中国科学：地球科学 SCIENTIA SINICA Terrae 2026 年 第 56 卷 第 8 期： 3193–3206
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

全新世东部季风区降水变化的空间偶极子模态促进新石器文化和中华文明的南北同步发展探讨

陈发虎[1,2,3*†]，张志平[4,5†]，高玉[3]，陈婕[1,2]，白壮壮[3]，陈圣乾[2,3]，陈建徽[1,2]，贾鑫[4,5*]

1. 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室，兰州 730000
2. 兰州大学环境考古与文物科学中心，兰州 730000
3. 中国科学院青藏高原研究所，青藏高原地球系统与资源环境全国重点实验室，古生态与人类适应团队，北京 100101
4. 南京师范大学地理科学学院，南京 210023
5. 南京师范大学环境考古研究院，南京 210023
* 通讯作者，E-mail：fhchen@lzu.edu.cn(陈发虎)，jiaxin@njnu.edu.cn(贾鑫)
† 共同第一作者

2025-09-04收稿，2026-01-09修回，2026-03-13接受，2026-07-15网络版发表
国家自然科学基金委员会“青藏高原地球系统”卓越研究群体项目(42588201)、国家自然科学基金项目(42301173)和中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(SKLLQGFZ2511)资助

摘要 全新世中期(距今8000–4000年)，中国北方黄河流域的粟作农业和南方长江流域的稻作农业同步发展，然而东部季风区全新世降水变化的时空模态是否促进了早期中华文明的南北同步发展，尚缺少深入探讨。本文通过分析14条高质量全新世降水或湿度记录并结合古气候模拟，揭示了全新世中国东部季风区降水存在南北反位相(或错位相)的“偶极子”降水模态：中全新世期间，中国北方黄河流域降水最为充沛，区域呈湿润状态，而早、晚全新世相对干旱；相反，南方长江流域在中全新世降水偏少、区域相对干旱，而在早、晚全新世降水较多、环境更为湿润。本文进一步梳理了相关考古资料，认为中国北方和南方在新石器-青铜时代均经历了早期农业、农业社会、古国时期、王国时期四个阶段，且时间框架基本一致。基于此，本文提出中全新世北方黄河流域的丰沛降水有助于雨养粟黍农业的发展，而同期南方长江流域降水的减少导致地下水位下降、水域面积减少、区域可耕地面积增加，从而推动了稻作农业的发展。全新世中国东部季风区南北方降水的“偶极子”模态，在不同地理环境下塑造并促进了南北方文明的共同演进。本研究为深入理解中国东部季风区史前人地关系演化规律，以及理解地理环境与气候变化对中华文明南北方同步发展的促进作用提供了科学依据。

关键词 东部季风区，降水模态，中华早期文明，南北同步发展，全新世

1 引言

中国东部季风区降水变化主要受东亚夏季风环流控制，存在显著的时空差异性(An等，2000；黄荣辉等，2011；Zhang等，2018；Chen等，2024；Li等，2024；Xu等，2024)。这种降水的时空差异性不仅对区域现代社会发展、生产生活具有深远的影响(Zhu等，2011；Zhang等，2017；Han等，2024)，同时也深刻制约了史前动植物资源的生长与繁衍，以及人类的生产方式和社会发展水平(He等，2022；Zhang等，2023)。更重要的是，中国东部季风区孕育了众多的著名考古学文化(社科院考古研究所，2010)。例如，在我国北方的黄河流域存在着裴李岗、磁山、仰韶、庙底沟二期和后李、北辛、大汶口、龙山等史前考古学文化，在南方的长江流域存在着彭头

中文引用格式：陈发虎, 张志平, 高玉, 陈婕, 白壮壮, 陈圣乾, 陈建徽, 贾鑫. 2026. 全新世东部季风区降水变化的空间偶极子模态促进新石器文化和中华文明的南北同步发展探讨. 中国科学: 地球科学, 56(8): 3193–3206, doi: 10.1360/SSTe-2025-0281
英文引用格式：Chen F, Zhang Z, Gao Y, Chen J, Bai Z, Chen S, Chen J, Jia X. 2026. The spatial dipole pattern of Holocene precipitation in the eastern China monsoon region and its role in driving the synchronous north-south development of Neolithic cultures and early Chinese civilization. Science China Earth Sciences, 69(8): 3145–3158, https://doi.org/10.1007/s11430-025-1904-1

© 2026《中国科学》杂志社

山、皂市下层、汤家岗、大溪、屈家岭、石家河和上山、跨湖桥、河姆渡、马家浜、崧泽、良渚、钱山漾-广富林等史前考古学文化。这些著名考古学文化在不同区域诞生、发展、繁盛、衰落的过程，与局地尺度上东亚季风降水的时空变化密切相关(Chen等，2015a；Xu等，2019；Sun Q L等，2019；Zhang Z P等，2021；He等，2022；Tian等，2023；Hou等，2024；李爽等，2026；Nan等，2025)。中国东部季风区因而成为探索东亚季风降水时空变化与中华文明演进关系的理想区域。

然而，一方面，针对全新世中国东部季风区降水时空模态的认识还存在一定的分歧。例如，早期研究提出了中国东部季风区降水最盛期存在“穿时性”的特征，北方降水最盛期出现在距今约9000年，随着纬度的递减方向，降水最盛期的出现时间逐步后推，南方长江流域的降水最盛期发生在距今约6000年(An等，2000)。后续研究如Zhou等(2016)和Jiang等(2018)同样认为中国东部季风区降水最盛期存在“穿时性”的特征，但与An等(2000)不同的是，他们认为我国南方长江流域在早全新世(距今约10000–7000年)出现降水最盛期，而我国北方黄河流域的降水最盛期出现在距今约6000年。此外，基于中国北方夏季风边缘带的湖泊、黄土等载体的古植被记录和中国南方长江流域沉积钻孔的孢粉、炭屑等指标，杨石岭等(2019)和Yao等(2017)均认为自全新世伊始，区域降水整体逐步增加，降水最盛期发生在中全新世，随后逐步减少，中国东部季风区降水不存在空间差异性；Zhao等(2009)和Zhou(2012)同样认为整个中国东部季风区的降水时空模态具有整体一致性，但认为降水最盛期均发生在早全新世，随后逐步减少。由此可见，中国东部季风区降水最盛期是否存在“穿时性”的特征仍存在较大争议。要准确揭示全新世中国东部季风区降水的时空模态，有必要整合我国南、北方多类型古降水资料，并结合最新的古气候模拟结果。

另一方面，全新世也是人类活动显著增强、农业和文明起源的重要阶段。在旧-新石器过渡阶段的东亚地区，磨制石器、陶器制作、广谱经济等新的文化因素不断涌现(Prendergast等，2009；Elston等，2011；Wu等，2012)；进入全新世以后，定居和动植物驯化开始出现(Zhao，1998；Fuller等，2009；Lu等，2009；Yang等，2012；赵志军，2014，2020；Zuo等，2017；赵志军等，2020；贾鑫等，2024)；在经历了数千年的动植物驯化之后(袁靖，2012；赵志军，2014)，中国东部季风区逐步进入农业社会。中华文明探源工程最新成果认为(王巍和赵辉，2022)，我国南北方在距今5800年前后同步进入古国阶段，太湖地区的良渚社会在距今5300年前后已经步入文明阶段(赵辉，2017；Renfrew和Liu，2018)，长江中游地区的屈家岭-石家河和西辽河流域的红山社会也都呈现出向国家形态迅速发展的态势(李伯谦，2009；张弛，2013；刘辉，2017)；黄河流域在距今4300年前后，以陕北神木石峁、山西襄汾陶寺等地为代表，纷纷出现了早期城市(李伯谦，2015；孙周勇等，2020；赵辉，2022)。中原地区在吸收周边先进因素的基础上，至少在距今3800年前已出现了最早的广域王权国家——二里头文明(刘莉和陈星灿，2002；许宏，2004)。二里头文化与文献记载的夏人的地望和夏纪年中晚期相吻合，至此开启了夏商周三代以中原为中心的发展阶段(赵辉，2000；许宏，2020)，并影响了之后的中国历史走向。

中国东部季风区南、北方新石器-青铜时代考古学文化的兴衰演进，为研究中华文明的历史进程提供了大量的材料。然而，全新世中国东部季风区史前文化演进的盛衰过程与气候变化之间的关系尚在争论。部分研究认为降水的增多促进了我国北方仰韶、红山等文化的繁荣(Chen等，2015a；Jia等，2017；Xu等，2019)，干旱化则导致史前考古学文化衰落(Wu和Liu，2004；Sun Q L等，2019)，但也有研究指出降水的增多导致了我国南方良渚、石家河等文化的衰亡(Jia等，2021；Zhang H W等，2021)。中华早期文明为何能够在黄河与长江流域实现大体同步发展，仍缺少从地理环境与气候变化角度的系统阐释。

本文通过梳理已有的古气候和考古资料，结合古气候模拟结果，旨在阐明全新世中国东部季风区降水变化的时空模态特征及其与北方黄河流域粟作农业发展和南方稻作农业发展的关系，进而回答全新世中国东部季风区降水变化的时空差异性如何促进中华文明南北方的同步发展，为促进未来人与环境的协调发展提供科学参考。

2　研究材料

2.1　全新世中国东部季风区的古降水资料

基于湖泊沉积、洞穴堆积、风成沉积等不同地质载体，近十年来发表了大量有关全新世中国东部季风区古降水变化的记录。然而，考虑到不同古气候记录之间存在着时间分辨率、年代控制点数量等的差异，为了更准确地阐明全新世中国东部季风区降水的时空模态变化，我们对收集的中国东部季风区古降水或湿度资料进行了筛选，标准做如下规定：(1) 所有的古气候资料研究点必须位于受东亚季风影响下的中国东部季风区，本研究分别以现代亚洲夏季风最北界(Chen等，2008，2021)和被视为东亚夏季风与印度夏季风分界线的105°E经线(Wang

等，2003)作为中国东部季风区最北和最西的分界线，主要选择位于中国北方黄河流域(45°–34°N，105°–123°E)和中国南方长江流域(32°–28°N，105°–123°E)的古气候记录。(2) 所有的古气候资料需明确指明其可以指示降水或湿度变化。需要说明的是，石笋氧同位素($\delta^{18}O$)记录因其具有高精度年代学和高分辨率等特点，曾被认为是能够精确和可靠地反映不同时间尺度东亚季风降水变化信息的代用记录。然而，随着相关研究的深入，对我国石笋$\delta^{18}O$确切指示意义的分歧日益加剧，越来越多的学者认为其变化难以真实反映东亚季风的演变过程，如“环流效应”、“冬季温度效应”等不同观点的提出(Liu等，2020)。因此，我们收集的记录中暂不包括我国石笋$\delta^{18}O$记录，而基于石笋载体的其他指标记录则被收集到本研究中。(3) 对于所有的湖泊沉积记录，要求其时间分辨率需小于100年，且年代控制点不少于七个。为进一步增加数据集数量，本研究还囊括了陕西耀县黄土剖面磁化率记录定量重建的降水量变化(Xia等，2014)、陕西宝鸡黄土剖面^{10}Be记录定量重建的降水量变化(Beck等，2018)、基于孢粉资料集成的中国北方和南方古降水记录(Li等，2018a，2018b)。(4) 时间序列长度应当覆盖过去10000年，或至少能够覆盖早中全新世的时间范围(时间序列连续长度不少于5000年)。基于以上标准，我们共收集到我国北方区域的8条全新世降水或湿度记录和我国南方区域的6条全新世降水或湿度记录(其中南漪湖沉积记录的降水指标包括CIA指数和Rb/Sr比值)。各降水或湿度记录研究位置点如图1所示，古降水或湿度记录详细信息如表1所示。

