~24.5%, 平均值为 12.2%) 和 *Quercoidites* (4.3%~9.8%, 平均值为 7.1%) 含量明显高于其他属; 被子植物 (草本) 中 *Tricolpopollenites* (6.3%~11.6%, 平均值为 8.9%) 和 *Chenopodipollis* (3.5%~10.1%, 平均值为 6.8%), 含量明显高于其他属; 蕨类植物主要有: *Lygodium*-

sporites (1.4%~14.7%, 平均值为 8.1%) 和 *Toroisporis* (0.0%~7.0%, 平均值为 3.5%), *Deltoidospora* (0.0%~4.9%, 平均值为 2.4%).

2.3 组合 III: *Quercoidites* - *Betulaceoipollenites* - *Ulmipollenites* 组合

孢粉组合 III 位于第 15 层至第 24 层 (111~151.5 m), 位于西露天组中上部. 孢粉组合以被子植物 (木本) (52.1%~77.4%, 平均值为 69.1%) 和被子植物 (草本) (12.6%~20.3%, 平均值为 16.6%) 占绝大多数, 其次为裸子植物 (2.4%~29.4%, 平均值为 12.6%), 还有少量蕨类植物 (0.0%~5.0%, 平均值为 2.2%). 裸子植物中 *Pinuspollenites* (0.9%~14.3%, 平均值为 5.7%) 含量略高, 其他属种较少, 且较为均一; 被子植物 (木本) 中 *Quercoidites* (21.8%~44.8%, 平均值为 30.1%) 占绝对优势, *Betulaceoipollenites* (7.5%~13.8%, 平均值为 10.1%) 次之, 其他属含量较少, 且较为均一; 被子植物 (草本) 中各属含量均处于较低水平, 其中 *Tricolpopollenites* (4.7%~7.0%, 平均值为 5.8%) 含量略微高; 蕨类植物主要有: *Deltoidospora* (0.0%~3.4%, 平均值为 1.7%), *Polypodiaceasporites* (0.0%~1.7%, 平均值为 0.5%).

2.4 组合 IV: *Pinuspollenites* - *Abietinaepollenites* - *Ephedripites* 组合

孢粉组合 IV 位于第 25 层至第 27 层 (151.5~168.3 m), 位于西露天组顶部. 孢粉组合以裸子植物 (93.7%~97.4%, 平均值为 95.6%) 占绝对优势, 其次为被子植物 (木本) (0.7%~2.1%, 平均值为 1.4%)、被子植物 (草本) (0.9%~1.4%, 平均值为 1.2%) 和蕨类植物 (0.0%~2.1%, 平均值为 1.1%). 以裸子植物中 *Pinuspollenites* (81.8%~82.9%, 平均值为 82.4%) 占绝对优势为主要标志. 此外 *Abietinaepollenites* (7.0%~10.3%, 平均值为 8.6%) 含量也略微较高.

2.5 组合 V: *Betulaceoipollenites* - *Taxodiaceapollenites* - *Quercoidites* 组合

孢粉组合 IV 位于第 28 层至第 31 层 (168.3~215.3 m), 属于耿家街组. 孢粉组合以被子植物占优势, 其中被子植物 (木本) (44.5%~51.3%, 平均值为 48.2%) 和被子植物 (草本) (3.6%~8.1%, 平均值为 5.8%), 其次裸子植物 (30.7%~48.9%, 平均值为 40.8%), 蕨类植物 (0.0%~14.6%, 平均值为 5.1%) 相对较少, 裸子植物中 *Taxodiaceapollenites*

(0.6%~26.8%, 平均值为 14.5%), *Abietinaepollenites* (5.7%~15.8%, 平均值为 9.5%), *Pinuspollenites* (5.4%~10.7%, 平均值为 8.3%) 三属占裸子植物 80% 以上; 被子植物(木本)中以 *Betulaceoipollenites* (13.9%~43.3%, 平均值为 24.6%) 占绝对优势, *Quercoidites* (2.4%~16.7%, 平均值为 11.2%) 含量次之, 其他属含量较低, 均不超过 5%; 被子植物(草本)属较少, 且各属平均含量均小于 2%。蕨类植物各属也处于较低的水平。该组合与西露天组的组合 IV 有个明显的区别在于, 组合 V 中 *Betulaceoipollenites* 孢粉明显增加。该特征与曲淑琴(1993)在该地区耿家街组建立的孢粉组合相似。

3 地质年代

抚顺盆地东露天剖面出现大量 *Ulmipollenites*, *Quercoidites*, 而 *Ulmipollenites*, *Quercoidites* 孢粉的大比例出现为始新世孢粉面貌的显著特征(王晓梅等, 2005; 夏雪飞等, 2015)。此外, 中国北方渐新世大量出现的干旱型分子 *Ephedripites* 在本剖面孢粉组合中含量极少(王晓梅等, 2005), 且耐寒的铁杉粉也未出现, 不具备中国北方渐新世的孢粉面貌特征。因此, 可以初步将其地质时代定为始新世。

据宋之琛和刘耕武(1982)总结我国早始新世与中始新世孢粉变化趋势得出的结论是: 始新世开始孢粉组合中三沟及三孔沟类型逐渐增多, 具孔类退居次位, 一些古老类型渐次绝灭。早始新世组合中具孔型分子尚有一定数量的古老分子, 中始新世以三沟和三孔沟类型占优势, 古老分子缺乏, 具孔分子很少和具气囊花粉极少为特征。而在东露天剖面的孢粉组合中缺乏古老分子, 如 *Normapollis*, *Aquilapollenites*, *Schizaeoisporites* 等, 甚至连早始新世繁盛的 *Pentapollenites* 也未见。此外, 在东露天剖面各个孢粉组合中, 尤其是在底部孢粉组合 I 中 *Tricolpopollenites* (6.1%~20.3%, 平均值为 12.7%) 和 *Tricolporopollenites* (0.05%~5.8%, 平均值为 2.2%) 占有相当大的比例, 与中新世孢粉特征相似。因此, 可以排除剖面底部孢粉组合时代为早始新世的可能, 将其下限时代定为中始新世。

在中始新世和晚始新世孢粉面貌对比方面, 谢金有等(2012)通过对北部湾盆地中始新世流沙港组二段 *Quercoidites-Ulmipollenites-Pentapollenites* 组合和晚始新世流沙港组一段 *Quercoidites-Leiotriletes-Granodiscus granulatus* 组合研究表明,

