

# 北京ZK3钻孔孢粉记录及第四纪古气候变化响应

张磊<sup>1</sup>, 白凌燕<sup>2\*</sup>, 李潇<sup>3</sup>, 张晓亮<sup>2</sup>, 张悦泽<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北京市建平工程勘察有限责任公司, 北京

<sup>2</sup>北京市地质调查研究院, 北京

<sup>3</sup>北京市地质矿产勘查院信息中心, 北京

收稿日期: 2021年12月1日; 录用日期: 2022年1月20日; 发布日期: 2022年1月28日

## 摘要

本文选取北京平原沙河凹陷内ZK3钻孔作为研究对象, 在建立钻孔第四系格架的基础上, 通过孢粉分析重建了北京地区第四纪以来植被演化历史, 并以此表征古气候特征。本区早更新世划分出4个孢粉组合带, 其中, 组合带1反映了以蒿属为主的草原环境, 气候冷干; 组合带2同样反映了以蒿属为主的草原环境, 在某些时段出现水生植物含量高值、蕨类孢子与藻类占优势, 反映了植被的波动和湖泊的多次扩张; 组合带3反映了以蒿属为主的草原植被环境, 气候较上一个阶段稍暖。同时, 在某些层位出现水生植物花粉含量高值, 反映了气候与植被的波动和湖泊的2次扩张; 组合带4以出现柏科花粉浓度升高的特征, 表明这一阶段由草原演化为以柏科为建群种的疏林草原环境, 气候变得较为冷湿; 中更新世划分为组合带5, 反映了以蒿属为主的草原环境, 气候冷干; 晚更新世以来划分为组合带6, 反映了以菊科蒿属、藜科为主的草原环境, 气候冷干, 湖泊多次扩张。本次研究结果与前人研究成果较为吻合。同时, 组合带4带所反映的本区早中更新世之交发生的明显的气候变迁在整个中国大陆该时期发生的气候转型均有较好的类比性。

## 关键词

沙河凹陷, 孢粉, 古气候, 第四纪, 北京

# Sporopollen Records of ZK3 Drilling in Beijing and the Response to the Quaternary Paleoclimate

Lei Zhang<sup>1</sup>, Lingyan Bai<sup>2\*</sup>, Xiao Li<sup>3</sup>, Xiaoliang Zhang<sup>2</sup>, Yueze Zhang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Beijing Jianping Engineering Survey Co., Ltd., Beijing

\*通讯作者。

文章引用: 张磊, 白凌燕, 李潇, 张晓亮, 张悦泽. 北京 ZK3 钻孔孢粉记录及第四纪古气候变化响应[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(1): 135-144. DOI: 10.12677/ag.2022.121015

<sup>2</sup>Beijing Institute of Geological Survey, Beijing<sup>3</sup>Information Center of Beijing Institute of Geology and Mineral Exploration, BeijingReceived: Dec. 1<sup>st</sup>, 2021; accepted: Jan. 20<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In order to further study the Paleoclimate characteristics, ZK3 was selected as the drilling. With building the framework and sporopollen analysis, the history of vegetation evolution since the Quaternary in Beijing is reconstructed. There are four pollen assemblage zones in the Early Pleistocene. The results reflect the grassland environment dominated by *Artemisia*, cold and dry climate in Assemblage zone 1. The result of assemblage zone 2 is the same as assemblage zone 2, and at some point there is a high level of aquatic plants, and fern spores and algae are dominant, reflecting vegetation fluctuations and multiple expansions of lakes. *Artemisia* grassland vegetation environment is still dominated in assemblage zone 3 and the climate is slightly warmer than the previous stage. High levels of pollen content in aquatic plants reflect changes in climate and vegetation and the second expansion of lakes as well. The increasing concentration of Cupressaceae pollen in assemblage zone 4 shows that the environment evolved from grassland to Cupressaceae-based savanna and the climate became cooler and more humid. The assemblage zone 5 is the *Artemisia*-based grassland in the Middle Pleistocene and the climate was cold and dry. The characteristics of assemblage zone 6 reflect that the environment is *Asterceae* and *Chenopodiaceae* grassland, the climate is cold and dry, multiple expansion of lakes. The results of this study are in good agreement with those of previous studies. At the same time, the obvious climate change occurred in the Early and Middle Pleistocene of the region, which is reflected by the band 4, has a good analogy in the climate change in the whole of China.

