

芽孢杆菌 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 的初步研究

刘常宏, 金 梁, 薛雅蓉

南京大学 生命科学学院, 南京 210093

摘要:硫酸盐还原菌(Sulfate reduction bacteria)是一类在土壤或水体重金属污染生物修复中能够发挥重要作用的微生物类群。本实验采用摇瓶培养和还原率的测定方法,研究了一株采自海岸潮间带土壤的 SRB 芽孢杆菌还原 Cr⁶⁺ 的效率及培养条件对其还原 Cr⁶⁺ 效率的影响。结果显示该菌株可在 Cr⁶⁺ 浓度 600 mg/L 条件下正常生长,300 mg/L 浓度下的生长最佳, Cr⁶⁺ 还原率高达 75%。培养液中的碳源、氮源和 pH 对该菌株的 Cr⁶⁺ 还原率有显著影响,其中以乙酸钠或柠檬酸钠为碳源,硝酸钠为氮源的还原效率最高;初步结果显示,菌株 Cr23 是一株环境适应性和 Cr⁶⁺ 还原能力较强的 SRB,具可应用于土壤或水体铬污染修复的潜力。

关键词:Cr⁶⁺;芽孢杆菌 Cr23 菌株;Cr⁶⁺ 还原

中图分类号:X592 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2011)03-0265-05

Study on Cr⁶⁺ Reduction by *Bacillus* sp. Cr23

LIU Chang-hong, JIN Liang, XUE Ya-rong

School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093

Abstract: Sulfate reduction bacteria (SRB) play important roles in metal bioremediations of soil and water. A strain of SRB, which had been identified to be *Bacillus* sp. Cr23, was isolated from a coastal intertidal soil using a selective medium, and was studied in detail for its Cr⁶⁺-reduction efficiency and its optimal culture conditions. Results showed that strain Cr23 has as strong Cr⁶⁺ tolerance as up to 600 mg/L and as high Cr⁶⁺-reduction rate as up to 75% at the concentration of 300mg/L. Moreover, the carbon and nitrogen sources as well as the pH of the media showed significant effects on the Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23; sodium acetate, sodium citrate and sodium nitrate were positively correlated with the reduction rate. The preliminary result indicated that the strain Cr23 has strong environmental adaptability and high Cr⁶⁺ reduction capacity in the remediation of metal contaminated soil and water ecosystems.

Key words: Cr⁶⁺; *Bacillus* sp. Cr23; Cr⁶⁺-reduction

铬是无机化工主要系列产品之一,广泛应用于冶金、制革、颜料、染料、香料、造币、医药、木材防腐等行业。铬也是人和动物所必需的一种微量元素,但如摄入过多,则会对人和动、植物造成毒害作用。铬在自然界以不同形式存在,其活性和毒性也不同,可溶性形式会被生物吸收利用而产生毒害作用。在天然土壤-水系统中,铬常以 Cr⁶⁺ 和 Cr³⁺ 两种稳定价态存在。两种价态的铬对人体都有害,但 Cr⁶⁺ 的毒性比 Cr³⁺ 要高 100 倍,是强致突变物质,会诱发

癌症^[1]。

铬污染主要来源于铬盐生产过程产生的铬渣。我国是一个铬盐生产大国,铬盐产量位居世界第二(年产超过 16 万 t),每年在金属铬和铬盐工业生产过程中产生的铬渣排放量高达 35~42 万 t,其中可溶性 Cr⁶⁺ 含量达到 0.5%~1%^[2],具有潜在的环境风险。

铬污染的治理是一个世界性难题,常用于土壤铬污染的治理方法有化学固定化/稳定化法、化学还

原法、化学清洗法、电修复法、生物修复法等,其中化学还原法最常用^[3,4]。该法是利用铁屑、硫酸亚铁或其他一些容易得到的化学还原剂(也可辅以一定的粘合剂)将 Cr⁶⁺ 还原为 Cr³⁺,形成难溶的化合物,从而降低铬在环境中的迁移性和生物可利用性,减轻铬污染的危害。但化学还原法存在处理效果较差、成本高、能耗大,以及会产生二次污染等问题^[3]。生物修复法是指应用植物或微生物来治理铬污染的方法,如利用微生物的生物还原反应,将 Cr⁶⁺ 还原为 Cr³⁺,从而修复被污染土壤^[4]。该方法的优势在于不破坏植物生长所需的土壤环境,不会产生二次污染,可原地处理,操作简单,且成本低廉。菌种的选育、还原机理与过程的模拟和优化等是提高铬污染土壤生物修复效果的关键因素,有必要进行系统的研究。

