

唐山地区晚更新世以来的孢粉组合特征及其与邻区的对比

李玉嵩¹⁾, 陈建强¹⁾, 赵硕²⁾, 王海英²⁾, 李欣¹⁾

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2) 唐山市地震局, 河北唐山 063000

摘要: 通过对唐山市复兴路十中旧址钻孔更新统上部和全新统部分的60 m岩芯的沉积物及92件孢粉样品的分析, 建立了4个组合带, 总结了唐山地区晚更新世以来的植被演替和气候变化: (1)孢粉带I, 以针阔混交林-草原为主, 气候温暖湿润; (2)孢粉带II, 以疏林草原为主, 气候寒冷干旱, 为晚更新世以来环境最为恶劣的时期; (3)孢粉带IIIa, 植被为针阔混交林-草原, 气候温暖湿润; (4)孢粉带IIIb, 发育暗针叶林-草原, 气候寒冷湿润; (5)孢粉带IIIc, 植被为疏林草原, 气候寒冷略干; (6)孢粉带IV, 发育针阔混交森林, 气候温暖湿润, 为晚更新世以来水热条件最佳的时期。通过与邻区及全球冰芯、深海沉积研究成果的对比分析, 探讨了华北平原晚更新世以来的气候变化特点: MIS3的温湿条件显著优于MIS2和MIS4, 达到间冰期气候, 与MIS5相似, 局部地区甚至超过MIS1; MIS2不是一个持续干冷的过程, 而是一个由湿冷逐渐转向干冷的过程。此成果对探讨华北平原第四纪地层划分、对比和气候演化提供了科学依据。

关键词: 孢粉组合; 气候变化; 晚更新世; 唐山地区

中图分类号: P532; Q913.84 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2011.02.06

Sporopollen Assemblages in Tangshan Area since Late Pleistocene with a Correlation to those in Adjacent Areas

LI Yu-song¹⁾, CHEN Jian-qiang¹⁾, ZHAO Shuo²⁾, WANG Hai-ying²⁾, LI Xin¹⁾

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2) Tangshan Seismological Bureau, Tangshan, Hebei 063000

Abstract: Based on a study of 92 samples collected from the 60-meter deep core of an Upper Pleistocene and Holocene deposit at the site of the former 10th Middle School on Fuxing Road of Tangshan City, the authors have established four sporo-pollen complex zones. Plant successions and climate changes in Tangshan area since Late Pleistocene are summarized as follows: (1) Along sporopollen zone I, the vegetation was mainly from mixed coniferous and broad-leaf forest to grassland, and the climate was warm and moist. (2) Along sporopollen zone II, sparse woods-grassland represented the vegetation at that time, the climate was cold and dry, and this stage was the most terrible period since Late Pleistocene. (3) Along sporopollen zone IIIa, it was warm and moist, and the vegetation was from mixed coniferous and broad-leaf forest to grassland. (4) Along sporopollen zone IIIb, dark coniferous forest and grassland were developed, and the climate was cold and moist. (5) Along sporopollen zone IIIc, the vegetation was sparse woods-grassland, and the climate was cold and somewhat dry. (6) Along sporopollen zone IV, mixed coniferous and broad-leaf forest was developed, the climate was warm and moist, and this stage was a period with the best hydrothermal condition since Late Pleistocene. A comparison is also made with the achievements obtained in adjacent areas, global ice cores and deep sea sediments so as to investigate the

本文由河北省城市活断层探测与地震危险性评价项目(唐山市)(编号: 07-TSZT-05)资助。

收稿日期: 2011-01-10; 改回日期: 2011-03-15。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 李玉嵩, 男, 1983年生。在读博士研究生。第四纪地质学专业。

通讯作者: 陈建强, 男, 1957年生。教授, 博士生导师。主要从事地层及古生物学研究。E-mail: chenjq@cugb.edu.cn。

characteristics of climate change in North China plain since Late Pleistocene. The hydrothermal condition of MIS3 was much better than that of MIS2 and MIS4 and reached an interglacial climate similar to that of MIS5, with local areas even exceeding that of MIS1. The climate of MIS2 varied from cold-moist to cold-dry instead of being always cold and dry. The results obtained in this paper provide an important basis for the study of Quaternary stratigraphic division and correlation as well as climate changes in North China plain.

Key words: spore-pollen assemblages; climate changes; Late Pleistocene; Tangshan area

自 20 世纪 70 年代以来,全球变化逐渐成为国际研究热点。随着全球变化研究的进展,孢粉分析方法作为恢复区域古植被变化,定量重建古气候的一种重要方法,被广泛地应用于第四纪古气候和古环境分析(Kawahata et al., 2004; Herzschuh et al., 2004; 王燕等, 2005; 毛洪亮等, 2007; Hayashi et al., 2010)。晚更新世气候环境的变迁包含一个完整的冰期-间冰期旋回,它为研究古气候环境的周期性变化规律和预测未来气候环境演变趋势提供了最为重要和最为直接的参考(萧家仪等, 2005; 唐领余等, 2007)。唐山市所属的华北平原地处我国东部典型季风区内,新构造运动比较强烈,是一个地震多发区,同时,唐山位于京津唐首都经济圈内,是国家重点防震区,对其第四纪气候环境的研究具有重要的现实意义。

华北平原第四纪地层、孢粉及气候环境变化的总体研究程度较低,尤其是城市第四纪地层及其环境演变的研究更加薄弱,发表的成果和资料相对有限。目前,关于晚更新世和全新世孢粉研究的主要成果有:周昆叔等(1978, 1984)指出晚更新世晚期华北平原曾广泛发育暗针叶林。董国榜等(1991)将华北平原东部地区 20 ka BP 以来的九个气候期分别命名为坟庄冷期、宁河暖期、宁河冷期、濮阳暖期、濮阳冷期、京津暖期、青县冷期、渤海暖期、现代冷期。孟广兰和王少青(1987)将渤海及其周围区域 200 ka BP 以来划分了五个冷期和五个暖期。张文卿(1999)、郭盛乔等(1999, 2000)都对河北平原南部宁晋泊南王庄的古气候进行了研究,张文卿探讨了该区晚更新世以来的气候变化,但仅全新世有测年样品控制,剖面中下部的地层时代有待进一步确认。郭盛乔等对该区的研究主要集中在 13.5~0 ka BP 及 2.6~0 ka BP 这两个时间段。王艳(2000a, b)对渤海湾曹妃甸 96-24 钻孔孢粉资料的研究着重指出了中全新世中期(5 ka BP)出现了一次明显的冷期。郭盛乔等(2005)对华北平原末次盛冰期(20~16 ka BP)古气候进行了专门讨论,指出末次盛冰期不是一个持续的干冷时期,而是存在从凉湿-冷偏湿-冷干的波动变化过程。张俊牌等(2007)指出华北平原东部

50 ka BP 以来环境演变的大体模式为冷干-暖湿-冷干-暖湿。赵淑君等(2008)对北京地区中更新世以来的孢粉研究指出该区晚更新世早期气候温暖湿润,晚期温凉干旱,但并未发现晚更新世晚期可能发育暗针叶林景观的气候证据。范淑贤等(2009)发现第四纪以来渤海西岸的古植被演变受气候变化的影响,也受沉积环境的制约。这些都是华北平原第四纪环境研究的重要成果,从中可以看出,晚更新世以来的气候变化研究还存在如下问题:①时间跨度过大,测年数据较少,分辨率不高;②晚更新世末期(全新世)以来的研究较多,覆盖完整的晚更新世-全新世的研究并不多见。

