



13 年基因追踪, 揭开史前巨城居民身世之谜

■本报见习记者 蒲雅杰 记者 赵宇彤

在黄土高原与毛乌素沙漠的交界处, 一座沉睡 4000 年的古城横亘于陕西榆林神木市的石峁山塬之上, 这就是被誉为“石破天惊”发现的石峁遗址。这座史前巨城, 规模之大、结构之精, 远超人们对早期文明的想象。

然而, 谜团始终萦绕: 石峁人从何而来? 他们与黄河中下游的农耕族群、北方草原的游牧先民究竟有何关联? 如此庞大的城邦又靠怎样的制度维系? 在考古学界, 这些问题长期悬而未决。

如今, 答案终于浮出水面。中国科学院古脊椎动物与古人研究所研究员付巧妹团队联合陕西省考古研究院、西北大学教授孙周勇团队等, 历时 13 年, 首次以基因证据揭示了石峁文化主体人群的身世之谜, 清晰呈现了其以血缘为纽带的父系社会权力结构。

11 月 27 日, 相关论文发表于《自然》并受到重点推荐。

古人群是土生土长的“本地人”

“石峁遗址是中国已知规模最大的史前城址, 以其复杂城防、多元祭祀遗迹和高等级文物遗存而闻名, 展现了早期国家的雏形与高度社会分层。”孙周勇介绍。

之前古遗传学家基于线粒体研究, 推测石峁文化人群起源于本地仰韶文化人群。然而, 近期的全基因组研究揭示, 石峁附近聚落的人群携带了高比例的、源自中原地区河南仰韶时期的农业人群成分, 使其具体来源变得更加复杂。

不同等级遗址间是否存在差异? 本地仰韶文化人群是否与同期中原地区河南人群完全一致? 是否存在其他古人群成分? 由于线粒体基因组研究和全基因组取样范围有限, 许多问题尚未得到解答。

近年来, 古 DNA 研究成为破译大型聚落的亲缘谱系和社会组织结构的新钥匙。”付巧妹告诉《中国科学报》, 要精准绘制一个石峁古城这般庞大聚落的亲缘网络, 需有足够的代表性样本和高分辨率的核基因组数据, 并与考古信息深度耦合, 难度颇大。

研究团队选择迎难而上, 对来自石峁遗址、周边遗址及晋南地区共 169 例古代人骨样本展开大规模、高分辨率的核基因组研究, 发现他们的主体遗传成分高度一致, 均与陕北本地仰韶人群相同。

付巧妹介绍, 尽管陕北仰韶晚期人群与同

期河南地区农业人群在遗传上相似, 但前者拥有独特的祖先成分, 是黑龙江流域、山东新石器时代早期或西藏相关古人群的“亲戚”。

此外, 研究团队还发现, 部分离群个体还携有中国北方草原地区和南方沿海人群的相关祖先成分, 但并未影响陕北地区主体人群的遗传连续性。

石峁文化人群的遗传特征在时间上具有稳定性与延续性, 其主体源自当地长期生活、繁衍的先民, 表明石峁文化具有深厚的本土根基。

穿越黄河与草原的交流

石峁古城地处农牧交错地带, 人群主体虽源自本地仰韶晚期文化, 却展现出与周边区域考古文化的广泛联系。

这一点, 可从遗址出土的文物中清晰窥见。据孙周勇介绍, 石峁的陶器与中原陶寺文化类型高度相似, 青铜遗存及冶金技术带有欧亚草原的文化印记, 石人雕像可能与南西伯利亚奥库涅夫文化存在关联, 而鳄鱼骨板则体现出来自长江流域的文化交流痕迹。

那么, 这种文化交融是否暗示了人群间的互动? 古基因组学给出了答案。

“在中原方向, 石峁与同期的陶寺文化人群在遗传上共享相近祖源, 表明二者的文化交流是双向互动的结果。”付巧妹指出。

在北方草原方向, 虽然内蒙古裕民成分相关人群的遗传成分未广泛影响石峁文化主体, 但在部分仰韶晚期遗址、石峁及周边遗址中均发现了携有高比例裕民成分相关人群成分的离群个体, 表明陕北本地与北方草原人群存在长期互动, 并伴随阶段性的遗传交流事件。

同时, 在目前检测的所有石峁文化遗址中, 父系的 Y 染色体单倍型结构较为单一, 而母系的线粒体单倍型高度多样。研究人员认为, 这明显指向了一种以父系血缘为核心、女性外婚的社会组织模式, 并且有可能已形成了稳定的父系居住体系。

