

西辽河流域中晚全新世气候环境演变 及其对农牧业演替的影响

何瑾¹, 刘演¹, 田彦国², 王泽², 肖鑫³, 姜锋¹,
刘韬⁴, 孙千里¹, 陈静¹, 李茂田¹, 陈中原¹

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200241; 2. 内蒙古史前文化博物馆, 敖汉旗 024300;
3. 上海宽带技术及应用工程研究中心, 上海 200436; 4. 湖北大学资源环境学院, 武汉 430000)

摘要: 气候变化是人类文明演化的重要驱动力之一, 中国东北西辽河流域地处季风气候敏感带, 早中全新世以来古文化演替频繁, 具有研究气候变化与早期农业文明响应的重要价值。本文基于西辽河流域兴隆洼(XLW)剖面高精度年代学框架开展多种气候代用指标分析, 重建了中晚全新世以来西辽河流域的气候环境演变历史。结果显示, 距今5.0 ka以来研究区经历了冷干—暖湿—冷干的气候演变过程。5.0—3.7 cal. ka BP期间, 磁化率、烧失量等指标的低值反映了气候由全新世大暖期向冷干环境的转变, 可能与东亚夏季风的衰退有关。该时期红山文化衰退, 逐渐被以渔猎和农业并重的小河沿文化所取代, 东北地区遗址数量有所减少并出现明显南偏。3.7 cal. ka BP后, 磁化率、烧失量等指标的高值指示了夏季风的增强, 水热条件的改善促进了旱作农业的发展, 为夏家店下层文化的发展提供了有利条件。这一阶段东北地区出现人口大爆发, 遗址数量达到峰值。2.8 cal. ka BP后, 磁化率与烧失量波动降低, 表明夏季风波动频繁, 气候逐渐转冷干, 水热条件的衰退可能导致了夏家店上层文化时期旱作农业的退化与游牧业的发展, 且遗址分布出现南偏。

关键词: 夏家店文化; 西辽河流域; 气候演变; 农牧交替; 文化演替

DOI: 10.11821/dlxb202107004

1 引言

气候环境演变与古文化发展的关系是过去全球变化(Past Global Change, PAGES)的重要研究内容, 也是国内外研究者关注的热点问题^[1-2]。已有研究表明, 全新世存在着多种尺度的气候波动^[3-5]; 气候变化的不稳定性及其对古文化发展与早期农业活动的影响一直被视为研究的重点。位于中国东北的西辽河流域地处东亚夏季风北缘, 是暖温带半湿润气候向中温带半干旱气候的过渡地带, 对气候环境的变化十分敏感。相关研究认为, 自早全新世以来东亚夏季风显著增强, 气候带北移^[6-7], 东北地区进入全新世大暖期。但不同学者对东北地区东亚夏季风强盛时期及其气候特征还存在一些争议^[8-12]。部分研究表明在东北地区, 早全新世夏季风强度大, 降水增加, 而到了中全新世夏季风则逐渐减弱, 降水减少^[8, 13], 也有学者认为东北地区早全新世夏季风弱, 中全新世夏季风强,

收稿日期: 2020-02-18; 修订日期: 2021-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41620104004, 41971007) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41620104004, No.41971007]

作者简介: 何瑾(1996-), 女, 浙江东阳人, 硕士生, 主要从事古气候变化与人类响应研究。E-mail: hejin_pro@163.com

通讯作者: 陈中原(1953-), 男, 浙江宁波人, 教授, 主要从事河流—三角洲沉积地貌过程及环境考古学研究。

E-mail: z.chen@sklec.ecnu.edu.cn

降水较前期增加^[9-11]。另有研究表明全新世东亚夏季风存在几次极端减弱事件,例如,Liu等^[14]认为8.2 cal. ka BP的冷干事件与季风减弱相关,且持续150 a之久;Donges等^[15]基于非线性数据网络分析法研究东亚夏季风变化情况,认为东亚夏季风存在4次极端减弱事件(8.5—8.0 ka BP、5.7—5.4 ka BP、4.1—3.6 ka BP、2.8—2.2 ka BP),且与北半球Bond事件相对应。

西辽河流域是中国史前时期重要的文化区块之一——燕辽文化区,过去众多研究已勾画出其总体文化框架^[16-17],按时间序列可以概括为新石器时代的小河西文化(9.0—8.5 ka BP)、兴隆洼文化(8.2—7.2 ka BP)、赵宝沟文化(7.2—6.4 ka BP)、红山文化(6.4—5.0 ka BP),铜石并用时代的小河沿文化(5.0—4.2 ka BP)以及青铜时代的夏家店下层文化(4.0—3.3 ka BP)和夏家店上层文化(3.0—2.5 ka BP)。全新世大暖期优越的水热条件促进了兴隆洼—赵宝沟—红山文化时早期农业的快速发展^[18-19],而随后的小河沿文化则表现出相对的衰退迹象。晚全新世以来,由于东亚夏季风逐渐衰退,东北地区气候波动频繁^[6],这是否在一定程度上与当时的文化更迭有关?

前人研究认为全新世气候波动和极端气候事件的出现与史前文化的发生、扩张和衰退存在一定的对应关系。例如,夏正楷等研究西拉木伦河阶地发育与史前文化的迁移发现,随着河流的下切与摆动,黄土平原被不断切割,河漫滩与河流阶地逐渐形成,人类活动范围由兴隆洼—赵宝沟时期的黄土平原向红山—小河沿文化时期的黄土台原、河漫滩地区,再到夏家店文化时期的河流二级阶地转移^[20]。索秀芬研究内蒙古文化经济形态的转变发现,全新世晚期(3.5 ka BP)以来内蒙古南部曾多次出现农牧业交替的现象,并认为其交替模式与气候的更迭相一致^[21]。Xu等提出东北地区史前人类活动可能受周期性气候变化的影响,约0.5 ka的季风旋回与人类活动的强弱密切相关^[22]。然而,过去的部分环境考古学研究仅探究西辽河流域文化景观与生业模式的转变,却缺乏高分辨率的气候学证据。因此,本文选取西辽河上游兴隆洼文化遗址附近自然剖面(XLW)为研究对象,通过高精度年代测定以及磁化率、粒度、烧失量等多种沉积学指标的综合分析,拟建立该地区高分辨率气候环境演变序列,并试图探讨不同的气候条件与人类生业模式转变及古文化兴衰的可能关联。

2 研究区概况

2.1 研究区自然地理背景

西辽河流域(39°N~46°N, 116°E~124°E)位于东北地区西南部(图1),地处东亚夏季风区的北缘地带,年均气温5.8~7.0℃,1月平均气温-14.0~-12.6℃,7月平均气温23.2~23.7℃,年降水量361~412 mm,年蒸发量1500~2000 mm^[23]。现代植被以草甸草原为主,在水热条件较好的山地沟谷地区有乔、灌木分布^[24-25]。

东北地区三面环山,即西北部的大兴安岭、东北部的小兴安岭和



注: 改自文献[26]。

图1 西辽河流域地理位置及气候背景

Fig. 1 Geographical location and climate of West Liaohe Basin

东南部的长白山，中部为平原地貌，自燕山运动以来一直处于抬升状态，至晚更新世山脉基本形成^[19]。西南部的西拉木伦河流域地处蒙古高原向辽河平原的过渡地带，由主河道及其支流老哈河、教来河、大凌河等组成，主河以南有黄土堆积，以北有科尔沁沙地的分布。全新世期间河流下切并广泛发育河流阶地^[20]，受生产力水平的限制，当时的人类以采集、渔猎和农牧业作为主要的经济生活方式，对水资源依赖程度高，使得河流阶地与河漫滩地区成为人类活动的主要聚集区，并影响着人类对于栖息地的选择。

2.2 采样点及剖面描述

采样点位于内蒙古敖汉旗兴隆洼遗址下游（120°48′35″E，42°16′49″N）。通过实地考察发现，上游地区有众多冲沟发育，表明曾有古河道形成。受河流泛滥影响，河水将上游丰富的物质携带至此形成沉积层，可作为气候环境演变的地质记录。通过野外观察与对比分析，选择在河流汇水盆地中游的河流低洼阶地开挖剖面XLW，开展高密度采样。

XLW剖面深度435 cm，以下为粗砾石层。剖面395~435 cm为黄色砂层，为河床相沉积，每隔5 cm采样，共获得8个样品；390~395 cm为砾质砂层，采1个样品；90~390 cm以粉砂质河漫滩相沉积为主，每隔2 cm采样，共获得140个样品；39~90 cm为粉砂质砂夹一层黏土层，每隔5 cm采样，共获得11个样品；顶部39 cm为现代耕作土，未采样（图2）。共计获得160个沉积学样品用于沉积物粒度、磁化率和烧失量等沉积学指标分析，并在多个关键层位采集¹⁴C样品7个，OSL样品10个，用于建立年代框架。

