

尼罗河三角洲早—中全新世气候—环境变化对早期农业发展的影响*

Hadeer Sheashaa¹, 赵小双^{1**}, Alaa Salem², 刘 演¹, 赖晓鹤¹, 陈中原¹

(1: 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

(2: Faculty of Science, Kafrelsheikh University, Kafrelsheikh, Egypt)

摘要: 对尼罗河三角洲平原东北部一个古埃及文化遗址(Kom El-Khilgan) 1.5 m 长的沉积物剖面 KH1 开展¹⁴C 测年、沉积物粒度和孢粉分析。根据岩性、粒度和测年等结果综合判定: 剖面 150~100 cm 地层为早全新世河流相沉积; 100~27 cm 地层为早、中全新世(8000—4000 cal a BP)三角洲冲积平原沉积, 其中涵盖了古埃及前王朝至古王国时期(6500—4131 cal a BP)的人类活动信息; 27~0 cm 为现代表土层。孢粉分析结果反映了在距今 8000~4000 a 期间: 1) 研究区气候由湿润过渡为温和, 最后趋于干旱; 2) 随着气候变干, 尼罗河上游水文变化对三角洲环境影响减小, 研究区由沼泽湿地逐渐过渡为干草甸环境, 更多的土地可以被人类利用; 3) 常被用来指示农业活动的 >35 μm 禾本科、陶器碎片和炭屑的出现并逐渐增加, 表明该遗址附近的人类农业活动始于距今 6500 a 左右, 并持续至距今 4000 a 前后。上述证据表明尼罗河三角洲全新世早—中期湿润向干旱过渡的气候驱动了人类农业活动的开展。本研究为进一步探讨尼罗河三角洲古文明对环境适应性研究提供了科学依据。

关键词: 全新世气候; 早期农业活动; 尼罗河三角洲

Early-middle Holocene climatic and environmental changes in the Nile delta and implications for early agriculture

HADEER Sheashaa¹, ZHAO Xiaoshuang^{1**}, ALAA Salem², LIU Yan¹, LAI Xiaohu¹ & CHEN Zhongyuan¹

(1: State Key Laboratory of Estuary and Coast, East China Normal University, Shanghai 200062, P.R. China)

(2: Faculty of Science, Kafrelsheikh University, Kafrelsheikh, Egypt)

Abstract: A detailed reconstruction of the past vegetation and human occupation at the site "Kom El-Khilgan", northeastern Nile delta, was operated in the light of a 1.5 m sediment profile KH1 taken at the site. Lithology analyses coupled with grain size and radiocarbon dating results revealed that the early Holocene strata (150–100 cm) consist of fluvial turtle-beds, and the middle Holocene strata (100–27 cm) generally composed of delta sediments, and the overlying strata was topsoil. The site contained the information of Pre-dynasty to Old Kingdom epoch (6500–4200 cal a BP) of the ancient Egyptian civilization. Pollen and spore analysis indicated: 1) from 8000 to 4000 cal a BP, the climate changed from wet to moderate and then much drier; 2) in response, the early swampy wetlands of the site area became dry grassland, which provided the ancient foragers habitable and arable land for the early agriculture; 3) evidences from >35 μm Poaceae, pottery fragments and mirocharcoals in the site profile indicated that agricultural activity occurred about 6500 years ago at the site and was not disrupted till 4000 cal a BP. All these above suggest that the Nile delta transformed from non-habitable swamp into an agricultural center. The result of this paper sheds light on the further study of the ancient agricultural adaptation to the environment change in the Nile delta.

Keywords: Holocene climate; early agriculture; the Nile delta

自然地理要素(气候和地貌)在人类文明发展中所扮演的角色一直是环境考古研究的重要问题^[1-3], 是

* 国家自然科学基金国际合作重点基金项目(41620104004)资助。2017-06-24 收稿; 2017-09-20 收修改稿。Hadeer Sheashaa(1992~), 女, 硕士研究生; E-mail: sheashaa.hadeer@yahoo.com.

** 通信作者; E-mail: xsz_geo@163.com.

理解人类文明演进与环境背景联系的关键因素. 距今约 12000 a 前, 在全球气候转暖、海平面随之快速上升的背景下, 古人逐渐走出洞穴, 走向三角洲平原地区, 开始农耕生活, 从而进入新石器文明时代^[4]. 距今约 8500~6500 a 前后海平面趋于稳定, 三角洲开始发育形成, 在这些资源丰富的三角洲地区, 新石器文明随之开始快速发展起来^[5,6]. 大量相关研究已证明, 三角洲农业活动的出现与气候、地貌环境演变关系紧密, 为新石器时期人类发展对环境适应性的相互联系提供了生动的例证^[7-9].

