

不同种类微生物及其碳酸酐酶对土壤-灰岩系统 钙镁锌元素迁移作用的土柱模拟实验研究^①

李 为, 贾丽萍, 余龙江*, 朱 敏, 周蓬蓬

(华中科技大学生命科学与技术学院资源生物学与生物技术研究所, 武汉 430074)

摘 要: 通过土柱模拟实验研究了筛选自西南岩溶区的典型细菌、真菌、放线菌对石灰岩的溶蚀动态及作用效果, 并研究了这 3 种类群微生物及其碳酸酐酶 (CA) 对土壤-灰岩系统 Ca、Mg、Zn 元素迁移的影响。结果表明: ①实验所用的典型细菌、真菌、放线菌均对石灰岩有较强的溶蚀作用, 但是不同类群的微生物对石灰岩的溶蚀效果不同, 溶蚀后石灰岩的表面形貌变化不同, 其中, 真菌的溶蚀效果最显著, 放线菌和细菌次之; ②典型细菌、真菌、放线菌对不同元素迁移的影响不同, 对于 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 的迁移影响而言, 真菌 > 放线菌 > 细菌 > 无菌对照组; 对于 Mg^{2+} 的迁移影响而言, 细菌 > 真菌 > 放线菌 > 无菌对照组; ③一定范围内温度增加对 Ca、Mg、Zn 3 种元素的迁移有不同程度的促进作用; ④土柱淋出液中 CA 平均活性与 Ca、Mg、Zn 3 种元素的总淋失量之间存在一定的正相关关系, 说明 CA 对这 3 种元素的迁移具有一定的影响, 且因不同元素而异。本研究结果对于评价不同类群微生物在生物岩溶及岩溶系统元素迁移中的作用和地位提供了一定的科学依据。

关键词: 微生物; 碳酸酐酶; 元素迁移; 土壤-灰岩系统

中图分类号: S154.3; P642.25

表层带岩溶作用是以土壤为媒介的表层生态系统过程^[1]。已有不少研究揭示了土壤 CO_2 、有机质等对岩溶作用的影响^[2-5], 由于土壤是微生物的大本营, 因此越来越多的研究者也开始关注微生物在岩溶系统中的重要作用^[6-7]。大量的研究表明微生物无所不在, 而且可以通过多种方式影响地球环境^[8], 例如, 微生物可以通过影响矿物风化速率或诱导矿物沉积来改变海洋、江河和气流物质组成; 可以通过释放配位剂或通过酶催化氧化还原反应来影响水体、土壤和沉积物中金属和非金属物质的种类、数量和化学形态; 可以通过结合沉积物、沉淀矿物、风化岩石等来改变地球的自然形貌。有关微生物的岩溶作用研究主要集中在沉积作用方面^[6-9]和对矿物岩石的溶蚀研究方面^[10-11], 对于碳酸盐岩的溶蚀作用研究仍比较欠缺。

我们从西南岩溶地区分离筛选了多种微生物, 并通过土柱动态模拟实验研究了细菌对岩溶系统 Ca、Mg 元素淋失的影响, 结果表明细菌对岩溶系统的 Ca、Mg 元素迁移具有较大促进作用, 对灰岩具有明显的侵蚀作用^[12]。进一步通过摇瓶模拟实验研究了典型细菌、

真菌和放线菌对灰岩的动态溶蚀效果, 发现真菌的溶蚀效果最显著^[13]。但是上述摇瓶实验是在各类微生物最适生长条件下进行的, 由于不同类群微生物对培养基、pH 等条件的要求有较大差别, 所以早期研究难以反映自然岩溶环境条件下的情况。为此, 在摇瓶实验基础上进行了土壤-灰岩系统的土柱模拟实验, 研究比较了典型细菌、真菌和放线菌对灰岩的溶蚀动态及作用效果, 并研究了这 3 种不同类群微生物及其碳酸酐酶 (CA) 对土壤-灰岩系统 Ca、Mg、Zn 元素迁移的影响。目前对于真菌和放线菌的溶蚀动态研究鲜见报道, 比较不同类群微生物 (细菌、真菌和放线菌) 的溶蚀作用效果及其对元素迁移的影响, 将有助于评价不同种类微生物在生物岩溶及岩溶系统元素迁移中的作用和地位, 并为探索它们的溶蚀作用机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株及培养方法

