

# 降解苯的微生物燃料电池产电性能研究\*

骆海萍, 张翠萍, 宋海红, 刘广立, 张仁铎  
(中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 通过构建填料型微生物燃料电池 (microbial fuel cell, MFC), 对葡萄糖、苯为单一燃料和葡萄糖 + 苯混合燃料条件下 MFC 的产电性能及苯的降解效果进行了研究。试验结果表明, 1 000  $\Omega$  外电阻条件下, 以 1 500 mg/L 葡萄糖作为单一燃料时, MFC 可获得的最大功率密度为 228 mW/m<sup>2</sup> (阳极), 相应的体积功率密度为 20.5 W/m<sup>3</sup> (按阳极室有效体积计算); 以 1 000 mg/L 苯作为单一燃料时, 最大功率密度为 9.5 mW/m<sup>2</sup> (阳极), 体积功率密度为 0.9 W/m<sup>3</sup>; 以 1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯为混合燃料时, 最大功率密度为 288 mW/m<sup>2</sup> (阳极), 相应的体积功率密度为 25.9 W/m<sup>3</sup>。1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯混合燃料情况下, MFC 在 24 h 内可将苯完全降解, 产电周期结束时 MFC 的 COD 去除率在 95% 以上。以 1 500 mg/L 葡萄糖和 1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯分别作为燃料时, MFC 可获得的库仑效率分别为 15.7% 和 2.3%。结果表明, MFC 能够利用苯作为燃料, 在实现高效降解的同时可稳定地向外输出电能, 这为苯类难降解有机物的高效低耗处理提供了新的研究思路。

**关键词:** 微生物燃料电池; 苯降解; 产电特性

**中图分类号:** X382   **文献标志码:** A   **文章编号:** 0529-6579 (2010) 01-0113-06

## Electricity Production of Microbial Fuel Cell with Biodegradation of Benzene

LUO Haiping, ZHANG Cuiping, SONG Haihong, LIU Guangli, ZHANG Renduo  
(School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University,  
Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** A packing-type microbial fuel cell (MFC) was designed to test its capability of electricity production and simultaneous biodegradation of benzene. Different experiments were conducted with the MFC using glucose, benzene, and benzene + glucose, respectively, as the fuel. Results showed that with an external resistance of 1 000  $\Omega$ , the maximal power densities of the MFC were 228 and 9.5 mW/m<sup>2</sup> (anode), respectively, with 1 500 mg/L glucose and 1 000 mg/L benzene as the fuel (substrate). Correspondingly, the maximal volumetric power densities were 20.5 and 0.9 W/m<sup>3</sup> (calculated based on the valid net anode solution) for the glucose and benzene, respectively. When a mixed fuel of 1 000 mg/L glucose and 600 mg/L benzene was used, the maximal power density and the maximal volumetric power density were 288 mW/m<sup>2</sup> (anode) and 25.9 W/m<sup>3</sup>, respectively. Benzene was completely degraded by the anodic microorganisms within 24 h when 1 000 mg/L glucose and 600 mg/L benzene were used as the fuel. Meanwhile, the COD removal was about 95% at the end of running cycles. For 1 500 mg/L glucose and glucose-benzene mixture, the Coulombic efficiencies of MFC were 15.7% and 2.3%, respectively. The results indicated that benzene could be used in the MFC for generating power while at the same time accomplishing biodegradation effectively. The MFC technology may provide a new method to offset treat-

\* 收稿日期: 2009-01-07

基金项目: 广东省环境污染控制与修改技术重点实验室基金资助项目 (2006K0007); 国家自然科学基金资助项目 (50608070, 50779080)

作者简介: 骆海萍 (1982年生), 女, 博士研究生; 通讯作者: 刘广立; E-mail: liugl@mail.sysu.edu.cn

ment operating costs, making advanced remediation measure for difficultly degraded organic matters more affordable for practical applications.