以上成果为本研究奠定了良好的基础。本文依托河北省活断层探测与地震危险性评价项目(唐山市)(07-TS2T-05),通过对唐山市复兴路十中旧址钻孔更新统上部和全新统部分的 60 m 岩芯的沉积物及 92 件样品的孢粉分析,建立了 4 个组合带,分析了唐山地区晚更新世以来的植被演替和气候变化,将其划分为 6 个阶段,这 6 个阶段总体反映了晚更新世以来气候变化周期,成果对探讨华北平原第四纪地层划分对比和气候演化提供了重要依据。

唐山市及其周边地区处于华北平原与燕山接壤处,市区范围大致位于东经 117°31'~119°19',北纬 38°55'~40°28',现今属暖温带半湿润季风气候,年均温 11.1℃,年均降水量 644.2 mm。

1 十中旧址钻孔孢粉组合及气候演化特征

1.1 钻孔简介

十中旧址钻孔位于唐山市区东南部,原唐山市第十中学旧址(现为地震遗址)院内, GPS 位置为 39°36'25.0"E, 118°11'50.7"N(图 1),是唐山市具有代表性的第四纪钻井剖面,本文结合项目的开展,实施了钻孔的钻探、取芯和采样(包括测年样品、孢粉样品、粒度分析样品等)。该孔总进尺 106.8 m,共取得岩芯 103.6 m,平均取芯率 97%。自上而下共可划分为六个沉积旋回,岩性特征见表 1。

1.2 地质时代划分

关于第四系的内部划分,本文采用闵隆瑞

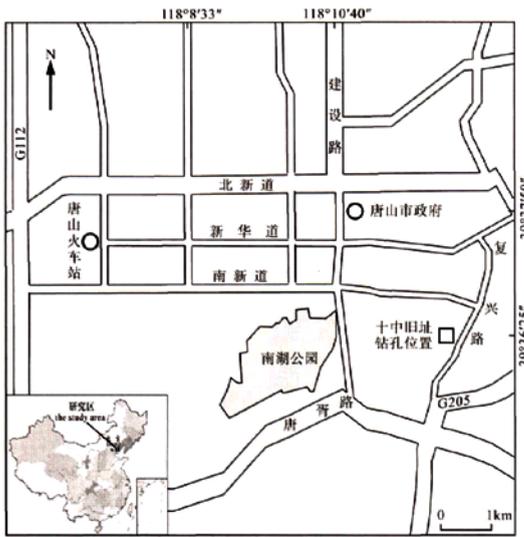


图1 研究区及钻孔位置图

Fig. 1 Location of the study area and the drillhole

(2005)的划分方案,即划分为更新统下部(Qp¹)、更新统中部(Qp²)、更新统上部(Qp³)和全新统(Qh)。

十中旧址钻孔共获得热释光(TL)测年数据4个,孔深20.4 m, 25.1 m, 53.2 m, 58.5 m处TL年龄分别为39.55±3.36 ka BP, 59.32±5.04 ka BP, 124.19±10.56 ka BP, 135.81±11.54 ka BP。若以128 ka BP作为晚更新世年代底界,那么Qp³底界应在53.2 m至58.5 m之间。剖面56.4 m处为一沉积旋回底界,且界面上下沉积物岩性、颜色皆有较大差别,结合粒度分析研究结果(已另文讨论),表明Qp²与Qp³的界线可能在此处。从孢粉分析的结果来看,56.4 m上下的孢粉类型也表现出较大差异。56.4~29.5 m大多为反映暖湿气候的孢粉组合,根据全球深海氧同位素及冰川的研究结果,Qp³早期即MIS5,为末次间冰期,综上所述,作者认为晚更新世底界放在56.4 m处上下是最为合适的。全新统底界附近未能获得有效的测年数据,只能依据气候地层学的原理推测剖面4.4 m处可能是Qp³和Qh的分界线。

1.3 孢粉类型

十中旧址钻孔共采集孢粉样品135件,采样深

度范围为2.3~102.0 m。本文取2.3~60 m段92件孢粉样品进行分析,主要探讨晚更新世以来的孢粉与气候特征,样品平均间距为0.6 m,32~37 m段沉积物主要为粗砂及砾石层,颗粒较粗,未采集样品。全部样品经氢氟酸溶矿处理过筛后,获得丰富的孢粉化石。在92件样品中共统计鉴定到13204粒孢子花粉,除个别样品因浓度过低鉴定粒数在100粒以下外,绝大多数样品鉴定粒数均在100粒以上,平均每样143.5粒。样品的孢粉平均浓度为17.61粒/克,分属83个孢粉类型,以草本植物花粉为主,平均含量为53.17%;乔木植物花粉次之,平均含量37.95%;蕨类孢子含量较少,平均为7.39%;灌木植物花粉极少,平均仅占1.49%。有时见少量水生植物花粉及藻类孢囊。主要孢粉类型:①草本植物花粉尚丰富,有36个花粉类型,主要有蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、律草属(*Humulus*)、菊科(*Compositae*)、禾本科(*Gramineae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、五加科(*Araliaceae*)、茄科(*Solanaceae*)、唇形科(*Labiatae*)及唐松草属(*Thalictrum*)等,有时见少量湿生草本莎草科(*Cyperaceae*)及水生草本植物香蒲属(*Typha*)、狐尾藻属(*Myriophyllum*)等分子。②乔木植物花粉有17个花粉类型,主要为松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*)、云杉属(*Picea*)、桦/鹅耳枥属(*Betula/Carpinus*)、榆属(*Ulmus*)、胡桃属(*Juglans*)、杉科/柏科(*Taxodiaceae/Cupressaceae*)及栗属(*Castanea*)等。③蕨类植物孢子有15个孢子类型,主要为铁线蕨/鳞盖蕨属(*Adiantum/Microlepria*)、真蕨纲(*Filicale*)、卷柏属(*Selaginella*)、中华卷柏(*S. sinensis*)、蹄盖蕨属(*Athyrium*)及水龙骨科(*Polypodiaceae*)的分子等。④灌木植物花粉见15种花粉类型,主要有盐肤木属(*Rhus*)、白刺属(*Nitraria*)、麻黄属(*Ephedra*)等。

1.4 孢粉组合特征

根据本钻孔孢粉组合特征,结合钻孔岩性特征、热释光年龄,自下而上可分为四个孢粉带(图2,图3)。

表1 十中旧址钻孔地层特征
Table 1 Stratigraphic features of the core at the 10th Middle School

| 沉积旋回 | 岩性描述 | 厚度/m | 热释光测年值/ka |
|------|--|------|--------------------------|
| 第一旋回 | 杂色人工填土、灰黄色泥质粉砂、粉细砂为主 | 4.4 | |
| 第二旋回 | 上部为灰黄色泥质粉砂,下部为灰色粉砂、粉细砂、细砂、中砂 | 9.8 | |
| 第三旋回 | 上部为灰色-灰黄色粘土,下部为灰色粉砂、粉细砂、细砂、中砂 | 13.1 | 39.55±3.36 59.32±5.04 |
| 第四旋回 | 上部为灰褐色粉砂质粘土,下部为灰色粉砂、粉细砂、中砂,底部为灰色砾石层。 | 10.0 | |
| 第五旋回 | 下部以浅黄色细砂为主,上部为灰色-浅黄色粉砂、粉细砂、泥质粉砂。 | 19.1 | 124.19±10.56 |
| 第六旋回 | 上部为灰色-灰黄色-灰褐色粘土、粉砂质粘土,下部为灰色-灰黄色粉砂、粉细砂、细砂、中粗砂,底部为灰色砾石 | 50.4 | 135.81±11.54 |

