

黄河季节性河水化学揭示温度对 Li 同位素变化的控制

硅酸盐岩风化被认为是维持地质时间尺度地球宜居性和碳循环的关键过程之一，也是地球关键带的核心过程，是驱动物质循环和气候变化的重要因子，成为系统地球科学和地表地球动力学领域研究的重大基础理论前沿之一。然而，硅酸盐岩风化的控制机理一直存在争论，现有风化动力学无法解释大陆风化与受气候和构造抬升制约的剥蚀之间的复杂关系。因此，开发示踪硅酸盐风化新手段，评估化学风化的强度和通量，是深刻理解化学风化通量与大气 CO₂ 之间负反馈机制的关键。

锂 (Li) 主要赋存在硅酸盐岩矿物中，碳酸盐矿物中含量少，其 ⁷Li 和 ⁶Li 两个同位素相对质量差达到 16.7%，在地表过程中分馏大，不受氧化还原作用和生物作用影响，被认为是示踪硅酸盐岩风化最具潜力的指标之一，是近几年表生地球化学研究的热点之一。相关研究主要集中于河水化学、风化壳、海洋沉积物等。然而，已有的河水 Li 同位素示踪大陆风化的研究主要来自空间上瞬时样品，受岩性、气候、水文等因素的影响，对于 Li 同位素如何反映硅酸盐风化还未达成共识，甚至出现了相互矛盾的观点。

黄河中游流经黄土高原，黄土具有较为均一的、可以代表上地壳的元素及 Li 同位素组成，并得益于季风造成的强烈季节性气候反差，使得 Li 同位素示踪陆壳尺度上硅酸盐风化成为可能。中国科学院地球环境研究所地表过程与化学风化研究团队，联合伦敦大学学院和法国 Centre National de la Recherche Scientifique 等利用 2013 年在黄河中游收集的每周一次的黄河河水和悬浮物样品，结合实时监测温度、径流等参数，解析了黄河河水中 Li 的来源，并揭示了温度对河水 Li 同位素的直接控制。

研究表明：黄河河水 Li 主要来源于黄土的硅酸盐风化（占比约 60%），另一个重要的来源是蒸发岩的溶解（占比约 25%），其同位素呈现出约 5‰ 的季节变化。最重要的是，首次在黄河中观察到了温度对河水 Li 同位素组成季节性变化的控制，弥补了标准同位素分馏效应预测的缺失。由此提出，在新生代全球温度大约下降 15℃ 的情形下，河水 Li 同位素季节性变化本身可以解释新生代全球海水 Li 同位素 9‰ 上升的约四分之一，这为海洋 Li 同位素组成变化提供了新的线索。

该研究成果以《Li isotopes in the middle Yellow River: seasonal variability, sources and fractionation》为题于 2019 年 3 月发表在国际著名地学期刊《Geochimica et Cosmochimica Acta》上。

(金章东, zhdjin@ieecas.cn, 苟龙飞, goulf@ieecas.cn, DOI: 10.7515/JEE193006)

在中国东部石笋中寻找热带太平洋信号

近十几年来，洞穴石笋由于定年准确、沉积连续、分布广泛、分辨率高等优点，逐渐成为古气候和古环境重建的“第四大支柱”。我国学者通过石笋氧同位素记录，重建了晚第四纪以来不同时间尺度亚洲夏季风的变化历史，受到国际上的广泛关注。然而，随着研究的深入，关于中国石笋氧同位素的气候意义解读在国内外引起了热烈讨论。有学者根据模拟结果，认为在 Heinrich 事件的时候中国季风区的石笋氧同位素受控于印度季风强度的变化，也即印度季风减弱，印度降雨的氧同位素偏重，相应输入到中国的水汽氧同位素也偏重。意味着中国石笋氧同位素代表了印度夏季风而不是东亚夏季风强度的变化。这一观点也得到了部分古气候学家的支持。

为了验证中国石笋氧同位素是否仅受控于印度季风强度的变化，中科院地球环境研究所“一带一路”气候环境研究中心谭亮成研究员团队，分析了陕南祥龙洞石笋 (XL15) 氧同位素在 25.5—10.9 ka BP 的变化。研究显示在千年尺度上（包括 H2、H1、BA 和 YD 事件），XL15 氧同位素记录与格陵兰冰芯以及亚洲季风区其他石笋记录具有相似变化，且与南美季风区的石笋记录具有半球间的反相位关系，这体现出全球季风的一致性特点。然而，当对比 Heinrich 事件期间 XL15 和印度石笋氧同位素的变化幅度时，发现与模拟结果不同，Heinrich 事件期间印度到中国东部的石笋氧同位素的变化幅度并没有显示出减小的趋势。而且在 H1 事件的突变模式上，中国东部石笋氧同位素显示出了三阶段（增加—稳定—增加）

的突变模式，印度石笋氧同位素则显示出了持续增加的突变模式。此外，在其他时间尺度上，比如冰期—间冰期和十年尺度上，中国东部石笋氧同位素与印度季风区石笋氧同位素也存在一定的差异性，研究者认为受热带太平洋的影响。进而将受印度洋和太平洋共同影响的 XL15 氧同位素记录减去仅受印度洋控制的印度 Mawmluh 洞石笋记录，提取出 H1 事件期间纯太平洋的信号，发现残差结果与西太平洋暖池海表温度显著负相关。由此提出西太平洋暖池海温升高会增强菲律宾周围区域上空对流活动，导致西太副高和雨带北移，来自单一太平洋水汽（此处已经排除印度洋的水汽贡献）的雨量效应导致 XL15 石笋氧同位素偏负。以上研究结果表明中国石笋氧同位素包含着热带太平洋信号，能够反映东亚夏季风变化，印度季风通过影响东亚夏季风的重要组成部分——西南气流，进而也对中国东部石笋氧同位素产生重要影响。

该成果以《Is Chinese stalagmite $\delta^{18}\text{O}$ solely controlled by the Indian summer monsoon?》为题于 2019 年 2 月 12 日在线发表于《Climate Dynamics》杂志。本项工作得到了国家重点研发计划（2017YFA0603401）、陕西省杰出青年科学基金（2018JC-023）、中科院青促会和“西部之光”人才培养计划的资助，是中科院地球环境研究所“一带一路”计划的系列研究成果。

（谭亮成，tanlch@ieecas.cn，DOI: 10.7515/JEE193007）