**Key words:** MFC; benzene biodegradation; electricity production

苯是典型的芳香烃化合物, 具有生物毒性且为致癌物。苯作为一种良好的有机溶剂, 在工业生产中得到普遍应用, 广泛存在于石油工业废水、化工废水中。目前已报道的微生物燃料电池 (microbial fuel cell, MFC) 研究中大多数是以葡萄糖<sup>[1-4]</sup>、乙酸<sup>[5-7]</sup>、海水<sup>[8-9]</sup>、饲养业废水<sup>[10]</sup>、城市污水<sup>[11-12]</sup>、木糖<sup>[13]</sup>等生物易降解有机物为燃料, 但很少涉及到有毒有害难降解有机物。研究有毒有害有机物作为燃料时 MFC 的产电性能及其去除效果, 不仅为有毒有害有机物的处理提供了新的思路, 而且可以回收能量, 实现高效低耗的运行, 这对于资源和能源都较为短缺的我国具有重要的现实意义。国内外尚未有关于利用苯作为 MFC 燃料的报道。本文在构建填料型双极室 MFC 的基础上, 选择了苯这一代表性难降解有机物为研究对象, 探讨了用苯作为燃料时对 MFC 产电性能的影响及苯在 MFC 中的降解效果。

## 1 实验与方法

### 1.1 实验装置及材料

MFC 由有机玻璃制成的阴极室和阳极室组成, 中间用质子交换膜 PEM (Nafion212, Dupont Co, USA) 隔开, 阴、阳极室中填充有石墨颗粒 (16 ~ 20 目, 平均孔隙率 10%)。填充石墨颗粒后阳极室有效体积约为 20 mL。阴极采用 50 mmol/L 铁氰化钾作为电子受体, 阴、阳极由碳布 (UT70-20, Toray Co, Japan) 组成, 有效面积为 18 cm<sup>2</sup>。外电阻为 1 000 Ω。阴极液和阳极液分别储存在棕色试剂瓶 (贮槽) 中, 在恒流泵引流下 (流速为 20 mL/min), 分别在阴极室和阳极室流动。

### 1.2 MFC 的接种与运行

于广州市猎德污水处理厂取 A<sup>2</sup>/O 工艺剩余污泥上清液 200 mL 作为 MFC 反应器的接种污泥。反应器置于恒温水浴槽, 温度 30.0 ± 0.1 °C。培养阶段, 营养液的组成为葡萄糖 1 000 mg/L, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 为 4.089 6 g/L, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 为 2.544 g/L, NH<sub>4</sub>Cl 为 0.31 g/L, KCl 为 0.13 g/L 及微量元素<sup>[14]</sup>, 运行之前阳极贮槽通 15 min N<sub>2</sub> 以达到无氧条件。当 MFC 产电稳定后, 在阳极液的更换过程中不再加入厌氧污泥和好氧污泥上清液, 而用纯水配置 200 mL 的阳极液, 无机盐、维生素及微量元素的含量不变。

配好后的阳极液用高纯 N<sub>2</sub> 曝气 15 ~ 20 min, 以保证阳极液的厌氧状态。外接电阻上的电压信号采集频率为 1 次/min (PCI1713 型, 深圳研华), 当输出电压低于 50 mV 时便更换燃料, 开始下个周期的运行。

### 1.3 测试方法

COD<sub>Cr</sub> 和苯浓度测定分别采用重铬酸钾法<sup>[15]</sup>和 CS<sub>2</sub> 萃取气相色谱法<sup>[16]</sup>。

功率密度通过  $P = U^2/R$  计算, 最大体积功率密度和最大面积功率密度分别通过  $P_{An} = P_{max}/A$  和  $P_v = P_{max}/V$  计算。其中,  $A$  为阳极有效面积 (m<sup>2</sup>),  $V$  极室的有效体积 (L)。

库仑效率  $E$  按照公式<sup>[2]</sup>:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n U_i t_i}{RFb\Delta SV} M \quad (1)$$

式中,  $U_i$  为  $t_i$  时刻 MFC 输出电压,  $R$  为外电阻,  $F$  为法拉第常数, 96 485 C/mol,  $b$  为 1 mol COD 所对应的电子数, 等于 4 e<sup>-</sup> mol/mol, ( $S$  为 COD 去除浓度 (g/L),  $V$  为使用基质体积 (L),  $M$  为氧分子质量; 等于 32 g/mol)。

