ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208884

อิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

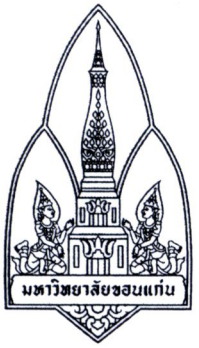
INFLUENCES OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATIONS AND SALANITY ON ACCELERATION OF MICRO ALGAL OIL AS RAW MATERAIL FOR BIODIESEL PRODUCTION

ชลประสบุร เอื้นมาก

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

b00257356

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
208884



อิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

INFLUENCES OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATIONS AND SALANITY ON ACCELERATION OF MICRO ALGAL OIL AS RAW MATERAIL FOR BIODIESEL PRODUCTION

นายประยูร เอ็นมาก

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

อิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

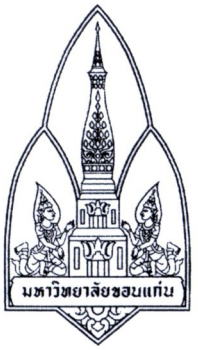
นายประยูร เอ็นมาก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2553

INFLUENCES OF CARBON DIOXIDE CONCENTRATIONS AND SALANITY ON ACCELERATION OF MICRO ALGAL OIL AS RAW MATERAIL FOR BIODIESEL PRODUCTION

MR. PRAYOON ENMAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN BIOTECHNOLOGY
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY
2010



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ชื่อวิทยานิพนธ์: อิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์: นายประยูร เอ็นมาก

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		
	ดร.พิพัฒน์ วีระถาวร	ประธานกรรมการ
	รศ.ดร.พรเทพ ถนนแก้ว	กรรมการ
	รศ.ดร.ประสิทธิ์ ใจศิล	กรรมการ
	ผศ.ดร.ผกาวดี แก้วกันเนตร	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์:

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผกาวดี แก้วกันเนตร)

..... (รองศาสตราจารย์ ดร.ลำปาง แม่นมาตย์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษม นันทชัย)
คณบดีคณะเทคโนโลยี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประยูร เอ็นมาก. 2553. **อิทธิพลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผกาวดี แก้วกันเนตร

บทคัดย่อ

208884

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์และความเค็มต่อการเร่งการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เริ่มจากการเก็บตัวอย่างสาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งกักเก็บน้ำตามธรรมชาติ โดยใช้ตาข่ายแพลงก์ตอน จากนั้นนำมาคัดแยกภายใต้กล้องจุลทรรศน์และจำแนกได้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scenedesmus obliquus, S. armatus* และ *S. bernardii* อย่างไรก็ตามสาหร่าย *S. oliquus* ให้ผลเชิงบวกว่ามีปริมาณไขมันสะสมภายในเซลล์มากที่สุดเมื่อทำการย้อมเซลล์ด้วยสีซูดาน แบลค บี ดังนั้นจึงได้เลือกสาหร่ายสายพันธุ์นี้เพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์แบบท่อแก้วขนาด 3 ลิตร ที่มีอาหารสูตร Modified Chu 13 ในปริมาณ 2 ลิตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทำการแปรผันระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 5%, 10% และ 15% ผสมกับอากาศและพ่นลงไปในอาหารเพาะเลี้ยง ในขณะเดียวกันชุดควบคุมที่ไม่มีการผสมคาร์บอนไดออกไซด์จะมีการศึกษาควบคู่กันไป ผลการทดลองพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทุกระดับความเข้มข้นและที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 15% พบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด 2.182 กรัม/ลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 วัน โดยมีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.451 ต่อวัน และมีจำนวนเซลล์สูงสุด 3.025×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อนำเซลล์สาหร่ายภายหลังจากการเก็บเกี่ยวไปศึกษาองค์ประกอบหลักภายในสาหร่าย พบว่ามีโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และปริมาณเยื่อใย เท่ากับ 23.19%, 11.0%, 12.34% และ 9.18% (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ และเมื่อทำการเพาะเลี้ยงให้สาหร่ายเจริญเข้าสู่ช่วงต้นของระยะพักตัว ความเค็มที่เตรียมในรูปของโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 โมลาร์ จะถูกเติมลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย ผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 0.3 โมลาร์ สาหร่ายมีการสะสมน้ำมันไว้ภายในเซลล์สูงที่สุดเท่ากับ 32.13% (โดยน้ำหนัก) เมื่อเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 วัน และเมื่อนำเซลล์เปียกของสาหร่ายมาทดสอบการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีแบบ *In-situ* acidic transesterification พบว่าผลได้ของไบโอดีเซลเท่ากับ 97.42% (โดยน้ำหนัก) ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้พบกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก 3 ชนิดคือ กรดปาล์มมิติค กรดสเตียริก และกรดโอเลอิกในปริมาณ 74.45%, 4.93% และ 3.02% ตามลำดับ และท้ายที่สุดเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลมาทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นบางประการ เช่น ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความหนาแน่น ค่าของกรด และจุดวาบไฟ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานไบโอดีเซลที่กำหนดโดยสถาบันมาตรฐานการทดสอบวัสดุของสหรัฐอเมริกา

