

细菌在黏土矿物表面吸附量测定方法的优化

田智宇, 李福春*, 李永

南京农业大学 资源与环境科学学院, 南京 210095

摘要:土壤微生物与矿物的吸附作用在矿物风化过程中具有重要的意义。为了优化细菌在矿物表面吸附量的测定方法,本文以胶质芽孢杆菌和蒙脱石、伊利石、高岭石为实验材料,对吸附在矿物表面的细菌数量的测定方法进行了研究。结果表明,利用茚三酮作为显色剂测定细菌蛋白质含量的方法可以获得可靠的细菌数量;以 2000 rpm 转数离心 10 min 可以有效地将矿物-细菌复合体与游离态细菌、矿物分开;3 种矿物对胶质芽孢杆菌的吸附能力大小顺序为:蒙脱石>伊利石>高岭石;矿物的比表面积、沉淀速率和表面所带电荷数量以及细菌细胞活性是影响吸附量的主要因素;黏土矿物与细菌之间的吸附作用力主要来自阳离子桥。

关键词:黏土矿物;胶质芽孢杆菌;矿物-细菌复合体;吸附;离心转速

中图分类号:P575.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1007-2802(2014)06-0778-06 **doi:**10.3969/j.issn.1007-2802.2014.06.004

Optimization of Measurement Method for Bacterial Number Absorbed on the Surface of Clay Minerals

TIAN Zhi-yu, LI Fu-chun*, LI Yong

College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: The adsorptions of soil microbes and minerals play important roles in the mineral weathering process. This paper measured adsorbed quantities of *Bacillus mucilaginosus* on the surfaces of clay minerals, montmorillonite, illite and kaolinite, and estimated the optimized measuring method. It showed that the bacterial number can be determined according to the measured content of bacterial protein by using ninhydrin as the chromogenic reagent. Centrifugation at 2000 rpm for 10 min can effectively separate minerals-bacteria complexes from free bacteria and minerals. The adsorption capacities of *Bacillus mucilaginosus* on the three minerals are of following sequence: montmorillonite > illite > kaolinite. The specific surface area, the precipitation rate, the charge quantity on the surface of mineral and the bacterial activity are the main factors affecting the adsorption capacity. The cation bridge and electrostatic attraction might have lead the adsorption of bacteria on the surfaces of clay minerals.

Key words: clay minerals; *Bacillus mucilaginosus*; mineral-bacterial complexes; adsorption; centrifugal speed

土壤微生物是土壤中最富活力的组分,主要由细菌、放线菌和真菌组成,其中以细菌的数量最多,可高达 10^{12} cfu/g 土壤(荣兴民等,2008)。在土壤中,大约占总量 80%~90% 的微生物黏附在各种矿物或矿物-有机物复合体表面,形成微菌落或生物膜(Nanniperi *et al.*, 2003)。矿物是土壤中固相颗粒的主要组成部分(占 95%~97% 以上),包括各种硅酸盐矿物和氧化物等(黄昌勇,2000)。黏土矿物是

土壤中具有代表性的矿物类型,其对土壤的一系列理化性质以及土壤中污染物的环境行为均具有显著的影响。因此,研究微生物—黏土矿物的相互作用对于土壤学和环境微生物学都具有重要的现实意义。

土壤矿物与微生物相互作用分为 4 步:细胞向固相表面迁移、初始吸附、细胞紧密地结合在矿物颗粒上和细菌在矿物颗粒表面定殖。细菌吸附于矿物

收稿日期:2014-09-05 收到,09-18 改回

基金项目:国家自然科学基金项目(41172308, 40573057);中国科学院知识创新工程重大项目(KZZD-EW-04-02)

第一作者简介:田智宇(1990—),男,硕士研究生,研究方向:土壤微生物与矿物风化。E-mail: tian199047@163.com.

* 通讯作者简介:李福春(1964—),男,教授,研究方向:土壤微生物与矿物相互作用。E-mail: fchli@njau.edu.cn.

