

电化学生产电菌的分离及性能评价

冯玉杰, 李贺, 王鑫, 何伟华, 刘尧兰

(哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090)

摘要:利用兼性滚管法分离了折流板空气阴极微生物燃料电池(BAFMFC)A、B 两格室的阳极生物膜,共获得 19 株纯菌.将菌株投加至无菌立方型反应器中,检验其产电特性.利用交流阻抗法测量各纯菌电池的内阻,结果显示 38 个电池的欧姆内阻为 $25\Omega \pm 5\Omega$,说明了各电池的产电差异来源于菌株本身的活性.其他运行条件均保持不变,在 $1\,000\,\Omega$ 外阻下,7 株纯菌电池的输出电压在 200 mV 以上.其中,A 格室产电活性最高的菌株(A2)产生的最大电压为 328 mV,输出的最大功率密度为 $165.1\,\text{mW}/\text{m}^2$,B 格室产电活性最高的菌株(B1)最大电压为 241 mV,最大功率密度为 $214.4\,\text{mW}/\text{m}^2$.原子力显微镜和脂肪酸快速鉴定表明,A2 为肠杆菌科的杆菌,B1 为厚壁菌门的芽孢杆菌.

关键词:折流板空气阴极微生物燃料电池;兼性滚管法;电压;功率密度;脂肪酸鉴定

中图分类号:X172 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2010)11-2804-07

Isolation and Evaluation of Exoelectrogenic Bacteria in a Baffled Air-cathode Microbial Fuel Cell

FENG Yu-jie, LI He, WANG Xin, HE Wei-hua, LIU Yao-lan

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract:Facultative tube methods were adopted for isolation from biofilm in two compartments of a baffled air-cathode microbial fuel cell (BAFMFC). The separated strains were then putted into a sterile cubic MFC individually under the same condition in order to evaluate its electrogenic characteristic. Electrochemical impedance spectrometer (EIS) was employed for the internal resistance testing. It can be found that ohmic internal resistance was around 25Ω , indicating the cell performance determined only by activity of the strain. Nineteen strains were obtained, seven of which had voltages over 200 mV under $1\,000\Omega$. The strain (A2), owned the highest electrogenic activity in compartment A, has a voltage of 328 mV with the maximum power density $165.1\,\text{mW}/\text{m}^2$. The maximum power density of $214.4\,\text{mW}/\text{m}^2$ was produced by the isolate B1 (the best exoelectrogenesis in compartment B), while the maximal voltage of 241 mV was achieved. Identification of fatty acids reveals that A2 belongs to *Enterobacteriaceae*, and B1 belongs to the genus *Bacillus*.

Key words:baffled air-cathode microbial fuel cells (BAFMFC); facultative tube isolation methods; voltage; power density; identification of fatty acids

微生物燃料电池(MFC)是一种利用生物质及微生物进行电能生产的新型装置^[1],作为多元化能源战略中的一种新型能源供给方式,逐渐成为了新能源开发领域的研究焦点.在整个产电过程中,作为阳极生物催化剂的产电菌是能量转换的关键步骤,也是限速步骤之一^[2,3].因此,从MFC中分离产电菌,为机制研究提供必要的生物材料,是开展MFC机制研究的基础和条件^[4,5].

目前,人们对产电菌性质的认识大多是通过通过对 *Shewanella* 和 *Geobacter* 菌属的研究获得的^[6~8],但越来越多的研究表明 MFC 产电菌的菌属呈现多元化趋势,具备产电特性的微生物菌种可能远远超出人们以往的认识.2001 年,韩国科学技术学院 Park 等^[9]分离出专性厌氧菌 *Clostridium butyricum* EG3,该菌株可代谢葡萄糖产生电流,其最高电流可达 0.22 mA.2003 年,Pham 等^[10]从以醋酸为底物的

MFC 中分离出了 1 株兼性厌氧的嗜水气单胞菌属 PA3,产生的电流为 0.3 mA.2004 年,Rabaey 等^[11]从 MFC 中分离出 1 株绿脓杆菌 *Pseudomonas aeruginosa*,该菌产生的功率密度 ($23\,\text{mW}/\text{m}^2$) 与 MFC 产生的功率密度 ($28\,\text{mW}/\text{m}^2$) 相近,且自身可释放绿脓菌素做电子受体.2008 年,Xing 等^[12]分离得到 1 株红假单胞菌属的 *Rhodospseudomonas palustris* DX-1,该菌在光照条件下可产生 ($1\,170 \pm 30$) mW/m^2 的电能,比在无光照条件下产生的功率密度高 $40\,\text{mW}/\text{m}^2$.更多研究报道表明,具有电化学生活性的产电菌呈现多样性^[13~15].而利用分子生物学手段(DGGE 及 RFLP 等)分析中国地区阳极生物膜

