

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.01.07

引用格式: 吕可欣, 石光耀, 张欢, 等. 河北平原三河市 S9 钻孔第四纪孢粉记录及其气候指示意义[J]. 中国地质调查, 2022, 9(1): 64–72. (LV K X, SHI G Y, ZHANG H, et al. Quaternary palynological records and climatic significance of S9 borehole in Sanhe City of Hebei Plain[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(1): 64–72.)

河北平原三河市 S9 钻孔第四纪孢粉记录及其气候指示意义

吕可欣¹, 石光耀², 张欢², 张金龙², 李庆喆², 张鹏程²

(1. 河北省地球物理勘察院, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000)

摘要: 为探讨更新世以来河北平原东部植被演化和气候变化特征, 研究分析了大厂凹陷 S9 钻孔的孢粉植物群。根据 S9 钻孔中孢粉的分布, 自下而上划分了 6 个孢粉组合, 组合 I 和组合 II 为以针叶树为主的针阔叶混交林, 组合 III—VI 为疏林草原植被, 整体为稀树草原型植被环境。根据孢粉组合的变化特征, 还原了研究区更新世以来的气候变化规律: 研究区在早更新世气候温暖半干旱; 中更新世早期气候变冷, 之后气候总体呈变暖变干旱的趋势; 晚更新世早期气候持续变暖, 由湿润向干旱转变。研究区的孢粉演化模式与我国中北部许多地区的植被演化模式相似, 同时与东亚、北太平洋以及南半球的气候变化特征表现出了较好的一致性。

关键词: 孢粉组合; 第四纪; 气候变化; 河北省

中图分类号: Q913.84

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2022)01–0064–09

0 引言

孢粉分析是一种成熟的第四纪古气候重建和古环境分析方法, 因其高分辨率、高灵敏度、直观性和准确性的优势得到了广泛应用^[1–11]。河北平原是华北平原内位于黄河以北的地区, 该区为新生代的沉降盆地, 第四纪沉积物厚度大、分布广泛、发育完整、保存良好, 是研究我国第四纪地层和古气候的重要地区^[12]。前人对植物孢粉的研究显示自早更新世以来该区气候经历了较大的变化, 但研究成果主要集中在河北平原区的南部或东南部, 平原区东部的研究较少^[12–14]。本研究的第四系钻孔位于河北省三河市一带, 结合相关年代数据, 通过对该钻孔所获的孢粉化石进行详细的属种鉴定和组合分析, 还原了研究区更新世以来的植被演化和气候

变化规律, 研究可为河北平原东部的环境演变提供资料支持, 为阐明更新世东亚的气候演化模式提供基础数据。

1 S9 钻孔沉积序列

S9 钻孔位于河北省三河市杨庄镇肖庄子村东, 北距三河市区 5 km, 孔口标高 12.3 m, 孔深 251.8 m。钻孔在构造上位于大厂凹陷, 控盆断裂为夏垫断裂上盘(图 1), 大厂凹陷的第四纪沉积物主要来源于沟河的冲积、冲洪积扇。

S9 钻孔岩性包括黏土、粉砂质黏土、黏土质粉砂、粉砂、细砂、中砂、粗砂和砂砾石, 自上而下可划分为 189 个小层, 地层序列自下而上为上新世明化镇组、早更新世饶阳组、中更新世肃宁组和晚更新世西甘河组(图 2)。明化镇组为一套灰红色、棕红

收稿日期: 2020–11–30; 修订日期: 2021–06–28。

基金项目: 中国地质调查局“特殊地质地貌区填图试点——河北 1:5 万大厂回族自治县等三幅第四系覆盖区地质填图(编号: DD20160060)”“河北 1:5 万沙流河等四幅区域地质调查项目(编号: DD20160042–4)”项目联合资助。