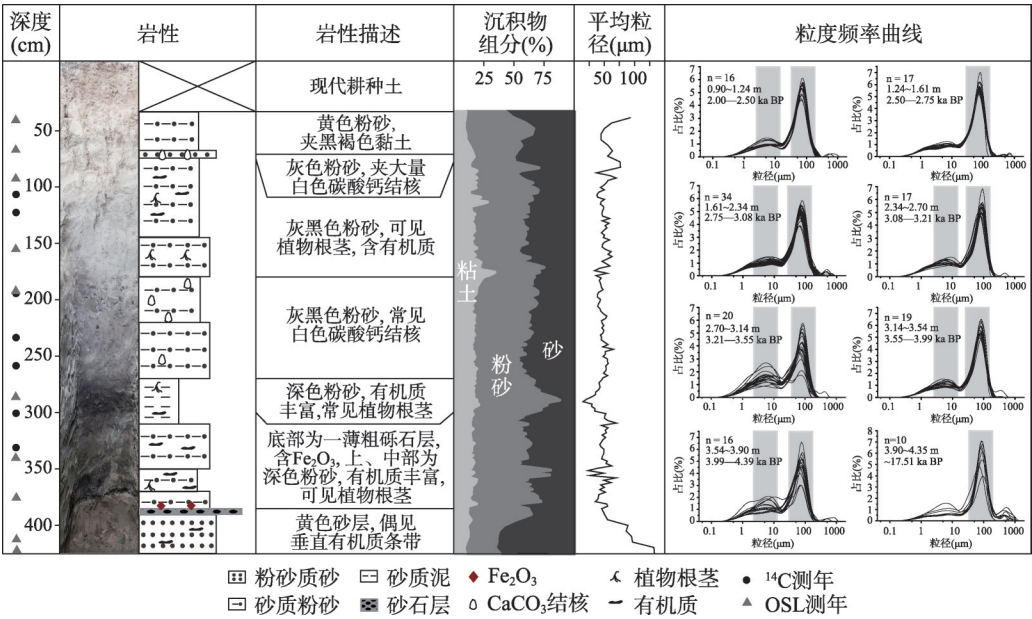


图2 XLW剖面岩性与粒度特征
Fig. 2 Lithology and grain size of XLW profile

3 研究方法

由于气候环境的变化会影响沉积物的搬运、沉积区枯枝落叶的分解及风化成壤作用的强弱等，在气候暖湿期枯枝落叶分解与风化成壤增强，造成沉积物粒度的低值与磁化率、烧失量的高值^[27-29]；同时不同的沉积物来源也会影响其粒度组成、磁化率高低以及沉积物中有机质的含量，在这一地区气候的干冷期风沙来源的沉积物增多，而水成沉积物

减少。因此对粒度、磁化率和烧失量这3个气候代用指标的分析有助于恢复这一地区过去的气候环境演变过程,进而探讨人类生业模式对气候环境的响应。本文对采集的160个沉积学样品进行低温烘干(40℃)后分别进行粒度、磁化率和烧失量分析。

粒度采用Beckman公司生产的LS13320型激光粒度仪测量,其测试范围为0.04~2000 μm;称取约0.2 g样品,分别用10%的HCl和10%的H₂O₂去除碳酸盐和有机质,清洗至中性后,加入30%六偏磷酸钠并用超声波震荡仪使其均匀分散,最后倒入激光粒度仪进行测量。磁化率采用Bartington公司生产的MS-2型双频磁化率仪进行测量:称取研磨后的样品约5 g,置于无磁性样品盒内分别在高、低频状态下进行测量,连续测量3次求取平均值。烧失量采用燃烧失重法:将样品研磨并过200目筛,将坩埚与样品分别在105℃下烘干,之后放入干燥箱干燥,冷却至室温;称取约1 g左右样品放入坩埚,在550℃条件下灼烧2 h,在干燥箱中冷却至室温后称重并计算得到烧失量。以上实验均在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室完成。

对沉积物粒度数据,除分析其平均粒径(Mz)、标准偏差(s)、偏度(SK)、峰度(Kg)指标外,还运用沉积物粒度端元模型(End-Member Modeling),从统计学角度将不同搬运和改造动力下的沉积物划分为不同端元^[30-31]。本文基于Paterson改进的端元分析(EMA)方法^[32],将沉积物粒级数据导入Matlab软件运行端元计算程序,根据程序计算所得的粒级复相关系数和角度偏差可知(图3),当取2个端元时, R^2 已达到80%以上,且各端元之间的相关系数低于70%,可认为选择2个端元时拟合效果较好。因此本文选择2个粒度端元,结合其它沉积学指标对研究区气候环境进行反演。

7个样品的AMS¹⁴C测年工作由美国Beta实验室(Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory)完成,测年材料均为有机质泥(表1)。10个样品的光释光(OSL)年代测定工作在华东师范大学河口海岸学国家重点实验室完成,使用Risø-TL/OSL DA-20型全自动释光仪,并采用石英单片再生剂量法(SAR)进行测定^[33-34]。OSL样品中U、Th、K含量均在核工业北京地质研究院测定获得。宇宙射线对剂量率值的影响与样品所在位置的经纬度、海拔高度、埋藏深度和样品密度等有关,本文根据Precsott提供的相关方程计算获得^[35]。OSL样品的含水率根据样品实测含水率,并结合西辽河地区含水量研究成果校正后获得,并取不确定度为5%(表2)。将OSL样品的放射性元素含量、粒径、含水量、采样深度等参数输入DRACv1.2在线软件中获得样品的环境剂量率^[36]。

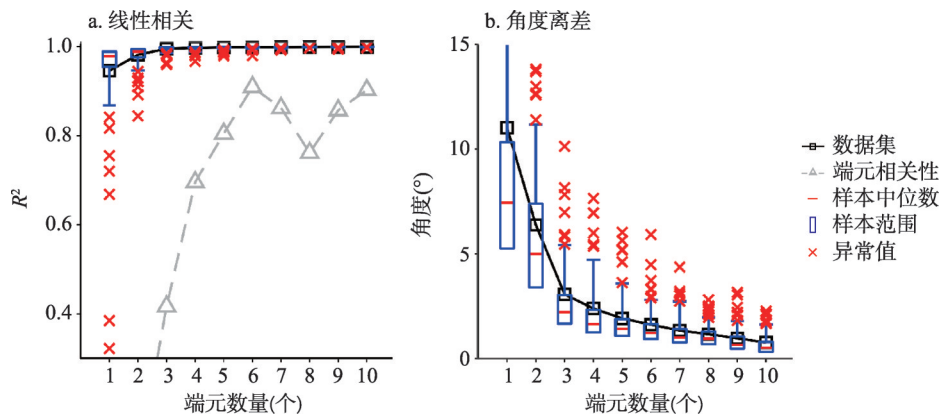


图3 端元划分的线性相关和角度离差

Fig. 3 Linear correlation and angular deviation of end members

表1 XLW剖面沉积物 AMS¹⁴C 测年结果
Tab. 1 Detailed AMS¹⁴C dating results of XLW profile

实验室编号	样品号	深度(cm)	测年材料	¹⁴ C 年龄(ka BP)	校正年龄 2σ(ka BP)
Beta-514288	XLW-105	105	有机质	2.43±0.03	2.72—2.43
Beta-514299	XLW-122	122	有机质	2.57±0.03	2.78—2.72
Beta-514289	XLW-194	194	有机质	2.82±0.03	3.08—2.92
Beta-514291	XLW-226	226	有机质	2.93±0.03	3.25—3.07
Beta-507776	XLW-258	258	有机质	2.99±0.03	3.35—3.17
Beta-507777	XLW-300	300	有机质	3.27±0.03	3.64—3.48
Beta-514290	XLW-336	336	有机质	3.70±0.03	4.24—4.07

表2 XLW剖面沉积物光释光测年结果
Tab. 2 OSL dating results of XLW profile

编号	样品号	深度(cm)	U(ppm)	Th(ppm)	K(%)	含水量(%)	环境剂量率(Gy/ka)	等效剂量(Gy)	年代(ka BP)
L663*	XLW-33	33	1.31	7.09	2.66	10	3.37 ± 0.16	24.46 ± 4.30	7.27 ± 1.33
L664*	XLW-63	63	1.18	9.31	2.48	10	3.30 ± 0.16	9.25 ± 1.44	2.81 ± 0.46
L665	XLW-90	90	1.39	8.15	2.34	10	3.12 ± 0.15	6.26 ± 0.44	2.00 ± 0.17
L666	XLW-156	156	1.60	13.00	2.44	10	3.55 ± 0.17	8.69 ± 0.30	2.45 ± 0.14
L667	XLW-193	193	1.85	9.25	2.43	10	3.35 ± 0.16	9.28 ± 0.54	2.77 ± 0.21
L668	XLW-288	288	1.33	6.76	3.05	10	3.63 ± 0.18	12.04 ± 0.38	3.32 ± 0.20
L670	XLW-342	342	2.05	8.92	2.46	10	3.37 ± 0.16	13.57 ± 0.38	4.03 ± 0.22
L671	XLW-375	375	2.01	7.49	2.41	10	3.22 ± 0.16	16.01 ± 1.26	4.97 ± 0.46
L672	XLW-415	415	1.72	9.05	2.50	10	3.33 ± 0.16	49.29 ± 6.10	14.78 ± 1.97
L673	XLW-430	430	1.54	9.42	2.74	10	3.54 ± 0.18	61.90 ± 6.31	17.51 ± 1.98