对于收集的古气候资料，我们对每条原始数据首先进行了标准化处理；随后按100年的时间分辨率对每条标准化后的古气候序列进行线性插值；最后，分别将我国北方和南方的古气候序列进行平均，获得中国东部季风区南、北方全新世古降水变化的综合演变序列(图2D和2E)。

2.2 全新世中国东部季风区的考古资料

史前时期未有人口统计数据，考古学中常通过考古碳十四数据的概率密度分布(Holdaway和Porch，1995；Surovell和Brantingham，2007；Munoz等，2010；Peros等，2010；Zhang等，2022)和考古遗址的数量、密度、规模和分布(Wagner等，2013；Hosner等，2016)两种方法指代史前人口数据。本文采用了上述两种方法重建的南、北方人口变化过程(图3D、3E、3I和3J，图4)(Wang C等，2014；Hosner等，2016；Zhang等，2022)，进一步探讨了全新世中国东部季风区降水变化和人口数量的

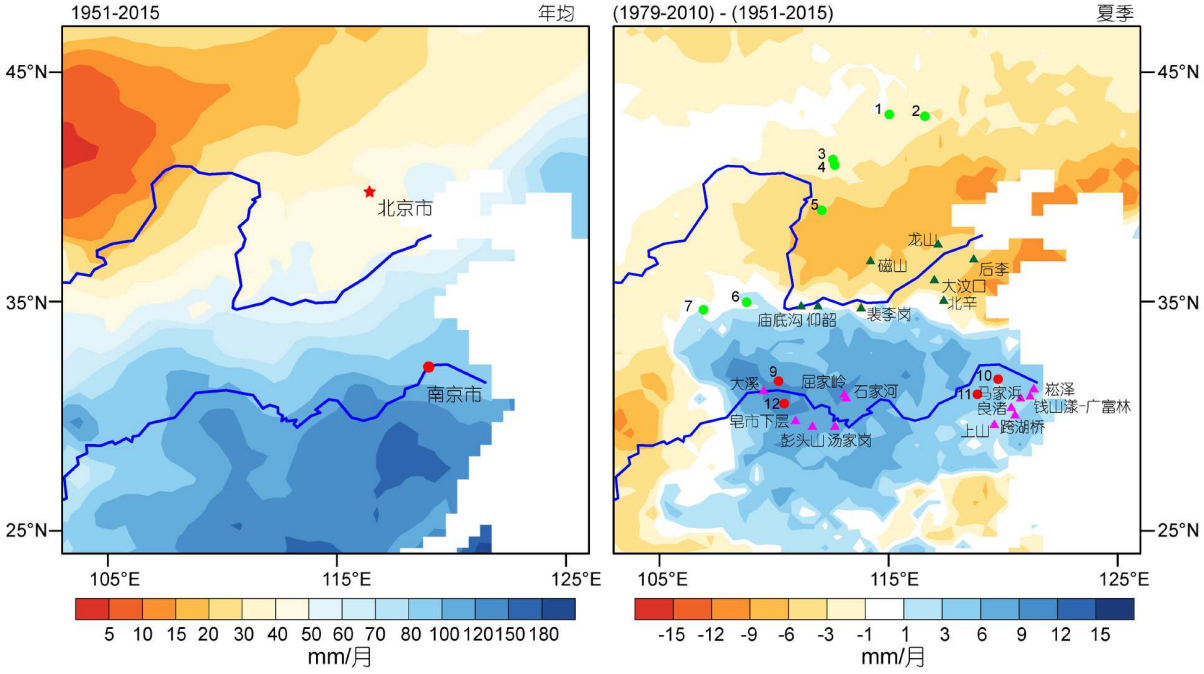


图 1 研究区降水空间分布(左图)、弱季风时段的现代降水空间格局和重要古气候记录与新石器遗址点分布(右图)。左图为基于CRU资料(https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/index.htm#current)的研究区1951–2015年平均降水，单位：mm/月。右图为基于CRU资料的研究区夏季(6–9月)弱季风时段(1979–2010年)减去背景时段(1951–2015年)的降水空间格局，单位：mm/月；绿色圆圈代表中国北方的古气候记录，红色圆圈代表中国南方的古气候记录(详细信息见表1)；深绿色三角形代表文中提到的中国北方新石器考古遗址点，粉色三角形代表文中提到的中国南方新石器考古遗址点

表 1　全新世中国北方(编号1–8)与中国南方(编号9–13)古降水或湿度资料

编号	研究点	纬度	经度	时间分辨率	年代控制点数量	参考文献
1	查干诺尔湖	43°26′N	115°02′E	63	27	Li等，2020
2	达里湖	43°18′N	116°36′E	66	15	Xiao等，2015
3	辉腾锡勒湖	41°08′N	112°37′E	29	12	Wang等，2019
4	岱海	40°33′N	112°39′E	46	8	Xu等，2010
5	公海	38°54′N	112°14′E	16	18	Chen等，2015a
6	耀县黄土	34°53′N	108°45′E	229	12	Xia等，2014
7	宝鸡黄土	34°24′N	107°06′E	486	–	Beck等，2018
8	华北降水	–	–	196	–	Li等，2018a
9	大九湖	31°29′N	110°00′E	86	9	Xie等，2013
10	新街	31°22′N	119°42′E	89	10	Lu等，2019
11	南漪湖	31°06′N	118°55′E	65	7	Liu等，2021
12	和尚洞	30°27′N	110°25′E	37	20	Zhu等，2017
13	长江流域降水	–	–	81	–	Li等，2018b

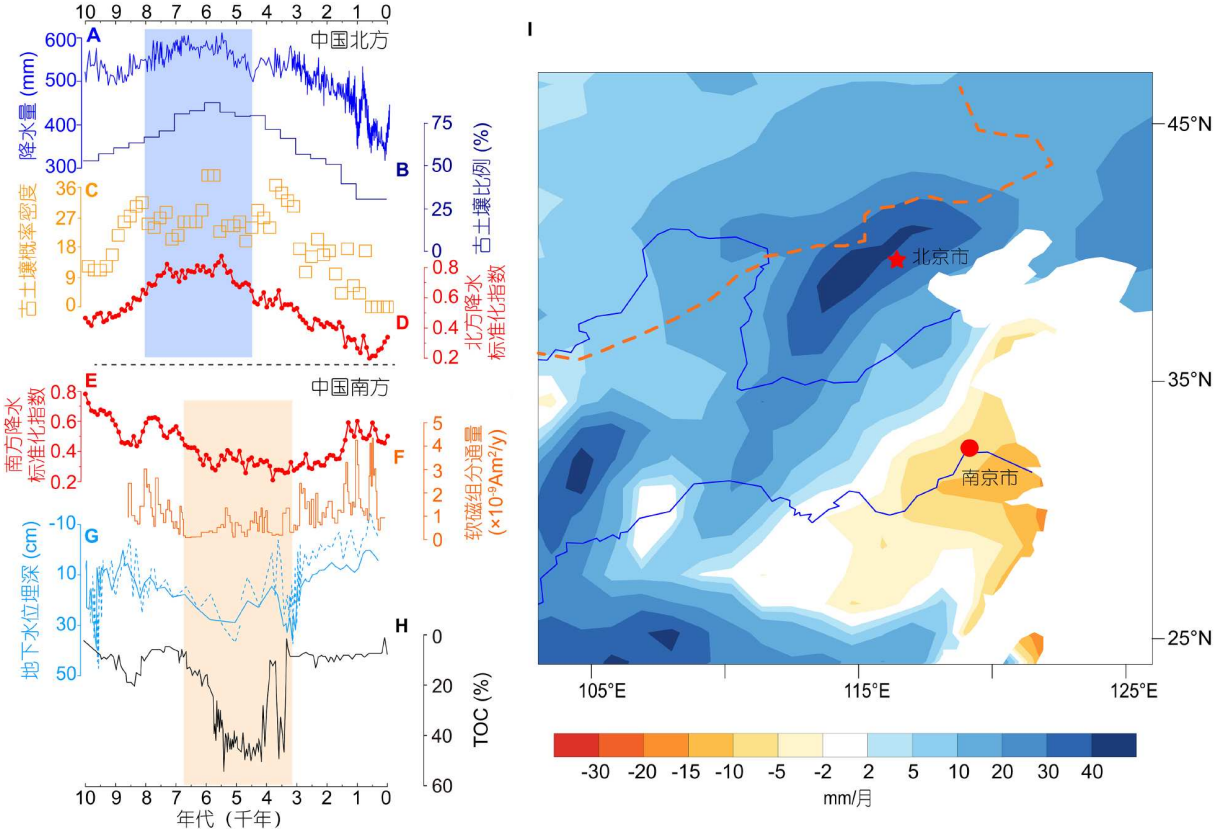


图 2　全新世中国东部季风区南北方降水变化的古气候记录与模拟结果。(A) 山西公海孢粉定量重建的降水量(Chen等，2015a)；(B) 中国东部北方沙地的古土壤比例(Li等，2014)；(C) 黄土高原古土壤发育的概率密度(Wang H P等，2014)；(D) 中国北方降水集成的标准化指数；(E) 中国南方降水集成的标准化指数；(F) 和尚洞石笋的软磁组分通量(Zhu等，2017)；(G) 大九湖泥炭植硅体重建的地下水位埋深(Liu等，2019)；(H) 大湖泥炭的有机质含量(Zhou等，2004)；(I) 基于EC-Earth3模型模拟的中全新世(6.0 ka)和工业革命前夏季(6–9月)降水量差，其中橙色虚线为TraCE-21 ka模型模拟的5.0 ka时期400 mm等降水线位置

关系。

此外，环境考古学者现今多通过分析气候变化如何影响生业模式进而改变人类活动强度的方法来探究史前人地关系。因此，为了深入探讨降水变化和人口数量变化的关系，本文还引用了北方粟、黍(图3B)(Leipe等，2019)和南方水稻(图3G)(Dong等，2020)直接碳十四测

