

文章编号: 1000-0550(2010)06-1206-07

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^①

肖景义^{1,4} 陈建强² 许哲平³ 曹广超^{1,4} 赵青林^{1,4} 高丽文^{1,4}

(1. 青海师范大学生命与地理科学学院 西宁 810008; 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院 北京 100083;

3. 中国科学院植物研究所 北京 100093; 4. 青藏高原环境与资源教育部重点实验室 西宁 810008)

摘要 对河北邯郸 HZ-S 孔沉积物进行孢粉分析,结果表明该地区晚更新世以来的气候演变形式既有与全球同步的特点,也有本区域独自的特征。古气候与古植被演变过程如下:(1)晚更新世末次间冰期气候温暖湿润(130~75 kaBP)植被为森林草原;末次冰期气候演化经历了寒冷干燥(75~55 kaBP)→温暖湿润(40~30 kaBP)→寒冷干燥(30~10 kaBP)的过程,植被演替过程相应为草原→森林草原→草原。(2)全新世气候演化经历了温凉略干(10~8 kaBP)→温暖湿润(8~3 kaBP)→温凉偏干(3~0 kaBP)的过程,植被演替过程相应为疏林草原→森林草原→疏林草原。(3)发生在25 kaBP左右,16 kaBP左右和11~10 kaBP的冷事件可能是 Heinrich 事件3、1和 Younger Dryas 事件在中国东部季风区的响应。

关键词 晚更新世 孢粉 古植被 古气候 邯郸

第一作者简介 肖景义 男 1971年出生 副教授 区域环境与资源 E-mail: xiaojy1971@163.com

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

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、古环境分析^[1-7]。晚更新世环境的变迁包含一个完整的冰期-间冰期旋回,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极佳的模式,成为过去全球变化(PAGES)研究的主要时段之一。由于中国大陆古环境的复杂性,有必要对不同区域古气候环境进行重建。邯郸地处我国东部典型季风区内,新构造运动强烈,多数断裂仍在活动中,是一个地震多发区,且紧邻京津唐都市圈,是国家重点防震区。更新世晚期以来区域第四纪地层划分对比、沉积环境及其古气候演化等方面尚无人进行全面系统的研究,第四纪环境研究的总体程度较低。本文应用孢粉分析方法对该研究区的孢粉-植被演化序列进行重建,探讨该区域晚更新世以来植被波动特征及其对气候变化的响应过程。

1 研究区概况

邯郸市位于河北省最南部,属河北平原区山前倾斜平原亚区的临清拗陷带。区内地势总体上是西高

东低,明显呈山地、丘陵、平原三级阶梯逐次下降的趋势。以京广铁路为界,东部地区为山前洪积、冲积平原,地势开阔平坦。西部为侵蚀剥蚀山地,山脉、丘陵、盆地相间,河谷辗转穿越,地表形态差异很大。区域气候属于温带大陆性季风气候,四季分明。年平均气温11~14℃左右,最热月(7月份)的平均气温26~27℃,最冷月(1月份)的平均气温-2℃左右,年平均降水量500~720 mm,其中东部平原降水量在500~600 mm之间。降水主要集中在7~9月,占全年降水的2/3。冬季降水占全年降水的2.7%,春季降水占全年降水的10%。市区有滏阳河、沁河穿城而过,二者均发源于太行山。区域原始植被属于暖温带落叶阔叶林-草原,但由于长期以来的人类活动,原始植被已经破坏殆尽,现在生长的主要是人工林、次生林和杂草。

2 钻孔剖面岩性及测年

控制性钻孔(HZ-S)位于邯郸市龙湖公园内,孔位36°36'30"N,114°30'37"E,总进尺:109.4 m(未见底),平均取芯率为90%,沉积较连续。更新统上部 and 全新统岩性特征简述如下(表1):

^①中国地震局、邯郸市人民政府“十五”重点项目《邯郸市活断层探测与地震危险性评价及市区震害预测》资助。
收稿日期:2009-08-07;收修稿日期:2009-12-02

表 1 HZ-S 孔第四纪地层特征

Table 1 Quarternary lithostratigraphic characteristics in HZ-S core

地层单位	厚度/m	岩性描述
全新统 (Qh)	14.7	褐黄色和深灰色粘土为主,其次为粉砂质粘土,总体岩性较细,成熟度较高。本层段由两个小旋回组成,下部旋回下部为粉砂质粘土和粘土,底部见少量砾石,上中部 10.1~5.7 m 由深灰色淤泥质粘土和粘土组成,软塑。上部旋回为粘土和粉砂质粘土,顶部为耕植土、腐殖土和人工填土。
更新统上 部欧庄组 (Qp ³ o)	37.7	褐黄色、黄褐色粉砂质粘土和粘土为主,其次为中粗砂和中细砂,少量砾石,总体岩性较细,成熟度较高,自下而上由 2 个小旋回组成,每个旋回的粒度都是下粗上细,即下部含砂砾或中粗砂较多,上部粉砂质粘土和粘土较多,下部旋回的粒度比上部旋回的粒度粗,总体反应了向上沉积基准面上升的趋势。40.9~40.2 m 出现大量白色钙质结核。

