

利用微生物电解池处理牛奶废水过程中产电菌落与产氢性能之间的关系

王为 骆海萍 刘广立* 樊青娟 陈姗姗 侯晓月 张仁铎

(广东省环境污染控制与修复技术重点实验室 中山大学 环境科学与工程学院 广东 广州 510275)

摘 要: 【目的】研究微生物电解池(Microbial electrolysis cell, MEC)利用复杂有机物作为底物的运行特性, 对其在废水处理中的应用有着重要的意义。【方法】以模拟牛奶废水为基质, 通过构建 MEC 反应器来考察在不同外加电压条件下产电菌群的性能。【结果】当外加电压升高到 1.2 V 时, 最大电流密度可达到 261 A/m², 产氢速率可达 0.048 m³ H₂/m³ d, 分别比外加电压为 0.4 V 的情形提高了 467%和 700%。外加电压为 1.2 V 时, 系统对 COD 和蛋白质去除率可分别达 59%和 74%, 其中 COD 去除较之 0.4 V 的情形提高了 22.5%。PCR-DGGE 的分子生物学分析结果表明, 阳极生物膜中以 *Geobacter* sp.作为优势菌, 说明在利用大分子有机物作为基质时产电菌与非产电菌的协同作用更为明显。【结论】MEC 能够利用牛奶废水作为燃料, 在实现高效降解的同时以产氢的形式进行能量产出, 这为 MEC 的实际应用提供了研究思路。

关键词: 产电细菌, 微生物电解池, 牛奶废水

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 51278500, 51308557); 广州市环保局污染防治新技术新工艺研究开发项目; 广州市科技计划项目科技攻关专项资助项目(No. 2112J4300115); 中央高校基本科研业务费(No. 131gpy55)

*通讯作者: Tel: 86-20-39332690; 信箱: liugl@mail.sysu.edu.cn

收稿日期: 2012-12-10; 接受日期: 2013-02-11

Exoelectrogens community analysis and hydrogen production in the microbial electrolysis cell using dairy wastewater

WANG Wei LUO Hai-Ping LIU Guang-Li* FAN Qing-Juan CHEN Shan-Shan
HOU Xiao-Yue ZHANG Ren-Duo

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Environmental Pollution Control and Remediation Technology, School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract: [Objective] Hydrogen production and the exoelectrogen activity under complex substrate microbial electrolysis cell (MEC) are of great significance to its application in wastewater treatment. [Methods] The characteristics of exoelectrogens were investigated with the single-chamber MEC fed by the artificial dairy wastewater under different applied voltages in this study. [Results] The maximum current could reach up to 261 A/m³ and the volumetric H₂ production rate reached to 0.048 m³ H₂/m³ d with the applied voltage of 1.2 V, which was increased by 467% and 700% compared with the applied voltage of 0.4 V, respectively. The COD and protein removal could be achieved by 59% and 74%, respectively. The COD removal at 1.2 V was improved by 22.5% compared with that at 0.4 V. The PCR-DGGE community analysis demonstrated that *Geobacter* sp., one of well-know exoelectrogens, existed in anode colonies as the dominant bacteria. There might be a synergies relationship between exoelectrogens and non-electrochemically active bacteria. [Conclusion] MEC can use dairy wastewater as fuel, achieve the purpose of efficient degradation and produce hydrogen gas at the same time, which provides research ideas for the practical application of MEC.

Keywords: Exoelectrogens, Microbial electrolysis cell, Dairy wastewater

产电细菌广义上是指可以进行胞外电子传递的一类微生物^[1], 其在自然界中广泛存在, 目前已明确具有产电能力的细菌有 *Geobacter sulfurreducens*、*Geobacter metallireducens*、*Desulfuromonas acetoxidans*、*Geopsychrobacter electrodiphilus*、*Rhodospirillum rubrum* 等^[1-3]。因产电细菌在实现胞外电子传递的过程中, 可同时降解有机物并向外输出电能, 这就为从废水中回收能量而实现低耗高效的城市污水处理

提供了新的思路, 故近年来对产电细菌及其生物反应器的研究已成为环境和能源研究领域的热点问题之一。但诸多实验结果表明, 纯菌种的产电性能往往较低, 而混合菌群则表现出较高的产电能力和稳定性, 因此研究产电菌群的特性对于探讨菌种间的相互关系具有重要意义^[4-5]。微生物电解池(Microbial electrolysis cell, MEC)是利用产电细菌的作用, 使其在阳极降解有机物产生的质子和电子分别通过内电路和外