发源于尼罗河三角洲的古埃及文明源远流长, 根据尼罗河三角洲地区大量的古人类遗址点的研究发现, 古埃及文明先后经历了“前王朝”(6500—5150 cal a BP)—“早王朝”(5150—4636 cal a BP)—“古王国”(4636—4131 cal a BP)—“第一中间期”(4131—3090 cal a BP)—“中王国”(3090—3736 cal a BP)—“第二中间期”(3736—351 cal a BP)—“新王朝”(3517—3035 cal a BP)—“第三中间期”(3035—2614 cal a BP)—“后王朝”(2614—2282 cal a BP)等时代, 过去数十年一直受到学者的密切关注^[10-11]. 由于尼罗河的定期泛滥, 古人类一般选择在河漫滩平原的高地定居, 这些高地被形象地称为晚更新世—早全新世冲积平原的“龟背层”(图 1), 它们主要由洪水过境后的残存物堆积形成, 属于河道两侧天然堤沉积^[12-13].

目前在尼罗河三角洲很多地区发现了“龟背”这一独特的地貌现象, 比如萨马拉地区迄今为止已经在“龟背层”之上发现了 47 个考古遗址^[11], 表明在距今 7000~5500 a 左右的尼罗河三角洲气候和水文条件都比较适宜人类活动, 对应着古埃及文明的前王朝时期. 一些学者猜测当时尼罗河三角洲已经具备了人类定居并开展农业活动的条件^[14-15]. 过去几十年在尼罗河三角洲的考古发掘证实了下埃及文化是由新石器文化过渡而来, 但具体的转变过程与气候、环境变化之间的关系未得到更为详实的科学论证^[14-16]. 尽管已有一些学者开展了孢粉古植被方面的研究, 但还未涉及早期农业活动与环境变化之间的关系^[17-19].

本研究利用尼罗河三角洲东北部“Kom El-Khilgan”文化遗址 KH1 沉积物剖面的 25 个样本进行了沉积物粒度分析、¹⁴C 测年和孢粉学分析, 旨在通过该剖面的沉积物孢粉记录反映 KH1 遗址点附近早—中全新世 8000—4000 cal a BP 期间的植被变化、人类活动历史及其与环境变化之间的联系.

1 研究区域

Kom El-Khilgan (KH1) 遗址(30°54.6′N, 31°56.7′E)位于尼罗河三角洲东北部(图 1), 属于典型的地中海气候, 干燥少雨, 通常年降水只有 100~200 mm, 而且主要集中在冬季. 夏季 7、8 月间平均气温约为 30℃, 最高可达 48℃左右, 冬季气温通常在 5~10℃之间^[22]. 目前遗址点所在的尼罗河三角洲地区以农业植被和亚热带地中海稀树草原为主^[22], 其植被类型与尼罗河上游和中游植被覆盖差异显著. 尼罗河上游地区以热带亚热带干旱落叶阔林和疏林为主, 伴有一些热带亚热带稀树草原和草本沼泽, 中游流经非洲热带、亚热带荒漠地区, 以禾草灌木荒漠为主^[23].

在 Kom El-Khilgan 10 km 范围内, 现已发现 17 个前王朝—古王国时期的遗址(约 6500—4000 cal a BP)^[11](图 1). 此外, 法国考古团队在此发现了埃及迄今最古老的人类遗骸, 可以追溯到超过 6000 a 前, 因此 Kom El-Khilgan 被认为是尼罗河三角洲古埃及文明诞生最古老的遗址之一^[11].

如今的 Kom El-Khilgan 是一个扁平的残丘, 占地面积约 8600 m², 从南到北缓坡坡降约 1 cm/m, 周围有小块耕地零星分布^[24], 因其高于洪水泛滥水位, 在前王朝时期被用来举行大型祭祀^[11].

2 研究方法和样品来源

2014 年 3 月在 Kom El-Khilgan 遗址点获取一个 1.5 m 长的剖面, 将其命名为 KH1 (图 1). 现场对剖面进行照相和岩性描述. 顶部 27 cm 为人工填土, 依据岩性变化将 150~27 cm 部分分为 4 段: 第 1 段(I: 150~100 cm)为黄色中砂层, 为全孔最粗; 第 2 段(II: 100~70 cm)为灰黄至棕灰色中砂; 第 3 段(III: 70~38 cm)为棕灰至黄灰色极细砂; 第 4 段(IV: 38~27 cm)为土棕色细砂. 其中第 3 段多见陶器碎片, 其余层位未见或偶见陶片(图 2). 剖面采样时, 由于剖面顶部 27 cm 为人工填土, 未采样; 剖面深度 80~27 cm 段, 约每隔 3 cm 密集采样, 获得 20 个样品; 在深度 100~80 cm 之间每隔 5 cm 采样, 获得 4 个样品; 在剖面底部 150~100 cm 处采 1 个样品, 共计获取 25 个样品, 用于沉积物粒度和孢粉分析. 在剖面 73、52 和 27 cm 处挑选 3 个有机质泥样品进行¹⁴C 年代学分析(图 2).