中始新世是以 *Ulmipollenites*, *Quercoidites*, *Alnipollenites* 的大量出现和 *Pentapollenites* 的消失为特征。而在晚始新世 *Quercoidites* 含量虽然还占据较高的比例, 但是相对于中始新世下降幅度较大(谢金有等, 2012)。在东露天剖面孢粉组合 I 至组合 III 中 *Ulmipollenites*, *Quercoidites* 均占有主导地位, *Alnipollenites* 也占有一定比例, 未见有 *Pentapollenites*。而在组合 IV 中, *Quercoidites* 含量明显的下降, *Ulmipollenites* 几乎消失, 指示了温度上升的趋势。该变化趋势与北部湾盆地中始新世流沙港组二段至一段的孢粉面貌变化趋势完全吻合。该特征也与黑龙江依兰达连河组 *Quercoidites-Taxodiaceapollenites* 组合和 *Quercoidites-Cupuliferoipollenites* 组合相似(刘牧灵, 1990)。此外, 姚益民等(1994)将渤海湾盆地始新世孢粉分为 5 个组合, 由下到上分别是: *Ulmoideipites - Momipites - Podocarpidites* 组合、*Ephedripites - Ulmipollenites minor - Rhoipites - Schizaeoisporites* 组合、*Ephedripites - Taxodiaceapollenites - Ulmoideipites tricostatus* 组合、*Quercoidites microhenrici-Ulmipollenites minor* 组合、*Taxodiaceapollenites elongatus-Alnipollenites-Polypodiaceasporites* 组合。其中下部两个组合中含有 *Schizaeoisporites*, *Aquilapollenites* 等古老分子, 其时代为早始新世, 且其面貌与研究区孢粉组合不符。而 *Ephedripites - Taxodiaceapollenites - Ulmoideipites tricostatus* 组合中被子植物占优势, 裸子植物次之, 蕨类较少, 其中被子植物中以 *Quercoidites* 和 *Ulmipollenites* 为主, 且前者含量大大高于后者, 热带-亚热带分子含量增多。该特征与研究区组合 I、组合 II 相似。*Quercoidites microhenrici-Ulmipollenites minor* 组合中被子植物占优势, 裸子植物次之, 蕨类很少, *Quercoidites* 为优势属, 并达到古近纪第一个峰值, *Ulmipollenites* 相对较少, *Tiliaepollenites* 连续出现, 草本植物含量较高等特征与研究区组合 III 类似。*Taxodiaceapollenites elongatus - Alnipollenites - Polypodiaceasporites* 组合与下部 4 个组合明显的区别是 *Taxodiaceapollenites* 含量明显增高。该特征也适合于研究区的孢粉组合 V, 该组合中 *Taxodiaceapollenites* 含量由组合 I、II、III、IV 中平均值小于 3.4% 剧增到平均值为 14.5%。由此可见, 渤海湾盆地始新世中一晚期 3 个孢粉组合大体可以与研究区孢粉组合对比(表 1)。值得注意的是, 研究区孢粉组合 IV 中, *Quercoidites* 和 *Ulmipollenites*

表 1 抚顺盆地东露天剖面孢粉组合与黑龙江依兰达连河组、百色盆地、渤海湾盆地孢粉组合对比

Table 1 Comparison of spore and pollen assemble among Donglutan section in Fushun basin, Yilandalianhe Formation in Heilongjiang Province, Baise basin and Bohai bay basin

时代	本文	黑龙江依兰盆地 (刘牧灵,1990)	海南省北部湾盆地 (谢金有等,2012)	渤海湾盆地 (姚益民等,1994)
晚始新世	<i>Betulaceoipollenites</i> - <i>Taxodiaceapollenites</i> - <i>Quercoidites</i> 组合	<i>Quercoidites</i> - <i>Cupuliferoipol-</i> <i>lenites</i> 组合	<i>Quercoidites</i> - <i>Leiotriletes</i> - <i>Granodiscus granulatus</i> 组合	<i>Taxodiaceapollenites elongatus</i> - <i>Alnipollenites</i> - <i>Polypodiaceasporites</i> 组合
	<i>Pinuspollenites</i> - <i>Abietinaepollenites</i> - <i>Ephedripites</i> 组合			?
	<i>Quercoidites</i> - <i>Betulaceoipollenites</i> - <i>Ulmipollenites</i> 组合			<i>Quercoidites microhenrici</i> - <i>Ulmipollenites minor</i> 组合
	<i>Piceapollis</i> - <i>Tiliaepollenites</i> - <i>Chenopodipollis</i> 组合	<i>Quercoidites</i> - <i>Taxodiaceapol-</i> <i>lenites</i> 组合	<i>Quercoidites</i> - <i>Ulmipollenites</i> - <i>Pentapollenites</i> 组合	<i>Ephedripites</i> - <i>Taxodiaceapollenites</i> - <i>Ulmoideipites tricostatus</i> 组合
中始新世	<i>Quercoidites</i> - <i>Tricolpopollenites</i> - <i>Betulaceoipollenites</i> 组合			

pollenites 含量明显下降等特点与黑龙江依兰盆地达连河组 *Quercoidites*-*Cupuliferoipollenites* 组合及海南省北部湾盆地 *Quercoidites* - *Leiotriletes* - *Granodiscus granulatus* 组合特征明显相似,但在渤海湾盆地同时代孢粉组合中未见该特征。

综上所述而言,可以将东露天剖面组合 I、组合 II、组合 III 划为中始新世,组合 IV 和组合 V 可划为晚始新世(表 1)。

4 古植被与古环境恢复

本次通过定性和定量两种方法对古环境进行分析,其中定性分析法主要分析孢粉植物的生态类型因素来重建该地区古植被类型,以恢复古环境;而定量分析法主要通过共存分析法(the co-existence approach; Mosbrugger and Utescher, 1997; 徐景先等,2000)量化的建立研究区的古气候参数值,来恢复该地区的古环境。

4.1 定性分析法

为恢复古植被并推论古气候,依据孢粉母体植物的生态属性(寇香玉,2005;刘林敬等,2018;刘森等,2019),将孢粉分为 5 个生态类型进行统计,包括:针叶/阔叶/草本比值、热带—亚热带植物/温带(包括温带—亚热带)植物比

值、喜湿植物/中生植物/耐旱植物比值、蕨类植被孢粉含量、物种分异度(图 4)。根据孢粉组合特征可以将本剖面分为 5 个气候期:

4.1.1 气候期 I(对应于 *Quercoidites* - *Tricolpopollenites* - *Betulaceoipollenites* 组合) 该期间,木本被子植物所占的比例较大,其中以 *Quercoidites*, *Betulaceoipollenites*, *Carpinipite*, *Juglanspollenites*, *Cupuliferoipollenites* 为主的落叶阔叶树占有主导地位。以 *Tricolpopollenites*, *Labitricolpites* 为主的草本植物和以 *Taxodiaceapollenites*, *Piceapollis* 为主的针叶树也占有一定比例。但总体而言,后二者所占比例总和小于落叶阔叶树所占比例。此外,在该组合中,以 *Tricolpopollenites*, *Quercoidites*, *Taxodiaceapollenites* 为代表的热带—亚热带、亚热带—温带分子占有主导地位,单纯温带属性的分子所占比例不多,所以从气温方面来看,该时期气候略偏热。从干湿属性来看,该组合中以中生性分子为主体,约占总含量的 65%~80%,喜湿性分子也占有一定比例,约占 20%~33%,干旱性分子占有比例较少。从沉积方面来讲,该组合所在的计军屯组主要岩性为深灰色、灰褐色炭质页岩,局部还可见有少量煤线,代表了湿润的泥沼环境。由此可以推测,该时期植被是以落叶阔叶林—草原植被类型为主,气候属于亚热带相对湿润的气候。