## Keywords

Shahe Depression, Pollen, Paleoclimate, Quaternary, Beijing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

## 1. 引言

环境问题是人类社会发展的一个重要问题。为了更好地开发利用国土资源，必须注意保护环境和维护生态平衡。现代中国的自然环境因地理位置、地形及气候、动植物、土壤等因素的差异而不同。全球性气候变化，对我国东部地区影响深远，因此，研究我国东部地区第四纪气候变化，不仅是第四纪研究中重大理论问题，而且还直接联系到当前和未来的经济建设实际。从研究我国东部地区古生物地层资料中不难发现北京地区第四纪气候变化具有一定的规律性，研究这种规律的目的在于预测未来气候变化趋向，从而为国民经济建设和发展提供较长期的气候预报或气候变化信息[1]。

北京地区第四纪为陆相沉积，在陆相沉积的各种气候信息中，以孢粉信息最为敏感、价值最大，已广泛用于第四纪古气候与古环境研究。孢粉是古气候变化的良好温度计，被广泛地应用于第四纪古气候，古环境分析中[2]。北京地处中国大陆东部的华北平原，第四纪时期河湖相沉积对东亚冬、夏季风颇为敏感，植被演化历史能够客观地反应我国东部地区古气候演化规律。过去几十年，北京地区利用孢粉分析

的方法对第四纪植被与古气候进行了重建,取得了丰富的成果[3]-[8]。

本次研究选择已获得精确定年且对东亚冬、夏季风颇为敏感的沙河凹陷 ZK3 钻孔第四纪时期河湖相沉积物为研究对象,展开孢粉植物群研究,揭示了第四纪以来北京地区古气候演化特征。ZK3 钻孔位于沙河凹陷的腹地地区,第四纪地层沉积连续且厚度较大,是研究该凹陷盆地演化及古气候特征的理想场所。

## 2. 自然地理及地质背景

### 2.1. 自然地理

北京平原位于华北平原的西北,与河北省和天津市毗邻。北京西部和北部为山地环绕,西部称西山,属太行山脉;北部称军都山属于燕山山脉。东南部是由五条主要河流(永定河、潮白河、温榆河、蓟运河、拒马河)冲积和洪积作用塑造的北京平原[9]。地势上,西部和北部高,东部和南部低。最高处东灵山海拔 2303 m,最低处通州柴厂屯一带仅 8 m。研究区自然植被尚保存在西部和北部的山区。在海拔 1500 m 以上的中山分布有云杉(*Picea*)、冷杉(*Abies*)和华北落叶松(*Larix gmelini* var. *principis-rupprechtii*)等针叶林;海拔 1000 m 左右的低山区分布有松(*Pinus*)、栎(*Quercus*)、桦(*Betula*)、榆(*Ulmus*)、椴(*Tilia*)等针、阔叶混交林;低山底部及丘陵岗台地区(海拔 100 m 以上)分布有桦、榆、椴、朴(*Celtis*)、檀(*Pteroceltis*)等落叶阔叶林;东南广大平原(海拔 100 m 以下)开垦历史悠久,自然植被破坏,多种植小麦、杂粮、蔬菜和水稻;河漫滩、低地生长着灌丛、草甸等;低洼沼泽地生长着水生植物如眼子菜(*Potamogeton*)、狐尾藻(*Myriophyllum*)等[10]。

### 2.2. 地质背景

地质历史上燕山运动对北京地区的基底构造格架产生了制约影响。北京地区的构造地质背景主要是继承了燕山运动形成的构造格架,主体构造线方向北东。新生代,北京地区在横向上构成“两隆一凹”的构造格局,即:京西隆起,北京凹陷和大兴隆起[11]。第四纪以来,本区新构造活动不但具有继承性,而且具有新生性。新华夏系应力场引发了北西向张性兼扭性断裂活动,形成以 NW 向为主, NNE 向仍继续活动的两组沉降中心。此时北西向的南口-孙河断裂活动明显。切割了平原区的“两隆一凹”的构造格局,沉积中心也随之发生转移。由于南口-孙河断裂北段第四纪以来的强烈活动,新生代时期形成的京西隆起局部强烈下沉,接受了大量巨厚的第四纪沉积物,在断层上盘南西一侧形成了与其平行展布的北西向凹陷带—沙河凹陷(图 1)。