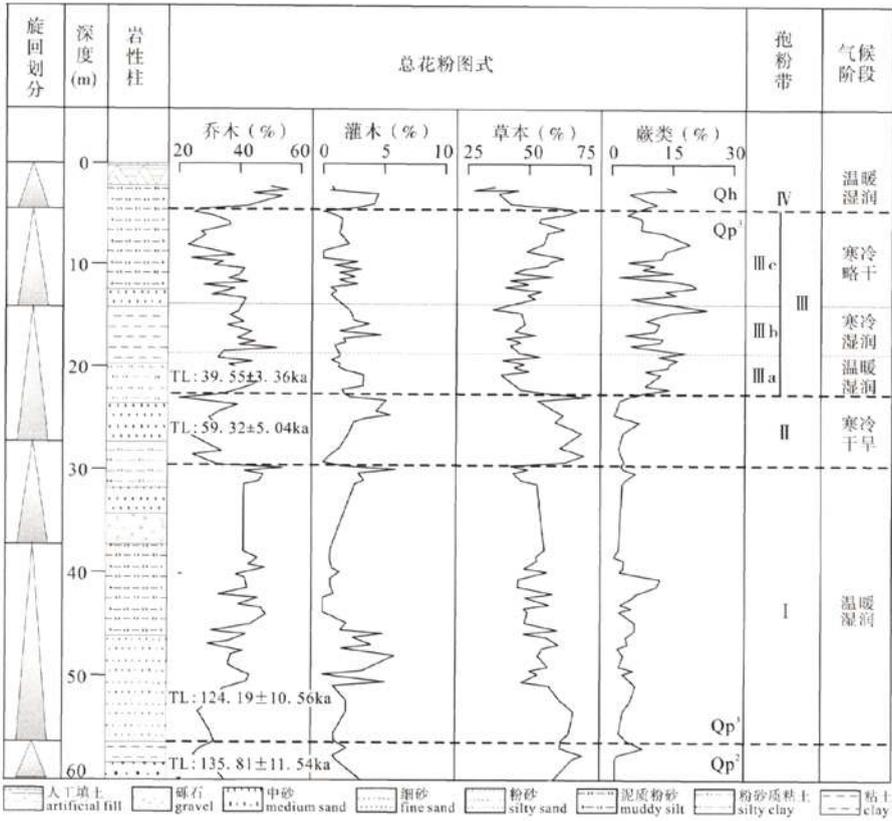


图 2 唐山十中旧址钻孔更新统上部和全新统总花粉图谱

Fig. 2 Upper Pleistocene and Holocene palynogram of the core at the site of the former 10th Middle School, Tangshan

1.4.1 孢粉带 I 56.4 m ~ 29.5 m

本组合以草本植物花粉为主, 含量为 53.86%, 主要类型为蒿属(28.00%)、藜科(15.29%)、禾本科(5.25%), 五加科、律草属、香蒲属、狐尾藻属、莎草科也有一定的分布; 乔木花粉含量占 40.12%, 主要为松属(29.46%)、云杉属(2.82%)、桦/鹅耳枥属(2.46%)和栎属(4.37%), 以及少量的榆属(*Ulmus*)花粉; 蕨类植物孢子含量为 4.09%, 主要是真蕨纲(1.47%); 灌木植物花粉含量稀少, 平均含量不足 2.00%。

本带植物属种类型极为丰富, 几乎鉴定到的所有类型在本带皆有出现。乔木植物中喜暖的胡桃、榆、栗经常出现。除松外, 阔叶树含量略高于针叶树含量, 因此反映当时的植被应为针阔混交林-草原, 气候温暖湿润。

1.4.2 孢粉带 II 29.5 m ~ 22.4 m

草本植物花粉含量占绝对优势, 平均 63.99%, 最高达到 73.33%, 以蒿属(34.09%)和藜科(16.15%)花粉为主, 其次为禾本科(5.26%)、律草属(2.16%)、五加科(1.73%)和菊科(1.28%), 还出现少量的蔷薇

科、毛茛科、唐松草属、唇形科和豆科花粉等; 乔木花粉含量次之, 为 30.07%, 主要为松属(22.62%)、桦/鹅耳枥属(3.69%)和栎属(2.18%); 灌木花粉和蕨类孢子含量都较低, 分别为 2.62%和 3.32%。

本层段乔木植物花粉平均含量达到剖面最低值, 单个样品乔木含量更是低至 20.00%, 为所有样品中最低。草本含量达到剖面峰值, 耐旱灌木麻黄在本带出现频繁, 表明气候比较干燥。从剖面整体来看, 本时段是唐山地区晚更新世以来环境最为恶劣的时期, 植被类型为疏林草原, 气候寒冷干旱。

1.4.3 孢粉带 III 22.4 m ~ 4.4 m

本带为剖面中孢粉最为丰富的一段, 一般在 30 粒/克, 最高可达 69.54 粒/克。组合中草本植物花粉含量较高, 平均含量为 50.40%, 其中禾本科(8.83%)、蒿属(21.77%)和藜科(10.77%)为主要分子, 同时含有少量的律草属(1.74%)和五加科(1.11%); 乔木花粉含量较低, 平均 36.56%, 以松属(23.86%)和云杉属(5.56%)花粉为主, 以及少量的桦/鹅耳枥属(2.07%)和栎属(3.00%); 蕨类植物孢子含量大幅上升至 11.33%, 为本剖面最高的一段, 主要包括铁

