

土壤低镁粘土矿物和铁氧化物富集轻 Mg 同位素的作用机制

高庭¹ 刘承帅^{1*} 柯珊² 滕方振³ 王水炯⁴ 李芳柏⁵

1 中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081; 2 中国地质大学 (北京) 北京 100083;

3 华盛顿大学 西雅图 98195; 4 印第安纳大学 布卢明顿 47405;

5 广东省生态环境技术研究所 广州 510650

镁是土壤中的主要营养元素之一，其表生环境地球化学过程影响植物的吸收，与植物生长密切相关。因此，理解镁元素在土壤体系中的行为，包括分布性、迁移性及生物有效性至关重要。铁锰氧化物在土壤中是常见矿物组分，尤其是经历了长时间高度发育的土壤。在水成土壤中，由于干湿交替变化导致土壤氧化还原电位(Eh)及酸碱度(pH)发生变化，铁锰氧化物经常聚集以结核的形式存在。由于其巨大的比表面积，铁锰结核影响金属镁在土壤中迁移及转化行为，进而影响镁在土壤-植物体系的生物地球化学循环。

镁同位素可有效示踪镁的生物地球化学行为。本研究系统调查了稻田中铁锰结核及周围土壤的镁同位素组成，以通过对比两者的同位素组成特征，揭示铁锰氧化物作用下土壤镁同位素组成变化的机理。结果显示，土壤的镁同位素组成为-0.59‰ ~ -0.85‰ (图 1)，远轻于母岩 (-0.3‰ ~ +0.5‰)，并且土壤镁同位素组成与可交换镁含量呈负相关，表明土壤镁同位素组成主要受控于可交换镁。这与如下两个数据事实一致：1) 土壤主要的组成矿物为高岭土，镁离子在高岭土中主要是以可交换态的形式存在；2) 可交换镁的同位素组成最轻，为-1.62‰ ~ -1.91‰。与土壤相比较，铁锰结核的镁同位素组成更轻，为-1.39‰ ~ -1.58‰。分步提取实验显示，结构镁的同位素组成为-1.21‰ ~ -1.33‰，比土壤孔隙水 (-1.65‰) 重，推测 Mg²⁺取代针铁矿中的 Fe³⁺时，优先取代重镁同位素。

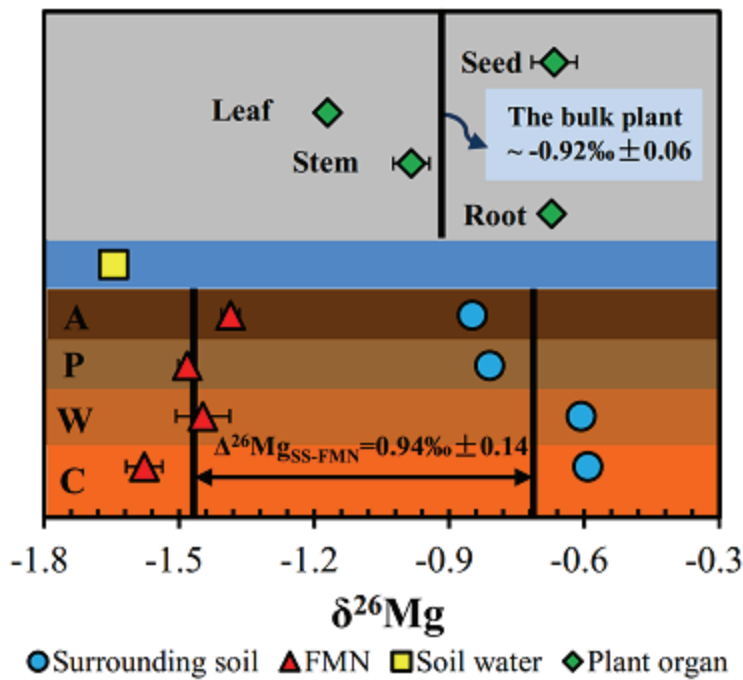


图 1 土壤、铁锰结核、孔隙水及植物的镁同位素组成

通过对比铁锰结核及其周围土壤的镁同位素组成发现，两者可交换镁的同位素组成均很轻，约为 -1.6‰ ~ -2.2‰，轻于土壤水。这主要由两个过程导致：1) 可交换 Mg 主要来源于区域盐酸盐岩溶流体；2) 在粘土矿物和铁锰氧化物与周围流体相互作用过程中，离子交换过程（如减吸附）会使得轻镁

同位素残留在固相中。与可交换镁不同，两者结构镁的同位素组成差异却很大。土壤结构镁的同位素组成约为-0.34‰，与母岩接近，说明土壤中的镁主要继承了其母岩中的镁。然后，铁锰氧化物的结构镁同位素组成很轻，这可能主要是由于土壤干湿交替变化过程中，铁锰氧化物发生了溶解和再沉淀的循环过程，使流体中的镁进入氧化物中，导致其镁同位素组成与流体接近。本研究第一次表明，在水环境下，铁氧化物可以富集轻镁同位素。本研究也表明，高岭土的存在会致使全土壤镁同位素组成变轻。这对于解释为什么某些情况下土壤镁同位素组成很轻具有重要的意义。