

· 专题 10: 表层地球系统生物地球化学循环及其生态环境效应 ·

贵州喀斯特地区碳酸盐岩表生微生物多样性

唐源¹, 连宾^{2*}

1. 中国科学院 地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081;

2. 南京师范大学 生命科学学院, 南京 210023

碳酸盐岩的风化作用是岩溶地区最基本和最常见的地质地球化学作用,也是岩溶环境中岩-土-水-大气-生物相互作用的主要形式和元素表生地球化学循环的重要环节,长期以来受到世界各地学者的广泛关注,但是微生物在碳酸盐岩风化作用过程中的作用却长期受到忽视。由于微生物数量巨大,种类繁多,分布广泛和代谢类型多样,参与一系列生物地球化学过程,在喀斯特地区碳酸盐岩风化作用过程中扮演着不可替代的重要角色。

贵州地处喀斯特发育区之一的东亚片区中心,境内出露碳酸盐岩面积达 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省土地面积的 73%, 是中国喀斯特地貌发育最典型的省份。岩溶作用发育的碳酸盐岩生境特殊,具有干旱、贫营养、温度波动大等特点,但在岩石表面和裂隙中仍然存在多种类型的生物,这在几个世纪前就受到研究者的关注。研究发现,岩石表面的微生物很少以单一物种形成单菌落的形式存在,通常它们会集群生长形成结构和功能复杂多样的微生物群体。早期对岩石微生物的研究主要是采用传统的分离培养的方法,描述的主要是一些自养的光合与固氮微生物,如藻类、蓝细菌和地衣,后来陆续发现裸露的岩石表面也有异养的细菌和真菌。但是,有关贵州喀斯特地区碳酸盐岩表生微生物类群的研究相对较少。笔者采集于贵州典型喀斯特环境(南江大峡谷)的白云岩和石灰岩,采用构建克隆文库与限制片段长度多态性的非培养方法研究碳酸盐岩表生微生物(包括细菌、真菌和古菌)群落结构及多样性。

细菌多样性研究结果表明,白云岩表生细菌属于七大细菌类群:变形细菌门(*Proteobacteria*, 包括 *Alpha-*、*Beta-*和 *Delta-*3 个亚门)、蓝细菌门(*Cyanobacteria*)、放线菌门(*Actinobacteria*)、酸杆菌门

(*Acidobacteria*)、拟杆菌门(*Bacteroidetes*)、疣微菌门(*Verrucomicrobia*)和绿弯菌门(*Chloroflexi*),其中变形细菌和蓝细菌是优势类群;石灰岩表生细菌可分为九大类:变形细菌门(*Proteobacteria*, 包括 *Alpha-*和 *Delta-*2 个个亚门)、放线菌门(*Actinobacteria*)、蓝细菌门(*Cyanobacteria*)、拟杆菌门(*Bacteroidetes*)、绿弯菌门(*Chloroflexi*)、酸杆菌门(*Acidobacteria*)、厚壁菌门(*Firmicutes*)、浮霉菌门(*Planctomycetes*)和 *Candidatus* division TM7,其中变形细菌、放线菌和蓝细菌是所研究白云岩和石灰岩样品中的优势类群,这三大类细菌可能在碳酸盐岩风化作用过程中发挥重要作用。

真菌多样性研究结果显示,子囊菌门(*Ascomycota*)是白云岩和石灰岩的第一优势真菌类群,同时还检测到了担子菌门(*Basidiomycota*)和另外 2 个真核生物类群即苔藓植物门(*Bryophyta*)和绿藻门(*Chlorophyta*),但它们在 2 种岩石中所占的比例很小。地衣型真菌瓶口衣属(*Verrucaria*)是白云岩和石灰岩表生真菌的优势属。其他地衣型真菌,比如橙衣属(*Caloplaca*)、外瓶霉属(*Exophiala*)和 *Botryolepraria* 在 2 种岩石环境中也被检测到。地衣型真菌可以和藻类共生形成多种类型的地衣,是碳酸盐岩风化成土的先锋生物类型。曲霉属(*Aspergillus*)和青霉属(*Penicillium*)真菌在自然界中的分布广泛,在白云岩和石灰岩样品中也有检测到。2 种岩石克隆文库中的大部分序列与数据库中最相似序列相似率低于 97%,说明在白云岩和石灰岩表生环境中可能存在许多新的真菌物种。

泉古菌门是古菌域的一个重要组成部分,大多数为无机化能型微生物,它们可能在自然界生源元素的地球化学循环中发挥着重要作用。古菌多样性

基金项目:国家自然科学基金项目(40773069, 41503080)

第一作者简介:唐源(1984-),女,博士,研究方向:生物地球化学。E-mail: tangyuan@vip. gyig. ac. cn.

* 通讯作者简介:连宾(1964-),男,博士,研究员,研究方向:生物地球化学。E-mail: bin2368@vip. 163. com.

研究结果显示,白云岩和石灰岩表生古菌序列均为泉古菌门(*Crenarchaeota*),所获得的白云岩和石灰岩表生古菌的同源序列全部是未可培养的,大多来自于各种土壤以及岩石环境,表明所研究的白云岩和石灰岩表生古菌多是土壤和岩石环境中的古菌类型,但其在喀斯特地区物质循环中的作用究竟如何,尚待进一步探讨。

总之,碳酸盐岩表生微生物多样性丰富,既包括

自养微生物(如固氮和光合作用的蓝细菌、非产氧光合的绿非硫细菌),也有异养微生物(如变形细菌、放线菌、酸杆菌、拟杆菌、厚壁菌等细菌和异养真菌及古生菌)。不同类群微生物相互协作和互利共生以留住微量水分和汲取有限的养料,进而维持生命活动和种群的延续,它们在喀斯特地区岩石表面和缝隙中的生长繁殖驱动了碳酸盐岩的表生地球化学作用,为喀斯特岩溶地貌的演化施加了重要影响。