

กลุ่มแบคทีเรียในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่
ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม่กระป๋อง

นางสาวกุลธิดา นิเวศอนันต์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BACTERIAL CONSORTIUM IN DUAL CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL FED BY
WASTEWATER FROM CANNED FRUIT INDUSTRY

Miss Kulthida Niwesankul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Industrial Microbiology

Department of Microbiology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กลุ่มแบคทีเรียในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสีย

จากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

โดย นางสาวกุลธิดา นิเวศอนันต์กุล

สาขาวิชา จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.

. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ธานีวัน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์)

กุลธิดา นิเวศอนันต์กุล : กลุ่มแบคทีเรียในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสีย
จากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้มักะป่อง (BACTERIAL CONSORTIUM IN DUAL CHAMBER
MICROBIAL FUEL CELL FED BY WASTEWATER FROM CANNED FRUIT INDUSTRY)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. ชาลวิทย์ โฉมิตานนท์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม :
รศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 107 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษากลุ่มแบคทีเรียในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ที่เลี้ยงด้วยน้ำเสียจากโรงงาน
อุตสาหกรรมผลไม้มักะป่อง โดยทำการแปรผันปัจจัยคือระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 24 และ 12
ชั่วโมง และศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรียเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงผลิตความต่างศักย์เข้าสู่สถานะเสถียรแล้ว
จากผลการทดลองเมื่อทำการแปรผันระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์พบว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์
เท่ากับ 36 และ 24 ชั่วโมง เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกันคือ
0.0803 และ 0.0801 โวลต์ ตามลำดับ และที่ระยะพักทางชีวศาสตร์เท่ากับ 12 ชั่วโมง ผลิตความต่างศักย์
ได้ต่ำสุดเท่ากับ 0.0340 โวลต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.0910 โวลต์ ที่การแปรผัน
ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดี เมื่อคำนวณประสิทธิภาพ
ในการกำจัดชีโอดีต่อลิตรต่อวัน พบว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์เท่ากับ 36 และ 24 ชั่วโมง สามารถ
กำจัดชีโอดีได้เท่ากับ 0.608 และ 0.602 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัด
ชีโอดีที่ต่ำที่สุดคือที่ 12 ชั่วโมง คือ 0.544 กรัมชีโอดีต่อลิตรต่อวัน ผลการศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรีย
พบว่าสามารถจัดจำแนกได้ 4 กลุ่ม คือ Candidate division TM7, Proteobacteria, Actinobacteria และ
Fimicutes ซึ่งแบคทีเรียเด่นที่พบเมื่อการผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้าเข้าสู่สถานะเสถียรในทุกการแปรผัน
ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์คือ *Klebsiella pneumoniae* สายพันธุ์ JH1 เมื่อทดสอบกับน้ำเสียจากโรงงาน
อุตสาหกรรมผลไม้มักะป่องโดยใช้ภาวะการแปรผันระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง
พบว่าสามารถผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 0.0548 โวลต์ และแบคทีเรียลักษณะเด่นที่พบคือ
Klebsiella pneumoniae สายพันธุ์ 1191100241 และ สายพันธุ์ JH1

ภาควิชา.....จุลชีววิทยา.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา...จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5172227523: MAJOR INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

KEYWORDS: microbial consortium microbial fuel cell wastewater

KULTHIDA NIWESANANKUL: BACTERIAL CONSORTIUM IN DUAL CHAMBER MICROBIAL FUEL CELL FED BY WASTEWATER FROM CANNED FRUIT INDUSTRY. ADVISOR: ASST. PROF. CHARNWIT KOSITANONT, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. PORNPOTE PIUMSOMBOON, Ph.D., 107 pp.