收稿日期:2010-01-31;修订日期:2010-07-23

基金项目:国家自然科学基金项目(50638020,50821002)

作者简介:冯玉杰(1966~),女,博士,教授,主要研究方向为废水处理技术、生物能源和环境电化学理论与技术等,E-mail: yujief@hit.edu.cn

的优势菌群,所得结果中极少见到上述已分离出的菌属^[16-18].这说明不同地域有不同种类的优势产电菌群,不同种类产电菌产电机 $\checkmark$ 可能因不同的代谢机 $\checkmark$ 呈现不同的类型.因此获得本地域主要的优势产电菌群,成为了机制研究中首要攻克的难题.

本实验室在前期的研究中,建立了多种微生物燃料电池反应系统.其中所建立的折流板空气 MFC 的能量密度可达 15.22 W/m^3 (0.84 W/m^2).以此折流板空气 MFC 作为菌种来源,利用兼性滚管法,本研究将首次报道该系统阳极产电菌的分离及产电特性分析结果.

1 材料与方法

1.1 折流板空气阴极 MFC 反应器及运行

本试验菌株来自折流板空气阴极 MFC,该反应器以 1 g/L 葡萄糖为底物,用 20% 生活污水接种,连续流稳定运行了 4 个月, $\text{HRT} = 6 \text{ h}$,运行期间外电阻为 1000Ω ^[19].

1.2 产电菌的分离方法

采用 Hungate 发明的滚管技术^[20],对阳极两格室内产电菌进行分离.挑取阳极生物膜样品 ($\phi = 0.5 \text{ cm}$),将其投入含无菌富集培养基的厌氧小瓶中 ($v = 100 \text{ mL}$),将小瓶密封置于 30°C 条件下,富集培养 2~4 d.

用灭菌后的注射器吸取 1 mL 富集培养后的菌液,将其迅速注入含 9 mL 去氧无菌水的厌氧管中,混合均匀.按上述步骤进行 3 平行 9 梯度 $\blacklozenge$ 稀释.在滚管中接入 1 mL 菌液后,旋转滚管使菌液平铺于管壁一侧,缓慢转动 360° 后,将滚管垂直放于 30°C 培养箱 (LRH-250,上海一恒)中培养.5 d 后,培养基上可生长出许多不同形态的单菌落.选择单菌落数目适中,分布均匀,且多样性好的滚管,进行单菌落的挑取.仔细观察滚管内菌落形态,根据菌落特征,确定欲挑取的目标菌落.在灭菌的厌氧操作箱 (miniMACs Anaerobic Workstation, Don Whitley Scientific Limited) 中挑取目标菌落,然后将其迅速接入无菌的富集培养基中, 30°C 下培养 3~5 d.

1.3 立方型 MFC 运行及产电菌产电特性评价

选择立方型反应器作为检验纯菌产电特性的反应器^[21, 22].所用底物为葡萄糖 (浓度为 1 g/L).所用电极材料和反应器组装部件均须灭菌处理,并在无菌操作台上组装.用无菌注射器将 2 mL 菌液和 25 mL 无菌进水溶液接入至无菌反应器中,用胶塞塞紧,并用酒精棉擦净反应器外表面.用干净无菌的

纱布覆盖住阴极以隔离环境中的杂菌.纯菌反应器的进水溶液及运行参数同 BAFMFC (需灭菌, 112°C , 30 min),且只在启动的前 3 个周期接入纯菌.在线记录各纯菌反应器的电压,当电压下降至 50 mV ,更换反应液,换水过程也须按上述步骤在无菌操作台上进行.纯菌接入反应器后表现出不同的产电性能,稳定时间与菌株产电特性有关.反应器在接种运行 10 个周期后,若电压仍在 100 mV 以下即被认为该菌株无产电活性.