电路传递到阴极, 在外加辅助电压的作用下, 这些电子与同步产生的质子接合生成氢气^[6]。因产电细菌的作用, MEC 产氢具有可在常温常压, 接近中性的条件下高效产氢的优点。目前国内外对 MEC 产氢的研究, 多以成分简单的基质如乙酸、葡萄糖等为对象^[7-11], 复杂有机物体系的研究还少见报道, 但多种有机物的复杂体系更符合应用中的实际情况, 开展 MEC 处理有机废水产氢性能的研究有助于其在实际中的应用。考虑到牛奶废水中含有大量复杂的有机物, 例如由糖、酸和脂肪水解得到的多糖、蛋白质和脂类^[2]。因此本文以牛奶废水为例, 探讨了产电细菌在微生物电解池中的产氢性能及其菌落变化, 以期与实际废水处理中产电菌群变化的机理解析奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 MEC 反应器

单室反应器^[12], 有效容积为 28 mL。阳极为碳刷($\Phi \times L = 2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$), 表面积约 0.22 m^2 ; 阴极为涂覆 0.5 mg/cm^2 Pt 的碳布($\Phi = 3.8 \text{ cm}$, 表面积 7 cm^2)。每个周期前反应器曝氮气 15 min 以保证反应器内的厌氧环境。MEC 在不同外加直流电压(0–1.2 V)下运行, 温度 $30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 。MEC 的外电阻为 $10 \text{ }\Omega$, 数据采集系统 (Keithly2700, 美国)每 15 min 测定 MEC 的电流。

MEC 的接种液为广州猎德城市污水处理厂进水, 启动期间投加乙酸钠 $1\ 000 \text{ mg/L}$ 和无机盐溶液, 12.5 mL 微量元素和 12.5 mL 维他命溶液。无机盐溶液(g/L): Na_2HPO_4 4.09, NaH_2PO_4 2.54, NH_4Cl 0.31, KCl 0.13。维他命溶液、微量元素由 10 倍储备液稀释而成^[11]。外加电压 0.8 V, 待 MEC 运行稳定 3 个周期后(外电路电流 $I > 4 \text{ mA}$), 改为投加牛奶废水运行。

1.2 牛奶废水水质

人工配制牛奶废水, 其初始水质为: $\text{COD} = 1\ 089 \text{ mg/L}$, 蛋白质 $= 115 \text{ mg/L}$, $\text{pH} = 6.91 \pm 0.20$ 。

废水 COD 测定采用重铬酸钾标准分析方法^[13], 废水中蛋白质的测定采用考马斯亮蓝法^[14]。

1.3 产气总量及气体成分分析

用排水法收集 MEC 产生的气体并确定气体的总体积。气体成分由 GC (岛津 2014, 日本)进行检测分析, 气相色谱测定条件为: TCD 检测器, 不锈钢柱, 柱长 2 m。测定条件为: 进样口、柱温和检测室温度分别为 $\text{DINJ } 150 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $150 \text{ }^\circ\text{C}$, 载气为氩气, 左路载气流量 22 mL/min , 右路载气流量 18 mL/min 。进样量 1 mL , 用混合标准气做标准, 气体含量采用校正面积归一法计算, 包括 H_2 、 N_2 、 CH_4 和 CO_2 。其中 N_2 作为背景气体, 在计算中 N_2 被扣除以确定系统中产生 H_2 、 CO_2 和 CH_4 的浓度^[12]。

1.4 微生物群落和测序分析

DNA 提取和纯化试剂盒, FastDNA[®] Spin Kit for soil, MP Biomedicals; *Taq* DNA 酶, TaKaRa 生物试剂有限公司; PCR 扩增仪, 德国 Biometra 公司; DGGE 电泳系统, 美国 CBS Scientific 公司。DGGE 引物为 16S rDNA, V3 区通用引物 338FGC (5'-CGCCCGCCGCGCGCGCGCGGGCGGGGCGGGGGCACGGGGGGCCTACGGGAGGCAGCAG-3') 和 519RC (5'-ATTACCGCGGCTGCTGG-3')^[7]。PCR 扩增程序: $94 \text{ }^\circ\text{C}$ 2 min; $94 \text{ }^\circ\text{C}$ 45 s, $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 35 s, $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 45 s, 共 33 个循环; $72 \text{ }^\circ\text{C}$ 5 min。PCR 产物采用琼脂糖凝胶电泳(1%胶浓度, $1 \times \text{TAE}$ 电泳缓冲液)检测。