注：*未用于构建Bacon年代—深度模型。

4 结果与分析

4.1 年代序列

采用Bacon模型对已获得的7个AMS¹⁴C年代和10个OSL释光年代进行分析，排除异常数据，构建年代—深度曲线（图4）。结果表明，剖面年代下限为17.51 cal. ka BP，上限为2.0 cal. ka BP。其中，剖面底部2个OSL年龄偏差较老，且与上覆沉积物的接触面为明显的侵蚀面，可以认为在沉积过程中曾出现沉积间断，因此本文对剖面底部不做详细讨论。剖面390 cm以上（约5.0 cal. ka BP）沉积较为连续，在300~390 cm段，沉积速率约为0.747 mm/a，在剖面90~300 cm段，沉积速率约为1.684 mm/a。剖面顶部（30~90 cm）2个OSL样品年龄出现倒置，且显著偏老，考虑其可能受到人为翻动的影响，或在近现代较干旱气候条件下植被稀疏所导致的周围小山包较老沉积物被冲刷形成的坡积物堆积，因此未用于构建年代框架。基于XLW剖面的年代框架，本文重点分析中晚全新世以来研究区的沉积环境和古气候变化。

4.2 粒度分析

XLW剖面的粒度分析结果表明，除顶部160 cm以上及底部430~390 cm沉积物组分较粗外，大部分层位的沉积物粒度组分较为一致，存在一个主峰和一个次峰（图2）。剖面底部沉积物（390~435 cm，>5.07 cal. ka BP）平均粒径在60.7~133.7 μm之间，砂含量最大达到66.4%，粉砂次之，粘土含量最少，为细砂到中细砂；350~390 cm段（5.07—4.27 cal. ka BP）沉积物粒径波动较大，范围在29.9~60.7 μm之间；315~350 cm

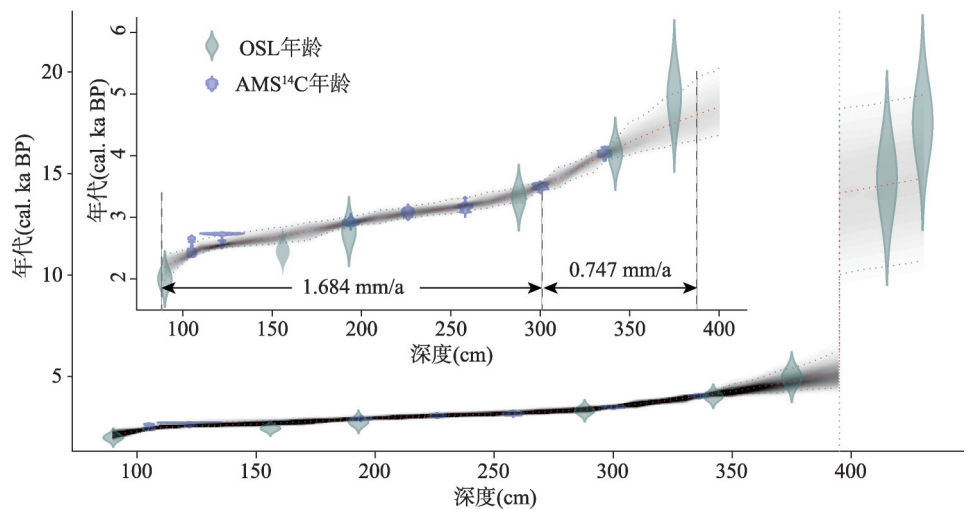
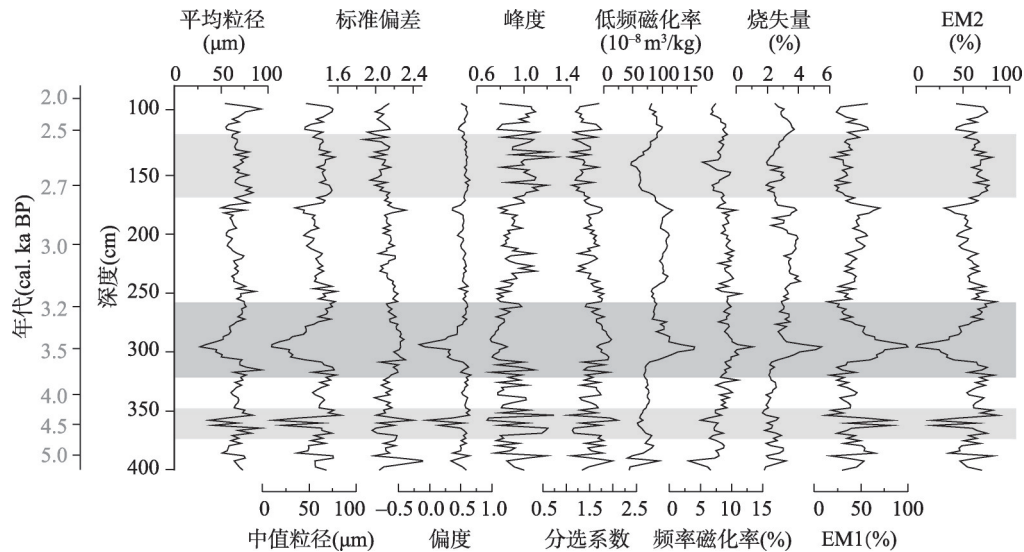


图4 XLW剖面基于Bacon程序的年代—深度模型
Fig. 4 Age depth model of XLW profile

段（4.27—3.71 cal. ka BP）沉积物平均粒径为48.5~74.8 μm ，粉砂含量最高，占35.1%~57.7%，砂含量略少于粉砂，占27.9%~53.4%，粘土含量最少，推断沉积物以砂质粉砂为主；272~315 cm段（3.71—3.27 cal. ka BP）沉积物平均粒径迅速减小并达到剖面谷值（22.0 μm ），平均粒径在22.0~74.6 μm 之间，以粉砂级颗粒为主，粘土含量有所增加，为粘土质粉砂；90~272 cm（3.27—2.13 cal. ka BP）沉积物粒径变化平稳，主要由灰黑色砂质粉砂组成（图5）。

对EMA粒度端元分析所得的2个端元作自然频率曲线（图6），结果表明EM1呈双峰模式，峰值粒径分别为8.15 μm 和57.77 μm ；EM2呈单峰模式，峰值粒径为76.43 μm 。2



注：深灰色条带对应暖湿期，浅灰色条带对应冷干期，图8同。

图5 XLW剖面粒度、磁化率、烧失量、EM1、EM2变化曲线

Fig. 5 Vertical changes of grain size, magnetic susceptibility, LOI, EM1 and EM2 of XLW profile

个端元随剖面深度的变化曲线表明,剖面底部315~390 cm段(5.07—3.71 cal. ka BP) EM1总体呈低值,范围在24.3%~82.7%之间;在272~315 cm(3.71—3.27 cal. ka BP) EM1达到剖面峰值,并在295 cm处(3.45 cal. ka BP)达到100%;177~272 cm段(3.27—2.82 cal. ka BP) EM1呈上升趋势,并在177 cm处出现高值(70.1%),此后快速下降;110~177 cm段(2.82—2.51 cal. ka BP) EM1出现低值(18.6%~70.1%)。EM2则呈现出与EM1相反的变化趋势。