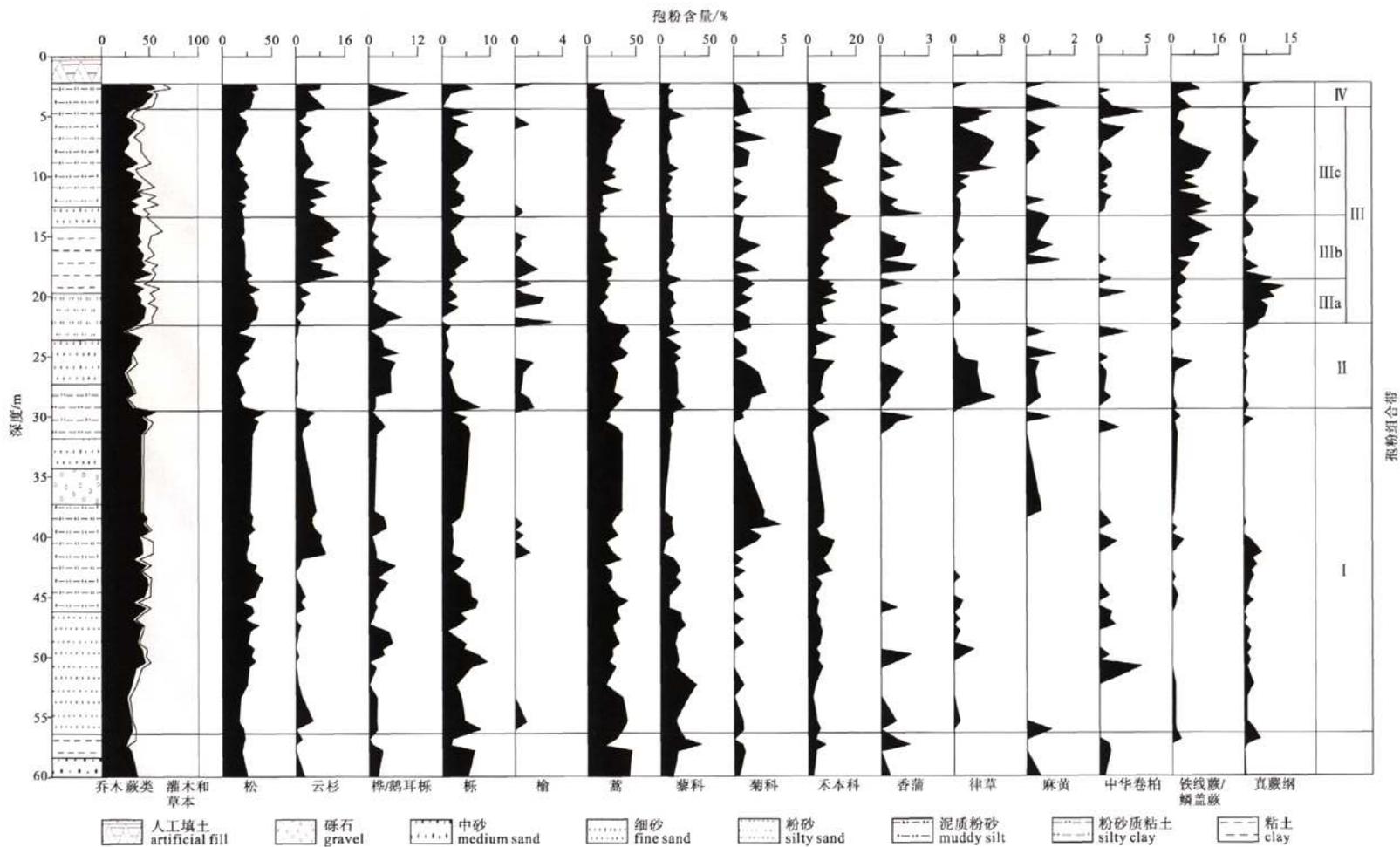


图3 唐山十中旧址更新统上部和全新统钻孔孢粉分类图谱

Fig. 3 Detailed Upper Pleistocene and Holocene palynogram of the core at the site of the former 10th Middle School, Tangshan

线蕨/鳞盖蕨属(5.71%)和真蕨纲(2.94%);灌木花粉含量稀少,平均不到 2.00%,有少量的盐肤木属、白刺属等。

本层段整体来看,乔木花粉含量呈缓慢逐渐下降趋势,草本含量逐渐上升,但乔木成分变化较大,乔木植物中阔叶树含量和针叶树含量呈现出明显的规律性变化,因此又可将本组合带划分为三个亚带。

亚带 IIIa 22.4 m ~ 18.8 m

孢粉组合总体特点是乔木含量达 40.66%,乔木植物中榆、桦、栎等落叶阔叶树经常出现,且含量较高,针叶树除松外仅见云杉。榆属含量达到 1.21%,栎属含量 1.69%,据许清海等(2007)对中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系的研究,表明榆属和栎属花粉均对植被有一定的指示意义,而且花粉含量明显低于植被盖度,当花粉含量高于 1%时,基本可断定周围存在该植物。草本植物含量下降至 50%以下,蕨类孢子含量大幅上升,表明该时段植被类型为针阔混交林-草原,气候温暖湿润。

亚带 IIIb 18.8 m ~ 14.2 m

该亚带突出特点是乔木、草本等的含量与上段相比变化不大,但乔木植物的成分发生了较大变化,云杉含量大幅上升,平均为 10.08%,最高可达 14.36%。榆属含量降至 1%以下。许清海等(2007)的研究表明云杉花粉对植物有较强的指示意义,花粉百分比与植被盖度之间的相关系数(R)达到 0.94,可见此时段唐山地区曾大面积发育过以云杉为主的暗针叶林-草原景观,气候寒冷湿润。

亚带 IIIc 14.2 m ~ 4.4 m

本组合中乔木花粉含量下降至 33.34%,且几乎所有乔木种类含量均较上段有所下降。蕨类孢子含量为 10.67%,草本含量上升至 54.76%,表明气候虽向冷干方向发展,但未达到干旱的程度。本段为剖面中与孢粉带 II 最为相似的一段,乔木花粉含量均

降至 30%左右,草本植物中除蒿和藜外,禾本科和律草属都有较高的含量。但与孢粉带 II 相比,本组合中草本含量较低,蕨类孢子含量较高,云杉含量也远远高于孢粉带 II(孢粉带 II 基本未见云杉),因此推测本时段比孢粉带 II 代表的时期更冷,但未达到孢粉带 II 的干旱程度。植被类型为疏林草原,气候寒冷略干。

1.4.4 孢粉带 IV 4.4 m ~ 2.3 m

孢粉组合中乔木花粉含量占优势,平均含量达 49.23%,为本剖面最高,以松属(32.19%)和云杉属(6.97%)花粉为主,桦/鹅耳枥属(3.56%)、栎属(3.24%)也占有一定的含量,还有少量的胡桃属(*Juglans*)、栗属(*Castanea*)花粉等;草本花粉含量次之,平均含量 37.73%,主要包括禾本科(6.36%)、蒿属(15.08%)、藜科(9.61%)花粉等,及少量菊科、毛茛科、蔷薇科、五加科、茄科和律草属;蕨类孢子含量一般在 10%左右,以铁线蕨/鳞盖蕨属(5.72%)和真蕨纲(2.33%)孢子为主;灌木植物花粉含量较低,平均只有 2.15%,主要是盐肤木属(1.27%)。

本层段中乔木植物含量基本呈直线上升趋势,草本植物含量呈直线下降趋势。乔木植物平均含量首次大于草本植物含量,草本植物含量降到 50%以下,表明本层段为本地区晚更新世以来气候最为温暖湿润的时期,植被类型为针阔混交林。

1.5 古植被与古气候特征

根据十中旧址钻孔的孢粉组合特征,唐山地区的气候演化自晚更新世以来可以划分出 6 个阶段(表 2),反映了唐山地区晚更新世以来的气候演变过程。

2 对比与讨论

为进一步认识唐山地区晚更新世以来的古气候环境演变规律和特点,作者将本研究结果与邻区及全球冰芯、深海沉积的研究结果进行了对比(图 4),进而尝试探讨华北平原晚更新世以来的古气候特

