

4.2 ka BP气候恶化事件对汾河流域史前遗址 时空分布的影响及其社会响应

张洁琼¹, 田庆春^{1,2}, 张仲伍^{1,2}, 高江涛³

(1. 山西师范大学地理科学学院, 太原 030000; 2. 山西师范大学中华早期文明研究院, 太原 030000;
3. 中国社会科学院考古研究所, 北京 100710)

摘要: 基于ArcGIS软件运用核密度估计与最近邻指数等方法, 并结合气候变化的过程和特征, 探究4.2 ka BP气候恶化事件对汾河流域史前遗址时空分布的影响及其社会响应。研究发现: ① 4.2 ka BP气候恶化事件使汾河流域龙山文化衰落, 并对遗址的数量和分布产生显著影响。夏时期遗址数量锐减, 分布密度下降, 集聚程度减弱; 遗址重心北移, 与史料记载的“夏人北迁”相一致。同时为适应干凉气候, 古人选择向东南坡向迁移。异常洪水使汾河下游地区易受洪水泛滥影响, 人类生存受威胁。古人被迫向高海拔区域以及缓坡、中坡迁移。干凉的气候使生业模式由农业向农牧兼营转变。② 龙山时期的社会结构呈初期文明阶段, 家族制兴起, 阶级分化加剧。气候恶化制约生存空间承载力, 人口压力增大, 资源竞争加剧并诱发战争, 但也增强了部落内部凝聚力, 推动了城邑的兴起, 社会组织演变为雏形的国家形态。夏商时期城郭制发展, 开启都城建设新阶段。

关键词: 汾河流域; 史前遗址; 4.2 ka BP气候恶化事件; 时空分布; 影响; 社会响应

CSTR: 32071.14.dlyj.20250467 DOI: 10.11821/dlyj020250467

4.2 ka BP气候恶化事件是全新世中晚期的一次全球性气候突变事件^[1,2], 以东亚季风减弱、降水减少及温度波动下降为主要特征^[2-5], 对早期人类社会的聚落演化与生存策略产生了深远影响。这一事件与全球多个古文明(如两河流域阿卡德文明^[6]、尼罗河流域古埃及文明^[7]、印度河流域哈拉帕文明^[8]等)的衰落存在显著关联, 在中国内蒙古^[9]、甘肃^[10]、青海^[11,12]、山西^[13]、河南^[14]、山东^[15]等地都记录到此次气候恶化事件。结果表明: 气候恶化事件会影响史前遗址的分布, 导致文化的衰落甚至消失, 但客观上还会促进技术、制度等方面的发展。以上研究为解析区域人地关系提供了重要基础, 但受区域环境异质性影响, 遗址时空分布格局与环境演变过程的耦合机制存在显著空间分异特征^[16], 为厘清不同区域的人地耦合关系, 需要针对不同区域的遗址时空分布特征进行研究。

汾河流域地处中原-北方文化过渡带, 具有丰富的人文遗存, 如陶寺遗址、东许遗址、苇沟-北寿城遗址等, 构成文化交互廊道的关键地理标识, 该地区考古工作及研究成果的日益积累为本文研究提供了重要的数据基础及参考资料。然而, 目前针对汾河流域遗址分布的研究多局限于历史学、考古学以及单一气候驱动视角下的遗址分布规律分析, 缺乏对气候恶化背景下遗址分布的空间响应机制及其社会适应策略的耦合关系的系统性

收稿日期: 2025-04-24; 录用日期: 2025-09-30

基金项目: 教育部人文社会科学项目(23YJAZH135); 山西省哲学社会科学规划课题(2023YJ067); 山西省文物局科研课题项目(22-8-14-1400-119); 国家社会科学基金重大项目(22&ZD242)

作者简介: 张洁琼(2000-), 女, 山西汾阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境变化与环境考古。

E-mail: zjq1260684458@163.com

通讯作者: 田庆春(1982-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 副教授, 主要研究方向为环境变化与环境考古。

E-mail: tianqch2006@126.com

分析,尚须加强对该部分内容的研究。因此,本文基于现有考古资料,运用GIS软件对汾河流域龙山时期(4.5—4.0 ka BP)与夏时期(4.0—3.6 ka BP)遗址空间分布进行可视化呈现,并探讨4.2 ka BP气候恶化事件对史前遗址时空分布的影响及其社会响应,为揭示气候突变背景下的人地关系动态演变提供了独特窗口。

1 区域概况和研究方法

1.1 区域概况

汾河是山西省第一大河,亦是黄河第二大入注支流。汾河流域(35°20'N~39°00'N, 110°30'E~113°32'E)地处山西省腹部^[17](图1),干流连接太原、临汾和运城三大盆地,自北向南流经山西省忻州、太原、晋中、吕梁、临汾以及运城6个地级市30多个县(区),发源于宁武县东寨镇管涔山脉,在万荣县荣河镇庙前村汇入黄河,全长713 km,流域面积39,721 km²,约占全省总面积的四分之一^[18]。汾河流域东接太行山脉,西邻吕梁山脉,呈条带状分布于山西中南部,地形以盆地、山地为主,地势北高南低。该流域位于半干旱、半湿润气候过渡区,属温带大陆性季风气候,四季分明,年均温6.2~12.8℃。1月均温-9.7~-2.6℃,7月均温20.0~26.8℃,≥10℃积温范围为2,541.2~4,271.3℃。全年70%的降雨量集中在6—9月份^[9],全流域多年平均降雨504.8 mm。

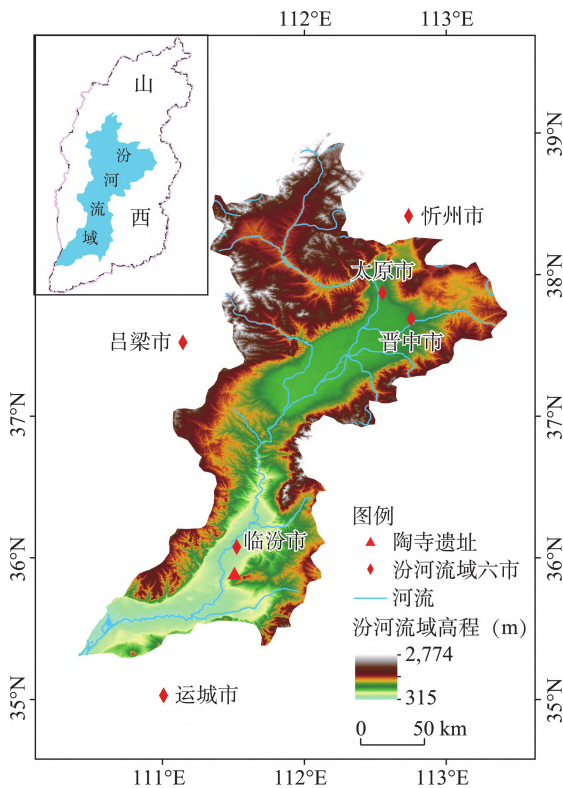


图1 汾河流域区位图

Fig. 1 Location of the Fenhe River Basin

1.2 数据来源

(1) 遗址数据:来源于第三次全国文物普查数据(山西省文物局提供)。

(2) 地形数据:来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)。

1.3 研究方法

(1) 核密度估计:量化遗址在空间分布的集聚程度^[20],描绘不同文化时期遗址

在地理分布上的分散与集中趋势,并有效揭示核心高密度区域对其周边地区的辐射效应。核密度值越高,分布就越集聚,反之越离散^[21]。计算公式如下:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: K 代表高斯核函数, $h > 0$ 表示预设半径, $x-x_i$ 是指点 x 到 x_i 的距离, n 是遗址数。

(2) 标准差椭圆:可视化点集空间分布特征^[22],从中心性、展布性、方向性、空间形态等角度反映要素地理分布的方向性偏离(集聚/分散)特性。扁率越大,方向越显著,反之越弱^[20, 23]。具体公式如下所示:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2)$$

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (3)$$

$$\tan\theta = \frac{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i)^2}}{2 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (4)$$

$$\sigma_x = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \cos\theta - \tilde{y}_i \sin\theta)^2}{n}} \quad \sigma_y = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i \sin\theta + \tilde{y}_i \cos\theta)^2}{n}} \quad (5)$$