表面以后,其代谢活性、硝化作用、呼吸作用和生长繁殖等特性均将发生变化,进而影响土壤微生物的多种过程(荣兴民等,2008)。此外,微生物与矿物的吸附作用还可以促进微生物-矿物复合体的形成,最终将影响到矿物的形成与演化、土壤结构的稳定性、土壤养分的有效性和土壤中污染物质的毒性等(荣兴民等,2008)。因此,研究土壤矿物对微生物的吸附作用具有重要的科学意义和潜在的应用价值。

以往对微生物在矿物表面吸附的研究主要集中在颗粒较粗的氧化物矿物(Shashikala and Rairchur, 2002)和硫化物矿物(魏德州等,2006)等体系,针对黏土矿物的研究相对较少。这主要是因为,黏土矿物的颗粒细小(与细菌细胞相近),因而较难将游离态的细菌细胞与吸附固定态的细胞以及游离态的黏土矿物颗粒进行有效分离。在研究细菌在矿物表面吸附行为时,研究者往往采用固定的离心转速和时间进行分离(周吉奎等,2003;蒋代华等,2007;冯伟亮等,2009)等等,未说明离心条件的选择依据,对矿物-细菌复合体有别于单一矿物和单一细菌细胞的特性也未给予足够的关注。蒋代华等(2007)曾试图利用密度梯度原理研究分离矿物与细菌的方法,但该方法忽略了可能与矿物-细菌复合体一起沉淀的部分游离态细菌。

以蒙脱石、伊利石和高岭石为黏土代表,以胶质芽孢杆菌作为细菌代表,重点研究了离心转速对矿物-细菌复合体和单一矿物以及单一细菌细胞沉淀效果的影响,试图寻找到测定细菌在矿物表面吸附量的省时、省力和节能的方法。

1 材料与方法

1.1 材料来源

胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginous*) YM-1菌株的菌种由南京农业大学土壤矿物研究室提供。YM-1菌株经过24 h的延滞期便进入对数生长期,经过72 h细菌数量达到最大。此后细菌数量开始降低,96 h以后进入衰亡期。蒙脱石样品购于浙江丰虹新材料股份有限公司,高岭石由上海五四化学试剂厂生产,伊利石由河北灵寿县奥森矿物粉体厂提供。3种矿物样品均磨细并过200目筛备用。

1.2 菌液制备方法

在进行吸附实验前,对实验室保存的YM-1菌株进行活化。用接种环挑取若干菌落于400 mL灭菌生理盐水中,在28℃和200 rpm条件下在摇床内振荡2 h使其分散,制成接种液。在180 mL液体培养基中加入20 mL接种液,制得培养液。培养液的

初始pH值为7.4。培养72 h后,培养液中含有的细菌数量约为 2.4×10^8 cfu/mL(平板计数法)。根据该菌的生长曲线可知,此时YM-1菌株处于稳定生长期。文中所有吸附实验均利用处于稳定生长期的细菌进行。将用上述方法培养的菌液在紫外线灯下照射60 min获得灭活菌液(梁馨云等,2008)。

1.3 最佳离心转速的确定方法

实验的离心时间均设定为10 min。通过两个阶段的实验确定最佳离心转速。第1阶段的实验在1000~3500 rpm转速范围内以500 rpm为间隔进行,以初步确定合适的离心转数范围。第2阶段的实验在1700~2500 rpm范围内以100 rpm为间隔进行。

1.4 细菌数量的测定方法

为了尽可能准确地测定细菌数量,作者首先参考细菌数量与蛋白质含量之间的函数关系(周吉奎等,2003)。实验方法简述如下:取9支10 mL灭菌的离心管,用灭菌移液管分别移入0、1、2、3、4、5、6、7和8 mL浓度为 1×10^9 cfu/mL的菌液。对于前8个离心管,用灭菌水补足至8 mL。以10000 rpm的转速离心10 min,反复离心3次后倒掉上清液,保留沉淀的细菌体。用2 mL浓度0.5 mol/L的NaOH溶液在100℃水浴锅中加热25 min。再加入1 mL浓度为2 mol/L的醋酸缓冲液和1 mL茚三酮显色液,充分混匀后,在100℃水浴中加热20 min,再用自来水冷却5 min后,加入3 mL浓度为60%的乙醇稀释,充分摇匀。在波长为562 nm时测反应产物吸光值。同时,用稀释平板法测定各离心管中细菌的数量。这样,可以制得细菌数量与吸光值关系的标准曲线。