DGGE 分析: 将上述的 PCR 产物进行 DGGE 分析。8% 的聚丙烯酰胺凝胶 (1.5 mm 厚, $16 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$), 变性剂 (100% 的变性剂为 7 mol/L 的尿素和 40% 的去离子甲酰胺)范围 30%–60%。实验条件: 温度 $60 \text{ }^\circ\text{C}$, 电压 200 V ,

电泳时间 6 h。电泳结束后银染约 2 h。DNA 的测序及进化树分析: 将图谱中的主要条带进行切胶回收, 并以回收的 DNA 为模板, 重新进行 V3 区的 PCR 扩增, PCR 反应条件同上。PCR 产物经过 1.0% 琼脂糖电泳检验后, 送到上海美吉生物医药科技有限公司测序, 测序结果在 NCBI (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>) 数据库中进行对比。

1.5 计算

1.5.1 MEC 的理论产氢量: 按式(1)计算:

$$n_{\text{H}_2, \text{cat}} = \frac{\sum I \Delta t}{2F} \quad (1)$$

其中 $I = E / R_{\text{ex}}$ 是通过外加电阻(10 Ω)测量得到的电压(E , V)计算电流^[9]。

1.5.2 总的氢气回收率: 定义为废水中的有机物降解理论与实际得到的最大氢气回收率, 由式(2)计算^[9]:

$$r_{\text{H}_2, \text{COD}} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{H}_2, \text{COD}}} \quad (2)$$

其中 ΔCOD 是每个周期 COD 变化值, v_L 是液体的体积, $n_{\text{H}_2, \text{COD}} = \Delta \text{COD} v_L b_{\text{H}_2/s}$, $b_{\text{H}_2/s} = 1 \text{ mol H}_2 / 16 \text{ g O}_2$ 。

1.5.3 甲烷回收率: 定义为实际的甲烷产生与根据有机物氧化产生甲烷的理论最大值的比, 按式(3)计算^[9]:

$$r_{\text{CH}_4, \text{COD}} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_{\text{CH}_4, \text{COD}}} \quad (3)$$

其中, $n_{\text{CH}_4, \text{COD}} = \Delta \text{COD} v_L b_{\text{CH}_4/s}$, $b_{\text{CH}_4/s} = 1 \text{ mol CH}_4 / 64 \text{ g O}_2$ 。

1.5.4 电流密度:

$$I_v = \frac{I}{V} \quad (4)$$

其中, I 是电流(A), V 是阳极室的有效体积(m^3)。

2 结果与讨论

2.1 MEC 的产电特性及有机物的降解效果分析

不同外加电压下的 MEC 反应器连续运行 3 个周期的相应结果如图 1 所示, 从图 1 中可以看出, 随着外加电压的升高, MEC 的最大电流也逐渐上升, 当外加电压为 0.4 V 时, MEC 的最大电流密度为 $46 \pm 2 \text{ A/m}^2$, 当外加电压升高到 1.2 V 时, 最大电流密度增大到 $261 \pm 15 \text{ A/m}^2$, 与 0.4 V 相比, 提高了 4.6 倍。图 2 为不同外加电压条件下 MEC 产生电流随时间变化的结果, 由图 2 可知, 当外加电压为 0.4 V 时, MEC 对牛奶废水的 COD 去除率为 45.5%, 当外加电压为 0.8 V 时, MEC 对 COD 的去除率增加到 59%, 继续升高外加电压, MEC 对 COD 的去除率基本保持不变, 且出水 pH 基本维持在 6.75。在相同运行周期内 (48 h), 当 MEC 外加电压为 0 时, COD 去除率仅为 $31.3\% \pm 5.0\%$ 。牛奶废水中含有大量的蛋白质, 在 MEC 中产电细菌对其保持了较高的降解效率, 当外加电压为 0.4 V, 蛋白质的去除率即