## 3. 钻孔第四系划分

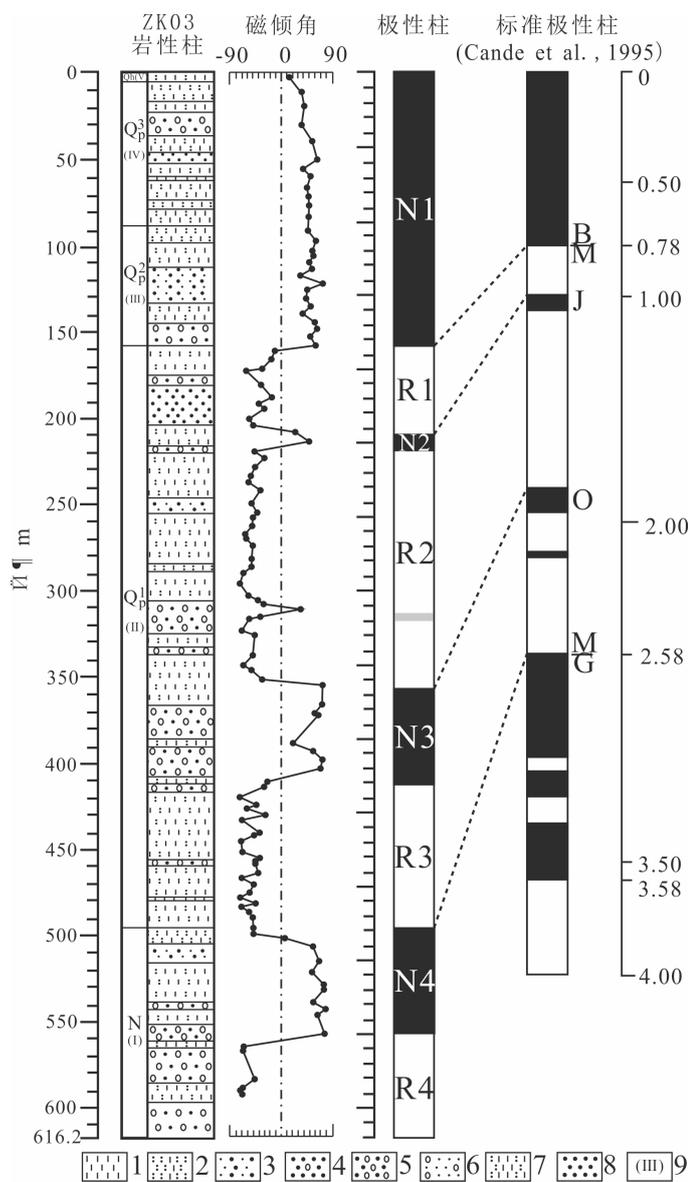
### 3.1. 岩石组合特征

钻孔 ZK3 位于北京昌平百善镇东沙屯村西农田,位置坐标为 116°17'06"N, 40°10'06"E, 孔口标高 44.49 m, 孔深 616.20 m。钻探工程采用油压式钻机,全孔取芯率达 90%以上,实际岩芯直径可达 90 mm。该孔岩芯自上而下共分为 462 个自然层,按照沉积物的颜色、沉积环境、沉积旋回和沉积构造特点,将岩芯归纳为 5 个岩性段(图 2),描述如下。

第一岩性段(I):位于剖面下部,主体岩性为砾石层及中粗砂,顶部见有薄层的粉细砂和粘土沉积。沉积物的颜色以灰白色,棕红色为主。砾石沉积反映大规模的冲积扇建设期,砂质沉积属于扇上河道,粘土质沉积为冲积扇扇上河道分流间湾。总体上来看,该岩性段反映了冲积扇及扇上辫状水道发育的沉积环境。



粉砂质粘土, 砂质粘土和中粗砂, 沉积构造不发育, 应属于废弃河道填充亚相沉积; 下部为棕黄色砂质粘土, 灰黑色、灰绿色粘土, 含大量的腹足、双壳类化石残片, 局部层位见有薄层细砂, 反映了河漫亚相中的河漫湖沉积。



1-clay; 2-clayey silt; 3-medium-fine sand; 4-coarse sand with gravel; 5-sandy gravel; 6-fine sand with gravel; 7-silty clay; 8-coarse sand; 9-lithologic section  
1-粘土; 2-粘土质粉砂; 3-中细砂; 4-含砾粗砂; 5-砂卵石; 6-含砾细砂;  
7-粉砂质粘土; 8-粗砂; 9-岩性段

**Figure 2.** The contrast diagram of magnetostratigraphy of the cores ZK3 and polarity zones [12]

**图 2.** 钻孔 ZK3 与标准极性柱对比图[12]

第五岩性段(V): 位于剖面顶部, 岩石组合总体表现为河流相沉积, 岩性为灰绿色、灰黑色粉砂质粘土和粘土, 局部夹有薄层的粉砂。本层位的出现表明研究区全新世总体上表现为曲流河沉积中堤岸亚相

的天然堤沉积及河漫亚相中的漫滩沉积。

### 3.2. 第四系格架建立

磁性地层研究表明, ZK3 孔 M/G 界线为 493.8 m, B/M 界线为 157.4 m, 钻孔剖面  $^{14}\text{C}$  同位素数据表明, ZK3 孔深度 3.3 m 处获得年龄  $3900 \pm 30$  a.B.P, 深度 5.2 m 处获得年龄  $4640 \pm 30$  a.B.P, 综合分析得出 ZK3 孔早更新统、中更新统、晚更新统和全新统的底界埋深分别为 493.8 m、157.4 m、87.7 m 和 7.2 m (图 2) [12]。

## 4. 孢粉样品采集测试及分析

### 4.1. 样品采集测试

本次针对钻孔 ZK3 岩芯间隔 1~2 m 连续采样, 共采集 262 块孢粉样品。对每个样品取干重 60~80 g 左右, 运用最近发表的孢粉分析流程, 包括碎样、15%的 HCl 去碳酸盐、3%的 NaOH 去有机质、85℃下烘干 7~8 小时去水分、KI 重液(比重 1.74~1.76)分离孢粉颗粒、HF (40%)去除少量硅质碎屑颗粒、HCl (15%)去除新产生的氟化钙、镜检和必要的过筛(7  $\mu\text{m}$ ) [13] [14]。分析好的标本加上少许甘油在显微镜下鉴定和统计。所有标本都在中国地震局地质研究所进行鉴定。