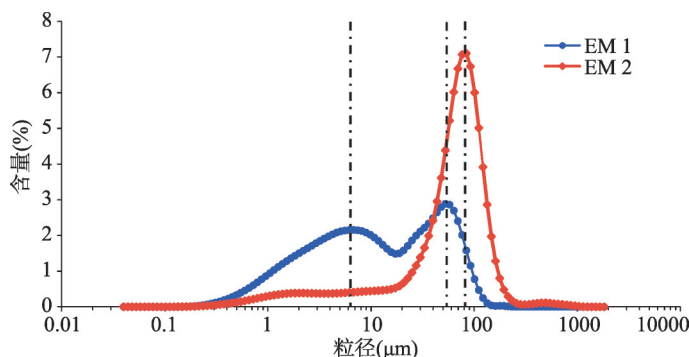


图6 XLW剖面端元粒度频率分布曲线

Fig. 6 Frequency distribution curves of EM1 and EM2 of XLW profile

4.3 磁化率分析

根据低频磁化率的变化趋势可以看出,在350~390 cm段(5.07—4.27 cal. ka BP)低频磁化率呈波动下降趋势(图5);272~350 cm段(4.27—3.27 cal. ka BP)低频磁化率明显增加,其中在272~315 cm段低频磁化率逐渐增大并达到整个剖面的最大峰值($155.17 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$);235~272 cm段(3.27—3.11 cal. ka BP)低频磁化率波动平稳;177~235 cm段(3.11—2.82 cal. ka BP)低频磁化率呈现较高值,范围在 $89.84 \sim 117.71 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 之间;此后在177~110 cm段(2.82—2.51 cal. ka BP)低频磁化率呈降低趋势,并在110~152 cm段(2.68—2.51 cal. ka BP)出现最低值($55.62 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$),之后逐渐恢复。频率磁化率与低频磁化率曲线的变化趋势具有良好的一致性,波动范围在1.64%~13.38%之间。在300~350 cm段(4.27—3.51 cal. ka BP)频率磁化率波动上升,并在295 cm左右(3.45 cal. ka BP)达到最大值,此后波动下降。140~162 cm段(2.73—2.64 cal. ka BP)频率磁化率出现较大波动,与低频磁化率的小幅上升所不同,该段频率磁化率变幅较大并出现高值(9.61%)。

4.4 烧失量分析

XLW剖面烧失量随深度的变化特征表现为:底部与顶部的烧失量相对较低,中部相对较高,其中烧失量最高值出现在295 cm(3.45 cal. ka BP, 5.48%),最低值出现在剖面底部(图5)。在350~390 cm(5.07—4.27 cal. ka BP)烧失量总体低于3%并存在持续波动;272~350 cm段(4.27—3.27 cal. ka BP)烧失量逐渐增加,并在295 cm达到剖面最大值;177~272 cm段(3.27—2.82 cal. ka BP)烧失量呈现小幅波动增加趋势,变化范围为2.24%~4.10%;此后出现波动下降,烧失量逐渐减小并在162 cm处(2.73 cal. ka BP)出现低值(2.04%);在100~140 cm段(2.64—2.32 cal. ka BP)烧失量平稳增加,峰值达到3.71%,此后逐渐下降。

5 讨论

5.1 各指标指示的气候环境意义

粒度组分是沉积物来源、搬运力和沉积环境综合作用的结果,它对于区域环境演变有着很好的指示意义。由于气候变化过程中沉积环境的波动,在不同阶段可能存在

不同的主导搬运营力, 因此可使用粒度端元模型对不同搬运和改造动力下的沉积物进行区分。结合沉积物粒度自然频率曲线与剖面岩性特征可知, 该剖面属于风成和流水沉积物组成的混合型沉积物^[37-38]。根据前文对两端元所作自然频率曲线可以发现, EM1 粒度分布包含悬移组分与跃移组分, 与典型河流相沉积物相似^[37], EM2 粒度区间窄, 分选性极好, 与研究区周边两大沙地(科尔沁沙地、浑善达克沙地)风成沉积物的粒度分布特征类似^[39], 但沉积物粒径较沙漠腹地沉积物更细, 可能与沉积物搬运距离有关。综上所述, 可以认为EM1代表了河流相沉积, EM2则代表了风成沉积。在气候变化的暖湿阶段, 流域降水丰富, 河流水量增加, 水动力增强使得河流携带的沉积物增多, 河流相沉积占主导; 在气候干冷阶段, 降水减少使得河流携带的沉积物减少, 而风沙活动强度增大导致风成沉积物增多。

磁化率高低受到沉积物粒度、母岩性质和成土作用的影响。通过对低频磁化率与沉积物粒径进行相关分析(图7), 可排除粒度效应对磁化率的影响。同时, 通过对研究区周边沙地(科尔沁沙地、浑善达克沙地)与黄土沉积物磁性特征研究发现, 周边风成沉积相磁化率通常低于 $60 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 明显低于该剖面磁化率均值^[27, 40-42]。因此剖面磁化率低值阶段可能对应着相对较多的风沙来源, 而高值对应着局地水流沉积物贡献。在气候的暖湿阶段, 区域植被盖度高, 风化成土作用强烈, 造成磁性矿物的相对富集, 使得磁化率上升; 反之, 在气候的冷干阶段, 磁化率降低。

沉积物的频率磁化率能够反映样品中超顺磁粒级($< 0.03 \mu\text{m}$)铁磁性矿物的含量, 而细粒铁磁性矿物的含量又与气候的暖湿程度与持续时间相关, 较高的暖湿度有助于超顺磁晶粒的形成, 且持续时间越长, 细粒铁磁性矿物形成越多。因此相较于低频磁化率, 频率磁化率更能捕捉到弱小的古气候波动, 且能反映出气候变化的渐变过程^[28, 43-44]。

烧失量能够比较稳定地反映沉积物中有机质的含量。通常在温暖湿润的气候条件下, 区域植被覆盖度高, 生物生产力较高, 促进更多的有机质生成, 同时在较强的水动力作用下, 更多有机质能被输运至河漫滩地区沉积, 导致烧失量呈高值, 反之, 则烧失量呈低值^[29, 45]。

5.2 西辽河流域中晚全新世气候环境演变

研究区地处东亚夏季风影响范围的北缘, 夏季风的强弱变化会影响季风雨带北进的范围, 进而对研究区的气候环境变化产生至关重要的影响。5.0—4.3 cal. ka BP期间, XLW剖面沉积物粒度组分以较粗颗粒、以及低频磁化率与LOI逐渐降低为特征, 表明磁性矿物与有机质含量减少, 生物初级生产力下降, 反映气候环境整体处于大暖期最强盛时期向较为冷干气候的过渡阶段, 夏季风逐渐减弱。4.3—3.7 cal. ka BP期间, 各指标波动较小且保持相对低值, 表明气候趋于冷干。自3.7 cal. ka BP后, 沉积物粒径减小, 低频磁化率与LOI快速上升, 表明该时期生物成壤作用强烈, 有机质明显增加, 气候温暖湿润, 降水较为丰富, 处于增温增湿阶段。沉积物粒度端元结果显示, 3.7—3.2 cal. ka BP期间, 沉积物以水成组分EM1占主导并达到峰值, 表明此时河流水动力最强, 气候最为湿润。结合频率磁化率的大幅增加可知, 在3.7—3.2 cal. ka BP期间气候条件处于快速增温增湿阶段。2.8 cal. ka BP以来, 低频磁化率与LOI较前期小幅降低, 表明该时期风化

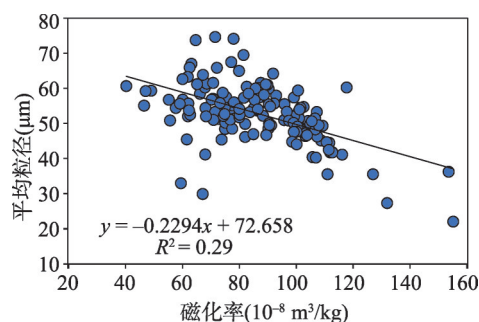


图7 磁化率与粒度相关性分析

Fig. 7 Correlation of sediment magnetic susceptibility with mean grain size

成壤作用减弱,生物初级生产力降低,相应的,指示风沙输入组分的EM2出现高值,指示该阶段风沙活动较前期增强,气候较为干旱且气候条件较前一阶段衰退。其中,在2.72—2.64 cal. ka BP阶段,频率磁化率快速上升并出现高值,可能记录了该时期一次短暂的气候突变现象,反映气候环境出现短暂的暖湿化,这一结论也在LOI变化趋势上得到印证。总体上,XLW剖面沉积物反映了研究区5000年以来气候趋冷干—回暖增湿—再趋冷干的变化特征^[46]。

前人对东北地区的孢粉研究结果表明^[26, 47-48],4.5 cal. ka BP前后喜暖植被逐渐被喜冷植被代替,反映了气候趋冷的特征,这可能与东北地区夏季风的减弱有关(图8e)。Guo等^[50]对东北沙漠地区沙丘的研究表明,约5.0—4.0 cal. ka BP时沙丘的固定性下降,流动性增加,同时沙漠地区的湖泊水位在6.0—4.0 cal. ka BP逐渐下降,在4.3 cal. ka BP时达到最低。这些现象都表明在这一时期东北地区经历了大范围的气候恶化过程。