准确的年代是地层时间序列重建的基础。HZ-S 孔同位素测年数据分别由中国地震局地质研究所碳十四年代学实验室、释光年龄年代学实验室和中国地震局地壳应力研究所热释光年龄年代学实验室测试(表 2)。表 2 显示 HZ-S 孔年代数据,自上而下呈递增趋势,没有发生年代倒转现象,深度和年代的线性关系明显,与相邻钻孔的年代深度资料也基本吻合。由此可以认为实验室的年代数据是相对合理和可用的。由于热释光测年没有得到具体年龄数据,仅供参考,表中¹⁴C 年龄为树轮校正后平均值。其它年龄采用线性内插、外推方法获得。

表 2 样品深度与测年结果
Table 2 The depth and dating of profiles

年代	序号	深度/m	岩性	测年方法	主要控制点年龄 /ka B P
Qh	1	7.2	灰黑色粘土	¹⁴ C	7.187 ± 0.08
	2	12	灰黑色粘土	¹⁴ C	7.911 ± 0.21
	3	13.4	深灰色粉砂质粘土	OSL	5-10
	4	14.5	褐黄色粉砂质粘土	TL	9.93 ± 0.84
	5	21.4	黄褐色粉砂质粘土	TL	19.59 ± 1.66
Qp ³	6	23.7	黄褐色粉砂	TL	21.91 ± 2.71
	7	27.1	棕色粉砂质粘土	OSL	> 100
	8	30.3	黄褐色粉砂质粘土	TL	37.69 ± 3.20
	9	34.1	褐黄色泥质粉砂	TL	58.73 ± 5.41
	10	36.2	黄褐色细砂	TL	65.85 ± 5.6
	11	43.5	棕红色粉砂质粘土	TL	77.04 ± 6.04
	12	45.8	灰棕色粉砂质粘土	TL	86.04 ± 7.31
	13	47	灰棕色粉砂质粘土	TL	95.75 ± 8.14
	14	49.6	黄色砂质粘土	TL	112.07 ± 9.53
	15	51.3	棕红色砂质粘土	TL	125.46 ± 10.66
Qp ²	16	57.9	棕黄色中细砂	TL	166.67 ± 14.17

3 剖面孢粉组合特征及古植被和古气候变化

3.1 研究方法

本文取 1.55~53.21 m 段 140 件孢粉样品进行分析,孢粉鉴定由河北正定地质矿产部水文地质所完

成。室内孢粉提取采用常规的酸碱处理法和两次重液浮选法,每个样品鉴定的孢粉数不低于 100 粒。

为了更准确地分析古气候变化,本研究采用定性定量相结合的方法。定性分析采用花粉比值方法分析判别古气候的变化趋势。在此选取乔木为温暖(湿润)的指标,草本为冷干的指标,二者比值即乔/草(T/H)越大表示越温湿,反之为冷干^[6]。由于缺乏表土孢粉资料,定量分析采用宋长青等^[8]依据中国北方 215 块表土孢粉样品分析结果为基础建立的花粉—气候因子转换函数(公式 1、2),建立年均温度、年降水量变化曲线。

$$R = 580.291 + 9.3X_2 + 6.3X_3 + 1.8X_5 + 4.6X_6 - 1.4X_7 - 1.5X_8 - 9.3X_9 - 1.9X_{10} - 4.4X_{11} + 7.6X_{12} - 10.9X_{13} \quad (1)$$

$$T = 5.441 - 0.079X_1 + 0.073X_2 + 0.04X_5 - 0.08X_7 - 0.056X_8 - 0.013X_9 - 0.014X_{10} + 0.018X_{12} \quad (2)$$

式中: R 为年降水量, T 为年平均温度, X₁ 为桦属, X₂ 为栎属, X₃ 为胡桃属, X₄ 为榛属, X₅ 为松属, X₆ 为鹅耳枥属, X₇ 为云杉, X₈ 为莎草科, X₉ 为麻黄属, X₁₀ 为蒿属, X₁₁ 为藜科, X₁₂ 为菊科, X₁₃ 为禾木科。

3.2 孢粉分析结果

分析结果表明 HZ-S 孔孢粉组合以草本植物花粉为主(平均约占 58.5%),其次为乔木植物花粉(平均约占 31.1%),灌木植物花粉及蕨类植物孢子最少(分别为 5.8%、4.8%),有时见水生植物花粉。它们分属 117 个孢粉类型。主要孢粉类型有: 1) 乔木植物花粉: 共有 21 种类型,其中常见类型大约有 9 种。以松(Pinus)占优势,见桦(Betula)、榆(Ulmus)、栎(Quercus)、云杉(Picea)、栗(Castanea)、柏科(Cupressaceae)等。2) 灌木植物花粉: 共有 25 种类型,其中常见类型大约有 8 种。主要有榛(Corylus)、绣线菊(Spiraea)、柳(Salix)、白刺(Nitraria)、麻黄(Ephedra)等。3) 草本植物花粉: 共有 53 种类型,其中常见类型大约有 8 种。主要有蒿(Artemisia)、藜科(Chenop-

odiaceae)、禾本科 (Gramineae)、毛茛科 (Ranunculaceae) 及莎草科 (Cyperaceae) 的分子等。水生草本植物主要为狐尾草 (*Myriophyllum*) 及香蒲 (*Typha*) 等。4) 蕨类孢子: 共有 20 种类型, 其中常见类型大约有 15 种。主要为卷柏 (*Selaginella*)、中华卷柏 (*Sateglnella sinensis*)、铁线蕨 (*Adiantum*)、及真蕨纲 (*Filicale*) 的分子等。

