

矿物尘粒与微生物作用研究进展*

董发勤¹⁾ 邓建军²⁾ 贺新生³⁾ 王伟¹⁾

(1—西南工学院, 绵阳 621002; 2—绵阳市第四人民医院, 绵阳 621000;

3—绵阳经济技术高等专科学校, 绵阳 621000)

主题词 矿物尘粒 微生物 细菌 界面作用 毒性效应

提要 矿物微(尘)粒与细菌微生物的生物活性和毒性效应研究是国外刚开展的新方向。本文结合国外此类研究的最新进展, 以及国内菌/尘研究的现状, 强调微生物与矿物界面的作用与依存关系。指出目前在居室和大气环境、洋底环境和极地环境、人体环境下的菌/尘作用产物和机制研究的不足, 以及应开展研究的主要方面, 预测了近期矿物与微生物作用研究的趋势。

1 引言

环境矿物学是近几年兴起的交叉学科领域。国内外学者已开展了矿物环境污染效应、矿物治理环境污染、矿物古环境推演与重建等方面的研究, 最近也开展了矿物与艺术品保护恢复、矿物与医学环境卫生相结合等方面的研究。这些研究无疑将对古老的矿物学赋予更强的社会功能和艺术价值。

矿物微(尘)粒与细菌微生物的生物活性和毒性效应研究是国外刚开展的新的研究方向, 如从大气浮尘中矿物的界面自由基释放出发, 研究人们以往忽视的微生物效应等, 国内还没有这方面研究的报道。目前, 随着我国国民经济的飞速发展, 人们的生活环境质量不容乐观, 局部地区有明显下降的趋势, 特别是大气环境质量。欧洲居室环境大气悬浮物总量为 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而我国则超过该数量级的很多倍, 特别是北方干旱季风区和重工业、原材料加工污染带尤其如此。因此, 对大气悬浮物污染危害及环境保护问题的研究是十分必要的。

2 矿物与微生物作用研究对人体和居住环境的价值

2.1 矿物与微生物作用的研究价值值得重视

表土上扬、燃煤和施工是大气污染物中悬浮颗粒物的主要来源(大城市还有气体污染物), 我国尤以北方干旱沙漠地区的季风季节为甚。大气总悬浮颗粒物中以超细硅酸盐、粘土、石英等微粒居多^[1,2], 工业飞灰中还含有玻璃、莫来石、尖晶石等微粒^[3]。在欧洲的生活住宅区, 灰尘浓度为 $9\sim 56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均 $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 绝大多数灰尘 $< 2.5 \mu\text{m}$, 烟炱和硫颗粒 $< 1 \mu\text{m}$, $> 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒主要是有机物和硅酸盐^[1]。

矿物微(尘)粒可以进入人体的呼吸系统和消化系统并在肺部长久沉积, 不断与人体体

* 本文为国家自然科学基金资助项目(编号: 49502025)

第一作者简介 董发勤, 男, 1963年生, 教授, 主要从事矿物材料和环境矿物学研究及教学工作。

收稿日期 1999-08-20, 改回日期 1999-10-15

液、体细胞、体内宿主微生物长期缓慢作用而影响体内代谢平衡,并使残积矿物微(尘)粒发生溶解、转化和迁移。自然界矿物与微生物的作用广泛存在,如斜长石、黑云母花岗岩中的Ca、Mg与生物降解的硝酸盐密切正相关(0.99);石灰岩、石碑和蛇纹石化超基性岩的风化均有硝化细菌和硫杆菌参与^[4],铁氧化细菌可使铁矿石转化成黄钾铁矾、黄钠铁矾、黄铵铁矾、海绿石(或伊利石、钾长石),钠长石也可提供K、Na实现这一过程而使自身风化。富含Fe、K、Ca的硅酸盐容易被生物降解、破坏。