这项研究首次从古 DNA 层面, 为东亚早期国家起源的权力结构、继承制度与社会阶层提供了直接证据, 这说明中华文明的源头, 比人们想象的更早、更复杂, 也更紧密相连。

值得注意的是, 石峁主体人群中并未检测出欧亚西部草原、中亚、北亚或山东沿海等地的古人群成分。团队据此推测, 冶金技术等外来元素更可能通过贸易网络而非大规模人口迁徙传入。

付巧妹表示, 石峁文化呈现出“主干清晰、多元交融”的动态形成过程, 即以本地仰韶人群为稳定的遗传基础, 同时与中原、草原和南方的农牧业人群保持着不同程度的长期互动交流。

相关论文信息:

期演进提供了关键实证。”付巧妹说。

森严父系制度下的多种埋葬形式

在石峁古城中, 考古学家发现了多种埋葬形式, 如公共仪式中的“头骨坑”人祭、贵族墓葬中的殉狗现象等, 共同勾勒出一个等级森严、阶层分明的史前社会。

为解开这一社会如何组织运行的谜题, 团队基于来自遗址中不同社会等级墓葬的样本, 从世系传承、婚姻模式和居住规则 3 个维度, 首次系统还原了石峁古城的社会结构。

令人意外的是, 尽管社会分层明显, 但各阶层人群的主体遗传成分并无显著差异。同时, 在高等级墓葬中, 殉狗与墓主人之间普遍不存在二代以内的亲缘关系, 意味着殉狗并非来自统治家族内部; 而在皇城台最高等级墓地中, 多对殉狗存在二级亲缘关系, 暗示某些特定家族或社群可能被整体选中用于殉葬。

“在性别分布上, 外城东门的‘头骨坑’没有表现出以女性为主的人祭模式; 而贵族墓葬中的殉狗几乎全是女性, 通常与墓主同穴安葬。”付巧妹表示, 后者代表了石峁文化中显著的阶层分化模式。

此外, 通过对遗址部分墓主间的亲缘关系进行进一步分析, 研究团队构建出了跨越四代的家族谱系, 显示其核心均为地位显赫的男性墓主, 而他们的配偶则来自多个不同的生物学家族。

同时, 在目前检测的所有石峁文化遗址中, 父系的 Y 染色体单倍型结构较为单一, 而母系的线粒体单倍型高度多样。研究人员认为, 这明显指向了一种以父系血缘为核心、女性外婚的社会组织模式, 并且有可能已形成了稳定的父系居住体系。

这项研究首次从古 DNA 层面, 为东亚早期国家起源的权力结构、继承制度与社会阶层提供了直接证据, 这说明中华文明的源头, 比人们想象的更早、更复杂, 也更紧密相连。

付巧妹表示, 该研究将遗传谱系和考古文化等信息进行综合分析, 反复验证, 从时、空两个维度开展了立体研究, 不仅揭开了“石峁之谜”, 也标志着相关研究从“物”的探索进入对“人”的社会精准了解的全新阶段, 为中华文明起源研究注入了强大的科技动力。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09799-x>

我国将建立学术不端撤稿论文长效治理机制

据新华社电 今后聚焦我国学者在自然科学领域国际期刊撤稿论文, 对涉嫌抄袭剽窃、虚构伪造数据或图像、买卖论文、虚构同行评议专家及评议意见等行为, 相关部门将严肃开展调查和处理, 并加强处理结果通报。

记者 11 月 26 日获悉, 科技部会同有关部门部署开展学术不端撤稿论文专项整治行动, 严肃整治学术不端行为, 强化警示震慑作用。

根据有关部署, 科技部牵头推动建立健全学术不端撤稿论文长效治理机制, 持续开展撤稿论文监测。各有关部门和地方科技管理等部门建立健全本系统、本地方常态化工作

机制, 加强对学术不端撤稿问题频发多发单位的监督, 压实科研单位主体责任, 完善科研失信行为主动预防机制, 对查实的学术不端行为依规严肃处理, 将查处工作与科研诚信教育培训相结合, 切实提高科研人员诚信意识, 主动抵制科研失信行为。

据悉, 对严重科研失信行为, 将依法依规记入科研诚信严重失信行为数据库, 支持有关方面在项目申报、院士增选、科技奖励等工作开展失信惩戒。对隐瞒、迁就、庇护、纵容本单位科研人员失信行为的单位, 一经查实将依规严肃处理。

科学网 www.science.net

科学家实现纠缠增强 纳米尺度单自旋量子传感

本报讯(记者王敏)中国科学技术大学自旋共振实验室教授王亚等人与浙江大学海洋精准感知技术全国重点实验室研究人员合作, 首次实现了噪声环境下纠缠增强的纳米尺度单自旋探测。11 月 27 日, 相关研究成果在线发表于《自然》。