第一作者简介: (1992—), 吕可欣, 女, 助理工程师, 主要从事第四纪地质与区域地质研究工作。Email: 452581032@qq.com。

通信作者简介: (1988—), 石光耀, 男, 工程师, 主要从事第四纪地质与区域地质研究工作。Email: 2213736290@qq.com。

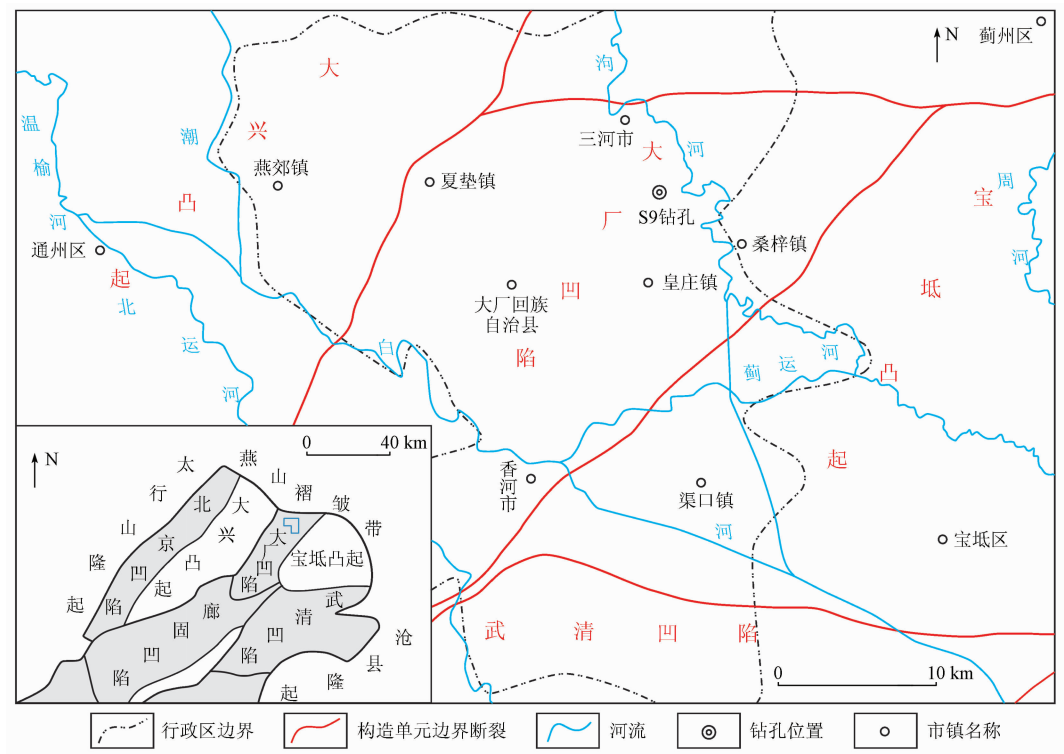


图 1 研究区构造略图及 S9 钻孔位置

Fig.1 Tectonic sketch map of the study area and the location of S9 borehole

色泥质砾,局部夹棕红色粉砂和黏土质粉砂。饶阳组沉积物为一套浅灰色—灰色砂砾、泥质砾夹深棕色、灰黑色、灰绿色、棕黄色黏土以及粉砂质黏土、粉砂。肃宁组可以划分为下、中、上 3 段。下段(97.5 ~ 145.4 m)为一套棕黄色、棕灰色中砂、含砾粗砂、细砂组合,夹少量棕灰色、灰绿色黏土、粉砂;中段(78.3 ~ 97.5 m)主要为灰色泥质砾夹棕褐色细砂、灰黑色黏土;上段(24.05 ~ 78.3 m)为一套灰色、棕灰色、棕黄色、灰绿色中细砂、粉砂、粉砂质黏土及黏土组合。西甘河组为一套绿灰色、棕黄色、浅灰色、灰黄色细砂、粉砂、粉砂质黏土、黏土组合。根据沉积物的颜色、沉积构造和沉积旋回特征,结合自然伽马曲线和电阻率测井曲线,将岩心自下而上划分为 4 个层段(图 2)。

145.4 ~ 251.8 m,该段沉积物可以分为 2 部分。下部(210.9 ~ 251.8 m)测井曲线显示该段视电阻率为高电阻段,形态呈箱状、宽幅钟状,且伽马曲线亦为高值,可能与具有吸附力的黏土物质较多有关,表明该套砾石层被黏土包裹形成“泥包砾”,判断属冲洪积相泥砾沉积。上部(145.4 ~ 210.9 m)

为一套棕黄色、棕灰色砂砾石层夹棕黄色、棕灰色、灰色粉砂、黏土质粉砂、砂及含砾砂组合,为洪积扇沉积。视电阻率曲线呈箱状、宽幅钟状,向上砂级沉积物逐渐增多,砾石层厚度减薄,顶部出现青灰色黏土沉积。

97.5 ~ 145.4 m,该段沉积物总体呈现出砂多泥少的特征,视电阻率曲线及伽马曲线均呈低幅高频锯齿状,表明该段岩性相对单一,以砂为主,为典型的辫状河沉积。

78.3 ~ 97.5 m,该段沉积物为洪积扇沉积,电阻率曲线呈宽幅钟状。可识别出 3 个沉积旋回,单个旋回 5 ~ 10 m,旋回上部沉积物为一套灰色、深灰色、灰黑色黏土和淤泥质黏土,见水平层理,为扇前洼地(湖沼)沉积;下部为砾石层,为扇中—扇端沉积。

0 ~ 78.3 m,该段整体表现为多个黏土—粉砂—砂旋回,具典型的曲流河二元沉积结构特征。视电阻率曲线呈钟形、伽马曲线呈漏斗状,黏土层内常见钙质结核、锰质结核、锈染及少量碳质斑点等(图 3),根据沉积物组合可进一步划分为河床亚相和泛滥平原亚相。