分别吸取0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL,5.0 mg/mL标准蛋白质溶液于试管中,用0.9% NaCl溶液稀释至刻度,摇匀。以0.9% NaCl溶液为参比,在280 nm处分别测定标准溶液的吸光度,制定吸光值与蛋白质含量之间的关系曲线,并进而确定细菌数量与蛋白质含量之间的关系。

1.5 吸附实验方法

取20 mL菌液(或灭活菌液),加入50 mg黏土矿物,在室温和200 rpm条件下在摇床内进行一系列的吸附反应实验。吸附反应最长时间设定为70 min。吸附实验均设置3个重复。为了明确单一细菌和单一矿物沉降速率与离心转速的关系,设计了单一菌悬液(20 mL)和单一矿物悬浊液(50 mg)的离心实验,方法与吸附实验相同。在吸附反应结束后反复离心3次,倒出上清液,用茚三酮法测定沉淀

物中蛋白质的含量。利用细菌数量与蛋白质含量之间的关系式即可计算得到细菌数量。

2 实验结果

2.1 测定细菌数量方法的确定

目前,细菌数量的检测方法有平板计数法、显微镜直接计数法、同位素标记计数法、荧光闪烁计数法和蛋白质含量计算法等。一般认为,显微镜直接计数法的误差较大,平板计数法过程比较繁琐,而蛋白质含量计算法相对较为可靠和简单(蒋代华等,2007)。作者用茚三酮显色法测定蛋白质含量并计算细菌数量。细菌细胞数量与蛋白质含量之间呈极显著的正相关关系($r=0.94, n=8, p < 0.001$)(图1),这说明,用细菌细胞的蛋白质含量来表征体系中细菌数量是可行的。

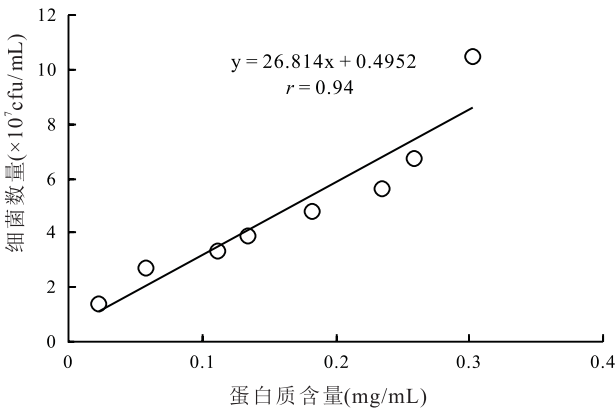


图1 细菌数量与蛋白质含量的关系

Fig. 1 Relationship between the bacterial number and protein content

2.2 吸附反应时间的确定

随着吸附时间的延长,细菌在黏土矿物表面的吸附量逐渐增大,在40 min之后吸附量不再变化(图2),这说明吸附反应时间设定为40 min为宜。

2.3 最佳离心转速的确定

第1阶段(在1000~3500 rpm 转速范围内以500 rpm 为间隔)的离心实验结果表明,最佳离心转数应介于1700~2500 rpmpp 之间。为此,第2阶段的实验在1700~2500 rpm 范围内,以100 rpm 为间隔进行。这样,离心转数为2000 rpm 和2500 rpm 的吸光值共有12组数据。第1批6组数据中3种矿物在2000 rpm 和2500 rpm 平均值分别为蒙脱石0.122和0.07、伊利石0.07和0.042、高岭石0.068和0.054,对应标准偏差分别为0.009和0.0015、0.006和0.001、0.002和0.003。第2批6组数据2000 rpm 和2500 rpm 平均值蒙脱石分别0.133和