## 2 实验结果

### 2.1 不同燃料条件下 MFC 的产电特性

2.1.1 葡萄糖为唯一燃料时 MFC 的产电特性 当以葡萄糖为燃料时, MFC 的启动时间较短, 在 64 h 之内电压达到 620 mV, 160 h 后电压输出达到稳定。如图 1 所示, 以 1 500 mg/L 的葡萄糖为基质个

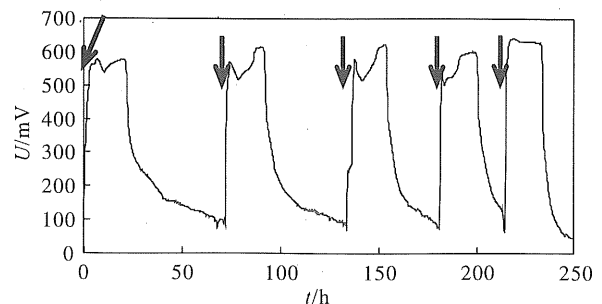


图 1 以葡萄糖为单一基质时 MFC 输出电压随时间变化曲线 (箭头表示更新燃料)

Fig. 1 Electricity production of MFC using glucose as the substrate (Arrows show the replenishment of the fuels)

的 MFC 连续运行 5 个周期, 持续时间约 285 h。5 周期最高电压逐渐升高, 最高电压变化范围为 550 ~ 650 mV, 第 5 个周期输出电压最高, 形成一个较好的产电平台期, 持续时间约 15h, 最高电压为 650 mV。在第 5 个周期, MFC 最高功率密度可达 228 mW/m<sup>2</sup>, 体积功率密度达 20.5 W/m<sup>3</sup>。

2.1.2 以葡萄糖和苯为混合燃料时 MFC 的产电特性 当葡萄糖的初始浓度为 1 500 mg/L, 苯的初始浓度与 MFC 的输出电压随时间变化曲线如图 2 所示。当苯的初始浓度为 400 mg/L 时, 产电周期约为 68 h, 最高电压可达 680 mV, 最高功率密度为 257mW/m<sup>2</sup>, 平台期持续时间为 13h; 当苯的初始浓度为 800 mg/L 时, 产电周期为 45 h, 最高电压为 700 mV, 最高功率密度为 272 mW/m<sup>2</sup>, 平台期持续时间较长约 14 h。

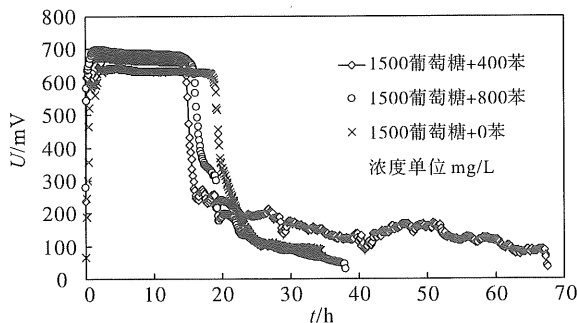


图 2 不同苯浓度下 MFC 的电压输出曲线

Fig. 2 Electricity production of MFC with 1500 mg/L glucose and benzene in different concentrations

当葡萄糖的初始浓度降低为 1 000 mg/L, 苯的初始浓度分别为 600、800 和 1 200 mg/L 时 MFC 的输出电压随时间变化曲线如图 3 所示。当苯的初始浓度为 600 mg/L 时, 最高电压为 720 mV, 最高功率密度为 288 mW/m<sup>2</sup>; 苯浓度为 800 mg/L 时, 最高电压为 710 mV, 最高功率密度为 284 mW/m<sup>2</sup>; 当苯的浓度增加到 1 200 mg/L 时, 与前两者相比, 最高电压降低为 650 mV, 最高功率密度为 236 mW/m<sup>2</sup>。另外, 当苯的浓度为 1 200 mg/L 时, 电压输出曲线下降阶段出现了比较明显的拖尾现象。下降阶段持续时间长达 49 h, 电压降至 490 mV 之后下降速度明显减慢, 输出电压呈不稳定。

