

DOI: 10.13208/j.electrochem.150926

Artical ID:1006-3471(2016)01-0081-07

Cite this: *J. Electrochem.* 2016, 22(1): 81-87

Http://electrochem.xmu.edu.cn

葡萄糖乙酸钠不同基质微生物燃料电池 电化学性能对比研究

樊磊¹, 赵煜¹, 李婷¹, 原沁波^{1,2}, 王恩志², 王晓斌¹, 王俊文^{1*}

(1. 太原理工大学洁净化工研究所, 山西 太原 030024;

2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100000)

摘要: 本文通过接种生活污水处理厂的好氧污泥和厌氧污泥, 搭建两个双室微生物燃料电池 (MFC, Microbial Fuel Cell), 分别以葡萄糖、乙酸钠作为基质, 在 $0.0335 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 基质浓度下研究不同基质微生物燃料电池的产电性能。研究表明, 葡萄糖体系的阳极半电池阻抗为 222Ω , 乙酸钠体系为 213.67Ω , 说明两种不同的有机基质对电池内阻无明显影响。葡萄糖、乙酸钠体系的交换电流密度 i^0 分别为 3.463 、 $5.987 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$, COD 去除率分别为 50.6% 、 55.8% , 库仑效率分别为 42.1% 、 46.2% 。葡萄糖为基质时最大输出功率密度为 $394.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, 相应的最大电流密度为 $1800 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$; 乙酸钠为基质时最大输出功率密度为 $311.9 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, 相应的最大电流密度为 $1527.5 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ 。葡萄糖代谢过程复杂, 并不单一, 且代谢不彻底, 乙酸钠分子简单更容易代谢, 因此乙酸钠的库仑效率及 COD 去除率均高于葡萄糖, 由以上数据可以得出葡萄糖为基质的燃料电池产电性能较好。

关键词: 微生物燃料电池; 葡萄糖; 乙酸钠; 电化学性能

中图分类号: O646

文献标识码: A

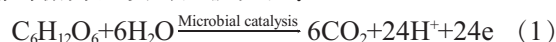
微生物燃料电池 (MFC, Microbial Fuel Cell) 是一种以微生物作为催化剂, 将有机物或者无机物中的化学能转化电能的装置^[1-2]。与传统意义上的燃料电池相比, 微生物燃料电池不仅构造简单、清洁环保, 而且其燃料来源非常广泛, 可以是单一有机物或无机物或实际废水。该技术将废水处理及化学能回收产电集为一体, 为解决环境问题、寻找新能源提供了广阔的前景。

2005 年, Liu 等^[3]研究 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的丁酸盐溶液为基质的微生物燃料电池的性能, 其输出功率为 $305 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。Kim 等^[4]用乙醇作为微生物代谢基质产电, 其输出功率高达 $(488 \pm 12) \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, 虽然利用乙醇的输出功率较高, 但其库仑效率很低, 在 10% 左右。随着 MFC 技术的不断发展, 更多的科研工作者将微生物燃料电池技术应用到各种废水的处理及其产电性能, 如养猪废水^[5]、苯酚废水^[6]、啤酒废水^[7-8]、含铜废水^[9]、餐饮废水^[10]等。随着研究的进一步发展, 研究领域不断地从无毒易降解的有机废水发展到高浓度、高毒性、难降解的无机物、

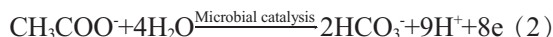
复杂的化合物。

对于 MFC 体系, 基质、基质浓度、温度、pH 等都会影响 MFC 的产电性能, 尤其是基质种类对微生物燃料电池产电性能有着重要的作用^[11-15]。葡萄糖是微生物最易吸收和分解的发酵型基质, 一部分能量用于微生物生长, 同时代谢产物较复杂, 葡萄糖代谢过程中能生成如乙酸、丙酸、乳酸等挥发性脂肪酸及醇、二氧化碳等产物。乙酸盐在厌氧环境下是含量最为丰富的脂肪酸, 并且是一些代谢途径的终产物。乙酸钠是易被产电菌直接利用的非发酵型基质, 代谢产物仅以少量乙酸、乙醇为主。室温下, 乙酸盐对于其它微生物转化具有不活泼性。本研究采用葡萄糖和乙酸钠作为单一基质, 对比其产电性能, 通过考察对阳极半电池阻抗、极化曲线、产电功率密度、电流密度测定及库仑效率评价不同基质对 MFC 产电性能的影响。据文献^[16], 两个体系的阳极半反应为:

以葡萄糖为基质的阳极反应:



以乙酸钠为基质的阳极反应:



1 实验

1.1 试剂与仪器

采用双室结构电池,阴、阳极室容积均为 80 mL,两室由 Nafion212(杜邦)质子交换膜分隔开来^[7].以 2 cm × 2 cm 碳毡(湖南博盛)作为阳极,1 cm × 1 cm (50 目)铂网(天津艾达)作为阴极,两电极间距保持 2.5 cm,阴阳极通过铜线连接,外接 1000 Ω 恒外阻,阳极室通氮气排除空气,保持密闭的厌氧环境.

碳纤维毡,先用蒸馏水清洗,接着用 0.5 mol·L⁻¹ HCl 浸泡 2 h,再用 0.5 mol·L⁻¹ NaOH 浸泡 2 h,最后用去离子水充分浸泡、洗涤. Nafion 112 膜,分别在 80 °C 的 30% H₂O₂、去离子水、0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄、去离子水中各处理 1 h.

Nafion 112 膜购于美国杜邦公司,使用前先在质量分数 3% 的 H₂O₂ 中煮沸 1 h,再在 80 °C 蒸馏水、0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄ 中各处理 1 h,最后用 80 °C 蒸馏水超声清理,保存在蒸馏水中备用.

1.2 实验原理及方法

图 1 为微生物燃料电池原理示意图.在阳极厌氧环境下,产电活性细菌通过细胞代谢将有机物或者无机物分解获取能量,在细胞呼吸作用过程中发生氧化反应,释放出的电子一部分用于合成三磷酸腺苷供产电菌生命活动,另一部分通过介体或者微生物自身分泌的色素传递到阳极碳毡,随后电子经过外接导线输送至阴极,阴极电子受体发生还原反应.

构建双室 MFC 装置,阳极液采用浓度均为 0.0335 mol·L⁻¹ 的葡萄糖或乙酸钠基质,另外添加 20 mL 细菌液及 60 mL 营养液;阴极液为 80 mL

浓度为 32.925 g·L⁻¹ 的铁氰化钾溶液.采用间歇运行模式,输出电压低于 0.1 V 时更换阳极液.在 35 °C 下恒温条件下考察电池电化学性能.

1.3 电化学测试及计算方法

使用电化学工作站(EClab VMP3),采用三电极体系进行电化学分析.工作电极是碳毡电极,对电极是 Pt 电极,参比电极是饱和甘汞电极.循环伏安测试(CV)扫描速率调节在 5 mV·s⁻¹,扫描电压范围在 -0.4 ~ -0.1 V (饱和甘汞参比电极).交流阻抗测试:频率范围 10 kHz ~ 5.000 mHz,正弦波交流激励信号为 ±10 mV;稳态极化测试:从 E_{∞} 开始,施加 120 个电势步长,令 $\Delta E = 5.0$ mV,保持该电势时间 $\Delta t = 60.0$ s.

MFC 的面积功率密度 P 按如下公式计算: $P = UI/A$ (3),式(3)中, U 为电池的电压(V), I 为电流(mA), A 为阳极有效面积(m²).

$$\text{库仑效率} = E = \frac{\sum_{i=1}^n U_i t_i}{R F b \Delta c V} M \quad (4)$$

式(4)中, U_i 为 t_i 时刻(h)输出电压(V), R 为外电阻(Ω), F 为法拉第常数 (96500 C·mol⁻¹), b 为 1 mol COD 对应的电子数 (4 e mol·mol⁻¹), Δc 为 COD 去除浓度 (mol·L⁻¹), V 为基质体积(L), M 为氧分子量 (32 g·mol⁻¹).