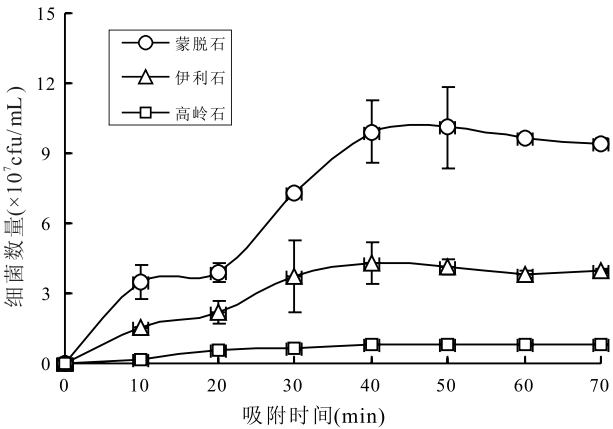


图2 3种矿物吸附细菌数量的动态变化

Fig. 2 Temporal changes of the bacterial number adsorbed on the mineral surface

0.069、伊利石0.069和0.053、高岭石0.064和0.053,对应标准偏差分别为0.02和0.002、0.0015和0.001、0.002和0.001。这些数据说明实验结果的重现性很好。

在实验体系中含有细菌、矿物和矿物-细菌复合体等多种组分。为了使所测结果能够比较客观地反映被矿物吸附的细菌数量,必须排除未被吸附的细菌(以下简称游离态细菌)和表面未吸附细菌的矿物(以下简称游离态矿物)的干扰。

在1000~3500 rpm 范围内的离心实验结果(图3)表明:①无论是单一矿物还是单一细菌或者是矿物+细菌混合物,其沉淀速率均与离心转速密切相关,3500 rpm 时上述3种组分基本上全部沉淀;②3种黏土矿物的沉淀速率与离心转速的关系存在差异,高岭石沉淀最快,伊利石居中,蒙脱石最慢;③矿物、细菌和矿物+细菌混合物的沉淀速率对离心转速的响应不同,总体上来看沉淀速率由大到小的顺序是:游离态矿物>游离态细菌>矿物+细菌混合物。3种黏土矿物的密度大致在2.6~2.7 g/cm³,细菌的密度为1.02~1.12 g/mL(蒋代华等,2007)。因此,很容易理解矿物沉淀速率大于细菌的现象。根据密度的大小来判断,矿物-细菌复合体的密度应该介于矿物和细菌之间。但实际上它的沉降速率最小。这可能说明矿物-细菌复合体有特殊性,不是矿物与细菌二者的简单加和作用。

矿物+细菌实验体系主要有3种组分:游离态细菌、游离态矿物以及矿物-细菌复合体。根据单一细菌和单一矿物的实验结果可知,游离态矿物和游离态细菌在1500~2500 rpm 时均已大部分沉淀,呈悬浮状态的组分主要是矿物-细菌复合体。因此,可以利用这一规律将矿物-细菌复合体与游离态细菌