式中: x_i 和 y_i 分别代表第 i 个遗址点的经度坐标和纬度坐标, \bar{X} 和 \bar{Y} 为遗址的平均中心, n 是遗址数; SDE_x 和 SDE_y 为 x 、 y 方向的标准差; $\tan\theta$ 为椭圆的方向角度; σ_x 和 σ_y 分别为沿 X 轴和 Y 轴的标准差; 以南北方向的坐标轴 X 轴为基准, 正北方为 0° , 按顺时针方向旋转, \tilde{x}_i 和 \tilde{y}_i 分别为平均中心和 XY 坐标轴的偏差, 进而确定椭圆长半轴和短半轴的长度。

(3) 最近邻指数: 对遗址进行空间集聚程度分析的方法^[20]。通过计算每个时期遗址点的 R 值, $R < 1$, 证明聚类分布; > 1 呈扩散趋势; $= 1$ 为随机分布。最近邻指数计算公式如公式(6)所示:

$$R = \frac{da}{de} = 2 \sqrt{\frac{n}{A}} da \quad (6)$$

式中: da 是邻近距离的平均值, de 代表期望距离, n 表示遗址数, A 是研究区域的面积。

2 史前遗址的时空分布特征

2.1 地貌特征参数

汾河流域龙山和夏时期遗址数分别为397处、249处。运用GIS, 将遗址点与高程、坡度等进行叠加分析, 精确提取遗址的地貌特征参数, 得出两个时期的遗址分布规律。

地形高程的划分参考李炳元等^[24]对中国陆地基本地貌的划分方案, 按高程划分为: 低海拔 $< 1,000$ m、中海拔 $1,000 \sim 2,000$ m。本研究区地形起伏度为 $0 \sim 220$ m, 根据数字地貌制图规范, 将研究区地形起伏度分为四类^[24-27], 即平原($0, 30]$ m、台地($30, 70]$ m、丘陵($70, 200]$ m)与小起伏山地($200, 220]$ m)。夏时期, 高程小于 500 m的遗址占比呈下降趋势, 下降了 12.94% , 而高程大于 500 m的遗址占比增加。低海拔平原的遗址占比从 70.78% 下降到 63.86% , 下降了 6.92% ; 中海拔平原的遗址占比增加, 表明遗址向高地迁移(图2)。

借鉴前人研究^[19]以及任永青^[28]的分级方法并结合研究区地貌特征, 对坡度进行分级: 平地($0^\circ, 3^\circ]$ 、缓坡($3^\circ, 7^\circ]$ 、中坡($7^\circ, 15^\circ]$ 和陡坡($> 15^\circ$) 4种类型。夏时期, 缓坡和中坡的遗址占比增加, 分别增加 3.72% 、 4.3% ; 平地 and 陡坡范围内的遗址分布略有减少, 分别减少 5.33% 、 2.69% 。光照条件对古人选址与布局有显著影响, 表现为: 平地享有最佳光照条件; ($90^\circ, 180^\circ]$ 和($180^\circ, 270^\circ]$ 的南向坡区域光照最好; 而北向坡向光照相对较差^[19]。夏时期, 北向坡(东北坡向NE与西北坡向NW)的遗址占比下降了 8.95% , 东南坡向SE($90^\circ, 180^\circ]$ 的遗址占比由 24.94% 变为 35.34% , 上升了 10.4% ; SW($180^\circ, 270^\circ]$ 西南坡向的遗址占比略有下降(图2c和2g), 但两时期南向坡的遗址占比之和均大于 50% , 说明南向坡仍是古人选择作为居住地的偏好坡向。

2.2 核密度估计

运用ArcGIS空间分析模块中的Density-kernel density工具, 对汾河流域两时期的遗址点进行核密度估计, 揭示遗址密度在空间上的连续变化, 并直观展示遗址密度的空间分布差异(图3)。

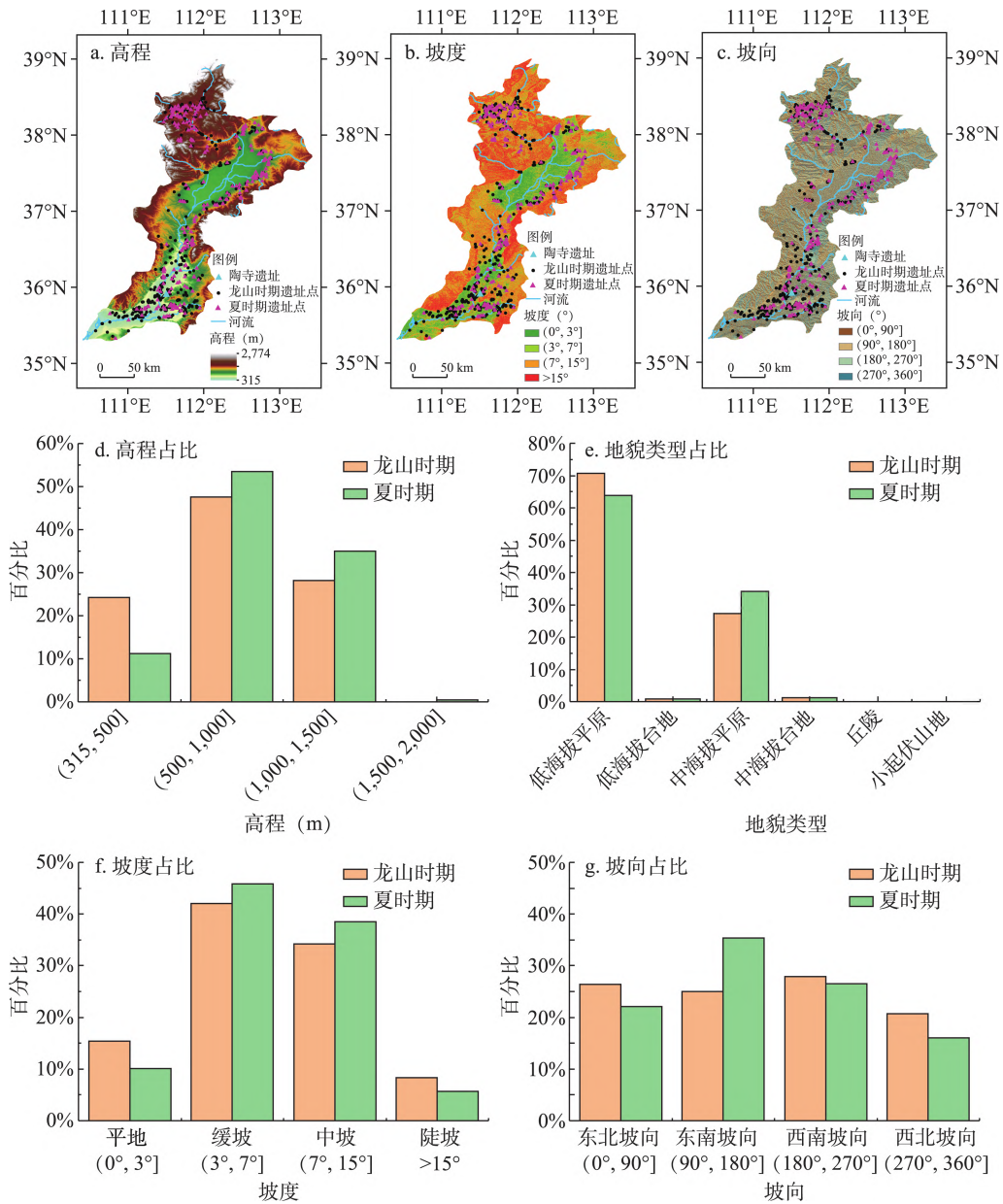


图2 汾河流域遗址分布地貌特征图

Fig. 2 Geomorphological feature map of distribution of sites in the Fenhe River Basin

注：图2a~2c分别为不同时期遗址在高程、坡度、坡向的分布图；图2d~2g分别为不同时期遗址在不同高程、地貌类型、坡度、坡向范围的占比柱状图

汾河流域两时期遗址点存在明显的空间分布差异 (图3)。龙山时期遗址点高度集中分布在以陶寺遗址为中心的汾河下游地区, 西北地区出现次集聚核心; 而夏时期遗址数量锐减, 分布等级明显下降, 集聚中心出现在西北海拔较高的山地地区, 以陶寺遗址为核心的下游地区集聚等级明显下降, 在流域东北部的山前洪积台地也形成一个集聚区域。