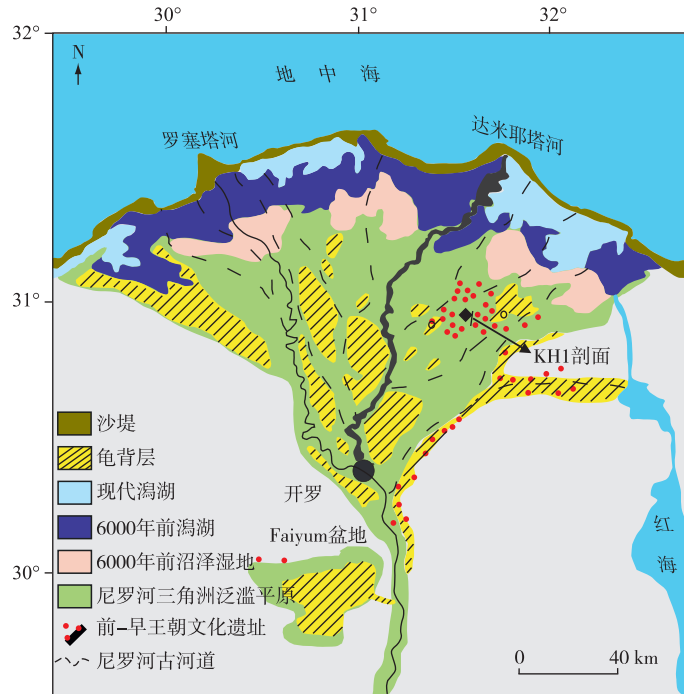


图 1 研究区域概况及 KH1 剖面位置(根据 Butzer 等^[14,20]和 Tronchère 等^[21]修改)

Fig.1 Sketch map of the study area and the location of KH1 site
(modified after Butzer *et al* ^[14, 20] and Tronchère *et al* ^[21])

2.1 粒度分析

对 KH1 剖面采集的全部 25 个样品进行了沉积物粒度分析,每个样品取 0.5 g 左右,先加入 10% 过量盐酸去除碳酸盐,再加入 10% 过氧化氢去除有机物,随后加入超纯水洗至中性. 最后添加 0.5 mol/L 的六酸磷偏钠,置于超声震荡仪震荡 10 min 使样品充分分散后上机测试. 所用仪器为 Beckman 激光粒度分析仪 (LS13320),测量范围为 0.04~2000 μm ,测试工作在华东师范大学河口海岸国家重点实验室完成.

2.2 孢粉和微碳屑分析

对 KH1 剖面 100~27 cm 部分采集的 24 个样品称重,每个样品取 10 g 左右进行孢粉分析,样本前处理依据 Faegri 等^[25]的标准处理.

孢粉样品预处理的主要步骤为:先加入盐酸(15%)去除碳酸盐,加入氢氟酸(40%)去除硅酸盐. 将剩余样品通过 10 μm 的筛布筛选,收集大于 10 μm 的残留物放置于甘油中保存. 每个样品的孢粉统计量至少达到 300 粒.

孢粉鉴定采用尼康 E200 型光学显微镜进行,放大倍数为 400 倍,少数样品需要在 1000 倍油镜下进行鉴定. 孢粉鉴定参照萨达特城市大学的欧洲和北非孢粉图谱,并参考中欧和邻近地区的数据库以及热带非洲的花粉图谱^[17,26-27]. 已有研究认为,禾本科孢粉直径>35 μm ,且萌发孔的孔膜比孢粉外壁厚,则被认为是谷物,可以用于指示人类活动的强弱^[28]. 因此本文对>35 μm 的禾本科(Poaceae)孢粉单独进行统计.

采用孢粉流程法进行碳屑提取后,在显微镜 40 倍镜下采用颗粒计数法统计微碳屑总数,并根据所加石松孢子数计算出微碳屑颗粒浓度:

$$GC = G \cdot L / (l \cdot V) \quad (1)$$

式中,GC 为微碳屑的颗粒浓度 (grains/g);G 为微碳屑总颗粒数 (grains),等于多个视域中的全部微碳屑的颗粒数总和;L 为外加石松孢子的数目 (27637 颗/片);l 为统计的石松孢子数;V 为样品的重量 (g).

本研究用孢粉百分比和孢粉浓度作为反映植被组合和下垫面变化以及人类活动的指标. 其中孢粉浓度通过外加石松孢子的方法获得. 在此基础上, 利用 CONISS 软件^[29] 对孢粉百分含量数据进行有序聚类分析来帮助描述花粉组合之间的相关性.

2.3 年代分析

KH1 剖面 27、52 和 73 cm 处的有机质泥样品 AMS¹⁴C 测年材料为样品中的有机碳^[30], 半衰期采用 5568 a, 在西安加速器质谱中心完成. 原始¹⁴C 年龄使用 OxCal4.3 软件, 选择 IntCal13 校正程序转换为日历年^[31] (图 2 和表 1). 考虑到尼罗河上游物质对三角洲沉积物的贡献, 三角洲沉积物中难免存在老碳混合现象, 因此根据剖面沉积相、有机质测年数据和现有的考古定年资料, 经综合分析认为 KH1 剖面在千年尺度上是连续沉积的. 因此采用线性内插计算得到相邻测年点间的年代, 由此建立剖面年龄—深度序列 (图 2).