使用 COD 检测仪(LB-200B),在初始基质浓度为 0.0335 mol·L⁻¹ 时,测量葡萄糖、乙酸钠体系运行 20 h 后测试阳极液 COD 去除率.

使用扫描电子显微镜(SEM,JSM-6700F)对阳极电极材料及其表面附着的微生物形貌进行观察.测试前需对附着的微生物膜的碳毡进行预处理:首先加入 2.5%、pH = 6.8 的戊二醛,置于 4 °C 冰箱中固定 1.5 h,接着用 pH = 6.8 的磷酸缓冲溶液反复冲洗 3 次,每次 10 min,之后分别用浓度为 50%、70%、80%、90% 的乙醇进行脱水,每次 10 ~ 15 min,接着用 100% 的乙醇脱水 3 次,每次 10 ~ 15 min,再用 1:1 的乙醇和乙酸异戊酯的混合物和纯乙酸异戊酯各置换一次,每次 15 min,最后将样品进行自然干燥.

2 结果与讨论

2.1 电化学性能测试对比分析

图 2 为两种基质阳极半电池的电化学阻抗图谱及等效电路图.电化学阻抗(EIS)测试可用来分析生物燃料电池内的各种不同阻抗^[18-19].阻抗图谱

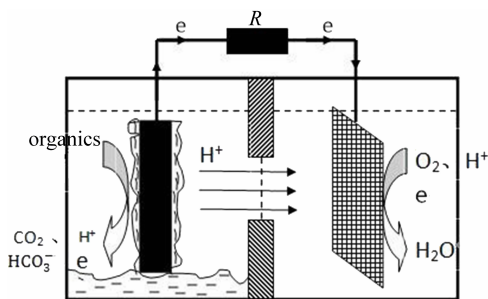


图 1 微生物燃料电池原理图

Fig. 1 Schematic diagram of microbial fuel cell

是由高频区的半圆形和低频区的短直线部分组成,其分别代表传荷阻抗和扩散阻抗^[20-21].两个体系的阻抗谱图形形状相似,阳极生物膜上的电化学反应由传荷和扩散步骤混合控制.图 2 插图为阳极半电池的等效电路, R_s 为欧姆阻抗,由电极、导线、膜、电解质溶液的电阻决定; R_{ct} 为传荷阻抗,主要由生物膜上的传荷阻抗引起的; W 为 Warburg 扩散阻抗,表现为反应物在溶液中扩散受到的阻力.表 1 列出通过等效电路拟合出的各种阻抗值.葡萄糖、乙酸钠体系的阳极半电池阻抗分别为 $222\ \Omega$ 、 $213.67\ \Omega$,传荷阻抗分别为 $216\ \Omega$ 、 $208.5\ \Omega$,扩散阻抗分别为 $3.74\ \Omega$ 、 $2.56\ \Omega$,溶液内阻分别为 $2.26\ \Omega$ 、 $2.61\ \Omega$.由上面的数据可以看出,微生物燃料电池的内阻主要由传荷阻抗决定,其占据主要部分.对于不同基质的微生物燃料其传荷阻抗、扩散阻抗、欧姆阻抗略有差异,这可能和微生物代谢不同基质的过程有关.

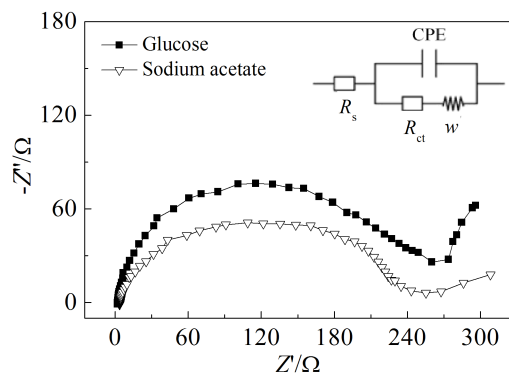


图 2 电化学阻抗图谱及等效电路图
Fig. 2 Nyquist plots of anodic half-cell with glucose (filled symbols) and sodium acetate (open symbols) acting as substrates (the inset shows an equivalent circuit)