选取本研究室从西南岩溶地区土壤中筛选出来的优势细菌 (编号为 GLRT102Ca)、真菌 (编号为 PDAJin

①基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划项目 (90202016)、国家自然科学基金青年基金项目 (40302034) 和国土资源部岩溶动力学重点实验室开放基金项目 (2004-5-1) 资助。

* 通讯作者 (yulongjiang@hust.edu.cn)

作者简介: 李为 (1969—), 女, 博士, 副教授, 主要从事资源生物技术、地质生物学的研究。E-mail: hulwei_009@163.com

303) 和放线菌 (编号为 Liu101) 作为供试菌株。经初步鉴定, 细菌 GLRT102Ca 属于芽孢杆菌科; 真菌 PDAJin303 为青霉属; 放线菌 Liu101 为链霉菌属。细菌采用肉汤培养基 (pH 7.2) 培养; 真菌采用土豆培养基 (pH 6.2) 培养; 放线菌采用高氏 I 号培养基 (pH 7.4) 培养。

1.2 实验材料

供试岩石为融县组 (D_3r) 纯灰岩, 采于桂林七星岩, 做成长 \times 宽 \times 厚度 = 1 cm \times 1 cm \times 2 mm 的方形试片, 表面细磨。试片经双蒸水洗涤后烘干, 灭菌备用。

供试土壤: 采自桂林岩溶试验场洼地 0~20 cm 的土壤, 处理方法参见文献[12]。

1.3 模拟实验方法

土柱模拟实验方法参见文献[12]。在每个土柱底部先铺一层玻璃纤维和一层石英砂, 然后再铺一层玻璃纤维。在玻璃纤维上面放上 2 片灰岩试片, 将供试土壤装入土柱中, 土层高约 10 cm, 每根柱子中大约装有 180 g 土壤。将装好的土柱灭菌后分成 4 组, 分别为细菌试验柱、真菌试验柱、放线菌试验柱和无菌对照柱, 每组设 2 个平行柱, 除无菌对照柱不接种外, 其余 3 组试验柱以相同接种量 (10^5 cfu/ml) 分别接种供试细菌、真菌和放线菌。所有土柱均置于室温下, 每天记录室内温度 (图 1), 每 3 天浇灌无菌双蒸水 1 次, 每次每根柱子浇灌 30 ml。实验进行第 14 天开始取土柱淋出液样品, 以后每 7 天取样 1 次。所取样品在 7000 r/min 下离心 10 min, 取上清液, 测定 pH, 电导, 碳酸酐酶 (CA) 活性以及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 浓度。实验历时 63 天。实验结束时取出灰岩试片, 洗涤干净, 进行电镜扫描观察试片表面的形貌变化。整个实验重复 2 次。

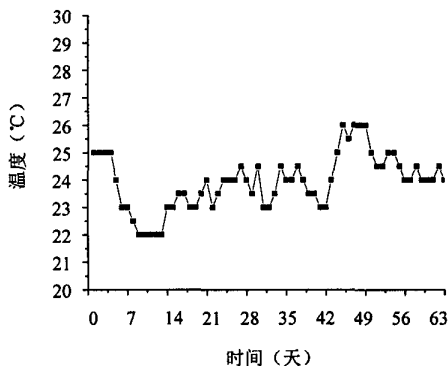


图 1 土柱实验过程中温度的变化

Fig. 1 Changes of temperature during the process of soil column experiment

1.4 分析方法

pH 采用 Mettler Toledo 320-S pH 计进行检测; 电导率采用 Mettler Toledo 326 电导率仪进行检测; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 浓度采用 Perkin Elmer AA300 型原子吸收光谱仪进行测定; 实验体系 CA 活性采用量电法测定^[12]; 灰岩试片表面的形貌观察采用 Sirion 200 场发射扫描电子显微镜。每个数据重复测定 3 次, 取平均值。

2 结果与分析

2.1 淋出液 pH 的变化动态

富钙偏碱是岩溶区土壤的基本特点^[14]。如图 2 所示, 本实验各处理的土柱中干燥的土壤在初始淋滤时淋出液 pH 值均较初始值有所下降, 随着淋滤水对土壤的逐渐浸透, 土壤中的可溶性 Ca^{2+} 大量淋出, 使淋出液 pH 值急剧上升, 在第 5 周后 pH 值趋于动态平衡状态。在此阶段, 接种细菌、放线菌的土柱以及无菌对照柱的淋出液 pH 值分别比接种真菌的土柱约高 1.0%、0.5% 和 0.8% ($P < 0.01$)。真菌柱的淋出液 pH 值在第 5 周达到最高值 8.76 后出现下降趋势, 而细菌柱、放线菌柱和对照柱的淋出液 pH 在第 5 周后波动趋势较为平缓。