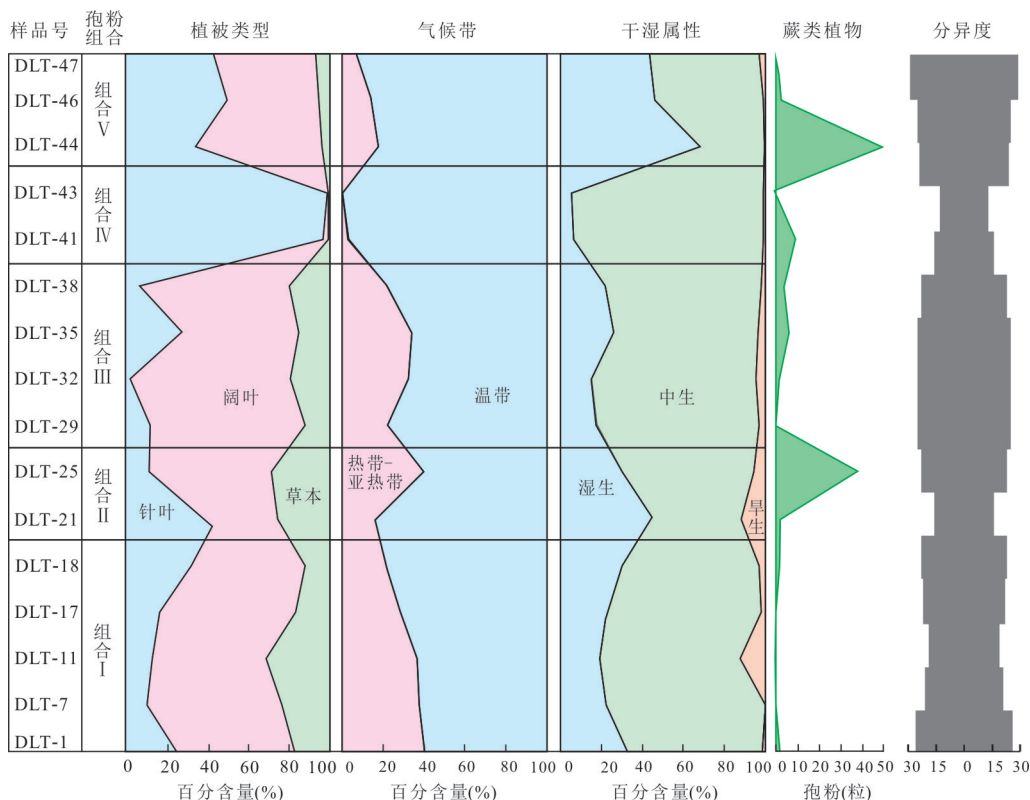


图 4 抚顺盆地始新世中晚期孢粉母体植物生态组合与气候划分示意

Fig.4 Palynofloras in the Mid-Late Eocene in Fushun basin and climate division

气候带中温带包括温带、亚热带-温带

从垂向来看,低洼处为湖泊以及河流,湖泊生长有喜湿的盘星藻(*Pediastrum*),湖泊边部主要生长有喜湿的 *Taxodiaceapollenites*, *Tricolpopollenites* 的母体植被.湖泊周围为开阔的平原、丘陵以及山坡,主要生长有 *Quercoidites*, *Betulaceoipollenites*, *Juglanspollenites*, *Carpinipites* 等的母体植被,草原也十分发育.外围的高山地区主要生长有 *Quercoidites*, *Betulaceoipollenites* 等落叶阔叶植被以及 *Piceapollis*, *Pinuspollenites* 等针叶植被(图 5a).

4.1.2 气候期 II(对应于 *Piceapollis-Tiliaepollenites-Chenopodipollis* 组合) 该时期以 *Piceapollis*, *Pinuspollenites*, *Abietinaepollenites*, *Podocarpidites* 等为代表的裸子针叶植物所占的比例较高,但未达到绝对优势.以 *Tiliaepollenites*, *Quercoidites* 为代表的落叶阔叶树和以 *Chenopodipollis*, *Tricolpopollenites* 为代表的被子草本植物含量相当,且在该时期的植被中也占有较大比例.相对于气候期 I 而言,该时期针叶树的含量大幅度增加,植被类型由落叶阔叶林向针阔叶混交林转变,草本植被依然占有有一定比例.从气候属性方面来看,该时期温带、亚热带-温中生带性分子占有主导地

位.但以 *Lygodiumsporites*, *Toroispori*, *Deltoidospora* 为主的热带-亚热带属性的喜湿性蕨类植物相对于气候期 I 有着大幅度增长.从岩性方面看,该组合位于西露天组下部,岩性主要以灰绿色泥岩、页岩夹泥灰岩为主,代表了半深湖环境,说明该时期相对于候期 I 而言,湿度进一步加大,气候带类型为温带-亚热带气候.

从垂向来看,低洼处为湖泊以及河流,湖泊生长喜湿的盘星藻(*Pediastrum*)相比于气候期 I,含量增加.湖泊边部主要生长有喜湿的 *Taxodiaceapollenites*, *Tricolpopollenites* 的母体植被.湖泊周围为开阔的平原、丘陵以及山坡,主要生长有 *Quercoidites*, *Juglanspollenites*, *Tiliaepollenites*, *Carpinipites* 等的母体植被,草原也十分发育.外围的高山地区主要生长有 *Quercoidites*, *Betulaceoipollenites* 等落叶阔叶植被以及 *Piceapollis*, *Pinuspollenites*, *Abietinaepollenites* 等针叶植被(图 5b).该时期植被的分异度较小,植被相对稀少.