表 1 不同基质下的阻抗拟合数据
Tab. 1 The impedance simulation data for different substrates

MFC organic fuel	R_s/Ω	R_{ct}/Ω	W/Ω
Glucose	2.26	216	3.74
Sodium acetate	2.61	208.5	2.56

图 3 为葡萄糖与乙酸钠为基质的循环伏安曲线.葡萄糖体系出现一对可逆氧化还原峰(-0.18 V , 555.7 mA ; -0.21 V , -533.1 mA),乙酸钠体系出现一

对较小的氧化还原峰(-0.18 V , 416.9 mA ; -0.22 V , -365.2 mA) 现阶段关于生物膜间传递电子的产电机理有 3 种^[22-23]:通过产电菌与电极直接接触传递电子,通过产电菌生成纳米导线传递电子,或通过微生物产生的中介体传导电子.循环伏安图中氧化还原峰的出现说明两种体系导电机制均为中介体导电机制^[24].葡萄糖体系较乙酸钠体系氧化还原峰电流大,说明前者发生了更强的微生物电化学氧化还原反应,具有更高的氧化还原活性.这可能源于葡萄糖作为燃料电池基质有助于微生物新陈代谢,从而具有更好的生物活性及产电性能.

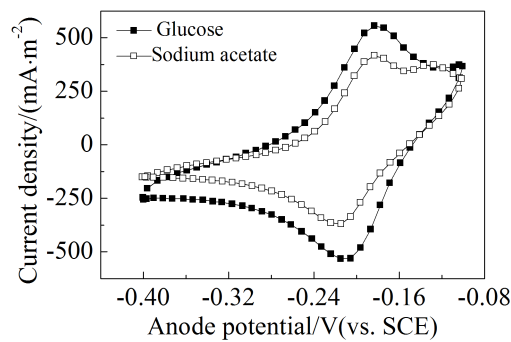


图 3 葡萄糖与乙酸钠为基质的循环伏安图
Fig. 3 CV curves with glucose and sodium acetate acting as substrates

图 4 所示葡萄糖与乙酸钠体系在不同扫速下的循环伏安氧化还原峰电流与扫速平方根之间呈直线关系,表明两个体系均为扩散控制.当扫速为 $5\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1} \sim 10\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,CV 为可逆状态;当扫速为 $10\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1} \sim 150\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,CV 为准可逆状态.当初始扫速为 $5\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,两种基质体系的氧化峰及还原峰电流相近.随着扫速的增加,葡萄糖体系较乙酸钠体系的峰电流密度增加幅度大,说明葡萄糖体系较乙酸钠体系的暂态扩散层厚度更薄,扩散速率更大,因此电流密度比较大.

图 5A 为 MFC 阳极极化曲线,葡萄糖体系阳极的平衡电极电位为 -0.187 V ,乙酸钠体系的平衡电极电位为 -0.189 V ,两者非常接近.而两种体系的极化曲线形状相差极大, $I < 200\text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,两个体系的极化程度接近; $I > 200\text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ 时,乙酸钠体系较葡萄糖体系极化程度大很多,葡萄糖体系的抗极化能力更强.

如果不考虑浓差极化,只包括活化极化影响,

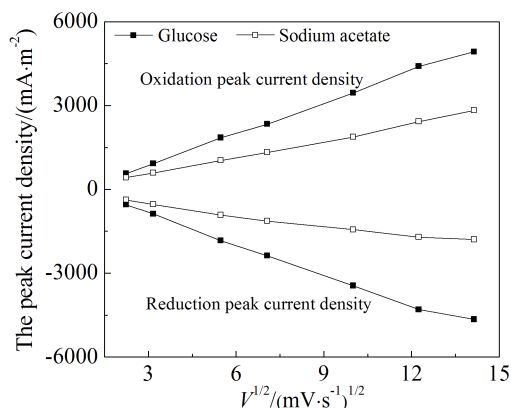


图 4 不同基质体系循环伏安氧化还原峰电流与扫速平方根关系曲线

Fig. 4 The relation between redox peak current density and square root of scan rate with glucose and sodium acetate acting as substrates