硫酸盐还原菌(SRB)是目前已知的对 Cr⁶⁺ 有较强还原能力的微生物类群之一^[5,6],它能在硫酸腺苷转移酶和腺苷酰硫酸还原酶等一系列酶的作用下,将 SO₄²⁻ 还原为 S²⁻,进而被还原去除 Cr⁶⁺,即: Cr⁶⁺ + S²⁻ → Cr³⁺ + S⁰ ↓^[7]。由于海水的潮汐作用,海岸盐沼湿地土壤中的硫酸盐含量很高,约占总硫的 10%~20% 以上^[8],导致以硫酸盐为最终电子受体的 SRB 构成了海岸盐沼湿地的优势种群,不仅数量大,而且多样性丰富^[9]。为此,我们于 2005~2008 年开展了江苏盐城海岸潮间带土壤中 SRB 种群多样性、优势种群及其生物活性的研究,获得了大量可培养 SRB 菌株。本研究报道一株具有较强 Cr⁶⁺ 还原能力的 SRB 菌株,并探索了其还原 Cr⁶⁺ 的条件,为今后利用微生物修复铬污染土壤或废水提供资源和技术参考。

1 材料与方 法

1.1 耐 Cr⁶⁺ 菌株的筛选与鉴定

以江苏盐城海岸潮间带土壤(0~10 cm)水浸出液为材料,在 SRB 培养基上分离并纯化菌株。SRB 培养基为:NaCl 15 g, MgSO₄ · 7H₂O 6.8 g, MgCl₂ · 6H₂O 5.7 g, KBr 0.09 g, KCl 0.7 g, NH₄Cl 0.25 g, KH₂PO₄ 0.2 g, CaCl₂ · 2H₂O 1.5 g, NaHCO₃ 2.52 g, 酵母膏 0.1 g, 乙酸钠 5 mM, 琼脂 20 g, pH 7.8, 加水至 1 L。所用试剂均为化学纯,购自晚南京晚晴化玻仪器有限公司。培养条件为:37℃, 1~7 d。

将分离纯化的 SRB 菌株接入含 K₂Cr₂O₇ [简写为 Cr⁶⁺, 下同] 200 mg/L 的 LB 液体培养基(NaCl

10 g, 蛋白胨 10 g, 牛肉膏 5 g, 琼脂 15 g, 调节 pH 为 7.0, 加水至 1L)中, 37℃ 培养 48 h, 发酵液离心(4000 rpm, 10 min)除菌。采用二苯碳酰二肼分光光度法(GB 7467-87)测定上清液中 Cr⁶⁺ 浓度, 所用仪器为北京普析通用仪器有限责任公司生产的 T6 紫外可见分光光度计, 继而计算铬还原率, 比较不同菌株的 Cr⁶⁺ 还原能力, 获得一株对铬还原能力较强的菌株, 经鉴定为芽孢杆菌(*Bacillus* sp. Cr23)。

1.2 影响菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 的因素

1.2.1 菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 效率的动态变化 按 1%(V/V)的比例接种菌株 Cr23 于含 K₂Cr₂O₇ (300 mg/L)的液体于 LB 培养基中, 培养瓶为 1 L 三角瓶, 装液量为 300 mL, 37℃ 下摇床培养。采用与上述相同的方法, 测定不同时间培养液中的 Cr⁶⁺ 浓度, 计算 Cr⁶⁺ 还原率。

1.2.2 碳源、氮源对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 的影响 在 K₂Cr₂O₇ (300 mg/L) 和 NaCl (1%) 含量不变的 LB 培养基中, 通过固定氮源(蛋白胨 1 g/L), 改变碳源如蔗糖、柠檬酸钠、乙酸钠、可溶性淀粉、乳酸钠和葡萄糖(1 g/L), 以及固定碳源(葡萄糖 1 g/L), 改变氮源如牛肉膏、硝酸钠、蛋白胨、酵母膏、尿素和氯化铵(1 g/L)的方法, 研究不同碳源与氮源对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 效率的影响。接种和培养条件与上述 1.2.1 节所示相同, 培养时间为 12 h。