综合图 2 和图 3, 当葡萄糖浓度为 1 500 mg/L, 苯的浓度逐渐增加为 0、400 和 800 mg/L 时, 消耗单位 COD (g/L) 实际产生的电量分别为: 6.2、4.2 和 1.9 C; 当葡萄糖浓度为 1 000 mg/L, 苯的浓度逐渐增加为 600、800 和 1 200 mg/L 时,

消耗单位 COD (g/L) 实际产生的电量分别为: 4.6、2.8 和 2.1C。可见, 苯加入降低了单位能耗产生的电量。在本实验浓度范围内, 当葡萄糖和苯浓度配比为 5:3 时, 产生的电量最大。随着苯浓度的增大, 受到高浓度苯的抑制, 单位能耗所产生的电量下降。

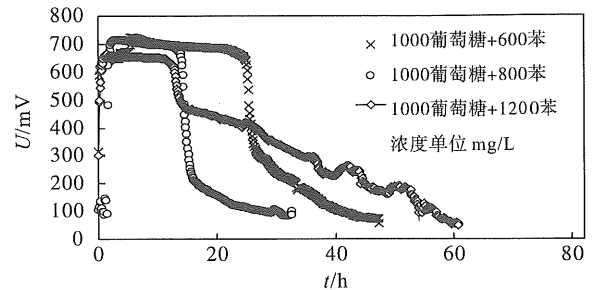


图 3 不同苯浓度下 MFC 的输出电压曲线

Fig. 3 Electricity production of MFC with 1000 mg/L glucose and benzene in different concentrations

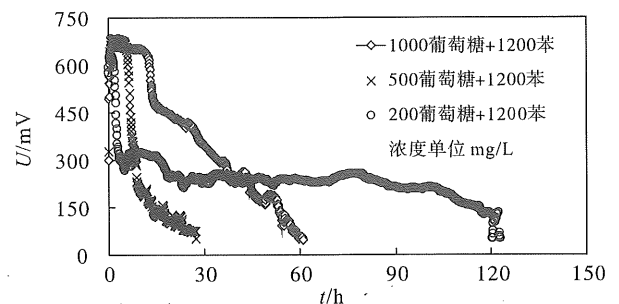


图 4 不同葡萄糖浓度下 MFC 的电压输出曲线

Fig. 4 Electricity production of MFC with 1200 mg/L benzene and glucose in different concentrations

当苯的初始浓度为 1 200 mg/L, 葡萄糖的浓度分别为 1 000、500 和 200 mg/L 时, MFC 的输出电压随时间变化曲线如图 4 所示。随着葡萄糖浓度的降低, 稳定产电持续时间逐渐降低。当葡萄糖浓度为 500 mg/L 和 1 000 mg/L 时, 平台期持续时间分别为 5.8 h 和 12 h; 葡萄糖浓度为 200 mg/L 时, 电压迅速升高达到最大值 620 mV, 之后电压迅速下降至 280 mV 左右, 之后电压平缓下降, 拖尾较长。

2.1.3 1 000 mg/L 苯为唯一燃料时 MFC 的产电特性 结果见图 5 所示, 初始周期最高电压约为 100 mV, 不断更新新基质后最高电压逐渐升高, 最高输出电压为 131 mV, 相应的最高功率密度为 9.5 mW/m<sup>2</sup>, 体积功率密度为 0.9 W/m<sup>3</sup>。输出电压缓慢的上升到最高值后, 维持很短的电压高峰时间便持续下降。

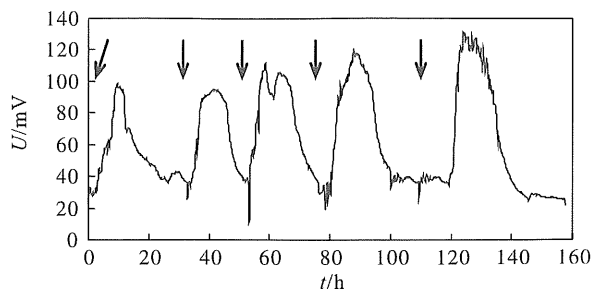


图 5 MFC 输出电压随时间变化曲线  
(以 1000 mg/L 苯为基质)