难溶含硅矿物中的元素Si通过生物作用发生迁移转化,不仅影响大型动物和植物,而且影响微生物,Si与C、P元素的构形、价态相似,也与生物行为有密切关系。难溶含硅矿物微(尘)粒与人体正常宿主菌群相互作用的研究,对查明大气漂浮矿物尘粒的细菌降解性和毒性、人工活性无机物降解与代谢、生物活性药剂矿物载体的安全性与有效性以及协同作用和拮抗作用、微生物解毒和容纳有毒元素的能力、生物结石成因和微生态平衡等方面具有重要的科学意义。对硅质材料生物耐久性、艺术品抗生物风化性、矿物表面生物改性、土壤的形成和降解作用、土壤肥力及有用元素的运移和吸收与转化、矿物态营养元素的生物活化和利用等方面机理的研究,以及生物活性材料、微生物与矿物药效、矿物微生物化工过程控制与利用等方面的研究均具有潜在的重要价值。

2.2 矿物与微生物作用研究带动多学科的活跃参与

矿物与微生物作用研究的最新动态是,运用环境矿物学、表面物理化学及微生物化学、有机配位化学和环境毒理学、材料学、考古学、建筑学,甚至艺术的基本理论和实验方法,利用界面化学、生态学和生物膜化学、环境学、材料学的基本规律,以现代气、液、固相的微束和波谱手段研究界面的变化及新生产物。如用电子顺磁共振谱和电镜手段进行微(尘)粒的液相自由基研究,胞界配合体微观结构研究,矿物细菌微生物作用产物研究,细菌微生物作用残留矿物表面与特征研究,矿物与菌株生长抑制与酶促反应研究,以及粉尘微生物毒性评估等。对矿物微粒表面、胞膜表面配合体、自由基及其转化、离子汇聚中心与胞膜表面、生物溶解与成核矿化的关系,并结合现代微生物理论,发展和深化矿物微粒环境矿物学的环境保护理论,从而揭示BCM(生物化学矿化)和BCMS(生物化学矿解)的本质及正常菌落在清除矿物微(尘)粒过程中所起的作用。

3 微生物与矿物界面

严格的物质表面指的是固体物表面在真空状态下,物体内部和真空之间的过渡区域,是物体最外面的几层原子和覆盖其上的一些外来原子和分子所组成的表面层。在几何学上,表面是具有二维因次的没有厚度和体积的一块面积。这和我们生活中所看到的液体和固体物的外部不同。由于多数物质的表面不具备真空条件,界面就成为更真实和普遍的表面状态。界面是指两个物质相态相接触的分界层,也称界面层。它占有零点几到几纳米。矿物和体系可构成固/气、固/液、固/固三种界面,而微生物因其自成一生物体系,一个微生物单体就同时存在上述三种界面。因为微生物生命活动过程中就伴随产气、产液和代谢残片,因此,在矿物的三种独立的界面型上均可与微生物作用生成新的界面体系。

3.1 矿物界面的营养富集

矿物界面对微生物有一定的生化特性,这不仅局限于矿物能提供一部分生物无机质和

无机营养元素,而且在于矿物界面的独特界面力对离子、大分子、胶体和生物残片在界面附近的分布和富集有重要影响。如矿物在气体环境下可吸附漂尘和大气散落物中的微小营养物质;水体中的矿物可富集雨水、地表径流和地下水中各种营养物质,形成微薄层。矿物界面的亲水性或疏水性所附生的气泡为矿物界面的营养物质在水体中的吸附、浓缩和迁移提供了一种有效的方式,也可导致选择性地富集微生物,这就表现为矿物吸附气泡分离过程。这种分离和运输的选择性对微生物的贡献还取决于微生物自身的特性。矿物在较复杂的固态土壤环境中的营养富集与土壤和植物的循环代谢有关,局域的差异性更趋明显。显然,矿物自身界面的特性如表面电性、表面形态、表面解理纹、亲水-疏水性和表面生化活性等都是影响其界面营养富集的活跃因素。

