

蜡状芽孢杆菌 SY 对镉的吸附机制

李 辉, 石 璐, 张国芳, 杜 鹃, 米云龙

沈阳化工大学环境与生物工程学院, 沈阳 110142

摘要 从沈阳张士开发区附近的受镉污染土壤中筛选出 1 株高耐镉性菌株 SY, 经形态学观察和生理生化鉴定及 16SrDNA 序列分析, 鉴定 SY 为蜡状芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*)。SY 在吸附镉的过程中, 伴随着 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 等阳离子的大量释放, 同时解吸率也随 pH 值的改变而改变。利用扫描电镜、能谱及红外光谱分析 SY 吸附镉前后的细胞微观形貌、元素含量变化和官能团的改变, 结果表明, 吸附后 SY 的表面基团本身没有改变, 只是基团的特征吸收带位置、强度和宽度都发生了一定的变化。静电吸附、离子交换作用、表面配合作用是 SY 对镉的吸附过程中最主要的途径。对吸附机制的研究为生物吸附法处理重金属并在实际生产中加以利用提供了理论基础。

关键词 蜡状芽孢杆菌; 镉; 吸附机制

中图分类号 X592

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)07-0059-04

The Adsorption Mechanism of *Bacillus cereus* SY with respect to Cd

LI Hui, SHI Lu, ZHANG Guofang, DU Juan, MI Yunlong

College of Environmental & Biological Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China

Abstract A bacterial strain, named as SY, with strong cadmium resistance, is isolated from cadmium-contaminated soil in Zhangshi, Shenyang development zone. According to its morphological and biochemical characteristics and 16SrDNA sequence analysis, it is identified as *Bacillus cereus*. In the adsorption process of cadmium by SY, a large number of intracellular K^+ , Na^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} , are released from the cells simultaneously. At the same time, the desorption rate of cadmium by SY changes with pH values. Using scanning electron microscopy, the cell micro-morphology is observed before and after adsorption of cadmium by SY. Using energy spectra, the cadmium elemental content changes are analyzed. And using IR spectrum, the changes in functional groups are analyzed in the cell surface. The results show that the surface of SY after adsorption of cadmium is linked up into a single stretch. The characteristic absorption band position, intensity and width see a certain change, while the base of the functional group on the cell surface remains unchanged. Therefore, the role of electrical adsorption, ion exchange and surface complexation are the most important factors in the process of adsorption of cadmium by SY. Mechanism of the absorption provides a theoretical basis for the biological adsorption of heavy metal method used in actual production.

Keywords *Bacillus cereus*; cadmium; biosorption mechanism

0 引言

镉主要来源于采矿、冶金、电镀、化工等行业的生产废水, 是对生态环境危害很大的重金属污染物, 因此其治理问题受到国内外的广泛关注。微生物在治理重金属污染中有着很大的应用前景, 尤其是利用耐重金属的微生物处理污水或土壤中的重金属, 比传统的物理化学处理方法更具优势^[1]。

生物对重金属的吸附作用取决于吸附剂本身的特性和

金属自身对生物体的亲合性, 包括络合、配位、离子交换、无机微沉淀、氧化还原、静电吸附等物理化学过程^[2-4]。从细胞的离子代谢看主要包括简单扩散、载体跨膜运输、离子泵运输、离子通道等。从细胞结构看主要有细胞外积累沉淀、细胞表面吸附沉淀和细胞内积累^[5-7]。目前对吸附机制的研究多侧重于吸附位点和细胞形态变化^[8-10], 对吸附过程中的离子代谢、物质代谢及其与细胞形貌变化关系的研究较少, 对于微生物作

收稿日期: 2009-11-05

基金项目: 沈阳化工学院博士科研启动基金(20063216)

作者简介: 李辉, 副教授, 研究方向为环境污染修复、水处理技术等, 电子信箱: sylihui@gmail.com

含量分别增加 3571.5, 36.9, 63.8, 139.4325mg/L, 浓度均高于吸附前溶液中的浓度,说明当重金属离子溶液加入到细菌悬浮液中时,重金属被微生物吸附到菌体表面,而微生物体内的 K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 被置换下来,发生离子交换作用。细菌中释放出来的 K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} 量的大小,反映了吸附过程中发生离子交换的程度。