表示阳极表面电子转移的本征动力学表达式为 B-V(Butler-Volmer)方程:

$$i = i^0 \left[\exp \left(\frac{\alpha_a n F \eta}{R_g T} \right) - \exp \left(\frac{\alpha_c n F \eta}{R_g T} \right) \right] \quad (5)$$

公式(5)中, R 为普适气体常数 ($8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T 为温度 (K), α 为传递系数, η 为过电位 (V), F 为法拉第常数 ($96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).

若电化学反应速度比较慢, 过电位与电流密度关系符合 Tafel 经验公式:

$$\eta = a + b \ln i \quad (6)$$

$$b = \frac{RT}{\alpha n F} \quad (7)$$

图 5B 是对图 5A 进行线性拟合后得到的 Tafel 曲线. 其所对应的 Tafel 方程及动力学参数-交换电流密度 i^0 为: 葡萄糖, $\eta = -0.101 + 0.08131 \ln i$, $i^0 = 3.463 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$; 乙酸钠, $\eta = -0.30959 + 0.17299 \ln i$, $i^0 = 5.987 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$. i^0 表示电子出入相界面达到平衡时的电流密度值, 与阳极碳毡材料、微生物催化剂的活性及基质种类有关. 乙酸钠体系较葡萄糖体系的交换电流大.

图 6 为葡萄糖和乙酸钠体系的功率密度与电压随电流密度的变化关系. 随着电流密度的增加, 功率密度首先增加, 达到极值后不断下降, 而输出电压不断降低. 葡萄糖、乙酸钠体系的最大输出功率密度分别为 $394.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $311.9 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$, 电流密度小于 $1300 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, 随着电流密度的增加, 葡萄糖和乙酸钠体系的功率密度都在增加; 当

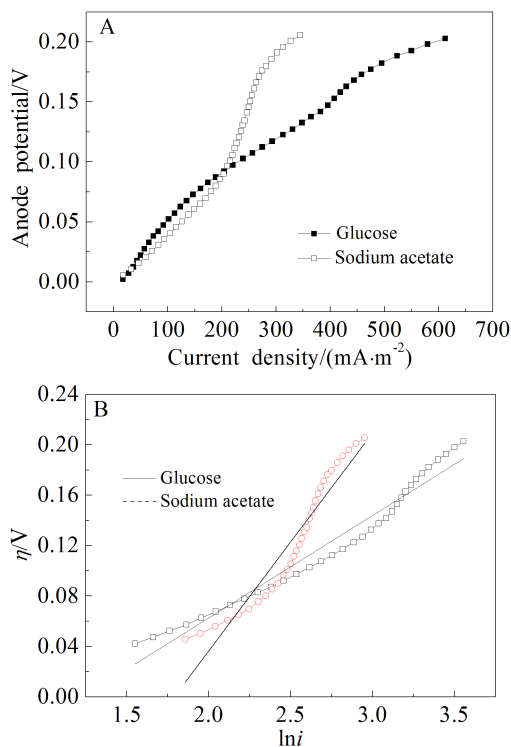


图 5 不同基质的阳极极化曲线(A)与塔菲尔曲线(B)

Fig. 5 Anodic polarization (A) and Tafel (B) curves with glucose and sodium acetate acting as substrates

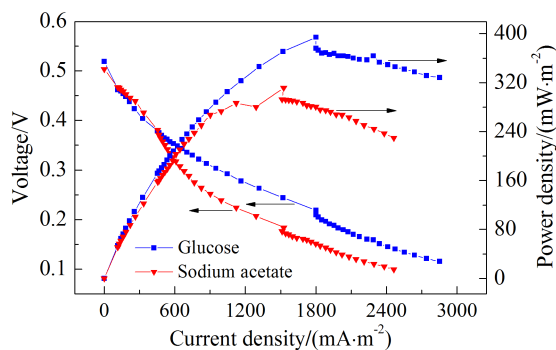


图 6 功率密度和电压随电流密度变化关系

Fig. 6 Variations of cell voltage and power density with current density

电流密度大于 $1300 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ 时, 乙酸钠体系功率密度开始下降, 而葡萄糖体系的仍在增加, 在 $1800 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ 之后开始下降. 输出电压葡萄糖体系较乙酸钠体系下降缓慢. 在相同的反应基质浓度下, 以葡萄糖 MFC 燃料电池的产电性能较好.