依据孢粉类型及数量在剖面上的组成和变化特征, 可将该孔 52.28 m 以上的孢粉组合自下而上划分为 5 个孢粉带 (图 1)。

孢粉带 I (深度 52.28 ~ 39.72 m), 本带草本植物花粉占优势, 含量为 17.9% ~ 77.8%, 平均 54.2%, 以蒿和藜科为主。木本植物花粉含量 5.9% ~ 80%, 平均含量 38.5%, 以松属占优势。云杉、杉科、柏科和椴少量出现。阔叶植物占 6.5%, 主要有桦、胡桃、榆、落叶栎及栗等, 水生植物以莎草、狐尾藻及香蒲等为主。

孢粉带 II (深度 39.72 ~ 14.59 m), 本带木本植物含量比 I 带明显下降, 含量一般 <20%。草本植物含量上升, 草木植物花粉含量一般 >40%。但在中部

乔木植物花粉含量又显著增高, 达 40% 以上, 高于草本植物花粉含量。花粉含量的波动变化比较显著, 孢粉带可分为 II a、II b 和 II c 三个亚带。

II a 亚带 (深度 39.72 ~ 30.81 m), 该带木本植物大量减少, 含量为 5.1% ~ 62.1%, 平均 27.7%。草本植物相应增加, 含量为 37.9% ~ 93.3%, 平均 70.3%。孢粉类型单调, 主要是蒿和藜科花粉及少量的松树花粉。蒿与藜科花粉的含量相近, 藜的含量比上一带增多。此外, 榆和落叶栎也时常出现。

II b 亚带 (深度 30.81 ~ 27.12 m), 该带草本含量下降为上一亚带的近一半, 含量为 7.8% ~ 60.9%, 平均 39.8%, 仍以蒿为主, 其次为藜科花粉, 但二者含量相差加大。木本植物含量为 30.4% ~ 88.5%, 平均 55.9%。以松属为主, 含量为 37.6%, 阔叶植物含量为 9.5%, 常见有落叶栎、榆、胡桃和桤木。

II c 亚带 (深度 27.12 ~ 14.59 m), 该带草本含量增加, 含量为 41.7% ~ 93.2%, 平均 63.4%, 以蒿和藜科为主。木本含量逐渐减少, 含量为 6.8% ~ 55.6%, 平均 32.2%。针叶植物以松属花粉居多, 其次有云杉、冷杉等。阔叶植物以栗的含量稍高, 其余