Fig. 5 Electricity production of MFC using 1000 mg/L benzene as the fuel

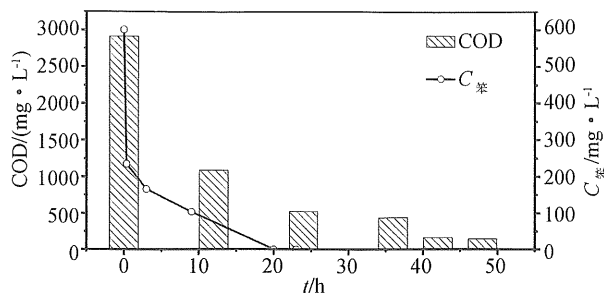


图 7 MFC 以 1000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯为混合燃料时 COD 和苯的降解

Fig. 7 COD and benzene removal in MFC using 1000 mg/L glucose + 600 mg/L benzene mixture as the fuel

## 2.2 MFC 产电过程中对不同有机物的降解性能和基质利用

以 1 500 mg/L 葡萄糖为燃料时, MFC 的 COD 降解效果如图 6 所示。结果表明, 阳极室中基质的 COD 随着电能的输出而逐渐减小, 各周期结束时 COD 的去除率均可达到 90% 以上。

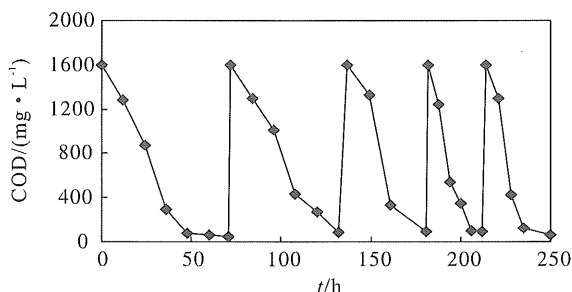


图 6 以 1500 mg/L 葡萄糖为燃料时 MFC 的 COD 降解曲线

Fig. 6 COD removal in MFC using 1500 mg/L glucose as the fuel

以 1 000 mg/L 葡萄糖和 600 mg/L 苯为混合燃料时 COD 和苯的降解效果如图 7 所示。从图中结果可看出, 苯在短时间内得到有效降解, 24 h 内可达到完全去除, 此时 COD 的去除率未达到最大值, 可能与苯的代谢产物有关。产电周期结束时, MFC 中 COD 的去除率在 95% 以上, 这说明 MFC 在产电的同时能够实现苯的有效降解。

## 3 讨论

以上实验结果表明, 单一燃料情形下, 苯的 MFC 产电性能远远低于葡萄糖, 其面积功率密度不到葡萄糖的 1/20 (见表 1); 以葡萄糖和苯为混合燃料时, 二者的不同配比得到不同的产电效果, MFC 的输出电能随着苯浓度的增加而呈现不同程度的衰

减。混合燃料情形下, MFC 可获得最高电压为 720 mV, 最大功率密度为 288 mW/m<sup>2</sup> (体积功率密度为 25.9 W/m<sup>3</sup>), 此时基质中葡萄糖的浓度为 1 000 mg/L, 苯的浓度为 600 mg/L。可见, 燃料的可降解难易程度对 MFC 的产电性能影响显著, 这与文献中报道的研究结果一致<sup>[17-19]</sup>。同样以葡萄糖为单一燃料, 本研究中使用的填料型 MFC 的功率密度介于 Liu 等<sup>[2]</sup> 和 尤世界等<sup>[22]</sup> 使用空气阴极单室型 MFC 所获得的结果之间 (见表 1), 可见, 除了反应器的结构, 有必要对 MFC 产能的其他影响因子进行系统研究。

本实验中 MFC 的库仑效率较低, 以 1 500 mg/L 纯葡萄糖和 1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯作为燃料时, MFC 的库仑效率分别为 15.7% 和 2.3%, 均低于 20%; 对比 MFC 阳极室的较高 COD 去除率可知, 有可能大部分 COD 被阳极室的其他非产电细菌消耗, 用于自身的生长代谢。但影响 MFC 的库仑效率的原因较多, 如菌种的驯化程度和反应器的内阻, 这均有待于进一步研究。