表 2 十中旧址钻孔孢粉组合和气候类型
Table 2 Sporo-pollen assemblages of the core at the former 10th Middle School and climatic features indicated

| 地质时代 | 深度/m | 孢粉组合 | 植被类型 | 古气候 | 冰期 | 深海氧同位素阶 |
|------|-------------|------|-------------|------|-----------|---------|
| 全新世 | 4.4 ~ 0 | IV | 针阔混交林 | 温暖湿润 | 冰后期 | 1 |
| | 14.2 ~ 4.4 | IIIc | 疏林草原 | 寒冷略干 | | |
| 晚更新世 | 18.8 ~ 14.2 | IIIb | III 暗针叶林-草原 | 寒冷湿润 | 末次冰期晚冰阶 | 2 |
| | 22.4 ~ 18.8 | IIIa | 针阔混交林-草原 | 温暖湿润 | 末次冰期间冰阶晚期 | 3 |
| | 29.5 ~ 22.4 | II | 疏林草原 | 寒冷干旱 | 末次冰期早冰阶 | 4 |
| | 56.4 ~ 29.5 | I | 针阔混交林-草原 | 温暖湿润 | 末次间冰期 | 5 |

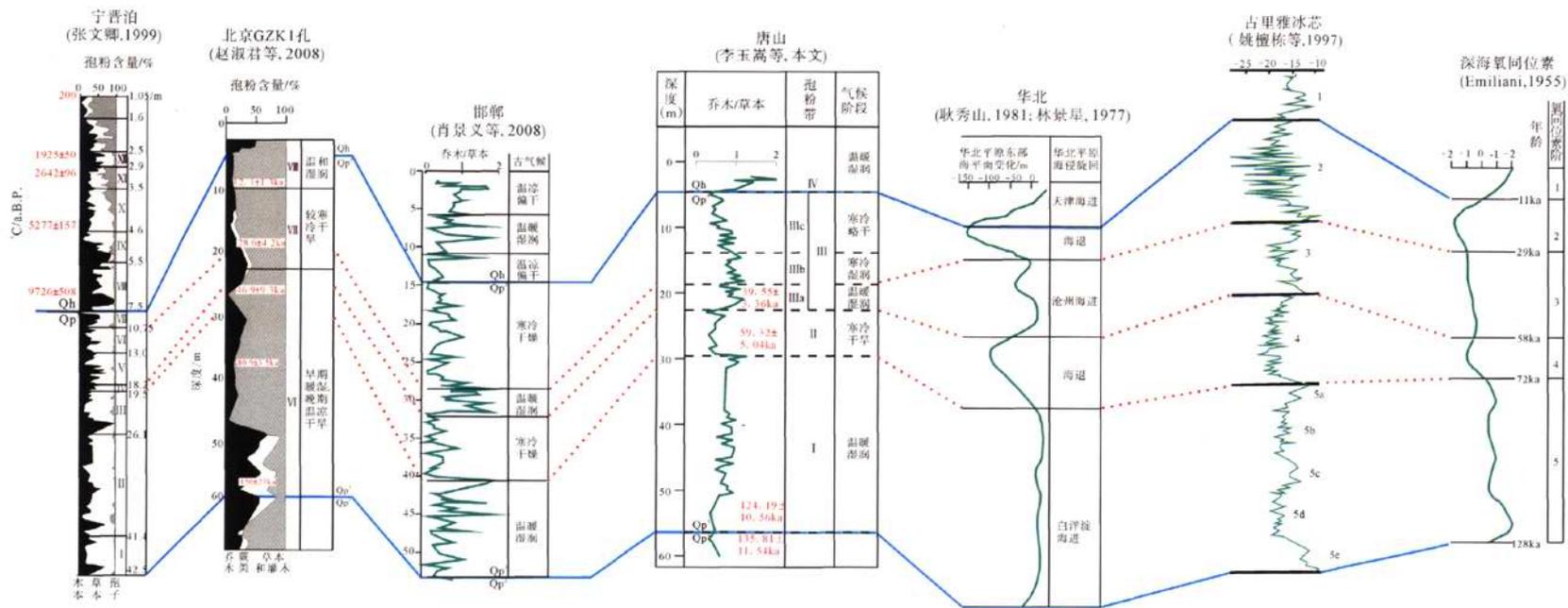


图 4 华北平原晚更新世以来孢粉组合与气候变化对比图
Fig. 4 A comparison of spore-pollen assemblages and climatic changes in North China plain since Late Pleistocene

点。

末次间冰期

从本研究的结果来看, 唐山地区进入末次间冰期在 130 ka BP 左右, 期间整体气候温暖湿润, 但似乎末期比初期更加暖湿, 自下而上有逐渐增温的趋势。在本时段内的 110 ~ 70 ka BP, 河北平原东部发生了晚更新世以来的第一次海侵(张树山等, 1996), 本钻孔的孢粉图式上也较好的印证了这一点。关于华北平原末次间冰期气候的详细研究并不多见, 从肖景义等(2008; 2010)对邯郸 HZ_S 孔的研究结果来看, 邯郸地区末次间冰期末期水热条件优于初期, 与本研究的结果一致。赵淑君等(2008)对北京平原的研究指出 MIS5 阶段时北京地区从早期到晚期具有降温趋势, 前人对古里雅冰芯(姚檀栋等, 1997)及深海沉积(Emilian, 1955)的研究结果也表明末次间冰期总体上是个逐渐降温的过程, 与本研究结果不符。这种差异可能是由于测年误差及研究精度不同造成的, 同时也表明华北地区末次间冰期气候演化是一个极复杂的过程, 还需要进一步深入研究。

末次冰期

唐山地区末次冰期大致开始于 70 ka BP, 整体上呈现冷干的气候特征, 其中:

MIS4 MIS4 是唐山地区晚新世以来气候最为干旱的一个时期。在此时段的孢粉组合中, 草本含量达到峰值, 乔木植物中松和桦占了绝对比例, 众所周知, 松和桦皆为超代表性植物, 其对植被的指示意义并不高, 可见 MIS4 时唐山地区的乔木植物是非常稀少的。与同样为寒冷气候的 MIS2 相比, 虽然二者乔木花粉含量相当, 草本植物的成分也差不多, 但 MIS2 的乔木植物中云杉含量很高, 而且蕨类孢子含量大大高于 MIS4, 因此作者推测唐山地区 MIS2 干旱程度不及 MIS4。在此时段中的 70 ~ 60 ka BP, 同处于华北平原的宁晋泊地区发育藜-蒿-律草-禾本科等组成的干草原(张文卿, 1999)。北京周口店新洞石笋氧同位素测年和测温结果也证明在 67 ka BP, 年平均气温降低至 7.3℃(陈跃等, 1986)。邯郸 HZ_S 孔孢粉分析的结果也表明此时植被类型单调, 气候寒冷干旱(肖景义等, 2008; 2010)。由以上可知 MIS4 时华北平原不同地区的气候特点是一致的。与古里雅冰芯及深海氧同位素对比的结果表明, 唐山地区此时段寒冷干旱的气候特征是对全球冷干气候背景响应。