This research investigated the feasibility of using wastewater from canned fruit industry as a substrate for dual chamber microbial fuel cell (MFC). A series of MFC tests with 3 hydraulic retention time (HRT); 36, 24 and 12 h were carried out by using synthetic wastewater with chemical oxygen demand (COD) similar to wastewater from canned fruit industry. The diversity of bacteria was studied using small-subunit rDNA gene (16S rDNA) sequence analysis. The metagenomic DNAs were directly extracted from samples when the electrical potential was in steady state. The 16S rDNA sequences were amplified by PCR using primers specific for the domain Eubacteria. All bacterial 16s rDNA were sequences and the phylogenetic tree was analysed by using MEGA beta program. MFC performance showed that the average voltage to the stable voltage generation between HRT 36 h and HRT 24 h had no significantly difference (0.0803V and 0.0801V, respectively) but the highest maximum voltage was observed at HRT 24 h (0.091V). Whereas, the HRT 12 h, MFC was able to produce voltage only 0.034V. COD removal efficiency of HRT 36 h and HRT 24 h have similar values and COD removal efficiency of HRT 12 h was the lowest. COD removal rate of HRT 36 24 and 12 h were 0.608, 0.602 and 0.544 gCOD/L/day, respectively. The microorganisms were classified into the clades of Proteobacteria, Actinobacteria, Firmicutes and Candidate division TM7. Analysis of microbial DNA by DGGE indicated that the dominant species in DGGE profile of all tested HRT was *Klebsiella pneumoniae* strain JH1. The average voltage to the stable voltage generation by using wastewater from canned fruit industry with HRT 24 h was 0.0548V and the dominant species in DGGE profile were *Klebsiella pneumoniae* strain 1191100241 and *Klebsiella pneumoniae* strain JH1.

Department :.....Microbiology.....Student's Signature.....

Field of Study :.....Industrial Microbiology.....Advisor's Signature.....

Co-Advisor's Signature.....

Academic Year:.....2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร . ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนได้กรุณาปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสอนทักษะการทำงาน แก่คิดต่างๆ ในการดำเนินชีวิตอันเป็นประโยชน์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร . พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของการทำวิทยานิพนธ์ ให้โอกาสได้ทำงานวิจัยที่สนใจ ตลอดจนได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อชี้แนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร . สุเทพ ธนียวัน ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร . ศรีรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร . มานะ ศรียุทธศักดิ์ และรองศาสตราจารย์ ดร . เกียรติ พงกุษาทร ที่กรุณาให้คำปรึกษา และความรู้ทางด้านไฟฟ้า รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัย รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณผู้อุดหนุนทุนวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2553

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาชีววิทยาทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาชีววิทยาที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องวิจัย 453 408 และ 402 รวมถึงเพื่อนๆ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างกับผู้วิจัยเรื่อยมา ตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

บทที่

1 บทนำ.....	1
2 บริบทศน์วรรณกรรม.....	3
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell).....	3
2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	4
2.2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	4
2.2.2 การทำงานของจุลินทรีย์ในเซลล์เชื้อเพลิง.....	5
2.3 วัสดุและการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	11
2.3.1 ขั้วไฟฟ้า.....	12
2.3.2 ห้องขั้วไฟฟ้า.....	12
2.3.3 การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	13
2.3.3.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่.....	13
2.3.3.2 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว.....	13
2.4 ปัจจัยที่มีผลกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	15
2.4.1 สารอาหารหรือแหล่งคาร์บอน.....	15
2.4.2 ความเป็นกรดเบส.....	15

บทที่	หน้า
2.4.3 อุณหภูมิ.....	16
2.4.4 เยื่อเลือกผ่านอิเล็กทรอนิกส์.....	16
2.4.5 จุลินทรีย์.....	16
2.5 ประเภทการสูญเสียไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	17
2.6 น้ำเสีย.....	18
2.6.1 ลักษณะของน้ำเสีย.....	19
2.6.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย.....	23
2.6.3 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์และระบบบำบัดน้ำเสียกับการผลิตไฟฟ้า.....	24
2.6.4 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลี สามพราน จังหวัดนครปฐม.....	26
2.7 การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของจุลินทรีย์.....	29
2.7.1 การศึกษาความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการทางพันธุกรรมของแบคทีเรีย จากโมเลกุล 16S ribosomal RNA (16S rRNA gene).....	30
2.7.2 ปฏิกริยาถูกโซ่พอลิเมอร์.....	35
2.7.3 เทคนิคการตรวจหาความผิดปกติของสายพันธุ์ (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis: DGGE).....	39
3 อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	41
3.1 ประกอบถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ และการเตรียมวัสดุสำหรับเดินระบบ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	46
3.1.1 ประกอบถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่.....	46
3.1.2 การเตรียมวัสดุสำหรับเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	47
3.1.2.1 ขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด.....	47
3.1.2.2 แผ่นเยื่อเลือกผ่านประจุบวก.....	47
3.1.2.3 น้ำเสียสังเคราะห์.....	47
3.1.2.4 สารละลายบัฟเฟอร์.....	47
3.1.2.5 หัวเชื้อจุลินทรีย์.....	47