1.4 菌种鉴定

本实验利用美国 MIDI 公司研发的 SHERLOCK® 全自动微生物鉴定系统鉴定微生物.首先将待测细菌放到 1 个洁净的培养管中,经四步预处理 (皂化、甲基化、萃取和洗涤) 后,加入至密封的气相色谱样品管中进行气相色谱分析 (Agilent 6890).将所得的气相色谱图谱与软件 Sherlock MIS4.5 (Microbial Identification System, 美国 MIDI 公司) 和 LGS4.5 (Library Generation Software, 美国 MIDI 公司) 进行分析比对.系统计算出各组分的相对含量,再与谱库中的标准菌株进行数值匹配,计算出相似度 (similarity index, SI),从而得出菌种的鉴定结果.

1.5 分析与计算方法

纯菌反应器的极化曲线获得方法参照文献 [22] 进行.更换 MFC 的底物后,在开路电压下运行 3~6 h.之后改变外电路电阻值,分别为 50000 、 5000 、 1000 、 800 、 600 、 400 、 200 和 100Ω ,在每个电阻值下,保持 MFC 反应器运行 2 h 以上,并记录电压值.根据欧姆定律计算出电流密度 (mA/m^2 , $j = V/R \times A$),功率密度 (mW/m^2) 由 $q = V^2/R \times A$ 计算而得.其中, V (mV) 是电池的电压, R (Ω) 是外电阻, A (m^2) 是阳极面积.

立方型反应器的内阻通过 EIS 测定得到.方法如下:电路断开 6 h 后,在立方型 MFC 的阳极和阴极之间加入 1 个频率范围介于 $10 \text{ mHz} \sim 100 \text{ kHz}$ 之间的交流电 (263A, E&G),获得尼奎斯特图.所得曲线由 ZSIMPWIN 3.10 软件进行拟合,得出总电阻及各部分电阻.

挑取少量待测菌株于载玻片上,用无菌水稀释,使菌株之间尽量分散.将载玻片转移至原子力显微镜下直接观察菌株的形貌特性.

库伦效率 (CE) 计算公式如下:

$$\text{CE} = \frac{M \int_0^T I t dt}{nVF(\Delta\text{COD})} \quad (1)$$

式中, M 为氧气的相对分子质量 ($M = 32 \text{ g/mol}$), t 为时间, I 为 t 时刻的电流, T 为周期时间, n 为每摩尔氧气转移的电子数 (4), V 为反应器容积, F 为法拉第常数 ($96\,487 \text{ C/mol}$), ΔCOD 为 t 时间内去除的 COD.

2 结果与讨论

2.1 BAFMFC 的运行

折流板空气阴极 MFC 稳定运行了 4 个月, 输出电压稳定在 $(652.2 \pm 5) \text{ mV}$, 最大的功率密度为 $0.8 \text{ W/m}^2 [20]$.

2.2 纯菌的产电特性

共设计加工了 38 个立方型 MFC 反应器, 将分离出 19 株纯菌, 分别依照 2.3 节的方法投加到立方体反应器中, 检验菌株的产电活性, 纯菌分别标记为 A1, A2, ... A8 和 B1, B2, ... B11.

由于本实验中使用了相同的电极材料、反应器及进水溶液, 38 个纯菌 MFC 欧姆内阻相近 ($25 \Omega \pm 5 \Omega$), 其中 7 个纯菌反应器的内阻测量结果如图 1 所示. 在欧姆内阻、外接电阻及运行条件均相同的情况下, 功率密度的高低取决于菌株的电催化活性 (产生及传递电荷的能力), 菌株的产电活性越高, 反应器总内阻越低, 反应器产生的电压 (或电流) 越高, 功率密度也越大.