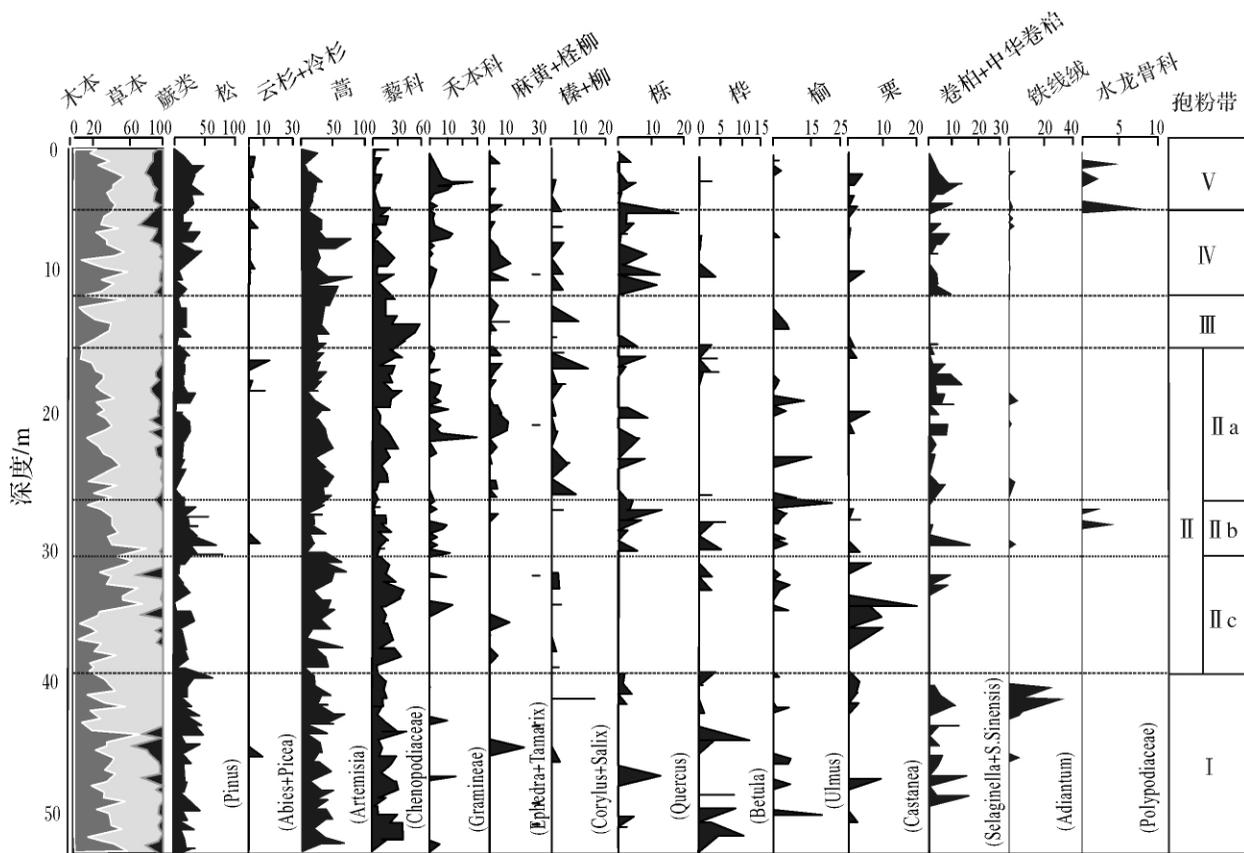


图 1 邯郸 HZ-S 孔主要孢粉百分含量图
Fig. 1 Pollen percentage diagram of HZ-S core in Handan

常见的有胡桃 榆桦及臭椿。灌木植物含量 10.1% , 居剖面最高,且种类较多,以白刺为主。

孢粉带Ⅲ(深度 14.59 ~ 11.69 m) ,本带木本植物花粉含量为 6.3% ~ 62.5% ,平均 39% ,含量迅速增加。草本花粉仍占优势,含量为 37.5% ~ 93.8% ,平均 60.4% ,以蒿和藜科为主,其次有菊科,毛茛、紫苑等。阔叶植物占 4.2%。主要有落叶栎,榆,胡桃和椴。灌木植物含量 8.9% ,以白刺、榛、麻黄为主,平均含量 > 1% ,同时柏科也有一定含量。

孢粉带Ⅳ(深度 11.69 ~ 4.9 m) ,该带木本含量进一步增多,含量 8.9% ~ 65.2% ,平均 40.6% ,其中以松属居多。草本花粉含量为 31.8% ~ 90.9% ,平均 52.8% ,以蒿和藜科为主,其次有茄科、禾本科、百合科、香蒲、狐尾藻等。阔叶植物占 9% ,含量、种类相对增加,主要有落叶栎、槭树、栗、桦、漆树、枫香等。灌木植物含量 7.7% ,以白刺、榛为主。蕨类孢子含量 6.6% ,主要有中华卷柏、卷柏、铁线蕨等。

孢粉带Ⅴ(深度 4.9 ~ 1.55 m) ,木本植物含量变化不大,含量 19.2% ~ 60.6% ,平均 41.5% ,除松属外,阔叶植物含量占 3.9% ,主要有落叶栎,栗和桦等。灌木植物花粉含量为 3.98% ,多为白刺,白蜡树及麻黄等。早生的麻黄,白刺也不时出现。草本含量有所增加,含量为 23.9% ~ 68.5% ,平均 46.4% ,除蒿和藜以外,时常有荞麦,禾本科伴生。蕨类孢子含量为 12.2% ,主要是中华卷柏和真蕨纲等。

3.3 古植被和古气候变化

孢粉组合记录了历史时期的植被面貌及环境的更替过程。前人表土花粉工作表明,松的花粉产量大,散布距离远,纯松林的表土中,松属花粉含量占 90% 以上,如果某个点花粉谱中松的花粉在 30% 以上,一般认为有松林存在。蒿属、藜科反映干旱环境,盘星藻生活的水深为 5 ~ 15 m。中华卷柏是我国北方,尤其是森林植被破坏后灌丛下发育的蕨类植物,与人类活动关系密切^[9,10]。就植被和环境变化而言,湿度是主要控制因素,其次是温度。根据 HZ-S 孔沉积物中孢粉组合特征以及所建立的年降水量、年均温度变化曲线,结合有效测年数据,首次对邯郸地区晚更新世以来的古气候环境演变过程重建如下(图 2):

I 带,年代为 130 ~ 75 kaBP 左右,属于末次间冰期,对应 MIS5。该时期中旱生草本蒿属和藜科相对较多,木本植物以松属为优势,阔叶植物主要有桦,胡桃,榆,落叶栎及栗等,莎草,狐尾藻及香蒲等为主的水生植物出现较频繁,含量有所上升。构成以松、桦、胡桃、蒿、藜科为主针阔叶混交森林草原。T/H 平均为 0.81,总体反映了该时期是一种温暖湿润的气候环境。

II 带,年代为 75 ~ 10 kaBP 左右,属于末次冰期。该时期木本植物含量比 I 带明显下降,总体以松、蒿、藜科为主,T/H 平均为 0.48,反映气候寒冷干燥。但在中部乔木植物花粉含量又显著高于草本植物花粉含量。花粉含量的波动变化比较显著,说明气候发生了较大的波动。