3.2	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มแบคทีเรียภายในถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ จากการเปลี่ยนภาวะในถังโดยการแปรผันระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ เท่ากับ 36 24 และ 12 ชั่วโมง.....	48
3.2.1	การเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ และการแปรผันระยะเวลาพักทางชลศาสตร์.....	48
3.2.2	ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า.....	49
3.2.3	ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย.....	49
3.2.4	ศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรีย ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis: DGGE.....	50
3.2.4.1	สกัดดีเอ็นเอ.....	50
3.2.4.2	ตรวจสอบคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธีการแยกทางไฟฟ้าโดยใช้เจล (gel electrophoresis) และการสกัดดีเอ็นเอออกจากอะกาโรสเจล เพื่อทำให้บริสุทธิ์.....	51
3.2.4.3	ตรวจสอบความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของดีเอ็นเอด้วยการวัด การดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet absorption spectroscopy)...	52
3.2.4.4	เพิ่มจำนวนชิ้นส่วนดีเอ็นเอบริเวณ 16s rDNA ของแบคทีเรียด้วยปฏิกิริยา ลูกโซ่พอลิเมอเรส (Polymerase chain reaction: PCR).....	53
3.2.4.5	วิเคราะห์สายพันธุ์ของกลุ่มแบคทีเรียโดยใช้เทคนิค DGGE.....	54
3.3	ศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรียในการผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบกับน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง.....	55
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	56
4.1	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มแบคทีเรียภายในถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ จากการเปลี่ยนภาวะในถัง โดยการแปรผันระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ เท่ากับ 36 24 และ 12 ชั่วโมง.....	56
4.1.1	การแปรผันระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic retention time).....	56
4.1.2	ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี (Chemical oxygen demand).....	59

4.1.3	ศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรีย ด้วยเทคนิค Denaturing Gradient Gel Electrophoresis: DGGE.....	61
4.2	ศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรียในการผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อทดสอบกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้มักระป๋อง.....	69
4.2.1	ประสิทธิภาพในการผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้า.....	70
4.2.2	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....	72
4.2.3	ศึกษาพลวัตของกลุ่มแบคทีเรีย.....	73
5	สรุปผลการทดลอง.....	77
	รายการอ้างอิง.....	79
	ภาคผนวก.....	84
	ภาคผนวก ก.....	85
	ภาคผนวก ข.....	86
	ภาคผนวก ค.....	92
	ภาคผนวก ง.....	96
	ภาคผนวก จ.....	101
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	107

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ชนิดวัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	12
2.2	ตัวอย่างของแหล่งคาร์บอนที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	15
2.3	ตารางแสดงลักษณะทั่วไปของน้ำเสีย.....	22
2.4	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดแบบใช้อากาศ แบบไม่ใช้อากาศและ แบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์.....	26
2.5	ปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง.....	27
2.6	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของโรงงาน.....	28
2.7	คุณสมบัติน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียรวมถึงประสิทธิภาพในการบำบัด ของโรงงาน.....	28
2.8	เปอร์เซ็นต์ของจำนวนแบคทีเรียโดยวิธีนับปริมาณเซลล์ทั้งหมด.....	29
4.1	ความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของดีเอ็นเอตัวอย่างที่การแปรผันต่างๆ.....	62
4.2	ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวอย่างจากการแปรผันระยะเวลาพักทางศาสตร์ต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับลำดับเบสในฐานข้อมูล NCBI (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/Blast.cgi).....	67
4.3	การวิเคราะห์เบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง.....	70
4.4	ความบริสุทธิ์และความเข้มข้นของดีเอ็นเอตัวอย่างเมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลไม้กระป๋องในการทดสอบ.....	73
4.5	การพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวอย่างเมื่อนำน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง โดยเปรียบเทียบกับลำดับเบสในฐานข้อมูล NCBI (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/Blast.cgi).....	76