3.2 微生物在矿物界面的分布

微生物在矿物界面的分布方式、机制和效应取决于微生物的种类和矿物界面的性质。运动的微生物会沿矿物界面或其它界面附近的营养梯度面分布。业已证明,当 $\gamma_{bw} > \gamma_{bo} + \gamma_{wo}$ (γ_{bw} 为细菌-水界面的表面张力, γ_{bo} 为细菌-油界面的表面张力, γ_{wo} 为水-油界面的表面张力) 时,细菌即进入油相;当 $\gamma_{bo} > \gamma_{bw} + \gamma_{wo}$ 时,细菌即进入水相。由于大部分天然矿物的 $\gamma_{mo} > \gamma_{mw} + \gamma_{wo}$ (γ_{mo} 为矿物-油界面的表面张力, γ_{mw} 为矿物-水界面的表面张力),可与进入水相的微生物处于一个体系之中。细小性是矿物尘粒和微生物如细菌同处于气相体系的共同基础。矿物的吸附性如吸水性和稳定性为细菌的生存提供了一定的寄生条件。因此,矿物的改性、包覆等处理均大大改变了矿物的界面状态和与微生物作用的体系环境。

同处于一个体系中,矿物与微生物的依附主要取决于矿物的界面状态和介质的性状。如矿物的表面电性的正负及介质中的电解质浓度和电价,是矿物和细菌相互运动的基本动力。矿物和微生物作用的细小微粒被相互吸引的结果是形成一个新的稳定的或介稳的界面层。界面层可由两种方式产生,一是可逆吸附作用,即矿物与细菌吸附得并不牢固,而是在表面之间有很小的距离;二是粘附作用,即矿物表面与细菌的表面产生了分子构型之间的相互作用,或起了某种反应,这种作用有可能是暂时的,也可能是永久的。

微生物与矿物界面作用的研究有重要的实践意义,如结垢与微生物的界面粘附有关,因而,只要改变材料的表面(固体表面最初的临界张力)基质就可达到防垢、防霉的效果,也可开发矿物防垢、防霉剂和涂层等。又如重金属在水系中通常和悬浮颗粒相结合,而粘附在颗粒上的细菌具有高水平富集固-液界面处浓缩的重金属的特性。据此研究出的物理化学-生物化学方法,对治理重金属污染具良好效果。

4 矿物与微生物作用的研究热点

从第17届国际矿物学大会(IMA)的交流中了解到,矿物与微生物作用研究在矿物表面研究和环境矿物学中已形成非常活跃的领域。《美国矿物学家》在1998年底出专集反映矿物与微生物作用研究的最新成果。在国外,对矿物与细菌作用的研究多集中于:可溶性金属离子与微生物在细胞水平上的吸附、聚集、成核矿化(形成纳米结晶物);菌生矿物的专属性与控制,如磁性菌形成磁铁矿^[5],并区分细菌形成矿物为BIM(生物引导矿化)型和BCM(生物控制矿化)型;洋底纳米铁、锰菌成结核作用,如太平洋底的菌成铁硅酸盐和铁氧化物,其粒度小于500 nm^[6];金属离子/细胞壁/硅酸盐阳离子控制成核作用;细菌表面容易键合溶

解离子化物质引导各种矿物成核作用,如菌生氧化物、硅酸盐、硫化物等;细菌在铝硅酸盐的风化影响中的作用,细菌寄生、矿物表面状况与寄聚关系等方面,如细菌常寄生在云母、斜长石矿物表面的解理台阶和颗粒边部^[7]。目前已注意到,生物行为在很大程度上影响着表层环境下的矿物特征;注重细菌、真菌对地表碳酸盐喀斯特作用的生态过程的影响;也有研究者将耐高温菌种应用于淋滤浸矿作用,如利用耐高温的氧化亚铁硫杆菌、小螺旋菌、硫化裂片菌、双歧杆菌等参与生物冶金过程^[8];利用细菌表面吸附各种环境中的金属,以及在作用表面生成微细矿物(bona fide minerals)^[9];生物膜与矿物转化关系的研究等,如菌成铁矿物就是氧化物和氢氧化物与细菌作用过程中可迁移溶解灰色花岗岩中的磁铁矿颗粒并使之转化为赤铁矿,铁矿物陷入细胞壁和散布在S层的生物膜上^[10];H. Vali等研究了体内血液中纳米微生物的矿物结晶作用^[11];硅等有害元素在细菌中容集和生长^[5];体内结石成因及其颜色与细菌的关系^[12];矿物对酶活性的影响^[13]等方面的研究在环境医学上也已开展。