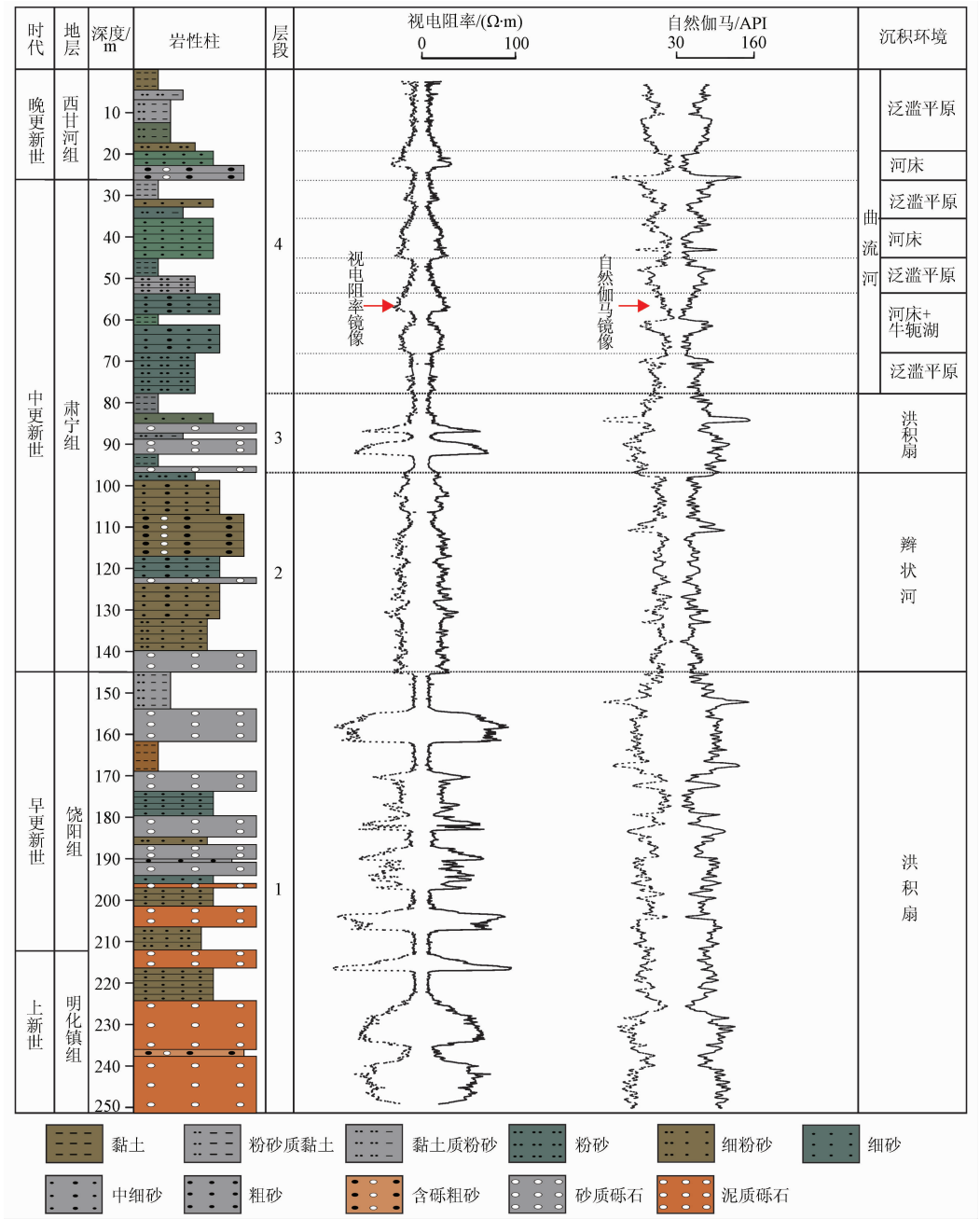


图 2 S9 钻孔自然伽马、视电阻率测井曲线及沉积环境解释

Fig. 2 Natural gamma, resistivity logging curves and sedimentary environment interpretation of the S9 borehole

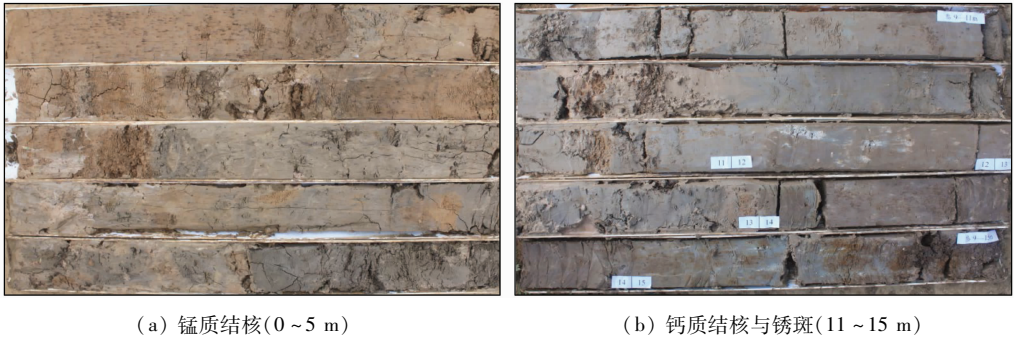
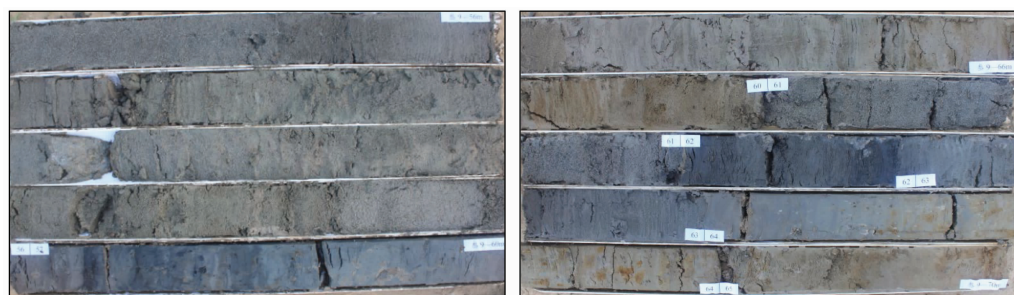


图 3-1 S9 钻孔典型岩石特征

Fig. 3-1 Typical rock characteristics of the S9 borehole



(c) 碳质斑点(56 ~ 60 m)

(d) 锰质结核、锈斑与碳质纹层(66 ~ 70 m)

图 3-2 S9 钻孔典型岩石特征

Fig.3-2 Typical rock characteristics of the S9 borehole

2 研究材料和技术方法

本研究从 S9 钻孔的第四系中共采集孢粉样品 67 件,采样范围为 0 ~ 170 m,孢粉样的岩性以黏土或黏土质粉砂为主,深度 170 m 以下的沉积物多以泥质砾为主,故未取样。取适量样品,烘干后在玛瑙研钵中研磨,粉砂或砂类样品称取 30 ~ 50 g,黏土类样品称取 10 ~ 30 g。运用酸泡-筛滤法^[15-16],首先在烧杯的样品中加入一粒石松孢子,用 400 ml 质量浓度 30% 的盐酸溶液浸泡一周左右,除去碳酸盐组分;蒸馏水反复清洗至中性后,转移至塑料烧杯中;再用 300 ~ 400 ml 质量浓度 90% 以上的氢氟酸溶液浸泡一周,除去内部的硅质成分,用蒸馏水清洗至中性;最后用超声波振荡过孔径 8 μm 筛,离心后用甘油保存;在光学显微镜下观察,鉴定并进行数目统计。所有孢粉预处理、鉴定及统计工作均在中国科学院西北生态环境资源研究院油气资源研究中心完成。