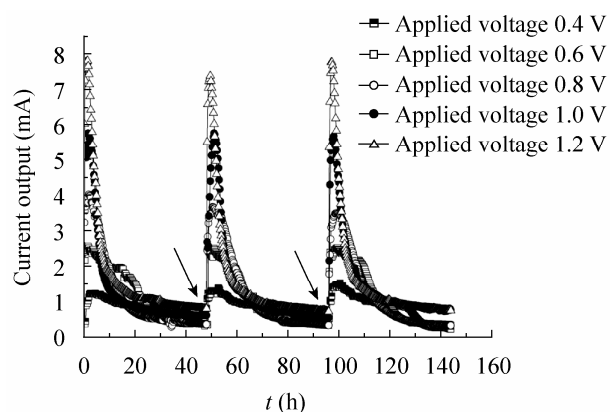


图 1 不同外加电压条件下以牛奶废水为基质的 MEC 产生电流随时间的变化

Fig. 1 Current output of the MECs under different applied voltages vs. time

注: 箭头表示周期结束更新基质。

Note: The arrows stand for the anode solution refreshment.

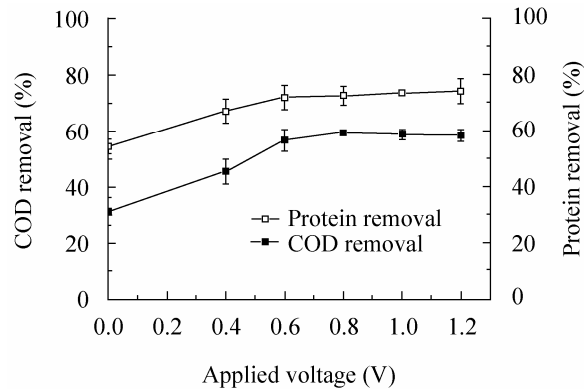


图2 在不同外加电压下MEC对牛奶废水中COD和蛋白质的去除情况

Fig. 2 COD and protein removal in the MECs with different applied voltages

达到 67.0%, 当外加电压为 1.2 V 时, 其去除率可达到 74.1%, 而当外加电压为 0 时, 其去除率仅为 $54.3\% \pm 2.7\%$ 。这表明外加电压对产电细菌的活性有一定的促进作用, 使得其对蛋白质和其他有机物能够更有效的降解。

2.2 MEC 的产气量及气体成分结果分析

从图 3 中可以看出, 随着外加电压的升高, 反应器每个周期收集到的总气体量逐渐上升, 当电压为 0.4 V 时, 产气量为 1.9 ± 0.3 mL, 当 1.2 V 时产气量达到 5.1 ± 0.7 mL。与之相应(图 4), 随着外加电压的升高, 氢气的含量逐渐上升, 由 1.8% (0.4 V) 达到 11.4% (1.2 V), 气体中甲烷的含量由 97.4% (0.4 V) 下降到 65.2% (1.2 V)。在相同的实验条件下, 本研究结果与以乙酸为单一基质的 MEC 产电及产氢结果相比较低^[12], 以牛奶废水为基质的产氢速率为 $0.006\text{--}0.048$ $\text{m}^3\text{H}_2/\text{m}^3\text{d}$, 仅为乙酸情况下的 1%–10%, 且产生的气体中含有大量的甲烷, 这表明由于牛奶废水成分的复杂性且含有多种蛋白质, 存在其他细菌包括产甲烷菌降解有机物的可能, 产电细菌在整个菌落中并不为优势菌, 后续的菌落结构分析也说明了这一点, 由表 1 中甲烷和氢气的转化率($r_{\text{H}_2, \text{COD}} =$