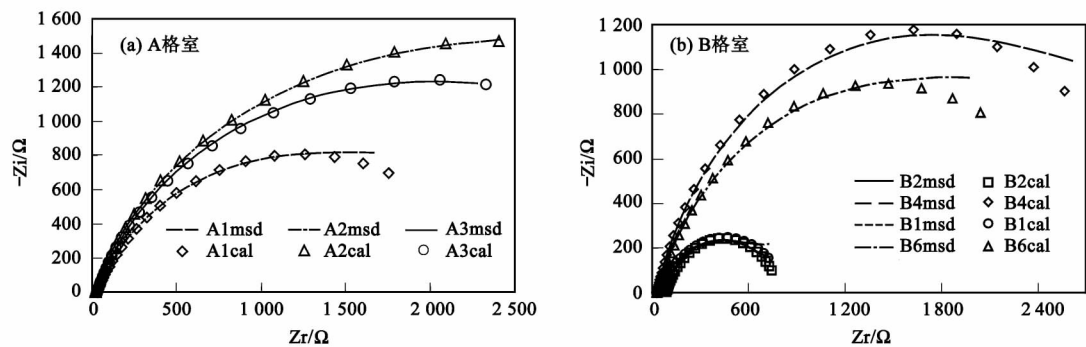


图 1 纯菌反应器的交流阻抗图
Fig. 1 Nyquist plots of impedance spectra of the reactors

如表 1 所示, 在 19 株纯菌中, 有 6 株纯菌的输出电压在 $200 \sim 300 \text{ mV}$ 之间, 其中有 1 株纯菌的输出电压超过了 300 mV .

表 1 19 株纯菌反应器的电压分布表
Table 1 Voltage outputs of pure bacteria

菌种来源	100 ~ 200 mV	200 ~ 300 mV	300 mV 以上
A 格室	5 株	2 株 (A3, A5)	1 株 (A2)
B 格室	7 株	4 株 (B1、B2、B4、B6)	—

如图 2(a) 所示, A2 停止接种 2 个周期后, 即获得了最大的输出电压 328.1 mV (电流为 0.33 mA), 而后电压下降到 150.6 mV , 历经 7 个周期后又回升至 239.4 mV . A3 电压随细菌在反应器中生长而增加, 在第 7 个周期略微回落后, 便稳定于 237.2 mV . 而 A5 的电压在运行了 400 h 后, 仍在 120.0 mV 以下, 随后电压开始缓慢增长, 历经 548 h 后达到 234.3 mV 并稳定.

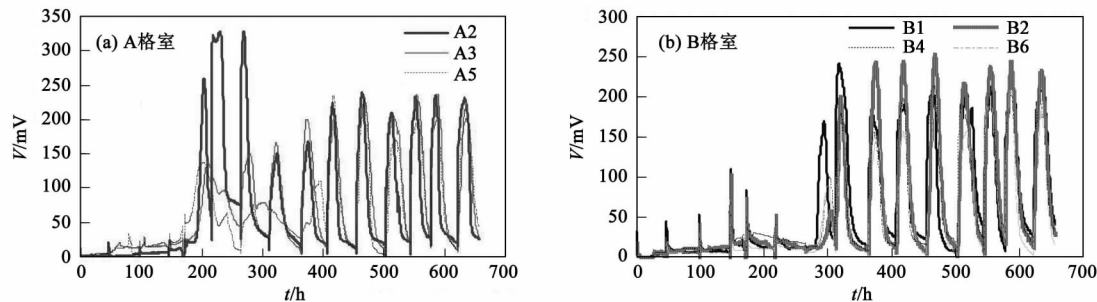


图 2 纯菌反应器的电压随时间变化图
Fig. 2 Voltage outputs of MFCs with different exoelectrogenesis

B1、B2、B4、B6 这 4 株菌电压的增长趋势一致, 在 300 h 后电压开始稳定[见图 2(b)]. B1 最先达到电压的最大值 241.0 mV(电流为 0.24 mA),但随后电压有所下降,最终稳定在 223 mV. 而 B2 虽然在 375 h 后电压才升高至 238.2 mV,但此后电压一直缓慢增长,到达 247.4 mV 后稳定. B4、B6 运行 400 h 后,电压基本稳定,其最大电压分别是 214.8 mV、209.6 mV.

由图 2 可知,两格室分离出的纯菌电压大多集中在 200 ~ 250 mV,而且 B 格室纯菌 MFC(约 300 h)普遍比 A 格室的纯菌反应器(约 200 h)启动时间长,这可能是由于 A 格室纯菌比 B 格室菌株在阳极

表面上生长附着的速度快造成的.

如图 3(a)所示,A2、A3、A5 的最大功率密度分别是 165.1、154.6、160.7 mW/m^2 ,其功率密度相当,但相应的电流密度分别为 767.9、448.1、535.7 mA/m^2 ,相差很大.相对而言,在获得相同功率密度的同时,A2 菌株能够获得更高的电流密度.由图 3(b)可知,B1、B2、B4、B6 的最大功率密度分别是 214.4、171.3、145.0、63.60 mW/m^2 ,相应的电流密度分别是 875.0、782.2、508.9、301.4 mA/m^2 . B4 和 B6 这 2 株菌由于电流密度很低,导致其功率密度是 B1 的 67.6% 和 29.7%,是 B2 的 83.8% 和 37.1%.