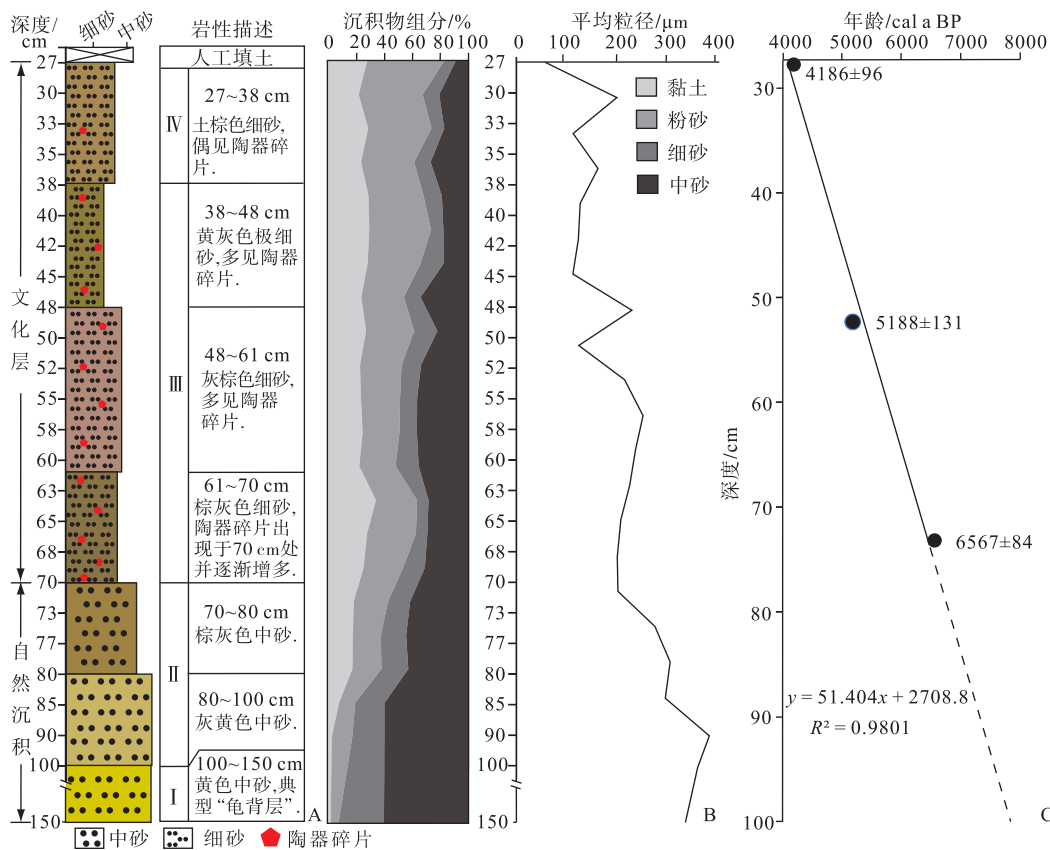


图 2 KH1 剖面沉积物综合信息

Fig.2 Sediment profile of KH1

表 1 KH1 剖面沉积物加速器质谱 (AMS¹⁴C) 测年结果

Tab.1 AMS¹⁴C dating results of profile KH1

实验室编号	样品号	深度/m	测年材料	¹⁴ C 年龄/a BP	校正年龄 2σ/cal a BP
XA14412	KH1-1	0.27	有机质泥	3796±27	4186±96
XA14413	KH1-11	0.52	有机质泥	4550±27	5188±131
XA14414	KH1-18	0.73	有机质泥	5759±30	6567±84

3 测试结果

3.1 沉积物粒度特征

KH1 剖面下部 I 和 II (150~70 cm) 主要由黄色和灰黄色中砂组成, 平均粒径为 350~250 μm , 上部 (III 和 IV: 70~27 cm) 主要由棕色和灰色细砂组成, 平均粒径为 200~100 μm , 且整体呈现细化趋势 (图 2). 根据 KH1 剖面年代结果 (图 2 和表 1), 剖面上部 73 cm (100~27 cm) 的年代为早—中全新 (8000—4000 cal a BP), 跨越了大约 4000 a, 涵盖了埃及前王朝—古王国时期 (6500—4131 cal a BP). 剖面底部为黄色中砂层 (150~100 cm), 且岩性特征与尼罗河三角洲大量分布的“龟背层”吻合^[13], 推测为早全新世河流相沉积物.

