

19-22

共生生金菌与锰的相互作用机制

郝瑞霞 关广岳

(东北大学·沈阳·110006)

p 618.510.5
p 618.320.5

共生生金菌的生长具有周期性的变化特征,与锰相互作用也表现出了周期性的变化规律。该细菌影响着含锰溶液体系的 pH 和 Eh,能将低价态的锰氧化为高价态的锰。细菌氧化锰主要借助于各种酶和不同代谢物的作用而完成。

关键词 共生生金菌, 锰, 氧化, 周期性, 酶

金矿床, 锰矿床

1 引言

自然界中锰元素的迁移、沉淀和富集主要受环境因素的制约。锰不仅与无机物和有机物相互作用,而且还受到微生物及其新陈代谢所产生的生物化学作用的影响。以往多数研究的是无机界的反应过程,而忽略了有机界的作用。其实生物,尤其是微生物对锰的一系列反应过程都有着显著的影响。本文首次在国内从锰矿石中分离出了锰的氧化细菌——共生生金菌 (*Metallogenium symbioticum*),并对此细菌的特性及其与锰的相互作用进行了研究。

2 共生生金菌特性

本文所研究的 *Metallogenium symbioticum* 在国内首次从锰矿石中分离出来,该细菌是一种发芽繁殖、嗜温、好氧的氧化菌,也是一种化能有机营养型细菌,其适宜于 pH = 6~8 的环境中生长。该菌在固体培养基中发育良好,个体小,白色光滑,菌落数量可达 10^7 个/ml。实验观察表明, *Metallogenium symbioticum* 的生长变化具有周期性,从生长初始阶段的球菌,到发芽分枝和微菌落的形成,再到放射状丝状体菌落的长大,以及最后达到生长的顶峰期,细菌的形态、大小和数

量都有所改变,并在各阶段表现出了不同的生长特性(图 1)。

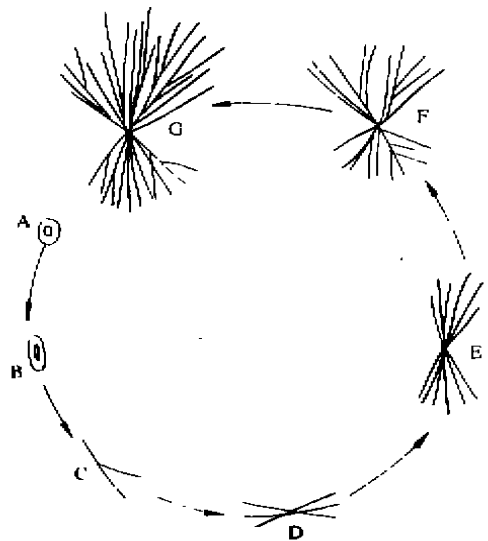


图1 共生生金菌的生长周期

A—细胞期; B—纵向生长; C—发芽; D—分枝; E—微菌落的形成; F—放射状丝体的生长; G—顶峰期的微菌落

连续的实验观察表明, *Metallogenium symbioticum* 在每一个生长周期中的特征都是不同的。该菌在第二个生长周期中的变化相对于第一个生长周期而言,细菌的数量增多,放射状的菌落成大面积网状分布,但菌落的个体却变小。在第三个生长周期中,由于缺

乏营养,细菌生长较为缓慢,菌体发育不良,但在这一生长周期中,各个菌落的中心可见锰的氧化物。

3 细菌氧化锰实验

将分离纯化的 *Metallogenium symbioticum* 接种于液体培养基,加入 10% 的碳酸锰矿石进行驯化培养,使该菌适应于生长环境。将驯化后的细菌、培养基和碳酸锰矿石以一定的比例混合,放置在恒温振荡箱内,进行锰的氧化实验。在实验过程中,每隔一定的时间取菌液制片观察加入碳酸锰矿石后的细菌生长情况,并测定溶液的 pH 和 Eh 以及被氧化锰的摩尔数。所得数据列入右表并作图 2。