2.3 标准差椭圆分析

运用“标准差椭圆”深入剖析龙山至夏时期遗址的整体分布格局, 龙山与夏时期遗址

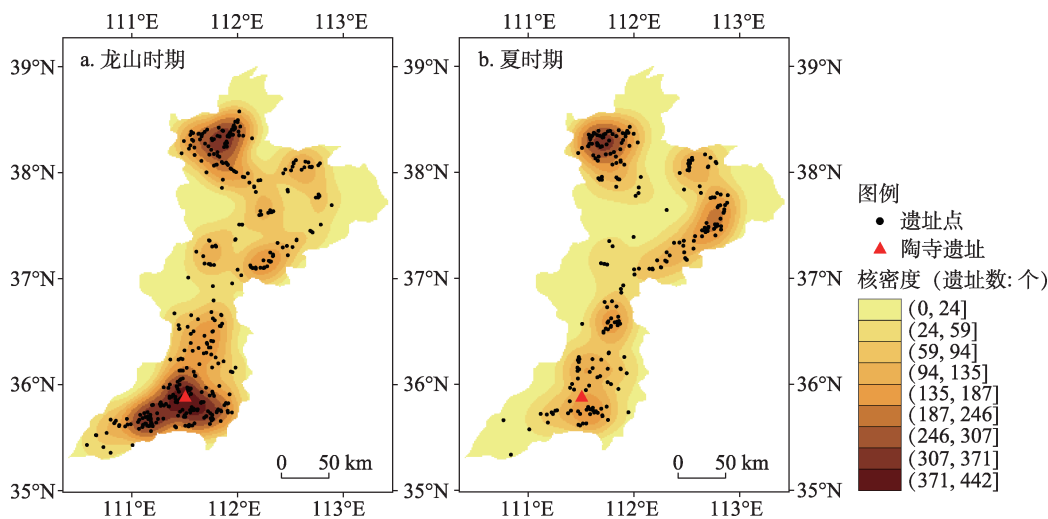


图3 汾河流域遗址分布核密度估计

Fig. 3 Kernel density estimation of distribution of sites in the Fenhe River Basin

注: 本文核密度分析等级区间的划分依据采用自然间断点分级法 (Jenks法); 默认带宽 (Silverman经验公式)。

的空间分布均呈NE-SW走向 (图4, 表1), 与汾河流向相吻合。夏时期标准差椭圆的扁率减小, 遗址分布的方向明确性和向心力程度有所降低。对比两时期椭圆重心, 夏时期明显向北偏移, 可能与夏时期汾河下游遗址数量骤减有关。

2.4 最近邻指数分析

经计算两文化时期遗址点R值均小于1 (表2), 表明两时期遗址在空间上均呈高度聚类分布; Z值均小于0, 结果都通过显著性水平0.01的检验, P值为0, 排除了随机分布的可能性。此外, 平均观测距离可以较为明显地反映遗址疏密程度, 龙山时期与夏时期的平均观测距离分别为2,626.830 m、3,602.140 m, 增加了975.31 m。夏时期遗址数量锐减, 使遗址点的整体距离分布更稀疏。同时, 龙山时期的临界值Z值为-20.409, 比夏时期的临界值Z小, 说明该时期遗址点分布更集中, 同样是夏时期遗址数量减少使集聚程度相对减弱的表现。

3 讨论

3.1 4.2 ka BP气候恶化事件对遗址分布的影响

古人对聚落选址的要求反映了他们对于自然环境的认识和利用, 以及自然环境对人类的反作用^[9]。人类赖以生存

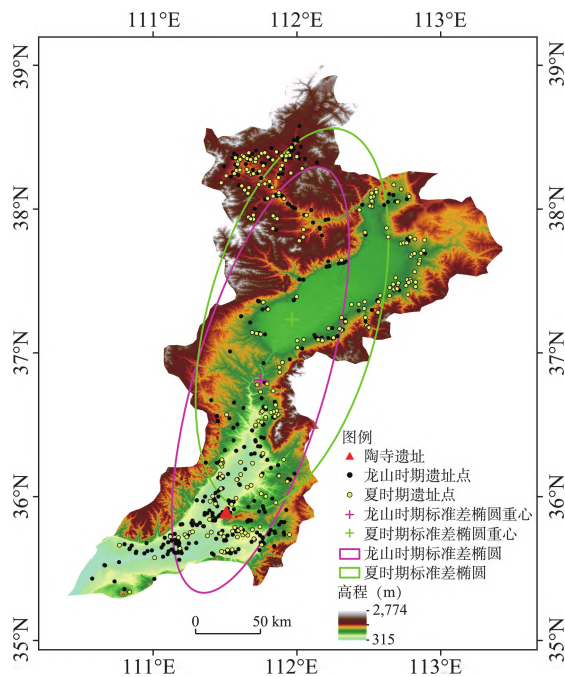


图4 汾河流域遗址分布标准差椭圆

Fig. 4 Standard deviational ellipse of distribution of sites in the Fenhe River Basin

注: 本文标准差椭圆的椭圆置信度基于1倍标准差倍数, 置信度为68%。

表1 汾河流域遗址分布标准差椭圆

Tab. 1 Standard deviational ellipse of distribution of sites in the Fenhe River Basin

文化时期	中心点坐标	分布方向	移动方向	移动距离 (km)	方向角度 (°)	椭圆扁率
龙山时期	111.747° E, 36.812° N	NE-SW	—	—	16.398	0.703
夏时期	111.966° E, 37.232° N	NE-SW	东北	50.653	14.771	0.566

表2 汾河流域遗址分布最近邻指数

Tab. 2 Nearest neighbor index of distribution of sites in the Fenhe River Basin

文化时期	平均观测距离 (m)	预测平均距离 (m)	最近邻指数 R	Z	P
龙山时期	2,626.830	5,654.348	0.465	-20.409	0.000
夏时期	3,602.140	6,935.408	0.519	-14.509	0.000

的环境会受到气候变化的影响,从而影响人类活动,也会使社会经济等发生不同程度的变化。因此探究气候与古文化遗址分布之间的关系成为环境考古的研究热点之一^[29]。

为深入探究汾河流域全新世人类活动的气候背景,选取了北方地区几个代表性的气候记录(图5)进行综合分析:达里湖^[30]、岱海^[31]、公海^[32]及呼伦湖^[31]等地重建的降水记录以及华北区域集成降水量^[33],均显示出龙山时期(4.5—4.0 ka BP)到夏时期(4.0—3.6 ka BP)降水量呈下降趋势,在4.2—4.0 ka BP出现明显的低值;同时,气温距平值^[34]及累积气温距平值^[35]也同步降低,表明该时期气候整体转向冷干。气候转冷变干可能与此时太阳辐射减弱导致的东亚夏季风强度减弱有关^[4, 36-38]。莲花洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值^[39]也表现出逐渐偏重的趋势;黄土高原西峰剖面黄土沉积平均粒径^[40]逐渐变粗,两者均在4.2—4.0 ka BP左右达到明显高值。进一步证实了龙山到夏时期东亚夏季风的强度呈减弱趋势,冬季风增强,并于4.2 ka BP出现一次明显的弱夏季风事件。除此之外在这一时段,全球大部分地区都记录到东亚夏季风减弱并南撤,气候普遍转冷变干^[5, 41],该时期气候处于失稳状态,为气候突变期,降水变率增大^[42, 43],同时伴随极端降温与流域性洪水等自然灾害^[4, 44]。冷干气候下洪水事件的诱发机制可能与以下几方面有关:夏季风在冷干背景下总体南撤、

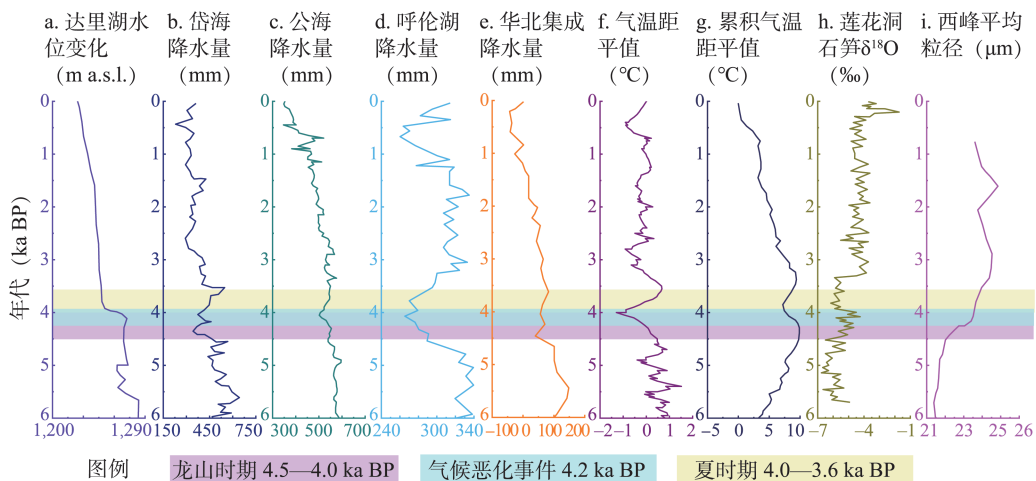


图5 不同指标记录的气候变化

Fig. 5 Climate change recorded by different indicators

注: a. 达里湖水位变化^[30]; b. 岱海降水量^[31]; c. 公海降水量^[32]; d. 呼伦湖降水量^[31]; e. 华北区域集成降水量^[33]; f. 气温距平值^[34]; g. 累积气温距平值^[35]; h. 莲花洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录^[39]; i. 西峰平均粒径^[40]

