

探寻中更新世气候转型之谜

第四纪以来（距今 260 万年）地球气候经历了大幅的冰期 - 间冰期波动，最引人注目的是距今 1.2—0.7 Ma（百万年）期间冰盖消长、海温变化等由对称的 4 万年波动转变为不对称的 10 万年旋回，简称为中更新世转型（Mid-Pleistocene Transition, MPT）。2005 年美国《Science》杂志在庆祝创刊 125 周年之际，公布了未来亟需解决的 125 个重要的科学难题，其中“*What causes ice ages? 是什么引发了 10 万年冰期旋回?*”，与中更新世气候转型密切相关。经典的米兰科维奇理论认为北半球高纬夏季太阳辐射是驱动全球气候变化的主要诱因，然而，具有准 10 万年周期的偏心率引起的太阳辐射变化甚微，不足以导致 10 万年冰期气候旋回的发生。因此，中更新世气候转型及 10 万年冰期旋回出现的诱发机理，一直是困扰古气候研究的谜题。

近 10 年来，中科院地球环境研究所孙有斌研究员团队与美国和比利时科学家合作，聚焦黄土高原西北部巨厚的黄土沉积，通过环境钻探获取了靖远 430 米高质量岩心，结合古地磁、 $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 定年和黄土 - 古土壤地层对比构建黄土发育的年代标尺。利用高分辨率黄土碳酸盐碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$) 记录，重建了过去 1.7 Ma 以来季风降水影响的植被变化，揭示出在 1.2 Ma 以前以 2 万年周期为主，到 0.7 Ma 以后表现为混合的 10 万年、4 万年和 2 万年周期，显著不同于深海氧同位素和太阳辐射的周期演化。通过数值模拟实验，揭示出轨道强迫、冰盖及 CO_2 浓度对温度和降水变化的影响存在空间差异，就中国北方而言，温度变化由岁差和 CO_2 调控，而降水则主要受岁差影响，中更新世之后的冰盖扩张和 CO_2 浓度降低，抑制了耦合的季风 - 植被演化对太阳辐射的直接响应。

2019 年 1 月 21 日，《Nature Communications》杂志在线发表了中国科学院地球环境研究所孙有斌研究员团队与比利时和美国科学家合作完成的研究论文“*Diverse manifestations of the Mid-Pleistocene climate transition*”。该论文提出了“中更新世气候转型多样性表现”的新概念，强调了冰盖消长和温室气体浓度变化会改变地球气候系统尤其是低纬水文循环对外部强迫的响应，为理解过去季风变化机理和预测未来气候变化趋势提供了新视角。该工作得到科技部重点研发计划（2016YFA0601902）和国家自然科学基金项目（41472163, 41525008, 41572164）的支持。

（孙有斌, sunyb@ieecas.cn, DOI: 10.7515/JEE193001）

探究亚洲沙尘积雪反馈对印度夏季风爆发的影响机理

亚洲作为沙尘的重要源区之一，该区域广泛分布的大气沙尘对局地气候变化作用显著。在地质历史时期（如冰期 - 间冰期循环），亚洲沙尘更被认为是左右全球气候变化的重要因子之一。一直以来，亚洲沙尘的气候效应得到科学界广泛关注。沙尘和黑碳等吸收性气溶胶可以沉降在积雪上，使积雪变脏，降低其反照率，同时吸热使雪表增暖，最终促进积雪融化从而改变区域能量分布，影响气候，这种气溶胶 - 积雪反馈被称为“融雪剂”效应。得益于人类活动的加剧，黑碳的积雪反馈已被研究工作证实，但沙尘的积雪反馈到底如何

仍不甚清楚。

中科院地球环境研究所石正国研究员等利用公用气候模式对沙尘的直接辐射效应和积雪反馈对印度夏季风的影响进行评估。结果表明：沙尘的积雪反馈会显著削弱爆发阶段的印度夏季风环流和降水。这是由于春季中亚内陆沙尘源区，存在大量沙尘沉降与广泛的积雪分布，因此沙尘导致的变暖范围可向西延伸至里海附近。变暖中心及范围的扩张显著调制了大气环流形式的响应，来自寒冷干旱中亚大陆的分支增强而来自暖湿印度洋的分支减弱，最终使得印度夏季风降水减少。相反，黑碳的积雪反馈导致高原积雪减少，高原热源加强，有利于印度夏季风爆发，二者区别主要来自于其空间分布差异。对于直接辐射效应来说，沙尘通过使阿拉伯半岛变暖促进水汽向印度大陆的传输，有利于季风降水形成。

该文以《*Snow-darkening versus direct radiative effects*