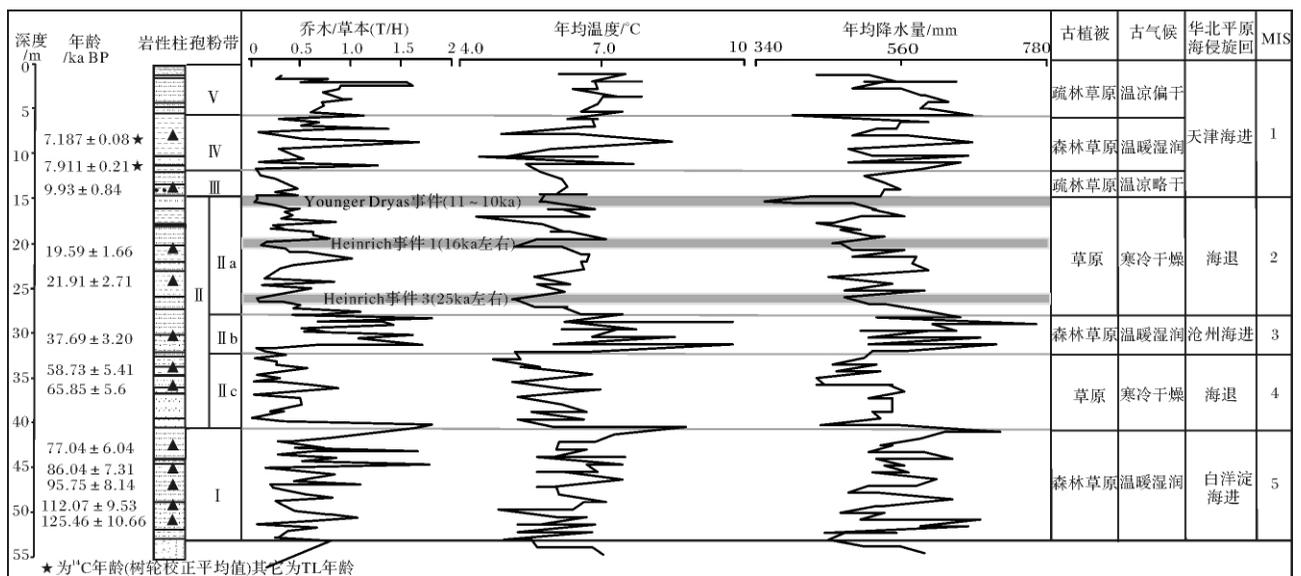


图 2 邯郸地区晚更新世以来古气候环境演变及其对比

Fig. 2 The evolution of the paleoclimatic environment since Late Pleistocene in Handan and comparative study with adjacent and global records

II a 亚带,年代为 75 ~ 55 kaBP 左右,为末次冰期早冰阶,相当于 MIS4。该时期孢粉类型单调,中旱生草本蒿属和藜科含量相近,藜科含量比上一带明显增多,表明干旱成分加大。反映植被类型是以蒿、藜科为主的温带草原景观,边缘有稀疏的针阔叶混交林。T/H 平均为 0.31,为剖面最低,总体反映该时期是一种寒冷干燥的气候环境。

II b 亚带,年代为 40 ~ 30 kaBP 左右,为末次冰期间冰阶晚期,相当于 MIS3 晚期。该阶段草本含量下降为上一亚带的近一半,阔叶植物常见有落叶栎、榆、胡桃和桤木,形成针阔叶混交森林草原景观。T/H 平均为 1.27,居剖面最高,反映一种温暖湿润的气候环境。

II c 亚带,年代为 30 ~ 10 kaBP 左右,对应末次冰期晚冰阶,相当于 MIS2。该时期中旱生草本蒿属和藜科含量增加,木本植物含量逐渐减少,反映植被类型是以蒿、藜为主的草原,边缘有稀疏的针阔叶混交林。T/H 平均为 0.4,总体表现为冷干的气候特征。其内部存在次一级干—湿波动,其中 25.88 ~ 25.48 m 间的 2 个孢粉样品,18.3 ~ 17.7 m 间的 2 个孢粉样品和 14.95 ~ 14.59 m 间的 3 个孢粉样品中,显示木本植物含量急剧减少,草本植物尤其是藜科含量大量增加,T/H 平均分别为 0.09、0.13 和 0.07,表现出更为冷干的气候特征,对应时间分别为 25 kaBP 左右,16 kaBP 左右和 11 ~ 10 kaBP。这些冷事件分别与 Heinrich 事件的 3、1 和 Younger Dryas 事件对应^[11~14]。

III 带,年代为 10 ~ 8 kaBP,属于前北方期和北方期。该阶段木本植物花粉含量迅速增加,反映了快速增温的特点。草本花粉仍占优势,阔叶植物主要有落叶栎、榆、胡桃和榉。构成以松、蒿为主的针阔叶混交疏林草原景观,T/H 平均为 0.77,反映了温凉略干的气候环境。

