

• 矿物与微生物交互作用的资源环境效应 •

## 细菌 *Arthrobacter* sp. SeRB-3 还原亚硒酸盐的动力学

袁永强<sup>1,2</sup>, 朱建明<sup>1</sup>, 刘丛强<sup>1</sup>

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 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

硒是人畜必需的微量营养元素, 但摄入过高时又会导致人畜硒中毒的发生。硒的毒性及其地球化学迁移等特性与其价态密切相关。硒在自然界中主要以四种价态存在, 即  $\text{Se}^{2-}$ ,  $\text{Se}^0$ ,  $\text{Se}^{4+}$  (亚硒酸盐硒) 和  $\text{Se}^{6+}$  (硒酸盐硒)。其中, 四价硒易溶于水、易迁移, 其毒性比其它价态更强, 是硒污染防治重点关注的研究对象。现有的大量研究已经表明, 微生物在硒的生物地球化学循环和形态转化中发挥重要作用。微生物能够将可溶的硒酸盐和亚硒酸盐转化为不溶的元素硒沉淀下来, 由此可作为硒污染生物修复的一种有效途径。然而, 目前有关细菌对亚硒酸盐还原的动力学研究还相对较少。借助动力学研究, 可以量化地表达亚硒酸盐的还原过程。

本研究利用从富硒碳质泥岩中筛选出的细菌 *Arthrobacter* sp. SeRB-3, 分别在好氧、兼性厌氧和厌氧条件下接种到含亚硒酸钠的葡萄糖酵母膏培养基 (YEG) 中, 然后在恒温 (37℃) 振荡箱 (200 r/min) 中培养, 并定时取样。利用氢化物-原子荧光仪测定不同时间培

养基中的四价硒。基于米氏方程的动力学模型, 我们得到了细菌酶催化反应的最大速率 ( $V_{\max}$ ) 和酶的特征常数 ( $K_m$ ), 结果如表1所示。

结果表明, 细菌 *Arthrobacter* sp. SeRB-3 对亚硒酸盐还原的动力学方程呈现线性规律, 符合一级反应动力学。在兼性厌氧条件下, 酶的特征常数  $K_m$  (均值) 和最大反应速率 ( $V_{\max}$ ) 都为最大。厌氧条件下虽然有着较高的  $K_m$  值, 但  $V_{\max}$  是最小的。好氧条件下的  $V_{\max}$  值位于兼性与厌氧之间, 这说明微氧环境更有利于 *Arthrobacter* sp. SeRB-3 对亚硒酸盐的还原。 $K_m$  和  $V_{\max}$  的差异, 反映了不同反应条件下酶的特异性差异。此外, 在好氧条件下的不同时间段, 细菌 *Arthrobacter* sp. SeRB-3 对亚硒酸盐还原的动力学参数略有变化。不同时段的  $K_m$  和  $V_{\max}$  的差异, 有可能缘于四价硒对细菌生长的抑制作用, 但是否存在拮抗四价硒机制的差异, 还有待进一步的研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金创新群体项目 (41021062) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-JC101) 联合资助

表1 细菌 *Arthrobacter* sp. SeRB-3 还原亚硒酸盐的动力学参数及方程

还原条件	$K_m$ (mM/L)	$V_{\max}$ ( $\mu\text{M/h}$ )	动力学方程	时间 (h)
好氧	9.08	1.36	$\frac{1}{V} = 735.29 + 6676.47 \frac{1}{C_1}$	0 - 18
	10.40	2.27	$\frac{1}{V} = 440.53 + 4581.50 \frac{1}{C_1}$	18 - 96
兼性厌氧	10.12	4.24	$\frac{1}{V} = 235.85 + 2386.79 \frac{1}{C_1}$	0 - 96
厌氧	10.05	0.15	$\frac{1}{V} = 6666.67 + 67000.00 \frac{1}{C_1}$	0 - 192