微观世界中, 电子的“自旋”是其基本属性之一, 如同一个微小的磁针。材料的许多宏观特性, 如磁铁的磁性或超导体的零电阻, 都源于这些微观“磁针”的排列与相互作用。金刚石氮-空位色量子传感器, 是实现单自旋探测的重要技术途径。研究团队发展出的高精度自旋量子调控技术和金刚石量子传感核心器件与装备, 已能识别出带有特殊“标记”的单自旋, 但如何在复杂的背景噪声中, 稳定捕捉任意外单自旋的微弱信号, 仍悬而未决。这对传感器探测灵敏度与空间分辨率提出了更高要求。理论上, 量子纠缠是突破此瓶颈的可能途径, 它将探测精度逼近量子力学所允许的极限。尽管已有一些初步的原理验证, 但如何实现有效的“纠缠增强”, 在体系制备和操控方面均存在

巨大的技术挑战。

研究人员通过材料制备与量子操控两条路径的协同创新, 首次成功开发出纠缠增强型纳米单自旋探测技术, 在固态体系中实现了对微观磁信号灵敏度与空间分辨率的同步提升, 为纳米尺度量子精密测量技术的发展开辟了道路。

在材料制备方面, 团队利用自主研发的超纯金刚石生长与纳米精度点掺杂技术, 成功制备出间距小至 5 纳米的氮-空位色心对结构。精确的空间控制是实现后续量子纠缠增强探测的关键基础。在探测方法方面, 团队创造性地将一对色心制备成特殊的量子纠缠态, 巧妙化解了“信号放大”与“噪声干扰”之间长期存在的矛盾, 并将空间分辨率提升了 1.6 倍。

这项研究实现了三大突破性进展: 成功区分并探测到相邻的两个“暗”电子自旋; 在嘈杂环境中将探测灵敏度提升至单传感器水平的 3.4 倍; 可实时监测并主动调控不稳定自旋的信号。

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1038/s41586-025-09790-6>

锚定科技制高点 以高能创新赋能自立自强新征程

■王生

党的二十届四中全会的胜利召开, 为“十五五”时期我国科技事业发展锚定航向、擘画蓝图。

通过学习贯彻党的二十届四中全会精神和深入学习《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划的建议》(以下简称《建议》), 我们深刻认识到: 高能物理领域的科技自立自强, 既要勇闯基础研究“无人区”, 追求“从 0 到 1”的原创突破, 也要聚焦关键核心技术攻关, 打通科技成果转化“最后一公里”; 既要立足国内整合产学研力量, 让大科学装置成为服务国家战略的“共享平台”, 也要秉持开放合作理念, 通过国际合作、技术交流, 在全球高能物理领域为我国争取战略主动。

这要求我们必须将党的二十届四中全会精神转化为大科学装置建设、运行、应用的具体行动, 以战略眼光布局设施集群, 以系统思维构建设施支撑战略、战略反哺创新”的生态体系, 在关乎国家科技竞争力的高能物理领域牢牢掌握发展主动权。

这要求我们必须将党的二十届四中全会精神转化为大科学装置建设、运行、应用的具体行动, 以战略眼光布局设施集群, 以系统思维构建设施支撑战略、战略反哺创新”的生态体系, 在关乎国家科技竞争力的高能物理领域牢牢掌握发展主动权。

核心技术攻关作为重要任务, 以重大工程需求为牵引, 联合多方力量协同攻关, 在多个领域取得重要进展。

在中国散裂中子源二期工程中, 关键设备已全部实现国产化。基于环形正负电子对撞机预研工作的技术突破, 科研团队成功研制新结构 P 波段高功率速调管, 长期依赖进口的关键设备实现完全技术自主。

在高能同步辐射光源建设过程中, 团队自主研发了高精度磁铁、高稳定度电源、先进光束线光学元件等核心部件, 实现了“全链条自主可控”的建设目标。

这些实践让我们深刻体会到, 关键核心技术是买不来、讨不来的, 唯有坚持自主创新, 构建“基础研究—技术研发—工程应用”全链条攻关体系, 才能在激烈的国际竞争中掌握主动权。

深化协同创新, 激发科技制高点的生态活力

《建议》指出, 要“推动科技创新和产业深度融合”, “抓住新一轮科技革命和产业变革历史机遇, 统筹教育强国、科技强国、人才强国建设”。这凸显了协同创新和人才培养在科技创新中的重要作用。

我们深感, 抢占科技制高点绝非孤军奋战, 需要构建开放协同的创新生态, 凝聚人才、技术、产业等多方合力。高能所始终坚持系统观念, 在协同创新和人才培养方面持续发力, 为科技自立自强注入持久动力。