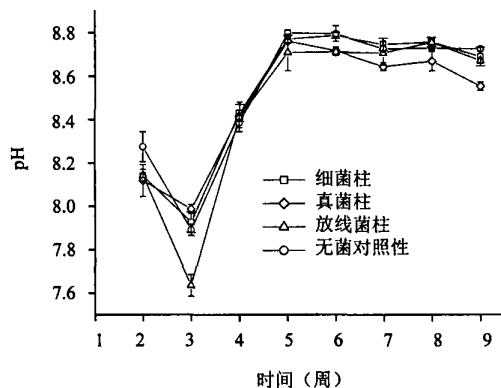


图 2 各处理下 pH 值随时间的变化

Fig. 2 Changes of pH with time under different treatments

2.2 Zn^{2+} 的淋出动态

Zn 在岩溶土壤中属于微量元素。图 3 显示了各处理下淋出液中 Zn^{2+} 的浓度变化, 对照图 1 温度的变化情况可以看出, 随着温度的变化, 淋出液 Zn^{2+} 浓度均发生规律性的变化。温度升高, 淋出液中 Zn^{2+} 浓度增大, 平均温度与各土柱淋出液中 Zn^{2+} 浓度的相关系数分别为 $r_{细菌柱} = 0.904$ ($P < 0.01$)、 $r_{真菌柱} = 0.890$ ($P < 0.01$)、 $r_{放线菌柱} = 0.888$ ($P < 0.01$)、 $r_{对照柱} = 0.968$ ($P < 0.01$)。由此可见, 温度对土柱 Zn^{2+} 的迁移影响很显著。试验柱中只有放线菌柱的淋出液 Zn^{2+} 浓度最高点出

现在第8周，其余处理均在温度升至最高的第7周达到最高值，且放线菌柱在第7周时淋出液的 Zn^{2+} 浓度也较高。从图3可以看出3组试验柱的淋出液 Zn^{2+} 浓度最大值相近，最高达到 0.137 mg/L，但真菌柱淋滤出的 Zn^{2+} 总量大于放线菌柱和细菌柱。放线菌柱对温度的响应不及细菌柱和真菌柱敏感，在实验第8周温度已经下降时，放线菌柱的淋出液 Zn^{2+} 浓度还略高于第7周。细菌柱淋出液 Zn^{2+} 浓度的变化趋势与真菌柱的相似，但浓度大多低于真菌柱。无菌对照柱淋出液中的 Zn^{2+} 浓度在第5周之后一般低于其他微生物作用的土柱，其 Zn^{2+} 浓度的平均值分别比细菌柱、真菌柱和放线菌柱低 13.3%、31.7% 和 25.1%。

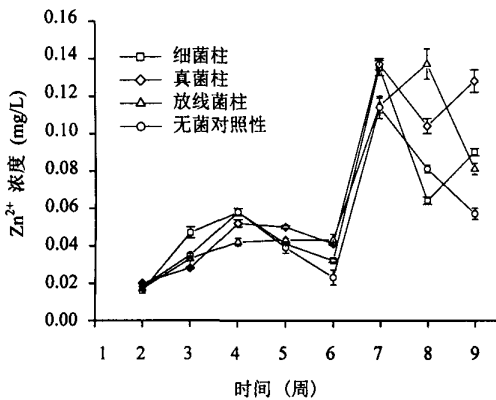


图3 各处理下 Zn^{2+} 浓度随时间的变化
Fig. 3 Variation of Zn^{2+} concentration with time under different treatments