2.3 对吸附 Cd^{2+} 的菌体的解吸附

菌体吸附 Cd^{2+} 达到平衡后,调整 pH 值为 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 时分别进行解吸实验,测定解吸率(图 2)。可见,pH 值升高或降低都能使吸附在菌体表面的 Cd^{2+} 一部分解析下来,pH 值的改变能够影响到细菌表面所带电荷,说明静电吸附在吸附过程中起到了一定的作用。

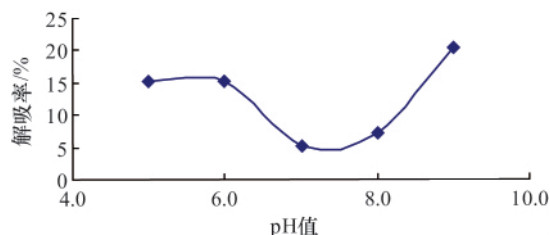


图 2 不同 pH 值对菌体 SY 吸附 Cd^{2+} 的解吸影响
Fig. 2 Desorption result of SY cell with respect to Cd^{2+} against pH value

2.4 SY 细胞表面的能量分析谱

图 3 为吸附了 Cd^{2+} 的菌体 SY 细胞表面的能量分析谱,从图 3 可看出,尽管菌体细胞经过多次淋洗处理,细胞表面成分中还是含有镉,说明该菌体已经有效地吸附了镉。

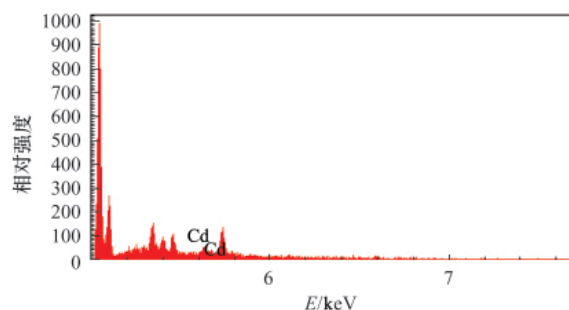


图 3 吸附了 Cd^{2+} 的菌体 SY 细胞表面的能量分析谱
Fig. 3 Energy spectrum of SY cell after adsorption of Cd^{2+}

2.5 菌体吸附前后红外光谱图及结果分析

将吸附前后的菌体样品进行红外检测,光谱图如图 4 和图 5 所示。 $3420cm^{-1}$ 附近的吸收带是 $-OH$ 的伸缩振动吸收带, $-OH$ 的伸缩振动吸收带频率不随分子的结构发生变化,具有强烈的特征性。 $1651cm^{-1}$ 附近的吸收带是羧酸的羰基吸收谱带, $C=O(-COOH)$ 的伸缩振动吸收出现在 $1600cm^{-1}$ 和 $1400cm^{-1}$ 附近,这是分别来自 $C=O(-COOH)$ 基的反对称和对称的伸缩振动,除羰基吸收带外,羧酸还有 3 个特征吸收带,即位于 $3420cm^{-1}$ 附近的 $-OH$ 吸收带、 $1275cm^{-1}$ 附近的 $C-O$ 伸缩振动吸收带及 $1383cm^{-1}$ 附近的 $-OH$ 变形振动吸

收带。 $1275cm^{-1}$ 附近的吸收带还有 $C-N$ 伸缩振动吸收带。 $3420cm^{-1}$ 附近的吸收带还是各种氨基酸 $-NH_2$ 的伸缩振动吸收带, $3420cm^{-1}$ 附近的吸收带也是 $N-H(NH_2)$ 基的伸缩振动吸收带。 $2960cm^{-1}$ 附近的小双峰吸收带是 $-SH$ 基的伸缩振动吸收带。

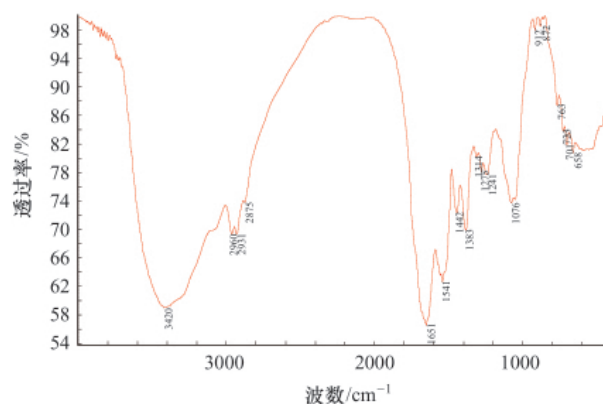


图 4 SY 吸附 Cd^{2+} 前的红外光谱图
Fig. 4 IR spectrograms of SY before adsorption of Cd^{2+}

