استخدام التقنية الحيوية الميكروبية لإنتاج الطاقة الكهربائية المتجددة في مفاعل خلية الوقود الميكروبي

إعداد

عبد الله بن ناصر زهير الشهري

إشراف

أ.د. خالد محمد غانم المشرف الرئيسي

أ.د. صالح محمد القرني المشرف المشارك

المستخلص

خلية الوقود الميكروبي تقنية حديثة تقدم حلول لأزمة الطاقة العالمية ، مشاكل التغير المناخي و التلوث البيئي ، من خلال استغلال قدرة بعض أنواع البكتيريا على تكسير الملوثات العضوية في المخلفات المائية وتحرير الطاقة منها وتحويلها إلى كهرباء في مفاعل خلية الوقود الميكروبي. استهدفت هذه الدراسة بناء مفاعل خلية وقود ميكروبي ، مكون من مقصورتين يتصلان ببعضهما من خلال دائرة كهربائية مرتبطة بمقاومة خارجية متغيرة ، وعبر قنطرة ملحية ، مكونة من مواد أولية رخيصة الثمن وعالية الكفاءة. أجريت تجربة لإنتاج الطاقة الكهربائية في المفاعل حيث كان أعلى جهد كهربائي متولد عند مقاومة خارجية 30 أوم ، 401 ملفولت بكثافة كهربائية 409,16 ملواط/م^2 (2680,01 ملواط/م^3) ، في هذه التجربة كانت كفاءة الكولوم 16,17٪. تم تقييم تأثير ثلاث مواد تعمل كمحفزات وسيطة خارجية لنقل الالكترونات (أزرق المثيلين ، الأحمر المتعادل و حديدي سيانيد البوتاسيوم) ، حيث أن أقصى جهد ناتج عندما كانت المادة المحفزة الوسيطة أزرق المثيلين 684ملفولت بكثافة كهربائية 1190,47 ملواط/م^2 (7797,60ملواط/م^3) ، بنسبة تحسن في الجهد عن التجربة الأساسية 70,57٪ ، وفي حالة الأحمر المتعادل سجل الجهد 482 ملفولت بكثافة كهربائية 591,15ملواط/م^2 (3872,06 ملواط/م^3) ، بينما كان الجهد المسجل عند حديدي سيانيد البوتاسيوم 523,6 ملفولت ، بكثافة كهربائية 697,60 ملواط/م^2 (4569,28 ملواط/م^3). كفاءة الكولوم للتجارب السابقة 19,74 ، 18,72 و 13,64 ٪ ، على التوالي. لأفضلية ازرق المثيلين تم تطبيقه في التجارب أللاحقة. ثلاث مراحل من التحسين الإحصائي للتجارب متعددة العوامل أجريت لتحسين كل من مكونات الوسط الغذائي و الظروف التشغيلية للمفاعل ، المرحلة الأولى استخدم فيها تصميم بلاكيت – برمن لتقييم أهمية مكونات الوسط الغذائي ، وتأثير كل مكون على إنتاج الجهد الكهربائي ، حيث اتضح أن الجلوكوز ، KCl و $NaHCO_3$ كانت أكثر العوامل أهمية بتأثير رئيسي 84 ، 51 و – 44 ٪ ، على التوالي. الصيغة المحسنة أوليا و القريبة إلى المثالية من الوسط الغذائي المتحصل عليها من تصميم بلاكيت – برمن طبقت في تجربة تأكيدية ، حيث أظهرت النتائج زيادة في الجهد الناتج بمقدار 5,30٪ عن الوسط الغذائي الأساسي قبل التحسين. المرحلة الثانية استخدم فيها تصميم بوكس – بينكين لتحسين تركيزات العوامل الثلاث الأكثر أهمية الناتجة من تصميم بلاكيت – برمن ، حيث كانت التركيزات المقترحة للجلوكوز 8,5جم/لتر ، $NaHCO_3$ 0,2جم/لتر و KCl 0,8جم/لتر. عند تطبيق الصيغة النهائية من البيئة الغذائية المتحصل عليها من تصميم بوكس – بينكين في تجربة تأكيدية ، كان التحسن في الجهد الناتج بمعدل 8,0٪ بالمقارنة مع الوسط الغذائي غير المحسن. المرحلة الثالثة و التي استخدم فيها التصميم المركزي المركب لإيجاد الظروف التشغيلية المثلى لمفاعل خلية الوقود الميكروبي ، والمتضمنة درجة الحرارة ، الرقم الهيدروجيني و تركيز مكونات القنطرة الملحية (الأجار و KCl) ، أظهرت النتائج أفضلية زيادة درجة الحرارة إلى 32°م ، مع الاحتفاظ بالرقم الهيدروجيني عند 7,0 وتعديل تركيزات مكونات القنطرة الملحية لتكون الأجار 8,0جم/100مل و KCl 2,9جم/100مل. عندما طبقت الظروف المثلى المتحصل عليها من التصميم المركزي المركب في تجربة تأكيدية ، ازداد الجهد الناتج بمعدل 25,91٪ بالمقارنة مع التجربة الأساسية قبل أي تحسين (684ملفولت) ، حيث بلغ الجهد عند مقاومة خارجية 30أوم 861,27ملفولت. استخدمت تقنية خلية الوقود الميكروبي في هذه الرسالة لمعالجة التلوث العضوي الموجود في المخلفات المائية للصرف الصحي غير المعالج و إنتاج الطاقة الكهربائية في نفس الوقت ، حيث أجريت ثلاث تجارب ، الأولى كانت باستخدام تقنية مفاعل خلية الوقود الميكروبي بشكل مباشر لمعالجة المخلفات المائية وتوليد الطاقة الكهربائية ، وقد أشارت النتائج إلى انخفاض COD من 4731ملجم/لتر إلى 2885,91ملجم/لتر ، أي بمعدل انخفاض 39٪ ، مع توليد أقصى قدر من الجهد بلغ 218,39ملفولت. في التجربة الثانية طبقت كامل ظروف التجربة الأولى مع إضافة أزرق المثيلين كمحفز وسيط خارجي ، حيث كانت النتيجة إزالة COD بمعدل 57٪ ، مع جهد كهربائي بلغ 335,20ملفولت. التجربة الثالثة أجريت بتطبيق كامل النتائج المحسنة إحصائيا في تجارب سابقة مما نتج عنه إزالة 61٪ من COD ، مع توليد جهد 578,63ملفولت.