2.3 Ca^{2+} 的淋出动态

土壤中可溶性大量元素的淋滤过程一般是先大量淋出，随着土壤中原有的可溶性离子量的减少，淋出液离子浓度出现下降，将会出现一个低值，而后随着结合态或交换态元素的转换和溶出以及在扰动因素等的影响下将发生不同的改变^[15]。Ca 在岩溶土壤中的含量较高^[14]，正符合上述趋势。从图4可以看出，各试验柱的初始淋出液中 Ca^{2+} 浓度均较高，随后开始下降，在第5周或第6周下降到低值后又开始回升，在温度、 H_2O-CO_2 以及不同微生物的共同作用下产生不同的波动。真菌试验柱在第5周达到最低值，然后出现大幅度的上升，第7周后上升幅度趋于平缓，淋出液中 Ca^{2+} 浓度最高达 136 mg/L；放线菌试验柱的 Ca^{2+} 浓度产生几次波动，峰值出现在第6周的低温阶段，达 109 mg/L，温度对该组的影响不及其他试验组明显；细菌试验柱淋出液中的 Ca^{2+} 浓度在第5周达到最低值后开始逐渐上升，但上升幅度低于真菌试验柱，最高浓度达 111 mg/L。无菌对照柱初始淋出液中的 Ca^{2+} 浓

度也较高，变化总趋势与各试验柱相似，只是波动范围小于试验柱。

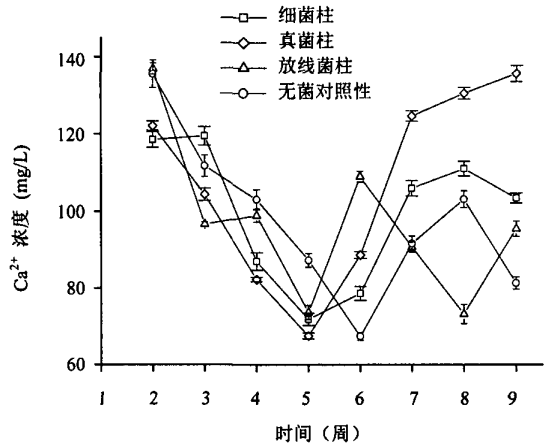


图4 各处理下 Ca^{2+} 浓度随时间的变化
Fig. 4 Variation of Ca^{2+} concentration with time under different treatments

2.4 Mg^{2+} 的淋出动态

Mg 在岩溶土壤中亦属于大量元素，但是其淋出规律和 Ca^{2+} 不同。从图5可以看出，各处理下的土柱淋出液中的 Mg^{2+} 的淋出动态相似，一般表现为开始时的衰减性淋出阶段和继之的平衡淋出阶段，在第6周之后趋于平衡淋出阶段。实验过程中 Mg^{2+} 浓度的波动幅度较小。实验所用的几种微生物菌株对土壤-灰岩系统 Mg 元素的迁移影响不及对 Zn 和 Ca 的影响明显。比较而言，细菌柱淋滤出的 Mg^{2+} 浓度稍大于其他处理的土柱，下降趋势较放线菌柱和真菌柱平缓。温度对土壤-灰岩系统 Mg 元素的迁移也产生影响，在第7周温度升高时，淋出液的 Mg^{2+} 浓度也略有增加。

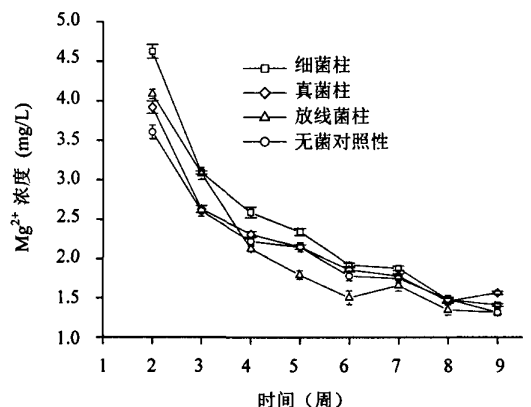


图5 各处理下 Mg^{2+} 浓度随时间的变化
Fig. 5 Variation of Mg^{2+} concentration with time under different treatments

2.5 Ca²⁺、Mg²⁺ 和 Zn²⁺ 总淋失量的比较

图 6 比较了各种微生物对土壤-灰岩系统 Ca²⁺、Mg²⁺、Zn²⁺ 总淋失量的影响。对于 Ca²⁺ 和 Zn²⁺ 总淋失量的影响，由大到小依次为真菌试验柱 > 放线菌试验柱 (P<0.05) > 细菌试验柱 (P<0.05) > 无菌对照柱 (P<0.05)；对于 Mg²⁺ 总淋失量的影响，由大到小

依次为细菌试验柱 > 真菌试验柱 (P<0.05) > 放线菌试验柱 (P<0.05) > 无菌对照柱 (P<0.05)。由此可见，不同种类的微生物对土壤-灰岩系统中不同元素迁移的影响是不同的，其中供试真菌对 Ca 和 Zn 元素的迁移影响较大，供试细菌对 Mg 元素的迁移影响较大。