4.1.3 气候期 III(对应于 *Quercoidites-Betulaceoipollenites-Ulmipollenites* 组合) 该时期以 *Ulmipollenites*, *Quercoidites*, *Ostryoipollenites*, *Tricolpo-*

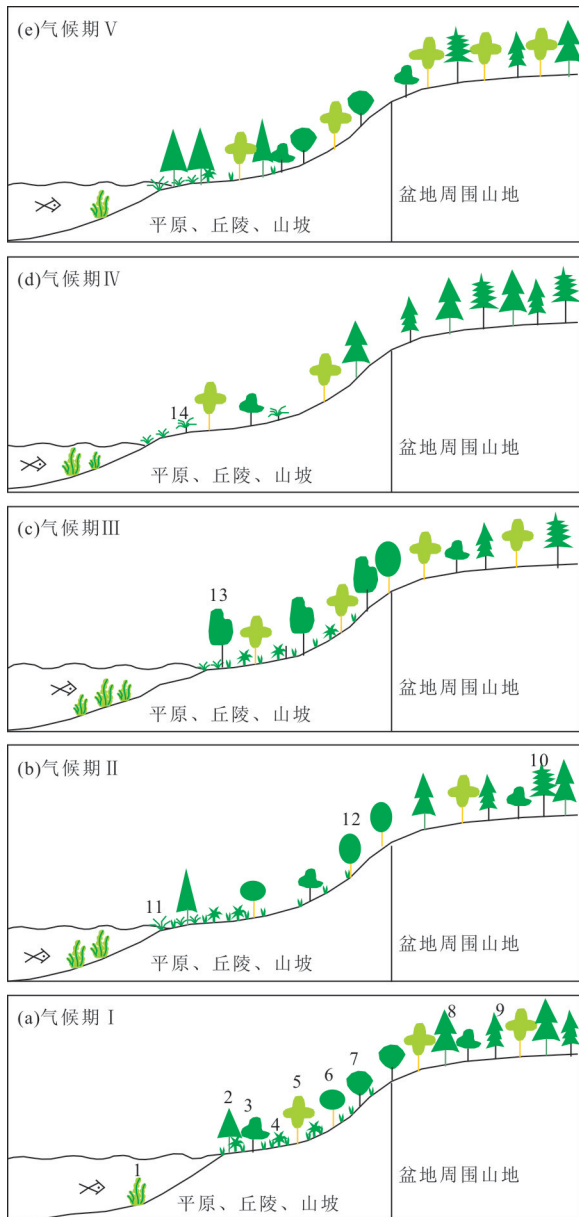


图 5 抚顺盆地各气候期植被变迁示意

Fig. 5 Vegetation evolution of each climate stage during the Mid-Late Eocene of Fushun basin

1. *Pediastrum* (藻); 2. *Taxodiaceapollenites*; 3. *Quercoidites*; 4. *Tricolpopollenites*; 5. *Betulaceoipollenites*; 6. *Juglanspollenites*; 7. *Carpinipites*; 8. *Piceapollis*; 9. *Pinuspollenites*; 10. *Abietinaepollenites*; 11. 蕨类; 12. *Tiliaepollenites*; 13. *Ulmipollenites*; 14. *Ephedripites*

pollenites, *Tricolpites* 为主体的热带—亚热带、温带—亚热带落叶阔叶树占有主导地位。而亚热带草本植被也占有一定比例, 该期草本植被与气候期 I、气候期 II 相比没有明显变化。中生性植被仍然占主导地位, 但相对于气候期 II 有所增加, 喜湿植被相对于气候期 II 有所降低, 说明该时期仍为相对湿润性气候, 但湿度相对于气

候期 II 有所减弱。综上可以判定, 该时期是以落叶阔叶林为主, 草本植被较为发育的植被类型, 气候属于亚热带相对湿润的气候。

从垂向来看, 低洼处的湖泊中盘星藻 (*Pediastrum*) 的含量十分繁盛。湖泊边部主要生长有喜湿的蕨类以及 *Tricolpopollenites* 的母体植被。湖泊周围为开阔的平原、丘陵以及山坡, 主要生长有 *Tiliaepollenites*, *Ulmipollenites*, *Tiliaepollenites* 等的母体植被, 草原也十分发育。外围的高山地区主要生长有 *Quercoidites*, *Betulaceoipollenites* 等落叶阔叶植被以及 *Pinuspollenites*, *Abietinaepollenites* 等针叶植被 (图 5c)。该时期植被的分异度增大, 植被茂盛。

4.1.4 气候期 IV (对应于 *Pinuspollenites*-*Abietinaepollenites*-*Ephedripites* 组合) 该时期植被具有明显的“三高”特点, 即针叶植被含量极高、温带属性植被含量极高、中生植被含量极高。该组合中, 针叶植被的含量达到 96% 以上, 主要为温带型植被 *Pinuspollenites*, 几乎不含或含很少量热带—亚热带型分子, 且草本植物也极不发育。从物种分异度来看, 植物较为单调, 种类间数量差别大, 表明植被和环境相对稳定, 植被类型属于针叶林, 属于温带气候。此外, 在该组合中代表干旱属性的 *Ephedripites* 相对于气候期 III 有所增加, 而湿生型分子的含量相对于气候期 III 有明显的降低。从岩性上看, 该组合位于西露天组顶部, 岩性为泥岩, 但相比于底部的泥岩或页岩, 该段岩石在颜色上比下部略有变浅, 由下部的灰绿色向上转变为土黄色, 指示了这气候缓慢变干旱的过程。综合说明该时期气候相对于气候期 III 来说, 湿度有所降低, 属于略半干旱型气候。

从垂向来看, 低洼处的湖泊中盘星藻 (*Pediastrum*) 的含量略有下降。湖泊边部主要生长有喜湿的 *Tricolpopollenites* 的母体植被。湖泊周围为开阔的平原、丘陵以及山坡, 主要生长有少量 *Ephedripites*, *Betulaceoipollenites*, *Quercoidites* 等的母体植被, 草原退化严重。外围的高山地区主要生长有 *Pinuspollenites*, *Abietinaepollenites*, *Piceapollis* 等针叶植被 (见图 5d)。该时期植被的分异度减小, 植被较为单一。

4.1.5 气候期 V (对应于 *Betulaceoipollenites*-*Taxodiaceapollenites*-*Quercoidites* 组合) 该时期有个显著的特点即, 针叶植被与阔叶植被的比值约为 1, 且草本植物极少, 为典型的针阔叶混交林。在该组合中, 主要以温带型分子为主, 而以 *Tricolpites*, *Tri-*

colpopollenites 为主的热带—亚热带草本植被和以 *Polypodiaceasporites*, *Deltoidospora*, *Lygodiumsporites* 为主体的代表热带—亚热带气候的蕨类植物相对于气候期 IV 均有明显的增加。在植被的干湿属性方面,该组合中以 *Betulaceoipollenites*, *Taxodiaceapollenites*, *Piceapollis* 为代表的喜湿木本植被和以 *Deltoidospora*, *Polypodiaceasporites*, *Lygodiumsporites* 为代表的喜湿蕨类均有大幅度增长,达到总含量的 40% 以上,且喜湿分子与中生性分子的比值约为 1。而代表干旱属性的 *Ephedripites*, *Artemisiapollenite*, *Chenopodipollis*, *Tubulifloridites*, *Elaeagnacites* 等的含量极少。从岩性方面看,该组合位于耿家街组,该组岩性主要为黑色泥岩和黑色页岩,还见有少量植物碎片。代表了半深湖—深湖环境,相对于其底部西露天组顶部而言,该组湖盆明显变大,气候也明显湿润。由此可以推测,该时期为亚热带—温带,主体为温带的湿润性气候类型。