IV 带,约 8 ~ 3 kaBP,属于大西洋期和亚北方期。该时期木本含量进一步增多,阔叶植物含量、种类相对增加,主要有落叶栎、槭树、栗、桦、漆树、枫香等。蕨类孢子主要有中华卷柏、卷柏、铁线蕨等,喜暖的铁线蕨属明显增加。喜温暖的盘星藻也频频出现。反映植被组合成份复杂、生境多样,构成针阔叶混交森林草原景观。T/H 平均为 0.86,反映是一种温暖湿润的气候环境。

V 带,约 3 ~ 0 kaBP,属于亚大西洋期。该时期孢粉组合为以松、蒿为主的针阔叶混交疏林草原,植

被与现今相近。T/H 平均为 0.65,为温凉偏干的气候特征。

4 区域对比与讨论

HZ-S 孔孢粉分析结果表明,邯郸地区晚更新世以来不同时期的古气候环境演化模式在总体趋势上具有全球一致性特征,在不同时期内也存在次一级冷暖和干湿的气候波动。发生在 25 kaBP 左右,16 kaBP 左右和 11 ~ 10 kaBP 的冷事件可能是北大西洋深海沉积记录的 Heinrich 事件 3、1 和 Younger Dryas 事件在中国东部季风区的响应。但在响应全球气候变化的同时,也反映出自身局部的区域性特征,主要表现在:

MIS5 阶段(130 ~ 75 kaBP 左右)以末期水热配置最佳为特征。而深海沉积^[15]、古里雅冰芯^[16]等记录的气候变化总体却是个逐渐降温过程。薛滨^[17]、景民昌^[18]等对青藏高原东北部研究结果认为末次间冰期 5a 阶段水热配置最佳,与本文研究结果一致。

MIS3 晚期(40 ~ 30 kaBP 左右),总体表现为温暖湿润的特征,是更新世晚期以来暖湿程度最佳的时期。前人研究河北宁静泊地区在 40 ~ 30 kaBP,气候温暖湿润,生长着亚热带和暖温带阔叶林或针阔叶混交林,气温高于现在 3 ~ 4℃^[19]。同时期东部沿海从海相层的空间分布及有孔虫组合的生态条件反映海侵开始于 40 kaBP,结束于 25 kaBP 前,称沧州海进。该时期发生海侵为第四纪以来最强的一次^[20]。河北黄骅市关家堡孔(HG1)所含微体化石,揭示了华北平原始于 40 kaBP 升温事件年平均温度比今高 7℃左右^[21]。此外,青藏高原和西北地区^[22~24]也反映同样的气候特征。在古里雅冰芯高分辨率记录中末次间冰段以 35 kaBP 左右最暖,温度高出现代 4℃^[16]。不同的是深海氧同位素记录和格陵兰冰芯记录^[25~26]、黄土高原^[27]、苏北盆地^[28]、珠江三角洲^[29]、南海^[30]等地呈现温凉湿润的气候特征,是较 MIS2 和 MIS4 阶段温暖,但比全新世暖期和末次间冰期显著要低的一弱暖期。施雅风等^[22,23]认为 MIS3 晚期的暖湿事件是由于地球轨道岁差周期变化导致中、低纬度太阳辐射增加和海陆热力差异增大,促使高纬度地区冰盖萎缩和东亚夏季风增强,以及西风环流的水汽增加而造成的。林景星认为可能是受西太平洋赤道暖池扩张等原因造成^[21]。

上述不同研究结果是区域响应差异,还是气候代用指标的解释问题或者是其它原因,还需进一步研

究。

5 结论

(1) 邯郸地区晚更新世以来气候环境变化具有全球气候变化一致性特征,也有本区域独自的特征。主要表现在: MIS5 阶段以末期水热配置条件最佳。MIS3 晚期表现为温暖湿润的气候特征,是更新世晚期以来暖湿程度最佳的时期。

(2) 晚更新世末次间冰期气候温暖湿润 植被为森林草原;末次冰期气候演化经历了寒冷干燥→温暖湿润→寒冷干燥的过程 植被演替过程相应为草原→森林草原→草原。

(3) 全新世冰后期气候演化经历了温凉略干→温暖湿润→温凉偏干的过程 植被演替过程相应为疏林草原→森林草原→疏林草原。

(4) 发生在 25 kaBP 左右,16 kaBP 左右和 11 ~ 10 kaBP 的冷事件可能是 Heinrich 事件 3、1 和 Younger Dryas 事件在中国东部季风区的响应。

致谢 孢粉鉴定由河北正定地质矿产部水文地质所童国榜教授完成,审稿人对本文提出了有益的建议,在此一并致以诚挚的谢意!