### 4.2. 孢粉分析及古气候特征

我们在其中 97 个样品中发现较为丰富的孢粉颗粒, 共统计 29057 粒孢子花粉, 平均 300 粒/样品。其余每个样品未达到统计数量。

该钻孔孢粉总体上以草本植物花粉为主, 蕨类孢子和藻类在某些层位含量较高, 木本花粉含量较低。草本类型以蒿属(*Artemisia*), 藜科(*Chenopodiaceae*), 禾本科(*Poaceae*), 菊科(*Asteraceae*)如紫菀属(*Aster*), 蒲公英型(*Taraxacum*), 凤毛菊型(*Saussurea*), 蓼属(*Polygonum*, 包括三孔沟和散孔类型), 唐松草属(*Thalictrum*), 石竹科(*Caryophyllaceae*), 大戟科(*Euphorbiaceae*), 十字花科(*Cruciferae*), 唇形科(*Labiatae*), 葎草属(*Humulus*), 伞形科(*Umbelliferae*), 地榆属(*Sanguisorba*)等比较丰富。水生或沼泽类型如莎草科(*Cyperaceae*), 香蒲属(*Typha*), 黑三棱属(*Sparganium*), 狐尾藻属(*Myriophyllum*), 眼子菜科(*Potamogetonaceae*)等较常见。灌木类型有麻黄属(*Ephedra*), 白刺属(*Nitraria*), 忍冬科(*Caprifoliaceae*), 榛属(*Corylus*), 柳属(*Salix*)等。蕨类孢子以水龙骨科(*Polypodiaceae*)和卷柏属(*Selaginella*)为主。藻类主要有环纹藻(*Concentrisystes*), 水绵(*Spirogyra*), 盘星藻(*Pediastrum*), 双星藻(*Zygnema*)等。木本花粉类型经常出现的有松属(*Pinus*), 云杉属(*Picea*), 冷杉属(*Abies*), 柏科(*Cupressaceae*), 桦木属(*Betula*), 栎属(*Quercus*), 栗属(*Castanea*), 榆属(*Ulmus*), 椴属(*Tilia*)等。另外, 在组合中还出现了少量不能鉴定的孢粉, 含量一般比较低。

孢粉百分比计算以所有孢粉总和为基数, 见图 3。值得注意的是, 在该剖面中, 炭屑的含量通常较高, 在个别层位极为丰富, 以灰色表示在图中。根据孢粉百分比的变化, 可大致分为 6 个孢粉组合带:

#### 组合带 1: (540~493.8 m, 2.9~2.5 Ma)

该组合中, 草本与灌木花粉含量为 92.1%~98.8%, 平均 96.7%。木本花粉含量为 0%~4.8%, 平均 2.1%。蕨类孢子和藻类的含量为 0%~3.2%, 平均 1.2%。草本植物花粉以 *Artemisia* 为主。 *Artemisia* 的含量为 66.7%~95.8%, 平均含量为 85.5%。 *Chenopodiaceae* 的含量为 0%~11.1%, 平均 3.2%。 *Asteraceae* 的含量为 0%~4.8%, 平均 3.0%。 *Poaceae* 的含量为 0%~2.5%, 平均 1.5%。 *Thalictrum* 的含量为 0%~3.2%, 平均含量为 1.5%。 *Sanguisorba* 的含量为 0%~1.6%。其他如 *Ephedra*, *Corylus*, *Taraxacum* 仅在部分样品中少量或个别出现。少量或零星出现的木本类型有 *Pinus*, *Quercus*, *Betula*, *Abies* 等。蕨类孢子和藻类如

Polypodiaceae, *Selaginella*, *Concentrisytes* 在样品中零星出现。本组合孢粉浓度较低, 类型单调, 反映的植被类型是以蒿属为主的草原, 气候冷干。