强度减弱,但在某些时期可能短暂北返,与冷空气交汇,形成短时强降雨进而引发洪水^[45];冷干化导致植被退化、土壤保水能力降低,暴雨时地表径流迅速增加,洪水易发性增强^[46];此外,冷干气候下大气环流不稳定性加剧,异常且强烈的环流配置可能在局部地区引发短时、高强度暴雨,加剧洪水风险^[47]。

龙山时期温暖湿润的气候条件(图5),加之农业与制造技术的提升,具体表现为石制农具的革新,如占据主导地位的石铲、石刀、石耜、犁状石器^[48]等,这些发现标志着农业生产迈入犁耕新阶段。同时农作物种类丰富,包括黍、粟、水稻、大豆和小麦^[49]五种作物,共同促进了农业生产力的提升。在此背景下,人类活动强度显著增加,直接体现为遗址数量的增多与分布范围的扩大。龙山时期遗址397处,其中不乏大型遗址(据统计,龙山时期最大遗址面积超过300 hm²)。为充分利用丰富的水资源和肥沃的土地,古人在聚落选址上偏好临河分布(图2a),河流两岸地势低平的地区遗址点丰富,特别是在汾河下游的低海拔地区遗址分布最为集中,形成了一个高度集聚中心(图3a)。然而4.2 ka BP气候恶化事件使全球范围内普遍出现了文化的衰退以及更迭,闽江流域昙石山文化衰落并造成文化更迭^[28];太湖地区良渚文明衰亡,并形成文化断档^[50]。同时期印度河、尼罗河流域^[8, 51]由于长期持续的干旱事件,无法维持古人的基本生活需求,致使文明日渐衰落。汾河流域龙山晚期气候转冷干(图5),使龙山文化向夏文化过渡。夏时期249处遗址,遗址数量锐减,原本集约化的遗址分布趋向分散(表2),分布密度迅速下降(图3)。作为对环境变化的响应,古人类选址发生了变化。夏时期,北向坡向的遗址占比减少;东南坡向SE因其日照充足、背风避寒的特性,可以有效缓解干冷化导致的农业干旱胁迫,适宜居住以及从事农业活动,使遗址占比明显增加(图2c、2g);而西南坡向SW遗址占比略有减少(图2g),可能是由于冬季风增强,受西北风的影响,导致该坡向土壤水分蒸发加剧、霜冻风险上升,因此西南坡向虽偏南但不适宜居住^[52]。同时解剖发现陶寺中期外郭城北墙的部分夯土地基曾经被洪水摧毁^[53],且晋南地区的周家庄也留存古洪水遗迹^[54]。异常洪水事件使下游地区洪水风险骤增,威胁到古人的生存,农业生产受到冲击,使得古人不得不重新审视聚落的选址。图2a与图3可以看出夏时期汾河下游地区遗址数量明显减少,重心北移(图4及表1)。为躲避洪水,史前人类选择在海拔较高的区域生活,高程大于500 m的遗址占比增加(图2d);低海拔平原的遗址占比下降,中海拔平原的遗址占比增加(图2e),东北山前洪积台地遗址数量增多(图3)。平地的遗址占比下降(图2f);缓坡和中坡的遗址占比增加可能是由于坡度较大利于洪水的排泄;而陡坡建设难度大,且面临山体滑坡等自然灾害的概率大^[52],不利于古人生存,遗址占比略有减少(图2f)。4.2 ka BP气候恶化事件的影响在山西省其他地区也有体现,例如气候恶化事件使晋北地区遗址的集聚中心呈现向南扩散的趋势^[55];滹沱河流域的黍/粟产量比率由0.76(5.0—4.0 ka BP)变为1.16(4.0—3.0 ka BP),其比例上升可能指示气候的干旱化,促使先民基于黍耐旱的特性而扩大种植比例^[56],以适应环境的变化。晋南地区同样受到气候恶化的影响,遗址数量明显下降^[42, 57],聚类模式由集聚转向分散^[20]。

3.2 4.2 ka BP气候恶化事件对生业模式的影响

龙山时期主要依赖于粟黍种植业与家猪饲养业^[58],其中家猪和家犬作为肉食的主要来源,牛、羊则多用于二次产品(如毛、奶)^[59]及畜力开发^[60],而鹿作为野生肉食资源的利用频率相对较低^[61]。因此,牛、羊和鹿可能并非该时期先民主要的肉食来源^[58]。随着生产力的显著提升与青铜时代的到来,夏时期金属冶炼技术、耒耜及农田水利的发展^[62],增强了古人环境适应力和社会韧性。然而4.2 ka BP气候环境的整体恶化,使生业模式发生变化。根据运城夏县裴介镇辕村遗址考古资料^[63]显示,夏时期猪骨比例占全部

动物总数的30%，羊和牛占30%，兔和狗各占10%，马鹿、鼠、狍和梅花鹿各占5%，考古学者认为当时人们已经把牛和羊等家畜饲养作为肉食生活的主要来源^[63]，说明这一时期畜牧业在古人生产生活中占据了较大的比例，生业模式转向农牧兼营。韩茂莉^[64]也认为夏商时期干冷的环境促使该区域生业模式逐渐转向畜牧业与游牧农业。同一时期，晋南地区也因气候条件不适宜原始农业，使生业模式发生变化，畜牧业与游牧农业开始形成^[20]；西辽河地区的生业模式也转向了低环境需求的牧业活动^[65]。

3.3 4.2 ka BP气候恶化事件对社会文化结构的影响及响应

龙山文化时期人类社会进入初期文明阶段^[66]，城郭制开始萌芽并逐步成型^[67]。至其中后期，家族制兴起并逐步替代氏族制，私有化程度加剧，城邦制盛行。龙山晚期社会财富向少数部落显贵集中，政治权力中心逐渐形成^[68]，聚落规模与阶级分化尤为明显^[66]，涌现出一批面积超过300 hm²的大型聚落，比如：陶寺遗址、东许遗址等。其中，陶寺遗址作为史前功能最完备且具备王都规模的大型都城，拥有功能分区清晰的城垣、宫殿、祭祀区及等级鲜明的墓地^[69]。其中期城址经扩建后形成包含大城与小城的双重结构，其中小城在东南部集中建造宫殿区与观象祭祀区^[68]，这一布局既继承早期人口规模又强化政治文化功能，折射出社会组织结构的成熟化进程，使之在陶寺遗址附近形成高度集聚中心（图3a）。陶寺遗址的宫殿建筑格局、高等级墓葬与观象祭祀区，可能暗示了权力核心对资源的垄断与对社会事务的全面掌控。4.2 ka BP降温干旱事件以及东亚夏季风的整体衰退，导致汾河流域龙山文化逐渐衰落，陶寺古城也遭废弃^[53, 70]，以陶寺遗址为中心的区域，核密度等级明显下降（图3b）。气候恶化压缩了农业生产与生存空间，文化中心也从晋南地区转向了南部的洛阳盆地。尽管生产技术得以发展，但原始旱作农业仍受限于粗放型生产工具与耕作方式，且未形成灌溉系统，延续刀耕火种的撂荒模式，使农作物产量低下，加之先民向更适宜居住的地方迁移，使人口压力增加^[2]，加剧古人对有限资源的争夺，激化了人与自然（特别是土地和自然资源）之间的矛盾与冲突。然而缓和这种矛盾的手段之一可能就是攻城掠地，即通过兼并邻近区域以攫取劳动力与耕地资源^[2]，而这在一定程度上也使地理防御的需求增强^[71]。如陕西省神木市高家堡镇石峁城址^[72, 73]、内蒙古自治区清水河县的后城咀石城址^[74, 75]、山西省襄汾县陶寺城址^[76, 77]等史前城址，均筑有高大宽厚的石墙、城墙，反映出当时社会面临军事威胁。暴力行为的直接考古证据包括部分中小型墓葬存在有砍砸痕迹的^[78]、被肢解的和零乱的人骨架^[79]、甚至发现空墓现象^[80]以及非正常死亡的乱葬坑^[81]、也有作为兵器的石器、骨器等遗物^[81, 82]，共同指向资源竞争引发的系统性集团间暴力冲突。汾河流域受环境恶化影响，争夺资源和领地的现象明显加剧。根据史料记载：殷的压迫迫使夏人北迁，成为匈奴（游牧部落）的远祖之一^[20, 83]，遗址重心随之北移（图4）。战争促使不同群体的社会成员为了生存和共同利益而团结起来共同抵御外敌，形成了一种共同的社会认同和价值观，激发了民族凝聚力。正如彼得·图尔钦在《超级社会》^[84]这本书中所说：战争迫使社会群体强化内部协作以应对外部威胁，进而驱动社会凝聚力结构性增强。此类暴力竞争客观上加强了各部族的凝聚力和合作能力，推动生产力的快速发展与文化的交融创新，并促使社会的治理模式进一步得到优化。这些积极的变化有效增强了人们对逆向环境的适应能力，为城邑的兴起^[71]创造了有利条件。宗教祭祀的发展以及战争的推动，使权贵家族的家族长权力不断强化，逐渐将神权、军事权和族权集于一身，王权由此萌生^[81]。同时社会分工^[85]和阶层分化^[81]的出现，这需要更强的社会凝聚力来维持社会秩序，社会组织由原来的部落或部落联盟演变成为雏形的国家形态^[81]。国家形态的出现又进一步强化了凝聚力，国家通过宗教与意识形态等工具，将部落成员的“集体认同”转化为“国家认同”，巩固统治基础。在洛阳盆地催生出中国首个具有政治职能的王朝——夏。二里头遗址被认为是夏的