3 孢粉组合分析

3.1 孢粉类型

从 S9 钻孔采集的 67 件孢粉样品中,34 件样品可提取 150 ~ 350 粒不等的孢子花粉粒,另外 33 个样品中未见到或仅见零星的孢粉颗粒,未计入孢粉谱分析。本研究共鉴定出 45 个孢子花粉类型,使用孢子花粉的总数计算每个类型的百分含量。孢粉组合总体以灌木和草本花粉为主,含量为 9.8% ~ 90.6%,平均 57.3%,灌木和草本花粉以蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)和唇形科(*Labiatae*)等中生和旱生草本植物为主,其他类型还有代表水生和湿生环境的草本植物

花粉,如莎草科(*Cyperaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)、菊科(*Compositae*)、唐松草属(*Thalictrum*)、狐尾藻属(*Myriophyllum*)等。落叶阔叶树花粉含量较低,平均 15.3%,以栎属(*Quercus*)、榆属(*Ulmus*)、桦属(*Betula*)、胡桃属(*Juglans*)、山核桃属(*Carya*)等常见。针叶树花粉含量平均 24.5%。主要以松属(*Pinus*)为主,其他针叶树花粉类型包括云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)、罗汉松属(*Podocarpus*)、铁杉属(*Tsuga*)、柏科(*Cupressaceae*)等,其中云杉属和冷杉属的含量常被用来指示气温变化^[8,17-18]。此外可见少量的湿生蕨类植物孢子水龙骨科(*Polypodiaceae*)和凤尾蕨孢属(*Pterisporites*),以及水生藻类分子盘星藻属(*Pediastrum*)和环纹藻属(*Concentricystis*)。

3.2 孢粉组合划分

基于样品中孢粉主要组分的含量变化,以钻孔深度为纵坐标,孢粉主要科属百分含量为横坐标,绘制了孢粉图谱(图 4)。根据孢粉主要组分沿深度的变化,以及代表性科属对于湿冷暖气候环境变化的指示,自下而上可划分为 6 个孢粉组合,特征如下。

孢粉组合 I(7 个样品,深度 140 ~ 167.5 m)分布于饶阳组上部和肃宁组底部,本组合以针叶树花粉含量较高为特征,灌木和草本花粉含量居次要地位。针叶树花粉以松属为主,云杉属和冷杉属含量较低。暖温带落叶阔叶树花粉含量较低,常见栎属、榆属、桦属、胡桃属、山核桃属等。灌木和草本花粉以藜科、蒿属为主,莎草科和禾本科含量较低,并可见少量的湿生蕨类植物孢子及水生藻类分子。

孢粉组合 II(4 个样品,深度 100 ~ 140 m)分布于肃宁组下部,本组合灌木和草本花粉含量略微降低,仍然以藜科、蒿属为主,莎草科和禾本科含量较

低。针叶树花粉含量先增加再逐渐减少。落叶阔叶树花粉含量较上一组合明显增加,其中栎属、榆属、桦属、山核桃属的花粉含量均略为增高。

孢粉组合Ⅲ(6 个样品,深度 70~100 m)分布于肃宁组中部,本组合以灌木和草本花粉含量显著增加、针叶树和落叶阔叶树花粉含量显著减少为特征。灌木和草本花粉以中生和早生的禾本科、藜科和蒿属为主,均较上一组合显著增加,以莎草科为主的喜湿润草本花粉含量显著减少。落叶阔叶树花粉主要类型有栎属、榆属、桦属、山核桃属,含量均较上一组合显著减少。

孢粉组合Ⅳ(8 个样品,深度 30~70 m)分布于肃宁组上部,本组合灌木和草本花粉含量略微增加,以藜科、蒿属、禾本科为主,喜湿润的菊科变化不大。针叶树花粉含量仍然较低。落叶阔叶树花粉含量变化不大,其中栎属略微增加,其他类型如榆属、桦属、山核桃属等含量均减少。

孢粉组合Ⅴ(4 个样品,深度 10~30 m)分布于西甘河组下部,本组合以灌木和草本花粉含量显著减少、针叶树花粉含量显著增加为特征。灌木和草本花粉仍然以中生和早生的藜科、蒿属为主,莎草科、禾本科等含量均较上一组合减少。针叶树花粉中松属含量较上一组合显著增加,云杉属和冷杉属的含量整体含量仍然较低,平均仅 2.1% 和 1.1%。落叶阔叶树花粉含量变化不大,栎属略微减少,其他类型如榆属、桦属等含量略微增加。

孢粉组合Ⅵ(5 个样品,深度 0~10 m)分布于西甘河组上部,本组合灌木和草本花粉中藜科和蒿属含量显著增加,莎草科、禾本科等含量均较上一组合减少。针叶树花粉含量较上一组合明显减少,云杉属和冷杉属的含量在所有组合中最小,平均仅 0.3% 和 0.2%。落叶阔叶树花粉含量较上一组合略低,以栎属和榆属为主,其他落叶阔叶树花粉仅零星出现。