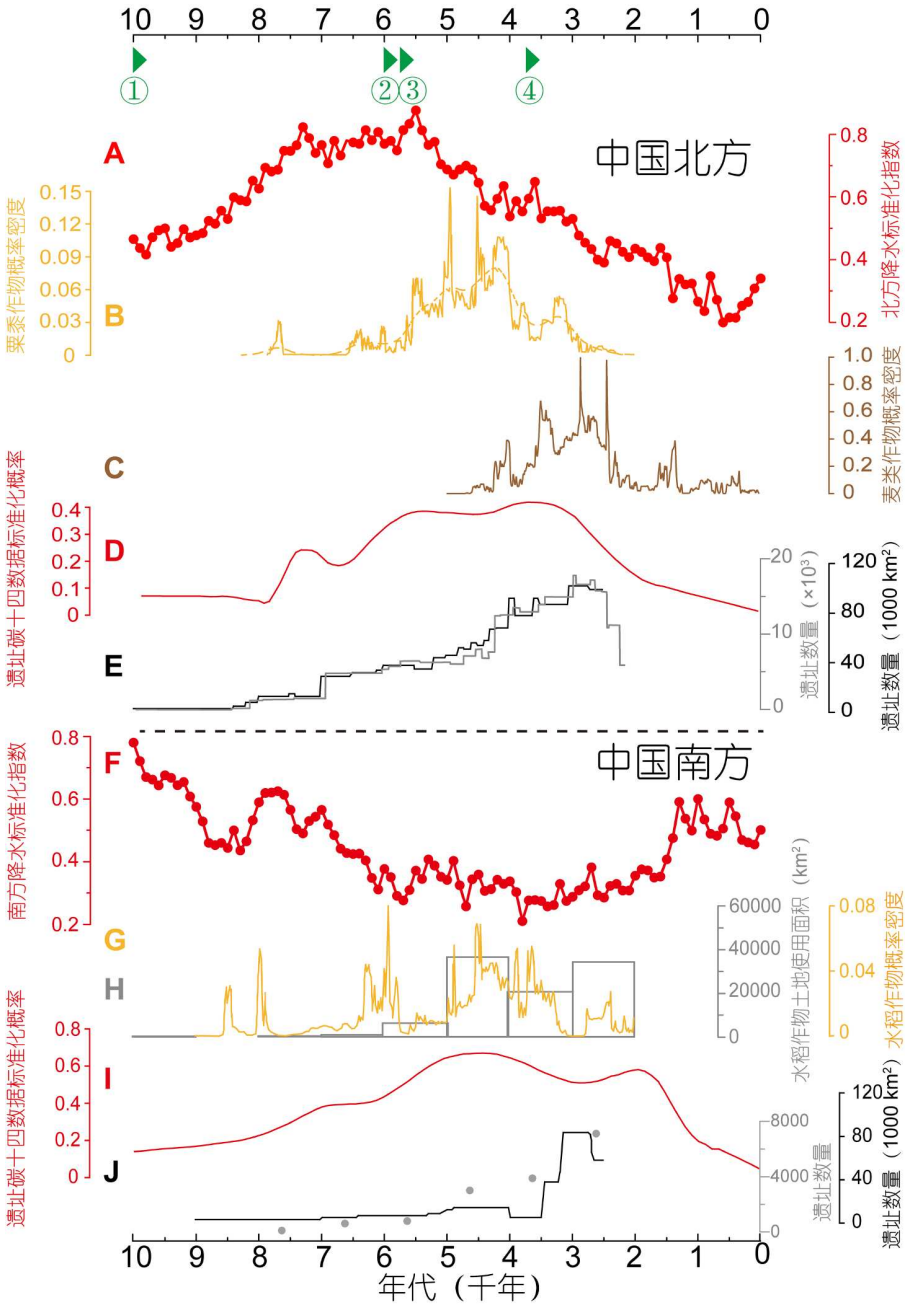


图3 全新世中国南北方降水变化与考古资料的对比。上方绿色箭头分别表示① 早期农业(~10 ka)、② 农业社会(~6.0 ka)、③ 古国时期(~5.8 ka)、④ 王国时期(~3.8 ka)的大致起始时间。(A) 中国北方降水集成的标准化指数；(B) 中国北方粟黍作物的碳十四概率密度(Leipe等，2019)；(C) 中国东部季风区麦类作物的碳十四概率密度；(D) 中国北方考古遗址的碳十四概率密度(Wang C等，2014)；(E) 中国北方考古遗址的数量(黑色曲线，Hosner等，2016；灰色曲线，Wagner等，2013)；(F) 中国南方降水的集成标准化指数；(G) 中国南方水稻作物的碳十四概率密度(橙色曲线，Leipe等，2019)；(H) 长江流域水稻作物的耕种面积(灰色矩形图，Yu等，2022)；(I) 中国南方考古遗址的碳十四概率密度(Wang C等，2014)；(J) 中国南方考古遗址的数量(黑色曲线，Hosner等，2016；灰色曲线，Yu等，2024)

年数据的概率密度分布，用以反映我国东部季风区农业发展的变化过程。同时，本文还收集了中国东部季风区目前已经发表的所有出土麦类作物的碳十四数据，生成了概率累积曲线(图3C)，用以反映麦类作物引入中国后，在中国东部季风区的种植强度。

3 结果与讨论

3.1 全新世中国东部季风区降水的时空变化特征

对收集的全新世中国南、北方古降水资料进行的集成研究显示，全新世千年时间尺度上我国南北方降水呈

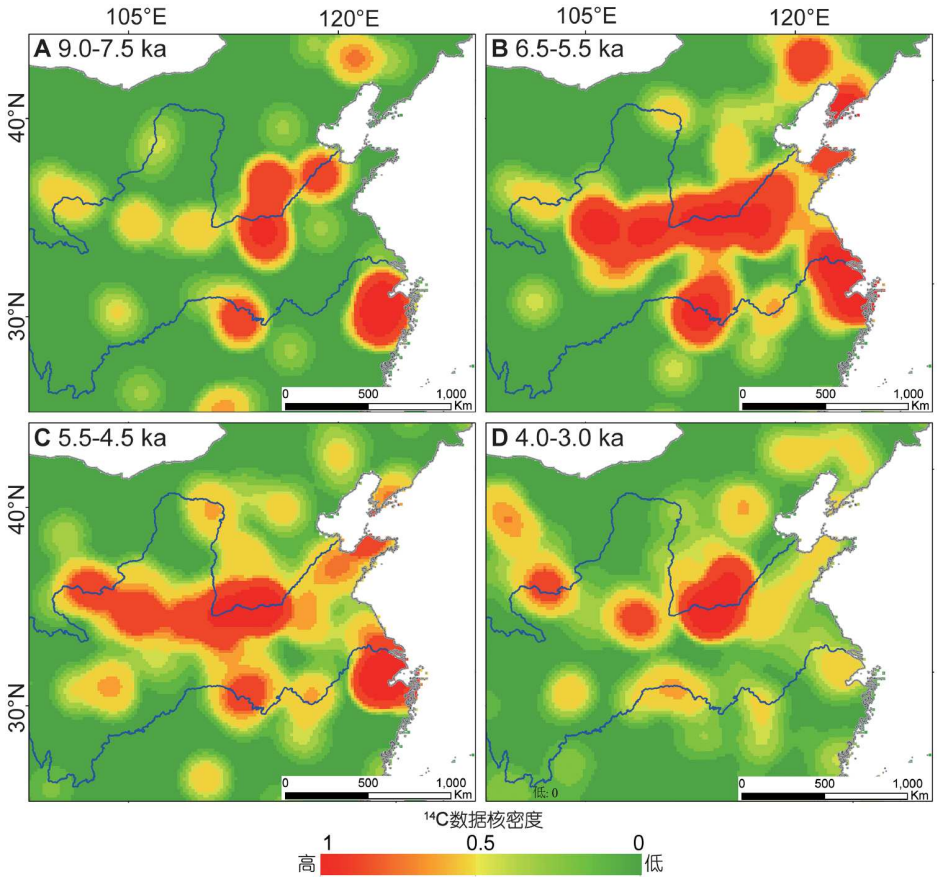


图 4　^{14}C数据的核密度模拟不同时段的中国人口分布(据Zhang等，2022改绘)

现明显的“偶极子”，或至少是不同步的错位相时空格局(图2D和2E)。我国北方，尤其是黄河中游地区，自全新世开始逐步湿润，中全新世时期气候达到最湿润的状态，晚全新世逐步变干；相反，我国南方自全新世开始在千年时间尺度上逐步变干，尤其在中-晚全新世过渡期间(距今~6000–3000年)达到最干旱的状态，随后在晚全新世逐步湿润。全新世千年时间尺度我国北方降水的变化框架(图2D)与基于中国北方公海湖泊孢粉定量重建的年降水量变化趋势(图2A，Chen等，2015a)、对湿度变化响应敏感的中国北方古土壤比例(图2B，Li等，2014)和黄土高原古土壤发育的概率密度(图2C，Wang H P等，2014)等一致，显示早晚全新世干旱、中全新世最湿润(图2D)。同时，这一早晚全新世干旱、中全新世湿润的我国北方气候变化模式也得到区域尺度湖泊孢粉资料的支持(Wen等，2017)。

相反地，全新世千年时间尺度我国南方降水的变化框架(图2E)与长江中游和尚洞石笋软磁组分通量所揭示的中全新世干旱相对应(图2F，Zhu等，2017)，也与大九湖泥炭植硅体记录(图2G，Liu等，2019)、叶蜡脂类单体氢同位素记录(Huang等，2018)所指示的早晚全新世湿润、中全新世干旱具有一致性的变化关系。不仅如此，更偏南的江西大湖泥炭的总有机质含量也支持中全新世我国南方相对较为干旱的气候状态(图2H，Zhou等，2004)。因此，我国北方黄河流域和南方长江流域全新世降水变化存在着反位相或错位相的“偶极子”变化特征(图2D和2E)。利用EC-Earth3气候模型模拟的中国东部季风区降水的空间模态特征显示，全新世典型时段(6.0 ka，ka=距今1000年)中国东部季风区确实存在显著的“偶极子”降水模态(图2I)，进一步支持我们早期提出的全新世中国东部季风区存在“偶极子”的降水空间特征(陈建徽等，2016)。

事实上，在过去千年的特征气候时期(中世纪暖期：1000–1300 AD与小冰期：1400–1850 AD)(Chen J H等，2015)和过去百年的全球变暖时期(Qian和Zhu，2001)，中国东部季风区降水均表现出南北反相位的“偶极子”空间格局。在年代际时间尺度上，基于中国季风区740个气象站点的器测资料数据的研究，Ding等(2008)同样揭示降水在我国北方的黄河流域和南方的长江流域呈现的“偶极子”模态：过去几十年，我国北方降水呈现出逐渐减少的变化趋势，而南方地区尤其是长江中下游地区出现了