参考文献(References)

- Parshall T, Calcote R. Effect of pollen from regional vegetation on stand-scale forest reconstruction [J]. *The Holocene*, 2001, 11(1): 81-87
- Nakagawa Takeshi, Tarasov P E, & Nishida Kotoba, *et al.* Quantitative pollen-based climate reconstruction in central Japan: application to surface and Late Quaternary spectra [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21: 2099-2113
- Sepp H, Bennett K D. Quaternary pollen analysis: recent progress in palaeoecology and palaeoclimatology [J]. *Progress in Physical Geography*, 2003, 27(4): 548-579
- Nakagawa T, Kitagawa H, Yasuda Y, *et al.* Yangtze River civilization program members, Asynchronous climate changes in the North Atlantic and Japan during the Last Termination [J]. *Science*, 2003, 299: 688-691
- 童国榜,张俊牌,严富华,等. 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*, 1991, 13(3): 259-268 [Tong Guobang, Zhang Junpai, Yan Fuhua, *et al.* Spore-pollen sequence and division of climatic period in the eastern North China plain since Late Pleistocene [J]. *Seismology and Geology*, 1991, 13(3): 259-268]
- 童国榜,郑宏瑞,杨振京,等. 中国 4Ma 来孢粉植物群气候的多重旋回模型 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1995, 15(4): 81-96 [Tong Guobang, Zheng Hongrui, Yang Zhenjing, *et al.* Multicyclic model of palynoflora climate since 4Ma in China [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1995, 15(4): 81-96]
- 江德昕,杨惠秋. 青海达布逊湖 50 万年以来气候变化的孢粉学证据 [J]. *沉积学报*, 2001, 19(1): 101-106 [Jiang Dexin Yang Huiqiu. Palynological evidence for climatic changes in Dabuxun Lake of Qinghai Province during the past 50 000 years [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 101-106]
- 宋长青,吕厚远,孙湘君. 中国北方花粉—气候因子转换函数建立及应用 [J]. *科学通报*, 1997, 42(20): 2182-2186 [Song Changqing, Lv Houyuan, Sun Xiangjun. Pollen-climatic factors transfer function establishment and application in north China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(20): 2182-2186]
- Liu Hongyan, Cui Haiting, Pott Richard. The surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1999, 105(3-4): 237-250
- 郭盛乔,王玉海,杨丽娟,等. 宁晋泊地区冰消期以来的气候变化 [J]. *第四纪研究*, 2000, 20(5): 490 [Guo Shengqiao, Wang Yuhai, Yang Lijuan, *et al.* Climatic change in the Ningjin Lake region since the last deglaciation [J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(5): 490]
- Bond G, Broecker W, Johnsen S, *et al.* Correlations between climate records from North Atlantic sediment and Greenland Ice [J]. *Nature*, 1993, 365: 143-147
- Andrews J T. Abrupt changes (Heinrich event) in late Quaternary North Atlantic marine environments [J]. *Journal of Quaternary Science*, 1998, 13(1): 3-16
- 郭正堂,刘东生,吴乃琴,等. 最后两个冰期黄土中记录的 Heinrich 型气候节拍 [J]. *第四纪研究*, 1996, 1: 21-30 [Guo Zhengtang, Liu Tungsheng, Wu Naiqin, *et al.* Heinrich-rhythm pulses of climates record in loess of the last two glaciations [J]. *Quaternary Research*, 1996, 1: 21-30]
- 广新菊,许清海,阳小兰,等. 河北平原沉积物中记录的新仙女木事件 [J]. *云南地理环境研究*, 2000, 12(1): 21-28 [Guang Xinju, Xu Qinghai, Yang Xiaolan, *et al.* Younger Dryas record from North China Plain sediments [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2000, 12(1): 21-28]
- Shackleton N J. Oxygen isotopes, ice volumes and sea level [J]. *Quaternary Science Review*. 1987, 6: 183-190
- 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次冰期以来气候变化记录研究 [J]. *中国科学: D 辑*, 1997, 27(5): 447-452 [Yao Tandong, Thompaon L G, Shi Yafeng, *et al.* Climate variation since the last interglaciation recorded in the Guliya ice core [J]. *Science in China: Series D*, 1997, 27(5): 447-452]
- 薛滨,王苏民,吴敬禄,等. 青藏高原东北部末次间冰期以来的古气候——以若尔盖盆地 RM 孔分析为例 [J]. *海洋与湖沼*, 1999, 30(3): 327-332 [Xue Bin, Wang Sumin, Wu Jinglu, *et al.* Palaeoclimate of Northeastern Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau since last interglaciation: A case study from Core Rm of the Zoige Basin [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1999, 30(3): 327-332]
- 景民昌,杨革联,孙乃达. 末次间冰期—末次冰期柴达木盆地东部气候演化形式 [J]. *地球科学与环境学报*, 2004, 26(3): 83-87 [Jing Minchang, Yang Gelian, Sun Naida. Study on the climatic