Using of microbial biotechnology for renewable electrical energy production in a microbial fuel cell reactor

By

Abdullah Nasser Zuher Al-Shehri

Supervised By:

Prof. Khaled M. Ghanem **Advisor**

Prof. Saleh M. Al-Garni **Co - Advisor**

Abstract

Microbial fuel cell (MFC) is considered to be a recent and promising technology, which presents potential solutions for the global energy crisis, climate change problems and environmental pollution, via utilizing of some bacteria to breakdown the organic pollutants in the wastewater and releasing energy, which will be converted to electricity in the MFC reactor. This study aimed to construct costless MFC reactor with high efficiency. It consists of two compartments connected to each other through electrical circuit via variable external resistance, as well as they connected to each other by salt bridge. An experiment for electrical power production was carried out, where maximum voltage yield at the external resistance 30Ω was 401mV, power density 409.16mW/m^2 (2680.01mW/m^3), and the coulombic efficiency of 16.17%. Three mediators for electron shuttling were evaluated (methylene blue, neutral red and potassium ferricyanide). Methylene blue gave the maximum voltage yield of 684mV, power density 1190.47mW/m^2 (7797.60mW/m^3). This improved the rate of voltage yield by 70.57% from the basal experiment. On the other hand, neutral red voltage recorded 482mV, power density 591.15mW/m^2 (3872.06mW/m^3), Whereas, potassium ferricyanide recorded maximum voltage of 523.6mV, power density of 697.60mW/m^2 (4569.28mW/m^3). The coulombic efficiency for previous experiments was 19.74, 18.72 and 13.64%, respectively. From these results it was clear that the methylene blue is the best tested mediator to apply in the next experiments. A three – phases of statistical optimization for multi – factors experiments were applied, for optimizing both, medium's constitutes and the reactor operational conditions. In the first phase Plackett – Burman design was applied for the evaluation of medium's components significantly, and to evaluate the effect of each component on the voltage generation. It has been obvious that glucose, KCl and $NaHCO_3$ were the most major significant factors, with main effect: 84, 51 and – 44%, respectively. When the optimized new formula of medium obtained from Plackett – Burman design, was applied in the confirmatory experiment, it has been revealed the increasing voltage yield by 5.30% compared to the basal medium. In the second phase, the three significant factors obtained from the previous design, was further optimized by Box – Behnken design, where new formula [g/l (glucose 8.5, $NaHCO_3$ 0.2 and KCl 0.8)] was operated in a confirmatory experiment. It achieved 8.0% increase in yield after optimization compared to basal medium. The third approach was to optimize MFC reactor's operation conditions, including: temperature, initial anodic compartmental pH and salt bridge's components concentrations (Agar and KCl). Application of central composite design, which achieved 25.91% optimization in voltage yield comparing to the basal conditions at the basal medium, and it was performed when the temperature shifted to 32^oC, pH maintained at 7.0 and the salt bridge concentration of components was modified to Agar 8.0g/100ml and KCl 2.9g/100ml. The recorded voltage at the external resistance of 30Ω was 861.27mV. MFC technology was used in this work to remediate the organic pollutants in sewage wastewater and electricity production simultaneously. Three experiments have been conducted, in the first MFC reactor was used directly, the results showed reducing in chemical oxygen demand (COD) from 4731mg/l to 2885.91mg/l, by the removal average of 39%, and voltage yield was 218.39mV. In the second experiment, when methylene blue was used as a mediator, as well as the whole previous experimental conditions, removal of COD was 57% with voltage yield 335.20mV. In the final experiment the whole statistically optimized results obtained from the previous experiments were all applied here and the results indicated removal of COD was 61% with voltage yield 578.63mV.