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่.....	4
2.2 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นพลังงาน.....	5
2.3 ขั้นตอนไกลโคลิซิส.....	6
2.4 วัฏจักรเครปส์.....	7
2.5 กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอน.....	8
2.6 แผนภาพสรุปการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน.....	9
2.7 ภาพ ก แสดงการส่งผ่านอิเล็กตรอนโดยใช้ไซโตโครม (cytochromes) ภาพ ข แสดงการส่งผ่านอิเล็กตรอนโดยใช้เส้นลวดนาโน (nanowire) ภาพ ค แสดงการส่งผ่านอิเล็กตรอนโดยใช้ตัวกลาง (mediator).....	10
2.8 แบบจำลองการทำงานของตัวอย่างสารประกอบเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านอิเล็กตรอนจากจุลินทรีย์ให้กับขั้วไฟฟ้า สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งรีดักชันและออกซิเดชันจึงใช้หมุนเวียนได้.....	11
2.9 ภาพ ก, ข และ ค แสดงการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบห้องคู่ แบบ ก เป็นทรงกระบอก ประกอบเป็นรูปทรงตัวเอช แบบ ข เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ประกอบเป็นกล่องขนาดเล็ก แบบ ค เป็นรูปทรงกระบอกประยุกต์กับระบบ upflow ภาพ ง และ จ แสดงการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบห้องเดี่ยว แบบ ง เป็นรูปทรงกระบอก แคโทดอยู่ภายนอกสัมผัสอากาศโดยตรง แบบ จ ลักษณะเป็นท่อกลวง และใช้ระบบ upflow	14
2.10 Universal Phylogenetic Tree จากการศึกษาเปรียบเทียบลำดับเบสของ rRNA.....	32
2.11 ตัวอย่างโครงสร้างปฐมภูมิและทุติยภูมิของ 16S rRNA ของแบคทีเรีย <i>E.coli</i>	34
2.12 การแยกสารทางไฟฟ้าแบบแผ่นแนวราบ.....	37
2.13 โมเลกุลดีเอ็นเอที่มีขนาดใหญ่จะถูกแยกได้ดีกว่าในเจลที่มีความเข้มข้นต่ำ (0.7%) ในขณะที่ดีเอ็นเอขนาดเล็กจะแยกได้ดีในเจลที่มีความเข้มข้นสูง (1.5%).....	38

ภาพที่	หน้า
2.14	การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนดีเอ็นเอผ่านตัวกลางเจลที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อให้สนามไฟฟ้าดีเอ็นเอที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า..... 38
2.15	การเคลื่อนที่บนโพลีอะครีลาไมด์เจลของแถบดีเอ็นเอจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับดีเอ็นเอ จากเชื้อมาตรฐานในการทำดีจีจี..... 40
2.16	ขั้นตอนการศึกษาประชากรแบคทีเรียในตัวอย่าง ภาพ ก เตรียมจุลินทรีย์ก่อนการสกัด เพื่อให้มีจำนวนมากพอ ภาพ ข สกัดดีเอ็นเอ ภาพ ค เพิ่มจำนวนดีเอ็นเอด้วยปฏิกิริยา ลูกโซ่พอลิเมอร์โดยใช้ไพรเมอร์ที่จำเพาะ ภาพ ง วิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของ แถบดีเอ็นเอบนเจลอะครีลาไมด์โดยสาย ดีเอ็นเอของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันจะเคลื่อนที่ บนเจลต่างกัน ภาพ จ วิเคราะห์แถบดีเอ็นเอที่สนใจโดยการนำไปวิเคราะห์ลำดับเบส ภาพ ฉ และ ช ศึกษาแผนภูมิต้นไม้ทางไฟโลเจเนติกด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์..... 40
3.1	ถึงเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ประกอบจากอะคริลิก รูปทรงตัวเอช..... 46
3.2	ถึงปฏิกรณ์แบบไร้อากาศในห้องปฏิบัติการของหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 48
3.3	เครื่องแยกสารพันธุกรรมด้วยเทคนิค DGGE รุ่น DGGEK-1001..... 54
4.1	ความต่างศักย์เฉลี่ยและค่าความต่างศักย์สูงสุดในแต่ละระยะเวลากักพักทาง ชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 56
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์เฉลี่ยต่อชั่วโมงในแต่ละระยะเวลากักพักทาง ชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 57
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำนักเซลล์แห้งแขวนลอยต่อปริมาณอาหารที่เข้าสู่ระบบ (หน่วยเป็นถัง)ในแต่ละระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 59
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำนักสารแขวนลอยทั้งหมดเมื่อการผลิตความต่างศักย์เข้าสู่ สถานะเสถียร ในแต่ละระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 59
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีต่อถัง ในแต่ละระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 60
4.6	ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีต่อลิตรต่อวันในแต่ละระยะเวลากักพัก ทางชลศาสตร์คือ 36 24 และ 12 ชั่วโมง..... 60