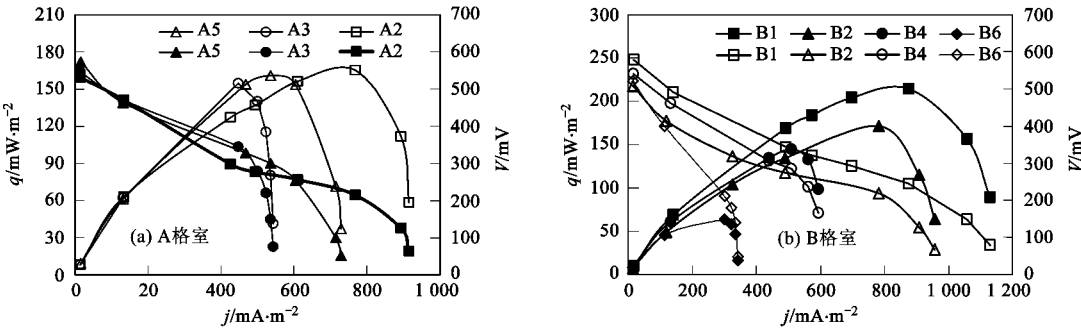


图 3 不同纯菌 MFC 的极化曲线

Fig. 3 Polarization curve of MFCs with different exoelectrogenesis

在 1 000 Ω 外阻下,A2、A3、A5 的库伦效率分别为 60.8%、42.4% 和 35.0%,而 B1、B2、B4、B6 的库伦效率为 67.5%、16.5%、15.3% 及 5.5%. 综上所述,A2 和 B1 的产电性能要高于其他几株纯菌,因而本研究的后续工作均以 A2 和 B1 作为对象.

2.3 产电菌株形貌特征研究

从上述菌株中选出产电活性较高的 2 株菌——B1 和 A2,将其在平板培养基中划线培养,如图 4 所示. A2 的菌落较大,呈椭圆状,表面光滑,边缘波浪状,有水晕圈,颜色呈乳白色;B1 菌落较小,呈圆形,边缘光滑,表面湿润,粗糙不透明,呈微黄色.

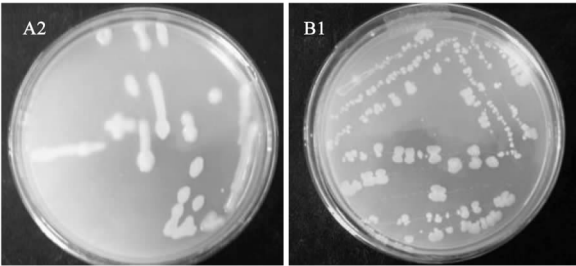


图 4 A2 和 B1 纯菌菌落照片

Fig. 4 Photos of the colonies of A2 and B1

原子力显微镜观察纯菌的表面形态. 如图 5 所示,A2 为规则的杆菌,直径约 0.8 μm ,长约 3.7 μm ;B1 为椭圆形杆菌,边缘呈波浪状,表面不光滑,直径约 0.7 μm ,长约 2.0 μm ,2 株菌表面均无纤毛.

2.4 产电菌株 A2 和 B1 鉴定

通过色谱图计算出的菌株细胞中的脂肪酸各组分含量(见图 6),与文库内的菌属进行比对,结果表明 A2 与肠杆菌科杆菌亲缘关系最近,相似度为 38%. B1 与芽孢杆菌属亲缘关系最近,相似度为 73%.