3.2 KH1 剖面孢粉组合带

KH1 剖面共鉴定出 43 个科属的孢粉类型, 其中以草本花粉占绝对优势 (平均含量在 70% 以上), 木本花粉含量较少, 最高不超过 30%. 草本花粉以禾本科 (Poaceae) 占多数, 木本花粉则以榕属 (*Ficus* sp.) 和柳属 (*Salix* sp.) 为主. 依据花粉的来源、气候学和人类活动指示意义, 将鉴定的孢粉分为以下 6 类: 喜湿草本 (莎草科 (Cyperaceae)、睡莲科 (Nymphaeaceae)、香蒲科 (Typhaceae) 等); 尼罗河上游属种 (水龙骨科 (Polypodiaceae)、南洋杉科 (Araucariaceae)、罗汉松科 (Podocarpaceae))^[32-33]; 喜干草本 (亚麻科 (Linaceae)、菊科 (Asteraceae)、藜科/苋科 (Chenopodiaceae/ Amaranthaceae) 等); 耐干木本 (柳属、榕属等); 三缝孢子 (Trilete spores) 和人类活动指示属种 (禾本科), 其中包括大于 35 μm 的禾本科 (图 3). 通过 CONISS 软件对孢粉百分含量数据进行有序聚类分析, 将孢粉谱划分为 3 个孢粉组合带 (图 3).

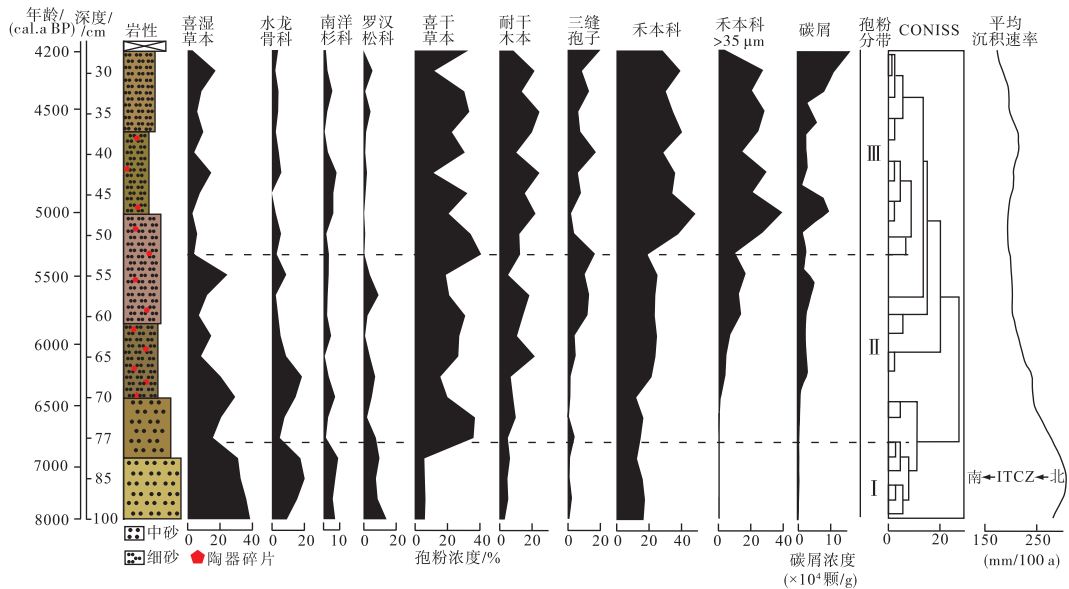


图 3 KH1 剖面孢粉百分含量图谱
Fig.3 Pollen diagram of the profile KH1

孢粉组合带 I (100~77 cm, 8000—6700 cal a BP): 喜湿草本 (莎草科、睡莲科和香蒲科等) 占该孢粉组合带的绝大多数, 比例高达 35%. 禾本科和水龙骨科其次, 比例均接近 15%, 未出现 >35 μm 禾本科; 罗汉松科和南洋杉科二者比例相加接近 15%; 喜干草本 (亚麻科、菊科和藜科/苋科等) 和耐干木本占比在 5%~10% 之间, 偶见三缝孢子. 该层位微炭屑浓度在 10000 颗/g 以下, 处于较低水平.

孢粉组合带 II (77~52 cm, 6700—5200 cal a BP): 喜湿草本 (莎草科、睡莲科和香蒲科等) 花粉大量减少, 占比约 17%. 喜干草本 (亚麻科、菊科和藜科/苋科等) 明显增加, 比例高达 40% 左右. 禾本科总体接近 25%, 其中 >35 μm 的禾本科从 70 cm 开始出现并持续增加, 比例接近 10%. 耐干木本和三缝孢子也呈现增加趋势, 其中耐干木本由组合带 I 的 6% 增长至 12% 左右, 三缝孢子由最初的 1% 不到增长至 5% 左右. 南洋杉