4 实验结果分析与讨论

实验观察表明,*Metallogenium symbioticum* 在加入碳酸锰矿石后,菌体生长较为缓慢,但仍表现出周期性,而且其生长变化规律与单纯 *Metallogenium symbioticum* 的生长规律相似。实验结果(附表及图 2)证实,溶液的 pH 和 Eh 以及被氧化锰的摩尔数都表现出周期性变化。在加入矿石的第 5 天,取菌液制片观察,可以看到 *Metallogenium symbioticum* 呈一团团的菌落,上面覆盖有锰的氧化物,这是锰的早期沉积阶段。与此同时,溶液的 pH 和 Eh 降低,被氧化锰的摩尔数也减少。这一生长周期为 *M. symbioticum* 的适应性生长阶段,。此阶段菌体较小。当进入第二个生长周期时,该细菌已适应了生长环境,其数量在不断地增加,个体也在逐渐地长大,相应地,溶液的 pH 和 Eh 也随之升高,被氧化锰的摩尔数也逐渐增加。当氧化进行到第 15 天时,溶液的 pH 又开始下降,从 8.08 到 8.03,此时,镜下观察发现,*M. symbioticum* 呈网状和团状集合体分布,并在一些集合体上覆盖有锰的氧化物,锰的沉积进入中期阶段。从第 15 天开始,溶液的 pH 持续下降,从 8.03→7.91→7.83,相应地 Eh 也在下降,被

氧化锰的摩尔数也有所减少。这一阶段,氧化程度最高,以致于氧化进行到第 19 天时,几乎所有的菌体都被锰的氧化物所覆盖,锰的沉积进入晚期阶段,并达到顶峰期。大量锰氧化物的形成,使得 *M. symbioticum* 的活动性降低,甚至有一些菌体伴随着锰氧化物下沉,导致溶液的 pH 和 Eh 下降。从图 2 可以看到,在细菌氧化锰的过程中,溶液的 pH 和 Eh 的升高与降低以及被氧化锰的摩尔数的增加与减少都表现了周期性,而且三者的周期性变化基本相同,pH 和被氧化锰的摩尔数表现出了线性的增长趋势。

细菌氧化锰实验数据表

时间(days)	pH	Eg(mV)	氧化的 Mn(mmol)
0	7.60	89	0
1	7.65	95	0.063
3	7.85	101	0.068
5	7.58	97	0.058
7	7.75	106	0.071
9	7.96	109	0.081
11	8.02	113	0.088
13	8.08	121	0.092
15	8.03	122	0.078
17	7.91	119	0.073
19	7.83	114	0.073
21	8.04	125	0.083

以上分析表明,在细菌与锰相互作用的过程中,细菌数量的变化,以及与锰相互作用的结果都影响着溶液的 pH 和 Eh,通过 pH 和 Eh 的升高或降低,可以了解到细菌对锰作用的强弱以及细菌数量的增加与减少。

据附表实验数据可得细菌氧化锰的速率为 $2.3 \times 10^{-11} \text{ mol/s}$ 。细菌数量及溶液的 pH 和 Eh 都影响氧化速度。在上述实验同时,进行了两种混合菌 (*Metallogenium symbioticum* 和 *Hyphomicrobium vulgare*) 对锰的氧化实验。实验表明,细菌在混杂的微生物群