2.2 COD 去除率与库仑效率对比分析

图 7 为基质浓度为 $0.0335 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 葡萄糖、乙酸钠体系运行 20 h 后 COD 去除率及库仑效

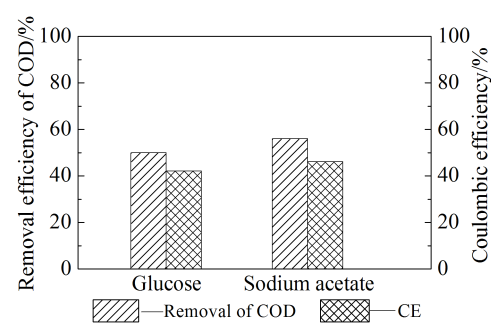


图 7 葡萄糖和乙酸钠的 COD 去除率及库仑效率
Fig. 7 Removal efficiency of COD and coulombic efficiency for glucose and sodium acetate

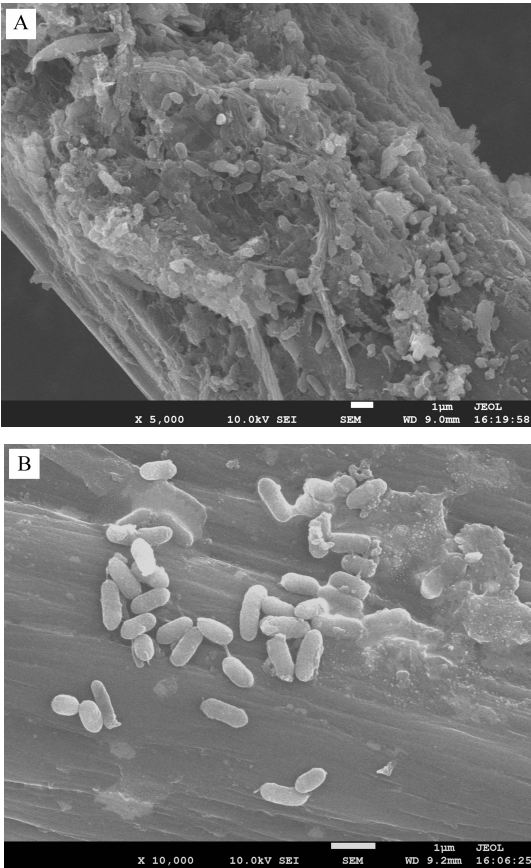


图 8 葡萄糖(A)和乙酸钠(B)为基质的碳毡扫描电镜照片
Fig. 8 SEM images for carbon felt of glucose (A) and sodium acetate (B) acting as substrates

率. 葡萄糖、乙酸钠的 COD 去除率分别为 50.6%、55.8%, 库仑效率分别为 42.1%、46.2%. 由于基质不同,生物燃料电池的特殊的电催化环境,葡萄糖电池体系除了产电反应还有发酵反应、甲烷反应等其他副反应,同时生成了乙酸、丙醇、乳酸、甲烷

等中间副产物^[25]. 乙酸钠分子简单,相对比葡萄糖代谢容易,没有复杂的代谢物,代谢充分能量利用率高,因此乙酸钠的 COD 去除率、库仑效率均高于葡萄糖.

2.3 菌种形貌对比分析

图 8 为不同基质下的碳毡扫描电镜照片,图 8A 所示葡萄糖体系的碳纤维毡上附着了密集细菌群落,层层叠叠、交错覆盖在一起,细菌种类较多,细菌表面粘附着一层物质,可能是细菌的代谢物. 与图 8A 相比较,图 8B 所示乙酸钠体系碳毡上菌落稀疏,细菌种类单一,细菌的代谢物较少. 因此葡萄糖电池体系产电性能好,可能是由于碳毡表面的细菌数量丰富、菌类较多,具有更多的产电菌.