从垂向来看,低洼处的湖泊中盘星藻 (*Pediastrum*) 的含量极低。湖泊边部主要生长有喜湿的蕨类以及 *Betulaceoipollenites*, *Tricolpopollenites* 的母体植被。湖泊周围为开阔的平原、丘陵以及山坡,主要生长有 *Betulaceoipollenites*, *Quercoidites*, *Carpinipites* 等的母体植被,主要为阔叶落叶型植被,草原退化严重。外围的高山地区主要生长有 *Pinuspollenites*, *Abietinaepollenites*, *Piceapollis* 等针叶植被以及 *Betulaceoipollenites* 等阔叶落叶植被 (图 5e)。该时期植被的分异度增大,植被茂盛。

4.2 共存分析法

古气候重建的分析方法可参照共存因子分析法 (the co-existence approach), 该方法是以现存最近亲缘类群的原理为基础,即:假定化石植物与其现存最近亲缘类群生产所需要的气候与生态环境条件相同或相近。采用多个化石植物的现存最近亲缘类群现代气候参数变化范围的叠加产生共存区间,经转化得到古气候参数的定量数值 (图 6)。假定一个植物化石群中有 A、B、C 三个属,而 A'、B'、C' 是现存的距它们最近亲缘的属。其中 A' 生长在年均温 10~20 °C 的环境中, B' 生长在年均温 15~25 °C 的环境中, C' 生长在年均温 10~25 °C 的环境中。由此可以推测三者能在 15~20 °C 的环境中共存。根据“将今论古”的思想可以估算出 A、B、C 曾经在 15~20 °C 的环境中共存 (Mosbrugger and Utescher, 1997)。

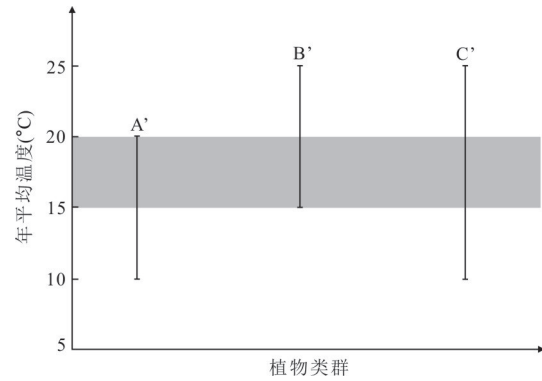


图 6 共存分析法原理示意

Fig 6 Basic principle of the co-existence approach
据 Mosbrugger and Utescher (1997) 修改

表 2 抚顺盆地中—晚始新世孢粉植物群和其现存最近亲缘类群及其参数

Table 2 Palynofloras and their nearest living relatives in Fushun basin through the Mid-Late Eocene in Fushun basin and their climatic amplitudes

孢粉类型	现存最近亲缘类群	年均温 (°C)		年降雨量 (mm)	
		Min	Max	Min	Max
裸子植物					
<i>Cycadopites</i>	<i>Cycas</i> [‡]	11.3	24.7	613.8	1 942.5
<i>Ginkgoretectina</i>	<i>Ginkgo</i> [‡]	10.2	19.8	658.7	1 785.2
<i>Pinuspollenites</i>	<i>Pinus</i> [*]	-5.2	24.7	170.5	2 822.70
<i>Abietinaepollenites</i>	<i>Pinus</i> [*]	-5.2	24.7	170.5	2 822.70
<i>Podocarpidites</i>	<i>Podocarpus</i>	8.5	24.7	797.5	1 653.5
<i>Cedripites</i>	<i>Cedrus</i>	10.2	20.9	33.4	1 663.9
<i>Piceapollis</i>	<i>Picea</i>	-4.9	22.7	291.6	1 815.60
<i>Abiespollenites</i>	<i>Abies</i>	2.8	23	170.5	1 785.2
<i>Keteleeris</i>	<i>Keteleeria</i> [‡]	14.3	24.7	613.8	1 815.60
<i>Taxodiaceapollenites</i>	Taxodiaceae [*]	5.7	24.7	459.5	2 447.1
<i>Inaperturopollenites</i>	Taxodiaceae [*]	5.7	24.7	459.5	2 447.1
<i>Ephedripites</i>	<i>Ephedra</i> [*]	-4.9	19.8	16.4	1 113.3
被子植物					
<i>Betulaceoipollenites</i>	<i>Betula</i>	-4.9	23.2	291.6	1 815.6
<i>Carpinipites</i>	<i>Carpinus</i>	2.3	25.5	570.3	1 785.2
<i>Ostryoipollenites</i>	Betulaceae	-4.9	23.2	291.6	1 815.6
<i>Triporopollenites</i>	Betulaceae	-4.9	23.2	291.6	1 815.6
<i>Alnipollenites</i>	<i>Alnus</i> [*]	-5.2	23.8	355.2	2 394.5
<i>Juglanspollenites</i>	<i>Juglans</i> [*]	-1.6	23	257.5	2 074.4
<i>Pterocaryapollenites</i>	<i>Pterocarya</i>	5.7	23.8	257.5	1 540.2
<i>Momipites</i>	<i>Corylus</i> [*]	-3.2	21.9	318.5	2 394.5
<i>Caryapollenites</i>	<i>Carya</i> [*]	14.2	22.6	601.1	1 942.5
<i>Tiliaepollenites</i>	<i>Tilia</i> [*]	-5.2	22.6	209.1	2 394.5
<i>Ulmipollenites</i>	<i>Ulmus</i> [*]	-5.2	25.5	16.4	1 900.3
<i>Quercoidites</i>	<i>Quercus</i> [*]	-5.2	25.5	209.1	1 900.3