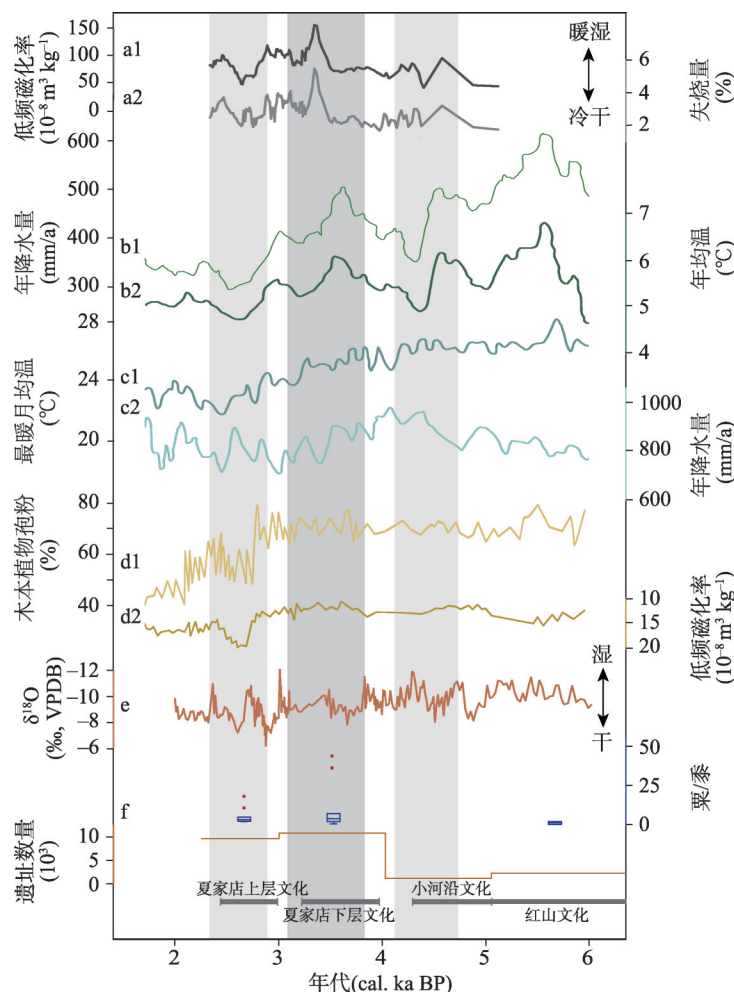
自4.0 cal. ka BP以来,在中国北方许多地区都出现了气候回暖现象。对岱海地区的研究表明,在4.0—3.5 cal. ka BP期间,该地区气候环境有所改善,处于暖湿环境^[48-49](图8b)。对比岱海地区气候曲线与本文结果可以发现,两者在气候变化趋势上具有良好的一致性,但在同步性上存在差异,岱海地区暖期峰值出现的时间较西辽河流域更早,这可能是受到指标对气候敏感性差异的影响。Stebich等^[50]根据四海龙湾玛珥湖孢粉重建气候的结果表明,在4.0 cal. ka BP出现了全新世降水量的最大值,气候条件最为湿润(图8c),但对比该地区气温降水变化过程与本文结果可知,该地区中全新世以来的气候环境波动较小,这可能与该地区自中全新世以来一直处于夏季风影响区有关,使得其对夏季风波动的敏感性较西辽河流域及岱海地区弱。

3.0 cal. ka BP以来北方地区草原植被出现扩张,木本植物则减少甚至消失,在大兴安岭地区出现了暖温带植被向寒温带植被的过渡^[6, 79]。Xiao等^[10]对达里湖的研究结果表明,在3.45 cal. ka BP后达里湖曾出现3次明显的低湖面(3.15—2.65 cal. ka BP、1.65—1.15 cal. ka BP、0.55—0.20 cal. ka BP),指示气候环境出现变干的趋势。与之相近的公海湖也在3.3 cal. ka BP后出现木本植物孢粉含量与磁化率的减小,并在2.7 cal. ka BP前后出现低值,指示东亚夏季风的快速衰退过程^[11, 52]。而该地区上述指标在5.0—3.0 cal. ka BP期间并未出现较大波动,与本文结果存在差异,这可能与这一时期夏季风的推进范围有关。

5.3 中晚全新世西辽河流域旱作农业与人类活动分布对气候环境演变的响应

已有研究表明,西辽河地区可能是中国旱作农业起源的重要区域^[58]。早在8.5 ka BP的小河西文化时期,先民已开始采集和驯化粟类植物作为粮食的来源^[57]。到红山文化时期(6.4—5.0 ka BP)耜耕农业达到顶峰,并出现了原始农业文化的第一次繁荣^[58]。但在全新世中晚期,由于气候条件的限制及牧业文化的传播,该地区开始出现畜牧业与农业交错盛行的景观。为探究西辽河流域农牧业演替,本文整理了典型遗址中粟黍作物比例、出土农具及动物骨骼数量与类型,以此作为判别生计模式及人类生活环境的依据。黍是由野生狗尾草驯化而成的作物,喜暖抗旱,在干旱的气候和贫瘠的土壤环境下,黍较粟或其它农作物更易栽培,因此其比例上升可能指示着气候的干旱化^[59-61]。在以农业为主导的生计模式下,出土的农具及炭化作物种子较畜牧业时期偏多,而马作为畜牧业的典型特征,其骨骼数量则较畜牧业时期偏少甚至消失。此外,本文整理了东北地区新石器至青铜时代遗址分布状况,以遗址数量反映人口数量^[62],探究该时期人类活动对气候环境的响应。

从XLW剖面恢复的古气候记录可知,红山文化晚期(5.0 cal. ka BP)正处于全新世



注: a1 为本文低频磁化率; a2 为本文烧失量; b1 为岱海地区孢粉拟合的年平均降水量; b2 为岱海地区孢粉拟合的年平均气温; c1 为四海龙湾玛珥湖最暖月平均温度, c2 为四海龙湾玛珥湖年平均降水量; d1 为公海湖木本植物孢粉; d2 为公海湖磁化率; e 为九仙洞 $\delta^{18}\text{O}$ [46]; f 为东北地区遗址数量与部分遗址出土粟黍比例。

图8 西辽河流域气候变化与其他区域气候变化对比

Fig. 8 Climate changes inferred from XLW profile versus other proxies from Northeast China

大暖期向冷干气候的过渡阶段, 其衰落可能与水热条件的恶化有关。该时期用于采集收割的农具的减少指示了农业比重的下降、耜耕农业鼎盛时期的结束以及生业模式的转变, 进入到以渔猎兼顾农业为生的小河沿文化时期^[63-64]。而由于这一转变难以支撑众多人口的生存, 就可能使得人类社会矛盾激增, 导致人口的相对减少和文化的更替^[65-66]。该时期西辽河流域北部受夏季风影响较小, 水热条件已不再适合农业的发展, 因此小河沿文化仅在南部地区保持低密度的聚落分布^[20, 26, 65], 且东北地区整体的聚落分布密度均有所减小, 范围较前期向南移动(图9a、9b)。

而在4.0 cal. ka BP后, 气候条件相对暖湿, 有利于当地旱作农业的再次发展, 可能促进了夏家店下层文化的繁荣发展。部分该时期遗址的考古记录显示, 农作物种子在出土碳化种子中所占比例极高, 且以粟作农业为主^[67-68](图8f), 同时, 在代表性遗址区均发现了贮存粮食的窖穴和大量猪骨^[69-70], 反映了该时期发达的农业活动和稳定的定居生活, 也为人口数量的增加奠定了基础。该时期文化分布的北界处于西辽河一线, 南界可

达燕山南麓山前地带,分布范围极广^[18, 71-73],且遗址数量已超过以往任何文化期(图8f、图9c),出现人口大爆发^[62, 65]。

但自2.8 cal. ka BP以来,XLW剖面的磁化率与LOI的低值表明该时期降水减少,气候逐渐转冷干,夏季风逐渐衰退。这一时期东北地区出现草原、草甸逐渐取代部分森林植被的现象。同时,夏家店下层文化时期大规模定居人口对土地和森林资源的需求增大,在一定程度上加剧了土地退化,使得粟黍等谷物种植难以为继,但却有利于畜牧业的发展。在部分夏家店上层文化遗址出土的器具和动物骨骼中,石锄、石铲及松土工具的比例下降甚至消失,而马的骨骼数量则大大增加^[21, 73-75],表明当时畜牧业比例增加,取代了部分农业。此外,在出土的炭化作物种子中粟的比例降低,转为以喜暖抗旱的黍为主的旱作农业^{[[59, 67, 76-77]]}(图8f)。与上一阶段相比,这一时期东北地区遗址数量有所减少,但由于此时人类生产力水平的提升以及对环境的适应能力增强,生业模式已不再是禁锢人口发展的重要因素,因此该阶段农牧业的演替并没有造成人口大规模的减少(图9d)。

总体上看,夏家店下层文化时期农业文化的繁荣发展以及人口的大爆发可能与这一时期转暖湿的气候环境有关,而夏家店上层文化时期的生业模式转变则对应了由于夏季风衰退引起的西辽河地区气候转冷干阶段,环境条件的恶化以及土地资源的退化可能是导致传统旱作农业无以为继的重要因素,促进了夏家店上层文化时期半农半牧的生业模式的发展。同时,人类为了适应环境的变化,也会对聚落分布区作出调整,使其生存环境适应生业模式的转变。