都城,且在晋南分设三个辅助性的政治中心^[86],形成早期国家管理体系。同时这一时期见证了私有制基础上的家族制向世袭制演变,确立了“家天下”的政治传统。夏商时期,城郭制初步发展^[67],大型城邑取代龙山时期的城邦,开启中国早期都城建设新阶段。

4 结论

4.2 ka BP气候恶化事件作为全新世中晚期的关键环境突变节点,深刻影响了汾河流域史前聚落的时空分布格局与社会响应策略。气候胁迫并非单向导致文化衰落,而是影响到生业模式,社会制度等一系列变化,推动社会复杂化进程。研究结论如下。

(1) 4.2 ka BP之前,气候暖湿,龙山文化呈正向发展,4.2 ka BP气候恶化事件使气候凉干化,同时伴随异常洪水事件,这一变化导致龙山文化衰落,并向夏文化过渡。遗址数量从龙山时期的397处减少为夏时期的249处,遗址分布密度明显下降,集聚程度相对减弱,在西北地区形成集聚中心;遗址重心北移,与史料记载的“夏人北迁”相一致。为适应干凉的气候并获取更多光照条件,古人选择向东南坡向迁移。异常洪水使汾河下游地区易受洪水泛滥影响,人类生存受威胁。为躲避洪水,夏时期古人选址向高海拔区域以及缓坡、中坡迁移。干凉的气候使生业模式由农业向农牧兼营转变。

(2) 社会文化结构方面:龙山时期社会初入文明阶段,后期家族制兴起、阶级分化明显。龙山晚期气候恶化显著制约农业生产与生存空间承载力,迫使人口迁移,人口压力增大,激化人与自然的矛盾冲突,诱使战争发生。虽然冲突与战争增加,但也客观上增强了部族凝聚力与合作能力,激发社会各阶层创新与适应多变环境的能力,推动了城邑的兴起,社会组织由原来的部落或部落联盟演变为雏形的国家形态。夏商时期城郭制发展,大型城邑取代龙山时期的城邦,开启早期都城建设新阶段。

以上分析都是以现有考古资料为基础,由于现有考古资料因地区调查力度不均,可能导致部分遗址未被发现或遭受自然侵蚀。随着地球物理勘探、卫星遥感等新技术的广泛应用,以及¹⁴C测年精度的持续提升和古气候重建分辨率的显著提高,未来对于气候环境变化与古文化演化二者的关系将会有更清晰、更准确的认识。

致谢: 真诚感谢两位匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力,评审专家对本文研究方法与公式的选择、行文逻辑,语言表达等方面的修改意见与建议,使本文获益匪浅。

参考文献 (References)

- [1] 彭亚君,孙千里,陈静,等. 中国4.0 ka BP前后气候的空间分布特征及其对史前文明变迁的影响. 地质论评, 2013, 59(2): 248-266. [Peng Yajun, Sun Qianli, Chen Jing, et al. Spatial characteristics of climate around 4.0 ka BP and its impacts on the evolution of prehistoric civilization in China. Geological Review, 2013, 59(2): 248-266.]
- [2] 吴文祥,刘东生. 4,000 a B.P. 前后降温事件与中华文明的诞生. 第四纪研究, 2001, 21(5): 443-451. [Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. 4,000 a B.P. event and its implications for the origin of ancient Chinese civilization. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 443-451.]
- [3] Nan Q, Chen S Q, Liu X K, et al. The 4.2 ka event in the Northern Hemisphere: Spatial heterogeneity and driving mechanisms of hydroclimatic change. Earth-Science Reviews, 2025, 265: 105128.
- [4] 吴文祥,刘东生. 4,000 a B.P. 前后东亚季风变迁与中原周围地区新石器文化的衰落. 第四纪研究, 2004, 24(3): 278-284. [Wu Wenxiang, Liu Tungsheng. Variations in East Asia monsoon around 4,000 a B.P. and the collapse of Neolithic cultures around central plain. Quaternary Sciences, 2004, 24(3): 278-284.]
- [5] 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.

- [6] Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W, et al. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science*, 1993, 261(5124): 995-1004.
- [7] Manzanilla L. The impact of climatic change on past civilizations. A revisionist agenda for further investigation. *Quaternary International*, 1997, 43: 153-159.
- [8] Staubwasser M, Sirocko F, Grootes P M, et al. Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(8): 1425-1429.
- [9] 方修琦, 孙宁. 降温事件: 4.3 ka BP岱海老虎山文化中断的可能原因. *人文地理*, 1998, 13(1): 75-80. [Fang Xiuqi, Sun Ning. Cold event: A possible cause of the interruption of the Laohushan culture. *Human Geography*, 1998, 13(1): 75-80.]
- [10] 安成邦, 冯兆东, 唐领余, 等. 甘肃中部4,000年前环境变化与古文化变迁. *地理学报*, 2003, 58(5): 743-748. [An Chengbang, Feng Zhaodong, Tang Lingyu, et al. Environmental changes and cultural transition at 4 cal. ka BP in central Gansu. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 743-748.]
- [11] 侯光良, 刘峰贵, 萧凌波, 等. 青海东部高庙盆地史前文化聚落演变与气候变化. *地理学报*, 2008, 63(1): 34-40. [Hou Guangliang, Liu Fenggui, Xiao Lingbo, et al. The transmutation of settlements of prehistoric cultures in eastern Qinghai caused by climate change. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 34-40.]
- [12] 杜婧, 鲁瑞洁, 刘小楝, 等. 青海湖湖东沙地全新世风成沉积物磁化率特征及其环境意义. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(2): 175-184. [Du Jing, Lu Ruijie, Liu Xiaokang, et al. Magnetic susceptibility of aeolian sediments deposited since Holocene in the East of Qinghai Lake and its environmental implications. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(2): 175-184.]
- [13] 刘海霞. 山西省4.0 ka BP前后聚落遗址分布的环境驱动. 太原: 山西大学硕士学位论文, 2016: 1-59. [Liu Haixia. Settlement Sites Distribution Forced by Environment around 4.0 ka BP in Shanxi Province, China. Taiyuan: Master Dissertation of Shanxi University, 2016: 1-59.]
- [14] 李中轩, 吴国玺, 孙艳丽, 等. 4.2—3.5 ka B.P. 嵩山南麓的史前社会对逆向环境的适应. *山地学报*, 2018, 36(6): 833-843. [Li Zhongxuan, Wu Guoxi, Sun Yanli, et al. The adaptation of prehistoric society of 4.2-3.5 ka B.P. to the environment stress in the southern Songshan Mountain, China. *Mountain Research*, 2018, 36(6): 833-843.]
- [15] 郭媛媛, 莫多闻, 毛龙江, 等. 山东北部地区聚落遗址时空分布与环境演变的关系. *地理学报*, 2013, 68(4): 559-570. [Guo Yuanyuan, Mo Duowen, Mao Longjiang, et al. The relationship between settlements distribution and environmental changes from the Neolithic to Shang-Zhou periods in north Shandong Province. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(4): 559-570.]
- [16] 吴文祥, 郑洪波, 侯梅, 等. 5.5 cal ka BP气候事件、人口增长、条件限制与中国史前复杂社会产生. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(2): 138-151. [Wu Wenxiang, Zheng Hongbo, Hou Mei, et al. The 5.5 cal ka BP climate event, population growth, circumscription and the emergence of the earliest complex societies in China. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2018, 48(2): 138-151.]
- [17] 刘海龙, 王改艳, 张鹏航, 等. 汾河流域新型城镇化与生态韧性耦合协调时空演变及协调影响力研究. *自然资源学报*, 2024, 39(3): 640-667. [Liu Hailong, Wang Gaiyan, Zhang Penghang, et al. Spatio-temporal evolution and coordination influence of coupling coordination between new urbanization and ecological resilience in Fenhe River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2024, 39(3): 640-667.]
- [18] 贾彩红. 汾河流域的生态保护与修复路径分析. *中国资源综合利用*, 2024, 42(5): 189-191. [Jia Caihong. Analysis of ecological protection and restoration pathways in the Fenhe River Basin. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2024, 42(5): 189-191.]
- [19] 王昕梅. 汾河流域新石器文化演化与中全新世气候变化的关系. 南昌: 江西师范大学硕士学位论文, 2019: 5, 13, 16, 18. [Wang Xinmei. Relationship between Neolithic Cultural Evolution and Climate Change in Fenhe River Basin during Middle Holocene. Nanchang: Master Dissertation of Jiangxi Normal University, 2019: 5, 13, 16, 18.]
- [20] 田敏, 田庆春, 尹佳男, 等. 晋南地区全新世中期遗址时空分布与气候演化的关系. *海洋地质与第四纪地质*, 2023, 43(3): 175-184. [Tian Min, Tian Qingchun, Yin Jianan, et al. Relationship between temporal-spatial distribution of Mid-Holocene sites and climate evolution in southern Shanxi. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2023, 43(3): 175-184.]
- [21] 林芳由, 王张华, 宓欣芸, 等. 中—晚全新世姚江河谷平原古文化遗址分布变化及动因的GIS分析. *上海国土资源*, 2023, 44(4): 43-53. [Lin Fangyou, Wang Zhanghua, Mi Xinyun, et al. GIS analysis on the distribution and causes of ancient cultural sites in the middle to late Holocene Yaojiang River valley plain. *Shanghai Land & Resources*, 2023, 44(4): 43-53.]
- [22] 张海鹏, 刘维明, 赵慧敏, 等. 四川省旧石器—青铜器时期遗址空间分布及其影响因素. *海洋地质与第四纪地质*,