- changes between the last interglacial age and the last glacial age recorded by ostracoda in eastern Qaidam Basin [J]. *Journal of Earth Science and Environmental*, 2004, 26 (3): 83-87]
- 19 张文卿. 宁晋泊晚更新世孢粉组合及其古环境演变[J]. *微生物古生物学报*, 1999, 16(4): 431-438 [Zhang Wenqing. Polynological assemblages and palaeoenvironmental changes in the Ningjin Po Lake Area, South Hebei, since the Late Pleistocene [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 1999, 16(4): 431-438]
- 20 河北省地质矿产局(陈望和、倪明云等). 河北第四纪地质[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1-186 [Geology and Mineral Bureau of Hebei (Chen Wanghe, Ni Mingyun, et al). *Quaternary Geology of Hebei Province* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1-186]
- 21 林景星, 张静, 林防, 等. 西太平洋暖池扩张对华北平原气候变化的影响[J]. *地球学报*, 1998, 19(4): 353-356 [Lin Jingxing, Zhang Jing, Lin Fang, et al. The influence of the expansion of the West Pacific warm pool on the climate change in the North China Plain [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1998, 19(4): 353-356]
- 22 施雅风, 刘晓东, 李炳元, 等. 距今 40-30 ka 青藏高原特强夏季风事件及其与岁差周期关系[J]. *科学通报*, 1999, 44(14): 1475-1480 [Shi Yafeng, Liu Xiaodong, Li Bingyuan, et al. The correlation between the event of most strong summer monsoon and precession cycle on the Qinghai-Tibetan Plateau during 40-30 kaBP [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(14): 1475-1480]
- 23 施雅风, 贾玉连, 于革, 等. 40-30kaBP 青藏高原及邻区高温大降水事件的特征、影响及原因探讨[J]. *湖泊科学*, 2002, 14(1): 1-11 [Shi Yafeng, Jia Yulian, Yu Ge, et al. Features, impacts and causes of the high temperature and large precipitation event in the Tibetan Plateau and its adjacent area during 40-30 kaBP [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(1): 1-11]
- 24 杨保, 施雅风. 40-30 kaBP 中国西北地区暖湿气候的地质记录及成因探讨[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 60-68 [Yang Bao, Shi Yafen. Warm-humid climate in Northwest China during the period of 40-30ka BP: geological records and origin [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(1): 60-68]
- 25 Linsley B K. Oxygen isotope record of sea level and climate variations in the Sulu Sea over past 15000 years [J]. *Nature*, 1996, 380: 234-237.
- 26 Greenland Ice Core Project Members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core [J]. *Nature*, 1993, 364: 203-207.
- 27 李春海, 唐领余, 冯兆东, 等. 甘肃静宁地区晚更新世晚期高分辨率的孢粉记录及其反映的气候变化[J]. *中国科学: D 辑*, 2006, 36(5): 453-460 [Li Chunhai, Tang Lingyu, Feng Zhaodong, et al. A high-resolution Late Pleistocene record of pollen vegetation and climate change from Jingning, NW China [J]. *Science in China: Series D*, 2006, 36(5): 453-460]
- 28 萧家仪, 王丹, 吕海波, 等. 苏北盆地晚更新世以来的孢粉记录与气候地层的初步研究[J]. *古生物学报*, 2005, 44(4): 591-598 [Xiao Jiayi, Wang Dan, Lu Haibo, et al. A study of pollen and climatic stratigraphy in the Northern Jiangsu Basin since Late Pleistocene [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2005, 44(4): 591-598]
- 29 郑卓, 王建华. 珠江三角洲北部晚第四纪孢粉植物群的古环境意义[J]. *热带海洋*, 1998, 17(3): 1-9 [Zheng Zhuo, Wang Jianhua. Paleoenvironmental significance of Late Quaternary pollen flora in Northern Zhujiang River Delta [J]. *Tropic Oceanology*, 1998, 17(3): 1-9]
- 30 Sun X J, Li X. A pollen record of last 37ka in deep sea core 17940 from the northern slope of the South China Sea [J]. *Marine Geology*, 1999, 156: 227-244

Characteristics of Vegetation Fluctuation as well as Consequent Impact on Climate since Late Pleistocene in Handan Area, Hebei

XIAO Jing-yi^{1,4} CHEN Jian-qiang² XU Zhe-ping³ CAO Guang-chao^{1,4}
ZHAO Qing-lin^{1,4} GAO Li-wen^{1,4}

(1. Life and Geography College of Qinghai Normal University, Xining 810008;

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083; 3. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093;

4. Key Laboratory of Environment and Resources on Tibetan Plateau, Ministry of Education, Xining 810008)

Abstract Based on the spore-pollen analysis of the core HZ-S, in Handan region, Hebei Province. The results show that the Handan region's climate since the Late Pleistocene evolution of the form of both the characteristics of the global synchronization, but also the characteristics of the region alone. The evolutionary stages of palaeoclimate and palaeovegetation are recognized in the following: (1) During the Late Pleistocene, the climatic changes were from warm and humid(130~75 kaBP) → cool and dry(75~55 kaBP) → warm and humid(40~30 kaBP) → cool and dry(30~10 kaBP), the vegetation evolutions were sylvosteppe → grassland → sylvosteppe → grassland. (2) The evolution of Holocene climate has experienced slightly cold and moderately dry(10~8 kaBP) → warm and humid(8~3 kaBP) → slightly warm and moderately dry(3~0 kaBP) process, the vegetation evolutions were sparse sylvosteppe → sylvosteppe → sparse sylvosteppe. (3) Occurred in 25 kaBP around, 16 kaBP around, and 11-10 kaBP cold events may be Heinrich events 3, 1 and Younger Dryas event in eastern China monsoon region's response.

Key words Late Pleistocene; sporopollen; palaeovegetation; paleoclimate; Handan