



4.2和8.2 ka事件时期东亚季风区水文气候空间模态差异

南琪^{1,2}, 陈圣乾^{1*}

1. 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, 北京 100101

2. 中国科学院大学, 北京 100049

* 通讯作者, E-mail: sqchen@itpcas.ac.cn

2025-09-04收稿, 2026-02-09修回, 2026-02-28接受, 2026-05-20网络版发表

国家自然科学基金项目(42522107)资助

全新世始于~11.7 ka BP(“ka”表示千年, “BP”指距1950年), 早期学界普遍认为该阶段气候温和且相对稳定(Dansgaard等, 1993)。随着研究深入, 越来越多证据表明全新世期间快速气候事件频发(Bond等, 1997, 2001; O’ Brien等, 1995)。Bond等(1997, 2001)重建了全新世北大西洋冰筏碎屑记录, 共识别出九次变冷事件。其中, 发生在~8.2和4.2 ka BP的两次事件引发了广泛关注。前者被认为是全新世变化幅度最大的气候事件(Schulting等, 2025), 后者则与世界范围内史前人类社会衰落或转型密切相关(Nan等, 2025; Weiss, 2016)。国际地层委员会也依据这两次事件将全新世划分为早、中、晚三个阶段(Walker等, 2018)。在东亚季风区, 东亚夏季风在8.2和4.2 ka事件期间均发生不同程度减弱(Wang等, 2005)。探讨这两次典型弱季风事件时期东亚季风区水文气候变化的空间特征, 既有助于揭示不同驱动因素背景下季风气候系统对全球气候突变事件的响应过程, 也为深入探究气候快速变化对史前人类社会发展的影响奠定基础。因此, 对8.2和4.2 ka事件东亚季风区水文气候变化空间模态特征及其可能差异的分析已然成为当前研究热点和前沿(樊倍希等, 2025; 何鹏等, 2019; Chen等, 2023; He等, 2022; Nan等, 2025; Pan等, 2023; Parker和Harrison, 2022; Sun等, 2019; Weiss, 2022)。

迄今为止, 学界已围绕4.2 ka事件时期东亚季风区水文气候空间模态开展了大量研究。初期, 学者倾向于认为受东亚夏季风减弱影响, 该事件在东亚季风区表现为大范围干旱(Sun等, 2019; Weiss, 2022)。近年来, 随着聚焦于4.2 ka事件的高质量古气候记录的增加, 东亚季风区呈现“南涝北旱”偶极子模态的观点占据主导地位(Nan等, 2025)(图1A)。古气候模拟结果与地质记录保

持一致(图1B)。过去21000年气候瞬变模拟(TraCE-21 ka)全强迫试验与通用地球系统模式(CESM1.2)淡水强迫试验均揭示了4.2 ka事件时期东亚季风区南北反向的水文气候特征(何鹏等, 2019; Chen等, 2023)。追根溯源, 东亚季风区水文气候空间异质性实则为季风动力过程调控的结果(曹博文等, 2023; Chen等, 2015; Wu等, 2019)。减弱(增强)的大西洋经向翻转流、负位相(正位相)的大西洋年代际振荡以及暖位相(冷位相)的厄尔尼诺-南方涛动等海气系统内部变率往往会导致东亚夏季风减弱(增强), 从而引发季风雨带南(北)移, 最终于东亚季风区形成“南涝北旱”(“北涝南旱”)的降水格局(曹博文等, 2023; Chen等, 2015; Wu等, 2019)。可见, 东亚季风区水文气候变化的经向分异模态是对东亚夏季风强度变化的固有响应模式。

然而, 于8.2 ka事件而言, 目前地质记录与古气候模拟结果之间还存在显著矛盾(图1)。地质记录展现的8.2 ka事件水文气候空间模态以一致变干为主(图1A)。例如, Parker和Harrison(2022)对全球275条石笋记录进行综合分析, 指出亚洲区域的16条 $\delta^{18}\text{O}$ 记录中, 13条记录的 $\delta^{18}\text{O}$ 值在8.2 ka事件时期显著正偏, 指示季风降水的一致减少。又如, Pan等(2023)于东亚季风区收集了6条覆盖8.2 ka事件的石笋记录, 发现无论是北部莲花洞(山西)、东石崖洞以及张家洞, 还是南部和尚洞、莲花洞(湖南)与董哥洞, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值均一致正偏, 故提出8.2 ka事件时期东亚季风区表现为空间一致变干。不同于地质记录呈现的空间同质性, 古气候模型模拟结果表明, 8.2 ka事件时期东亚季风区水文气候变化存在空间异质性(图1B)。何鹏等(2019)利用TraCE-21 ka模拟了8.2 ka事件发生前后东亚季风区夏季降水空间分布特征, 发现该事件时期, 东