降水显著增强的变化趋势。这些资料证实了中国东部季风区“偶极子”降水空间在百年-年代际时间尺度上的适用性。

尽管我们的研究揭示了全新世中国东部季风区的降水呈现了典型的“偶极子”模态，但已有研究结果中仍存在与我们所构建的南、北方降水演化模式不一致之处。例如，部分研究指出内蒙古东部在早全新世期间降水量最高，随后逐步降低(例如，Jiang等，2006；Ming等，2020)；而在南方长江流域，有研究认为区域降水在中全新世达到峰值，早、晚全新世相对干旱(例如，Hu等，2008；Yao等，2017)，也有研究指出该区域降水在早全新世最高、中晚全新世降水逐步变少(例如，Zhou等，2005；Sun J等，2019)。这些研究结果与中国东部季风区南北方降水的“偶极子”模态存在差异，一方面是部分古气候记录受局地地形等因素影响显著，因而更可能反映局地环境信号而非大范围的气候变化(Shu等，2021)；另一方面，一些古气候代用指标能否敏感响应降水变化，其是否可以用作古降水变化的指示器依然有待商榷(Liu等，2015)。例如，近年来越来越多的研究指出，尽管石笋因其准确的时标而在古气候重建研究中被广泛使用，但我国的石笋$\delta^{18}O$记录因受环流、温度等因素影响，能否定量反映降水量的变化，仍有待进一步研究(Zhang H W等，2021)。此外，全新世海平面、长江干流水位变化和长江中下游平原湖泊的发育密切相关(姚书春等，2024)，尽管中国东部海平面变化大约在7.0 ka后整体维持稳定(郑洪波等，2018)，但早全新世海平面的上升导致长江干流水文变化，对长江中下游沿江浅水湖泊也具有一定程度的影响(姚书春等，2024)。因此，长江中下游湖泊水位及地下水位的波动能否直接指示受控于区域降水量变化，也需要综合考虑海平面变化的影响。无疑，进一步开展关键点位的高质量古降水重建，是理清中国东部季风区降水的空间模态、探讨环境变化区域响应规律的前提。但从整体上综合多类指标、多个区域记录的基础上来看，目前已有的证据已经显现出：在全新世千年时间尺度、关键气候事件时期和现代暖期，中国东部季风区确实存在着显著的南北反相位的“偶极子”降水空间模态。至于在中国北方季风区和南方季风区是否还存在次一级的空间模态，目前受限于古气候记录点位的空间分布稀疏及部分重建结果的可靠性不足，尚难以得到明确的结论，这也是今后需要深入研究的重要方向。

3.2 中国东部季风区粟作农业与稻作农业的发展历程

距今10000年前后，我国北方和南方开始了对禾草资源的强化利用和人工干预，出现了栽培活动，开始出现了具有驯化特征的粟、黍和水稻遗存(Zhao，1998；Yang等，2012；Zuo等，2017；赵志军等，2020；Zhang J等，2024)。中国新石器-青铜时代传统的文化核心区域一直分布在东部季风区的西辽河-黄河中下游和长江中下游地区，它们分别是粟黍和水稻的驯化中心，并进一步各自发展成为粟作和稻作两个农业中心，这也是中国作为世界上重要农业起源地之一的独特之处：两个起源中心互相融合、补充，并逐渐形成一个更大的复合经济体系，为“多元一体”的中华文明格局奠定了坚实的物质基础(严文明和庄丽娜，2006；秦岭，2012)。

距今8000年前后是农业起源的关键阶段(赵志军，2014，2019)。在中国北方的西辽河流域、中原、渭河流域、海岱等各个区域的考古遗址中普遍出土了粟黍遗存(赵志军，2020)，粟和黍的粒径也明显增大(赵志军，2004；孙永刚，2014)。稳定同位素分析指示的具有C4食谱的家养动物(张雪莲等，2017)和保存大量炭化谷物的窖穴(孙德海等，1981)，反映当时的农业生产已经达到了一定规模。此外，粟作农业在距今7000年前后还向南扩张至淮河中游地区(Luo等，2019)。在南方，不同区域驯化形态的水稻穗轴基盘占据了主导地位，表明水稻在这一阶段完成了驯化(Deng等，2015；张居中等，2018)，并广泛分布在长江-淮河流域(郑云飞等，2004；湖南省文物考古研究所，2006；Deng等，2015；Luo等，2016；孙国平等，2021；邱振威等，2022)，甚至在距今8000年前后向北深入了黄河流域(Crawford等，2013；Jin等，2014；Wang C等，2018)，在距今5000年前后向西到达甘肃天水的西山坪遗址(李小强等，2007)，近期甘肃南佐遗址也发现了大量距今约5000年的水稻遗存(张小宁等，2023)。水稻农业向北方粟作区的扩散，除技术进步外，还可能受到中全新世北方降水显著增强(图3D)的推动：高降水导致的河谷湿地增加，为水稻在北方的种植提供了有利条件。先民除了对植物资源的利用，还加强了对动物的驯化。家猪的饲养与驯化在我国南、北方均与早期农业发展相伴而生(袁靖，2006)。农业之外，对野生动植物资源的利用(赵志军，2004；湖南省文物考古研究所，2006；潘艳等，2013；李永强，2018；吴文婉，2019)表明，采集、狩猎仍然是当时先民生计不可或缺的重要组成部分。

多种证据显示，在距今6000年前后，以仰韶文化为代表的北方地区进入了以农业生产为主导经济的社会发展阶段(Barton等，2009；赵志军，2017，2019)。遗址资源域分析显示，中原地区仰韶先民的生业活动已经集中在小空间范围内的作物栽培上，具有典型的农业聚落特征(秦岭等，2010)。该时期还出现了施肥活动，形成了

集约化的粟作农业，并与家猪饲养有机结合，进一步促进粟作农业从黄土高原向青藏高原和云南高原的扩散（Wang X等，2018；Yang等，2022；Zhang和Chen，2022）。与此同时，粟作农业也开始进入长江流域腹地（Nasu等，2007），并向南扩散（Yang等，2018；Deng等，2020a；Dai等，2021）。与北方地区粟黍驯化后就迅速成为人们主要食物不同的是，中国南方由于资源相对丰富，稻作农业的发展长期伴随着野生植物资源的采集和利用（秦岭，2012）。直到距今6000年前后，长江中下游地区才普遍出现了水田经济（何介钧，1999；Zheng等，2009；丁金龙，2010；李韵，2021），标志着该地区稻作农业的确立。

距今5000年以后，除了环太湖地区一直坚持着单一的稻作农业外（高玉，2017），稻粟混合农业普遍存在于东部季风区的长江-黄河流域（He等，2017），但是，其作物结构基本仍以当地传统的稻作或粟作为主。此外，我国北方地区可能很早就开始了对大豆的栽培和驯化，并一直存在利用野大豆或大豆的传统（Zong等，2017）。因此，北方地区从农业出现开始，基本坚持了多作物的种植结构。文献所载五谷中的麦类作物虽然在距今5200年前就已到达新疆地区（Zhou等，2020），但是直到距今4000年前才进入我国北方地区（Chen等，2020）。尽管麦类作物在农业体系中的比重在很长一段时间内都相对不高（Deng等，2020b），但作为降低风险的作物，其出土地点基本涵盖了传统的粟作农业区（郭荣臻和靳桂云，2019a，2019b），我国北方也因此在距今4000年前后逐渐实现了真正意义的“五谷丰登”（秦岭，2012）。麦作作物传入中国北方后，在距今3600年前后从黄土高原进入夏季风控制的青藏高原高海拔地区（Chen等，2015b），与早期传入的粟作作物一起，成为青藏高原河谷地带的主要农业方式，并在距今约3000年前后转化为单一的青稞种植（Tang等，2021）。长江中下游地区的麦类作物最早出现在与中原地区关系密切的汉水中游（Deng等，2015；Jia等，2021），直到东周时期才真正进入长江-淮河中下游地区（吴文婉等，2017；Jia等，2022）。

3.3　全新世中国东部季风区降水的南北差异与中华文明演进

目前有关环境演变对中华文明影响的研究工作中，绝大部分是通过自然气候序列与考古学文化序列的对比，揭示环境变化与文明兴衰之间的对应关系（Zhang等，2008；Chen等，2015a；Guo等，2018；Zhang Z P等，2021）。然而，类似研究缺乏机理解释与分析，容易被误解为“地理环境决定论”。纵观中华文明演进的历史，农业生产的条件所引发的食物资源问题始终发挥着关键作用。因此，本节以中国东部季风区南北方农业发展过程作为桥梁，探讨全新世东亚季风降水的南北差异与中华文明演进之间的关系。

由于东亚季风自南向北推进，我国东部的降水量也呈现从东南向西北逐渐递减的分布趋势（见图1，王遵娅和丁一汇，2008）。因此，在整体环境较为干旱的我国北方地区，降水丰枯直接制约着旱作雨养农业的发展，也是决定农业产出和社会稳定的关键因子（杨青和李小强，2015）。与之不同的是，我国南方的长江流域地处东亚季风降水的核心影响区，降水较高，整体较为湿润；同时，中晚全新世中国东部海平面较为稳定（上升速率减缓）（郑洪波等，2018）。在此背景下，海水的顶托作用导致了入海口泥沙沉积量的变化，特别是由降水多寡引起的地下水水位升降、湖泊的扩张和收缩等，直接影响长江中下游地区可耕种面积的增减。而相关研究显示，可耕种面积的大小是限制我国南方稻作农业种植规模和产量的主要因素（刘珍环等，2013）。

早全新世阶段，随着东亚季风的不断增强，季风雨带逐渐向北移动，我国北方的降水量不断增加，至距今8000年前后，我国北方的降水量已达到较高程度（图3A）。基于山西公海湖泊沉积物孢粉定量化重建的中国北方降水量变化结果显示，在距今8000年前后，区域年降水量达到~550±85 mm（图2A，Chen等，2015a）。丰沛的降水为北方地区农作物的驯化提供了良好的气候条件，我国北方粟黍的种植规模得以扩大（图3B），人口和遗址数量也随之增长（图3D、3E和图4A），粟黍农业开始在我国北方广大区域出现。而在我国南方地区，自全新世伊始，气候逐步干旱化，地下水位下降，低海拔地区的长江中下游冲积平原和低洼地得以裸露，为农业的发展提供了更多的可耕种面积。在距今9000–8000年前后，区域降水降至相对较低的水平（图3F），这为我国南方稻作农业的出现奠定了基础。在早全新世阶段，降水在我国南方的逐渐减少和北方的逐渐增多，分别导致了南方长江中下游的稻作农业和北方旱作雨养农业几乎同步发展，与狩猎采集经济一起，促进了人口的增长（图4A），支撑人类社会的发展。

得益于中全新世我国北方的丰沛降水，北方粟作农业在距今6500–5500年前后大规模扩张（图3B），人口和遗址数量也显著增长（图3D、3E和图4B），推动了以仰韶文化为代表的北方文化的大发展。在我国南方的长江流域，持续近2000年（距今约8000–6000年）的降水减少，导致了长江流域地下水位的降低、湖泊面积的收缩，可耕作面积增大，为水稻的大规模种植奠定了较好的基础陆域条