在产学研融合方面, 我们充分发挥重大科技基础设施的平台优势, 推动相关产业的技术革新。中国散裂中子源为部分头部企业解决了若干重要技术问题, 有效促进了科技创新与产业应用深度融合。

在人才培养方面, 我们始终坚持“人才是第一资源”的理念, 将重大科技任务作为人才培养的“主战场”, 构建了“战略科学家+科技领军人才+青年创新骨干”的人才梯队。同时, 我们完善人才评价机制, 以创新能力、质量、实效、贡献为导向, 打破学科壁垒和身份限制, 为人才干事创业营造良好环境。

在开放合作方面, 我们积极融入全球创新网络, 开展广泛的国际合作, 与世界顶尖科研机构共享数据、联合攻关, 在国际高能物理领域发出中国声音、贡献中国智慧。同时, 我们加强国内协同, 与兄弟院所、高校、企业建立紧密合作关系, 形成创新合力, 共同推动我国高能物理事业发展。

面向“十五五”, 高能所将持续优化基础研究布局, 加大对原创性、引领性研究的长期稳定支持, 鼓励科研人员勇闯科学“无人区”, 力争在重大前沿方向取得更多突破性成果, 为抢占科技制高点筑牢基础; 聚焦重大设施核心器件、先进探测技术等关键领域, 持续加大研发投入, 完善协同攻关机制, 力争在更多关键核心技术上取得突破, 为我国高能物理研究提供自主可控的技术支撑; 担当高能物理领域国家战略科技力量使命责任, 持续加强原始创新、攻坚核心技术、深化协同创新、培育创新人才。

(作者系中国科学院高能物理研究所党委书记)



旷一葛/摄

科学保护 让千年银杏更“长寿”

本报讯(记者王昊昊 通讯员周翔宇)近日, 湖南省衡阳市南岳衡山 4 株树龄超过 1400 年的古银杏树披上“黄金甲”, 进入一年一度的最佳观赏期。

据介绍, 这 4 株银杏树种植于公元 568 年, 其中最大一株胸径达 164.1 厘米, 需要 5 至 6 名成人才能合抱, 是衡阳地区最大银杏树。这些历经千余年风霜的古树, 是历史遗存的“活化石”, 其保护价值不亚于自然生长的野生古树, 且与野生银杏同属古老树种, 具备同等珍贵的科研和生态价值。

为做好这 4 株古树的保护工作, 当地林业部门不仅建立“一树一档”, 录入湖南省古树名木保护系统, 实现数字化动态监管, 还根据每株树的不同情况采取“一树一策”的保护措施。两株此前冠幅相对偏小, 叶片偏小同时斜杆、营养不良的衰弱株, 经科学保护得以健康成长。

本报讯 据《科学》报道, 近日, 阿根廷科学家对本国拟修改具有里程碑意义的冰川保护法的举措发出警告。

阿根廷总统哈维尔·米莱表示, 该国冰川保护法自 2010 年实施以来, 给采矿及其他重要经济活动带来了一些不必要的限制, 因此他希望修改法律, 赋予省级政府更大的权力来划定保护区域。但一些研究人员担心, 这可能会对敏感的生态系统和关键水源造成严重破坏。

“风险在于, 权力可能会落入主要以采矿获利且没有冰川学专业团队的省级政府手中。”阿根廷

布宜诺斯艾利斯大学环境科学家 Laura Isla 说。阿根廷的冰川保护法将冰川及冰缘地带, 即可能并非被冰层覆盖但全年或部分时间处于冰冻状态的地区, 定义为公共资产和战略水资源储备, 并力求保护它们免受有害活动影响。这使阿根廷成为世界上首个立法保护冰川的国家。

在阿根廷圣胡安国立大学(UNSA)地质学家 Juan Pablo Milana 看来, 该法律的实施一直面临挑战。虽然阿根廷政府依据该法设立了冰川保护目录, 以确定受法律保护的区域, 但后续并未提供专门资金来完善或更新目录。此外, 该法律没有明确界定冰缘地带的技术标准, 比如土壤中冰的最低含量, 导致受保护区域的划分存在不确定性。

对于米莱的提议, 矿业集团表示支持, 并称冰缘地带对供水的贡献“微不足道”。也有相关从业者表示, 监管机构可以制定技术标准, 使采矿项目得以推进的同时不威胁供水。

而 UNSA 的地质学家 Cristian Villarroel 表示, 由于对冰缘环境运作机制缺乏了解, 制定此类标准比较困难。在他看来, 任何试图修改冰川保护法的提议都应包含一个“不可协商