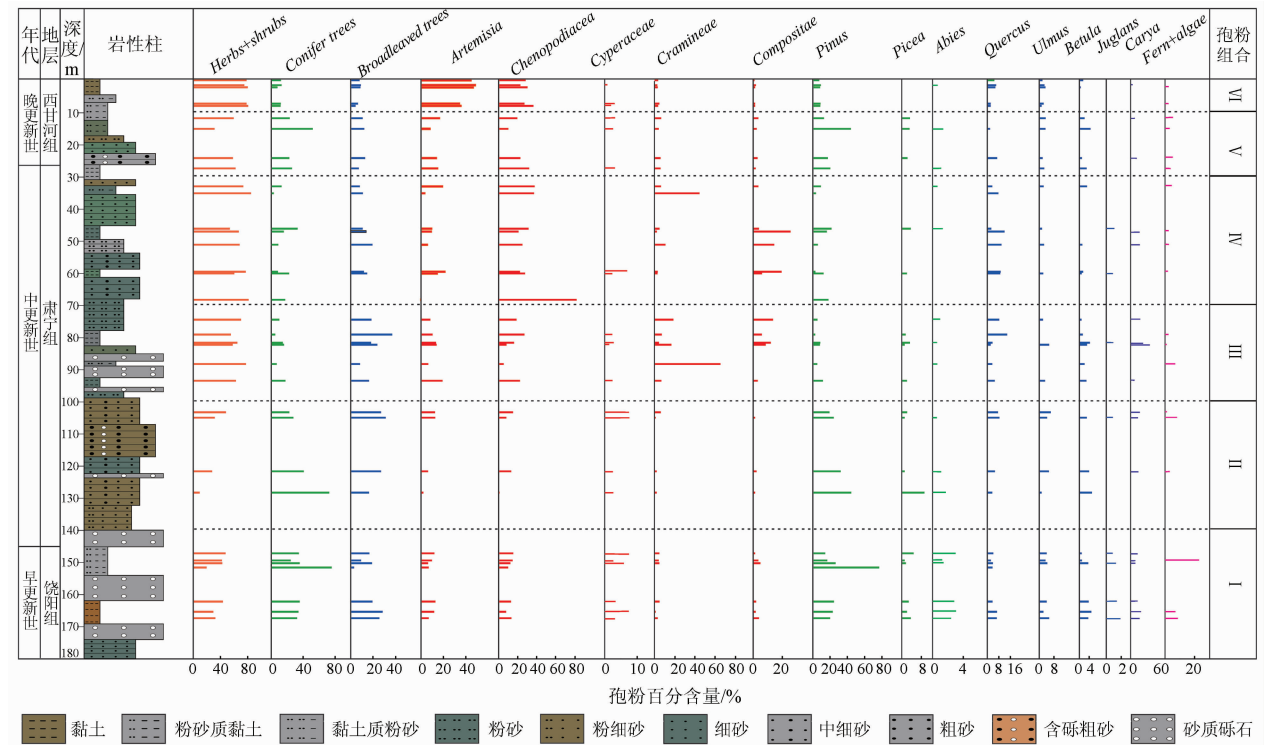


图 4 S9 钻孔主要科属孢粉百分比图谱

Fig. 4 Percentage map of sporopollen in main families and genera of the S9 borehole

4 古环境分析

通过分析 S9 钻孔划分出的 6 个孢粉组合,本文初步重建了早更新世以来河北平原区东部的气

候演变趋势。

早更新世,孢粉组合Ⅰ的针叶树花粉中松属含量较高,在一定程度上指示了凉爽干燥的气候。灌木和草本植物以喜干旱的藜科和蒿属为主。其次具多种水生和湿生植物,如莎草科、菊科、狐尾藻属

等。可见少量暖温带落叶阔叶树,如栎属、榆属、桦属和胡桃属等以及喜湿润的蕨类植物与水生藻类植物。研究区在早更新世的植被类型可能为以针叶树为主的针阔叶混交林,气候环境温和半干旱。

中更新世,孢粉组合 II 的灌木和草本花粉减少,指示了偏干旱的气候。针叶树花粉含量先增加再减少,落叶阔叶树花粉明显增加,可能指示了这一时期早期冬季气温下降,夏季风减弱;中后期冬季气温回升,夏季风增强^[19-21]。由此推断研究区这一阶段早期气候变冷变干,针叶树种向低海拔地区迁移,中后期气候开始回暖。孢粉组合 III—IV 中反映中生和旱生环境的禾本科、藜科、蒿属显著增加,指示这一时期气候明显变干。针叶树花粉和落叶阔叶树花粉含量显著减少,指示夏季风减弱,气候变暖变干。

晚更新世,孢粉组合 V 中的旱生植物藜科和禾本科等均显著减少,喜湿的草本植物略微增加,反映这一时期气候明显变湿润。以松属为代表的针叶树花粉显著增加,云杉属和冷杉属略有增加,但整体含量较低,反映该时期气候变暖变湿润。孢粉组合 VI 的旱生植物藜科和禾本科等均显著增加,其他喜湿类型植物的孢粉含量变化不大,可能指示了这一时期气候明显变干。针叶树花粉和落叶阔叶树花粉均明显减少,反映研究区气候再次变暖变干旱,同时指示东亚夏季风在这一时期呈总体减弱的趋势。自中更新世开始,极地冰量增加,北半球径向温度梯度变陡,冬季风加强^[22-28]。研究区的孢粉植物演化模式与我国中北部许多地区的植被演化趋势相似^[26,29-34],同时与东亚、北太平洋以及南半球的气候变化特征有较好的一致性^[2,9,27,35-39]。

综上,S9 钻孔沉积物孢粉分析结果指示研究区整体为稀树草原型植被环境,呈半湿润性的温暖气候。从早更新世到晚更新世,气候环境具有一定的变干趋势,早期气候偏冷湿,晚期气候暖干。这与前人研究得出的河北平原南部或东南部早更新世以来的植被组合与气候类型都较为吻合^[12-13]。