- 4.7 ตัวอย่างดีเอ็นเอที่สกัดได้แสดงในรูปของเจลอิเล็กโตรโฟเรซิส (gel electrophoresis) ความเข้มข้นเจลเท่ากับ 0.5% โดย ช่องวิ่ง L คือ Λ /HindIII marker ช่องวิ่งที่ 1 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอก่อนเริ่มเดินระบบ ช่องวิ่งที่ 2 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอที่ระยะเวลากักพักทาง ชลศาสตร์เท่ากับ 36 ชั่วโมง ช่องวิ่งที่ 3 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ เท่ากับ 24 ชั่วโมง และช่องวิ่งที่ 4 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ เท่ากับ 12 ชั่วโมง..... 61
- 4.8 ขนาดของผลิตภัณฑ์พีซีอาร์ที่ได้ เมื่อผ่านปฏิกิริยาถูกโซ่พอลิเมอร์ส ในรูปของเจล อิเล็กโตรโฟเรซิส ความเข้มข้นเจลเท่ากับ 0.1% โดยช่องวิ่ง L คือ Λ /HindIII marker ช่องวิ่งที่ 1 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอก่อนเริ่มเดินระบบ ช่องวิ่งที่ 2 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 36 ชั่วโมง ช่องวิ่งที่ 3 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง และช่องวิ่งที่ 4 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 12 ชั่วโมง..... 63
- 4.9 เจล DGGE ที่ตัดส่วนความเข้มข้นของสารจากส่วนบนไปส่วนล่างเท่ากับ 30-60% โดยช่องวิ่งที่ 1 คือ ดีเอ็นเอตัวอย่างก่อนเริ่มเดินระบบ ช่องวิ่งที่ 2 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 36 ชั่วโมง ช่องวิ่งที่ 3 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง และช่องวิ่งที่ 4 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 12 ชั่วโมง..... 65
- 4.10 เจล DGGE ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง สัดส่วนความเข้มข้น ของสารจากส่วนบนไปส่วนล่างเท่ากับ 30 – 60% โดยช่องวิ่งที่ 1 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ จากสารละลายอาหาร ช่องวิ่งที่ 2 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอจากข้าวโอ๊ต..... 66
- 4.11 แผนภูมิต้นไม้ (phylogenetic tree) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MEGA beta..... 69
- 4.12 ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยต่อชั่วโมง เมื่อใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบอย่างต่อเนื่อง โดยควบคุมให้ระยะกักพัก ทางชลศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง..... 71
- 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารแขวนลอยทั้งหมดต่อวัน เมื่อใช้น้ำเสียจากโรงงาน อุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องเป็นอาหารแก่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ควบคุมระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง..... 72

- 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีต่อวัน เมื่อใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม่กระป๋อง
เป็นอาหารแก่ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ และควบคุมระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์
เท่ากับ 24 ชั่วโมง..... 72
- 4.15 เจล DGGE เมื่อใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม่กระป๋องในการทดลอง
เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ควบคุมระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์เท่ากับ 24 ชั่วโมง
โดยช่องวิ่งที่ 1 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอจากน้ำเสียของโรงงาน ช่องวิ่งที่ 2 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอ
จากจุลินทรีย์ในระบบ+น้ำเสียของโรงงานก่อนเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์
ช่องวิ่งที่ 3 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอในสารละลายน้ำเสียเมื่อการผลิตความต่างศักย์
เข้าสู่สภาวะเสถียร และช่องวิ่งที่ 4 คือ ตัวอย่างดีเอ็นเอจากขั้วอิเล็กโทรดเมื่อการผลิต
ความต่างศักย์เข้าสู่สภาวะเสถียร..... 75