目前,国际上仍以水体系矿物与微生物作用研究为重点。加拿大以湖泊、海洋环境为主,美国以深海底底、动物体内环境(菌群)为主,日本以河流、污水环境为主,欧洲以大气、古迹环境为主来研究菌群和产物的关系。

先前已有较多研究的环境资源的微生物技术也有新的发展,主要集中在开发和寻找高效菌种上,其中异常环境中嗜性菌和耐用受菌研究受到重视,如嗜酸菌、嗜碱菌、嗜热菌、嗜水气菌、嗜盐菌的驯化与应用等。土壤中根瘤菌资源的利用和开发已进入网络数据库阶段。由于菌种明显的选择性使利用微生物技术深加工矿物的应用受到限制,因此,扩大微生物种与矿物种作用的范围也是重要的研究方向之一。

在生物矿化研究方面,目前主要集中在可溶性盐水体中细菌与矿物的结晶制约关系上。在生物防腐和抗风化方面,古建筑和各种古迹的灭菌保护和修复已经进入实用阶段。

5 国内矿物与微生物作用研究的现状与差距

在国内,微生物降解有机物的研究较多,如放线菌降解有机纤维等^[14]。土壤微生物(根瘤菌类)活化土壤中矿物固定钾、磷、硅等有益元素的研究^[15]也有较多积累。在80年代末,对黄铁矿等细菌氧化硫化物,以及利用细菌脱除金、锡精矿中的砷已有研究^[16]。最近,也对人工活性陶瓷降解与代谢^[17],微生物参与磷、金、石油成矿作用,煤碳中有机硫与黄铁矿型硫的细菌脱除^[18],净化回收放射性元素核废水^[19],真菌对铅的吸附等开展了研究^[20]。另外,对大气环境中悬浮物的人体毒性(肺泡、溶血)也有研究^[21]。

研究工作在矿物类别上以硝酸盐矿物、硫酸盐矿物、变价元素的金属氧化物(MnO_2 、 Fe_2O_3 等)为主,也有硅酸盐细菌对石英、高岭土、伊利石、铝土矿^[22]等进行淋滤活化的研究^[23]。在层位上,以微生物、细菌分泌物的表生作用、风化作用,地表水体(对碳酸盐沉积的影响)、洞穴和土壤环境中陆生细菌和真菌的碳酸盐沉积作用研究居多^[24]。在菌落上,以对化能自氧型微生物(硝化菌、硫化菌如 *Ferrobacillus sulfoxidans*、铁化菌如 *Gallionella Ferruginea*)的研究较为深入。对含硫矿物、含铁矿物的微生物转化,细菌适应性驯化,菌株和矿石相互作用,培养液对矿石的适用性,菌浸过程中的条件控制,微生物活性、耐毒性等也有了较多的探讨。

本文作者在前期的自然科学基金项目中对矿物纤维粉体/有机体酸系进行了较深入的

研究,对矿物粉体/人体 Gamble 体系、人体氨基酸—维生素体系、人体血清体系作用过程和产物及影响因素进行了系统研究^[25~28]。研究工作表明,矿物粉体陷入巨噬细胞的生物膜内并发生了反应^[29];发现柠檬酸、草酸、酒石酸、石碳酸对 Ca、Al、Si、Fe 有强螯合作用^[26,27]。动物体内病变纤维研究表明,青石棉的 OH 消失,而 Si 元素已进入细胞和膜,呈现圆球状顶端,在红外谱上出现 C—O—Si 化学键振动,表明生物对纤维中硅的转化起重要作用。在纤维粉体与血红细胞的作用中发现,若有细菌参与,则体系会出现吸附、团聚作用,溶血率大为降低^①。

从上述对比可以看出,国内对异常环境下矿物与微生物作用方面的研究存在明显不足,特别是在居室和大气环境、洋底环境和极地环境、人体环境下的作用产物和机制方面的研究很弱。国内在居室和大气环境、人体环境下的研究可以从下述方面着手:

(1) 查明特种环境和居室环境中大气悬浮物中矿物的浓度、种类、比例和在环境卫生毒理上所起的作用;

(2) 查明硅酸盐矿物微(尘)粒的活性结构态特征与细菌微生物可降解、转化的方式,以及两者之间吸收(氧化—还原)溶解和稳定、沉淀成核的制约关系;

(3) 查明硅酸盐矿物微(尘)粒激活细菌微生物新酶及原生酶促反应的活性与变异;细菌微生物代谢产物对惰性矿物微(尘)粒的微生物活化;

(4) 查明硅酸盐矿物微(尘)粒对人体正常菌群的生长抑制、毒性剂量及对微生态菌落平衡的影响,建立硅酸盐粉尘毒性的细菌微生物评估方法和居住环境粉尘安全浓度范围。

在矿物微(尘)粒与菌株作用中应揭示:矿物微(尘)粒赋存元素结构态对菌株分解、吸收及对体内矿物质元素迁移利用的影响;矿物微(尘)粒自由基释放对菌株固有酶/新酶的作用与影响(酶促反应和激活能力);矿物微(尘)粒对菌株生化代谢产物的作用与影响(低分子量酸性、碱性和胞外多糖的代谢产物);接触界面特征对体系微粒的粘附与凝聚行为的控制(粉尘或菌株)。

在环境因子对矿物微(尘)粒/菌株作用的制约方面应揭示:贫、富营养环境对矿物/菌株作用过程的连续性和速度的影响;电场、磁场和微波中矿物微(尘)粒与菌株相互作用的有效性研究;pH、 E_h 、粉尘浓度、作用时间、粒度、温度、共存离子、驯化与预处理对矿物微(尘)粒与菌株作用的影响。

在矿物微(尘)粒的菌株毒性效应研究方面应揭示:粉尘浓度对细菌生长的抑制作用;矿物微粒杀菌的可能性与有效性研究及细菌脱硅方法探索;矿物微(尘)粒电化学与表面物理化学特征对嗜性菌耐尘性的影响。

较难解决的问题是,矿物元素离子进入微生物的部位与形式、营养作用及固定作用(不溶作用),阐明矿物—溶液中离子—生物离子聚集(汇点)的关系与关键控制因素;混合粉尘的种类和粒度与细菌选择性作用及与表面接触配合体的形成和表达;矿物粉尘与细菌分泌物(蛋白质、酶、肽、氨基酸)的作用产物的界定与抑制。

①董发勤,万朴,彭同江等.生物活性矿物纤维表面介体及其活化机理研究.总结报告,1999.

6 矿物与微生物作用研究的基本走向

综上所述,国内外矿物与微生物作用研究的基本走向可以归结为:

(1) 尽管有酸解、络解、碱解作用的提出,但对矿物与微生物的作用机制的主导内因仍将继续深入研究。

(2) 对非化能自养菌,硅酸盐矿物的吸收、溶解和稳定、氧化、还原、沉淀和成核,培养液对矿物的适用性,细菌作用过程中的条件控制(pH、 E_h 、 T 、 C 、 O_2 、 CO_2 、清除速度)等研究将在应用前景的推动下形成新的分支。

(3) 对单一矿物(粉尘)和混合矿物(粉尘)的离子交换作用(包括微生物细胞表面吸附作用或吸收作用)的研究将受到足够重视;把矿物微(尘)粒在悬流体表面的电化学反应、成核结晶—溶解与微生物代谢产物的相互影响统一起来研究膜化学与降解的关系。

(4) 针对矿物在体内的有机/无机体系相互作用过程中对微生物活性、耐毒性、酶促反应及激活条件的影响的研究,对粉尘加入后细胞内外渗透压、胞液pH值变化的研究,对B族维生素、VC及氨基酸的需求变化的研究,会促进对矿物尘粒生物毒理的深入揭示。