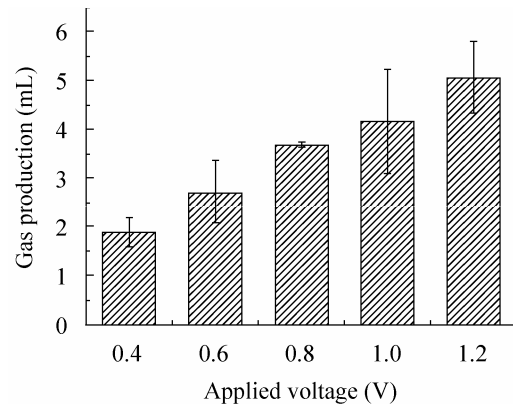


图3 不同外加电压下 MEC 周期运行结束总产气量对比

Fig. 3 Total gas production under different applied voltages

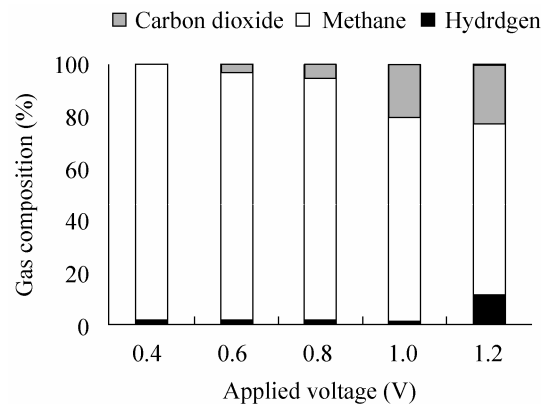


图4 不同外加电压下 MEC 运行周期结束产生气体中的组成成分分析

Fig. 4 Gas composition under different applied voltages

$0.15\% \text{--} 2.05\%$, $r_{\text{CH}_4, \text{COD}} = 33.3\% \text{--} 47.1\%$) 可知尽管库伦效率 (Coulombic efficiency, CE) 可达到 25.8%–40.0%, 阳极中非产电细菌及产甲烷菌的存在, 大大降低了 MEC 的产氢能力。已有研究表明, 即使采用乙酸为单一基质, MEC 在长期运行过程中, 其产氢能力也会因为产甲烷菌的竞争作用而大大降低, 最终氢气含量也可在 1% 以下, 产生的气体中甲烷含量可高达 90% 以上, 因此未来 MEC 在实际废水处理应用中如何提高产电细菌性能和竞争性仍有待于进一步研究。

表 1 不同外加电压条件下 MEC 产电性能及产气量计算结果
Table 1 Performances of MECs fed with dairy wastewater

外加电压 Applied voltage (V)	库伦效率 Coulombic efficiency (%)	总氢气回收率 Overall hydrogen recovery (%)	甲烷回收率 Methane recovery (%)	氢气生产率 Hydrogen production rate (m ³ H ₂ /m ³ d)	电流密度 Current density (A/m ²)	氢气含量 Hydrogen concentration (%)	甲烷含量 Methane concentration (%)
0.4	25.8±0.5	0.15±0.03	33.3±0.5	0.006±0.001	46±2	1.8±0.1	97±2
0.6	27.5±0.2	0.19±0.01	37.5±0.9	0.013±0.002	87±3	1.9±0.3	94±3
0.8	28.1±0.9	0.26±0.02	47.2±0.2	0.024±0.004	129±5	2.0±0.1	91±6
1.0	33.9±0.1	0.28±0.06	46.2±0.5	0.035±0.003	197±9	1.9±0.2	78±3
1.2	40.0±0.2	2.05±0.02	47.1±0.3	0.048±0.005	261±15	11.3±0.5	65±2

2.3 MEC 中产电细菌菌落结构分析

由 DGGE 及 DNA 测序结果可以看出(图 5 和表 2), 在分别以牛奶废水和乙酸为基质的 MEC 阳极生物膜中均检测到 *Geobacter* sp., *Geobacter* sp. 目前已被大量研究报道, 其具有较强的产电能力, 但仅限于乙酸、甲酸等小分子有机物^[15], 而多种其他类型的有机物难以被 *Geobacter* sp. 直接利用产电^[16]。因此, 要实现对牛奶废水中的其他物质如蛋白质、多糖的有效降解, 必须有其他菌种的共同作用, DGGE 条带, 如 1、3 对应测序结果显示的其他菌种在文献研究中表明, 均存在于复杂有机物或难降解有机物的体系中(如硝基苯溶液和堆肥), 但提及这些菌种的报道中^[17-18]未见这些菌种有产电能力, 这与以乙酸为基质的 MEC 阳极菌落中的菌种完全不一样。这表明在以混合基质为燃料的产电菌群中, 可能存在产电菌与非产电菌的协同作用, 非产电菌在降解大分子有机物的过程中产生的小分子有机物被 *Geobacter* sp. 利用, 从而在 MEC 反应器中实现产氢作用。

3 结论

通过构建 MEC 反应器对产电菌群处理人工牛奶废水的产氢性能及菌落结构进行了分析, 主要结论如下:

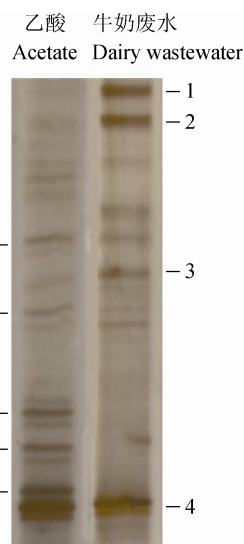


图 5 分别以牛奶废水和乙酸作为基质的阳极微生物群落 DGGE 对比分析

Fig. 5 Community analysis on the anode bacteria using dairy wastewater as substrate in the MEC

(1) 随着外加电压的升高, MEC 的最大电流逐渐上升, 当外加电压升高到 1.2 V 时, 最大电流密度可达到 261±15 A/m², 运行周期平均为 46 h。当外加电压大于 0.8 V 时, MEC 对牛奶废水的 COD 去除率保持在 59%左右, 蛋白质的去除率随着外加电压的增加而增大, 最高可达 74%, 远高于外加电压为 0 的对照组结果。

(2) 随着外加电压的升高, 反应器每个周期收集到的总气体量逐渐上升, 当外加电压为 1.2 V 时产气量达到 5.1 mL。产生的气体中氢气

表 2 不同基质下阳极生物膜上细菌 16S rRNA 序列对比分析		
Table 2 Characterization of isolated 16S rRNA gene fragments from the MEC using different substrates		
条带	GenBank 中的最大相似菌株(登录号)	相似度
Band	The greatest similarity strains in GenBank (accession)	Max ident (%)
1	Uncultured bacterium clone BES-NB-22 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (JF911642.1)	96
2	Uncultured <i>Porphyromonadaceae</i> bacterium clone br27fP5R2bacC11 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (JN809641.1)	95
3	Uncultured bacterium partial 16S rRNA gene, clone SMA11 (AM183007.1)	89
4	<i>Geobacter</i> sp. EB1 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (JX287365.1)	99
5	Uncultured <i>Pseudomonas</i> sp. clone CAR4 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (FJ868263.1)	99
6	Uncultured bacterium clone MFC4P_126 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (JF309174.1)	99
7	Uncultured bacterium gene for 16S rRNA, partial sequence, clone Ac0P-34 (AB297439.1)	97
8	Uncultured bacterium clone 18 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (FJ534964.1)	96
9	Uncultured bacterium clone MG18-D6-MF 16S ribosomal RNA gene, partial sequence (HQ413905.1)	96

量最高为 11.4% (1.2 V), 相应甲烷含量为 65.2% (1.2 V)。MEC 的库仑效率保持在 25.8%–40.0%左右, 但氢气的转化率较低, 仅为 0.15%–2.05%左右, 这可能是由于牛奶废水成分的复杂性且含有多种蛋白质, 产电细菌同其他细菌特别是产甲烷菌有竞争关系。

(3) 在以牛奶废水为基质的 MEC 阳极生物膜中检测到 *Geobacter* sp.及其他菌种, 在以牛奶废水为基质的产电菌群中, 可能存在产电菌与非产电菌的协同作用, 非产电菌在降解大分子有机物的过程中产生的小分子有机物被 *Geobacter* sp.利用, 从而在 MEC 反应器中实现产氢作用。

参 考 文 献

[1] Logan BE. Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells[J]. Nature Reviews Microbiology, 2009, 7(5): 375–381.

[2] Demirel B, Yenigun O, Onay TT. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review[J]. Process Biochemistry, 2005, 40(8): 2583–2595.

[3] Mohan SV, Mohanakrishna G, Sarma PN. Effect of anodic metabolic function on bioelectricity generation and substrate degradation in single chambered microbial fuel cell[J]. Environmental

Science and Technology, 2008, 42(21): 8088–8094.

[4] Ditzig J, Liu H, Logan BE. Production of hydrogen from domestic wastewater using a bioelectrochemically assisted microbial reactor (BEAMR)[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(13): 2296–2304.

[5] Lalaurette E, Thammannagowda S, Mohagheghi A, et al. Hydrogen production from cellulose in a two-stage process combining fermentation and electrohydrogenesis[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34(15): 6201–6210.

[6] Liu H, Grot S, Logan BE. Electrochemically assisted microbial production of hydrogen from acetate[J]. Environmental Science and Technology, 2005, 39(11): 4317–4320.