件，推动了稻作农业发展(图3G)。在此地理环境背景下，人口与遗址数量也随之增长(图3I、3J和图4B)，我国南方也步入了农业社会。同位素结果显示，我国北方的黄土高原在距今6000年前后进入了粟作农业社会(Barton等，2009)，施肥等种植技术的更新进一步推动粟作农业在横断山地、青藏高原和云南的扩散(Yang等，2022)。但总体来讲，此阶段降水在我国北方的增加和南方的减少是分别促使北、南方几乎同步进入农业社会的主要原因。

距今5500–5000年前后，尽管我国北方的降水依然逐渐减弱，但400 mm等降水线仍然位于内蒙古南部地区(图2I)；同时，前期充沛的降水也为该阶段农业的发展提供了良好的环境积累(贾鑫等，2024)；而该阶段的季风降水相较于早全新世也更加稳定(Zhang Z P等，2021)。在此气候背景下，粟黍农业种植规模进一步增加(图3B)，人口和遗址数量也处于较高水平(图3D、3E和图4C)。该时期也开始出现了明显区别于一般遗址的区域性中心聚落，如南佐、杨官寨、双槐树、焦家等(王炜林等，2011；唐仲明等，2019)，意味着社会复杂化进程迈入古国时期(赵辉，2022)。与此同时，尽管Yu等(2022)基于甲烷指数重建的水田面积既未区分旱稻与水田，且其空间覆盖范围亦未包含上山、跨湖桥、河姆渡等关键文化所在流域，但该研究在区域尺度上仍指示了该阶段长江中下游耕作面积的整体扩张趋势(图3H)。结合本文所采用的水稻作物概率密度结果(图3G)以及人口规模和遗址数量变化(图3I、3J和图4C)，我们认为，在该时期南方长江流域降水持续减弱的背景下，区域水文条件的变化可能在一定程度上有利于可耕地面积的扩展，从而与稻作农业规模的快速增长及人类聚落扩张过程相伴随。在此时期，以复杂的社会分工和分层、宏大的水利工程和公共建筑、玉器为代表的权利与信仰体系等为标志的良渚社会已经迈进了文明的门槛(刘斌等，2017；赵辉，2017)。

总体而言，对环境演变的适应是孕育中华文明独特文化内涵的重要因素，中华文明是中华民族主动地适应环境及其演变的产物，是中华民族的智慧与特定环境有机结合的结果。

3.4 “最早的中国”

距今4000年之后，我国南方地区降水量开始呈现持续增多的趋势，区域湿涝程度逐渐增强，导致原本适宜稻作农业生产与人类稳定定居的低地平原区域大规模缩减，原有生产方式被破坏，社会管理机制失调，食物短缺使民众温饱成为尖锐问题，多种社会矛盾叠加自然灾害动摇了统治基础(袁靖等，2020；何驽，2020；赵成双苹和莫多闻，2020；贺可洋等，2021)。同时，北方中原文化再度崛起，不断地向长江中游江汉平原拓展和推进，而南方环太湖地区则有福泉山等大型聚落兴起，加强了世俗权力，使良渚文化区域权力系统产生结构性变动(宋建，2017；张海，2021)，导致原本发达的良渚文化和屈家岭-石家河文化在距今4300年前后渐趋衰落(石家河考古队等，1993；赵辉，1996；宋建，2006)，反映在南方各地后续的遗址数量急剧减少(图4D和图5B、5C)(高蒙河，2005；孟华平等，2009)。此外，良渚文化及之后的马桥文化时期遗址地貌基本类型普遍以台墩、岗地形态为主(高蒙河，2003)，从侧面也可反映出湿地扩张和水位抬升对定居空间的强烈挤压效应。其他研究则显示，处于长江中游江汉-洞庭盆地地势低洼处的部分遗址，其上叠压有约1 m厚的淤泥层(王红星，1998)，暗示其可能在晚全新世随着河湖水位的显著上升而位于水下或曾被水浸覆盖(赵成双苹和莫多闻，2020)；而在长江下游也发现了一些当前处于水下的史前遗址(朱诚等，2014)，显然目前被湖水覆盖的这些地区过去曾是适合人类居住的陆地环境。可以发现，地表水文环境等自然因素及人类文化本身发展规律在新石器时代不同区域文化发展和文明起源进程中发挥了具体作用，但降水量从宏观时空尺度对新石器文化发展和文明起源进程产生了更深远的影响。

与此同时，尽管我国北方地区也出现了不利于农业发展的季风衰退、降水减少的气候条件，但这次地理环境的恶化在中原地区不但没有造成文明的衰落，人口反而还得到了较高程度的发展(图4D)，最终造就了“最早的中国”。究其原因，一方面，中原地区地处我国南北过渡带，降水量相对充足(图1)，适合粟作农业的发展；同时，该地区也位于我国南北两种降水变化模态的过渡地区。这意味着无论是季风衰退导致的华北降水减少，还是长江流域因降水增加而引发的洪涝风险加剧，对中原地区降水格局的干扰都较为有限；其次，中原地区作为我国早期农业发展的核心自然地理单元，拥有以黄土母质为基础的肥沃土地，易于开垦和耕作。尽管该区域旱涝等自然灾害频繁(张俊娜和夏正楷，2011；Yu等，2023；Zhang Z X等，2024)，但在季风衰退背景下，周边环境更为恶劣，农业适应性更低，先民因而难以选择迁移到更不适宜农业发展的周边地区。这种“无可退却”的生存条件，促使中原先民在长期与自然灾害的博弈中形成了积极应对自然灾害和自然环境的精神。我国的上古传说或者神话(如大禹治水、愚公移山)中也体现出了与自然斗争的类似精神，且已成为中华民族不畏困难、积极向上的美好品德。另一方面，距今4000年前的东亚

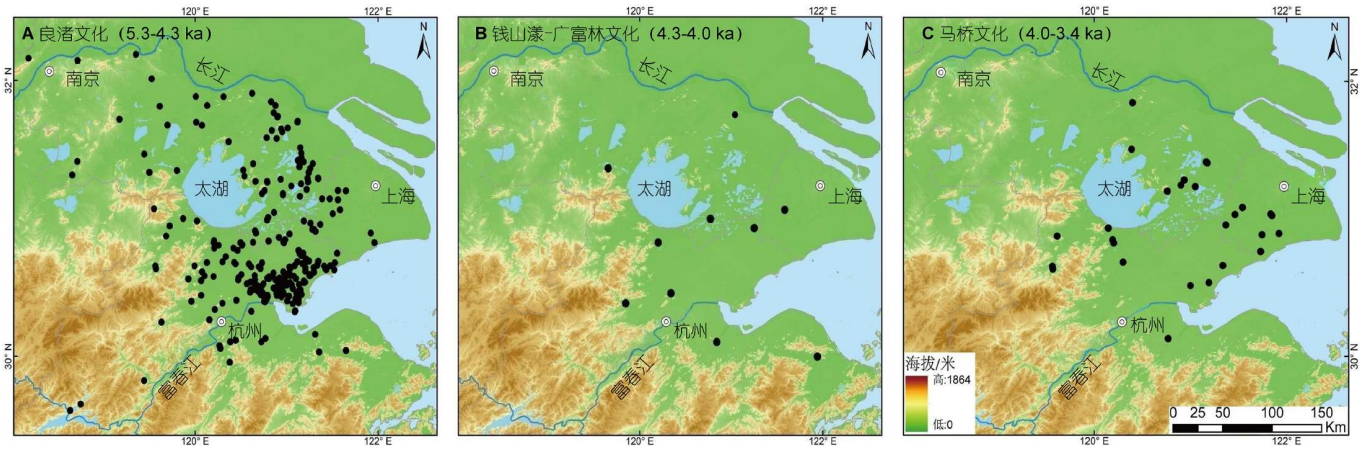


图 5　环太湖地区5.3–3.4千年的考古遗址分布

季风衰退，特别是持续200–300年的距今4200年前后的气候事件，导致我国北方出现严重的干旱事件，我国南方出现少有的洪涝事件(Zhang H W等，2021；Nan等，2025)。在我国北方，这一气候事件导致了人口向相对更适应农业生产的中原地区聚集(图4C和4D)，竞争增强，可能促进了社会管理和社会发展。而邻近的黄河下游山东龙山文化人群因气候干旱、风沙活动增强，生存环境急剧恶化，人地资源矛盾突出，战争频繁，聚落大幅减少，导致山东龙山文化后期及岳石文化发展缓慢(丁敏等，2011)。到二里岗上层文化时期，“夷夏东西”二元格局被中原中心取代(栾丰实和王芬，2024)。此外，也有研究指出华夏集团的统治者们似乎比较“务实”，在宗教祭祀方面的投入远远少于长江流域的势力集团，这在客观上有利于其实力的积蓄和可持续发展(王巍，2004)；同时，华夏集团地处中原地区，不仅在面对周围势力集团挑战时增强了内部的凝聚力和战斗力，也由于其所处的中心地理位置，使其得以兼收并蓄周边的先进文化因素，促使其文化与社会迅速发展(王巍，2004)。

在社会生产方面，跨大陆的农业交流为农业、社会的发展注入了新的活力，深刻影响了社会的发展。起源于西亚的麦类作物于距今5200年前后出现在新疆地区(Zhou等，2020)，并于距今约4000年前进入我国的中原地区(Liu等，2016)，增加了粮食产量，能够为更多的人口提供生活所需的食物资源。随着麦类作物的传入，我国中原地区实现了粟、黍、稻、麦、豆五种作物并存的农作物种植制度(秦岭，2012)，可能有益于先民抵御粮食风险。同时，羊的传入能够更有效地利用土地面积(尤其是草地)，为人类提供了更多的肉食性食物资源。

因此，即使面对距今4000年前后我国北方的季风减弱、降水减少，但环境韧性更佳的中原地区成为了各方交流的汇聚之所。同时，以麦类作物和饲羊业或畜牧业为代表的新技术的传入(图3C)，为我国北方社会的发展注入了新的活力。可见，农业的发展并非单一由“环境有利”或“环境恶化”所驱动，而是人类社会在不同环境背景下对生态约束与机遇的综合响应过程。距今3800年左右，一座规模庞大的王都——二里头出现，其内发现的大量礼仪制度用器以及高等级墓葬均表明，一个前所未有的广域王权国家——夏王朝已在中华大地诞生，即“最早的中国”(许宏，2009)，同时开启了以中原为主导并整合其他地方文明的历史进程，中华文明自此进入王国时期。