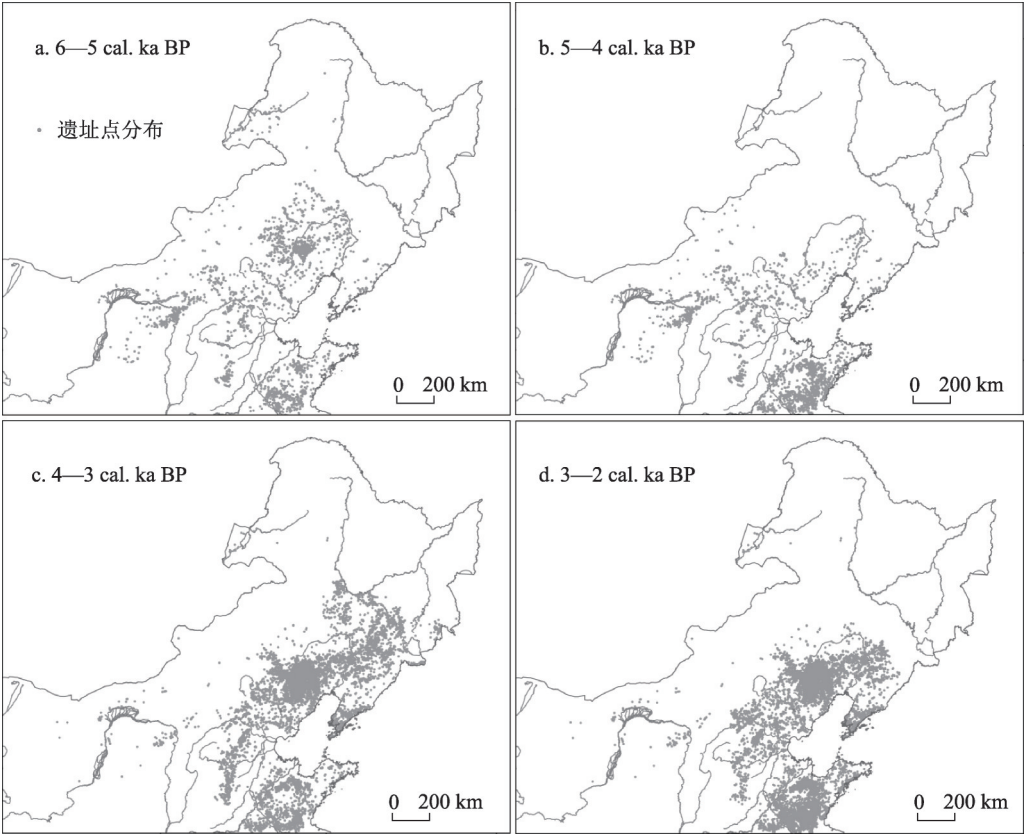


图9 中国东北地区新石器至青铜时代遗址时空分布图(数据来源于[62])
Fig. 9 Spatiotemporal distributions of archaeological sites in Northeast China from Neolithic to Bronze Age

6 结论

本文基于对西辽河流域兴隆洼(XLW)剖面高精度年代学与高分辨率气候代用指标的分析,重建了东北西辽河流域5.0 cal. ka BP以来的高分辨率气候环境演变过程,并探讨了其对该地区农牧业交替与古文化发展的影响,主要结论如下:

(1) XLW剖面粒度、EMA、磁化率和LOI分析结果表明,5.0 cal. ka BP以来西辽河流域经历了趋冷—转暖湿—冷干的气候波动过程,这与该地区东亚夏季风的强弱变化基本吻合,反映在中晚全新世研究区主要受东亚夏季风波动的控制。

(2) 与气候演变过程相对应,西辽河地区的文化演替也出现了衰退—兴盛—衰退的变化过程。5.0 cal. ka BP以来红山文化到小河沿文化时期的文化衰落过程与夏季风的衰退阶段相对应;3.7 cal. ka BP后气候条件的改善可能促进了夏家店下层文化时期旱作锄耕农业的发展,且聚落数量空前增加;2.8 cal. ka BP后随着气候趋于冷干,西辽河北部地区已不再适合单一旱作农业的发展,夏家店下层文化逐渐走向衰落,而代之以半农半牧的夏家店上层文化。

参考文献(References)

- [1] Chen F H, Welker F, Shen C C, et al. A late middle pleistocene denisovan mandible from the Tibetan Plateau. *Nature*, 2019, 569(7756): 409-412.
- [2] Zong Y Q, Chen Z Y, Innes J B, et al. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature*, 2007, 449(7161): 459-462.
- [3] Yao Tandong, Shi Yafeng, Qin Dahe, et al. Climate change records since the last interglacial period in the Guliya ice core. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 1997, 27(5): 447-452. [姚檀栋, 施雅风, 秦大河, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 1997, 27(5): 447-452.]
- [4] Bond G, Showers W, Cheseby M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, 278(5341): 1257-1266.
- [5] Sun Qianli, Zhou Jie, Shen Ji, et al. Environmental characteristics of the middle Holocene recorded in the Daihai Lake deposits in the northern environmental sensitive belt. *Science in China (Series D: Earth Science)*, 2006, 36(9): 838-849. [孙千里, 周杰, 沈吉, 等. 北方环境敏感带岱海湖泊沉积所记录的全新世中期环境特征. *中国科学. D辑: 地球科学*, 2006, 36(9): 838-849.]
- [6] Yang Shiling, Dong Xinxin, Xiao Jule. The East Asian Monsoon since the Last Glacial Maximum: Evidence from geological records in northern China. *Scientia Sinica: Terrae*, 2019, 49(8): 1169-1181. [杨石岭, 董欣欣, 肖举乐. 末次冰盛期以来东亚季风变化历史: 中国北方的地质记录. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(8): 1169-1181.]
- [7] Lu H Y, Yi S W, Xu Z W, et al. Chinese deserts and sand fields in Last Glacial Maximum and Holocene Optimum. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(23): 2775-2783.
- [8] Chen C T A, Lan H C, Lou J Y, et al. The dry Holocene megathermal in Inner Mongolia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, 193(2): 181-200.
- [9] Wen R L, Xiao J L, Fan J W, et al. Pollen evidence for a mid-Holocene East Asian summer monsoon maximum in northern China. *Quaternary Science Reviews*, 2017, 176: 29-35.
- [10] Xiao J L, Si B, Zhai D Y, et al. Hydrology of Dali Lake in central-eastern Inner Mongolia and Holocene East Asian monsoon variability. *Journal of Paleolimnology*, 2008, 40(1): 519-528.
- [11] Chen F H, Xu Q H, Chen J H, et al. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. *Scientific Reports*, 2015, 5: 11186. DOI: 10.1038/srep11186.
- [12] Zheng Y H, Pancost R D, Naafs B D A, et al. Transition from a warm and dry to a cold and wet climate in NE China across the Holocene. *Earth and Planetary Science Letters*, 2018, 493: 36-46.
- [13] Zhou W J, Yu X F, Jull A J T, et al. High-resolution evidence from southern China of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event during the past 18,000 years. *Quaternary Research*, 2004, 62(1): 39-48.
- [14] Liu Y H, Henderson G M, Hu C Y, et al. Links between the East Asian monsoon and North Atlantic climate during the 8200 year event. *Nature Geoscience*, 2013, 6(2): 117-120.