续表 2

孢粉类型	现存最近亲缘类群	年均温(°C)		年降雨量(mm)	
		Min	Max	Min	Max
<i>Cupuliferoipollenites</i>	<i>Castanopsis</i> *	5.4	25.5	613.8	2 822.7
<i>Cyrrillaceapollenites</i>	Anacardiaceae*	-1.2	25.5	61.5	2 822.7
<i>Faguspollenites</i>	<i>Fagus</i> *	5.7	22.6	554.9	2 394.5
<i>Talisiipites</i>	Sapindaceae	4.8	25.5	213.7	1 785.2
<i>Rhoipites</i>	<i>Rhus</i> *	-0.4	23.8	277.6	2 394.5
<i>Moraceoipollenites</i>	Moraceae	3.97	27.17	-	-
<i>Salixipollenites</i>	<i>Salix</i> *	-5.2	23.8	16.4	1 942.5
<i>Lonicerapollis</i>	Caprifoliaceae	-4.1	25.5	303.9	1 869.9
<i>Ilexpollenites</i>	<i>Ilex</i> *	-1.2	25.5	201.6	2 822.7
<i>Euphorbiacites</i>	Euphorbiaceae*	-5.2	25.5	33.4	2 822.7
<i>Rutaceoipollis</i>	Rutaceae	-5.2	25.5	61.5	1 869.9
<i>Symplocoipollenites</i>	Symplocaceae*	-0.4	25.5	318.5	2 822.9
<i>Graminidites</i>	Gramineae	-4.9	25.5	303.9	2 447.1
<i>Artemisiaepollenites</i>	<i>Artemisia</i>	-4.9	25.5	303.9	1 869.9
<i>Tubulifloridites</i>	Compositae	-4.9	24.7	303.9	1 869.9
<i>Chenopodipollis</i>	Chenopodiaceae	-5.2	26.5	303.9	1 869.9
<i>Labitricolpites</i>	Labiatae	-4.9	24.7	16.4	1 942.5
<i>Stephanocolpites</i>	Labiatae	-4.9	24.7	16.4	1 942.5
<i>Cruciferaeipites</i>	Cruciferae*	-5.2	24.7	16.4	2 129.5
<i>Persicarioipollis</i>	Polygonaceae	-4.9	24.7	16.4	1 785.2
<i>Cyperaceapollis</i>	Cyperaceae	-4.9	25.5	303.9	1 254.7
<i>Haloragacidites</i>	<i>Myriophyllum</i>	-5	25.5	303.9	1 254.7
<i>Monocolpopollenites</i>	Palmae*	8.5	25.5	474.6	2 822.7
<i>Tricolpites</i>	Hamamelidaceae	8.5	25.5	531	1 293.7

注: #据史冀忠等(2008); *据姚铁锋(2006); 其他据徐景先(2002)。

运用共存因子分析方法,首先,要确定种子植物孢粉的现存最近亲缘类群以及该类群在我国的地理分布范围,然后,查询每个类群的分布范围内各气象数据的平均观测值,选取各孢粉组合植物类群的年均温(MAT)和年均降雨量(MAP)这2个气候参数进行叠加,即可得出所有类群共存的气候参数的定量范围(寇香玉,2005;史冀忠等,2008)。抚顺盆地始新世孢粉类型(种子植物)的现存最近亲缘类群见表2。

采用共存分析法分别定量恢复了抚顺盆地中一晚始新世5个气候期的古气候,获得古气候参数如下:

气候期 I: 年均温为 14.3~19.8 °C, 年均降雨量为 797.5~1 293.7 mm; 气候期 II: 年均温为 8.5~22.6 °C, 年均降雨量为 797.5~1 293.7 mm; 气候期 III: 年均温为 14.2~20.9 °C, 年均降雨量为 570.3~

1 254.7 mm; 气候期 IV: 年均温为 5.7~19.8 °C, 年均降雨量为 459.5~1 113.3 mm; 气候期 V: 年均温为 8.5~19.8 °C, 年均降雨量为 613.8~1 113.3 mm。

5 讨论

根据中国植被委员会(1980)统计,暖温带南部的特点是:年均温为 13~15 °C, 年均降雨量为 600~900 mm。而北亚热带的主要气候特点是:年均温为 13.5~16 °C, 年均降雨量为 800~1 200 mm。据此可以确定,气候期 I 为亚热带,湿润性气候;气候期 II 为亚热带—温带,湿润性气候;气候期 III 为亚热带,湿润性气候;气候期 IV 为温带,半湿润性气候;气候期 V 为温带—亚热带,偏温带,半湿润性气候。该结论与定性分析法的结论一致。

总体而言,始新世中期至晚期,气候带变化大体规律是由亚热带、亚热带—温带向温带转变,湿度由湿润向半湿润转变。年均温和年降雨量都呈降低的趋势。该趋势与 Chen *et al.* (2017) 在抚顺盆地根据 CIA 指标和 PIA 指标所得出的结论相同。

从全球上来看,根据 Zachos *et al.* (2001) 深海氧同位素显示,全球气温从早始新世的气候最适宜期 (EECO), 经历了中始新世气候最佳期 (MECO), 再到中/晚始新世气候变冷事件 (MLEC), 随后温度有所回升 (图 7)。温度总的趋势是由暖向冷转变。该过程反映在抚顺盆地孢粉组合变化的规律是:中始新世气候最佳期时,对应于本文抚顺盆地气候期 I、气候期 II、气候期 III, 孢粉组合是以亚热带、亚热带—温带植被为特征,气候较为湿润。随着中/晚始新世气候变冷事件的到来,由气候期 III 亚热带湿润性气候迅速转变为气候期 IV 温带半湿润—半干旱型气候,气候期 III 到气候期 IV 的转变,标志着中/晚始新世气温的下降。随后在气候期 V 时温度有所回升,转变为温带—亚热带,偏温带,半湿润性气候。由此可以看出,中始新世—晚始新世抚顺盆地孢粉组合所反映的气候变化与全球气温变化趋势能很好的耦合。

从全国范围上来看,海南省长昌盆地始新世长昌组孢粉组合通过共存分析法获得始新世的年均温为 14.2~19.4 °C, 年均降雨量为 797.5~1 113.3 mm (姚铁锋, 2006); 吉林珲春剖面珲春组孢粉组合通过共存分析法获得始新世的年均温为 14.2~14.9 °C, 年均降雨量为 797.5~1 344 mm (寇香玉, 2005)。该两地区与抚顺盆地距离相差大,尤其是

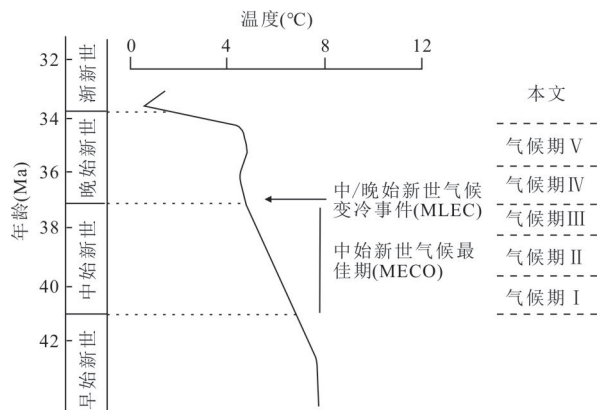


图7 中晚始新世深海温度变化曲线与抚顺盆地气候期对比

Fig.7 Comparison of deep sea temperature curves with climate stages in Fushun basin during the Mid-Late Eocene

中晚始新世深海温度变化曲线据 Zachos *et al.* (2001); 该曲线与全球温度变化趋势大体一致

长昌盆地,与抚顺盆地在纬度上相差约 20°,但是气候比较接近(表 3),未受到纬度差异的影响,可能有 2 个原因:

其一,3 个地区均大体位于中国东部近海地区,受环绕欧亚大陆的温暖洋流的影响,而始新世气候受洋流影响较大,尤其是近海地区(姚轶锋,2006).且始新世时,两级冰盖尚未形成(Zachos *et al.*, 2001),全球温度差异小,大气环流和洋流较弱,气候分带不明显,从而导致温度在不同温度上变化不大.其二,Fluteau *et al.* (1999)和 Zhang *et al.* (2006)认为副特提斯洋的收缩以及印度板块与欧亚板块碰撞所导致的变形隆升导致了季风的形成.而该时期青藏高原主体尚未发生强烈隆升(Wei *et al.*, 2016),因此未受季风的影响,主要受行星风系的环流影响,热量带较现在简单,地面大气层的密度比较平均.再配合上当时中国大部分地区较为平坦的地势,最终形成了较为均一的古气候.