(5) 矿物活性结构态特征对微生物类别的适用性研究,对矿物/菌株产物行为,特别是对混合矿物的选择性作用及控制因素的研究将受到重视。

矿物/微生物相互作用应包括降解(溶出、减溶、不溶)、转变、迁移、沉淀、成核(矿化)的全过程。目前,对“生物成因”的矿物只重视微生物(或大生物)参与直接“矿化”的结果,对相互作用体系的研究重视不够。显然,应研究矿物粉尘/细菌微生物/有机溶液三元复合体系中以及体内细胞存在的多元体系中的作用过程和产物,阐明控制硅酸盐矿物中硅物质在细菌微生物循环转化中的物理化学参数,突出矿物类别的差异性与生物菌群作用产物和机制的矿物—环境学特点;以晶界、膜界来建立新的界/膜体系,从子体系进行物质、能量交换的角度来研究粉尘的变化和产物的代谢。

致谢:感谢国家自然科学基金委员会资助作者参加第17届国际矿物学大会(资助号:49810210649),也感谢加拿大劳伦丁大学 John Huang 教授提供的帮助。

参 考 文 献

- 1 Ormstad H *et al.* Quantification and characterization of suspended particulate matter in indoor air. *Sci. Total. Environ.*, 1997, 193(3): 185~ 196.
- 2 王晓云,丁国武. 兰州地区大气悬浮颗粒对人全血细胞DNA合成的影响. *环境与健康杂志*, 1998, 15(2): 68~ 70.
- 3 曾荣树,赵杰辉,张振禹等. 环境矿物学研究的最新进展. *岩石矿物学杂志*, 1997, 16(增刊): 176~ 180.
- 4 Krumbein W E. 微生物地球化学. 杨承运,张 昀等译. 北京:地质出版社,1990.
- 5 Devouard B, Posfei M, Hua X *et al.* Magnetite from magnetotactic bacteria: size distributions and twinning. *Am. Miner.*, 1998, 83(12): 1387~ 1398.
- 6 Fortin D, Ferris E G and Scott S D. Formation of Fe₂silicates and Fe₂oxides on bacterial surfaces in samples collected near hydrothermal vents on the Southern Explorer Ridge in the northeast Pacific Ocean. *Am. Miner.*, 1998, 83(12): 1399~