1.2.3 pH 对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 的影响 调节含 K₂Cr₂O₇ (300 mg/L) LB 培养基的 pH 值(pH 4~9), 采用与上述 1.2.1 节相同的接种和培养条件, 测定菌株 Cr23 培养 12、24 和 36 h 的 Cr⁶⁺ 还原率。

1.2.4 菌株 Cr23 对 Cr⁶⁺ 的耐受性 在 LB 培养基中添加不同浓度的 K₂Cr₂O₇, 研究菌株 Cr23 对 Cr⁶⁺ 的耐受性和 Cr⁶⁺ 还原率。接种与培养条件与 1.2.1 节相同, 培养时间为 16 h。

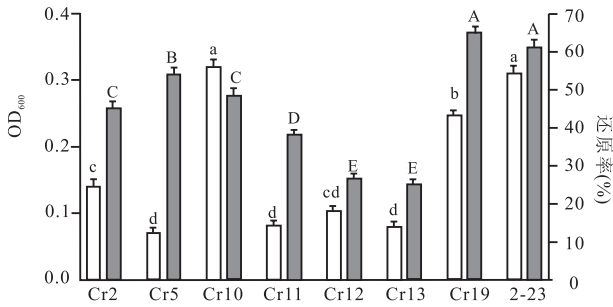
1.3 数据分析

所有数据均用 GraphPad Prism 软件(version 3.02)进行统计分析, 显著性检验标准为 $p < 0.05$ 。

2 试验结果

2.1 还原 Cr⁶⁺ SRB 菌株的筛选

用选择性培养基从盐沼湿地中共分离获得 83 株 SRB, 将这些菌株接种于含 K₂Cr₂O₇ 200 mg/L 的 LB 培养基中, 共筛选到 19 株耐 Cr⁶⁺ 菌株, 其中 8 株生长良好, 且具有较强的 Cr⁶⁺ 还原能力(图 1)。其中菌株 Cr23 还原率最高, 经鉴定为芽孢杆菌(*Bacillus* sp. Cr23)。



空心柱和实心柱分别为 OD₆₀₀ 和 Cr⁶⁺ 还原率
a、b、c 和 d 为 Anova 显著性分析结果的邓肯氏
新复极差检验结果

The open and filled bars represent OD₆₀₀ and Cr⁶⁺ reduction rate, respectively a, b, c and d indicate the Anova analysis results that were examined with Duncan's multiple range test

图 1 八株 SRB 菌株的生长及 Cr⁶⁺ 还原率

Fig. 1 Growth behavior and Cr⁶⁺ reduction rate of eight strains of SRB

2.2 菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 效率的动态变化

图 2 显示, 菌株 Cr23 对 Cr⁶⁺ 的还原分两个阶段, 即 24 h 之前为快速增长阶段, Cr⁶⁺ 还原率(y)随培养时间(x)按直线方程 $y = 2.1947x + 4.5045$ ($R^2=0.96$) 增加; 24 h 的还原率达到 63.2%, 24 h 之后还原率增长速度变慢, 48 h 还原率为 75.0%, 较 24 h 的还原率提高了 11.8%。

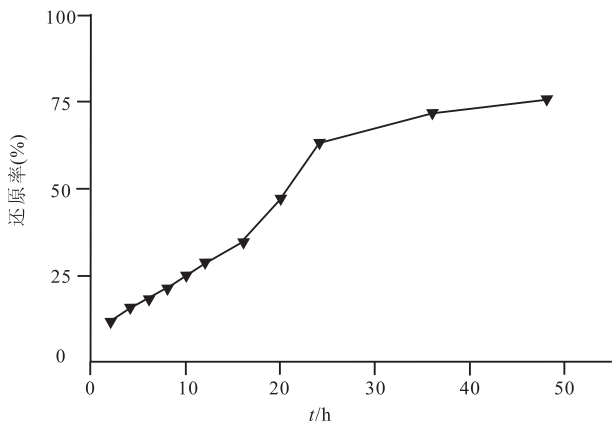
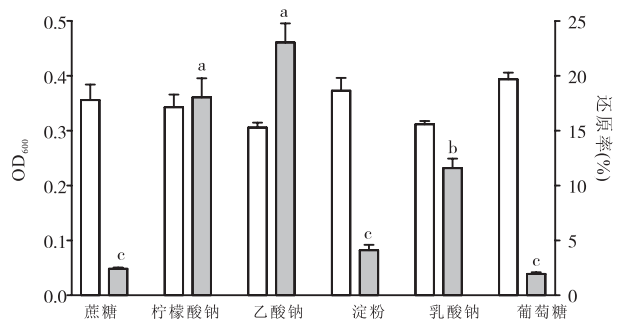