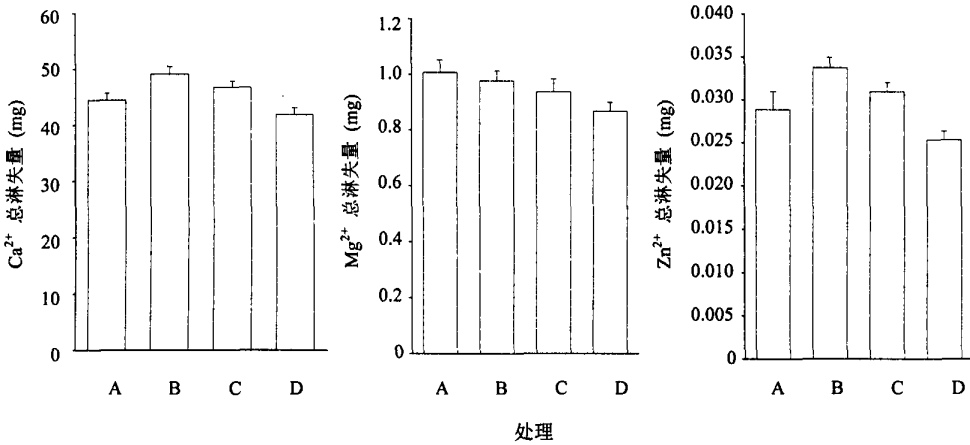


图 6 不同种类微生物处理对土柱 Ca²⁺、Mg²⁺、Zn²⁺ 总淋失量的影响

A: 细菌柱; B: 真菌柱; C: 放线菌柱; D: 无菌对照柱

Fig. 6 Total leaching amount of Ca²⁺, Mg²⁺ and Zn²⁺ from soil columns under different microbial treatments

2.6 淋出液 CA 活性及其与 Ca、Mg、Zn 元素淋失的相关性

不同种类微生物作用后土柱淋出液的 CA 活性如图 7 所示。可以看出，各微生物作用下的土柱淋出液中均能检测出不同程度的 CA 活性，说明实验所用的不同种类的微生物均产生分泌了胞外 CA，其中，真菌柱淋出液中的 CA 活性最高，前 4 周 CA 活性处于逐渐升高状态，第 4 周之后趋于平稳状态。细菌柱淋出液中的 CA 活性在第 5 周之前逐渐增高，第 5 周之后有所波动，其 CA 平均活性略低于真菌柱。放线菌柱淋出液中的 CA 平均活性低于真菌柱和细菌柱。对 3 种不同微生物处理下土柱淋出液的 CA 平均活性与 Ca²⁺、Mg²⁺ 和 Zn²⁺ 总淋失量进行相关分析，结果表明淋出液中 CA 平均活性与 Ca、Mg、Zn 3 种元素的总淋失量之间存在一定的正相关关系，相关系数分别为 r_{Ca} = 0.316 (P<0.05)、r_{Mg} = 0.724 (P<0.01)、r_{Zn} = 0.396 (P<0.05)，说明 CA 对这 3 种元素的迁移具有一定的影响，且因不同元素而异。

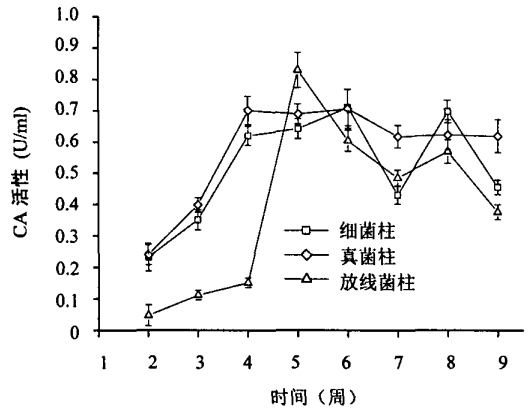


图 7 各微生物处理下 CA 活性随时间的变化

Fig. 7 Activity of CA with time under different microbial treatments

2.7 试片溶蚀效果

图 8 为不同种类微生物作用下土柱中试片发生溶

蚀后的表面形貌。从图 8 可以看出，埋入具有不同种类微生物活性土柱的试片，其表面微观形貌差别较大。其中真菌试验柱中的试片表面形貌变化最大 (图 8D)，试片原来的形貌基本被破坏，呈片层状，溶蚀现象最显著。细菌作用过的试片晶体颗粒变小，表面形状不