5 结论

(1) 本文依据河北省廊坊市大厂回族自治县 S9 钻孔中沉积物的孢粉组合特征,对孢粉植物群进行了初步研究,划分出 6 个孢粉组合,组合 I 和

组合 II 为以针叶树为主的针阔叶混交林,组合 III—VI 为疏林草原植被,整体为稀树草原型植被环境。

(2) 研究区早更新世为温暖半干旱的气候环境;中更新世早期气候变冷,之后气候总体呈变暖变干旱的趋势;晚更新世早期研究区气候持续变暖,经历了由湿润向干旱的转变。研究结果与东亚、北太平洋以及南半球同时期的气候变化特征具有较好的一致性。

致谢: 感谢天津市地质调查研究院王家兵高级工程师在野外工作中给予的帮助;感谢中国科学院西北生态环境资源研究院油气资源研究中心张明震老师在孢粉测试分析中提供的帮助。

参考文献 (References):

- [1] 李小明,安芷生,周杰,等.全新世黄土高原塬区植被特征[J].海洋地质与第四纪地质,2003,23(3):109-114.
Li X Q, An Z S, Zhou J, et al. Characteristics of vegetation in the Loess Plateau area since Holocene [J]. Mar Geol Quat Geol, 2003, 23(3): 109-114.
- [2] 刘晓燕,袁四化,刘智荣,等.北京平原东北部晚更新世晚期金鸡河一级阶地孢粉记录[J].科学技术与工程,2015,15(33):5-9.
Liu X Y, Yuan S H, Liu Z R, et al. Sporopollen record in Jinji River Level Terrace during the Late Late Pleistocene in Northeast Beijing Plain [J]. Sci Technol Eng, 2015, 15(33): 5-9.
- [3] 邵兆刚,孟宪刚,朱大岗,等.西藏那曲孔玛盆地孢粉记录及其环境意义[J].地球科学:中国地质大学学报,2013,38(S1):1-9.
Shao Z G, Meng X G, Zhu D G, et al. Sporopollen record in the Kongma Basin of the Naqu, Tibet, and their environmental significance [J]. Earth Sci: J China Univ Geosci, 2013, 38(S1): 1-9.
- [4] 许清海,吴忱,孟令尧,等.华北平原不同地貌单元冲积物孢粉组合特征[J].科学通报,1994,39(19):1792-1795.
Xu Q H, Wu C, Meng L Y, et al. Pollen assemblages from different geomorphic units in the North China Plain, China [J]. Chin Sci Bull, 1994, 39(19): 1792-1795.
- [5] 冯晓华,阎顺,倪健.基于孢粉的新疆全新世植被重建[J].第四纪研究,2012,32(2):304-317.
Feng X H, Yan S, Ni J, et al. Pollen-based reconstruction of vegetation in Xinjiang during the Holocene [J]. Quat Sci, 2012, 32(2): 304-317.
- [6] 李洁,许清海,张生瑞,等.相对花粉产量及其在古植被定量重建中的应用[J].第四纪研究,2013,33(6):1101-1110.
Li J, Xu Q H, Zhang S R, et al. Relative pollen productivity and its use in quantitative reconstruction of paleovegetation [J]. Quat Sci, 2013, 33(6): 1101-1110.
- [7] 魏金辉,郑卓,彭环环,等.基于孢粉植物类群气候区间的古