## 4 结论

(1) 以 1 500 mg/L 葡萄糖作为单一燃料时, MFC 可获得最高功率密度为 228 mW/m<sup>2</sup>, 相应的体积功率密度为 20.5 W/m<sup>3</sup>; 以 1 000 mg/L 苯作为单一燃料时, 最大功率密度为 9.5 mW/m<sup>2</sup>, 体积功率密度为 0.9 W/m<sup>3</sup>;

(2) 以葡萄糖和苯为混合燃料时, MFC 的产电性能随着苯浓度的增加而呈现不同程度的衰减。其中以 1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯的产能效果最好, 消耗单位 COD 实际产生的电量最大为 4.6 C, 相应的体积功率密度为 25.9 W/m<sup>3</sup>;

(3) 1 500 mg/L 葡萄糖为单一燃料情况下,

MFC 各周期结束时 COD 的去除率均可达到 90% 以上; 1 000 mg/L 葡萄糖 + 600 mg/L 苯混合燃料情 况下, MFC 在 24 h 内可将 600 mg/L 苯完全降解, 产电周期结束时 MFC 的 COD 去除率在 95% 以上;

表 1 MFC 利用不同燃料的产电性能比较

Table 1 Comparison of the MFC performance using different fuels between this study and typical literatures

MFC 类型	燃料	燃料浓度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$U_{\text{max}}/\text{mV}$	$P_{\text{An}}$ ( $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ )	$P_{\text{v}}$ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ )	COD 去除率/%	库仑 效率/%	文献
填料型双极室	葡萄糖	1 500	650	228.0	20.5	95.3	15.7	本研究
填料型双极室	葡萄糖 + 苯	2 910 *	720	288.0	25.9	95.0	2.3	本研究
填料型双极室	苯	1 000	131	9.5	0.9	-	-	本研究
盐桥式双极室	市政污水	300 *	230	25.0	-	-	0.3	[20]
空气阴极单室	葡萄糖	600	520	4 940.0	12.5	75	9 ~ 12	[2]
空气阴极单室	乙酸	1 000	570	2 400.0	73.0	-	60.0	[21]
空气阴极单室	养猪废水	8 320 *	357	261.0	-	86.0	8.0	[6]
空气阴极单室	葡萄糖	2 000	410	192.0	-	87.0	10.0	[22]
空气阴极单室	葡萄糖醛酸	480 *	440	2 770.0	-	89.0	37.0	[18]
双极室	苯酚	400	121	6.0	-	80.0	0.6	[19]
双极室	羧甲基纤维素	1 000	-	42.2	-	38.0	47.0	[23]
双极室	木糖	2 250	86	6.3	0.1	23.7	41.0	[24]

