Bioenergy Production and Treatment of Aquaculture Wastewater Using Upflow Microbial Fuel cells c)

By

Ghada Ghazi Alreeshi

A Thesis Submitted for the Requirements of the Degree of Master of Science (Marine Biology)

Supervised By

Dr. Mamdoh T. Jamal

Dr. Arulazhagan Pugazhendi

Department of Marine Biology

Faculty of Marine Sciences

King Abdulaziz University

Jeddah- Saudi Arabia

2020

المستخلص

لقد نمت مساحة الإستزراع المائي بسرعة كبيرة في العقود الأخيرة ولقد أدت اللوائح البيئية إلى تسريع تطوير تقنيات معالجة مياه صرف الإستزراع المائي الموجهة لتنمية العناصر القيمة وكذا الطاقة ، مع تحقيق هدف مكافحة التلوث في نفس الوقت. من اجل ذلك فلقد تمت الاستفادة من خلايا الوقود الميكروبية التي تعالج كل هذه الجوانب. خلايا الوقود الميكروبية هي تقنية صديقة للبيئة من اجل إنتاج الطاقة من معالجة مياه الصرف باستخدام الإلكترونات المشتقة من التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحفزها البكتيريا. يتمثل التحدي الرئيسي لإنشاء ناجح في تحديد المواد والتكوينات الفعالة في زيادة كثافة الطاقة والكفاءة الكولومبية والتي تكون مجدية من حيث التكلفة في نفس الوقت. هناك العديد من العوامل التي تؤثر على أداء خلايا الوقود الميكروبية وإنتاجها للطاقة في معالجة مياه صرف الإستزراع المائي مثل تصميم و تكوين الخلايا وخصائصها ، وطبيعة ومساحة الأقطاب الكهربائية ، والأغشية ، وطبيعة التلقيح ، وظروف التشغيل مثل معدل التحميل ، ودرجة الحموضة ، ودرجة الحرارة ومعدل البقاء و القوة الأيونية للوسائط. وتركز الدراسة الحالية على التحقيق في معالجة مياه الصرف مع توليد الطاقة باستخدام خلايا الوقود الميكروبية. في هذه الدراسة تم استخدام مياه صرف الإستزراع المائي بملوحة 3.92 جم / لتر (3.92٪). تم تشغيل المفاعل الحيوي عند أحمال عضوية مختلفة مثل 0.5 و 0.75 و1 و 1.25 و1.5 جرام / لتر تحت ملوحة عالية. سجلت نتائج إزالة الأكسجين الكيميائي الكلي 75% ،81% ،84% ،92% ، 79% في الأحمال العضوية 0.5و 0.75 و1 و 1.25 و 1.5 جرام / لتر على التوالي تحت ملوحة عالية .تباينت كفاءة إزالة طلب الأكسجين الكيميائي المذاب حيث سجلت 68% ،75% ، 81% ، 91%،74% في الأحمال العضوية 0.5 و 0.75 و1 و 1.25و 1.5 جرام / لتر تحت ملوحة عالية. كما بلغ إجمالي الإزالة للمعلقات الصلبة 47%، ,54% ، 60%، 78%، 71% في الأحمال العضوية 0.5 و 0.75 و1 و 1.25 و 1.5 جرام / لتر تحت ملوحة عالية. مما سبق نلاحظ ان اي زيادة إضافية في الحمل العضوي إلى 1.5جرام/ لتر تؤدي إالى إنخفاض في طلب الأكسجين الكيميائي الكلي وفي إزالة طلب الأكسجين الكيميائي المذاب وفي إزالة للمعلقات الصلبة . تم تسجيل إنتاج جهد في خلايا الوقود الميكروبية ذات الكاثود الهوائي تحت الحمل العضوي 0.5 جرام / لتر. كما تم تسجيل 690 مللي أمبير، مع كثافة الطاقة 92 ميجاوات / م ² و مع زيادة الحمل العضوي إلى 0.75 جرام / لتر وإلي 1 جرام / لتر زادت كثافة الطاقة و سجلت 160 و 273 مللي مع جهد كهربائي 756و810 ملم فولت علي الترتيب. تم الحصول على كثافة الطاقة القصوى 369 ملم واط / م ² وجهد كهربائي 870 ملم فولت في الجهد العضوي 1.25جرام /لتر بمقاومة خارجية 300 أوم .عند إرتفاع الحمل العضوي إلى 1.5 جرام /لتر تنخفظ كثافة الطاقة إلى في الخلايا إلى 310ملم واط/م ² وجهد كهربائي 780 ملم فولت. تم الحصول على أقصى كفاءة كولمبية بنسبة 60 ٪ عند الحمل العضوي 0.5 جرام / لتر .انخفضت الكفاءة الكولومبية إلى 51%، 43% ،27% ،21% في الأحمال العضوية 0.75و1 و 1.25 و 1.5 جرام / لتر تحت ملوحة عالية. نتائج تحليل المجتمع البكتيري من منطقة الأنود ومنطقة الرواسب من خلايا الوقود الميكروبية كشفت عن وجود مجموعة من السلالات البكتيرية في منطقة الأنود مثل *Stenotrophomonas*, ، *Bacillus*,، *Rhodococcus* ، *Marinobacter* ، *Ochrobactrum* *Sedimentibacter* ، *Pseudomonas* ، *Sphingomonas* ، *Xanthobacter* التي يحتمل أنها بدأت إزالة

الأكسجين الكيميائي و إنتاج الطاقة في الظروف الملحية. في الحمل العضوي 1.25 جرام/لتر منطقة الأنود كانت تحت هيمنة بكتيريا *Ochrobactrum* بنسبة 53% و التي كشفت إنتاج طاقة عالية في الظروف الملحية. نتائج المجتمع البكتيري للعينات في الحمل العضوي 1.25 جرام/لتر كشفت سلالات مختلفة في الهيمنة على المجتمع البكتيري .و كانت السلالات المهيمنة بالنسب المئوية هي *Ochrobactrum* (53%), *Marinobacter* (22%) and *Rhodococcus* (15%). من النتائج نستنتج ان الدراسة الحالية توصلت الى أن الحمل العضوي 1.25 جرام /لتر هو المستوى الأمثل لمعالجة مياه صرف الإستزراع المائي وإنتاج الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية باستخدام خلايا الوقود الميكروبية في وجود البكتريا المحبة للظروف القاسية (الملوحة العالية).

