

# 时间尺度的纽带：亚轨道尺度全新世亚洲季风降水的空间分异特征

李彦斌<sup>1,2</sup>, 吕雁斌<sup>2,3</sup>, 黄春菊<sup>4</sup>

1. 中国地质大学(武汉) 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074

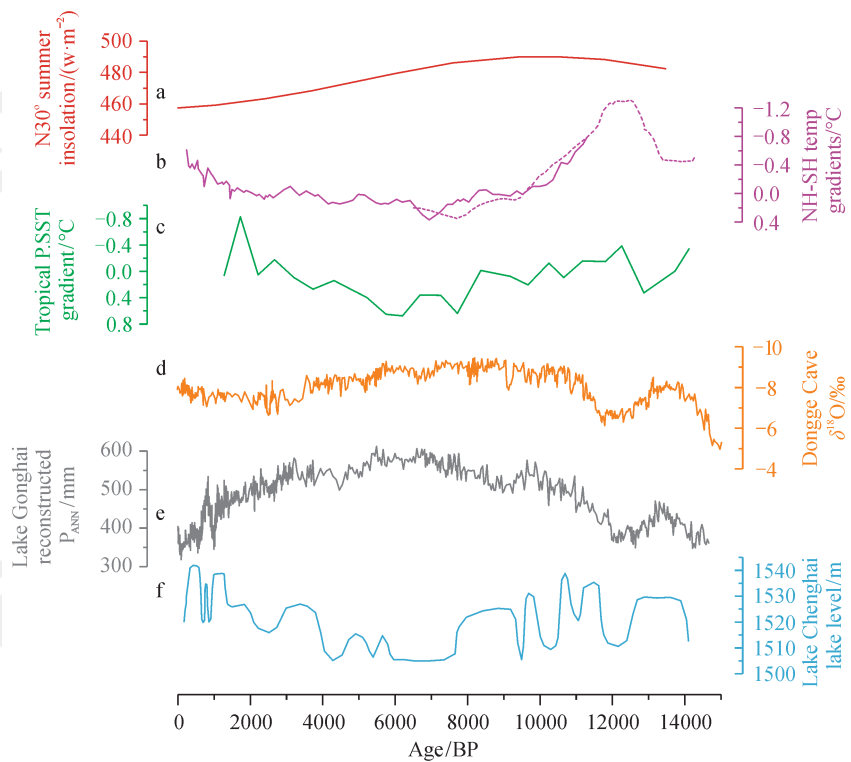
2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

3. 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心, 西安 710061

4. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 生物地质与环境地质国家重点实验室, 武汉 430074

东亚是全球人口数量和密度最大的地区之一,解析该地区水文气候变化历史、过程、规律及其驱动机制不仅对区域工农业规划和生态文明建设至关重要,对研究亚洲夏季风穿时性、全新世气候适宜期和中国南北气候变化相位关系等经典科学问题亦具有重要意义。传统观点认为轨道尺度亚洲夏季风降水变化趋势主要受控于北半球太阳辐射量的变化,呈现出较强的空间相似性。然而,在年代际尺度(Qian and Lin, 2005)以及过去2000年的百年尺度,我国季风区南、北降雨变化都存在反相位的空间差异性(Tan et al, 2018a)。亚洲季风降水空间格局在不同时间尺度的非一致性表现及其背后的驱动机制是深入理解亚洲季风动力学的重要抓手之一。

亚轨道尺度作为轨道尺度与百年、年代际尺度气候变化的纽带,是理解亚洲季风时空格局非一致性问题的关键时间维度。最近, Xu et al (2020) 在云南程海的研究发现了我国季风降水亚轨道尺度的空间格局的重要证据。该研究独树一帜,采取<sup>14</sup>C、光释光(OSL)和U/Th多维年代学系统集成,精确地构建了程海古湖岸阶地的年龄框架。不仅如此,他们还结合现代湖水及水生生物的碳库评估以及湖泊东北岸的洞穴石笋沉积来佐证岸边地质记录的程海水位变化历史:当湖水水位下降,洞穴出露时石笋开始生长;反之,当水位上涨淹没洞穴石笋时,石笋停止生长。该研究精细的年代学工作在国际古湖岸研究中属于珍贵的高质量重建工作,在古湖岸-年代学方面为亚洲季风区全新世的湖泊水位演化提供了比较基准。进一步比较分析显示:中国南方季风区中全新世暖期湖泊水



a: 30°N 夏季太阳辐射量 (Berger, 1978); b: 南-北半球温度梯度差异 (Shakun et al, 2012; McGee et al, 2014); c: 标准化的热带太平洋海表面温度梯度差异 (Koutavas and Joanides, 2012); d: 董哥洞石笋  $\delta^{18}\text{O}$  记录 (Dykoski et al, 2005); e: 基于孢粉重建的公海年降水量 (Chen et al, 2015); f: 云南程海水位变化历史 (Xu et al, 2020)。