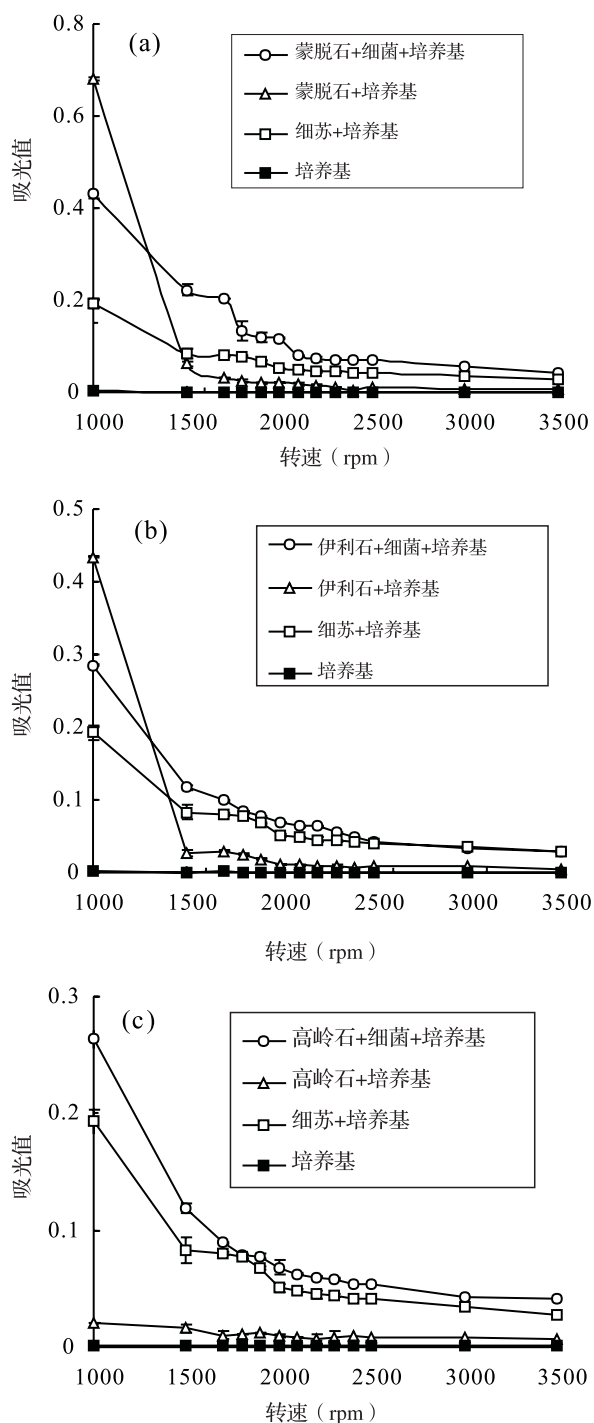


图3 蒙脱石(a)、伊利石(b)和高岭石(c) + 细菌实验体系中离心转速与吸光值的关系曲线

Fig. 3 Relationships between the centrifugal speed and absorbance value in the system of montmorillonite (a), illite (b) and kaolinite (c) + bacteria

和游离态矿物分离开。为了提高分离效果,作者又在1700~2500 rpm 转速范围内进行了加密实验(以100 rpm 为间隔)。结果表明,2000 rpm 是将矿物-细菌复合体与游离态细菌和游离态矿物有效分离的最佳转速。因此,后续实验均在2000 rpm 条件

下进行。

2.4 细菌活性对吸附率的影响

由图4可以看出,活菌和灭活菌在3种黏土矿物表面的吸附率变化趋势基本相同,大致上可以分为3个阶段:第10 min 之前为快速吸附阶段;第10 min 至第40 min 为第2阶段,吸附作用缓慢进行;第40 min 以后为第3阶段,吸附接近饱和状态。该结果进一步验证了以40 min 作为吸附反应时间的合理性。从图4还可以看出,3种矿物对YM-1 菌株的吸附率从高到低依次是:蒙脱石 > 伊利石 > 高岭石。对比图4a 和图4b 可以发现,3种矿物对活菌的吸附率均较灭活菌高10%左右,蒙脱石平均高9.6%,伊利石平均高10.0%,高岭石平均高10.2%(表1)。