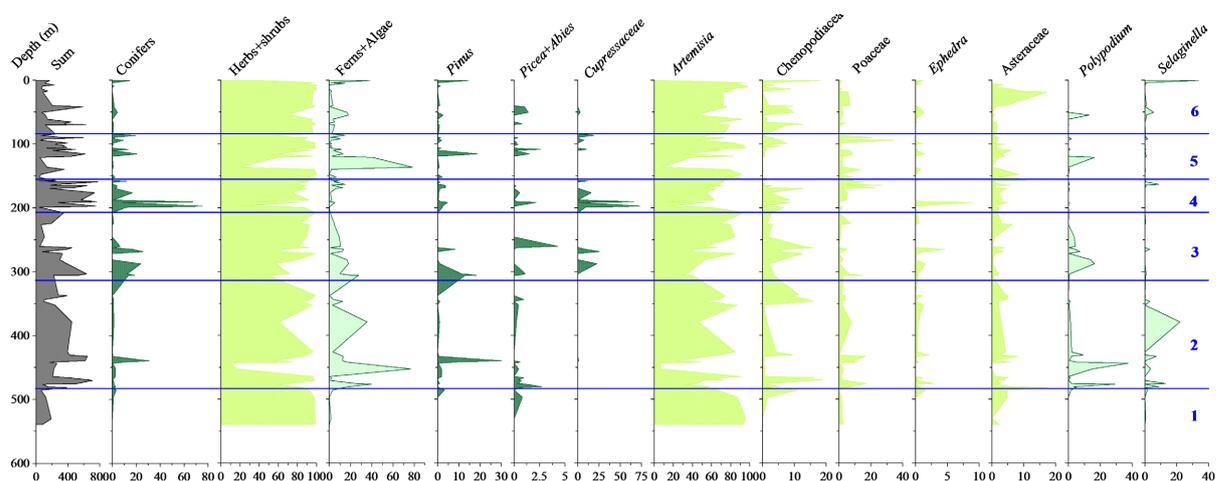


Figure 3. Quaternary pollen percentage diagram for the ZK3 core in Beijing

图 3. 北京 ZK3 孔第四纪孢粉图谱

#### 组合带 2: (493.8~311.3 m, 2.5~1.6 Ma)

该组合中, 草本与灌木花粉含量为 9.5%~98.7%, 平均 79.0%。木本花粉含量为 0.3%~31.4%, 平均 3.7%。蕨类孢子和藻类的含量为 0.3%~90.1%, 平均 17.3%。草本植物花粉中 *Artemisia* 的含量为 6.7%~92.0%, 平均含量为 55.9%。*Chenopodiaceae* 的含量为 0.3%~21.2%, 平均 6.5%。*Poaceae* 的含量为 0%~17.0%, 平均 5.2%。*Asteraceae* 的含量为 0%~17.3%, 平均 3.8%, 其中 *Taraxacum* 型的含量为 0%~13.4%, 平均 1.3%; *Aster* 型的含量为 0%~4.6%, 平均 1.5%; *Saussurea* 型的含量为 0%~3.9%, 平均 1.1%。*Polygonum* 的含量为 0%~19.4%, 平均 1.2%, 其中以喜湿润的散孔型为主(0%~19.4%)。喜湿润的草本类型还有 *Cyperaceae* (0%~3.2%), *Typha* (0%~16.2%, 平均 1.4%), *Myriophyllum* (0%~17.0%), *Potamogetonaceae* (0%~5.8%)等。其他如 *Labiatae* (0%~3.1%), *Thalictrum* (0%~2.3%), *Ephedra* (0%~2.9%), *Nitraria* (0%~6.4%), *Corylus* (0%~2.1%), *Salix* (0%~2.3%), *Tamarix* (0%~1.9%), *Elaeagnaceae* (0%~1.8%), *Ranunculaceae* (0%~1.9%), *Roaceae* (0%~2.1%), *Liliaceae* (0%~1.2%)等仅在部分样品中少量或个别出现。木本植物花粉类型中 *Pinus* 的含量为 0%~30.0%, 平均 2.2%。其他如 *Picea* (0%~2.0%), *Ulmus* (0%~3.6%), *Quercus* (0%~1.2%), *Betula* (0%~1.3%), *Carpinus* (0%~1.1%), *Abies*, *Tsuga*, *Podocarpus*, *Cupressaceae*, *Tilia*, *Alnus*, *Juglans* 等在个别样品中少量或零星出现。蕨类孢子和藻类中 *Polypodiaceae* 的含量为 0%~37.6%, 平均 5.3%。*Selaginella* 的含量为 0%~22.0%, 平均 2.7%, 以 *Selaginella sinensis* (0%~21.3%, 平均 2.3%) 为主。*Pediastrum*, *Pteris*, *Lycopodium*, *Osmunda*, *Concentrisytes* (0%~3.4%)在少量样品中零星出现。本带孢粉浓度有所升高, 反映的植被类型仍然是以蒿属为主的草原, 在某些时段出现水生植物含量高值、蕨类孢子与藻类占优势, 反映了植被的波动和湖泊的多期次扩张。

#### 组合带 3: (311.3~204.2 m, 1.6~1.0 Ma)

该组合中, 草本与灌木花粉含量为 49.1%~98.9%, 平均 76.8%。木本花粉含量为 0%~26.0%, 平均 12.5%。蕨类孢子和藻类的含量为 0.9%~27.7%, 平均 10.7%。草本植物花粉中 *Artemisia* 的含量为 28.2%~93.4%, 平均含量为 58.0%。*Chenopodiaceae* 的含量为 1.5%~20.3%, 平均 6.7%。*Poaceae* 的含量为 0%~14.3%, 平均 3.1%。*Asteraceae* 的含量为 0%~6.3%, 平均 1.9%, 其中 *Saussurea* 型的含量为 0%~4.7%,