Bioenergy Production and Treatment of Aquaculture Wastewater Using Upflow Microbial Fuel cells c)

By

Ghada Ghazi Alreeshi

A Thesis Submitted for the Requirements of the Degree of Master of Science (Marine Biology)

Supervised By

Dr. Mamdoh T. Jamal

Dr. Arulazhagan Pugazhendi

Department of Marine Biology

Faculty of Marine Sciences

King Abdulaziz University

Jeddah- Saudi Arabia

2020

Abstract

Aquaculture has grown quickly recently. Strict environmental regulations have hastened the advances in wastewater treatment systems for the recovery of beneficial products and energy, along with control of pollution. One of the revived bioelectrochemical concepts and hopeful technologies that involve these entire aspects is microbial fuel cell (MFC). MFCs are environmentally friendly technology for electricity harvesting from various substrates. They produce energy through the utilization of the electrons resulting from biochemical reactions catalyzed by bacterial strains. The major challenge for assembling a successful MFC is the identification of material and configurations which are effective in enhancing power density (PD) and coulombic efficiency (CE) and also are cost-effective. The general requirements for MFC include an anode, a cathode, as well as a membrane. There are many factors affecting MFC's performance and electricity production from wastewater. Bacteria in the anodic region are essential because of their metabolism and mediators that are utilized by them to transfer electron to anodic compartment. There are different substances that could be utilized as electron donors and oxidized by bacterial strains. Operating conditions including pH, temperature, ionic strength of media, materials as well as construction of anodic, cathodic and membrane compartments have a significant effect upon energy production. The current study was conducted for treatment of aquaculture wastewater together with electricity production using the upflow MFCs under saline condition. Aquaculture wastewater with salinity 39.2 g/L was obtained (3.92%). Upflow MFCs were utilized to treat aquaculture wastewater and generate electricity. The reactor underwent operation at various organic loads (OL) including 0.5, 0.75,1, 1.25 and 1.5 gCOD/L under saline conditions. The results recorded TCOD removal efficiency was 75%, 81%, 84%, 92% and 79% at the corresponding OL of 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5 gCOD/L under saline condition. SCOD removal efficiency was of 68%, 75%, 81% , 91% and 74% at the corresponding OL of 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5 gCOD/L. TSS removal efficiency was 47%, 54%, 60%, 78% and 71% at the corresponding OL of 0.5, 0.75, 1, 1.25 and 1.5 gCOD/L. More increase in OL to 1.5 revealed decreases TCOD, SCOD and TSS removal. The voltage production of UMFC at OL of 0.5 gCOD/L was 690 mV, with a PD of 92 mW/m^2. Increase in OL to 0.75 and 1gCOD/L resulted in 756 and 810 mV of energy production which accounted 160

and 273 mW/m² of PD, respectively. The maximum PD of 369 mW/m² and the corresponding voltage of 870 mV was produced at the OL of 1.25 gCOD/L (external resistance of 300Ω). Further increment in OL to 1.5 gCOD/L exhibited a decline phase in energy production with 780 mV with a PD of 310 mW/m^2. Coulombic efficiency was maximum (60%) at OL 0.5 gCOD/L in UMFC. Increase in OL to 0.75, 1, 1.25 gCOD/L revealed a decreasing pattern of 51%, 43% and 27% of CE. At OL of 1.5 gCOD/L, the CE showed the least value of 21%. The bacterial analysis of anodic compartment samples at various OLs revealed bacterial strains presence in the anode region of UMFC operated under saline condition which were *Ochrobactrum, Marinobacter, Rhodococcus, Bacillus,Stenotrophomonas, Xanthobacter, Sphingomonas, Pseudomonas* and *Sedimentibacter*. *Ochrobactrum, Marinobacter* and *Rhodococcus* were the dominant species. At optimum OL of 1.25 gCOD/L in UMFC, the bacterial community analysis revealed the dominance of *Ochrobactrum* (53%), *Marinobacter* (22%) and *Rhodococcus* (15%) with potential energy production. OL 0.5 gCOD/L revealed dominance of *Ochrobactrum* (42%), *Rhodococcus* (24%) and *Marinobacter* (15%) with potential energy production. OL 0.75 gCOD/L revealed dominance of *Ochrobactrum* (48%), *Rhodococcus* (16%) and *Marinobacter* (18%) with potential energy production. OL 1 gCOD/L revealed dominance of *Ochrobactrum* (49%), *Rhodococcus* (14%) and *Marinobacter* (21%) with potential energy production. OL 1.5 gCOD/L revealed dominance of *Ochrobactrum* (44%), *Rhodococcus* (14%) and *Marinobacter* (18%) with potential energy production. The current study revealed that 1.25 gCOD/L was the optimized OL for efficient aquaculture wastewater treatment and energy production.