图 2 菌株 Cr23Cr⁶⁺ 还原率随时间的动态变化

Fig. 2 The dynamic changes of Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23 over cultivation course

2.3 碳源、氮源对菌株 Cr23 生长及 Cr⁶⁺ 还原率的影响

在以 1 g/L 蛋白胨为氮源的培养基中, 碳源的改变对菌株 Cr23 的生长没有显著影响, 但对 Cr⁶⁺ (起始浓度为 300 mg/L) 还原率有显著影响, 其中以柠檬酸钠或乙酸钠为碳源的还原率最高, 其次为乳酸钠; 蔗糖、淀粉和葡萄糖最差(图 3)。



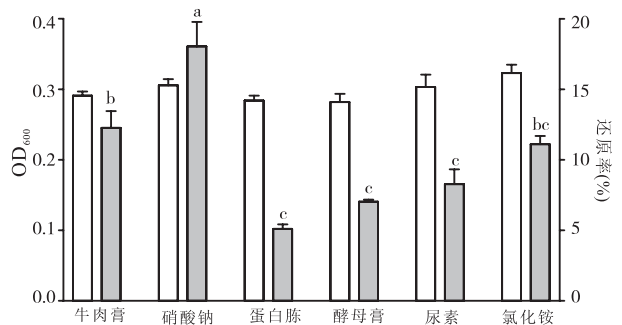
空心柱和实心柱分别为培养 12h 的 OD₆₀₀ 和 Cr⁶⁺ 还原率
a, b, c 为 Anova 显著性分析结果的邓肯氏新复极差检验结果

The open and filled bars represent OD₆₀₀ values and Cr⁶⁺ reduction rate, respectively a, b and c indicate the Anova analysis results that were examined with Duncan's multiple range test

图 3 不同碳源对菌株 Cr23 生长及 Cr⁶⁺ 还原率的影响

Fig. 3 Effect of carbon source on the growth and the Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23

在以 1 g/L 葡萄糖为碳源的培养基中, 氮源的改变对菌株 Cr23 的生长也没有显著影响, 但对 Cr⁶⁺ (起始浓度为 300 mg/L) 还原率有显著影响, 以硝酸钠为氮源时还原率最高, 其他依次为牛肉膏、氯化铵、蛋白胨、酵母膏和尿素(图 4)。



空心柱和实心柱分别为培养 12h 的 OD₆₀₀ 和 Cr⁶⁺ 还原率
a, b, c 为 Anova 显著性分析结果的邓肯氏新复极差检验结果

The open and filled bars represent OD₆₀₀ values and Cr⁶⁺ reduction rate, respectively a, b and c indicate the Anova analysis results that were examined with Duncan's multiple range test

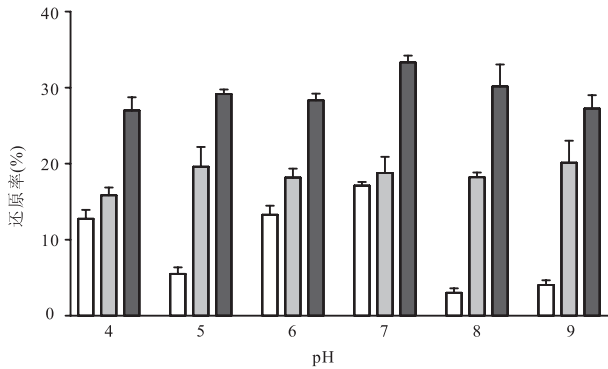
图 4 不同氮源对菌株 Cr23 生长及还原 Cr⁶⁺ 效率的影响

Fig. 4 Effect of nitrogen source on the growth and Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23

2.4 pH 值对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 效率的影响

在含 Cr⁶⁺ 浓度为 300 mg/L 的 LB 培养基培养过程中, 培养基中 pH 的改变对菌株 Cr23 的 Cr⁶⁺ 还原率影响较大, pH 为 7 时还原率最高。但随着培养时间的延长, pH 对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 效率的影响逐渐减弱, 24 h 后, 不同 pH 值处理对菌株 Cr23 还原 Cr⁶⁺ 无显著差异(图 4)。此时, 取样离心后测定上清液中的 pH 值, 发现所处理的 pH 值均