- 2025, 45(1): 188-198. [Zhang Haipeng, Liu Weiming, Zhao Huimin, et al. The Paleolithic-Bronze age sites in Sichuan Province: Distribution and influencing factors. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2025, 45(1): 188-198.]
- [23] 韩静, 芮阳, 杨坤, 等. 基于地理探测器和GWR模型的中国重点镇布局定量归因. *地理科学进展*, 2020, 39(10): 1687-1697. [Han Jing, Rui Yang, Yang Kun, et al. Quantitative attribution of national key town layout based on geodetector and the geographically weighted regression model. *Progress in Geography*, 2020, 39(10): 1687-1697.]
- [24] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨. *第四纪研究*, 2008, 28(4): 535-543. [Li Bingyuan, Pan Baotian, Han Jiafu. Basic terrestrial geomorphological types in China and their circumscriptions. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(4): 535-543.]
- [25] 周成虎, 程维明, 钱金凯. 数字地貌遥感解析与制图. 北京: 科学出版社, 2009: 19. [Zhou Chenghu, Cheng Weiming, Qian Jinkai. *Digital Geomorphological Interpretation and Mapping from Remote Sensing*. Beijing: Science Press, 2009: 19.]
- [26] 韩海辉, 高婷, 易欢, 等. 基于变点分析法提取地势起伏度: 以青藏高原为例. *地理科学*, 2012, 32(1): 101-104. [Han Haihui, Gao Ting, Yi Huan, et al. Extraction of relief amplitude based on change point method: A case study on the Tibetan Plateau. *Geographical Science*, 2012, 32(1): 101-104.]
- [27] 苏立彬, 郭永刚, 吴悦, 等. 基于DEM的尼洋河流域地貌形态分析. *中国水土保持科学*, 2020, 18(3): 12-21. [Su Libin, Guo Yonggang, Wu Yue, et al. Analysis of geomorphology of Niyang River Basin based on digital elevation model. *Science of Soil and Water Conservation*, 2020, 18(3): 12-21.]
- [28] 任永青, 靳建辉, 左昕昕, 等. 闽江流域史前聚落遗址时空分布特征及其环境影响因素. *地球环境学报*, 2021, 12(1): 68-83. [Ren Yongqing, Jin Jianhui, Zuo Xinxin, et al. Spatial and temporal distribution of prehistoric settlement sites in Minjiang River Basin and their relationship with environmental factors. *Journal of Earth Environment*, 2021, 12(1): 68-83.]
- [29] 刘博, 张虎勤. 汾河流域新石器时代遗址人地关系特征因素研究. *西安文理学院学报(自然科学版)*, 2005, 8(2): 10-15. [Liu Bo, Zhang Huqin. Study of the man-land relationship feature elements of the Neolithic sites in the Chan River. *Journal of Xi'an University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2005, 8(2): 10-15.]
- [30] 张志平. 中国北方达里湖沉积记录的末次冰消期以来东亚夏季风变化研究. 兰州: 兰州大学博士学位论文, 2022: 82. [Zhang Zhiping. Variations of the East Asian Summer Monsoon since the Last Deglaciation Recorded by Dali Lake in Northern China. Lanzhou: Doctoral Dissertation of Lanzhou University, 2022: 82.]
- [31] 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.
- [32] Chen S Q, Liu J B, Xie C L, et al. Evolution of integrated lake status since the last deglaciation: A high-resolution sedimentary record from Lake Gonghai, Shanxi, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2018, 496: 175-182.
- [33] Li J Y, Yan H, Dodson J, et al. Regional-scale precipitation anomalies in northern China during the Holocene and possible impact on prehistoric demographic changes. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(22): 12477-12486.
- [34] 方修琦, 侯光良. 中国全新世气温序列的集成重建. *地理科学*, 2011, 31(4): 385-393. [Fang Xiuqi, Hou Guangliang. Synthetically reconstructed Holocene temperature change in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(4): 385-393.]
- [35] 侯光良, 方修琦. 中国全新世气温变化特征. *地理科学进展*, 2011, 30(9): 1075-1080. [Hou Guangliang, Fang Xiuqi. Characteristics of Holocene temperature change in China. *Progress in Geography*, 2011, 30(9): 1075-1080.]
- [36] Wang Y B, Liu X Q, Herzschuh U. Asynchronous evolution of the Indian and East Asian Summer Monsoon indicated by Holocene moisture patterns in monsoonal central Asia. *Earth-Science Reviews*, 2010, 103(3/4): 135-153.
- [37] 韩鹏, 刘兴起. 内蒙古中东部查干淖尔湖流域7,000年以来的气候演变. *第四纪研究*, 2017, 37(6): 1381-1390. [Han Peng, Liu Xingqi. The climate evolution inferred from Chagan-Nuur in middle-east part of Inner Mongolia since the last 7,000 years. *Quaternary Sciences*, 2017, 37(6): 1381-1390.]
- [38] 刘子亭, 杨小平, 朱秉启. 巴丹吉林沙漠全新世环境记录的年代校正与古气候重建. *第四纪研究*, 2010, 30(5): 925-933. [Liu Ziting, Yang Xiaoping, Zhu Bingqi. Reinterpretation of the chronological data of palaeo-environmental records in the Badain Jaran desert and reconstruction of the Holocene climatic changes. *Quaternary Sciences*, 2010, 30(5): 925-933.]
- [39] Cosford J, Qing H R, Eglinton B, et al. East Asian monsoon variability since the Mid-Holocene recorded in a high-resolution, absolute-dated aragonite speleothem from Eastern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 275(3/4): 296-307.
- [40] Sun Y B, Wang X L, Liu Q S, et al. Impacts of post-depositional processes on rapid monsoon signals recorded by the last