B1 属于厚壁菌门(*Firmicutes*)的芽孢杆菌属,最大功率为 214.4 mW/m^2 ,与已经报道的产电菌 EG3(*Clostridia*,梭菌属)属于同门.产生的电流与 EG3 相近(0.22 mA,500 Ω ,双室 MFC),而功率密度却比 *Clostridium butyricum* EG3 高出 195.0 mW/m^2 [9]. A2 则属于变形菌门(*Proteobacteria*) γ -变形杆菌纲的肠杆菌科杆菌,最高电流为 0.33 mA,最大功率密度为 165.1 mW/m^2 ,与其他同菌纲的高效产电菌相比,比 *Shewanella putrefaciens* IR-1(1 000 Ω ,空气阴极)[6]产生的电流高 0.29 mA,与气单胞菌属 *Aeromonas hydrophila* PA3(0.30 mA,500

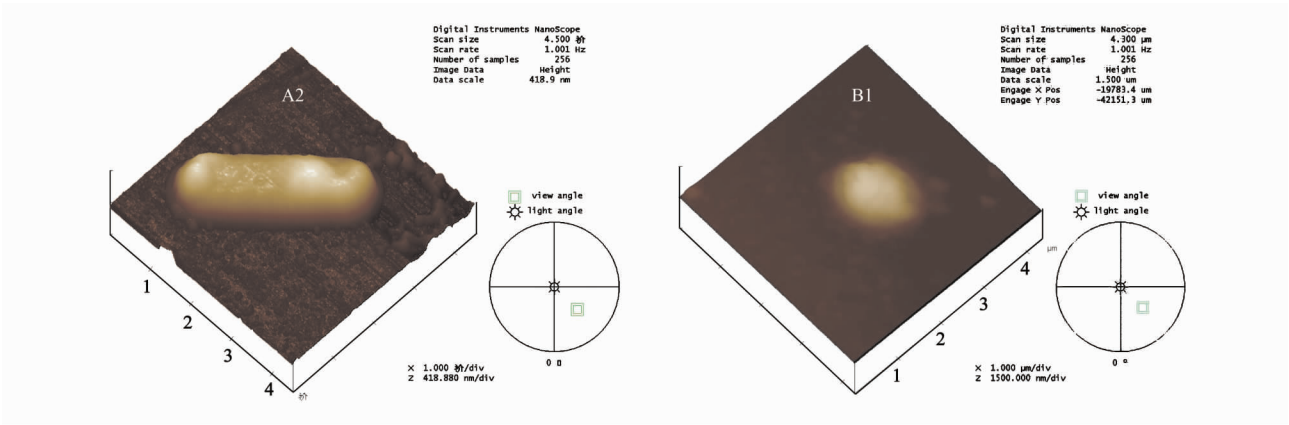


图 5 2 株纯菌的原子力显微镜照片

Fig. 5 Atomic force microscopy (AFM) images of A2 and B1

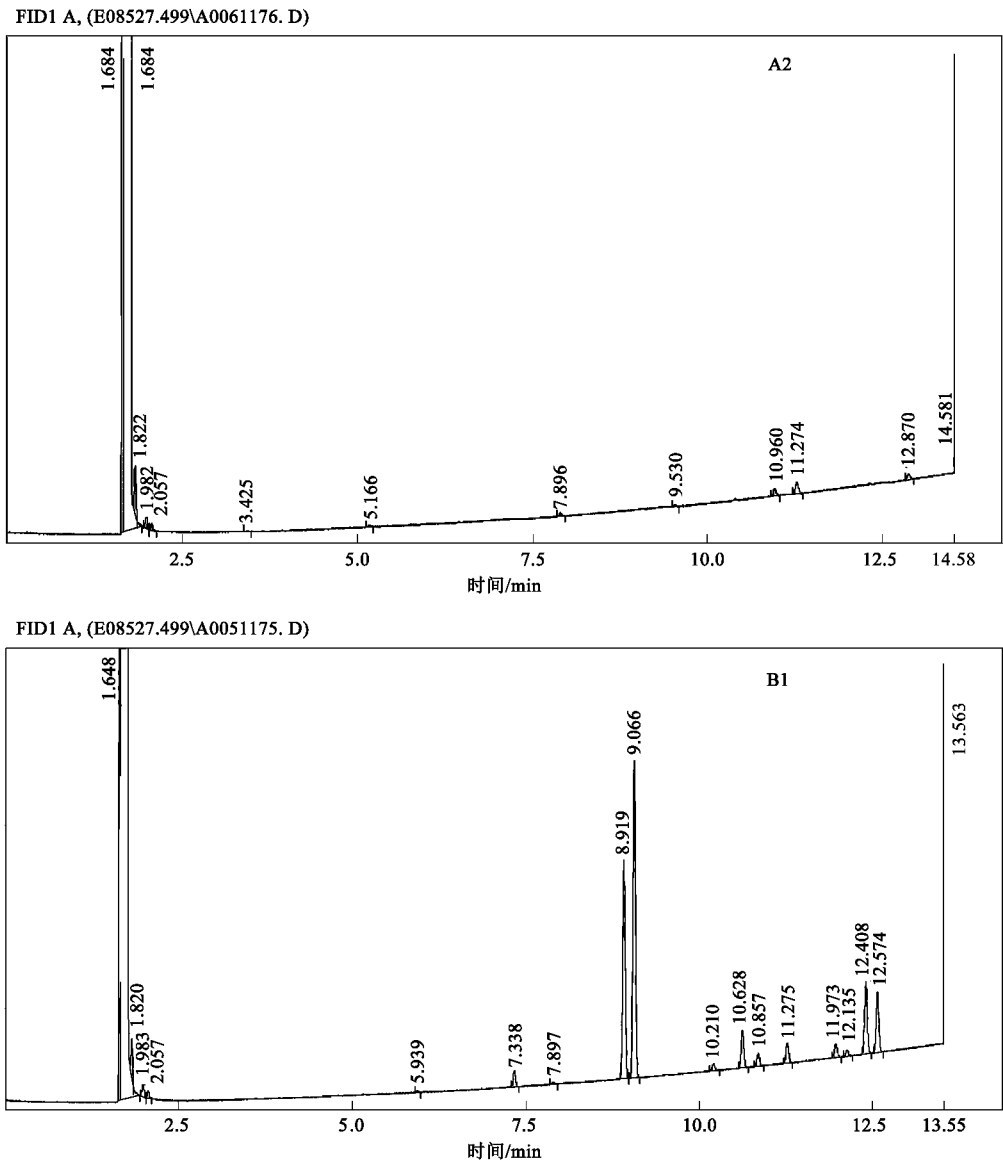


图 6 脂肪酸气相色谱图

Fig. 6 Gas chromatographic profiles of cellular fatty acids for the identification of exoelectrogenesis