科、罗汉松科以及水龙骨科均大幅减少。该层位微炭屑浓度较之前大幅增加,平均浓度约为 30000 颗/g。

孢粉组合带Ⅲ(52~27 cm, 5200—4200 cal a BP):以莎草科、睡莲科和香蒲为代表的喜湿草本进一步减少,占比仅 8%左右。喜干草本(亚麻科、菊科和藜科/苋科等)仍维持在 30%~35%的较高比例。禾本科增加至 40%左右,其中>35 μm 的禾本科增加至 25%左右。耐干木本和三缝孢子继续增加,所占比例约为 15%和 8%。与此相反,南洋杉科、罗汉松科以及水龙骨科仍持续减少,下降至 9%左右。该层位微炭屑浓度较之前出现较大幅度的增加,平均值增加至 150000 颗/g。

4 讨论与结论

禾本科常常用来反映人类农业活动,其中>35 μm 禾本科的出现往往与人类驯化有关,目前已经得到了较多应用^[34-35];喜干草本(亚麻科、菊科和藜科/苋科等)被用来指示干旱环境;以莎草科、睡莲科为代表的喜湿草本用来指示湿润环境;耐干木本(柳属和热带榕属等)和三缝孢子往往指示盆地气候干旱的特征^[18,32,36];罗汉松科、南洋杉科以及水龙骨科多见于尼罗河上游地区,在尼罗河三角洲地区极少见,据此判定以上 3 类孢粉主要通过水流从上游搬运至三角洲地区^[32-33],因此用来反映上游气候环境。此外,可以利用喜湿草本和喜干草本花粉的多少反映局地干湿的变化;利用禾本科(尤其是>35 μm 的禾本科)和微炭屑的变化来反映 KH1 遗址点过去的人类活动情况。

4.1 全新世早期:湿润期

在早一中全新世 8000—6700 cal a BP 期间(图 2 和表 1),研究区地表以草本植物为主(超过 70%),木本植物不甚发育(图 3)。喜干草本(亚麻科、菊科和藜科/苋科等)(12.3%)、耐干木本(柳属和热带榕属等)(5.2%)和三缝孢子(1.2%)仅占很小的比例,为全新世最低(图 3),表明全新世早期气候温暖湿润,对应于“非洲湿润期(Africa Humid Period, 10000—4500 cal a BP)”^[37-38]的早期阶段。大量的尼罗河源(水龙骨科、南洋杉科和罗汉松科)的花粉(27.6%)表明尼罗河上游降水充沛,这与该时期尼罗河三角洲的高沉积速率相一致^[38]。KH1 遗址受到尼罗河的影响显著,遗址附近出现较多的喜湿草本(如莎草科、睡莲科和香蒲科)(30.3%),反映了研究区处于湿润的沼泽环境中(图 3 和表 2),说明遗址区当时受洪水泛滥影响较大,还不适宜早期人类的居住。同时研究区禾本科含量与微炭屑浓度均处于全新世最低水平,且未出现>35 μm 的禾本科(图 3),暗示了该时期尚未出现人类活动的迹象。

表 2 埃及历史年表及研究区与之对应的植被状况

Tab.2 Historical chronology of Egypt and the vegetation cover of the research area

埃及历史朝代	时间	植被类型
古王国时期	4636—4131 cal a BP	干草甸
早王朝时期	5150—4636 cal a BP	干草甸
前王朝时期	6500—5150 cal a BP	开放式草甸草原
史前时期	8000—6500 cal a BP	沼泽湿地

4.2 前王朝时期:温暖过渡期与早期农业活动的开始

到了中全新世 6700—5200 cal a BP 时期(图 2 和表 1),花粉组合中喜干草本(26.7%)、耐干乔木(12.4%)和三缝孢子(5.9%)迅速增加,反映了该时期气候开始趋干^[39](图 3)。尼罗河源的花粉(14.7%)和喜湿草本(15.3%)大幅减少(图 3),反映了尼罗河上游来水减少, KH1 遗址的沼泽湿地逐渐变干,导致越来越多的土地出露水面,表明当时的气候由全新世早期的暖湿逐渐向温和气候过渡,研究区由早一中全新世的沼泽湿地环境转变为相对湿润的开放式草甸草原环境(表 2)。同时禾本科增加到 21.6%,>35 μm 的禾本科在距今约 6500 a 首次出现,并持续增加,陶器碎片几乎与>35 μm 的禾本科同步出现,微炭屑浓度也相应地显著增加(图 3)。上述证据证明了先民在距今 6500 a 左右开始移居三角洲平原,开始了烧荒和土地开垦活动,拉开了农耕生活的序幕^[40,41],为前王朝文明(6500—5150 cal a BP)的诞生发展奠定了基础。

4.3 早王朝—古王国时期:气候趋干期与早期农业活动的关系

到 5200—4200 cal a BP 期间(图 2 和表 1),喜干草本(26.3%)、耐干木本(17.7%)和三缝孢子(8.06%)所占比例较高(图 3),反映了研究区的气候进一步趋干。有研究表明在非洲湿润期结束后,气候逐渐趋干,尼罗河来水减少,季风降水减弱^[42-45],这与本研究的结论基本吻合。喜湿草本(7.8%)和尼罗河源花粉(8.1%)进一步减少,处于最低水平(图 3),反映 KH1 遗址区受尼罗河的影响逐渐减弱。沼泽湿地进一步减