平均 1.2%；*Aster* 型的含量为 0%~2.9%；*Taraxacum* 型的含量为 0%~1.6%。*Polygonum* 的含量为 0%~14.1%，平均 1.2%，其中以喜湿润的散孔型为主(0%~13.7%，平均 1.1%)。喜湿润的草本类型还有 *Cyperaceae* (0%~5.8%，平均 1.0%)，*Typha* (0%~7.3%)，*Myriophyllum* (0%~2.1%)，*Potamogetonaceae* (0%~1.8%)，*Sparganium* (0%~2.6%)等。其他如 *Ephedra* (0%~4.6%)，*Nitraria* (0%~2.1%)，*Thalictrum* (0%~1.2%)，*Corylus* (0%~1.3%)，*Salix* (0%~2.1%)，*Tamarix* (0%~4.4%)，*Ranunculaceae* (0%~4.3%)，*Labiatae* (0%~1.1%)，*Umbelliferae*，*Sanguisorba* 等仅在部分样品中少量或个别出现。木本植物花粉类型中 *Cupressaceae* 含量为 0%~25.6%，平均 4.1%。*Pinus* 的含量为 0%~18.3%，平均 3.7%。其他如 *Picea* (0%~4.3%)，*Tsuga* (0%~2.1%)，*Larix* (0%~1.0%)，*Abies*，*Betula* (0%~5.8%，平均 1.4%)，*Quercus* (0%~4.9%，平均 1.3%)，*Ulmus* (0%~3.6%)，*Tilia* (0%~1.5%)，*Castanea*，*Carpinus*，*Liquidambar*，*Pterocarya*，*Juglans*，*Podocarpus* 等在个别样品中少量或零星出现。蕨类孢子和藻类中 *Polypodiaceae* 的含量为 0%~16.4%，平均 3.7%。*Selaginella* 的含量为 0%~3.1%。*Pediastrum* (0%~1.3%)，*Concentrisystes*，*Pteris* 等在样品中零星出现。本带木本植物花粉含量略有升高，反映的植被类型为以蒿属为主的草原，气候较上一个阶段稍暖，在某些层位出现水生植物花粉含量高值，反映了气候与植被的波动和湖泊的 2 次扩张。

#### 组合带 4: (204.2~157.5 m, 1.0~0.78 Ma)

该组合中，草本与灌木花粉含量为 23.4%~94.9%，平均 77.3%。木本花粉含量为 2.8%~75.5%，平均 18.0%。蕨类孢子和藻类的含量为 0%~15.0%，平均 4.7%。草本植物花粉中 *Artemisia* 的含量为 8.0%~73.8%，平均含量为 55.8%。*Poaceae* 的含量为 0.3%~27.3%，平均 7.6%。*Chenopodiaceae* 的含量为 0%~12.8%，平均 3.2%。*Asteraceae* 的含量为 0%~10.6%，平均 2.9%，其中 *Saussurea* 型的含量为 0%~4.3%，平均 1.3%；*Aster* 型的含量为 0%~6.3%，平均 1.6%。*Polygonum* 的含量为 0%~2.3%，其中以喜湿润的散孔型为主(0%~1.9%)。喜湿润的草本类型还有 *Cyperaceae* (0%~5.8%，平均 1.1%)，*Typha* (0%~20.4%，平均 2.2%)，*Myriophyllum* (0%~2.5%)，*Potamogetonaceae* (0%~1.3%)等。其他如 *Humulus* (0%~9.1%)，*Ephedra* (0%~9.0%)，*Thalictrum* (0%~2.8%)，*Sanguisorba* (0%~2.3%)，*Umbelliferae* (0%~1.1%)，*Labiatae*，*Nitraria*，*Corylus*，*Salix*，*Oleaceae*，*Ranunculaceae* (0%~1.1%)，*Taraxacum* 仅在部分样品中少量或个别出现。木本植物花粉类型中 *Cupressaceae* 含量为 0%~73.1%，平均 12.6%。*Pinus* 的含量为 0%~4.7%，平均 1.7%。其他如 *Picea* (0%~1.8%)，*Tsuga*，*Abies*，*Betula* (0%~6.4%，平均 1.5%)，*Ulmus* (0%~4.9%)，*Quercus* (0%~2.3%)，*Tilia* (0%~1.6%)，*Castanea* (0%~1.4%)，*Carpinus* (0%~1.2%)，*Alnus*，*Liquidambar* 等在个别样品中少量或零星出现。蕨类孢子和藻类中 *Selaginella sinensis* 的含量为 0%~8.8%。*Concentrisystes*，*Zygnema* (0%~1.1%)，*Spirogyra* (0%~9.3%)等在样品中零星出现。本带孢粉浓度较高，以出现柏科花粉峰值为特征，喜湿类型的百分含量较高，说明植被在某些时段一度由草原演化为以柏科为建群种的疏林草原，气候变得较为冷湿，这与中更新世气候转型期全球气候变冷、变幅增大相呼应。

#### 组合带 5: (157.5~86.6 m, 0.78~0.124 Ma)

该组合中，草本与灌木花粉含量为 20.1%~100%，平均 85.0%。木本花粉含量为 0%~27.6%，平均 5.9%。蕨类孢子和藻类的含量为 0%~78.4%，平均 9.2%。草本植物花粉中 *Artemisia* 的含量为 7.9%~95.9%，平均含量为 70.3%。*Poaceae* 的含量为 0%~34.5%，平均 5.1%。*Chenopodiaceae* 的含量为 0%~7.8%，平均 2.1%。*Asteraceae* 的含量为 0%~8.3%，平均 2.6%，其中 *Saussurea* 型的含量为 0%~5.2%，平均 1.1%；*Aster* 型的含量为 0%~5.0%，平均 1.0%。*Polygonum* 的含量为 0%~6.3%，其中以喜湿润的散孔型为主(0%~5.5%)。喜湿润的草本类型还有 *Cyperaceae* (0%~2.8%)，*Typha* (0%~4.1%)，*Myriophyllum* (0%~2.0%)，*Sparganium*，*Potamogetonaceae* 等。其他如 *Umbelliferae* (0%~10.2%)，*Thalictrum* (0%~5.0%)，*Sanguisorba* (0%~2.9%)，*Humulus* (0%~2.8%)，*Ephedra* (0%~1.5%)，*Taraxacum* (0%~2.9%)，*Ranunculaceae* (0%~1.0%)，*Labiatae*，*Nitraria*，*Corylus*，*Salix*，*Caprifoliaceae*，*Acanthaceae*，*Cruciferae* 仅在部分样品中少量或个别出现。木