在 6~8 范围内,表明该菌株对 pH 的变化有自调的能力,调节到适合菌体生长和 Cr⁶⁺ 还原效率较高的中性环境。



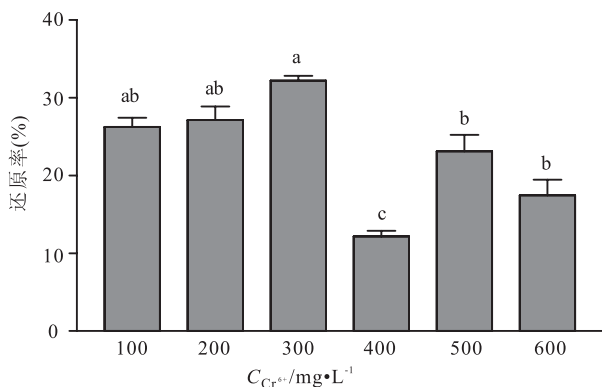
柱形图颜色由浅到深依次为培养 12、24 和 36 h 的 Cr⁶⁺ 还原率
The color of bars from white to black represent Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23 at 12 h, 14 h and 36 h respectively

图 5 菌株 Cr23 在不同 pH 下的 Cr⁶⁺ 还原率

Fig. 5 The growth capacity and Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23 at various pH values

2.5 菌株 Cr23 对不同浓度 Cr⁶⁺ 的耐受性

在含不同浓度 Cr⁶⁺ 的 LB 培养基中,37℃ 条件下培养 16 h,菌株 Cr23 表现出极高的 Cr⁶⁺ 耐受性,即使 Cr⁶⁺ 浓度高达 600 mg/L,该菌株仍能存活并有一定的还原能力(17.4%),其中以 300 mg/L 的 K₂Cr₂O₇ 处理组 Cr⁶⁺ 还原率最高(图 6)。



A、b 和 c 为 Anova 显著性分析结果的邓肯氏新复极差检验结果

a, b and c indicate that the Anova analysis results that were examined with Duncan's multiple range test

图 6 菌株 Cr23 在不同 Cr⁶⁺ 浓度下的还原率

Fig. 6 Cr⁶⁺-reduction rate of strain Cr23 at various concentrations of Cr⁶⁺

3 结论与讨论

重金属 Cr⁶⁺ 污染是当今最严重的环境污染物之一。由于化学污染可能导致二次污染的问题,利用微生物控制 Cr⁶⁺ 污染已成为发展的主要方向。

大量的研究表明,自然界中存在着大量能还原 Cr⁶⁺ 的微生物,包括真菌和细菌^[2,5,10-12]。本研究从江苏盐城海岸潮间带土壤中分离获得一株具较强 Cr⁶⁺ 耐受能力和还原能力的 SRB 的芽孢杆菌,在 600 mg/L 的 Cr⁶⁺ 浓度下,它仍有近 20% 的还原率,在 300 mg/L 时培养 48 h 的还原率可达 75%,并发现培养条件(碳源、氮源、pH)对 Cr⁶⁺ 的还原效率有显著影响,其中柠檬酸钠或乙酸钠等短链碳源正是 SRB 类细菌利用的主要碳源。这些结果为今后开展菌株 Cr23 在 Cr⁶⁺ 污染土壤或水体中的实际应用奠定了基础,并进一步证明 SRB 为一类潜在的 Cr⁶⁺ 还原菌,有重要的开发价值。

参考文献 (References):