少, 相对湿润的开放式草甸向干草甸转变^[46]。

随着沼泽湿地进一步减少, 越来越多的土地在 5200—4200 cal a BP 期间出露, 这为古埃及文明的发展提供了更优越的环境。禾本科(由 21.6% 增至 36.4%) 和炭屑的大幅增加(图 3), 反映了该时期人类活动在 KH1 遗址区域持续开展, 并且强度加大。

总之, 尼罗河三角洲自古以来就是一个气候、地貌景观和人类三者相互作用的很好的例子。在全新世早期气候湿润的背景下, 研究区受洪水泛滥影响, 尚不能满足人类居定居所需, 该时期并未出现人类活动的信号。而当进入前王朝时期(6500—5150 cal a BP), 气候相对温和, 沼泽环境向草甸草原环境过渡, 大量可利用的土地出现, 农业活动开始出现并逐渐发展。随着气候趋干, 沼泽湿地进一步减少, 逐渐向干草甸转变, 越来越多的土地在早王朝和古王国期间(5150—4131 cal a BP) 出露, 这为古埃及文明的发展提供了更优越的环境。

由此看来, 尼罗河流量的下降以及季节性洪水消退可能是驱动人类活动扩张到三角洲平原, 从而改变当地生态结构和资源可用性的重要诱因, 而当尼罗河三角洲人类活动开始出现后, 气候趋干背景下的三角洲地貌景观变化可能是控制人类活动规模和强度的首要因素。

5 参考文献

- [1] Stanley DJ, Warne AG. Nile delta: Recent geological evolution and human impact. *Science*, 1993, **260**(5108): 628-634.
- [2] Staubwasser M, Weiss H. Holocene climate and cultural evolution in late prehistoric-early historic West Asia. *Quaternary Research*, 2006, **66**: 372-387.
- [3] Day J, Witzke BJ. Timing of Upper Devonian marine flooding events and episodes of organic-rich Sweet-land Creek, Grassy Creek and Saverton Shale deposition in the Iowa and N.W. Illinois Basin. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 2012, **44**(6): 7.
- [4] Stanley DJ, Warne AG. Sea level and initiation of Predynastic culture in the Nile delta. *Nature*, 1993, **363**(363): 435-438.
- [5] Yu S, Zhu C, Song J *et al.* Role of climate in the rise and fall of Neolithic cultures on the Yangtze Delta. *Boreas*, 2000, **29**: 157-165.
- [6] Chen Z, Zong Y, Wang Z *et al.* Migration patterns of Neolithic settlements on the abandoned Yellow and Yangtze River deltas of China. *Quaternary Research*, 2008, **70**(2): 301-314.
- [7] Stanley DJ, Chen Z. Neolithic settlement distributions as a function of sea level-controlled topography in the Yangtze delta, China. *Geology*, 1996, **24**(24): 1083-1086.
- [8] Krom MD, Stanley JD, Cliff RA *et al.* Nile River sediment fluctuations over the past 7000 yr and their key role in sapropel development. *Geology*, 2002, **30**(1): 71-74.
- [9] Kaniewski D, Paulissen E, Van Campo *et al.* Middle East coastal eco- system response to middle-to-late Holocene abrupt climate changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, **105**: 13941-13946.
- [10] Rampersad SR. Tell el-Masha'la: A predynastic/early dynastic site in the eastern Nile delta. In: Kroeper K, Chłodnicki M, Kobusiewicz M eds. *Archaeology of early north- eastern Africa. Poznań: In Memory of Lech Krzyżaniak*, 2006: 789-816.
- [11] Tristant Y, De Dapper M. Geoarchaeological investigations of a predynastic and early dynastic landscape. A view from the Eastern Nile delta (Egypt), 2009.
- [12] Abu Al-izz MS ed. Translated by Dr Yusuf AF. *Landforms of Egypt*. Cairo: The American University in Cairo Press, 1971: 281.
- [13] Pennington BT, Sturt F, Wilson P *et al.* The fluvial evolution of the Holocene Nile Delta. *Quaternary Science Reviews*, 2017, **170**: 212-231.
- [14] Butzer KW ed. *Early hydraulic civilization in Egypt*. Chicago: University of Chicago Press, 1976: 139.
- [15] Wilson P. Prehistoric settlement in the Western Delta: A regional and local view from Sais (Sa el-Hagar). *Journal of Egyptian Archaeology*, 2006, **92**: 75-126.
- [16] Bard KA ed. *An introduction to the archaeology of ancient Egypt*. Oxford: Blackwell, 2008.
- [17] Saad SI, Sami S. Studies of pollen and spores content of Nile delta deposits (Berenbal region). *Pollen et Spores*, 1967, **9**(3): 467-503.
- [18] Bernhardt CE, Horton BP, Stanley JD. Nile delta vegetation response to Holocene climate variability. *Geology*, 2012, **40**(7): 615-618.