4　结论

全新世中国东部季风区降水的时空变化与中华文明演进密切相关，通过对全新世中国东部季风区古降水或湿度资料和考古资料的分析，本文主要获得以下结论：

(1) 全新世千年时间尺度中国东部季风区降水存在南北反相或者错位相的“偶极子”降水模态：北方地区中全新世降水量最多，区域最为湿润，而早、晚全新世降水较少，区域相对较为干旱；相反，南方地区中全新世降水量相对较少，区域相对干旱，而早、晚全新世降水较多，区域相对较为湿润。

(2) 我国北方和南方大致同步经历了早期农业、农业社会、古国时期和王国时期四个阶段的发展历程。经历了对植物资源的驯化，中国东部季风区在距今6000年前后形成了“南稻北粟”的农业格局。

(3) 全新世中国东部季风区的“偶极子”降水空间模态诱发了我国南、北方文明的同步发展：中全新世，北方地区丰沛的降水促进了黄河流域更适宜雨养的粟黍农业的发展；与此同时，中全新世南方地区降水减弱致使地下水位下降，水域面积减少，而区域可耕地面积增加，

反而有助于长江流域稻作农业的发展。

(4) 晚全新世东亚季风衰退背景下，人口向位于南北过渡区的中原地区集聚，推动了社会发展。同时，麦作农业和饲羊业或畜牧业的引入，推动了中华文明的加速发展和“早期中国”的出现。

当然，由于我国可信的全新世降水记录并不多，尤其是我国南方地区尤为缺少高质量的降水记录，目前本文只是框架性地提出了全新世南北降水偶极子模态促进了我国早期北方旱作农业和南方稻作农业，以及中华文明南北同步发展的基本解释。今后，仍需要更多可靠的气候记录和古气候模拟资料开展深入研究。

致谢 在论文完成的两年多时间里，感谢北京大学刘建宝教授和湖南师范大学申忠伟博士对于本文相关内容的有益讨论。

参考文献

Crawford G W, 陈雪香, 栾丰实, 等. 2013. 山东济南长清月庄遗址植物遗存的初步分析. 江汉考古, (2): 107–116

陈建徽, 饶志国, 刘建宝, 等. 2016. 全新世东亚夏季风最强盛期出现在何时?——兼论中国南方石笋氧同位素的古气候意义. 中国科学: 地球科学, 46: 1494–1504

丁金龙. 2010. 马家浜文化时期水田与稻作农业. 嘉兴学院学报, 22: 22–27

丁敏, 彭淑贞, 庞奖励, 等. 2011. 山东中部全新世环境演变与人类文化发展. 土壤通报, 42: 1281–1287

高蒙河. 2003. 长江下游考古时代的环境研究. 博士学位论文. 上海: 复旦大学

高蒙河. 2005. 长江下游考古地理. 上海: 复旦大学出版社

高玉. 2017. 环太湖地区史前稻作农业研究. 博士学位论文. 北京: 北京大学

郭荣臻, 靳桂云. 2019a. 先秦时期海岱地区的麦作农业. 第四纪研究, 39: 144–160

郭荣臻, 靳桂云. 2019b. 中原地区先秦时期麦遗存的考古学研究. 江汉考古, (3): 71–80

何介钧. 1999. 澧县城头山古城址1997~1998年度发掘简报. 文物, (6): 4–17, 1–2

何驽. 2020. 良渚文化原始民主制度崩溃原因蠡测. 中原文化研究, 8: 58–61

贺可洋, 吕厚远, 孙国平, 等. 2021. 长江三角洲良渚文化衰亡的多指标环境证据. 中国科学: 地球科学, 51: 1107–1122

湖南省文物考古研究所. 2006. 彭头山与八十垱. 北京: 科学出版社

黄荣辉, 陈际龙, 刘永. 2011. 我国东部夏季降水异常主模态的年代际变化及其与东亚水汽输送的关系. 大气科学, 35: 589–606

贾鑫, 张志平, 孙永刚, 等. 2024. 早全新世生境改善促进中国北方农牧交错带的农业起源. 中国科学: 地球科学, 54: 2574–2586

李伯谦. 2009. 中国古代文明演进的两种模式——红山、良渚、仰韶大墓随葬玉器观察随想. 文物, (3): 47–56

李伯谦. 2015. 略论陶寺遗址在中国古代文明演进中的地位. 华夏考古, (4): 17–20

李爽, 刘威, 张晓虹, 等. 2026. 自然环境变迁与中华文明的历史演进. 中国科学: 地球科学, 56: 624–640

李小强, 周新郢, 周杰, 等. 2007. 甘肃西山坪遗址生物指标记录的中国最早的农业多样化. 中国科学D辑: 地球科学, 37: 934–940

李永强. 2018. 裴李岗文化生业经济研究现状与思考. 南方文物, (4): 41–51

李韵. 2021. 国家文物局发布5项考古成果. 光明日报, 009

刘斌, 王宁远, 陈明辉, 等. 2017. 良渚: 神王之国. 中国文化遗产, (3): 4–21

刘辉. 2017. 长江中游史前城址的聚落结构与社会形态. 江汉考古, (5): 41–51

刘莉, 陈星灿. 2002. 中国早期国家的形成——从二里头和二里岗时期的中心和边缘之间的关系谈起. 古代文明辑刊, 1: 71–134

刘珍环, 李正国, 唐鹏钦, 等. 2013. 近30年中国水稻种植区域与产量时空变化分析. 地理学报, 68: 680–693

栾丰实, 王芬. 2024. 夷夏东西: 从多元到一统的重要过渡阶段. 文史哲, (5): 28–43, 165

孟华平, 黄文新, 张成明, 等. 2009. 大洪山南麓史前聚落调查——以石家河为中心. 江汉考古, (1): 3–23

潘艳, 郑云飞, 陈淳. 2013. 跨湖桥遗址的人类生态位构建模式. 东南文化, (6): 54–65

秦岭, 傅稻镰, 张海. 2010. 早期农业聚落的野生食物资源域研究——以长江下游和中原地区为例. 第四纪研究, 30: 245–261

秦岭. 2012. 中国农业起源的植物考古研究与展望. 考古学研究, (9): 260–315

邱振威, 庄丽娜, 饶慧芸, 等. 2022. 8000多年前淮河流域的水稻栽培与驯化——来自江苏韩井遗址的证据. 中国科学: 地球科学, 52: 1054–1064

社科院考古研究所. 2010. 中国考古学: 新石器时代卷. 北京: 中国社会科学出版社

石家河考古队, 北京大学考古系, 湖北省文物考古研究所, 等. 1993. 石家河遗址群调查报告. 南方民族考古, (1): 213–294+406–407+417–418

宋建. 2006. 良渚文化衰变研究. 见: 纪念良渚遗址发现七十周年学术研讨会. 杭州: 浙江省文物考古研究所. 227–237

宋建. 2017. 良渚——神权主导的复合型古国. 东南文化, (1): 6–15, 127–128

孙德海, 刘勇, 陈光唐. 1981. 河北武安磁山遗址. 考古学报, (3): 303–338, 407–414

孙国平, 梅术文, 陆雪姣, 等. 2021. 浙江余姚市井头山新石器时代遗址. 考古, (7): 3–26, 22

孙永刚. 2014. 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. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古师范大学