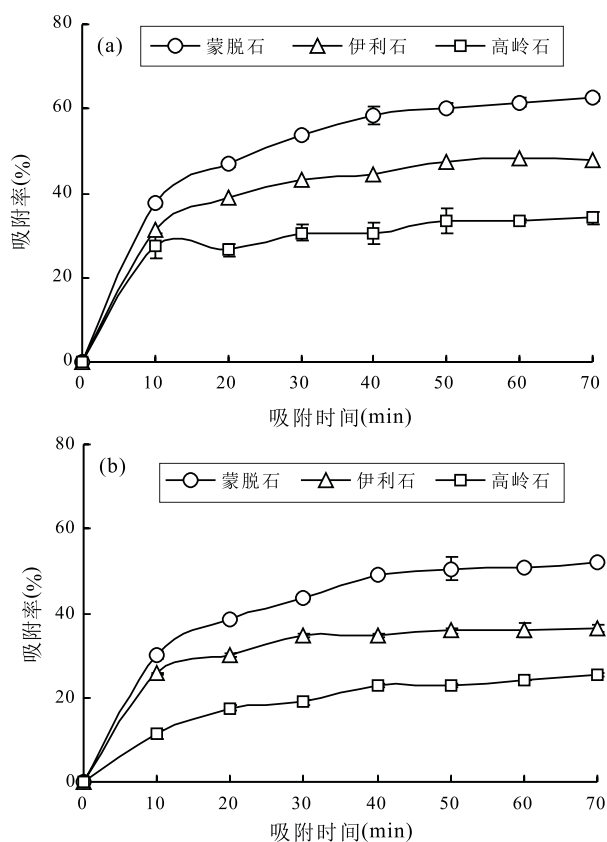


图4 活菌(a)和灭活菌(b)在黏土矿物表面吸附率的动态变化

Fig. 4 Temporal changes of the adsorption rate of live (a) and inactivated bacteria (b) on the surface of clay minerals

3 讨 论

3.1 影响吸附率的主要因素

3种黏土矿物在比表面积和表面电荷数量上的差异可能是影响它们的吸附能力的主要原因。细菌的比表面积约为 $145.0 \text{ m}^2/\text{g}$ (张学文等,2006)。高

表 1 活细菌和灭活菌在黏土矿物表面的吸附率
Table 1 Adsorption rate of live and inactivated bacteria on the surface of clay minerals (%)

时间 (min)	活菌			灭活菌			差值(活菌-灭活菌)		
	蒙脱石	伊利石	高岭石	蒙脱石	伊利石	高岭石	蒙脱石	伊利石	高岭石
10	37.5	31.5	27.5	30.0	25.7	11.3	7.5	5.8	16.2
20	46.8	39.0	26.5	38.7	30.0	17.5	8.1	9.0	9.0
30	53.7	43.1	30.6	43.7	34.7	18.9	10.0	8.4	11.7
40	58.3	44.4	30.5	48.9	34.6	22.9	9.4	9.8	7.6
50	60.3	47.4	33.3	50.5	35.8	22.9	9.8	11.6	10.4
60	61.5	48.2	33.3	51.0	35.9	24.1	10.5	12.3	9.2
70	62.7	48.0	34.2	52.0	36.5	25.3	10.7	11.5	8.5
80	63.0	48.6	34.9	52.5	36.7	25.7	10.5	11.9	9.2
平均值	55.5	43.8	31.3	45.9	33.7	21.1	9.6	10.0	10.2

岭石比表面积为 5~40 m²/g,伊利石和蒙脱石分别为 90~150 m²/g 和 700~850 m²/g(黄昌勇,2000)。可见,3 种矿物比表面积的大小顺序与它们对 YM-1 菌株吸附率的大小顺序一致。这说明矿物的比表面积可能是影响吸附量的重要因素。

蒙脱石的电荷零点(PZC)为 2.5(吴华勇等,2011),伊利石和高岭石分别为 2.8~3.2 和 3.4~3.6(胡岳华等,2003;赵声贵等,2007;关风等,2009)。作者实验的 pH(7.4)条件下 3 种矿物表面均带负电荷,其顺序与它们对细菌吸附率大小一致,即蒙脱石>伊利石>高岭石。这说明矿物表面所带电荷数量可能也对吸附作用产生一定的的影响。

3 种黏土矿物在溶液中的沉淀速率大小顺序(高岭石>伊利石>蒙脱石)与它们对细菌的吸附能力大小顺序(蒙脱石>伊利石>高岭石)刚好相反的事实说明,细菌可能容易在悬浊液发生吸附作用,而快速沉淀于容器底部的矿物颗粒则不利于吸附作用的进行。

3 种矿物对活菌吸附率均比灭活菌高 10%左右,说明细菌的活性在一定程度上影响吸附作用。

3.2 黏土矿物与细菌发生吸附的作用力

一般认为,矿物与微生物间的吸附与解吸作用是范德华力、静电力、疏水作用、阳离子键桥、氢键和空间位阻效应等多种作用力共同作用的结果(荣兴民等,2008)。本研究表明,阳离子键桥和静电引力可能是导致 YM-1 菌株在黏土矿物表面吸附的主要原因。由于类质同象作用或晶体边缘断键而在矿物表面形成活性基团,这使得土壤矿物颗粒表面常带净负电荷。微生物表面(尤其是其 S 层)含有羧基、磷酸基、氨基等功能基团,因而总体上也带负电荷(Douglas and Beveridge, 1998)。土壤细菌细胞壁的 PZC(4.5)(张学文等,2006)就说明了这一点。