- [19] Shaltout M, Azzazi M. Climate change in the Nile delta from prehistoric to the modern era and their impact on soil and vegetation in some archaeological sites. *Journal of Earth Science and Engineering*, 2014, **10**: 632-642.
- [20] Butzer KW. Geoarchaeological implications of recent research in the Nile delta. In: van den Brink ECM, Levy TE eds. Egypt and the Levant. London & New York: Interrelations from the 4th through the early 3rd millennium B.C.E., 2002: 83-97.
- [21] Tronchère H, Goiran JP, Schmitt L *et al.* Geoarchaeology of an ancient fluvial harbour: Avaris and the Pelusiac branch (Nile River, Egypt). *Géomorphologie Relief Processus Environnement*, 2012, **1**: 23-36.
- [22] Shaltout KH, Hassan LM, Farahat EA. Vegetation-environment relationships in south Nile Delta. *Taekholmia*, 2005, **25**: 15-51.
- [23] White F. The vegetation of Africa. *Ecology*, 1974, **55**(4): 918-919.
- [24] Midant-Reynes B, Briois F, Buchez N *et al.* Kom el-Khilgan: A new site of the Predynastic Period in Lower Egypt. *Orientalia Lovaniensia Analecta*, 2004, **138**: 465-486.
- [25] Faegri K, Iversen J. Text-book of modern pollen analysis. *Journal Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 1950, **72**(3): 363-364
- [26] Ritchie JC, Eyles CH, Haynes CV. Sediment and pollen evidence for an early to mid-Holocene humid period in the eastern Sahara. *Nature*, 1985, **314**(6009): 352-355.
- [27] Gosling WD, Miller CS, Livingstone DA. Atlas of the tropical West African pollen flora. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 2013, **199**: 1-135.
- [28] Moles A, Ackerly D, Webb C *et al.* A brief history of seed size. *Science*, 2005, **307**(5709): 576-580.
- [29] Grimm EC. CONISS: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 1987, **13**: 13-35.
- [30] Nakamura T, Niu E, Oda H *et al.* The HVEE tandem AMS system at Nagoya University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2000, **172**(1/2/3/4): 52-57.
- [31] Reimer PJ, Bard E, Bayliss A *et al.* IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 20000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, **55**: 1869-1887.
- [32] Friis I, Vollesen K. Flora of the Sudan-Uganda border area east of the Nile: Catalogue of vascular plants, 1st part. *Biologiske Skrifter*, 1998, **51**: 9-389.
- [33] Sommerlatte H, Sommerlatte M eds. A field guide to the trees and shrubs of the Imatong Mountains, Southern Sudan. Nairobi, Kenya. Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit, 1990: 373.
- [34] Wang WM, Ding JL, Shu JW *et al.* Exploration of early rice farming in china. *Quaternary International*, 2010, **227**(1): 22-28.
- [35] Zhao S, Wu WT. Early Neolithic Hemudu culture along the Hangzhou estuary and the origin of domestic paddy rice in China. *Asian Perspect.* 1988, **27**: 29-34.
- [36] Darbyshire I, Vollesen K, Kelbessa E. Acanthaceae (part II). In: Beentje H ed. Flora of tropical east Africa. Royal Botanic Gardens, Kew, 2010: 470.
- [37] Claussen V, Gayler V. The greening of the Sahara during the mid-Holocene: Results of an interactive atmosphere-biome model. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1997, **6**: 369-377.
- [38] Marriner N, Flaux C, Kaniewski D *et al.* ITCZ and ENSO-like pacing of Nile delta hydro-geomorphology during the Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 2012, **45**: 73-84.
- [39] Nicoll K. Recent environmental change and prehistoric human activity in Egypt and Northern Sudan. *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**: 561-580.
- [40] Hassan FA. The predynastic of Egypt. *Journal of World Prehistory*, 1988, **2**(2): 135-185.
- [41] Wenke RJ. The evolution of early Egyptian civilization: Issues and evidence. *Journal of World Prehistory*, 1991, **5**(3): 279-329.
- [42] Marchant R, Hooghiemstra H. Rapid environmental change in African and south American tropics around 4000 years before present: a review. *Earth-Science Reviews*, 2004, **66**: 217-260.
- [43] De Menocal P, Ortiz J, Guilderson T *et al.* Abrupt onset and termination of the African humid period: Rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews*, 2000, **19**: 347-361.
- [44] Kuper R, Kröpelin S. Climate-controlled Holocene occupation of the Sahara: Motor of Africa's evolution. *Science*, 2006, **313**(5788): 803-807.
- [45] De Menocal PB. Paleoclimate: End of the African humid period. *Nature Geoscience*, 2015, **8**(2): 86-87.
- [46] Stanley DJ, Krom MD, Cliff RA *et al.* Short Contribution: Nile flow failure at the end of the old kingdom, Egypt: Strontium isotopic and petrologic evidence. *Geoarchaeology*, 2003, **18**(3): 395-402.