[7] Rozendal RA, Hamelers HVM, Euverink GJW, et al. Principle and perspectives of hydrogen production through biocatalyzed electrolysis[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2006, 31(12): 1632–1640.

[8] Selembo PA, Perez JM, Lloyd WA, et al. High hydrogen production from glycerol or glucose by electrohydrogenesis using microbial electrolysis cells[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2009, 34(13): 5373–5381.

[9] Wagner RC, Regan JM, Oh SE, et al. Hydrogen and methane production from swine wastewater using microbial electrolysis cells[J]. Water Research, 2009, 43(5): 1480–1488.

[10] Mohan SV, Mohanakrishna G, Sarma PN. Composite

- vegetable waste as renewable resource for bioelectricity generation through non-catalyzed open-air cathode microbial fuel cells[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(3): 970–976.
- [11] Luo Y, Zhang F, Wei B, et al. Power generation using carbon mesh cathodes with different diffusion layers microbial fuel cells[J]. Journal of Power Source, 2011, 196(22): 9317–9321.
- [12] Call D, Logan BE. Hydrogen production in a single chamber microbial electrolysis cell lacking a membrane[J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(9): 3401–3406.
- [13] Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed.[M]. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.
- [14] Bradford MM. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1/2): 248–254.
- [15] Bond DR, Lovley DR. Electricity production by *Geobacter sulfurreducens* attached to electrodes[J]. Applied Environmental Microbiology, 2003, 69(3): 1548–1555.
- [16] Franks AE, Nevin KP. Microbial fuel cells, a current review[J]. Energies, 2010, 3(5): 899–919.
- [17] Wang AJ, Cheng HY, Liang B, et al. Efficient reduction of nitrobenzene to aniline with a biocatalyzed cathode[J]. Environmental Science and Technology, 2011, 45 (23): 10186–10193.
- [18] Guo Y, Zhu N, Zhu S, et al. Molecular phylogenetic diversity of bacteria and its spatial distribution in composts[J]. Journal of Applied Microbiology, 2007, 103(4): 1344–1354.

科技信息摘录

2013 年诺贝尔生理学或医学奖揭晓

北京时间 10 月 7 日下午 5 点 30 分, 2013 年诺贝尔生理学或医学奖揭晓, 美国、德国 3 位科学家 James E. Rothman, Randy W. Schekman 和 Thomas C. Südhof 获奖。获奖理由是“发现细胞内的主要运输系统——囊泡运输的调节机制”。

每个细胞如同一座工厂, 制造和输出各类分子如胰岛素产生后释放到血液中, 而被称为神经传递素的化学信号则通过一个神经细胞传递到另外一个神经细胞。这些分子都被运输到细胞周围的被称为囊泡的小“包裹”中。这次获奖的 3 位科学家解开了调控运输物在正确时间投递到细胞中正确位置的分子原理。

James E. Rothman 于 1950 年出生于美国麻省 Haverhill, 1976 年从哈佛医学院获得博士学位, 曾在 MIT 做过博士后。1978 年他进入斯坦福大学, 开始了对细胞囊泡的研究。他曾任职的研究机构还包括普林斯顿大学、纪念斯隆-凯特灵癌症研究所和哥伦比亚大学。2008 年, 他加入耶鲁大学, 目前为该校教授和细胞生物学系主席。

Randy W. Schekman 于 1948 年出生于美国明尼苏达州 St Paul, 曾就学于加州大学洛杉矶分校和斯坦福大学, 1974 年从斯坦福大学获得博士学位, 导师为 1959 年诺奖得主 Arthur Kornberg, 所在院系正是几年后 Rothman 加入的系。1976 年, Schekman 加入加州大学伯克利分校, 目前为该校分子与细胞生物学系教授。他同时也是霍华德·休斯医学研究院研究人员。

Thomas C. Südhof 于 1955 年出生于德国 Göttingen, 他曾就学于哥廷根大学, 1982 年从该校获得 MD 学位并于同年获得该校神经化学博士学位。1983 年, 他加入美国德州大学西南医学中心, 作为 Michael Brown 和 Joseph Goldstein 的博士后(二人于 1985 年获得诺贝尔生理学或医学奖)。Südhof 于 1991 年成为霍华德·休斯医学研究院研究人员, 2008 年成为斯坦福大学分子与细胞生理学教授。

——摘自《中国生物技术信息网》2013/10/25
<http://www.biotech.org.cn/information/112501>