- 气候定量重建方法[J]. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1080 – 1090.
- Wei J H, Zheng Z, Peng H H, et al. Methods of quantitative paleoclimate reconstruction based on pollen flora and their climatic intervals[J]. Quat Sci, 2013, 33(6): 1080 – 1090.
- [8] 许清海, 李月丛, 李育, 等. 现代花粉过程与第四纪环境研究若干问题讨论[J]. 自然科学进展, 2006, 16(6): 647 – 656.
- Xu H Q, Li Y C, Li Y, et al. The discussion of modern pollen and Quaternary environmental study[J]. Prog Nat Sci, 2006, 16(6): 647 – 656.
- [9] 赵凯华, 杨振京, 张芸, 等. 新疆艾丁湖区中全新世以来孢粉记录与古环境[J]. 第四纪研究, 2013, 33(3): 526 – 535.
- Zhao K H, Yang Z J, Zhang Y, et al. Pollen records and paleoenvironment since Mid – Holocene in the Aydingkol Lake of Xinjiang[J]. Quat Sci, 2013, 33(3): 526 – 535.
- [10] 白培荣, 熊兴国. 班公湖 – 怒江缝合带中西段改则地区木嘎岗日岩群的孢粉型化石组合及时代[J]. 中国地质调查, 2020, 7(4): 60 – 66.
- Bai P R, Xiong X G. Palynomorph fossil assemblages and ages of Muga – Gangri rock group in Gaize area of the middle and western part of Bangong Co – Nuijiang suture zone in Tibet[J]. Geol Surv China, 2020, 7(4): 60 – 66.
- [11] 陈海燕, 张运强, 刘蓓蓓, 等. 冀北承德盆地杏石口组沉积特征及时代讨论[J]. 中国地质调查, 2015, 2(8): 31 – 34.
- Chen H Y, Zhang Y Q, Liu B B, et al. Sedimentary characteristics and stratigraphic age of Xingshikou Formation in Chengde Basin of Northern Hebei[J]. Geol Surv China, 2015, 2(8): 31 – 34.
- [12] 童国榜, 柯曼红, 于淑凤. 河北平原第四纪孢粉组合及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(4): 91 – 103.
- Tong G B, Ke M H, Yu S F. Quaternary sporo – pollen assemblages in Hebei Plain, China and their geological significance[J]. Mar Geol Quat Geol, 1983, 3(4): 91 – 103.
- [13] 杜金利, 李卫忠, 徐旭明, 等. 河北康保县迁安组的沉积环境、孢粉组合及时代[J]. 华南地质与矿产, 2009(1): 14 – 19.
- Du J L, Li W Z, Xu X M, et al. Geological characteristics of Qianan Formation, Kangbao county, Hebei Province[J]. Geol Mineral Resour South China, 2009(1): 14 – 19.
- [14] 范淑贤, 刘海坤, 赵华, 等. 3.2 Ma BP 以来河北黄骅地区孢粉地层学与古气候变迁[J]. 微体古生物学报, 2009, 26(2): 173 – 180.
- Fan S X, Liu H K, Zhao H, et al. Palynology stratigraphy and palaeoclimate evolution in Huanghua district of Hebei Province since 3.2 Ma BP[J]. Acta Micropalaeontol Sin, 2009, 26(2): 173 – 180.
- [15] Zhang M Z, Dai S, Pan B T, et al. The palynoflora of the Lower Cretaceous strata of the Yingen – Ejinaqi Basin in North China and their implications for the evolution of early angiosperms[J]. Cretaceous Res, 2014, 48: 23 – 38.
- [16] Zhang M Z, Ji L M, Du B X, et al. Palynology of the Early Cretaceous Hanxia Section in the Jiuquan Basin, Northwest China: The discovery of diverse early angiosperm pollen and paleoclimatic significance[J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 2015, 440: 297 – 306.
- [17] 李宜垠, 张新时, 周广胜, 等. 中国北方几种常见表土花粉类型与植被的数量关系[J]. 科学通报, 2000, 45(7): 761 – 765.
- Li Y Y, Zhang X S, Zhou G S, et al. Relationship between surface pollen and vegetation in some communities of Northern China[J]. Chin Sci Bull, 2000, 45(7): 761 – 765.
- [18] 李月丛, 许清海, 肖举乐, 等. 中国北方森林植被主要表土花粉类型对植被的指示性[J]. 第四纪研究, 2005, 25(5): 598 – 608.
- Li Y C, Xu Q H, Xiao J L, et al. Indication of some major pollen taxa in surface samples to their parent plants of forest in Northern China[J]. Quat Sci, 2005, 25(5): 598 – 608.
- [19] 陈发虎, 黄小忠, 杨美临, 等. 亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式——以新疆博斯腾湖记录为例[J]. 第四纪研究, 2006, 26(6): 881 – 887.
- Chen F H, Huang X Z, Yang M L, et al. Westerly dominated holocene climate model in arid central Asia—case study on Bosten Lake, Xinjiang, China[J]. Quat Sci, 2006, 26(6): 881 – 887.
- [20] 陈发虎, 吴薇, 朱艳, 等. 阿拉善高原中全新世干旱事件的湖泊记录研究[J]. 科学通报, 2004, 49(1): 1 – 9.
- Chen F H, Wu W, Zhu Y, et al. The lake of drought events recorded in the research in Alxa Plateau Mid – Holocene[J]. Chin Sci Bull, 2004, 49(1): 1 – 9.
- [21] 王伟铭. 中国新近纪植被和环境研究中的几个问题讨论[J]. 第四纪研究, 2011, 31(4): 589 – 596.
- Wang W M. Remarks on some possible bias in reconstructing neogene vegetation and environment in China[J]. Quat Sci, 2011, 31(4): 589 – 596.
- [22] Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5 Ma and implications for monsoon evolution[J]. Earth Planet Sci Lett, 2005, 237(1 – 2): 45 – 55.
- [23] Xiao J L, An Z S. Three large shifts in East Asian monsoon circulation indicated by loess – paleosol sequences in China and Late Cenozoic deposits in Japan[J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 1999, 154(3): 179 – 189.
- [24] 白友良, 蒋汉朝, 陈剑杰, 等. 新疆孔雀河北缘中更新世湖相沉积物的孢粉植物群初步研究[J]. 第四纪研究, 2013, 33(5): 856 – 865.
- Bai Y L, Jiang H C, Chen J J, et al. Preliminary study on the palynoflora from the mid – Pleistocene lake sediments in the northern margin of the Peacock River, Xinjiang Province[J]. Quat Sci, 2013, 33(5): 856 – 865.
- [25] 陈发虎, 陈建徽, 黄伟. 中纬度亚洲现代间冰期气候变化的“西风模式”讨论[J]. 地学前缘, 2009, 16(6): 23 – 32.
- Chen F H, Chen J H, Huang W. A discussion on the westerly – dominated climate model in mid – latitude Asia during the modern interglacial period[J]. Earth Sci Front, 2009, 16(6): 23 – 32.
- [26] 董铭, 方小敏, 史正涛, 等. 甘肃省临夏盆地更新世早期湖泊沉积孢粉记录的古气候演化[J]. 第四纪研究, 2011, 31(1):