Prayoon Enmak. 2010. **Influences of Carbon Dioxide Concentrations and Salinity on Acceleration of Micro Algal Oil as Raw Material for Biodiesel Production.** Master of Science Thesis in Biotechnology, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Pakawadee Kaewkannetra

208884

ABSTRACT

This research work aims to investigate effects of carbon dioxide concentrations and salinity on acceleration of microalgal oil storage as raw material for biodiesel production. Firstly, micro algal samples were collected from natural water basin using plankton net. Then, they were isolated by observation of their morphology under microscope and identified as *Scenedesmus obliquus, S. armatus and S. bernadii*. However, only the *S. obliquus* showed a positive result for the maximum oil accumulation in its cell after staining by Sudan Black B colour. Thus, only this strain was chosen to cultivate in 3 L glass tubular photo bioreactor containing 2 L Modified Chu 13 medium for studying the influence of CO_2 on accelerating algal growth. Then variation of CO_2 concentrations at 5%, 10% and 15% was mixed with air and injected into the culture medium. Meanwhile the control experiment without CO_2 supply was coupling studied. The results revealed that CO_2 affect on algal growth for all concentrations and at 15% CO_2 with 15 days cultivation, the algal reached a maximum growth of 2.182 gL^{-1} and specific growth rate at 0.451 day^{-1} with the highest cell concentration at $3.025 \square 10^7$ $cellmL^{-1}$. After harvesting, the algal biomass was characterized and found that it mainly composted of protein (23.19%), carbohydrate (11.0%), lipid (12.34%) and fiber (9.18%). When the algal was further cultivated until the cell reached at early stationary phase, the salinity prepared in term of sodium chloride (NaCl) concentrations at 0.1, 0.2 and 0.3 M, was added into the culture medium. The maximum oil accumulation (32.13%) was found in case of 0.3 M NaCl was used within 15 days cultivation. Then, wet algal biomass was used to produce biodiesel via *In-situ* acidic transesterification and yielded at 97.42% by weight. The main fatty acids found in biodiesel were 74.45% palmitic acid, 4.93% stearic acid and 3.02% oleic acid, respectively. Finally, the biodiesel was tested in some basic properties such as pH, density, acidity and flash point. It was found that the values obtained showed a similarity to biodiesel property standard established by American Standard for Testing of Materials (ASTM).

งานวิทยานิพนธ์นี้ขออุทิศส่วนดีให้แก่บุพการีและคณาจารย์ผู้มีพระคุณ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ผกาวดี แก้วกันเนตร ซึ่งผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้ นอกจากนี้ยังได้ช่วยเหลือให้การวางแผนการศึกษา การให้คำแนะนำในการออกแบบการทดลองที่ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ การสนับสนุนให้ได้รับทุนสนับสนุนในการศึกษา การวิจัย และการนำเสนอผลงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ การตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย ตลอดจนให้หลักปรัชญาในการดำเนินชีวิตให้เป็นไปตามขนบธรรมเนียมที่ดีงามของไทย ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ภายใต้โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว.-อุตสาหกรรม สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2551 ที่สนับสนุนทุนวิจัยหลักและหน่วยงานอื่นที่มีส่วนร่วมสนับสนุนทุนวิจัย ทุนการศึกษา และทุนนำเสนอผลงานวิจัย ดังต่อไปนี้ มูลนิธิโทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ประเทศไทย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน ตลอดจนศูนย์วิจัยการหมักเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ยุวดี พีรพรพิศาล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อาจารย์ วุฒิพงษ์ มหาขันธ์ และคุณสุภาพร เทียมวงศ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความรู้ในหลักการของสาหร่ายวิทยา ตลอดจนเทคนิคการเก็บตัวอย่าง การคัดแยกและการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ วรวุฒิ สุวรรณเรือง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสร้างชุดอุปกรณ์และระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ช่วยดูแลแก้ไขและแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือ ขอกราบขอบพระคุณ ดร. พิพัฒน์ วีระถาวร รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ถนนแก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ใจศิล ที่กรุณาสละเวลาในการเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ตลอดจนตรวจสอบข้อบกพร่อง และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี และภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้สั่งสอนรายวิชาอันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำงานวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ขอขอบคุณ คุณสุปรียา สุขเกษม และคุณวิไลศรี ลิมปพะยอม สำนักวิจัยพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ขอขอบคุณ คุณธีรภัทร์ ชาติชนะ ที่มีส่วนช่วยเหลือและรวบรวมข้อมูลงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ คณะเทคโนโลยีทุกท่าน ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี และเพื่อน ๆ ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สุดท้ายผลอันจะเป็นประโยชน์ ความดีงามทั้งปวงที่เกิดขึ้นจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บิดามารดาที่เคารพรักยิ่ง ผู้ซึ่งเห็นความสำคัญของการศึกษามาโดยตลอด และหากมีข้อบกพร่องด้วยประการใด ๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