若是仅仅依靠静电力吸附,则吸附能力应该与矿物表面带电荷数量大小顺序相反,即应该是带电荷越多,吸附能力越差。因此,作者推测,黏土矿物与细菌这两种带负电荷的胶体颗粒有可能通过电解质来形成阳离子键桥进而克服势能障碍(荣兴民等,2008)并最终发生吸附作用。

此外,静电引力可能对吸附作用也有一定的贡献,细菌可以通过新陈代谢作用减少表面负电荷数量甚至将其改变为带正电荷(Martinez *et al.*, 2008)。因此,与活菌相比,灭活菌表面负电荷较多,其与黏土矿物表面接触时的静电斥力也较大。这可能是灭活菌在矿物表面的吸附率低于活菌的主要原因。

4 结 论

通过一系列实验对细菌在黏土矿物表面吸附量的测定方法进行了优化研究。结果表明:用茚三酮作为显色剂的蛋白质含量测定法可以客观地反映细菌数量;吸附反应时间 40 min;2000 rpm 的转速下离心 10 min 可以使游离态细菌和游离态矿物与矿物-细菌复合体大部分留在悬浊液分离可较准确地测定被矿物吸附的细菌数量。3 种黏土矿物在溶液中的沉淀速率大小顺序为:高岭石>伊利石>蒙脱石,而它们对胶质芽孢杆菌 YM-1 菌株的吸附能力大小顺序则刚好相反:蒙脱石>伊利石>高岭石。矿物的比表面积、沉淀速率和表面所带电荷数量以及细菌活性是影响吸附量的主要因素;黏土矿物与细菌之间的吸附作用力主要来自阳离子桥,静电引力可能也起到一定作用。

参考文献 (References):

Nannipieri P, Ascher J, Ceccherini M T. 2003. Microbial diversity and soil functions [J]. *European Journal of Soil Science*, 54 (4): 655—670.

Shashikala A R, Raichur A M. 2002. Role of interfacial phenomena in determining adsorption of *Bacillus polymyxa* onto hematite and quartz [J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 24: 11—20.

Douglas S, Beveridge T J. 1998. Mineral formation by bacteria in natural microbial communities [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 26: 79—88.

Martinez R E, Pokrovsky O S, Jacques Schott, Oelkers E H. 2008. Surface charge and zeta-potential of metabolically active and dead cyan bacteria [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 323 (2): 317—325.

冯伟亮, 贺小敏, 沈敏, 张晓斌, 陈浩, 黄巧云. 2009. 恶臭假单胞菌与土壤矿物的界面反应及其对甲基对硫磷降解影响[J]. 分

- 析科学学报, 25 (5): 512—516.
- 胡岳华, 陈湘清, 王毓华. 2003. 磷酸盐对一水硬铝石和高岭石浮选的选择性作用[J]. 中国有色金属学报, 13 (1): 222—228.
- 关风, 钟宏, 刘广义, 赵声贵. 2009. 辛基胍浮选铝硅酸盐矿物的研究[J]. 轻金属, (2): 8—11.
- 黄昌勇. 2000. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 蒋代华, 黄巧云, 蔡鹏, 荣兴民, 陈雯莉. 2007. 黏粒矿物对细菌吸附的测定方法[J]. 土壤学报, 44 (4): 656—662.
- 梁馨云, 林鸿程, 柯行. 2008. 超净台紫外线对细菌的杀菌效果观察[J]. 临床和实验医学杂志, 7 (1): 71—72.
- 荣兴民, 黄巧云, 陈雯莉, 梁巍. 2008. 土壤矿物与微生物相互作用的机理及其环境效应[J]. 生态学报, 28 (1): 376—387.
- 魏德洲, 沈岩柏, 李晓安, 朱一民, 贾春云, 苏秀娟, 秦玉春. 2006. 诺卡氏菌在黄铁矿和闪锌矿表面的选择性吸附[J]. 中国有色金属学报, 16 (6): 1081—1087.
- 吴华勇, 蒋代华, 蔡鹏, 荣兴民, 黄巧云. 2011. 低分子量有机配体对黏粒矿物吸附苏云金芽孢杆菌的影响[J]. 土壤学报, 48 (6): 1293—1297.
- 周吉奎, 钮因键, 邱冠周, 覃文庆. 2003. 茚三酮比色法测定矿物表面吸附浸矿细菌蛋白质含量[J]. 中南工业大学学报(自然科学版), 34 (2): 128—131.
- 张学文, 蔡鹏, 黄巧云, 胡红青. 2006. 抗重金属细菌对土壤胶体和矿物比表面积的影响[J]. 华中农业大学学报, 25 (4): 393—396.
- 赵声贵, 钟宏, 刘广义. 2007. 季铵盐捕收剂对铝硅矿物的浮选行为[J]. 金属矿山, 368 (2): 45—47.