孙周勇, 邵晶, 邸楠. 2020. 石峁遗址的考古发现与研究综述. 中原文物, (1): 39–62

唐仲明, 王芬, 路国权, 等. 2019. 济南市章丘区焦家遗址2016~2017年聚落调查与发掘简报. 考古, (12): 3–19

王红星. 1998. 长江中游地区新石器时代遗址分布规律, 文化中心的转移与环境变迁的关系. 江汉考古, (1): 53–61

王巍. 2004. 公元前2000年前后我国大范围文化变化原因探讨. 考古, (1): 67–77

王巍, 赵辉. 2022. “中华文明探源工程”及其主要收获. 中国史研究, (4): 5–32

王炜林, 张鹏程, 袁明, 等. 2011. 陕西高陵杨官寨遗址发掘简报. 考古与文物, (6): 16–32

王遵娅, 丁一汇. 2008. 中国雨季的气候学特征. 大气科学, 32: 1–13

吴文婉. 2019. 海岱地区后李文化生业经济的研究与思考. 考古, (8): 103–115

吴文婉, 司红伟, 王书敏, 等. 2017. 江苏镇江丁家村遗址炭化植物遗存的初步分析. 东南文化, (5): 78–88, 127–128

许宏. 2004. 略论二里头时代. 三代考古, (1): 58–65

许宏. 2009. 最早的中国. 北京: 科学出版社

许宏. 2020. 二里头与中原中心的形成. 历史研究, (5): 4–11

严文明, 庄丽娜. 2006. 不懈的探索——严文明先生访谈录. 南方文物, (2): 7–14

杨青, 李小强. 2015. 黄土高原地区粟, 黍碳同位素特征及其影响因素研究. 中国科学: 地球科学, 45: 1683–1697

杨石岭, 董欣欣, 肖举乐. 2019. 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, 49: 1169–1181
姚书春, 李春海, 薛滨. 2024. 长江中下游沿江湖泊沉积物高程对全新世干流水位重建的潜在意义. 中国科学: 地球科学, 54: 2977–2988
袁靖. 2006. 中国古代的家猪起源. 西部考古, (1): 43–49
袁靖. 2012. 中华文明探源工程十年回顾: 中华文明起源与早期发展过程中的技术与生业研究. 南方文物, (4): 5–12
袁靖, 潘艳, 董宁宁, 等. 2020. 良渚文化的生业经济与社会兴衰. 考古, (2): 83–92
张弛. 2013. 屈家岭—石家河文化的聚落与社会. 考古学研究, (10): 324–351
张海. 2021. “后石家河文化”来源的再探讨. 江汉考古, (6): 118–134
张居中, 程至杰, 蓝万里, 等. 2018. 河南舞阳贾湖遗址植物考古研究的新进展. 考古, (4): 100–110
张俊娜, 夏正楷. 2011. 中原地区4 ka BP前后异常洪水事件的沉积证据. 地理学报, 66: 685–697
张小宁, 李小龙, 张镝, 等. 2023. 甘肃庆阳市南佐新石器时代遗址. 考古, (7): 29–43
张雪莲, 刘国祥, 王明辉, 等. 2017. 兴隆沟遗址出土人骨的碳氮稳定同位素分析. 南方文物, (4): 185–195
赵成双苹, 莫多闻. 2020. 长江中游江汉——洞庭盆地全新世以来水文环境演变与人类活动. 地理学报, 75: 529–543
赵辉. 1996. 良渚文化的若干特殊性——论一处中国史前文明的衰落原因. 见: 纪念良渚文化发现六十周年国际学术讨论会. 余杭: 浙江省文物考古研究所
赵辉. 2000. 以中原为中心的历史趋势的形成. 文物, (1): 41–47
赵辉. 2017. 良渚的国家形态. 中国文化遗产, (3): 22–28
赵辉. 2022. 认识中国文明的起源和早期发展. 江汉考古, (5): 3–5
赵志军. 2004. 从兴隆沟遗址浮选结果谈中国北方旱作农业起源问题. 见: 南京师范大学文博系, 编. 东亚古物(A卷). 北京: 文物出版社. 199
赵志军. 2014. 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, 34: 73–84
赵志军. 2017. 仰韶文化时期农耕生产的发展和农业社会的建立——鱼化寨遗址浮选结果的分析. 江汉考古, (6): 98–108
赵志军. 2019. 中国农业起源概述. 遗产与保护研究, 4: 1–7
赵志军. 2020. 新石器时代植物考古与农业起源研究(续). 中国农史, 39: 3–9
赵志军, 赵朝洪, 郁金城, 等. 2020. 北京东胡林遗址植物遗存浮选结果及分析. 考古, (7): 99–106
郑洪波, 周友胜, 杨青, 等. 2018. 中国东部滨海平原新石器遗址的时空分布格局——海平面变化控制下的地貌演化与人地关系. 中国科学: 地球科学, 48: 127–137
郑云飞, 蒋乐平, 郑建明. 2004. 浙江跨湖桥遗址的古稻遗存研究. 中国水稻科学, (2): 33–38
朱诚, 吴立, 李兰, 等. 2014. 长江流域全新世环境考古研究进展. 地理学报, 69: 1268–1283
An Z, Porter S C, Kutzbach J E, et al. 2000. Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon. Quat Sci Rev, 19: 743–762
Barton L, Newsome S D, Chen F H, et al. 2009. Agricultural origins and the isotopic identity of domestication in northern China. Proc Natl Acad Sci USA, 106: 5523–5528
Beck J W, Zhou W J, Li C, et al. 2018. A 550,000-year record of East Asian monsoon rainfall from ^{10}Be in loess. Science, 360: 877–881
Chen F H, Yu Z C, Yang M L, et al. 2008. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. Quat Sci Rev, 27: 351–364
Chen F H, Xu Q H, Chen J H, et al. 2015a. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation. Sci Rep, 5: 1–11
Chen F H, Dong G H, Zhang D J, et al. 2015b. Agriculture facilitated permanent human occupation of the Tibetan Plateau after 3600 B.P. Science, 347: 248–250
Chen F H, Huang L X, Cao D B, et al. 2024. “Mega-sandwich pattern” of interdecadal precipitation variations and its regional manifestation in the Asian summer precipitation region. Sci Bull, 69: 2656–2659
Chen J H, Chen F H, Feng S, et al. 2015. Hydroclimatic changes in China and surroundings during the Medieval Climate Anomaly and Little Ice Age: Spatial patterns and possible mechanisms. Quat Sci Rev, 107: 98–111
Chen J, Zhang Q, Huang W, et al. 2021. Northwestward shift of the northern boundary of the East Asian summer monsoon during the mid-Holocene caused by orbital forcing and vegetation feedbacks. Quat Sci Rev, 268: 107136
Chen X X, Yu S Y, Wang Q Z. 2020. More direct evidence for early dispersal of bread wheat to the eastern Chinese coast ca. 2460–2210 BC. Archaeol Anthropol Sci, 12: 1–12
Dai J Q, Cai X P, Jin J H, et al. 2021. Earliest arrival of millet in the South China coast dating back to 5,500 years ago. J Archaeol Sci, 129: 105356
Deng Z H, Qin L, Gao Y, et al. 2015. From early domesticated rice of the middle Yangtze Basin to millet, rice and wheat agriculture: Archaeobotanical macro-remains from Baligang, Nanyang Basin, Central China (6700–500 BC). PLoS One, 10: e0139885
Deng Z H, Yan Z H, Yu Z Y. 2020a. Bridging the gap on the southward dispersal route of agriculture in China: New evidences from the Guodishan Site, Jiangxi province. Archaeol Anthropol Sci, 12: 151
Deng Z H, Fuller D Q, Chu X L, et al. 2020b. Assessing the occurrence and status of wheat in late Neolithic central China: The importance of direct AMS radiocarbon dates from Xiazhai. Veget Hist Archaeobot, 29: 61–73
Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y. 2008. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences. Int J Climatol, 28: 1139–1161
Dong G H, Li R, Lu M X, et al. 2020. Evolution of human–environmental interactions in China from the Late Paleolithic to the Bronze Age. Prog Phys Geog, 44: 233–250
Elston R G, Dong G H, Zhang D J. 2011. Late Pleistocene intensification technologies in northern China. Quat Int, 242: 401–415
Fuller D Q, Qin L, Zheng Y F, et al. 2009. The domestication process and domestication rate in rice: Spikelet bases from the Lower Yangtze. Science, 323: 1607–1610
Guo L C, Xiong S F, Ding Z L, et al. 2018. Role of the mid-Holocene environmental transition in the decline of late Neolithic cultures in the deserts of NE China. Quat Sci Rev, 190: 98–113
Han M Y, Zhang Y, Peng J. 2024. How the enhanced East Asian summer monsoon regulates total gross primary production in eastern China. Adv Clim Change Res, 15: 244–252
He K Y, Lu H Y, Zhang J P, et al. 2017. Prehistoric evolution of the dualistic structure mixed rice and millet farming in China. Holocene, 27: 1885–1898
He K Y, Lu H Y, Jin G Y, et al. 2022. Antipodal pattern of millet and rice demography in response to 4.2 ka climate event in China. Quat Sci Rev, 295: 107786
Holdaway S, Porch N. 1995. Cyclical patterns in the Pleistocene human occupation of Southwest Tasmania. Archaeol Ocean, 30: 74–82
Hosner D, Wagner M, Tarasov P E, et al. 2016. Spatiotemporal distribution patterns of archaeological sites in China during the Neolithic and Bronze Age: An overview. Holocene, 26: 1576–1593
Hou Y D, Long H, Tsukamoto S, et al. 2024. Sahara’s surface transformation forced an abrupt hydroclimate decline and Neolithic culture transition in northern China. The Innovation, 5: 100550
Hu C Y, Henderson G M, Huang J H, et al. 2008. Quantification of Holocene Asian monsoon rainfall from spatially separated cave records. Earth Planet Sci Lett, 266: 221–232
Huang X Y, Pancost R D, Xue J T, et al. 2018. Response of carbon cycle to drier conditions in the mid-Holocene in central China. Nat Commun, 9: 1369

Jia X, Yi S W, Sun Y G, et al. 2017. Spatial and temporal variations in prehistoric human settlement and their influencing factors on the south bank of the Xar Moron River, Northeastern China. Front Earth Sci, 11: 137–147
Jia X, Li H M, Lee H F, et al. 2021. Agricultural adaptations to topography and climate changes in Central China during the mid- to late-Holocene. Holocene, 31: 1705–1715
Jia X, Zhao D S, Storozum M J, et al. 2022. The “2.8 ka BP Cold Event” indirectly influenced the agricultural exploitation during the Late Zhou Dynasty in the coastal areas of the Jianghuai Region. Front Plant Sci, 13: 902534
Jiang S W, Luo W H, Tu L Y, et al. 2018. The Holocene optimum (HO) and the response of human activity: A case study of the Huai River Basin in eastern China. Quat Int, 493: 31–38
Jiang W Y, Guo Z T, Sun X J, et al. 2006. Reconstruction of climate and vegetation changes of Lake Bayanchagan (Inner Mongolia): Holocene variability of the East Asian monsoon. Quat Res, 65: 411–420
Jin G Y, Wu W W, Zhang K S, et al. 2014. 8000-year old rice remains from the north edge of the Shandong Highlands, East China. J Archaeol Sci, 51: 34–42
Leipe C, Long T, Sergusheva E A, et al. 2019. Discontinuous spread of millet agriculture in eastern Asia and prehistoric population dynamics. Sci Adv, 5: eaax6225
Li G Q, Wang Z, Zhao W W, et al. 2020. Quantitative precipitation reconstructions from Chagan Nur revealed lag response of East Asian summer monsoon precipitation to summer insolation during the Holocene in arid northern China. Quat Sci Rev, 239: 106365
Li J Y, Yan H, Dodson J, et al. 2018a. Regional-scale precipitation anomalies in Northern China during the Holocene and possible impact on prehistoric demographic changes. Geophys Res Lett, 45: 12477–12486
Li J Y, Dodson J, Yan H, et al. 2018b. Quantitative Holocene climatic reconstructions for the lower Yangtze region of China. Clim Dyn, 50: 1101–1113
Li Q, Wu H B, Yu Y Y, et al. 2014. Reconstructed moisture evolution of the deserts in northern China since the Last Glacial Maximum and its implications for the East Asian Summer Monsoon. Glob Planet Change, 121: 101–112
Li Q, Wu H, Cheng J, et al. 2024. Hydroclimatic changes in eastern China during the Holocene based on pollen data and climate modeling. Glob Planet Change, 234: 104391
Liu H Y, Gu Y S, Huang X Y, et al. 2019. A 13,000-year peatland palaeohydrological response to the ENSO-related Asian monsoon precipitation changes in the middle Yangtze Valley. Quat Sci Rev, 212: 80–91
Liu J B, Chen J H, Zhang X J, et al. 2015. Holocene East Asian summer monsoon records in northern China and their inconsistency with Chinese stalagmite $\delta^{18}O$ records. Earth-Sci Rev, 148: 194–208
Liu J B, Shen Z W, Chen W, et al. 2021. Dipolar mode of precipitation changes between north China and the Yangtze River Valley existed over the entire Holocene: Evidence from the sediment record of Nanyi Lake. Intl J Climatol, 41: 1667–1681
Liu X K, Liu J B, Chen S Q, et al. 2020. New insights on Chinese cave $\delta^{18}O$ records and their paleoclimatic significance. Earth-Sci Rev, 207: 103216
Liu X Y, Lister D L, Zhao Z J, et al. 2016. The virtues of small grain size: Potential pathways to a distinguishing feature of Asian wheats. Quat Int, 426: 107–119
Lu F Z, Ma C M, Zhu C, et al. 2019. Variability of East Asian summer monsoon precipitation during the Holocene and possible forcing mechanisms. Clim Dyn, 52: 969–989
Lu H Y, Zhang J P, Liu K B, et al. 2009. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. Proc Natl Acad Sci USA, 106: 7367–7372
Luo W H, Yang Y Z, Yao L, et al. 2016. Phytolith records of rice agriculture during the Middle Neolithic in the middle reaches of Huai River region, China. Quat Int, 426: 133–140
Luo W H, Gu C G, Yang Y Z, et al. 2019. Phytoliths reveal the earliest interplay of rice and broomcorn millet at the site of Shuangdun (ca. 7.3–6.8 ka BP) in the middle Huai River valley, China. J Archaeol Sci, 102: 26–34
Ming G D, Zhou W J, Wang H, et al. 2020. Moisture variations in Lacustrine–eolian sequence from the Hunshandake sandy land associated with the East Asian Summer Monsoon changes since the late Pleistocene. Quat Sci Rev, 233: 106210
Munoz S E, Gajewski K, Peros M C. 2010. Synchronous environmental and cultural change in the prehistory of the northeastern United States. Proc Natl Acad Sci USA, 107: 22008–22013
Nan Q, Chen S Q, Liu X K, et al. 2025. The 4.2 ka event in the Northern Hemisphere: Spatial heterogeneity and driving mechanisms of hydroclimatic change. Earth-Sci Rev, 265: 105128
Nasu H, Momohara A, Yasuda Y, et al. 2007. The occurrence and identification of *Setaria italica* (L.) P. Beauv. (foxtail millet) grains from the Chengtoushan site (ca. 5800 cal B.P.) in central China, with reference to the domestication centre in Asia. Veget Hist Archaeobot, 16: 481–494
Peros M C, Munoz S E, Gajewski K, et al. 2010. Prehistoric demography of North America inferred from radiocarbon data. J Archaeol Sci, 37: 656–664
Prendergast M E, Yuan J R, Bar-Yosef O. 2009. Resource intensification in the Late Upper Paleolithic: A view from southern China. J Archaeol Sci, 36: 1027–1037
Qian W H, Zhu Y F. 2001. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition. Clim Change, 50: 419–444
Renfrew C, Liu B. 2018. The emergence of complex society in China: The case of Liangzhu. Antiquity, 92: 975–990
Shu P X, Wang H, Zhou W J, et al. 2021. Seasonal rainfall patterns in stable carbon isotopes in the Mu Us Desert, northern China during the early and middle Holocene. Clim Dyn, 56: 799–812
Sun J, Ma C M, Cao X Y, et al. 2019. Quantitative precipitation reconstruction in the east-central monsoonal China since the late glacial period. Quat Int, 521: 175–184
Sun Q L, Liu Y, Wünnemann B, et al. 2019. Climate as a factor for Neolithic cultural collapses approximately 4000 years BP in China. Earth-Sci Rev, 197: 102915
Surovell T A, Brantingham P J. 2007. A note on the use of temporal frequency distributions in studies of prehistoric demography. J Archaeol Sci, 34: 1868–1877
Tang L, Lu H L, Song J X, et al. 2021. The transition to a barley-dominant cultivation system in Tibet: First millennium BC archaeobotanical evidence from Bangga. J Anthropol Archaeol, 61: 101242
Tian S, Xiao G, Yin Q, et al. 2023. ENSO-related East Asian climate transition at ~3600 B.P. and its implications for the rise of pastoralism in North China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 630: 111810
Wagner M, Tarasov P, Hosner D, et al. 2013. Mapping of the spatial and temporal distribution of archaeological sites of northern China during the Neolithic and Bronze Age. Quat Int, 290–291: 344–357
Wang B, Clemens S C, Liu P. 2003. Contrasting the Indian and East Asian monsoons: Implications on geologic timescales. Mar Geol, 201: 5–21
Wang C, Lu H Y, Zhang J P, et al. 2014. Prehistoric demographic fluctuations in China inferred from radiocarbon data and their linkage with climate change over the past 50,000 years. Quat Sci Rev, 98: 45–59
Wang C, Lu H Y, Gu W F, et al. 2018. Temporal changes of mixed millet and rice agriculture in Neolithic-Bronze Age Central Plain, China: Archaeobotanical evidence from the Zhuzhai site. Holocene, 28: 738–754