规则(图8C);对于放线菌作用过的试片,晶体颗粒较细密,小颗粒没有被完全溶蚀,存留一部分附着在表面上(图8E);没有微生物作用的对照柱中试片的

晶体颗粒较放线菌柱中的大些(图8B);而未埋入土柱的试片,晶体颗粒大而不均匀,一些细碎的小颗粒附着在晶粒表面上(图8A)。

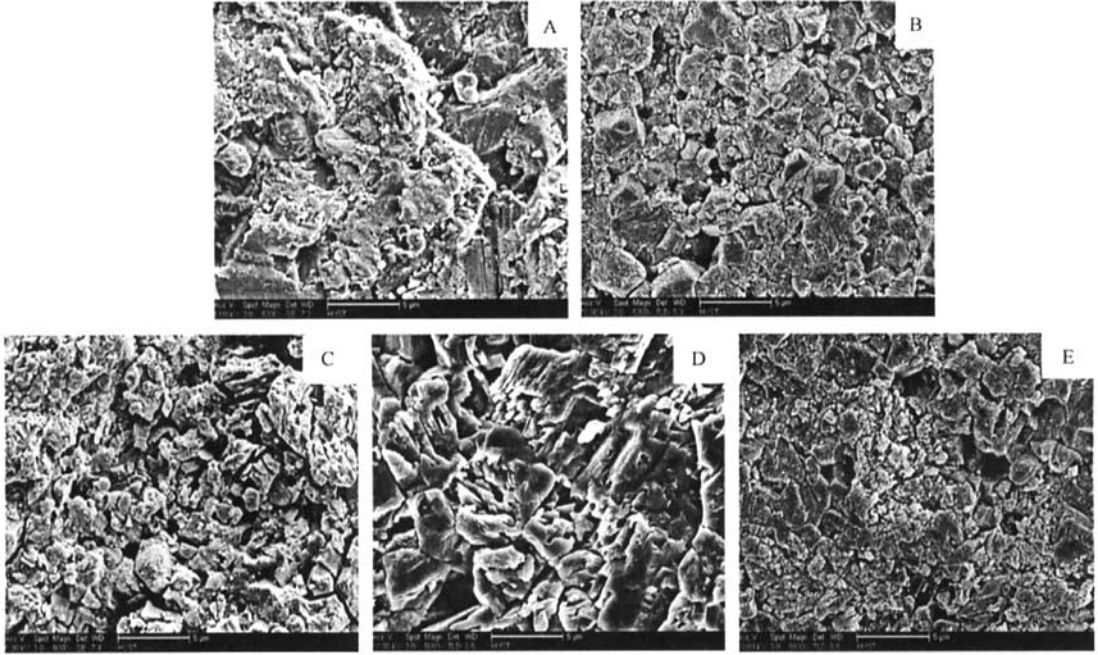


图8 扫描电镜观察试片表面溶蚀效果(5000倍)

A: 未埋入土柱的试片; B: 埋入灭菌但不接种土柱的试片; C: 埋入接种细菌土柱的试片;
D: 埋入接种真菌土柱的试片; E: 埋入接种放线菌土柱的试片

Fig. 8 Corrosive effect on the surface of the limestone cubes observed using SEM

3 讨论

根据土柱模拟实验结果,不同种类微生物作用的土柱的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Zn^{2+} 的总淋失量都大于无菌对照柱,这说明实验所用的典型细菌、真菌和放线菌对土壤-灰岩系统的Ca、Mg、Zn元素的迁移具有促进作用,但是典型细菌、真菌和放线菌对不同元素迁移的影响不同。扫描电镜的结果亦佐证了上述结论。扫描电镜结果显示,典型细菌、真菌和放线菌均对灰岩有较强的溶蚀作用,但是不同类群的微生物对灰岩的溶蚀效果不同,溶蚀后灰岩的表面形貌变化不同。其中真菌的溶蚀效果最显著,放线菌和细菌次之,这与以前的摇瓶实验结果相对应。说明不同种类微生物对灰岩溶蚀的作用方式和作用机理不同,而且微生物对灰岩的溶蚀过程受到温度的影响,温度升高时对Ca、Mg、Zn 3种元素的迁移有不同程度的促进作用。