- 104 – 111.
Dong M, Fang X M, Shi Z T, et al. Early Pleistocene lacustrine spore – pollen records and evolution of paleoclimate in Linxia Basin, Gansu Province, China [J]. *Quat Sci*, 2011, 31 (1): 104 – 111.
- [27] 童国榜, 吴锡浩, 陈云, 等. 渭河谷地晚新生代地表环境巨变的孢粉记录[J]. *地质力学学报*, 2000, 6(4): 11 – 18.
Tong G B, Wu X H, Chen Y, et al. Palynoevents since Late Cenozoic in Weihe valley and climate changes [J]. *J Geomech*, 2000, 6(4): 11 – 18.
- [28] 张梦莹, 范代读, 吴国瑄, 等. 瓯江三角洲南翼晚第四纪孢粉、藻类记录及其古气候意义[J]. *第四纪研究*, 2012, 32 (6): 1234 – 1247.
Zhang M Y, Fan D D, Wu G X, et al. Palynological characters of Late Quaternary in the south flank of the Oujiang River Delta and their paleoclimate implications [J]. *Quat Sci*, 2012, 32 (6): 1234 – 1247.
- [29] 黄向青, 梁开, 夏真, 等. 北部湾北部上更新统的沉积特征及其记录的古环境[J]. *第四纪研究*, 2018, 38(2): 454 – 471.
Huang X Q, Liang K, Xia Z, et al. The sedimentary characteristics of Upper Pleistocene and its palaeo – environmental records in northern Beibu Gulf [J]. *Quat Sci*, 2018, 38(2): 454 – 471.
- [30] 向焯. 南通市第四系孢粉组合与气候演化特征[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
Xiang Y. Sporopollen Assemblage and Evolution of Palaeoclimat in Natong City area since Quaternary [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.
- [31] 谢树成, 王志远, 王红梅, 等. 末次间冰期以来黄土高原的草原植被景观: 来自分子化石的证据[J]. *中国科学: D 辑*, 2002, 32(1): 28 – 35.
Xie S C, Wang Z Y, Wang H M, et al. Grassy vegetation since the last interglacial in the Loess Plateau: The molecular fossil record [J]. *Science in China: Series D*, 2002, 32(1): 28 – 35.
- [32] 许清海, 阳小兰, 梁文栋, 等. 华北平原冲积物孢粉沉积相研究[J]. *古地理学报*, 2001, 3(2): 55 – 63.
Xu Q H, Yang X L, Liang W D, et al. Pollen sedimentary facies of fluvial sediments on North China Plain [J]. *J Palaeogeogr*, 2001, 3(2): 55 – 63.
- [33] 张宗言, 于俊杰, 蒋仁, 等. 江苏省江都市大桥镇 ZKA4 钻孔第四纪孢粉组合及其环境变化研究[J]. *微体古生物学报*, 2014, 31(1): 64 – 74.
Zhang Z Y, Yu J J, Jiang R, et al. Palynological assemblages from the borehole ZKA4 at Daqiao town, Jiangdu City, Jiangsu Province and their environmental meanings [J]. *Acta Micropalaeontol Sin*, 2014, 31(1): 64 – 74.
- [34] 赵琳, 马春梅, 林留根, 等. 江苏连云港藤花落遗址孢粉记录研究[J]. *第四纪研究*, 2014, 34(1): 16 – 26.
Zhao L, Ma C M, Lin L G, et al. Pollen records of Tenghualuo Site in Lianyungang City, Jiangsu Province [J]. *Quat Sci*, 2014, 34(1): 16 – 26.
- [35] 郭高轩, 蒋汉朝, 蔡向民, 等. 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.
Guo G X, Jiang H C, Cai X M, et al. A Quaternary pollen record from the X5 core in Beijing and its response to the Pleistocene climate change [J]. *Quat Sci*, 2013, 33(6): 1160 – 1170.
- [36] 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 北京地区不同沉积环境对孢粉沉积影响的分析[J]. *沉积学报*, 1997, 15(S1): 57 – 63.
Zhang J H, Kong Z C, Du N Q. An analysis of different sedimentary environment influence on pollen deposit in Beijing [J]. *Acta Sedimentol Sin*, 1997, 15(S1): 57 – 63.
- [37] 赵淑君, 程捷, 尹功明, 等. 北京平原区中更新世以来的孢粉组合及其古气候意义[J]. *古地理学报*, 2008, 10(6): 637 – 646.
Zhao S J, Cheng J, Yin G M, et al. Palynological assemblages and paleoclimatic significance in Beijing plain area since the Middle Pleistocene [J]. *J Palaeogeogr*, 2008, 10(6): 637 – 646.
- [38] 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 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 – 391.
Li J J, Fang X M, Pan B T, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai – Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. *Quat Sci*, 2001, 21(5): 381 – 391.
- [39] 王强, 张玉发, 袁桂邦, 等. MIS 3 阶段以来河北黄骅北部地区海侵与气候期对比[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(1): 79 – 95.
Wang Q, Zhang Y F, Yuan G B, et al. Since MIS3 the correlation between transgression and climatic changes in the north Huanghua area, Hebei [J]. *Quat Sci*, 2008, 28(1): 79 – 95.

Quaternary palynological records and climatic significance of S9 borehole in Sanhe City of Hebei Plain

LV Kexin¹, SHI Guangyao², ZHANG Huan², ZHANG Jinlong², LI Qingzhe², ZHANG Pengcheng²

(1. Geophysical Exploration Academy of Hebei Province, Hebei Langfang 065000, China; 2. Regional Geological Survey Institute of Hebei Province, Hebei Langfang 065000, China)

Abstract: For exploring the evolution characteristics of vegetation and climate in eastern Hebei Plain since Pleistocene period, the authors in this paper studied the palynoflora of the S9 borehole in Dachang Depression. Ac-

according to sporopollen distribution of S9 borehole, 6 sporopollen assemblages were divided from bottom to up. The assemblage I and II were broad-leaved mixed forests dominant by the coniferous, with assemblage III – VI were sparsely forested grassland vegetation, the whole area was dominant by savannah-type vegetation environment. Besides, the climate change regularity was restored based on the palynological assemblages. In Early Pleistocene, the climate of the study area was warm and semi-arid, and the climate became cold in the beginning of Middle Pleistocene, with warm and dry trends in general afterwards. In Late Pleistocene, the climate of the study area continued to get warm, with the transition from wet to dry. The evolving pattern of palynoflora in the study area was similar with environment change of other regions in North Central China, and is well consistent with climate change characteristics of East Asia, North Pacific and the Southern Hemisphere.

Keywords: palynological assemblage; Quaternary; climate change; Hebei Province

(责任编辑: 魏昊明)