Wang H P, Chen J H, Zhang X J, et al. 2014. Palaeosol development in the Chinese Loess Plateau as an indicator of the strength of the East Asian summer monsoon: Evidence for a mid-Holocene maximum. Quat Int, 334-335: 155–164
Wang W, Liu L N, Li Y Y, et al. 2019. Pollen reconstruction and vegetation dynamics of the middle Holocene maximum summer monsoon in northern China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 528: 204–217
Wang X, Fuller B T, Zhang P C, et al. 2018. Millet manuring as a driving force for the Late Neolithic agricultural expansion of north China. Sci Rep, 8: 5552
Wen R L, Xiao J L, Fan J W, et al. 2017. Pollen evidence for a mid-Holocene East Asian summer monsoon maximum in northern China. Quat Sci Rev, 176: 29–35
Wu W X, Liu T S. 2004. Possible role of the “Holocene Event 3” on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China. Quat Int, 117: 153–166
Wu X H, Zhang C, Goldberg P, et al. 2012. Early pottery at 20,000 years ago in Xianrendong Cave, China. Science, 336: 1696–1700
Xia D S, Jia J, Li G H, et al. 2014. Out-of-phase evolution between summer and winter East Asian monsoons during the Holocene as recorded by Chinese loess deposits. Quat Res, 81: 500–507
Xiao J L, Fan J W, Zhai D Y, et al. 2015. Testing the model for linking grain-size component to lake level status of modern clastic lakes. Quat Int, 355: 34–43
Xie S C, Evershed R P, Huang X Y, et al. 2013. Concordant monsoon-driven postglacial hydrological changes in peat and stalagmite records and their impacts on prehistoric cultures in central China. Geology, 41: 827–830
Xu D K, Lu H Y, Chu G Q, et al. 2019. Synchronous 500-year oscillations of monsoon climate and human activity in Northeast Asia. Nat Commun, 10: 4105
Xu H, Song Y, Cao J, et al. 2024. Heterogeneity of the East Asian rainfall influenced by solar-forced western Pacific subtropical high. Commun Earth Environ, 5: 521
Xu Q H, Xiao J L, Li Y C, et al. 2010. Pollen-based quantitative reconstruction of Holocene climate changes in the Daihai Lake area, Inner Mongolia, China. J Clim, 23: 2856–2868
Yang J S, Zhang D J, Yang X Y, et al. 2022. Sustainable intensification of millet–pig agriculture in Neolithic North China. Nat Sustain, 5: 780–786
Yang X Y, Wan Z W, Perry L, et al. 2012. Early millet use in northern China. Proc Natl Acad Sci USA, 109: 3726–3730
Yang X Y, Chen Q H, Ma Y C, et al. 2018. New radiocarbon and archaeobotanical evidence reveal the timing and route of southward dispersal of rice farming in south China. Sci Bull, 63: 1495–1501
Yao F L, Ma C M, Zhu C, et al. 2017. Holocene climate change in the western part of Taihu Lake region, East China. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol, 485: 963–973
Yu S Y, Li W J, Zhou L, et al. 2023. Human disturbances dominated the unprecedentedly high frequency of Yellow River flood over the last millennium. Sci Adv, 9: eadf8576
Yu J, Yu Y Y, Wu H B, et al. 2022. Spatiotemporal changes in early human land use during the Holocene throughout the Yangtze River Basin, China. Holocene, 32: 334–345
Yu Y, Yu J, Wu H, et al. 2024. Asynchronous Holocene human population changes in north and south China as related to animal resource utilization. Glob Planet Change, 235: 104403
Zhang D J, Chen F H. 2022. Intensive millet-pig systems supported the rise of complex societies in North China. Nat Sustain, 5: 739–740
Zhang H W, Cheng H, Sinha A, et al. 2021. Collapse of the Liangzhu and other Neolithic cultures in the lower Yangtze region in response to climate change. Sci Adv, 7: eabi9275
Zhang J P, Huan X J, Lü H Y, et al. 2022. Crossing of the Hu line by Neolithic population in response to seesaw precipitation changes in China. Sci Bull, 67: 844–852
Zhang J, Jiang L, Yu L, et al. 2024. Rice’s trajectory from wild to domesticated in East Asia. Science, 384: 901–906
Zhang P, Cheng H, Edwards R L, et al. 2008. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record. Science, 322: 940–942
Zhang Q, Zheng Y J, Singh V P, et al. 2017. Summer extreme precipitation in eastern China: Mechanisms and impacts. J Geophys Res-Atmos, 122: 2766–2778
Zhang Z P, Liu J B, Chen J, et al. 2021. Holocene climatic optimum in the East Asian monsoon region of China defined by climatic stability. Earth-Sci Rev, 212: 103450
Zhang Z P, Shen Z W, Zhang S, et al. 2023. Lake level evidence for a mid-Holocene East Asian summer monsoon maximum and the impact of an abrupt late-Holocene drought event on prehistoric cultures in north-central China. Holocene, 33: 382–399
Zhang Z X, Zhang Z P, Xu J H, et al. 2024. A review of paleofloods in the middle-lower reaches of the Yangtze River during the Holocene: Processes, causes and effects. Quat Sci Rev, 345: 109019
Zhang H B, Griffiths M L, Chiang J C H, et al. 2018. East Asian hydroclimate modulated by the position of the westerlies during Termination I. Science, 362: 580–583
Zhao Y, Yu Z C, Chen F H, et al. 2009. Vegetation response to Holocene climate change in monsoon-influenced region of China. Earth-Sci Rev, 97: 242–256
Zhao Z J. 1998. The Middle Yangtze region in China is one place where rice was domesticated: Phytolith evidence from the Diaotonghuan Cave, Northern Jiangxi. Antiquity, 72: 885–897
Zheng Y F, Sun G P, Qin L, et al. 2009. Rice fields and modes of rice cultivation between 5000 and 2500 BC in east China. J Archaeol Sci, 36: 2609–2616
Zhou W J, Yu X F, Jull A J T, et al. 2004. High-resolution evidence from southern China of an early Holocene optimum and a mid-Holocene dry event during the past 18,000 years. Quat Res, 62: 39–48
Zhou W J, Xie S C, Meyers P A, et al. 2005. Reconstruction of late glacial and Holocene climate evolution in southern China from geolipids and pollen in the Dingnan peat sequence. Org Geochem, 36: 1272–1284
Zhou X. 2012. Asian monsoon precipitation changes and the Holocene methane anomaly. Holocene, 22: 731–738
Zhou X, Sun L G, Zhan T, et al. 2016. Time-transgressive onset of the Holocene Optimum in the East Asian monsoon region. Earth Planet Sci Lett, 456: 39–46
Zhou X Y, Yu J J, Spengler R N, et al. 2020. 5,200-year-old cereal grains from the eastern Altai Mountains redate the trans-Eurasian crop exchange. Nat Plants, 6: 78–87
Zhu Y L, Wang H J, Zhou W, et al. 2011. Recent changes in the summer precipitation pattern in East China and the background circulation. Clim Dyn, 36: 1463–1473
Zhu Z M, Feinberg J M, Xie S C, et al. 2017. Holocene ENSO-related cyclic storms recorded by magnetic minerals in speleothems of central China. Proc Natl Acad Sci USA, 114: 852–857
Zong Y B, Yao S K, Crawford G W, et al. 2017. Selection for oil content during soybean domestication revealed by X-ray tomography of ancient beans. Sci Rep, 7: 43595
Zuo X X, Lu H Y, Jiang L P, et al. 2017. Dating rice remains through phytolith carbon-14 study reveals domestication at the beginning of the Holocene. Proc Natl Acad Sci USA, 114: 6486–6491

（责任编委：秦岭）