- glacial loess deposits of northern China. *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, 289(1/2): 171-179.
- [41] Shao X H, Wang Y J, Cheng H, et al. Long-term trend and abrupt events of the Holocene Asian monsoon inferred from a stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ record from Shennongjia in Central China. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(2): 221-228.
- [42] Su Y M, Zhang Y Y, Zhai Q M, et al. Prehistoric archaeological site changes and their causes with paleofloods in Southern Shanxi Province, China. *Quaternary Science Reviews*, 2025, 351: 109182.
- [43] 周婷婷. 关中地区仰韶至商周时期聚落分布变迁及其驱动力分析. 西安: 陕西师范大学硕士学位论文, 2022: 30. [Zhou Tingting. Changes in the Distribution of Settlements in the Central Guanzhong Region during the Yangshao to Shang and Zhou Periods and Its Driving Force Analysis. Xi'an: Master Dissertation of Shaanxi Normal University, 2022: 30.]
- [44] 靳桂云, 刘东生. 华北北部中全新世降温气候事件与古文化变迁. *科学通报*, 2001, 46(20): 1725-1730. [Jin Guiyun, Liu Tungsheng. The middle Holocene cooling climate event and the changes of ancient culture in northern North China. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(20): 1725-1730.]
- [45] 白益军, 张平中, 高涛, 等. 亚洲夏季风5,400 a BP极端减弱事件与文化演变. *中国科学: 地球科学*, 2017, 47(5): 554-566. [Bai Yijun, Zhang Pingzhong, Gao Tao, et al. The 5,400 a BP extreme weakening event of the Asian summer monsoon and cultural evolution. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2017, 47(5): 554-566.]
- [46] Wang Z K, Chen W, Piao J L, et al. Synergistic effects of high atmospheric and soil dryness on record-breaking decreases in vegetation productivity over Southwest China in 2023. *npj Climate and Atmospheric Science*, 2025, 8: 6.
- [47] Qian C, Ye Y B, Zhang W X, et al. Heavy rainfall event in mid-August 2020 in southwestern China: Contribution of anthropogenic forcings and atmospheric circulation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2022, 103(3): S111-S117.
- [48] 庞小霞, 高江涛. 中原地区文明化进程中农业经济考察. *农业考古*, 2006(4): 1-13, 26. [Pang Xiaoxia, Gao Jiangtao. Investigation on agricultural economy in the process of civilization in Central Plains. *Agricultural Archaeology*, 2006(4): 1-13, 26.]
- [49] 赵志军, 何弩. 陶寺城址2002年度浮选结果及分析. *考古*, 2006(5): 77-86, 104, 2. [Zhao Zhijun, He Nu. Floatation results from the remains excavated on the Taosi city-site in 2002 and their analysis. *Archaeology*, 2006(5): 77-86, 104, 2.]
- [50] 彭亚君. 太湖地区4.0 ka BP前后气候变化及对良渚文明衰落的影响. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 2013: 1. [Peng Yajun. Characteristics of Climate around 4.0 ka BP and Its Impacts on the Collapse of Liangzhu Civilization in the Taihu Lake Region. Shanghai: Master Dissertation of East China Normal University, 2013: 1.]
- [51] Weiss H, Bradley R S. What drives societal collapse? *Science*, 2001, 291(5504): 609-610.
- [52] 杜心宇, 胡希军, 金晓玲, 等. 洞庭湖区新石器时期聚落遗址时空分布与自然环境的关系. *经济地理*, 2021, 41(8): 167-176. [Du Xinyu, Hu Xijun, Jin Xiaoling, et al. Relationship between spatio-temporal distribution and its natural environment of Neolithic settlement sites in Dongting Lake area. *Economic Geography*, 2021, 41(8): 167-176.]
- [53] 何弩. 陶寺遗址的水资源利用和水控制. *故宫博物院院刊*, 2019(11): 85-98, 111. [He Nu. On the water utilization and control at Taosi townsit. *Palace Museum Journal*, 2019(11): 85-98, 111.]
- [54] 张俊娜, 夏正楷. 中原地区4 ka BP前后异常洪水事件的沉积证据. *地理学报*, 2011, 66(5): 685-697. [Zhang Junna, Xia Zhengkai. Deposition evidences of the 4 ka BP flood events in Central China Plains. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 685-697.]
- [55] 李莲, 田庆春, 郭磊, 等. 晋北地区全新世中期遗址时空分布与气候演化的关系. *自然杂志*, 2025, 47(2): 139-146. [Li Lian, Tian Qingchun, Guo Lei, et al. Relationship between spatial and temporal distribution and climatic evolution of Middle Holocene sites in northern Shanxi region. *Chinese Journal of Nature*, 2025, 47(2): 139-146.]
- [56] 黎海明, 崔一付, JAMES Nathaniel, 等. 中国中北部地区黄土高原东部新石器晚期-青铜时代不同地貌单元农业发展模式的时空变化. *中国科学: 地球科学*, 2022, 52(6): 1038-1053. [Li Haiming, Cui Yifu, Nathaniel JAMES, et al. Spatiotemporal variation of agricultural patterns in different geomorphologic and climatic environments in the eastern Loess Plateau, north-central China during the late Neolithic and Bronze Ages. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2022, 52(6): 1038-1053.]
- [57] 李拓宇, 莫多闻, 胡珂, 等. 晋南地区仰韶至东周时期人地关系研究. *古地理学报*, 2014, 16(6): 955-962. [Li Tuoyu, Mo Duowen, Hu Ke, et al. Study on man-land relationship from the Yangshao cultural period to the Eastern Zhou Dynasty in southern Shanxi Province. *Journal of Palaeogeography*, 2014, 16(6): 955-962.]
- [58] 杨柳红, 姬凌飞, 裴静蓉, 等. 山西太原盆地龙山文化时期的生业经济: 以阳曲县西殿南遗址人和动物骨骼的C、N稳定同位素分析为例. *第四纪研究*, 2023, 43(1): 212-226. [Yang Liuhong, Ji Lingfei, Pei Jingrong, et al. The subsistence