6 结论

本文通过对抚顺盆地东露天剖面计军屯组、西露天组、耿家街组实测,笔者在该剖面发现大量孢粉化石,经分析、鉴定,共计 67 个属,可划分为 5 个孢粉组合.通过对各孢粉组合面貌特征分析,确定其地质年代,并用定性分析和定量分析——共存分析法,共同确定其植被类型变化、古环境变化.其主要结论如下:

(1)东露天剖面共计鉴定出 67 个属,可划分为 5 个孢粉组合,分别是组合 I: *Quercoidites*- *Tricolpopollenites*- *Betulaceoipollenites* 组合;组合 II: *Piceapollis*- *Tiliaepollenites*- *Chenopodipollis* 组合;组合 III: *Quercoidites* - *Betulaceoipollenites* - *Ulmipollenites* 组合;组合 IV: *Pinuspollenites*- *Abietinaepollenites*- *Ephedripites* 组合;组合 V: *Betulaceoipollenites*- *Taxodiaceapollenites*- *Quercoidites* 组合.其中组合 I、组合 II、组合 III 时代为中始新世;组合 IV、组合 V 时代为晚始新世.

(2)中一晚始新世抚顺盆地植被类型变化为:落叶阔叶林—草原型植被→针阔叶混交林—草原型植被→落叶阔叶林—草原型植被→针叶林→针阔叶混交林.

(3)通过对孢粉组合属性特征的研究,共划分为 5 个气候期,分别与 5 个孢粉组合时间对应.其中,气候期 I 属于亚热带相对湿润的气候,年均温为 14.3~19.8 °C,年均降雨量为 797.5~1 293.7 mm;气候期 II 属于温带—亚热带湿润性气候,年均温为 8.5~22.6 °C,年均降雨量为 797.5~1 293.7 mm;气候期 III 属于亚热带相对湿润的气候,年均温为 14.2~20.9 °C,年均降雨量为 570.3~1 254.7 mm;气候期 IV 属于温带略半干旱型气候,年均温为 5.7~19.8 °C,年均降雨量为 459.5~1 113.3 mm;气候期 V 属于亚热带—

表 3 抚顺盆地、长昌盆地以及琿春始新世气候参数对比

Table 3 Comparison of climatic amplitudes among Fushun basin, Changchang basin and Hunchun in Eocene

	抚顺盆地	长昌盆地 (姚轶锋,2006)	吉林琿春 (寇香玉,2005)
气候参数	气候期 V: MAT: 8.5~19.8 °C; MAP: 613.8~1 113.3 mm		
	气候期 IV: MAT: 5.7~19.8 °C; MAP: 459.5~1 113.3 mm	MAT: 14.2~19.4 °C;	MAT: 14.2~14.9 °C;
	气候期 III: MAT: 14.2~20.9 °C; MAP: 570.3~1 254.7 mm	MAP: 797.5~1 113.3 mm	MAP: 797.5~1 344 mm
	气候期 II: MAT: 8.5~22.6 °C; MPT: 797.5~1 293.7 mm		
	气候期 I: MAT: 14.3~19.8 °C; MAP: 797.5~1 293.7 mm		

温带,主体为温带的湿润性气候,年均温为 8.5~19.8 °C,年均降雨量为 613.8~1 113.3 mm.

(4) 通过与长昌盆地和吉林珲春地区始新世的气候对比发现,当时气候比较接近,没有明显受纬度差异的影响.可能的原因除了受洋流影响外,与当时的青藏高原主体尚未发生强烈隆升也有很大关系.

致谢:感谢中国地质地质大学(武汉)张雄华教授的指导以及韦永杰和雷宇同志在野外工作过程中予以帮助!

References

- Che, Q. P., Fang, D. Q., Shao, K. Z., et al., 1994. New Development in the Study of the Xilutian Formation of the Eocene in Fushun Coal Field in Biostratigraphy. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 18 (1): 11–16 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. L., Ding, Z. L., Tang, Z. H., et al., 2017. Paleoweathering and Paleoenvironmental Change Recorded in Lacustrine Sediments of the Early to Middle Eocene in Fushun Basin, Northeast China. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18: 41–51. <https://doi.org/10.1002/2016GC006573>
- Chinese Vegetation Editorial Committee, 1980. Vegetation of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Fluteau, F., Ramstein, G., Besse, J., 1999. Simulating the Evolution of the Asian and African Monsoons during the Past 30 Myr Using an Atmospheric General Circulation Model. *Journal of Geophysical Research*, 104: 11995–12018. <https://doi.org/10.1029/1999JD900048>
- Hong, Y. C., Yang, Z. Q., Wang, S. T., et al., 1974. Stratigraphy and Palaeontology of Fushun Coal-Field, Liaoning Province. *Acta Geologica Sinica*, 48(2): 113–149 (in Chinese with English abstract).
- Kou, X. Y., 2005. Studies on Quantitative Reconstruction of Cenozoic Climates in China by Palynological Data (Dissertation). Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Liu, L. J., Li, C. A., Jie, D. M., et al., 2018. Paleoclimate Recorded by Phytolith in Anguli-Nuur Lake since Mid-Late Holocene. *Earth Science*, 43 (11): 4138–4148 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M., Zhang, Y. J., Sun, S. L., et al., 2019. Palynological Assemblages of Beipiao Formation in Jinyang Basin of West Liaoning, and Their Age and Paleoclimatic Significances. *Earth Science*, 44(10): 3395–3408 (in Chinese with English abstract).
- Liu, M. L., 1990. Upper Cretaceous and Tertiary Palynological Assemblage Sequences in Northeast China. *Journal of Stratigraphy*, 14(4): 277–285 (in Chinese with English abstract).
- Miao, Y. F., Fang, X. M., Song, Z. C., et al., 2008. Eocene Sporopollen Records and Ancient Climate Change of Northern Tibetan Plateau. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 38(2): 187–196 (in Chinese).
- Mosbrugger, V., Utescher, T., 1997. The Coexistence Approach: A Method for Quantitative Reconstruction of Tertiary Terrestrial Paleoclimate Data Using Plant Fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134:61–86. [https://doi.org/10.1016/s0031-0182\(96\)00154-x](https://doi.org/10.1016/s0031-0182(96)00154-x)
- Qu, S. Q., 1993. Characteristic and Its Geological Significance of the Palynological Assemblage of the Lower Tertiary Gengjiajie Group in Fushun Basin. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 23(4): 411–415 (in Chinese with English abstract).
- Shi, J. Z., Liu, Z. J., Liu, R., et al., 2008. Quantitative Reconstruction of the Eocene Palaeoclimate in the Fushun Basin, Liaoning Province. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 38(1): 50–55 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. C., Cao, L., 1976. The Paleocene Spores and Pollen Grains from the Fushun Coalfield, Northeast China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 15(2): 147–162 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. C., Liu, G. W., 1982. Early Tertiary Palynoflora and Its Significance of Palaeogeography from Northern and Eastern Xizang. In: Geological Expedition Team of Qinghai-Tibet Plateau, Chinese Academy of Sciences, ed., Palaeontology of Xizang Book 5. Science Press, Beijing, 165–190 (in Chinese).
- Wang, W. M., Zhang, D. H., 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*, 7(3):239–253 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. M., Wang, M. Z., Zhang, X. Q., 2005. Palynology Assemblages and Paleoclimatic Character of the Late Eocene to the Early Oligocene in China. *Earth Science*, 30(3): 309–316 (in Chinese with English abstract).
- Wei, Y., Zhang, K. X., Garzzone, C. N., et al., 2016. Low Palaeoelevation of the Northern Lhasa Terrane during Late Eocene: Fossil Foraminifera and Stable Isotope Evidence from the Gerze Basin. *Scientific Reports*, 6(1):1–8. <https://doi.org/10.1038/srep27508>