系中繁殖发育得比较快,而单一存在时生长得较慢,而且混合菌的氧化作用比单一的氧

化作用强,氧化速率为 $4.1 \times 10^{-11} \text{ mol/s}$ 。

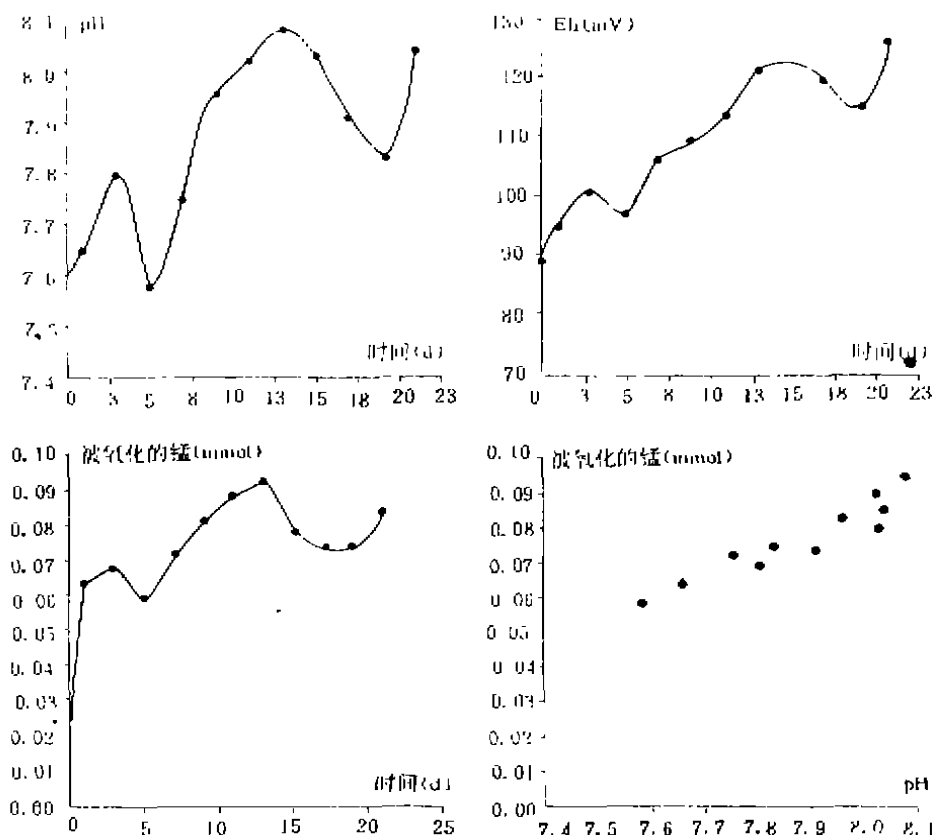


图2 细菌氧化锰过程中各种参数的变化趋势

5 Metallogenium symbioticum 氧化锰的机制

微生物对锰的氧化作用可有两种情况,即直接氧化和间接氧化,而且每一种氧化都与微生物的性质及环境因素有密切关系。

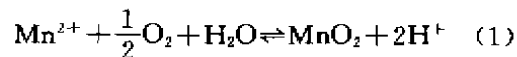
5.1 直接氧化

微生物对锰的直接氧化主要表现为两种效应,即酶催化和特定的键合。一些氧化锰的细菌能够合成蛋白质、碳水化合物以及其它一些能够在细胞内或细胞上键合、富集以及增强锰自氧化的物质^[1]。在多数情况下,死亡的细菌以及细胞萃取物能够催化锰键合和氧化,通过键合锰,降低氧化活化能或增加反应

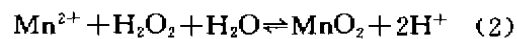
物的浓度,加速反应进程^[2]。

有机化能营养菌对锰的氧化多数是借助于酶化而完成的。在酶的作用下,细菌对锰的氧化有三种不同的机制。其中两种机制是有关游离 Mn^{2+} 离子的氧化,另一种是关于吸附在锰氧化物上的 Mn^{2+} 离子的氧化。

机制 1: 锰氧化酶借助于细胞色素把电子转移给氧,促使游离 Mn^{2+} 离子氧化:

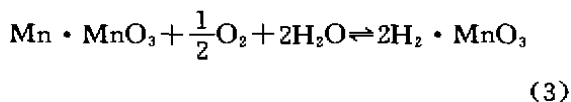


机制 2: 过氧化氢酶在反应中通过新陈代谢产生 H_2O_2 , 加速游离 Mn^{2+} 离子氧化:



机制 3: 锰氧化酶通过细胞色素把电子

转移到氧,氧化吸附在锰氧化物上的 Mn^{2+} :