- [15] Donges J F, Donner R V, Marwan N, et al. Non-linear regime shifts in Holocene Asian monsoon variability: Potential impacts on cultural change and migratory patterns. *Climate of the Past*, 2015, 11(5): 709-741.
- [16] Suo Xiufen, Li Shaobing. The sequence and pattern of the archaeological cultures of the Neolithic age on the south and north sides of the Yanshan Mountain. *Acta Archaeologica Sinica*, 2014(3): 293-326. [索秀芬, 李少兵. 燕山南北地区新石器时代考古学文化序列和格局. *考古学报*, 2014(3): 293-326.]
- [17] Liu Guoxiang. Conspectus of the ancient culture from Neolithic Age to the Forepart of Bronze Age in Xiliaohe river area. *Journal of Liaoning Normal University*, 2006, 29(1): 113-122. [刘国祥. 西辽河流域新石器时代至早期青铜时代考古学文化概论. *辽宁师范大学学报*, 2006, 29(1): 113-122.]
- [18] Hu Jinming, Cui Haiting, Li Yiyin. Reconstruction of the evolution history of man-land system since the Holocene in the Xiliao River Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(5): 535-542. [胡金明, 崔海亭, 李宜垠. 西辽河流域全新世以来人地系统演变历史的重建. *地理科学*, 2002, 22(5): 535-542.]
- [19] Tang Zhuowei. Quantitative research on the development stage of man-land relationship from Paleolithic to Bronze Age in Southwestern China [D]. Changchun: Jilin University, 2004. [汤卓炜. 中国东北地区西南部旧石器时代至青铜时代人地关系发展阶段的量化研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004.]
- [20] Xia Zhengkai, Deng Hui, Wu Honglin. Geomorphologic background of the Prehistoric Cultural evolution in the Xar Moron river basin, Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(3): 329-336. [夏正楷, 邓辉, 武弘麟. 内蒙西拉木伦河流域考古文化演变的地貌背景分析. *地理学报*, 2000, 55(3): 329-336.]
- [21] Suo Xiufen. The change of economic forms of archaeological culture and its reasons in the agriculture-pastoral zone of Inner Mongolia. *Inner Mongolia Cultural Relics and Archaeology*, 2003(1): 62-68. [索秀芬. 内蒙古农牧交错带考古学文化经济形态转变及其原因. *内蒙古文物考古*, 2003(1): 62-68.]
- [22] Xu D K, Lu H Y, Chu G Q, et al. Synchronous 500-year oscillations of monsoon climate and human activity in Northeast Asia. *Nature Communications*, 2019, 10(1). DOI: 10.1038/s41467-019-12138-0.
- [23] Reference Room of Beijing Meteorological Center. 1951-1980 Data on Average Temperature Variability in China. Beijing: China Meteorological Press, 1983. [北京气象中心资料室. 1951—1980 中国平均气温变率资料. 北京: 气象出版社, 1983.]
- [24] Xu Qinghai, Yang Zhenjing, Cui Zhijiu, et al. A study on pollen analysis of qiguoshan section and ancestor living environment in Chifeng Area, Inner Mongol. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(4): 453-456. [许清海, 杨振京, 崔之久, 等. 赤峰地区孢粉分析与先人生活环境初探. *地理科学*, 2002, 22(4): 453-456.]
- [25] Tang Lingyu. Quaternary Spore and Pollen in China. Beijing: Science Press, 2016. [唐领余. 中国第四纪孢粉图鉴. 北京: 科学出版社, 2016.]
- [26] Xu Q H, Xiao J L, Li Y C, et al. Pollen-based quantitative reconstruction of Holocene climate changes in the Daihai Lake area, Inner Mongolia, China. *Journal of Climate*, 2010, 23(11): 2856-2868.
- [27] Zhao Shuang, Xia Dunsheng, Jin Heling, et al. High-resolution climate evolution record of the Horqin sandy land since about 5000 cal. a BP. *Quaternary Science*, 2013, 33(2): 283-292. [赵爽, 夏敦胜, 靳鹤龄, 等. 科尔沁沙地过去近 5000 年高分辨率气候演变. *第四纪研究*, 2013, 33(2): 283-292.]
- [28] Liu Xiuming, Liu Dongshen, Heller F, et al. Loess frequency susceptibility and paleoclimate cold/warm transformation. *Quaternary Sciences*, 1990(1): 42-50. [刘秀铭, 刘东生, Heller F, 等. 黄土频率磁化率与古气候冷暖变换. *第四纪研究*, 1990(1): 42-50.]
- [29] John B. A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *Journal of Paleolimnology*, 2004, 31(1): 125-127.
- [30] Weltje G J, Prins M A. Muddled or mixed? Inferring palaeoclimate from size distributions of deep-sea clastics. *Sedimentary Geology*, 2003, 162(1): 39-62.
- [31] Weltje G J. End-Member modeling of compositional data: Numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem. *Mathematical Geology*, 1997, 29(4): 503-549.
- [32] Paterson G A, Heslop D. New methods for unmixing sediment grain size data. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2015, 16(12): 4494-4506.
- [33] Murray A S, Wintle A G. The single aliquot regenerative dose protocol: Potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements*, 2003, 37(4): 377-381.
- [34] Murray A S, Wintle A G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 2000, 32(1): 57-73.
- [35] Prescott J R, Hutton J T. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*, 1994, 23(2-3): 497-500.

- [36] Durcan J A, King G E, Duller G A T. DRAC: Dose rate and age calculator for trapped charge dating. *Quaternary Geochronology*, 2015, 28: 54-61.
- [37] Sun Donghuai, An Zhisheng, Su Ruixia, et al. Mathematical methods for separation of grain size. Components in paleoenvironment and their applications. *Progress in Natural Science*, 2001, 11(3): 47-54. [孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分离的数学方法及其应用. *自然科学进展*, 2001, 11(3): 47-54.]
- [38] Jiang Zaixing. *Sedimentology*. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. [姜在兴. *沉积学*. 北京: 石油工业出版社, 2003.]
- [39] Yin Zhiqiang, Qin Xiaoguang, Wu Jinshui, et al. The multimodal grain size distribution characteristics of loess, desert, lake and river sediments in some areas of northern China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(2): 343-351. [殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究. *沉积学报*, 2009, 27(2): 343-351.]
- [40] Yang Lirong, Yue Leping. The environmental transformation from late last glacial to Holocene of Otindag sandyland. *Journal of Earth Environment*, 2011, 2(1): 301-306. [杨利荣, 岳乐平. 浑善达克沙地末次冰期晚期到全新世的环境转型. *地球环境学报*, 2011, 2(1): 301-306.]
- [41] Wang Xiaoping, Yue Leping, Xue Xiangxu. Environmental record of grain-size composition of Otindag sandy land since the Last Glaciation. *Arid Land Geography*, 2003, 26(3): 233-238. [王小平, 岳乐平, 薛祥煦. 末次冰期以来浑善达克沙地粒度组成的环境记录. *干旱区地理*, 2003, 26(3): 233-238.]
- [42] Zeng Lin, Lu Huayu, Yi Shuangwen, et al. Magnetostratigraphy of loess in northeastern China and paleoclimatic changes. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(27): 2267-2275. [曾琳, 鹿化煜, 弋双文, 等. 我国东北地区黄土堆积的磁性地层年代与古气候变化. *科学通报*, 2011, 56(27): 2267-2275.]
- [42] Liu Qingsong, Deng Chenglong. Magnetic susceptibility and its environmental significances. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(4): 1041-1048. [刘青松, 邓成龙. 磁化率及其环境意义. *地球物理学报*, 2009, 52(4): 1041-1048.]
- [43] Thompson R, Oldfield F. *Environmental Magnetism*. London: Allen and Unwin Press, 1986.
- [44] Boyle J. A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *Journal of Paleolimnology*, 2004, 31(1): 125-127.
- [45] Heiri O, Lotter A F, Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25(1): 101-110.
- [46] Cai Y J, Tan L C, Cheng H, et al. The variation of summer monsoon precipitation in central China since the Last Deglaciation. *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, 291(1): 21-31.
- [47] Xia Yumei. Spore and pollen records from peat deposits and the paleoenvironmental reconstruction in the Da Hinggan Ling and Xiao Hinggan Ling Mountains of Northeast China. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2000, 17(2): 218-227. [夏玉梅. 大小兴安岭泥炭的孢粉记录及演变过程研究. *微体古生物学报*, 2000, 17(2): 218-227.]
- [48] Jiang W Y, Leroy S A G, Ogle N, et al. Natural and anthropogenic forest fires recorded in the Holocene pollen record from a Jinchuan peat bog, northeastern China. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2008, 261(1/2): 47-57.
- [49] Guo L C, Xiong S F, Ding Z L, et al. Role of the mid-Holocene environmental transition in the decline of late Neolithic cultures in the deserts of NE China. *Quaternary Science Reviews*, 2018, 190: 98-113.
- [50] Stebich M, Rehfeld K, Schlutz F, et al. Holocene vegetation and climate dynamics of NE China based on the pollen record from Sihailongwan Maar Lake. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 124: 275-289.
- [51] Zhao Chao, Li Xiaoqiang, Zhou Xinying, et al. Holocene vegetation succession and responses to climate change in the northern sector of Northeast China. *Scientia Sinica: Terrae*, 2016, 46(6): 870-880. [赵超, 李小强, 周新郢, 等. 北大兴安岭地区全新世植被演替及气候响应. *中国科学: 地球科学*, 2016, 46(6): 870-880.]
- [52] Chen F H, Liu J B, Xu Q H, et al. Environmental magnetic studies of sediment cores from Gonghai Lake: Implications for monsoon evolution in North China during the Late Glacial and Holocene. *Journal of Paleolimnology*, 2013, 49(3): 447-464.
- [53] Zhao Zhijun. The process of origin of agriculture in China: Archaeological evidence from flotation results. *Quaternary Sciences*, 2014, 34(1): 73-84. [赵志军. 中国古代农业的形成过程: 浮选出土植物遗存证据. *第四纪研究*, 2014, 34(1): 73-84.]
- [54] Jones M K, Liu X Y. Archaeology: Origins of agriculture in East Asia. *Science*, 2009, 324(5928): 730-731.
- [55] Liu X Y, Hunt H V, Jones M K. River valleys and foothills: Changing archaeological perceptions of North China's