Ω , 铁氰化钾阴极)产生的电流相近^[10], 但比 *Shewanella oneidensis* DSP10(0.80 mA, 2.0 W/m², 铁氰化钾阴极)电流低 0.47 mA^[23].

此外,BAFMFC 最大功率密度为 0.8 W/m²,而由图 3 可知,A2 与 B1 纯菌反应器的最大功率密度之和仅为 0.4 W/m²,占 BAFMFC 输出功率的 50%,说明此研究中获得的纯菌的功率密度远低于混合菌群.B1 与 A2 是从同一个 MFC 中分离得到,但经脂肪酸鉴定它们分别属于不同的菌门,这一结果也说明 BAFMFC 反应器内阳极生物膜的多样性,存在多种产电菌,这些产电微生物的分子生态关系是决定菌群产电特性的基础.明确其中的优势种群对于研究产电微生物的分子生态关系及其产电机制无疑具有重要意义.此外,关于 A2 和 B1 这 2 株菌的电化学活性未见报道,这一结果也说明产电菌的多样性,尚有多少株具有产电特性的产电菌,很难确定,需要人们付出更多的努力去发现和认识他们.

3 结论

(1)用兼性滚管法从折流板空气阴极 MFC 的两格室阳极生物膜中共分离出 19 株具有电化学生活性的产电菌,其中 7 株菌能够产生高于 0.2 mA 的电流.

(2)观察了 A2 和 B1 的表明形貌,并对其进行脂肪酸鉴定.A2 为肠杆菌科杆菌,输出电压为 328.1 mV,最大功率密度为 165.1 mW/m²,库伦效率为 60.8%;B1 为芽孢杆菌属,输出电压为 241.0 mV,最大功率密度为 214.4 mW/m²,库伦效率为 67.5%.由于 A2 及 B1 的最大输出功率及库伦效率最高,说明其产电性能要高于其他菌株.