\* 基质的初始  $\text{COD}_{\text{cr}}$

#### 参考文献:

- [1] RABAEY K, LISSENS G, SICILIANO S D. Microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency[J]. *Biotechnol Lett*, 2003, 25: 1531 - 1535.
- [2] LIU H, LOGAN B E. Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane[J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(14): 4040 - 4046.
- [3] ZHAO F, HAMISCH F, SCHRODER U. Application of pyrolysed iron (II) phthalocyanine and CoTMPP based oxygen reduction catalysts as cathode materials in microbials[J]. *Electrochem Commun*, 2005, 7: 1405 - 1410.
- [4] LIU Z D, LIAN J. Construction of sugar-based microbial fuel cells by dissimilatory metal reduction bacteria[J]. *Chinese Journal of biotechnology*, 2006, 22(2): 131 - 137.
- [5] TERMAN P, KORNEELRABAEY, HAITHEPHAM. Continuous Electricity generation at High Voltages and Currents Using Stacked Microbial Fuel Cells[J]. *Environ Sci Technol*, 2006, 40(10): 3388 - 3394.
- [6] MIN B, KIM J R, OH S E, et al. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells, *Water Res*, 2005, 39: 4961 - 4968.
- [7] LIU H, CHENG S A, HUANG L P. Scale-up of membrane-free single-chamber microbial fuel cells[J]. *J Power Sources*, 2008, 179: 274 - 279.
- [8] BERGEL A, FÉRON D, MOLLICA A. Catalysis of oxygen reduction in PEM fuel cell by seawater biofilm[J]. *Electrochem Commun*, 2005, 7: 900 - 904.
- [9] BOND D R, HOLMES D E. Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments[J]. *Science*, 2002, 295(18): 483 - 485.
- [10] MIN B, KIM J R, REGAN J M. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells[J]. *Water Res*, 2005, 39: 4961 - 4968.
- [11] CHENG S A, LIU H, LOGAN B E. Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing[J]. *Environ Sci Technol*, 2006, 40(7): 2426 - 2432.
- [12] FREGUIAL S, RABAEY K, YUAN Z G. Sequential anode-cathode configuration improves cathodic oxygen reduction and effluent quality of microbial fuel cells[J]. *Water Res*, 2008, 42: 1387 - 1396.
- [13] HUANG L P, ZENG R J, ANGELIDAKI I. Electricity production from xylose using a mediator-less microbial fuel cell[J]. *Bioresource Technol*, 2008, 99: 4178 - 4184.
- [14] LOVLEY D R, PHILLIPS E J P. Novel mode of microbial energy metabolism: organism carbon oxidation coupled to dissimilatory reduction of iron and manganese[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1988, 54(6): 1472 - 1480.
- [15] 《水和废水监测分析方法》编辑委员会. 水和废水监测分析方法[M]. 3 版. 北京: 中国环境科学出版社,

- 1989: 354 - 356.
- [16] 《水和废水监测分析方法》编辑委员会. 水和废水监测分析方法[M]. 第三版. 北京: 中国环境科学出版社, 1989: 378 - 379.
- [17] GIL G C, CHANG I S, KIM B H, et al. Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell[J], *Biosens Bioelectron*, 2003, 18, 327 - 334.
- [18] CATAL T, LI K, BERMEK H, et al. Electricity production from twelve monosaccharides using microbial fuel cells[J], *J Power Sources*, 2008, 175:196 - 200.
- [19] 骆海萍, 刘广立, 张仁铎, 等. 以苯酚为燃料的微生物燃料电池产电特性研究[J]. *环境科学学报*, 2008, 28 (7):1279 - 1283.
- [20] RODRIGO M A, CA? IZARES P, LOBATO J, et al. Production of electricity from the treatment of urban waste water using a microbial fuel cell [J]. *J Power Sources*, 2007, 169(1):198 - 204.
- [21] LOGAN B E, CHENG S, WATSON V, et al. Graphite fiber brush anodes for increased power production in air-cathode microbial fuel cells[J]. *Environ Sci Technol*, 2007, 41(9):341 - 346.
- [22] 尤世界, 赵庆良, 姜珺秋. 废水同步生物处理与生物燃料电池发电研究[J]. *环境科学*, 2006, 27 (9): 1786 - 1790.
- [23] REN Z, WARD T E, REGAN J M. Electricity production from cellulose in a microbial fuel cell using a defined binary culture[J], *Environ Sci Technol*, 2007, 41 (13): 4781 - 4786.
- [24] HUANG L, ZENG R J, ANGELIDAKI I. Electricity production from xylose using a mediator-less microbial fuel cell[J]. *Bioresource Technol*, 2008, 99:4178 - 4184.

· 简 讯 ·

## 本刊被引频次再列综合类大学学报首位

据中国科学技术信息研究所2009年11月(2009年版)公布的“中国科技期刊引证报告(核心版)”的信息, 中山大学学报自然科学版总被引频次为1109, 这是继2008年版之后, 本刊被引频次再次位于综合类大学学报首位。

近年来, 中山大学学报深化改革, 创新发展, 着力抓好学术质量和编校质量, 刊物影响力不断提高。自然版学报的办刊指标, 如基金论文比、影响因子、他引率等重要指标均位于同类学报的前列, 被评为首届中国精品科技期刊。

(张 文)