- 1408.
- 7 Barker W W, Welch S A, Chu S *et al.* Experimental observation of the effects of bacteria on aluminosilicate weathering. *Am. Miner.*, 1998, 83(12): 1551~ 1564.
- 8 Tormn A E. Advances in biochemical engineering. *Biochemical Engineering Symposium Proceedings*, 1997, 32(6): 1~ 37.
- 9 Beveridge T J. Interaction, concentration and mineralization of environmental metal ions by bacterial surface. Abstracts of 17th IMA, IMA Logo, 1998: A45.
- 10 Sherriff B L and Brown D A. Iron mineral reactions mediated by environmental bacterial consortium. Abstracts of 17th IMA, IMA Logo, 1998: A45.
- 11 Vali H. Biomineralization by the smallest know nano_organisms in blood: implications for pathogenic disease. Abstracts of 17th IMA, IMA Logo, 1998: A45.
- 12 伍晓汀. 细菌在胆石形成中的作用研究进展. *国外医学: 外科学分册*, 1996, (5): 277~ 279.
- 13 Hara K. Effect of fluoride on human salivary amylase activity. *Fluoride*, 1995, 28(2): 71~ 74.
- 14 李宪臻. 放线菌降解纤维素机理的研究. 见: 国家自然科学基金资助生命科学项目摘要汇编: 微生物学学科. 国家自然科学基金生命科学部编, 1997.
- 15 黄建国. 外生菌根活化土壤无效钾的研究. 见: 国家自然科学基金资助生命科学项目摘要汇编: 微生物学学科. 国家自然科学基金生命科学部编, 1997.
- 16 王恩德. 环境资源中的微生物技术. 北京: 冶金工业出版社, 1997.
- 17 李世普, 阎玉华. β -TCP 陶瓷的降解机理和代谢途径研究. *中国科学基金*, 1999, 13(2): 99~ 100.
- 18 钟惠芳. 微生物脱除煤炭中有机硫的研究. 见: 国家自然科学基金资助生命科学项目摘要汇编: 微生物学学科. 国家自然科学基金生命科学部编, 1994.
- 19 李福德. 微生物净化回收核工业废水中钚₂₃₉的研究. 见: 国家自然科学基金资助生命科学项目摘要汇编: 微生物学学科. 国家自然科学基金生命科学部编, 1994.
- 20 吴涓, 李清彪, 邓旭等. 白腐真菌吸附铅的研究. *微生物学报*, 1998, 39(1): 87~ 90.
- 21 赵毓梅, 赵五红, 李秋莹等. 大气总悬浮颗粒物的肺毒性及抗毒性试验研究. *环境与健康*, 1998, (1): 1~ 4.
- 22 佚名, 黄开飞译. 铝土矿的生物选矿——用多粘杆菌除钙和铁. *国外选矿快报*, 1997, 22(280): 5~ 8.
- 23 连兵. 硅酸盐细菌 GY92 对伊利石的释钾作用. *矿物学报*, 1998, 18(2): 234~ 238.
- 24 张捷, 李升峰, 周涪涪等. 细菌、真菌对作用的影响研究及其意义. *中国岩溶*, 1997, 16(4): 362~ 369.
- 25 Dong Faqin, John Huang, Wan Pu *et al.* The solubilities and health effect of fibrous brucite. Abstracts of 30th IGC, Vol. 1 of 3, 1996, Beijing: 46.
- 26 Dong Faqin, Wan Pu, Li Guowu *et al.* The biochemistry feature and environmental significance of industrial mineral fibers in Gamble solution and organic system. Abstracts and programme of 17th general meeting of IMA, IMA Logo, 1998: A47.
- 27 李国武, 董发勤, 万朴等. 硅灰石矿物在有机酸体系中的溶解性实验研究. *矿物岩石*, 1998, 18(2): 25~ 30.
- 28 李国武, 董发勤, 万朴等. 水镁石矿物在氨基酸中的电化学及溶解性研究. *微生物学报*, 1999, 19(3): 34~ 38.
- 29 邓建军, 董发勤, 蒲小允等. 工业矿物粉尘对肺泡巨噬细胞影响的体外研究. *中国环境科学*, 1999, 19(2): 23~ 25.

Advances in the Study of Mineral Dusts and Microbiological Action

Dong Faqin¹, Deng Jianjun², He Xinsheng³, Wang Wei¹

(1—Southwest Institute of Technology, Mianyang 621002; 2—No. 4 People's Hospital of Mianyang City, Mianyang 621000; 3—Economic and Technical Higher Training School of Mianyang, Mianyang 621000)

Key words: mineral dust; microorganism; bacteria; interfacial action; toxic effect

Abstract

The study of biological active and toxic effect of mineral particulates (dusts) and bacterial microorganisms is a new branch of environmental mineralogy just carried out both in China and abroad. Combined with the reserach situation of applied microorganisms such as microbiological and soil fertilizers, the extraction of microorganisms and elements, the removal of microbiological dirt and harmful elements, this paper deals emphatically with the action of microorganisms to mineral interfaces as well as their interdependent relationship, and points out the shortcomings in the study of the product and mechanism of bacteria/dust action under the condition of residential and atmospheric environment, ocean floor environment and polar environment as well as human body environment. It is held that emphasis should be placed on research work of mineral dusts/ bacteria stem action and its environment_conditioning factors, the toxic effect of the process of dusts/bacteria action, the mutual selection between elements and bacteria in mixed dusts and the expression of the coordination body. It is probable that the major attention will be focused on such problems as the leading dynamic force of mineral/ bacteria stem action and the action of auto_oxidized bacteria on dusts of silicate minerals. Importance will be attached to the mutual surface adsorption between mixed mineral dusts and microorganisms, the metabolites produced when mineral dusts enter microorganic system as well as the variation in the requirements for environmental vitamin and amino acid. The characteristics of crystal boundary and membrane boundary are emphasized.