中文引用格式: 南琪, 陈圣乾. 2026. 4.2和8.2 ka事件时期东亚季风区水文气候空间模态差异. 中国科学: 地球科学, 56(6): 2360–2362, doi: 10.1360/SSTe-2025-0280

英文引用格式: Nan Q, Chen S. 2026. Differences in hydroclimatic spatial patterns of the East Asian monsoon region during the 4.2 and 8.2 ka events. Science China Earth Sciences, 69(6): 2315–2317, <https://doi.org/10.1007/s11430-025-1887-3>

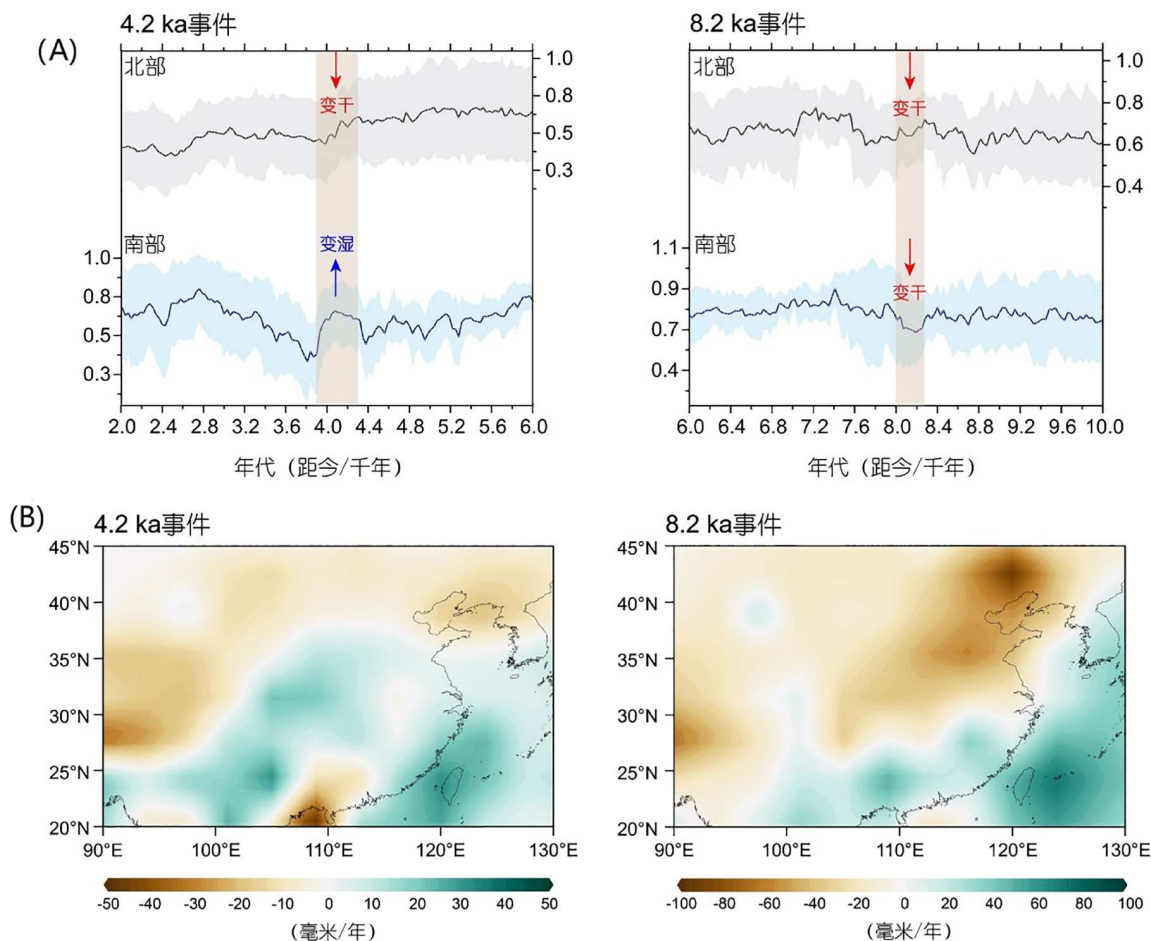


图1 东亚季风区4.2 ka事件和8.2 ka事件水文气候记录集成与模型模拟结果对比。(A) 古气候记录集成的4.2 ka事件(修改自Nan等, 2025)和8.2 ka事件(本研究; 网络版补充材料, 附表S1)东亚季风区水文气候变化曲线。纵坐标为标准值, 值越大(小)表明气候条件越湿润(干旱)。橘色条带分别指示4.2 ka事件和8.2 ka事件。以30°N为界将东亚季风区划分为北部和南部(Nan等, 2025); (B) TraCE-21 ka模拟的4.2 ka事件和8.2 ka事件东亚季风区年均降水变化(4.2 ka事件相对于6.0–4.0 ka BP; 8.2 ka事件相对于9.3–9.1 ka BP; 毫米/年)(He等, 2022)

亚夏季风与西太平洋副高的减弱共同形成了“南涝北旱”的偶极子模态。类似的, Chen等(2023)基于CESM敏感试验提出8.2 ka事件时期, 北大西洋淡水注入引发东亚夏季风减弱, 进而导致长江中下游区域水汽输送增加, 东亚季风区北部则表现为降水减少。显然, 地质记录所反映的8.2 ka事件时期东亚季风区空间一致变干模态与模型模拟结果之间存在显著差异, 这种同质性似乎也不符合该区域水文气候对东亚夏季风减弱的经向分异响应模式(4.2 ka事件)。鉴于此, 未来应进一步从地质记录角度出发探究8.2 ka事件在东亚季风区的水文气候空间表现。