5.2 间接氧化

一些微生物在其生长过程中,通过新陈代谢作用改变其环境的 Eh 和 pH,在锰的氧化过程中起着间接作用。许多微生物通过消耗或产生 O_2 以及还原化合物的排泄而改变着他们自己微环境中的 Eh,这样会引起锰的 Eh—pH 关系图上某些化合物稳定性的改变^[3]。尤其是 CO_2 的消耗以及 O_2 的增加会创造一个氧化环境,在高的 Eh 条件下,低价态的锰必然向高价态的锰转变。另外,微生物所排泄出的碱性代谢产物,使得环境中的 pH 升高,也有利于锰氧化物的形成。由此可见,微生物所产生的代谢产物能引起 Mn^{2+} 的化学氧化。

本文所研究的 Metallogenium symbioticum 是一种有机化能营养菌,它对锰的氧化主要是借助于过氧化氢酶而实现的,即上述氧化机制 2。过氧化氢酶在新陈代谢过程中产生 H_2O_2 ,从而加速 Mn^{2+} 的氧化。M. symbioticum 在对锰的作用过程中所表现出的周期性变化与细菌以及其它活性物质的新陈代谢有着密切关系。在氧化作用初始阶段,细菌数量逐渐增多,使得溶液的 pH 和 Eh 上升;而当出现锰的氧化物时,pH 骤然下降。这是由于过氧化氢酶催化锰氧化时,分解出大量 H^+ 离子,使得溶液的 pH 下降,相应地 Eh 也下降。同时,大量锰氧化物覆盖 M. symbioticum,使得该菌活性降低而下沉,测

得的被氧化锰的摩尔数也相应减少。

细菌参与下的锰的氧化与无菌条件下锰的氧化相比,有着明显的不同。不加菌的碳酸锰矿石放置 20 天没有任何变化,氧化作用几乎为零;而加菌后的碳酸锰矿石,一天以后就发生了变化,不管是 pH 和 Eh,还是被氧化锰的摩尔数都有所改变(见表)。在实验条件下,细菌数量少,种类单一,对锰的氧化作用较弱;而在广阔的自然界中,尤其在湿润的亚热带地区,细菌繁殖能力强,种类多,数量大,对锰的氧作用将会大大增强。

6 结论

综上所述可以看出,细菌的生长改变着环境的 pH 和 Eh,也影响着元素的活化、迁移、沉淀和富集。在整个作用体系中,细菌的生长及其与锰的相互作用都具有周期性的变化。细菌氧化锰可以有多种方式,Metallogenium symbioticum 主要是借助于过氧化氢酶在反应中通过新陈代谢产生 H_2O_2 ,加速 Mn^{2+} 的氧化。由此可见,微生物,尤其是细菌,是自然界中大量元素自身价态的主要催化剂。

参考文献

- 1 Kenneth H. N., The microbial manganese cycle. In: Krambein W. E., ed. Microbial geochemistry. Blackwell Scientific Publications, 1983. 191~216.
- 2 Silverman M. P. and Ehrlich H. L., Microbial formation and degradation of minerals. Adv. Appl. Microbial. 1964, 6: 153~206
- 3 Marshall K. C. Biogeochemistry of manganese minerals. In: Trudiger P. A. and Swaine D. J., eds. Biogeochemical cycling of mineral-forming elements. Elsevier Scientific Publishing Company, 1979. 253~292.

Mechanism of Interaction of Metallogenium Symbiotium and Manganese

Hao Ruixia, Guan Guangyue

The growth of Metallogenium symbioticum has cyclical changing characteristics, and the interaction of Metallogenium symbioticum and manganese also shows cyclical changing laws. Metallogenium symbioticum affects the pH and Eh of system, and can oxidize low-valence manganese to high-valence manganese. Bacteria oxidize manganese via all kinds of enzymes and by the action of various metabolites.

Key Words: Metallogenium symbioticum, Manganese, Oxidation, Cyclicity, Enzyme