本植物花粉类型中 Cupressaceae 含量为 0%~19.4%，平均 1.8%。*Pinus* 的含量为 0%~18.7%，平均 1.2%。其他如 *Picea* (0%~2.2%)，*Betula* (0%~19.3%，平均 1.7%)，*Quercus* (0%~4.9%)，*Alnus* (0%~1.5%)，*Tilia* (0%~1.3%)，*Tsuga*，*Abies*，*Ulmus*，*Castanea*，*Carpinus*，*Podocarpus* 等在个别样品中少量或零星出现。蕨类孢子和藻类中 Polypodiaceae 的含量为 0%~16.3%。*Selaginella* 的含量为 0%~1.9%。*Concentrisytes* (0%~2.0%)，*Lycopodium*，*Zygnema* 等在样品中零星出现。本带木本植物花粉含量下降，草本花粉含量升高，植被为以蒿属为主的草原，气候冷干。在某些层位出现水生植物含量高值、蕨类孢子与藻类占优势，反映了植被的波动和湖泊的两次扩张。

#### 组合带 6: (86.6~0.7 m, 0.124 Ma-至今)

该组合中，草本与灌木花粉含量为 39.5%~100%，平均 91.9%。木本花粉含量为 0%~22.1%，平均 2.6%。蕨类孢子和藻类的含量为 0%~38.4%，平均 5.5%。草本植物花粉中 *Artemisia* 的含量为 9.3%~97.4%，平均含量为 73.5%。*Chenopodiaceae* 的含量为 0%~22.6%，平均 6.6%。*Poaceae* 的含量为 0%~6.8%，平均 1.7%。*Asteraceae* 的含量为 0%~17.2%，平均 2.8%，其中 *Saussurea* 型的含量为 0%~17.2%，平均 1.7%；*Aster* 型的含量为 0%~5.4%。*Polygonum* 的含量为 0%~5.2%。喜湿润的类型 *Myriophyllum* 的含量为 0%~17.5%，平均 1.6%。其他少量或零星出现的类型还有 *Cyperaceae* (0%~5.4%)，*Typha* (0%~10.7%)，*Sparganium* (0%~3.3%)，*Potamogetonaceae* (0%~7.3%)等。其他如 *Umbelliferae* (0%~2.0%)，*Thalictrum* (0%~2.9%)，*Ephedra* (0%~1.4%)，*Ranunculaceae* (0%~1.4%)，*Oleaceae* (0%~1.4%)，*Nitraria* (0%~1.2%)，*Corylus* (0%~1.4%)，*Sanguisorba*，*Taraxacum*，*Labiatae*，*Salix*，*Caprifoliaceae*，*Cruciferae*，*Caryophyllaceae* 等仅在部分样品中少量或个别出现。木本植物花粉类型中 *Pinus* 的含量为 0%~14.5%，平均 1.0%。其他如 *Cupressaceae* (0%~2.8%)，*Abies* (0%~1.4%)，*Picea*，*Betula* (0%~1.1%)，*Quercus* (0%~3.5%)，*Sapindaceae* (0%~2.3%)，*Tilia*，*Ulmus* (0%~1.4%)，*Castanea* (0%~3.3%)，*Carpinus*，*Acer* 等在个别样品中少量或零星出现。蕨类孢子和藻类中 *Selaginella* 的含量为 0%~33.7%，平均 2.1%。*Polypodiaceae* 的含量为 0%~13.1%。其他如 *Concentrisytes* (0%~7.6%)，*Pediastrum*，*Pteris*，*Spirogyra*，*Zygnema* 等在样品中零星出现。本带反映的植物类型为以菊科蒿属、藜科为主的草原，气候冷干。在某些层位出现水生植物含量高值，反映了植被的波动和湖泊的多次扩张。

## 5. 结论

本次研究通过 ZK3 钻孔岩芯孢粉分析重建了北京地区第四纪以来植被演化历史，总体上为疏林草原 - 草原植被所覆盖。这与前人研究[3] [5] [6] [7] [15]得出的北京地区不同地质历史时期的植被无论在属种类型还是在含量变化上都较为吻合。