需要强调的是, 8.2 ka事件时期东亚季风区表现为空间一致变干的结论主要基于石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录(Pan等, 2023; Parker和Harrison, 2022)(图1A)。尤其在东亚季风区南部, 几乎所有记录均来自石笋(网络版附图S1, 附表S1)。然而, 当前学界普遍认为石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 指标主要反映季风环

流变化而非直接指示当地降水量(Liu等, 2020), 削弱了东亚季风区一致变干结论的可信度。此外, 东亚季风区南部存在一些反映局地水文气候变化的单点记录指示8.2 ka事件可能表现为变湿。例如, 神农架大九湖泥炭的藁类累积速率在8.2 ka事件时期较低, 暗示湿润的水文气候条件(Xie等, 2013)。与此同时, 长江下游南漪湖的地球化学指标(Rb/Sr与化学风化指数)亦表明该区域在该事件期间呈现出湿润的气候特征(Liu等, 2021)。遗憾的是, 这些记录普遍存在时间分辨率较低的问题, 在指示8.2 ka事件时期水文气候变化方面仍存在不确定性。可见, 基于现有地质记录尚且难以厘清8.2 ka事件在东亚季风区的水文气候空间表现, 其根本原因在于东亚季风区南部聚焦于8.2 ka事件的多指标、高分辨率水文气候记录的缺乏, 未来迫切需要加强该方面研究。

综上所述, 尽管4.2和8.2 ka事件均为弱东亚夏季风事

件,但地质记录所揭示的空间模态截然不同:前者以显著水文气候空间异质性为主要特征,后者则以空间一致变干为主流观点。重要的是,地质记录所反映的8.2 ka事件期间水文气候的空间一致性与模型模拟所展现的空间异质性明显不符。这一矛盾或许暗示了该事件时期东亚季风区水文气候对季风动力学机制的非线性响应,但当前缺乏证据支撑。此外,即便东亚季风区南部存在指示8.2 ka事件变湿的泥炭和湖泊记录,但其时间分辨率较低,故该时期东亚季风区水文气候空间模态仍以基于反映大尺度气候变化的石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录所得的一致变干为主。因此,未来亟需基于具有明确指示意义的多种代用指标,在东亚季风区南部开展8.2 ka事件时期水文气候变化的高分辨率重建,以明晰该事件在东亚季风区的水文气候空间特征,在此基础上解释并调和记录-模型在反映8.2 ka事件水文气候空间格局方面的争议,进而深化对快速气候事件背景下东亚季风区水文气候响应机理的认识。