3 结 论

葡萄糖与乙酸钠两种基质 MFC 电化学性能的对比研究结果表明,当葡萄糖和乙酸钠浓度均为 0.0335 mol·L⁻¹ 时,两个体系的最大功率密度分别为 394.2 mW·m⁻² 和 311.9 mW·m⁻²,可知葡萄糖为基质时产电能力优于乙酸钠.

通过阻抗测试分析,葡萄糖、乙酸钠体系的阳极半电池阻抗分别为 222 Ω、213.67 Ω,传荷阻抗分别为 216 Ω、208.5 Ω,扩散阻抗分别为 3.74 Ω、2.56 Ω,溶液内阻分别为 2.26 Ω、2.61 Ω. 电流密度较小时,二者抗极化能力基本接近,但相对较大电流密度下,葡萄糖体系的燃料电池抗极化能力更强. 葡萄糖、乙酸钠体系的交换电流密度分别为 3.463 mA·m⁻²、5.987 mA·m⁻². 两种基质燃料电池分别运行 20 h,葡萄糖、乙酸钠的 COD 去除率分别为 50.6%、55.8%,库仑效率分别为 42.1%、46.2%.

参考文献(References):

[1] Hernández-Fernández F J, Pérez de los Ríos A, Salar-García M J, et al. Recent progress and perspectives in microbial fuel cells for bioenergy generation and wastewater treatment[J]. Fuel Processing Technology, 2015, 138: 284-297.
[2] Hou M(侯明), Yi B L(衣宝廉). Progress and perspective of fuel cell technology[J]. Journal of Electrochemistry(电化学), 2012, 18(1): 1-13.
[3] Liu H, Cheng S A, Logan B E. Production of electricity from acetate or butyrate using a single-chamber microbial fuel cell[J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(2), 658-662.
[4] Kim J R, Jung S H, Regan J M, et al. Electricity generation