- [1] 周加祥,刘铮. 铬污染土壤修复技术研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备,2000,1(4):52-56.
Zhou Jiexiang, Liu Zheng. Recent developments in the remediation of chromium contaminated soil [J]. Tech. Equip. Environ. Pollut. Control, 2000, 1(4): 52-56. (in Chinese with English abstrad)
- [2] 江澜. 微生物治理铬污染的应用和发展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2006,23(2):132-135.
Jiang Lan. The application of microorganisms to treatment of pollution by chromium [J]. J. Chongqing Technol. Business Univ. (Nat Sci Ed), 2006, 23(2): 132-135. (in Chinese with English abstrad)
- [3] 龙腾发,柴立元,郑粟,闵小波. 生物法解毒六价铬技术的应用现状与进展[J]. 安全与环境工程,2004,11(3):22-25(转 30).
Long Tengfa, Chai Liyuan, Zheng Su, Min Xiaobo. Current application situation and development on detoxification of Cr(VI) by microorganisms [J]. Safety Environ. Eng., 2004, 11(3): 22-25(30). (in Chinese with English abstrad)
- [4] 许友泽,成应向,向仁军. 铬污染土壤修复技术研究进展[J]. 化学工程与装备,2010,(5):127-129.
Xu Youze, Cheng Yingxiang, Xiang Rrenjun. Recent developments in the remediation of chromium contaminated soil [J]. Chem. Eng. Equipment, 2010, (5): 127-129. (in Chinese)
- [5] 瞿建国,申如香,徐伯兴,李福德. 硫酸盐还原菌还原铬(VI)的初步研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2005,1(3):105-110.
Qu Jianguo, Shen Ruxiang, Xu Boxing, Li Fude. Study on reduction of hexavalent chromium by sulfate-reducing bacteria [J]. J. East China Norm. Univ. (Nat. Sci.), 2005, 1(3): 105-110. (in Chinese with English abstrad)
- [6] 吴淑杭,周德平,吕卫光,姜震方,徐亚同. 硫酸盐还原菌修复铬(VI)污染土壤研究[J]. 农业环境科学学报 2007,26(2):467-471.
Wu Suhang, Zhou Deping, Lu Weiguang, Jiang Zhenfang, Xu Yatong. Remediation of hexavalent chromium-contaminated soil by sulphate-reducing bacteria [J]. Agro-Environ. Sci., 2007, 26

- (2):467-471. (in Chinese with English abstrad)
- [7] 冯易君,谢家理,向芹,李福德. 共存离子对硫酸盐还原菌处理含铬废水的影响研究[J]. 环境污染与防治,1995,17(4):15-17.
Feng Yijun, Xie Jiali, Xiang Qin, Li Fude. Influences of coexistence ions on the treatment of Cr(VI) wastewater by sulfate reduction bacteria (SRB) [J]. Environ. Poll. Control, 1995, 17(4):15-17. (in Chinese)
- [8] Giblin A E, Wieder R K. Sulphur cycling in marine and freshwater wetlands[A]. Howarth R W, Stewart JWB, Ivanov MV, eds. Sulphur cycling on the continents; Wetlands, terrestrial ecosystems, and associated water bodies, SCOPE 48[M]. Chichester: John & Sons, 1992:85-124.
- [9] 幸颖,刘常宏,安树青. 海岸盐沼湿地土壤硫循环中的微生物及其作用[J]. 生态学杂志,2007,26(4):577-581. (in Chinese with English abstrad)
Xing Yin, Liu Changhong, An Shuqing. Microbes and their functions in sulfur cycle of coastal salt marsh sediments[J]. Ecol., 26(4):577-581.
- [10] 吴森,汤岳琴,于萍,周元祥,吴晓磊. Cr⁶⁺ 抗性菌株的筛选及其 Cr⁶⁺ 去除特性研究[J]. 岩石矿物学杂志,2009,28(6):520-526.
Wu Miao, Tang Yueqin, Yu Ping, Zhou Yuanxiang, Wu Xiaodei. Isolation and characterization of bacteria with chromium (VI) removal capacity from chromium-contaminated tannery sludge[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2009, 28(6):520-526. (in Chinese with English abstrad)
- [11] 张惠,戴友芝,唐受印. 曲霉菌吸附水中六价铬的研究[J]. 工业用水与废水,2005,36(2):37-39.
Zhang Hui, Dai Youzhi, Tang Shouyin. A study of adsorption of chromium (VI) in water by *Aspergillus* sp. [J]. Industrial Water & Wastewater, 2005, 36(2):37-39. (in Chinese with English abstrad)
- [12] 肖伟,王磊,李倬锴,张思维,任大明. 六价铬还原细菌 *Bacillus cereus* S5. 4 还原机理及酶学性质研究[J]. 环境科学,2008,29(3):751-755.
Xiao Wei, Wang Lei, Li Zuokai, Zhang Siwei, Ren Daming. Mechanisms and enzymatic characters of hexavalent chromium reduction by *Bacillus cereus* S5. 4 [J]. Environ. Sci., 2008, 29(3):751-755. (in Chinese with English abstrad)