- earliest farms. *Antiquity*, 2009, 83(319): 82-95.
- [56] Lu Houyuan. New methods and progress in research on the origins and evolution of prehistoric agriculture in China. *Science China Earth Sciences*, 2018, 48(2): 181-199. [吕厚远. 中国史前农业起源演化研究新方法与新进展. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(2): 181-199.]
- [57] Ma Zhikun, Yang Xiaoyan, Zhang Chi, et al. Early millet use in West Liaohe Area during early-middle Holocene. *Scientia Sinica: Terrae*, 2016, 47(7): 918-925. [马志坤, 杨晓燕, 张弛, 等. 西辽河地区全新世早中期粟类植物利用. *中国科学: 地球科学*, 2016, 47(7): 918-925.]
- [58] Hu Jinming, Cui Haiting. Cultural landscape pattern during the early historic period in the West Liaohe River Basin. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 723-732, 804. [胡金明, 崔海亭. 西辽河流域历史早期的文化景观格局. *地理研究*, 2002, 21(6): 723-732, 804.]
- [59] Chen Wenhua. Origin and development of primitive agriculture in China. *Agricultural Archaeology*, 2005(1): 8-15. [陈文华. 中国原始农业的起源和发展. *农业考古*, 2005(1): 8-15.]
- [60] Lee G A, Crawford G W, Liu L, et al. Plants and people from the early Neolithic to Shang Periods in North China. *PNAS*, 2007, 104(3): 1087-1092.
- [61] Crawford G, Underhill A, Zhao Z J, et al. Late Neolithic plant remains from northern China: Preliminary results from Liangchengzhen, Shandong. *Current Anthropology*, 2005, 46(2): 309-317.
- [62] Hosner D, Wagner M, Tarasov P E, et al. Spatiotemporal distribution patterns of archaeological sites in China during the Neolithic and Bronze Age: An overview. *The Holocene*, 2016, 26(10): 1576-1593.
- [63] Liu L, Chen X C. *The Archaeology of China: From the Late Paleolithic to the Early Bronze Age*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
- [64] Liu L, Duncan N A, Chen X C, et al. Plant-based subsistence strategies and development of complex societies in Neolithic Northeast China: Evidence from grinding stones. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2016, 7: 247-261.
- [65] Wang C, Lu H Y, Zhang J P, et al. Prehistoric demographic fluctuations in China inferred from radiocarbon data and their linkage with climate change over the past 50,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 2014, 98: 45-59.
- [66] Weiss H, Bradley R S. What drives societal collapse? *Science*, 2001, 291(5504): 609-610.
- [67] Jia Xin, Sun Yonggang, Yang Jingang, et al. Flotation results and analysis of the Xiajiadian Cultural period in the upper West Liaohe region. *Agricultural Archaeology*, 2017(6): 33-39. [贾鑫, 孙永刚, 杨金刚, 等. 西辽河上游地区夏家店文化时期浮选结果与分析. *农业考古*, 2017(6): 33-39.]
- [68] Sun Yonggang. Studies on plant remains from Neolithic to early Bronze Age in the upper West Liaohe Area [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2014. [孙永刚. 西辽河上游地区新石器时代至早期青铜时代植物遗存研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2014.]
- [69] Liu Wei, Zhao Zhijun, Huo Dongfeng, et al. Analysis report on flotation results of Sanjiazhi Site in Kulun Banner, Inner Mongolia. *Agricultural Archaeology*, 2016(3): 7-13. [刘玮, 赵志军, 霍东峰, 等. 内蒙古库伦旗三家子遗址浮选结果分析报告. *农业考古*, 2016(3): 7-13.]
- [70] Song Rong, Chen Quanjia. A preliminary study of the prehistoric animal remains in Chifeng Area. *Inner Mongolia Cultural Relics and Archaeology*, 2004(2): 85-101. [宋蓉, 陈全家. 赤峰地区汉代以前动物遗存初探. *内蒙古文物考古*, 2004(2): 85-101.]
- [71] He Xianwu. On the social economy and social nature of the Lower Culture of Xiajiadian. *Journal of Liaoning University (Philosophy and Social Science Edition)*, 1986(2): 19-23. [何贤武. 试论夏家店下层文化的社会经济与社会性质. *辽宁大学学报(哲学社会科学版)*, 1986(2): 19-23.]
- [72] Li Gongdu, Gao Meixuan. Research on some problems of the Lower Culture of Xiajiadian. *Journal of Liaoning University (Philosophy and Social Science Edition)*, 1984, 12(5): 50-56. [李恭笃, 高美璇. 夏家店下层文化若干问题研究. *辽宁大学学报(哲学社会科学版)*, 1984, 12(5): 50-56.]
- [73] Deng Hui. Perspective on the natural environment of two opposing Bronze Cultures in Yanbei Area. *Journal of Peking University (Philosophy and Social Sciences)*, 1997, 34(2): 120-127. [邓辉. 燕北地区两种对立青铜文化的自然环境透视. *北京大学学报(哲学社会科学版)*, 1997, 34(2): 120-127.]
- [74] The Inner Mongolia Archaeological Team, Institute of Archaeology, Academia Sinica. Trial diggings at Yao-Wang-Miao and Hsia-Chia-Tien in Ch'ih-Feng. *Acta Archaeologica Sinica*, 1974(1): 111-144, 194-207. [中国科学院考古研究所内蒙古工作队. 赤峰药王庙、夏家店遗址试掘报告. *考古学报*, 1974(1): 111-144, 194-207.]
- [75] The Inner Mongolia Archaeological Team, IA, CASS. Excavations at Zhizhushan in Chifeng. *Acta Archaeologica*

- Sinica, 1979(2): 215-243, 279-282. [中国社会科学院考古研究所内蒙古工作队. 赤峰蜘蛛山遗址的发掘. 考古学报, 1979(2): 215-243, 279-282.]
- [76] Zhao Keliang, Li Xiaoqiang, Shang Xue, et al. Agricultural characteristics of middle-late Bronze Age in Western Liaoning Province. Chinese Bulletin of Botany, 2009, 44(6): 718-724. [赵克良, 李小强, 尚雪, 等. 青铜时代中晚期辽西地区农业活动特征. 植物学报, 2009, 44(6): 718-724.]
- [77] Zhang Shuai, Tian Huinong, Sun Yonggang. Analysis of flotation results of Aohan Reshuitang Site in Inner Mongolia. Agricultural Archaeology, 2016(6): 22-27. [张帅, 田惠农, 孙永刚. 内蒙古敖汉热水汤遗址浮选结果分析. 农业考古, 2016(6): 22-27.]

Mid-Late Holocene climate change and its impact on the agriculture-pastoralism evolution in the West Liaohe Basin

HE Jin¹, LIU Yan¹, TIAN Yanguo², WANG Ze², XIAO Xin³, JIANG Feng¹,
LIU Tao⁴, SUN Qianli¹, CHEN Jing¹, LI Maotian¹, CHEN Zhongyuan¹

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Inner Mongolia Prehistoric Culture Museum, Aohan Banner 024300, Inner Mongolia, China; 3. Shanghai Broadband Technology and Application Engineering Research Center, Shanghai 200436, China; 4. Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430000, China)

Abstract: Climate change plays a significant role in the evolution of human civilization. The West Liaohe Basin of northeast (NE) China, an area sensitive to monsoon climate change, has a prolonged history of agriculture-based civilizations, making it an ideal place to study human-landscape interactions in the Holocene. Here, analyses of multi-proxies were applied to a sediment profile (XLW) obtained near the Xinglongwa archaeological site, with a reliable chronology that covered mainly the past 5000 years. The result showed that from 5.0 to 3.7 cal. ka BP, the climate turned cooler/drier as indicated by the low magnetic susceptibility and loss on ignition (LOI), coeval with the decline of the East Asian summer monsoon (EASM). This change in climate condition coincided with the demise of agriculture-based Hongshan Culture, which was later replaced by the Xiaohuyan Culture featured by fishing and gathering livelihood. During this period, the number of Neolithic sites in NE China decreased, with a significant southward migration, possibly related to climate deterioration. After 3.7 cal. ka BP, high values of magnetic susceptibility and LOI indicated enhanced terrestrial input, which may result from the strengthening of EASM under a warming climate condition. This could have promoted the recovery of agriculture and boosted the development of the Lower Xiajiadian Culture, during which a demographic expansion was indicated by a significant increase in site numbers. After 2.8 cal. ka BP, a decreasing trend in magnetic susceptibility and LOI hinted the deterioration of EASM with a cool/dry setting, which might have caused a southward shift of settlements in the Upper Xiajiadian Culture when farming was partially replaced by pastoralism.

Keywords: Xiajiadian Culture; West Liaohe Basin; climate change; agriculture-pastoralism alternation; culture evolution