MIS3 该时段为晚更新世以来的又一暖期, 本研究结果表明在 40 ~ 30 ka BP 唐山地区在全球冰期的背景下气候又转向暖湿, 且暖湿程度较高, 与

MIS5 阶段相似。张文卿(1999)对宁晋泊的研究发现, 南王庄 LN 孔 18.2 ~ 13.0 m 段发育有多层古土壤, 且含有亚热带植物花粉, 表明该时期曾发育阔叶林或针阔混交林, 作者认为该段可与本钻孔 22.4 ~ 18.8 m 段对比, 二者属同一时期。陈跃等(1986)对北京周口店新洞石笋同位素测温结果表明在 57 ka BP, 年均温又上升至 14℃, 比现在的年均温还高出 2℃。同时, 华北平原东部沿海发生了晚更新世以来的第二次海侵事件, 称沧海海进, 且为第四纪以来最强的一次(河北省地质矿产局, 1987)。河北省黄骅市关家堡孔(HG1)所含微体化石, 清楚地揭示了华北平原 4 万年以来两次大的突发性升温事件, 第一次由冷变暖起始于 40 ka BP, 即沧海海进期, 当时的年平均温度要比现在高出 7℃左右(林景星等, 1998)。不同的是全球深海氧同位素及南极冰芯的记录表明, MIS3 虽具有比 MIS2 和 MIS4 温暖的气候特点, 但其暖热程度要显著低于 MIS1 和 MIS5, 是在冰期背景下的一个次级暖期。综上所述, 华北平原在 MIS3 阶段表现出与全球不同的气候特点, 为温暖湿润的间冰期气候, 环境特征与 MIS5 相似, 局部地区水热条件甚至优于冰后期。

MIS2 此时期唐山地区为冷湿逐渐转向冷干的过程, 整体来看, 本阶段植被类型中蕨类孢子始终占有一定的含量, 乔木植物中除松和桦外, 其它乔木植物也经常出现, 与 MIS4 相比, 本时期植被类型更加多样, 反映湿润环境的植物常常出现, 因此作者认为唐山地区 MIS2 的气候条件是优于 MIS4 的。本钻孔的 18.8 m ~ 14.2 m 段为突出的云杉高带, 指示曾发育暗针叶林-草原景观, 时间大概在 30 ~ 20 ka BP, 气候冷湿。20 ~ 11 ka BP, 乔木含量逐渐下降, 气候转向冷干。对 MIS2 华北平原气候的研究较多: 宁晋泊南王庄 LN 孔的孢粉图谱中, 13.0 m ~ 10.75 m 和 10.75 m ~ 7.50 m 为全新世之前的两个连续的冷期, 前一冷期寒冷干旱。后一冷期中曾有一段出现过沉水植物眼子菜科(Potamogetonaceae)等花粉, 且缺少旱生植物, 时间在 15 ~ 11 ka BP, 反映了湿凉的气候特征, 而后又转向干凉(张文卿, 1999)。周昆叔等(1978; 1984)曾明确指出晚更新世晚期华北平原曾广泛发育暗针叶林。郭盛乔等(2005)对宁晋泊地区隆尧南王庄剖面 9.0 m ~ 7.8 m 段进行了系统的孢粉、碳酸盐、有机碳、有机氮的采样及测试, 详细分析了末次盛冰期华北平原的气候特点, 指出 20 ~ 16 ka BP 是一个凉湿-冷偏湿-冷干的波动变化过程。在渤海西岸, 许清海等(1993)等对孟村孔和黄骅市羊二庄孔进行的研究发现该区 23 ~ 20 ka BP 以

及 15~12 ka BP 都曾出现过大量的水生湿生草本植物。迟振卿等(1999)对河北阳原平顶村剖面的研究中也发现晚更新世晚(末)期曾发育有暗针叶林。王艳(2000b)、王燕等(2003)、赵淑君等(2008)、肖景义等(2008, 2010)、姚轶峰等(2007)的研究中未发现本时段湿润的特点,可能是由于研究精度的不同产生的。总之, MIS2 华北平原应该是曾广泛发育暗针叶林景观的,但由于不同学者的研究精度及测年方法的不同,该时段的绝对年龄仍有所争议,综合来看,作者认为应该在 20 ka BP 左右。

冰后期

目前,华北平原全新世以来气候演变规律前人已进行了很细致的研究,发表的成果较多,但本钻孔该段地层沉积厚度较薄,孢粉样品稀少,无法进行详细分析。整体来看,孢粉组合反映的是温暖湿润的间冰期气候,水热条件为晚更新世以来最佳,且气候变化趋势可与冰芯记录与深海氧同位素曲线作良好对比。

3 结论与存在问题

通过对唐山市复兴路十中旧址钻孔系统的测年及孢粉分析,总结了唐山市晚更新世以来的植物演替和气候变化,将其划分为 6 个阶段,并通过与邻区及冰芯和深海沉积记录的对比,尝试探讨华北平原晚更新世以来不同于全球背景的气候特点,主要结论如下:

1、MIS5 唐山地区为一逐渐升温的暖湿期,符合华北平原其它地区及全球湿热的气候背景,但变化过程不尽相同,有待更多证据支持。MIS4 是唐山地区晚更新世以来最为恶劣的时期,是对全球冷干气候背景的响应。MIS3 的气候环境与 MIS5 相似。MIS2 为一由湿冷逐渐转向干冷的时期,前期发育暗针叶林-草原景观。MIS1 为晚更新世以来水热条件最佳的时期,气候温暖湿润。

2、华北平原 MIS3 的气候环境条件要远远优于 MIS2 和 MIS4,与 MIS5 相似,局部地区甚至超过 MIS1。MIS2 不是一个持续干冷的过程,而是一个由湿冷逐渐转向干冷的过程,这可能是由于在我国冬季风强盛、全球持续干冷的气候背景下,华北平原区夏季风有一个逐渐减弱的过程。

3、由于本研究依托唐山活断层探测项目,测年数据多分布于推测的 Qp^3 底界上下,上部测年数据较少。同时研究区晚更新世以来曾发生多次大规模地震运动,地层分布受到断层活动影响,一定程度上影响本研究的精度。

致谢:孢粉分析鉴定由中国地质科学院水文地质环境地质研究所童国榜教授和童松梅女士协助完成,热释光测年由 中国地震局地壳应力研究所王焕贞教授等完成,在此一并表示诚挚的谢意。

参考文献:

- 陈跃,黄培华,朱洪山. 1986. 北京周口店地区洞穴内第四纪石笋的同位素古温度研究[J]. 科学通报, 20: 1576-1578.
- 迟振卿, 闵隆瑞. 1999. 平顶村剖面古气候变化记录[J]. 地质力学学报, 5(4): 66-72.
- 范淑贤, 刘海坤, 赵华, 吉云平, 毛洪亮. 2009. 3.2Ma 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, 26(2): 173-180.
- 耿秀山. 1981. 中国东部晚更新世以来的海水进退[J]. 海洋学报, 3(1): 114-130.
- 郭盛乔, 石英, 杨丽娟, 曹家栋, 张文卿, 张静, 林防, 何建新. 1999. 河北宁晋泊地区 2600 年来古气候变化研究[J]. 地质力学学报, 5(4): 73-79.
- 郭盛乔, 王苏民, 杨丽娟. 2005. 末次盛冰期华北平原古气候古环境演化[J]. 地质论评, 51(4): 423-427.
- 郭盛乔, 王玉海, 杨丽娟, 肖宇. 2000. 宁晋泊地区末次冰消期以来的气候变化[J]. 第四纪研究, 20(5): 490.
- 河北省地质矿产局. 1987. 河北第四纪地质[M]. 北京: 地质出版社: 1-170.
- 林景星, 张静, 林防, 张建华, 郭盛乔. 1998. 西太平洋暖池扩张对华北平原气候变化的影响——华北平原 4 万年以来升温事件的新证据[J]. 地球学报, 19(4): 353-356.
- 林景星. 1977. 华北平原第四纪海进海退现象的初步认识[J]. 地质学报, (2): 109-116.
- 毛洪亮, 赵华, 卢演涛, 王成敏, 张克旗, 杨振京, 梁建军. 2007. 甘肃疏勒河冲积扇绿洲全新世孢粉组合和环境演化[J]. 地球学报, 28(6): 528-534.
- 孟广兰, 王少青. 1987. 渤海 Bc-1 孔第四纪孢粉组合及其古气候[J]. 海洋与湖沼, 18(3): 253-266.
- 闵隆瑞. 2005. 第四系[C]. //中国地质调查局地层古生物研究中心编. 中国各地质时代地层划分与对比. 北京: 地质出版社: 559-596.
- 唐领余, 李春海, 安成邦, 汪卫国. 2007. 黄土高原西部 4 万多年以来植被与环境变化的孢粉记录[J]. 古生物学报, 46(1): 45-61.
- 童国榜, 张俊牌, 严富华, 麦学舜. 1991. 华北平原东部地区晚更新世以来的孢粉序列与气候分期[J]. 地震地质, 13(3): 259-268.
- 王艳. 2000a. 渤海西北岸曹妃甸地区晚更新世末期以来古环境恢复[J]. 黄渤海海洋, 18(3): 47-53.
- 王艳. 2000b. 渤海湾曹妃甸晚更新世末期以来古植被与古气候演变序列[J]. 海洋地质与第四纪地质, 20(2): 87-92.
- 王燕, 王书兵, 蒋复初, 童国榜, 赵志中. 2003. 河北阳原槽村剖面孢粉组合特征及古气候意义[J]. 地质通报, 22(9):

665-669.

- 王燕, 王书兵, 赵志中, 秦义, 马寅生, 孙继民, 孙红艳, 田明中. 2005. 内蒙古克什克腾旗地区距今 16000 a 以来的孢粉组合特征与环境变迁[J]. 地球学报, 26(5): 449-453.
- 萧家仪, 王丹, 吕海波, 赵志军, 舒强, 陈晔, 张茂恒, 郭平. 2005. 苏北盆地晚更新世以来的孢粉记录与气候地层学的初步研究[J]. 古生物学报, 44(4): 591-598.
- 肖景义, 陈建强, 李辉, 许哲平, 孙刚, 牛彩香, 杨国臣. 2008. 河北邯郸 HZ_S 孔第四纪孢粉组合的定量分析[J]. 地质通报, 27(5): 599-604.
- 肖景义, 陈建强, 许哲平, 曹广超, 赵青林, 高丽文. 2010. 邯郸地区晚更新世以来植被波动特征及其对气候变化的响应[J]. 沉积学报, 28(6): 1206-1212.
- 许清海, 李月从, 阳小兰, 郑振华. 2007. 中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系[J]. 中国科学(D 辑), 37(2): 192-205.
- 许清海, 吴忱, 王子惠, 董国榜, 吴绍杰, 张俊牌, 杜乃秋, 孔昭宸. 1993. 25000 年以来渤海湾西岸古环境探讨[J]. 植物生态学与地植物学学报, 17(1): 20-32.
- 姚檀栋, THOMPSON L G, 施雅风, 秦大河, 焦克勤, 杨志红, 田立德, THOMPSON E M. 1997. 古里雅冰芯中末冰间冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D 辑), 27(5): 447-452.
- 姚轶峰, 叶超, 寇香玉, 徐景先, 贾三满, 杜乃秋, 李承森. 2007. 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, 9(1): 45-58.
- 张俊牌, 杨振京, 徐建明, 张静, 林景星, 刘海坤, 林防, 毕志伟. 2007. 华北平原东部滨海地区晚更新世以来的孢粉组合与古环境[C]. 中国古生物学会孢粉学分会七届二次学术会议论文摘要集: 33.
- 张树山, 任振纪, 刘春源. 1996. 晚更新世以来渤海湾沿岸的海进海退及古气候环境[J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 20(3): 96-102.
- 张文卿. 1999. 宁夏晚更新世孢粉组合及其古环境演变[J]. 微体古生物学报, 16(4): 431-438.
- 赵淑君, 程捷, 尹功明, 鲁立宏. 2008. 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, 10(6): 637-646.
- 周昆叔, 严富华, 梁秀龙, 叶永英. 1978. 北京平原第四纪晚期花粉分析及其意义[J]. 地质科学, (1): 57-64.
- 周昆叔. 1984. 华北区第四纪植被演替与气候变化[J]. 地质科学, (2): 165-172.
- CHI Zhen-qing, MIN Long-rui. 1999. Record of Paleoenvironmental Changes in PingDingCun Section, HeBei Province[J]. Journal of Geomechanics, 5(4): 66-72(in Chinese with English abstract).
- EMILIAN C. 1955. Pleistocene temperatures[J]. Journal of Geology, 63: 538-578.
- FAN Shu-xian, LIU Hai-kun, ZHAO Hua, JI Yun-ping, MAO Hong-liang. 2009. Palynology stratigraphy and palaeoclimate evolution in HuangHua district of HeBei province since 3.2 Ma BP[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 26(2): 173-180(in Chinese with English abstract).
- GENG Xiu-shan. 1981. Marine transgressions and regressions in East China since Late Pleistocene Epoch[J]. Acta Oceanologica Sinica, 3(1): 114-130(in Chinese).
- GUO Sheng-qiao, SHI Ying, YANG Li-juan, CAO Jia-dong, ZHANG Wen-qing, ZHANG Jing, LIN Fang, HE Jian-xin. 1999. A study of Paleoclimatic Fluctuations in the last 2600 years in the NingJin Lake Area, HeBei Province[J]. Journal of Geomechanics, 5(4): 73-79(in Chinese with English abstract).
- GUO Sheng-qiao, WANG Su-min, YANG Li-juan. 2005. Climatic and Environmental Change in North China Plain during the Last Glacial Maximum[J]. Geological Review, 51(4): 423-427(in Chinese with English abstract).
- GUO Sheng-qiao, WANG Yu-hai, YANG Li-juan, XIAO Yu. 2000. Climatic Change in the Ningjin Lake Region since the Last Deglaciation[J]. Quaternary Sciences, 20(5): 490(in Chinese).
- HAYASHI R, TAKAHARA H, HAYASHIDA A, TAKEMURA K. 2010. Millennial-scale vegetation changes during the last 40,000 yr based on a pollen record from Lake Biwa, Japan[J]. Quaternary Research, 74(1): 91-99.
- HERZSCHUH U, TARASOV P, WUNNEMANN B, HARTMANN K. 2004. Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 211(1-2): 1-17.
- KAWAHATA H, OHSHIMA H. 2004. Vegetation and environmental record in the northern East China Sea during the late Pleistocene[J]. Glob Planet Change, 41: 251-273.
- LIN Jing-xing, ZHANG Jing, LIN Fang, ZHANG Jian-hua, GUO Sheng-qiao. 1998. The Influence of the Expansion of the West Pacific Warm Pool on the Climate Change in the North China Plain[J]. Acta Geoscientia Sinica, 19(4): 353-356(in Chinese with English abstract).
- LIN Jing-xing. 1977. Preliminary notes on Quaternary transgressions and regressions in North China Plain[J]. Acta Oceanologica Sinica, (2): 109-116(in Chinese).
- MAO Hong-liang, ZHAO Hua, LU Yan-chou, WANG Cheng-min, ZHANG Ke-qi, YANG Zhen-jing, LIANG Jian-jun. 2007. Pollen Assemblages and Environment Evolution in Shule River Alluvial Fan Oasis of Gansu[J]. Acta Geoscientia Sinica, 28(6): 528-534(in Chinese with English abstract).