- Xia, X. F., Zhang, N., Yu, J. X., et al., 2015. Eocene - Oligocene Palynology and Biostratigraphic Correlation in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, N. China. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 32(3): 269-284 (in Chinese with English abstract).
- Xie, J. Y., Li, J., Mai, W., et al., 2012. Palynofloras and Age of the Liushagang and Weizhou Formations in the Beibuwan Basin, South China Sea. *Acta Palaeontologica Sinica*, 51(3): 385-394 (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. X., 2002. Palynology, Paleovegetation and Paleoclimate of Neogene Central-Western Yunnan, China (Dissertation). Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. X., Wang, Y. F., Li, C. S., 2000. A Method for Quantitative Reconstruction of Tertiary Palaeoclimate and Environment—The Coexistence Approach. In: *Advances in Plant Sciences*. Higher Education Press, Beijing, 195-203 (in Chinese).
- Yao, Y. F., 2006. Eocene Palynoflora from Changchang Basin, Hainan Island and Its Bearing on the Implications of Palaeovegetation and Palaeoclimate (Dissertation). Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Yao, Y. M., Liang, H. D., Cai, Z. G., et al., 1994. Tertiary in Petroliferous Regions of China (IV): Bohai Gulf Basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 1-76 (in Chinese).
- Zachos, J. C., Pagani, M., Sloan, L., et al., 2001. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science*, 292: 686-693. <https://doi.org/10.1126/science.1059412>
- Zhang, Z. S., Wang, H. J., Guo Z. T., et al., 2006. What Triggers the Transition of Palaeoenvironmental Patterns in China, the Tibetan Plateau Uplift or the Paratethys Sea Retreat?. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245: 317-331. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.08.003>
- 附中文参考文献**
- 车启鹏, 方德庆, 邵奎政, 等, 1994. 抚顺煤田始新统西露天组生物地层学研究的新进展. 大庆石油学院学报, 18(1): 11-16.
- 中国植被编辑委员会, 1980. 中国植被. 北京: 科学出版社.
- 洪友崇, 阳自强, 王士涛, 等, 1974. 辽宁抚顺煤田地层及其生物群的初步研究(附昆虫、叶肢介化石属种描述). 地质学报, 48(2): 113-149.
- 寇香玉, 2005. 新生代孢粉分析与古气候定量重建的研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院植物研究所.
- 刘林敬, 李长安, 介冬梅, 等, 2018. 中一晚全新世以来安固里淖气候演变的植硅体记录. 地球科学, 43(11): 4138-4148.
- 刘淼, 张渝金, 孙守亮, 等, 2019. 辽西金羊盆地北票组孢粉组合及其时代和古气候意义. 地球科学, 44(10): 3395-3408.
- 刘牧灵, 1990. 东北地区晚白垩世—第三纪孢粉组合序列. 地层学杂志, 14(4): 277-285.
- 苗运法, 方小敏, 宋之琛, 等, 2008. 青藏高原北部始新世孢粉记录与古环境变化. 中国科学(D辑: 地球科学), 38(2): 187-196.
- 曲淑琴, 1993. 抚顺盆地地下第三系耿家街组孢粉组合及其地质意义. 长春地质学院学报, 23(4): 411-415.
- 史冀忠, 刘招君, 柳蓉, 等, 2008. 辽宁抚顺盆地始新世古气候定量研究. 吉林大学学报(地球科学版), 38(1): 50-55.
- 宋之琛, 曹流, 1976. 抚顺煤田的古新世孢粉. 古生物学报, 15(2): 147-162.
- 宋之琛, 刘耕武, 1982. 西藏东北部老第三纪孢粉组合及其古地理意义. 西藏古生物(第五分册). 北京: 科学出版社, 165-190.
- 王伟铭, 张大华, 1990. 内蒙古商都—化德盆地第三纪孢粉组合——兼论中国草原植被的形成. 微体古生物学报, 7(3): 239-253.
- 王晓梅, 王明镇, 张锡麒, 2005. 中国晚始新世—早渐新世地层孢粉组合及其古气候特征. 地球科学, 30(3): 309-316.
- 夏雪飞, 张宁, 喻建新, 等, 2015. 渤海湾盆地南堡凹陷始新世—渐新世孢粉、藻类与地层对比. 微体古生物学报, 32(3): 269-284.
- 谢金有, 李君, 麦文, 等, 2012. 北部湾盆地涠洲组和流沙港组孢粉组合及时代. 古生物学报, 51(3): 385-394.
- 徐景先, 2002. 云南中西部地区晚第三纪孢粉植物群及其古植被和古气候研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院植物研究所.
- 徐景先, 王宇飞, 李承森, 2000. 定量分析第三纪气候与环境的新方法——共存类群生态因子分析法. 见: 植物科学进展: 第3卷. 北京: 高等教育出版社, 195-203.
- 姚铁锋, 2006. 海南岛长昌盆地始新世孢粉植物群及其古植被和古气候研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院植物研究所.
- 姚益民, 梁鸿德, 蔡治国, 等, 1994. 中国油气区第三系(IV)渤海湾盆地油气区分册. 北京: 石油工业出版社, 1-76.