参考文献:

- [1] Allen R M, Bennetto H P. Microbial fuel cells—Electricity production from carbohydrates[J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1993, **39**(40): 27-40.
- [2] Logan B E, Hamelers B, Rozendal R A, et al. Microbial fuel cells: methodology and technology[J]. Environmental Science and Technology, 2006, **17**: 5181-5191.
- [3] Bond D R, Lovley D R. Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism[J]. Nature, 1987, **330**(6145): 252-254.
- [4] Mehta T, Coppi M V, Childers S E, et al. Outer membrane c-type cytochromes required for Fe(III) and Mn(IV) oxide reduction in *Geobacter sulfurreducens* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, **71**: 8634-8641.
- [5] Holmes D E, Chaudhuri S K, Nevin K P, et al. Microarray and genetic analysis of electron transfer to electrodes in *Geobacter sulfurreducens*[J]. Environmental Microbiology, 2006, **8**(10): 1805-1815.
- [6] Kim H J, Park H S, Hyun M S, et al. A mediator-less microbial fuel cell using a metal reducing bacterium, *Shewanella putrefaciens*[J]. Enzyme Microbial Technology, 2002, **30**: 145-152.
- [7] Gorby Y A, Yanina S, McLean J S, et al. Electrically conductive bacterial nanowires produced by *Shewanella oneidensis* strain MR-1 and other microorganisms [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, **103**: 11358-11363.
- [8] Nevin K P, Lovley D R. Lack of production of electron-shuttling compounds or solubilization of Fe(III) during reduction of insoluble Fe(III) oxide by *Geobacter metallireducens* [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, **66**: 2248-2251.
- [9] Park H S, Kim B H. A Novel Electrochemically Active and Fe(III)-reducing Bacterium Phylogenetically Related to *Clostridium butyricum* Isolated from a Microbial Fuel Cell [J]. Anaerobe, 2001, **7**: 297-306.
- [10] Pham C A, Jung S J, Phung N T, et al. A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing bacterium phylogenetically related to *Aeromonas hydrophila*, isolated from a microbial fuel cell[J]. FEMS Microbiology Letters, 2003, **223**: 129-134.
- [11] Rabaey K, Boon N, Siciliano S D, et al. Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2004, **70**: 5373-5382.
- [12] Xing D F, Zuo Y, Cheng S, et al. Electricity Generation by *Rhodospseudomonas palustris* DX-1 [J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**: 4146-4151.
- [13] 孙禹姣, 左剑恶, 崔龙涛, 等. 不同废水基质条件下微生物燃料电池中细菌群落解析[J]. 中国环境科学 2008, **28**(12): 1068-1073.
- [14] 黄霞, 范明志, 梁鹏, 等. 微生物燃料电池阳极特性对产电性能的影响[J]. 中国给水排水, 2007, **23**(3): 8-13.
- [15] 张锦涛, 倪晋仁, 周顺桂. 基于铁还原菌的微生物燃料电池研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2008, **14**(2): 290-295.
- [16] 付洁, 戚天胜, 蔡小波, 等. 微生物燃料电池产电研究及微生物多样性分析[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(4): 568-573.
- [17] 陈姗姗, 张翠萍, 刘广立, 等. 一株以喹啉为燃料的产电假单胞菌(*Pseudomonas* sp.) Q1 的特性研究[J]. 环境科学学报, 2010, **30**(6): 1130-1137.
- [18] 李颖, 孙永明, 孔晓英, 等. 微生物燃料电池中产电微生物的研究进展[J]. 微生物学通报, 2009, **36**(9): 1404-1409.
- [19] Hungate R E. A roll tube method for cultivation of strict anaerobes [A]. In: Norris J R, Ribbons D W (ed.) Methods in Microbiology Vol. 3B[M]. New York: Academic Press, 1969. 117-132.
- [20] Feng Y J, Lee H, Wang X, et al. Continuous electricity generation by a graphite granule baffled air - cathode microbial

- fuel cell[J]. *Bioresource Technology*, 2010, **101**(2): 632-638.
- [21] Liu H, Logan B E. Electricity generation using an air-cathode single compartment microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane [J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, **38**: 4040-4046.
- [22] 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]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1988, **54**: 1472-1480.
- [23] Ringeisen B R, Ray R, Little B. A miniature microbial fuel cell operating with an aerobic anode chamber[J]. *Journal of Power Source*, 2007, **165**: 591-597.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjks.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过 20 字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于 300 字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如 mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用 1,1.1,1.1.1 的形式,左起顶格书写,3 级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩 2 格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在 3 个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.对未刊稿件一般不退,请作者自留底稿.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市 2871 信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: hjks@rcees.ac.cn;网址: www.hjks.ac.cn