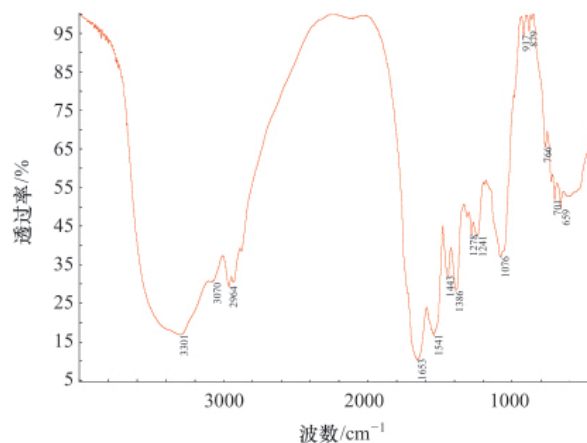


图 5 SY 吸附 Cd^{2+} 后的红外光谱图
Fig. 5 Spectrograms of SY after adsorption of Cd^{2+}

红外光谱分析表明,蜡状芽孢杆菌 SY 细胞成分中含有 $-OH$, $C=O$, $-COOH$, $-SH$, $-NH_2$ 等大量基团。在细菌表面遇到重金属离子时,这些基团都含有大量孤电子对,可以成为电子供体,为表面配合吸附提供了基础。吸附前后,光谱图形状相似,但菌体有机基团的特征吸收带位置、强度和宽度都发生了一定的变化。

2.6 扫描电镜的观察

图 6、图 7 是吸附前后菌体扫描电镜图片。自然状态的菌体是游离的、未变形的、完整的细胞体,菌体呈杆状。吸附了 Cd^{2+} 的细菌细胞有变形,并相互键合成一体。从 SY 的显微形态图可以证实,带有正电荷的、有空轨道的重金属离子与表面带负电的、能提供孤电子对的大量菌体表面有机基团键合成片,有可能存在表面配合作用。

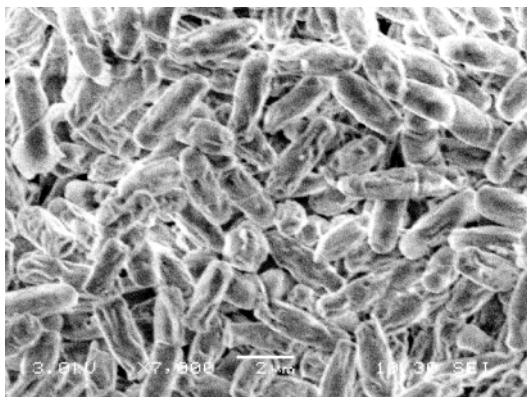


图 6 吸附 Cd^{2+} 前菌体 SY 的 SEM 照片

Fig. 6 SEM photo of SY before adsorption of Cd^{2+}

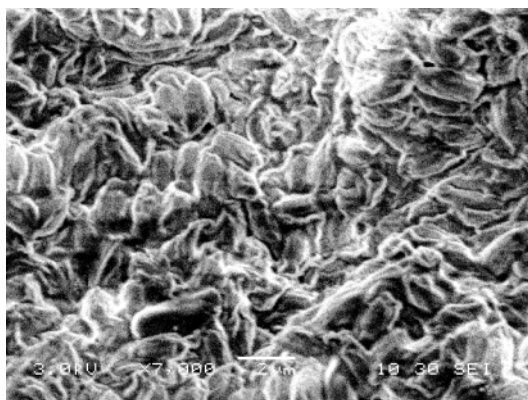


图 7 吸附 Cd^{2+} 后菌体 SY 的 SEM 照片

Fig. 7 SEM photo of SY after adsorption of Cd^{2+}

3 结论

通过生理生化实验与 16SrDNA 序列分析法进行同源性比较, 鉴定高耐镉性细菌 SY 为蜡状芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*), 其细胞成分中含有一OH、C=O、—COOH、—SH、—NH₂ 等大量基团。吸附前后, 菌体表面所带基团没有改变, 而菌体有机基团的特征吸收带位置、强度和宽度都发生了一定的变化。蜡状芽孢杆菌 SY 能够对 Cd^{2+} 有效地吸附, 静电吸附、离子交换作用、表面配合作用是主要吸附机制。