- and microbial community analysis of alcohol powered microbial fuel cells[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(13): 2568-2577.
- [5] Vilajeliu-Pons A, Puig S, Pous N, et al. Microbiome characterization of MFCs used for the treatment of swine manure[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2015, 288: 60-68.
- [6] Wang J Q(汪家权), Xia X L(夏雪兰), Ding W W(丁巍巍). Operating parameters for a microbial fuel cell in treating phenol-containing wastewater[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae(环境科学学报)*, 2010, 30(4): 735-741.
- [7] Dong Y, Qu Y P, He W H, et al. A 90-liter stackable baffled microbial fuel cell for brewery wastewater treatment based on energy self-sufficient mode[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 195: 66-72.
- [8] Wen Q, Wu Y, Zhao L X, et al. Electricity generation and brewery wastewater treatment from sequential anode-cathode microbial fuel cell[J]. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 2010, 11(2): 87-93.
- [9] Motos P R, Heijne A, Weijden R, et al. High rate copper and energy recovery in microbial fuel cells[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2015, 6: 1-8.
- [10] Rikame S S, Mungray A A, Mungray A K. Electricity generation from acidogenic food waste leachate using dual chamber mediator less microbial fuel cell[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2012, 2012, 75: 131-137.
- [11] Chae K J, Choi M J, Lee J W, et al. Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(14): 3518-3525.
- [12] Liu C M(刘春梅), Liu L(刘磊), Xu B(徐斌), et al. Effects of inlet substrate and buffer concentrations on MFC performance[J]. *Environmental Science & Technology(环境科学与技术)*, 2015, 38(2): 48-51.
- [13] Larrosa G A, Scott K, Head I M, et al. Effect of temperature on the performance of microbial fuel cells[J]. *Fuel*, 2010, 89(12): 3985-3994.
- [14] Liao Q, Zhang J, Li J, et al. Electricity generation and COD removal of microbial fuel cells (MFCs) operated with alkaline substrates[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014, 39(33): 19349-19354.
- [15] Liu Z D, Liu J, Zhang S P, et al. Study of operational performance and electrical response on mediator-less microbial fuel cells fed with carbon- and protein-rich substrates[J]. *Biotechnological Engineering Journal*, 2009, 45 (3): 185-191.
- [16] Bao Y(宝玥), Wu X Q(吴霞琴). Progress in research for biofuel cell[J]. *Journal of Electrochemistry(电化学)*, 2004, 10(1): 1-8.
- [17] Yu J R(于景荣), Xing D M(邢丹敏), Liu F Q(刘富强), et al. Research progress on proton exchange membranes of fuel cells[J]. *Journal of Electrochemistry(电化学)*, 2001, 7(4): 385-395.
- [18] He Z, Wagner N, Minteer S D, et al. An upflow microbial fuel cell with an interior cathode: Assessment of the internal resistance by impedance spectroscopy[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(17): 5212-5217.
- [19] Katz E, Willner I. Probing bimolecular interactions at conductive and semiconductive surfaces by impedance spectroscopy: Routes to impedimetric immunosensors, DNA sensor, and enzyme biosensors[J]. *Electroanalysis*, 2003, 15(11): 913-947.
- [20] Wagner N. Characterization of membrane electrode assemblies in polymer electrolyte fuel cells using A.C. impedance spectroscopy[J]. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2002, 32(8): 859-863.
- [21] Hou M Y(侯孟炎), Wang K(王珂), Dong X L(董晓丽), et al. Synthesis graphene wrapped Li-rich layered metal oxide and its electrochemical performance[J]. *Journal of Electrochemistry(电化学)*, 2015, 21(3): 195-200.
- [22] 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(9): 5373-5382.
- [23] Reguera G, McCarthy K D, Metha T. Extracellular electron transfer via microbial nanowires[J]. *Nature*, 2005, 435 (7045): 1098-1101.
- [24] Cheng S A, Liu H, Logan B E. Power densities using different cathode catalysts (Pt and CoTMPP) and polymer binders (Nafion and PTFE) in single chamber microbial fuel cells[J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(1): 364-369.
- [25] Kim J R, Premier G C, Hawkes F R, et al. Modular tubular microbial fuel cells for energy recovery during sucrose wastewater treatment at low organic loading rate[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 101(4): 1190-1198.

The Study on Comparison of Electrochemical Performance in Microbial Fuel Cell with Glucose and Sodium Acetate Acting as Substrates

FAN Lei¹, ZHAO Yu¹, LI Ting¹, YUAN Qin-bo^{1,2},
WANG En-zhi², WANG Xiao-bin¹, WANG Jun-wen^{1*}

(1. *Institute of Clean Technique for Chemical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100000, China*)

Abstract: By inoculating aerobic sludge and anaerobic sludge from the sewage treatment plant, two sets of dual-chamber microbial fuel cells (MFCs) were built with either glucose or sodium acetate acting as a substrate. Accordingly, the electrochemical performances of MFCs were explored with the concentration of the substrates being $0.0335 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. The results of the comparative study in glucose system and sodium acetate system showed that the impedance values of anodic half cell were 222Ω for glucose and 213.67Ω for sodium acetate, implying no significant effect on the internal resistance in battery with the different substrates. The exchange current densities were $3.463 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$ and $5.987 \text{ mA} \cdot \text{m}^{-2}$, while the COD removal rates 50.6% and 55.8% for glucose and sodium acetate, respectively. Furthermore, the coulombic efficiencies reached 42.1% and 46.2% with the maximum output power density of $394.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ and $311.9 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ for glucose and sodium acetate, respectively. Since the process of glucose metabolism is more complicated with less complete metabolism as compared with the simpler sodium acetate molecules with more facilitated metabolism, the coulombic efficiency and COD removal rate in sodium acetate system were higher than those in glucose system, which led to better electricity production capacity.

Key words: microbial fuel cell; glucose; sodium acetate; electrochemical performance