References:

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hebei Province(CHEN Wang-he, NI Ming-yun, et al). 1987. Quaternary Geology of Hebei Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-170(in Chinese).
- CHEN Yue, HUANG Pei-hua, ZHU Hong-shan. 1986. Study on Isotopic Paleotemperature of Stalagmites in Beijing Zhoukoudian Cave Area during the Quaternary Period[J]. Chinese Science Bulletin, 20: 1576-1578(in Chinese).

- MENG Guang-lan, WANG Shao-qing. 1987. Studies on the Quaternary Sporo-Pollen Assemblage from the Bohai Sea Drilling Core Bc-1 and its Paleoclimate[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 18(3): 253-266(in Chinese with English abstract).
- MIN Long-rui. 2005. Quaternary[C].// Stratigraphic and Paleontological Research Centre of China Geological Survey: China stratigraphic division and correlation of geological ages. Beijing: Geological Publishing House, 559-596(in Chinese).
- TANG ling-yu, LI Chun-hai, AN Cheng-bang, WANG Wei-guo. 2007. Vegetation History of the Western Loess Plateau of China during the last 40ka Based on Pollen Record[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 46(1): 45-61(in Chinese with English abstract).
- TONG Guo-bang, ZHANG Jun-pai, YAN Fu-hua, MAI Xue-shun. 1991. Sporo-Pollen Sequence and Division of Climatic Period in the Eastern North China Plain since Late Pleistocene[J]. *Seismology and Geology*, 13(3): 259-268(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan, WANG Shu-bing, JIANG Fu-chu, TONG Guo-bang, ZHAO Zhi-zhong. 2003. Characteristics of a sporo-pollen assemblage in the section of Caocun, Yangyuan, Hebei, and its paleoclimatic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(9): 665-669(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan, WANG Shu-bing, ZHAO Zhi-zhong, QIN Yi, MA Yin-sheng, SUN Ji-min, SUN Hong-yan, TIAN Ming-zhong. 2005. Vegetation and Environmental Changes in Hexiqten Qi of Inner Mongolia in the past 16000 years[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(5): 449-453(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan. 2000a. Restorations of Paleoenvironments in Caofeidian Area Since the Last Stage of the Late Pleistocene Epoch[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 18(3): 47-53(in Chinese with English abstract).
- WANG Yan. 2000b. Evolution Sequences of Palaeovegetation & Palaeoclimate in the Caofeidian Area Since the Last Stage of the Late Pleistocene Epoch[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 20(2): 87-92(in Chinese with English abstract).
- XIAO Jia-yi, WANG Dan, LÜ Hai-bo, ZHAO Zhi-jun, SHU Qiang, CHEN Ye, ZHANG Mao-heng, GUO Ping. 2005. A Study of Pollen and Climatic Stratigraphy in the Northern Jiangsu Basin since Late Pleistocene[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 44(4): 591-598(in Chinese with English abstract).
- XIAO Jing-yi, CHEN Jian-qiang, LI Hui, XU Zhe-ping, SUN Gang, NIU Cai-xiang, YANG Guo-chen. 2008. Quantitative analysis of the Quaternary sporopollen assemblages: A case study of hole HZ-S core in Handan, Hebei, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(5): 599-604(in Chinese with English abstract).
- XIAO Jing-yi, CHEN Jian-qiang, XU Zhe-ping, CAO Guang-chao, ZHAO Qing-lin, GAO Li-wen. 2010. Characteristics of vegetation fluctuation as well as consequent impact on climate since Late Pleistocene in Handan Area, Hebei[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(6): 1206-1212.(in Chinese with English abstract).
- XU Qing-hai, LI Yue-cong, YANG Xiao-lan, ZHENG Zhen-hua. 2007. Quantitative relationship between pollen and vegetation in Northern China[J]. *Science in China(Series D): Earth Sciences*, 50(4): 582-599.
- XU Qing-hai, WU Cheng, WANG Zi-hui, TONG Guo-bang, WU Shao-jie, ZHANG Jun-pai, DU Nai-qiu, KONG Zhao-chen. 1993. Approach to palaeo-environment in the west coast of BoHai bay since 25000a.B.P.[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 17(1): 20-32(in Chinese with English abstract).
- YAO Tan-dong, THOMPSON L G, SHI Ya-feng, QIN Da-he, JIAO Ke-qin, YANG Zhi-hong, TIAN Li-de, THOMPSON E M. 1997. A study on the climate changes from Guliya ice core records since Last Interglacial Period[J]. *Science in China(Series D)*, 27(5): 447-452(in Chinese).
- YAO Yi-feng, YE Chao, KOU Xiang-yu, XU Jing-xian, JIA San-man, DU Nai-qiu, LI Cheng-sen. 2007. Vegetation succession and climate changing since the Late Pliocene in Tianzhu Region in Beijing[J]. *Journal of Palaeogeography*, 9(1): 45-58(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jun-pai, YANG Zhen-jing, XU Jian-ming, ZHANG Jing, LIN Jing-xing, LIU Hai-kun, LIN Fang, BI Zhi-wei. 2007. Sporo-pollen assemblages and paleoenvironment in the east coastal areas of North China Plain since Late Pleistocene[C]. *The abstracts of the 2nd academic conference of 7th session of PSC palynology chapter*: 33(in Chinese).
- ZHANG Shu-shan, REN Zhen-ji, LIU Chun-yuan. 1996. Trimsgression, regression and ancient climatic environment in the littoral of Bohai Sea since Pleistocene Epoch[J]. *Journal of Hebei Normal University(Natural Science)*, 20(3): 96-102(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wen-qing. 1999. Polynological assemblages and palaeoenvironmental changes in the Ningjin-po lake area, south Hebei, since the Late Pleistocene[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 16(4): 431-438(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Shu-jun, CHENG Jie, YIN Gong-ming, ZAN Li-hong. 2008. Palynological assemblages and paleoclimatic significance in Beijing plain area since the Middle Pleistocene[J]. *Journal of Palaeogeography*, 10(6): 637-646(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Kun-shu, YAN Fu-hua, LIANG Xiu-long, YE Yong-ying. 1978. Pollen analysis of Late Quaternary in Beijing plain and its significance[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (1): 57-64(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Kun-shu. 1984. Quaternary succession of vegetation and climatic evolution in North China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (2): 165-172(in Chinese with English abstract).