致谢 感谢天津师范大学刘小康副教授、南京师范大学张志平副教授、阜阳师范大学马帅博士与湖南师范大学申忠伟博士的指导和有益探讨。感谢审稿人对论文提出的宝贵修改意见和建议。

补充材料 补充材料为作者提供的原始数据,作者对其学术质量和内容负责,详见网络版(<http://earthcn.scichina.com>)。

参考文献

- 曹博文,严蜜,刘征宇,等. 2023. 过去千年东亚季风环流与内部变率对中国东部年代际降水分型的影响研究. *第四纪研究*, 43: 1076–1088
- 樊倍希,杨保,王丰,等. 2025. 基于东亚季风区石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的8.2和4.2 ka BP气候事件的时空特征研究. *中国科学: 地球科学*, 55: 2962–2976
- 何鹏,刘健,刘斌,等. 2019. 典型突变事件下北半球季风降水的变化对比. *第四纪研究*, 39: 1372–1383
- Bond G, Showers W, Cheseby M, et al. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial Climates. *Science*, 278: 1257–1266
- Bond G, Kromer B, Beer J, et al. 2001. Persistent solar influence on North Atlantic Climate during the Holocene. *Science*, 294: 2130–2136
- Chen C, Zhao W, Zhang X. 2023. Orbital effect on North Atlantic freshwater forced millennial-scale East Asian summer monsoon variability during the Holocene. *J Geophys Res Atmos*, 128: e2022JD037413
- Chen J, Chen F, 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
- Dansgaard W, Johnsen S J, Clausen H B, et al. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364: 218–220
- He P, Liu J, Wang B, et al. 2022. Understanding global monsoon precipitation changes during the 8.2 ka event and the current warm period. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 586: 110757
- Liu J, Shen Z, 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, Liu J, Chen S, et al. 2020. New insights on Chinese cave $\delta^{18}\text{O}$ records and their paleoclimatic significance. *Earth-Sci Rev*, 207: 103216
- Nan Q, Chen S, Liu X, 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
- O'Brien S R, Mayewski P A, Meeker L D, et al. 1995. Complexity of Holocene Climate as reconstructed from a Greenland Ice core. *Science*, 270: 1962–1964
- Pan L, Zhao J, Yang Y, et al. 2023. Different responses of precipitation patterns to the East Asian summer monsoon weakening: The 7.2 and 8.2 ka events. *Quat Sci Rev*, 319: 108329
- Parker S E, Harrison S P. 2022. The timing, duration and magnitude of the 8.2 ka event in global speleothem records. *Sci Rep*, 12: 10542
- Schulting R J, Tarasov P E, Weber A W. 2025. The great divide? Differences in environmental and hunter-gatherer responses to the 8.2 ka BP event between northwestern and northeastern Eurasia. *Quat Environ Hums*, 3: 100067
- Sun Q, 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
- Walker M, Head M J, Berkelhammer M, et al. 2018. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): Two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes*, 41: 213–223
- Wang Y, Cheng H, Edwards R L, et al. 2005. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic Climate. *Science*, 308: 854–857
- Weiss H. 2016. Global megadrought, societal collapse and resilience at 4.2–3.9 ka BP across the Mediterranean and west Asia. *PAGES Mag*, 24: 62–63
- Weiss H. 2022. The East Asian summer monsoon, the Indian summer monsoon, and the midlatitude westerlies at 4.2 ka BP. *Proc Natl Acad Sci USA*, 119: e2200796119
- Wu Y, Ji H, Wen J, et al. 2019. The characteristics of regional heavy precipitation events over eastern monsoon China during 1960–2013. *Glob Planet Change*, 172: 414–427
- Xie S, Evershed R P, Huang X, 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

(责任编辑: 王会军)