图1 副热带东亚地区水文气候长期变化趋势及其驱动机制

位总体偏低、气候偏干，而晚全新世水位显著升高（图 1f）。然而，这一结果与石笋氧同位素记录的亚洲季风强度变化（Dykoski et al, 2005）以及中国北方湖泊水位变化相反（Chen et al, 2015; Goldsmith et al, 2017），揭示出在全新世亚轨道尺度上，中国季风区南、北方水文变化的跷跷板关系（图 1）。无独有偶，我国季风区南部与北部降水变化趋势在小冰期和 4.2 ka 冷事件（Tan et al, 2018b），以及冰期中止期 I（Termination I）（Zhang et al, 2018）温度突变背景下都呈现出反相位的关系，这为理解西风急流与亚洲季风的交互关系提供了关键证据。

亚洲季风亚轨道尺度的空间分异为进一步理解亚洲季风的动力学机制提供了一条新的思路。Xu et al（2020）指出温度梯度是亚洲季风系统的核心动力参数，其通过改变副热带高压的位置来调控亚洲季风降水的空间分异。目前，覆盖各个时间尺度的可靠温度记录稀疏，位于副热带高压核心区域的关键数据亦缺乏。随着温度指标可靠性和适用性的不断进步，亚洲季风动力学的发展也将迎来新契机。围绕降水代用指标的亚洲季风研究已经取得了辉煌的成绩，而对温度时空演变的探索很可能成为下一阶段季风动力学研究的罗塞塔石碑。

**致谢：**本文得到中国科学院人才项目和陕西省杰出青年科学基金项目（2018JC-023）的支持。

### 参考文献

- Berger A L. 1978. Long-term variations of caloric insolation resulting from the earth's orbital elements [J]. *Quaternary Research*, 9(2): 139–167.
- Chen F H, Xu Q H, Chen J H, et al. 2015. East Asian summer monsoon precipitation variability since the last deglaciation [J]. *Scientific Reports*, 5: 11186. DOI: 10.1038/srep11186.
- Dykoski C A, Edwards R L, Cheng H, et al. 2005. A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 233(1/2): 71–86.
- Goldsmith Y, Broecker W S, Xu H, et al. 2017. Northward extent of East Asian monsoon covaries with intensity on orbital and millennial timescales [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(8): 1817–1821.
- Koutavas A, Joannides S. 2012. El Niño-Southern Oscillation extrema in the Holocene and Last Glacial Maximum [J]. *Paleoceanography*, 27(4). DOI: 10.1029/2012PA002378.
- McGee D, Donohoe A, Marshall J, et al. 2014. Changes in ITCZ location and cross-equatorial heat transport at the Last Glacial Maximum, Heinrich Stadial 1, and the mid-Holocene [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 390: 69–79.
- Qian W, Lin X. 2005. Regional trends in recent precipitation indices in China [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 90(3/4): 193–207.
- Shakun J D, Clark P U, He F, et al. 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation [J]. *Nature*, 484(7392): 49–54.
- Tan L C, Cai Y J, Cheng H, et al. 2018a. High resolution monsoon precipitation changes on southeastern Tibetan Plateau over the past 2300 years [J]. *Quaternary Science Reviews*, 195: 122–132.
- Tan L C, Cai Y J, Cheng H, et al. 2018b. Centennial- to decadal-scale monsoon precipitation variations in the upper Hanjiang River region, China over the past 6650 years [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 482: 580–590.
- Xu H, Goldsmith Y, Lan J H, et al. 2020. Juxtaposition of western Pacific subtropical high on Asian summer monsoon shapes subtropical east Asian precipitation [J]. *Geophysical Research Letters*, 47(3). DOI: 10.1029/2019GL084705.
- 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 [J]. *Science*, 362(6414): 580–583.