· 学会之声 ·

中国矿物岩石地球化学学会第 13 届学术年会在广州召开

由中国矿物岩石地球化学学会主办的第 13 届学术年会于 2011 年 4 月 6 日至 9 日在广州成功召开。会议由中国科学院广州地球化学研究所、中国科学院地球化学研究所承办,广东省矿物岩石地球化学学会和广东省地质学会协助。来自国内外 158 个单位的近 800 名专家、学者参加了会议,其中包括 8 名院士,28 名杰出青年基金获得者。广东省副省长宋海先生莅临大会作了重要讲话。

这次会议的主题是我会往届学术年会主题“矿物岩石地球化学新进展”的延续,体现了有关学科在新世纪第一个十年蓬勃发展的生机;会议所收到的论文数量和内容也正体现了这一点:会议共收到论文摘要 562 篇,并以《矿物岩石地球化学通报》增刊形式出版;会上交流研究报告 355 个,展示报告 55 个;会议以大会学术报告、分会场学术报告和展板的方式进行了充分的交流。

大会报告以特邀报告的形式向与会者传达了资源环境及相关学科的重大科学问题的最新信息。无论是丁仲礼院士的“气候变化背后的利益博弈”报告、欧阳自远院士的“火星探测的主要科学问题”报告,还是陈勇研究员的“中国至 2050 年能源科技发展路线图”报告、日本地球化学学会会长 Ebihara 教授的“Chemical characteristics of grain samples recovered by the Haybusa spacecraft”报告,以及陈鸣研究员的“岫岩陨石坑的撞击证据”报告,都全面地反映了近年来我会所属学科在科学前沿领域的突出进展和为应对国家发展面临的重大需求和挑战的重要科学问题的研究成果;毫无疑问,这些报告都引起了巨大反响。

会议设置的 15 个专题分会场更是全面展示了全国广大矿物岩石地球化学的科研、教学和生产人员在诸多领域所取得的重大进展,这些领域包括:深俯冲地壳的化学变化与差异折返,大陆岩石圈、成岩成矿机理的实验与计算地球化学,流体地球化学行为,矿床地球化学,矿物科学与工程,石油、天然气藏成藏过程,煤层气地球化学,环

境地球化学,环境污染及其控制原理与技术,以及海底沉积过程、资源形成与环境变化,非传统同位素的理论、稳定同位素技术,地球化学分析测试新方法,沉积地球化学等领域;这些成果充分反映了我国近年来一些重要的研究进展。如深俯冲及折返过程的熔体活动和元素迁移,壳幔相互作用机制的多元同位素制约,加厚下地壳熔体的识别及俯冲带流体活动;我国大陆火山活动规律,峨嵋大火成岩省研究,岩石圈地幔岩石学特征与水含量关系,陆壳重熔和演化,鲁西新生代平行火山岩链的发现和成因探讨;富硅熔体—橄榄岩反应机理的实验研究;富集与成矿作用的地球化学机理研究,我国典型重要矿床的特征与成矿机制的研究等等。分会场的另一特点是有比较充裕的时间进行讨论和交换意见,为相关领域的研究人员建立了一个学术联系的渠道。

开幕式上还隆重举行了第 13 届侯德封矿物岩石地球化学青年科学家奖的颁奖仪式。10 位获奖人在各自岗位上做出的突出成绩是我国青年地学科学工作者的优秀代表,反映了我国矿物岩石地球化学事业蓬勃发展、后继有人的大好形势,表明我会在发现人才、培养人才和提携青年的奖励机制,方向是正确的,成效是显著的,应当继续努力,发扬光大。

本届年会既继承了我会历届学术年会的学术气氛浓厚,学术交流内容集中于国际国内学科前沿领域,以及学术交流充分,科学问题突出的特点,又创下了与会人数的新高,显示了当地兄弟单位和学术组织的宝贵支持;稳定同位素技术与应用专题作为国际学术交流平台的安排,表明了我国地球化学研究正在走向国际学术讲坛的态势。

三天的会议完成了有关学术交流的任务,达到了预期目标,多个方面取得丰硕成果,这对推动我国矿物岩石地球化学事业的发展将产生积极的推动作用。愿我们的学术交流渠道畅通而讲究实效,学术成果丰硕而富有创造力,全面实践学术团体的历史使命。