- patterns of Taiyuan basin during the Longshan culture period by carbon and nitrogen stable isotopes analysis of human and animal bones from Xidiannan site, Yangqu County, Shanxi, China. *Quaternary Sciences*, 2023, 43(1): 212-226.]
- [59] Sherratt A. The secondary exploitation of animals in the Old World. *World Archaeology*, 1983, 15(1): 90-104.
- [60] 戴玲玲, 李志鹏, 胡耀武, 等. 新砦遗址出土羊的死亡年龄及畜产品开发策略. *考古*, 2014(1): 94-103. [Dai Lingling, Li Zhipeng, Hu Yaowu, et al. The kill-off pattern of the caprids and the animal resource utilization strategy of Xinzhai site. *Archaeology*, 2014(1): 94-103.]
- [61] Dai L L, Li Z P, Zhao C Q, et al. An isotopic perspective on animal husbandry at the Xinzhai site during the initial stage of the legendary Xia dynasty (2070-1600 BC). *International Journal of Osteoarchaeology*, 2016, 26(5): 885-896.
- [62] 胡泽学. 三晋地区夏商西周春秋时期的农具. *当代农机*, 2011(4): 64-65. [Hu Zexue. Agricultural tools in Xia, Shang, Western Zhou, Spring and Autumn period in Sanjin area. *Contemporary Farm Machinery*, 2011(4): 64-65.]
- [63] 王月前, 洪梅, 戴向明. 山西夏县辕村遗址发掘简报. *考古*, 2009(11): 3-25, 97-101, 115. [Wang Yueqian, Hong Mei, Dai Xiangming. Excavation of the Yuancun site in Xia County, Shanxi. *Archaeology*, 2009(11): 3-25, 97-101, 115.]
- [64] 韩茂莉. 中国北方农牧交错带的形成与气候变迁. *考古*, 2005(10): 57-67, 2. [Han Maoli. Formation of the interlocking belt of agriculture and husbandry and climatic change in ancient North China. *Archaeology*, 2005(10): 57-67, 2.]
- [65] 王琳, 武虹, 贾鑫. 西辽河地区史前聚落的时空演变与生业模式和气候历史的相关性研究. *地球科学进展*, 2016, 31(11): 1159-1171. [Wang Lin, Wu Hong, Jia Xin. Study on the temporal-spatial evolution of prehistoric settlements and its correlation with subsistence strategy and climate history in the western Liao River area. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(11): 1159-1171.]
- [66] 许俊杰, 莫多闻, 王辉, 等. 河南新密溱水流域全新世人类文化演化的环境背景研究. *第四纪研究*, 2013, 33(5): 954-964. [Xu Junjie, Mo Duowen, Wang Hui, et al. Preliminary research of environment archaeology in Zhenshui river, Xinmi city, Henan. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(5): 954-964.]
- [67] 张国硕, 王琼. 史前夏商城址城郭之制分析. *中原文物*, 2014(6): 12-16, 53. [Zhang Guoshuo, Wang Qiong. Analysis on the prehistoric city sites and outer and inner city sites in the Xia and Shang dynasties. *Cultural Relics of Central China*, 2014(6): 12-16, 53.]
- [68] 杜勇. 从陶寺文化看尧舜部落联合体的性质. *中华文化论坛*, 2009(3): 5-10. [Du Yong. To view the nature of the tribe union of Yao and Shun from Taosi culture. *Journal of Chinese Culture*, 2009(3): 5-10.]
- [69] 何弩. 制度文明: 陶寺文化对中国文明的贡献. *南方文物*, 2020(3): 22-46. [He Nu. Institutional civilization: The contribution of Taosi culture to Chinese civilization. *Cultural Relics in Southern China*, 2020(3): 22-46.]
- [70] 程平山. 论陶寺古城的发展阶段与性质. *江汉考古*, 2005(3): 48-53. [Cheng Pingshan. Discussion on developing stages and characteristics of the old Taosi city. *Jiangnan Archaeology*, 2005(3): 48-53.]
- [71] 魏兴涛. 中原龙山城址的年代与兴废原因探讨. *华夏考古*, 2010(1): 49-60. [Wei Xingtao. On the date of Longshan cities in the central Plains and the factors of their fall and abandon. *Huaxia Archaeology*, 2010(1): 49-60.]
- [72] 何弩. 石峁皇城台与美索不达米亚“塔庙”对比分析. *南方文物*, 2020(1): 9-16. [He Nu. Comparison between the Huangchengtai monuments at Shimao City and the ziggurats in Mesopotamia. *Cultural Relics in Southern China*, 2020(1): 9-16.]
- [73] 吕卓民. 石峁古城: 人类早期文明发展与环境选择. *中国历史地理理论丛*, 2016, 31(3): 63-68, 139. [Lü Zhuomin. Shimao ancient city: Early human civilization development and environment choices. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2016, 31(3): 63-68, 139.]
- [74] 魏坚, 曹建恩. 内蒙古中南部新石器时代石城址初步研究. *文物*, 1999(2): 57-62. [Wei Jian, Cao Jian'en. A preliminary study on the sites of stone cities from Neolithic Age in central and southern Inner Mongolia. *Cultural Relics*, 1999(2): 57-62.]
- [75] 武峰, 郭伟伟. 后城咀石城址: 龙山时代内蒙古地区最大石城. *内蒙古日报(汉)*, 2022-07-14(006). [Wu Feng, Guo Weiwei. Houchengzuo Stone Fortress: The Largest Longshan-period Stone-walled Site in Inner Mongolia. *Inner Mongolia Daily (Chinese Edition)*, 2022-07-14(006).]
- [76] 高江涛. 试论盛期陶寺文化的和合思想. *南方文物*, 2018(4): 52-57. [Gao Jiangtao. Discussion on the harmony ideology of Taosi culture in flourishing period. *Cultural Relics in Southern China*, 2018(4): 52-57.]
- [77] 高江涛, 何努. 山西襄汾县陶寺遗址宫城及其门址发掘简报. *考古*, 2024(5): 17-34, 2. [Gao Jiangtao, He Nu. Brief report on the excavation of the palatial city and gate at the Taosi site in Xiangfen County, Shanxi. *Archaeology*, 2024(5): 17-34, 2.]
- [78] 王晓毅, 丁金龙. 从陶寺遗址的考古新发现看尧舜禅让. *山西师大学报(社会科学版)*, 2004, 31(3): 87-91. [Wang Xiaoyi, Ding Jinlong. To know whether Tangyao abdicated the throne to Yushun from the new archaeological

- excavation. *Journal of Shanxi Normal University (Social Science Edition)*, 2004, 31(3): 87-91.]
- [79] 吴文祥, 房茜, 葛全胜. 中国龙山时代(5.0—4.0 ka BP)气候变化. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(6): 129-137. [Wu Wenxiang, Fang Qian, Ge Quansheng. Climatic change during the Longshan period (5.0-4.0 ka BP). *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(6): 129-137.]
- [80] 戴向明, 田伟. 山西绛县周家庄遗址2011年春季发掘的新收获. *中国文物报*, 2011-08-12(004). [Dai Xiangming, Tian Wei. New Discoveries from the Spring 2011 Excavation at the Zhoujiazhuang Site in Jiangxian County, Shanxi. *China Cultural Relics News*, 2011-08-12(004).]
- [81] 高江涛. 陶寺遗址聚落形态的初步考察. *中原文物*, 2007(3): 13-20. [Gao Jiangtao. A preliminary study of the relics of the settlement pattern at Taosi site. *Cultural Relics of Central China*, 2007(3): 13-20.]
- [82] 高天麟, 张岱海. 山西襄汾县陶寺遗址发掘简报. *考古*, 1980(1): 18-31, 100-102. [Gao Tianlin, Zhang Daihai. Brief report on excavation of Taosi site in Xiangfen County, Shanxi Province. *Archaeology*, 1980(1): 18-31, 100-102.]
- [83] 杨瑞琛, 邸楠, 贾鑫, 等. 从石岭遗址出土植物遗存看夏时代早期榆林地区先民的生存策略选择. *第四纪研究*, 2022, 42(1): 101-118. [Yang Ruichen, Di Nan, Jia Xin, et al. Subsistence strategies of early Xia period: Analysis of flotation results from the Shimao site in Yulin area, Shaanxi Province. *Quaternary Sciences*, 2022, 42(1): 101-118.]
- [84] (英)彼得·图尔钦. 超级社会: 一万年来人类的竞争与合作之路. 张守进, 译. 太原: 山西人民出版社, 2020: 62-87. [Peter Turchin. *Ultra Society: How 10,000 Years of War Made Humans the Greatest Cooperators on Earth*. Zhang Shoujin, trans. Taiyuan: Shanxi People's Publishing House, 2020: 62-87.]
- [85] 高天麟. 龙山文化陶寺类型农业发展状况初探. *农业考古*, 1993(3): 64-71. [Gao Tianlin. A preliminary study on the development of pottery temple agriculture in Longshan culture. *Agricultural Archaeology*, 1993(3): 64-71.]
- [86] 张国硕. 夏王朝都城新探. *东南文化*, 2007(3): 23-28. [Zhang Guoshuo. New exploration on the capital of Xia dynasty. *Southeast Culture*, 2007(3): 23-28.]

Impacts of 4.2 ka BP climatic deterioration event on the spatial and temporal distribution of prehistoric sites in the Fenhe River Basin and its social response

ZHANG Jieqiong¹, TIAN Qingchun^{1,2}, ZHANG Zhongwu^{1,2}, GAO Jiangtao³

(1. College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030000, China; 2. Academy of Chinese Early Civilization, Shanxi Normal University, Taiyuan 030000, China; 3. Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710, China)

Abstract: Based on ArcGIS software using methods such as kernel density estimation and nearest neighbor index, and combining with the process and characteristics of climate change, the impact of 4.2 ka BP climatic deterioration event on the spatial and temporal distribution of prehistoric sites in the Fenhe River Basin and its social response were explored. It is found that: (1) the 4.2 ka BP climatic deterioration event caused the decline of Longshan culture in the Fenhe River Basin, and had a significant impact on the number and distribution of sites, with a sharp decrease in the number of sites in the Xia period. The density of site distribution decreased, and the degree of agglomeration weakened. The center of gravity of sites shifted northward, which is consistent with the historical record of the “northward migration of the Xia people”. At the same time, in order to adapt to the dry and cool climate, the ancients chose to migrate to the southeast slope. Abnormal floods made the lower Fenhe River vulnerable to flooding, which threatened the survival of human beings. The ancients were forced to migrate to higher elevation areas as well as gentle and moderate slopes. The dry and cool climate led to the transition of the subsistence pattern from agriculture to a combined mode of farming and animal husbandry. (2) The social structure of the Longshan period was in the stage of early civilization, with the rise of the family system and the intensification of class differentiation. The deterioration of climate constrained the carrying capacity of living space and increased population pressure, intensifying competition for resources and inducing wars, but it also enhanced the internal cohesion of tribes, promoted the emergence of citadels, and social organization evolved into the embryonic form of the state. The Xia and Shang dynasties saw the development of the citadel system and the beginning of a new phase in the construction of capital cities.

Keywords: Fenhe River Basin; prehistoric sites; 4.2 ka BP climatic deterioration event; spatio-temporal distribution; impacts; social response