参考文献 (References)

- [1] 翁添富, 高建培, 易锋, 等. 土壤重金属污染生物修复技术研究进展[J]. 科技导报, 2009, 27(4): 93-97.
Weng Tianfu, Gao Jianpei, Yi Feng, et al. Science & Technology Review, 2009, 27(4): 93-97.
- [2] Kapoor A, Viraraghavan T. Heavy metal biosorption sites in *Aspergillus niger*[J]. Bioresource Technology, 1997, 61(3): 221-227.
- [3] Zouboulis A L, Loukidou M X, Matis K A. Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal polluted soils[J]. Process Biochemistry, 2004, 39(8): 909-916.
- [4] Hawari A H, Mulligan C N. Heavy metals uptake mechanisms in a fixed-

bed column by calcium-treated anaerobic biomass [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(1): 187-198.

- [5] Šandula F, Ciofalo M, Olga C S, et al. Metal ion adsorption by *Phomopsis* sp. biomaterial in laboratory experiments and real wastewater treatments [J]. Water Research, 2005, 39(11): 2273-2280.
- [6] Tewari N, Vasudevan P, Guha B K. Study on biosorption of Cr (VI) by *Mucor hiealis* [J]. Biochemical Engineering Journal, 2005, 23 (2): 185-192.
- [7] Gupta V K, Rastogi Arshi, Saini V K, et al. Biosorption of copper(II) from aqueous by *Spirogyra* species [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2006, 296(1): 59-63.
- [8] Tangaromsuk J, Pokethitiyook P, Kruatrachue M, et al. Cadmium biosorption by *Sphingomonas paucimobilis* biomass [J]. Bioresource Technology, 2002, 85(1): 103-105.
- [9] Verma T, Ramteke T, Garg S K. Chromium(VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria [J]. Chemosphere, 2002, 48(4): 427-435.
- [10] Padmavathy V, Vasudevan P, Dhingra C. Biosorption of nickel (II) ions on Baker's yeast process[J]. Biochemistry, 2003, 38(10): 1389-1395.
- [11] 马放, 任南琪, 杨基先. 污染控制微生物学实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002: 212-268.
Ma Fang, Ren Nanqi, Yang Jixian. Pollution control microbiology experiment[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2002: 212-268.
- [12] 方惠群, 于俊生, 史坚. 仪器分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 345-346.
Fang Huiqun, Yu Junsheng, Shi Jian. Instrumental analysis[M]. Beijing: Science Press, 2002:345-346.
- [13] Buchanan R E, Gibbons E N. 伯杰氏鉴定手册[M]. 中国科学院微生物研究所译. 8 版. 北京: 科学出版社, 1984.
Buchanan R E, Gibbons E N. Bergey's manual of systematic bacteriology [M]. Institute of microorganism, Academia Sinica trans. 8th ed. Beijing: Science Press, 1984.
- [14] 东秀株, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
Dong Xiuzhu, Cai Miaoying. Familiar bacteria system judge Manual[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [15] 杨频, 高飞. 生物无机化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 72-80.
Yang Pin, Gao Fei. Bio-inorganic theory [M]. Beijing: Science Press, 2002: 72-80.

(责任编辑 岳臣)

《科技导报》“科技纵横捭阖”栏目征稿

“科技纵横捭阖”栏目由上海交通大学人文学院关增建教授主持, 为评论性文章。欢迎读者就国内外重大科技事件、科技人物、科技话题进行评论, 发表自己独立的见解和观点。每篇文章约 2200 字, 要求行文深入浅出、言简意赅、逻辑清晰、有理有据、观点鲜明、切中要害, 可读性强, 并附必要的参考文献 (不多于 3 条)。栏目责任编辑: 王芷; 投稿邮箱: wangzhi@cast.org.cn。