• 学会之声 •

第 21 届国际矿物学大会(21st IMA)在南非召开

第 21 届国际矿物学大会(21st IMA)于 2014 年 9 月 1~5 日在南非首都约翰内斯堡召开。来自全球 70 多个国家和地区的 800 余人参加了此次盛会, 其中有 40 多名中国科学家与会。大会围绕“深入探究矿物: 信息的矿藏”这一主题探讨, 设置了黏土科学、深部地球、经济地质与应用矿物、环境矿物学与环境地球化学、地球化学与岩石学、结晶学与矿物学、行星和宇宙矿物学、分析测试技术与应用等 10 个板块, 共 58 个专题。与会代表就这些专题展开了热烈并富有成效的交流和讨论。

会议大会报告 8 个, 分会场报告 500 余个, 展板约 230 块。我会理事鲁安怀教授应大会邀请做了题为“Photoelectrons from mineral and microbial world: A new perspective on the interactions between geosphere and biosphere”的大会报告并引起广泛关注。鲁安怀教授曾创新性提出并开辟了日光下天然硫化物与氧化物半导体矿物与非光合微生物协同作用的研究方向, 取得若干重要研究成果。目前普遍认为矿物光电子能量在合成生命物质、保护早期细胞与提供代谢能量上具有重要作用, 对研究地球物质循环与环境演化以及地球早期生物能量来源乃至寻找地外生命活动具有重要的意义和深远的影响。

会议报告及展板显示出目前矿物科学研究的基本现状: ①矿物学基础研究领域, 包括结晶学、晶体化学、新矿物与矿物分类命名、具体矿物族(种)、黏土矿物学、实验矿物

学、应用矿物学、成因矿物学等研究方向仍保持良好的发展趋势; ②矿物分析测试技术, 包括矿物谱学、同步辐射、TEM 等电镜及其他成像技术、定年技术等, 进一步向更微观、更定量且原位并实时化方向发展; ③与传统地质学有关的研究仍是当前最活跃的研究方向之一, 如岩石学与地球化学中矿物学问题、大陆演化与地球深部矿物学、矿床矿物学等, 而新兴的环境矿物学、生物矿物学、宇宙和行星矿物学等则显示了强劲的发展势头; ④依托测试技术的进步, 微细的纳米矿物的种属和特征研究上都有新发现和新进展。会上的交流与展示充分反映出矿物学作为地球科学乃至固体科学中的重要基础学科, 在诸多研究领域中具有不可替代的作用, 并具有显著的交叉学科研究优势, 具有广阔的发展前景。

大会期间还进行了 IMA 理事会换届选举。我会理事鲁安怀教授继续当选为执行理事, 我会副秘书长倪培教授继续当选为矿物包裹体委员会主席。有关新一届 IMA 理事会组成成员, 可登录网址: <http://www.ima-mineralogy.org/> 了解。

会议决定, 第 22 届国际矿物学大会将于 2018 年 8 月底至 9 月初在澳大利亚墨尔本召开, 详情请登录网站 <http://www.univie.ac.at/Mineralogie/ima-2018/> 或 <http://www.ima-mineralogy.org/> 查阅。

(王长秋 供稿)