有不少研究者报道了微生物对岩石或矿物的侵蚀

和殖居现象,如Koestle等^[16]运用扫描电镜发现真菌(*Trichothecium spp.*)可入侵白云岩和灰岩较深处;Banfield等^[17]在运用地衣-矿石系统为模型研究生物对矿石溶解作用的时候发现有一个交叉截面穿过地衣-长石的界面,其中在一堆真菌菌丝体的上部存在有光合细菌,并认为真菌菌丝体穿透长石裂隙并侵蚀其边缘,从而暴露内部的晶体使得微生物能够殖居其中。本文则从微生物对岩溶系统Ca、Mg、Zn元素迁移的促进作用这一角度来说明微生物的岩溶作用效应,与上述研究者的研究结果相对应。

近年来,生物碳酸酐酶(CA)对灰岩的溶解作用逐渐引起学者关注。Liu^[18]在岩溶系统中加入牛CA,发现灰岩的溶解速率可增加10倍;Li等^[12]在接种细菌的土柱模拟实验中发现,淋出液CA平均活性与 Ca^{2+} 总淋失量之间存在较好的相关性($r_{\text{Ca}}=0.86$)。余龙江等^[19]在岩溶系统中加入细菌胞外CA粗提液,发现其对灰岩的溶蚀也具有较强烈的促进作用。本实验中采用

具有细菌、真菌和放线菌等不同种类微生物活性的土柱进行实验,得出的淋出液 CA 平均活性与 Ca^{2+} 总淋失量之间的相关系数较以前采用具有同种类型微生物(细菌)活性的土柱所进行的实验结果低^[12]。分析原因如下:真菌在生长代谢过程中,除了产生分泌 CA 外,还产生了有机酸等酸性产物(真菌柱淋出液的 pH 低于其他柱),能促进 Ca^{2+} 的溶解,同时真菌菌丝体对灰岩的包裹、根劈作用加速了溶蚀,促进了 Ca^{2+} 的淋失。真菌通过多种作用机制引起土柱的 Ca^{2+} 总淋失量较细菌或放线菌高,而 CA 仅是真菌的作用机制之一,故其活性与 Ca^{2+} 总淋失量之间的相关系数要低于具有同种类型微生物活性的土柱实验。

4 结论

(1) 实验所用的典型细菌、真菌、放线菌均对灰岩有较强的溶蚀作用,但是不同类群的微生物对灰岩的溶蚀效果不同,溶蚀后灰岩的表面形貌变化不同,其中,真菌的溶蚀效果最显著,放线菌和细菌次之;

(2) 典型细菌、真菌、放线菌对不同元素迁移的影响不同,对于 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 的迁移影响而言,真菌 > 放线菌 > 细菌 > 无菌对照组;对于 Mg^{2+} 的迁移影响而言,细菌 > 真菌 > 放线菌 > 无菌对照组;

(3) 温度对微生物引起的 Ca、Mg、Zn 3 种元素的迁移有不同程度的促进作用。

(4) 土柱淋出液中碳酸酐酶(CA)平均活性与 Ca、Mg、Zn 3 种元素的总淋失量之间存在一定的正相关关系,说明 CA 对这 3 种元素的迁移具有一定的影响,且因不同元素而异。

参考文献:

- [1] 潘根兴,曹建华.表层带岩溶作用:以土壤为媒介的地球表层生态系统过程—以桂林峰丛洼地岩溶系统为例.中国岩溶,1999,18(4):287-296
- [2] 潘根兴,滕永忠,陶于祥,孙玉华,何师意,张美良.土壤化学场对桂林地区表层岩溶的影响—野外监测与实验室模拟.土壤,2000,32(4):173-177
- [3] 曹建华,潘根兴,袁道先.不同植物凋落物对土壤有机碳淋失的影响及岩溶效应.第四纪研究,2000,20(4):359-366
- [4] 周运超,潘根兴,张平究,熊志斌,冉景丞.添加有机物料对岩溶系统中碳转移及灰岩溶蚀的影响研究.中国岩溶,2002,21(3):153-158
- [5] 刘再华,何师意,袁道先,赵景波.土壤中的 CO_2 及其对岩溶作用的驱动.水文地质工程地质,1998(4):42-45
- [6] Warren LA, Maurice PA, Parmar N, Ferris FG. Microbially mediated calcium carbonate precipitation: Implications for interpreting calcite precipitation and for solid-phase capture of inorganic contaminants. Geomicrobiology Journal, 2001, 18: 93-115
- [7] 张捷,李升峰,周游游.细菌、真菌对喀斯特作用的影响研究及其意义.中国岩溶,1997,16(4):362-369
- [8] Newman DK, Banfield JF. Geomicrobiology: How molecular-scale interactions underpin biogeochemical systems. Science, 2002, 296: 1071-1076
- [9] Ferris FG, Phoenix V, Fujita Y, Smith RW. Kinetics of calcite precipitation induced by ureolytic bacteria at 10 to 20°C in artificial groundwater. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2003, 67: 1701-1722
- [10] Ehrlich HL. How microbes influence mineral growth and dissolution. Chemical Geology, 1996, 132: 5-9
- [11] Maurice PA, Vierkorn MA, Hersman LE, Fulghum JE, Ferryman A. Enhancement of kaolinite dissolution by an aerobic *Pseudomonas mendocina* bacterium. Geomicrobiology Journal, 2001, 18: 21-35
- [12] Li W, Yu LJ, He QF, Wu Y, Yuan DX, Cao JH. Effects of microbes and their carbonic anhydrase on Ca^{2+} and Mg^{2+} migration in column-built leached soil-limestone karst systems. Applied Soil Ecology, 2005, 29: 274-281
- [13] 贾丽萍,李为,朱敏,贺秋芳,刘彦,余龙江.典型细菌、真菌、放线菌对石灰岩动态溶蚀效果比较.应用与环境生物学报,2007,13(1):126-130
- [14] 曹建华,袁道先,潘根兴.岩溶生态系统中的土壤.地球科学进展,2003,18(1):37-44
- [15] 潘根兴,滕永忠.土壤-灰岩岩溶系统中水文地球化学动力学过程模拟及其意义.地球化学,2000,29(3):272-276
- [16] Koestler RJ, Charola AE, Wypski M, Lee JJ. Microbiologically induced deterioration of dolomitic and calcitic stone as viewed by scanning electron microscopy // Felix G. Proc. 5th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1985, 2: 617-626
- [17] Banfield JF, Barker WW, Welch SA, Taunton A. Biological impact on mineral dissolution: Application of the lichen model to understanding mineral weathering in the rhizosphere. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1999, 96: 3404-3411
- [18] Liu ZH. Role of carbonic anhydrase as an activator in carbonate rock dissolution and its implication for atmospheric CO_2 sink. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(3): 275-278
- [19] 余龙江,吴云,李为,曾宪东,付春华.微生物碳酸酐酶对石灰岩的溶蚀驱动作用研究.中国岩溶,2004,23(3):225-228

Effect of Different Kinds of Microbes and Their Carbonic Anhydrase on Element Migration of Ca, Mg and Zn in Soil-Limestone Systems: Stimulated Column Experiments

LI Wei, JIA Li-ping, YU Long-jiang, ZHU Min, ZHOU Peng-peng

(*Institute of Resource Biology and Biotechnology, College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074*)

Abstract: The dynamics and effects of corrosion induced by the typical bacteria, fungi and actinomycetes separated from soils in Karst areas of Southwest China were studied by simulated soil column experiments, and the relationship between microbial carbonic anhydrase (CA) activities and element migration of Ca, Mg and Zn in soil-limestone systems were investigated. The results showed that: 1) Typical bacteria, fungi and actinomycetes used in the experiments had strong influences on limestone corrosion, but there were differences in corrosive effects of limestone among different kinds of microbes, and the surface shape of limestone varied with different kinds of microbes. Among the three kinds of microbes in the simulated soil column experiments, fungi had the most significant corrosive effect, and the next were actinomycetes, while the last were bacteria; 2) The effects of the three kinds of typical microbes on migration of different elements were different. The amount of migration of Zn^{2+} and Ca^{2+} were fungi>actinomycetes>bacteria>CK, and the amount of migration of Mg^{2+} was bacteria>Fungi>Actinomycetes>CK; 3) Temperature could improve soil microbial effects on element migration of Ca, Mg and Zn; 4) There was a positive correlation between the mean activity of carbonic anhydrase (CA) and the total amount of Ca^{2+} , Mg^{2+} and Zn^{2+} in leachates of soil columns, which indicated that CA had a certain influence on the migration of these three kinds of elements, and the influence varied with different elements. These above results may provide scientific basis to evaluate the roles and status of different kinds of microbes in biokarst and element migration in Karst systems.

Key words: Microbes, Carbonic anhydrase (CA), Element migration, Soil-limestone systems