早更新世，含 4 个组合带，其中，1 带孢粉浓度较低，类型单调，反映的植被类型是以蒿属为主的草原，气候冷干。2 带孢粉浓度有所升高，反映的植被类型仍然是以蒿属为主的草原，在某些时段出现水生植物含量高值、蕨类孢子与藻类占优势，反映了植被的波动和湖泊的多期次扩张。3 带木本植物花粉含量略有升高，反映的植被类型为以蒿属为主的草原，气候较上一个阶段稍暖，在某些层位出现水生植物花粉含量高值，反映了气候与植被的波动和湖泊的 2 次扩张。4 带孢粉浓度较高，以出现柏科花粉峰值为特征，喜湿类型的百分含量较高，说明植被在某些时段一度由草原演化为以柏科为建群种的疏林草原，气候变得较为冷湿，这与中更新世气候转型期全球气候变冷、变幅增大相呼应。中更新世，含 1 个组合带，本带木本植物花粉含量下降，草本花粉含量升高，植被为以蒿属为主的草原，气候冷干。在某些层位出现水生植物含量高值、蕨类孢子与藻类占优势，反映了植被的波动和湖泊的两次扩张。晚更新世以来，含 1 个组合带，本带反映的植物类型为以菊科蒿属、藜科为主的草原，气候冷干。在某些层位出现水生植物含量高值，反映了植被的波动和湖泊的多次扩张。

需要说明的是,本文中孢粉组合带 4 反映了本区早中更新世之交发生的明显的气候变迁,这种明显的第四纪气候转型在整个中国大陆均有较好的类比性。这一时期,青藏高原隆起造成的降温与全球性气候变化降温叠加,使其进入冰冻圈,开始发育大规模的冰川[16]。在黄土高原地区,以往的研究表明,在 0.85 MaB.P.时,风成粉尘突然越过太行山、秦岭和西北部山地的围限,分布到辽宁地区、山东半岛[17]华北平原以及新疆地区[18],这个时期也是气候转型和气候极端事件发生之时[19]。

## 资助项目

中国地质调查局项目(12120113012000, 1212011301290)资助。

## 参考文献

- [1] 徐馨. 我国东部晚第四纪气候演变[J]. 冰川冻土, 1989, 11(1): 10-19.
- [2] 闵隆瑞, 迟振卿. 河北阳原盆地西部第四纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 1-126.
- [3] 张清波, 萧宗正, 关绍曾, 何希贤. 北京延庆盆地早更新世孢粉组合及其气候地层学意义[J]. 北京地质, 1996, 8(1): 1-9.
- [4] 魏兰英, 彭贵, 严富华, 尹金辉, 卢演涛. 北京地区末次冰消期气候环境变化记录的初步研究[J]. 第四纪研究, 1997(2): 183-190.
- [5] 李长安. 北京平原区第四纪古气候变化[J]. 中国区域地质, 1993(4): 336-343.
- [6] 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京房山 16000-7000 年以来的植被与环境变迁[J]. 微体古生物学报, 1999, 16(4): 421-430.
- [7] 姚铁峰, 叶超, 寇香玉, 徐景先, 贾三满, 杜乃秋, 等. 北京天竺晚上新世以来植被演替与气候变迁[J]. 古地理学报, 2007, 9(1): 45-58.
- [8] 郭高轩, 蒋汉朝, 蔡向民, 刘久荣, 徐红艳. 北京新 5 孔第四纪孢粉记录及其对更新世气候变化的响应[J]. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1160-1170.
- [9] 李华章. 北京地区第四纪古地理研究[M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1-152.
- [10] 张新时, 孙世洲, 雍世鹏, 等. 中国植被及其地理格局——中华人民共和国植被图(1:1000000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 596-571.
- [11] 汪良谋, 徐杰, 黄秀铭, 等. 北京凹陷构造活动性分析[J]. 中国地震, 1990, 6(2): 25-36.
- [12] 张磊, 张晓亮, 白凌燕, 蔡向民, 王继明, 杨天水. 北京平原沙河凹陷第四纪磁性地层学研究及其新构造运动的沉积响应[J]. 中国地质, 2016, 43(3): 1076-1084.
- [13] Xu, H., Jiang, H., Mai, X. and Ma, X. (2013) A New Processing Method for the Pollen Samples from Palaeogene Red Beds in the Liguangqiao Basin, Hubei, Province, and Pleistocene Loess from the Chinese Loess Plateau. *Quaternary International*, **286**, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.014>
- [14] Cande, S.C. and Kent, D.V. (1995) A New Geomagnetic Polarity Time Scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journal of Geophysical Research*, **97**, 13917-13951. <https://doi.org/10.1029/92JB01202>
- [15] 常英. 北京怀柔地区上新世——第四纪气候地层学研究[J]. 北京地质, 1992(4): 1-22.
- [16] 李吉均, 方小敏, 潘保田, 赵志军, 宋友桂. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381.
- [17] 郑洪汉, 朱照宇, 黄宝林, 卢良才. 山东半岛及苏皖北部黄土地层年代学研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(1): 63-68.
- [18] 黄宝林, 卢良才. 中国黄土热释光年代学研究[J]. 地球化学, 1989(4): 352-360.
- [19] 郭正堂, 姜文英, 吕厚远, 吴乃琴, 姚小峰. 东亚季风区的极端气候事件及其原因[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 113-120.