ประยูร เอ็นมาก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
คำอุทิศ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการทำวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สาหร่ายขนาดเล็ก	4
2.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย	14
2.3 ไบโอดีเซล	18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	33
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	33
3.2 สารเคมี	34
3.3 การคัดแยกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก	35
3.4 การคัดเลือกสาหร่ายที่มีการสะสมน้ำมันในเซลล์สูง	38
3.5 การเตรียมกล้าเชื้อสาหร่ายขนาดเล็ก	39
3.6 การเตรียมชุดอุปกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสง	39
3.7 การศึกษาอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก	40
3.8 การศึกษาอิทธิพลของความเค็มต่อการสะสมน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็ก	41
3.9 การเก็บเกี่ยวชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก	41
3.10 การศึกษาองค์ประกอบเบื้องต้นของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก	42
3.11 การผลิตไบโอดีเซลจากเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กในระดับห้องปฏิบัติการ	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.12 การศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไบโอดีเซล	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	45
4.1 การเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	45
4.2 การคัดแยกสาหร่ายขนาดเล็ก	46
4.3 การจำแนกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก	47
4.4 การคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่มีการสะสมไขมันไว้ภายในเซลล์สูง	49
4.5 การศึกษาอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก	49
4.6 การศึกษาอิทธิพลของความเค็มต่อการสะสมน้ำมันในสาหร่ายขนาดเล็ก	53
4.7 การผลิตไบโอดีเซลจากเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กในระดับห้องปฏิบัติการ	58
4.8 การศึกษาองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันไบโอดีเซล	59
4.9 การวิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็ก	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลการวิจัย	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก อาหารเลี้ยงสาหร่ายและวิธีการเตรียม	75
ภาคผนวก ข การศึกษาการเจริญของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก	77
ภาคผนวก ค วิธีการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ	83
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมัน	89
ภาคผนวก จ ผลงานวิจัยที่เผยแพร่	92
ประวัติผู้เขียน	108

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดเล็กในทางการค้า	10
ตารางที่ 2.2	ปริมาณน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก	12
ตารางที่ 2.3	เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตชีวมวล ปริมาณน้ำมันสะสม และพลังงานเชื้อเพลิงระหว่างพืชน้ำมันชนิดต่าง ๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก	13
ตารางที่ 2.4	การเปรียบเทียบผลผลิตน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กกับพืชน้ำมันชนิดอื่นและพื้นที่ที่ต้องใช้ในการเพาะปลูก	13
ตารางที่ 2.5	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กชนิดต่าง ๆ แบบไม่ใช้แสง	14
ตารางที่ 2.6	การเปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ	20
ตารางที่ 2.7	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ	22
ตารางที่ 2.8	สมบัติของไบโอดีเซลกับกรดไขมันประเภท ต่าง ๆ	23
ตารางที่ 2.9	รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน	26
ตารางที่ 4.1	คุณสมบัติของน้ำในบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายจากแหล่งน้ำธรรมชาติ	46
ตารางที่ 4.2	ลักษณะของเซลล์และการจัดจำแนกชนิดสายพันธุ์ของสาหร่ายที่คัดแยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์	47
ตารางที่ 4.3	ค่าพารามิเตอร์การเจริญของสาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์	51
ตารางที่ 4.4	องค์ประกอบหลักของเซลล์สาหร่าย *S. obliquus* ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบบออโตโทรฟิค ที่มีการให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 15%	52
ตารางที่ 4.5	องค์ประกอบของกรดไขมันชนิดเมทิลเอสเทอร์ (FAME) ในน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตได้จากเซลล์สาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 โมลาร์	61
ตารางที่ 4.6	เปรียบเทียบปริมาณกรดไขมันระหว่างสาหร่าย *S. obliquus* กับพืชน้ำมันชนิดต่าง ๆ	64
ตารางที่ 4.7	เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเซลล์สาหร่าย *S. obliquus*, *C. vulgaris* , น้ำมันปาล์ม และมาตรฐานไบโอดีเซลของ American Standard Testing and Material (ASTM)	65
ตารางภาคผนวก ข-1	Analysis of variance ของการเจริญเติบโตของสาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์	82

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก	4
รูปที่ 2.2	รูปร่างและจำนวนแฟลกเจลลัมของสาหร่าย	5
รูปที่ 2.3	ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของคลอโรพลาสต์	6
รูปที่ 2.4	ลักษณะและองค์ประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่าย	6
รูปที่ 2.5	องค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัว Docosahexaenoic acid (DHA), Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Arachidonic acid ที่สาหร่ายชนิดต่าง ๆ ผลิตได้	9
รูปที่ 2.6	แผนภาพความเชื่อมโยงของระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	11
รูปที่ 2.7	โครงสร้างทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์	11
รูปที่ 2.8	สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ต่าง ๆที่สามารถสร้างและสะสมน้ำมัน	12
รูปที่ 2.9	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบบ่อเปิด	15
รูปที่ 2.10	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ	16
รูปที่ 2.11	ความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง	17
รูปที่ 2.12	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอร์ไรด์	19
รูปที่ 2.13	ค่าซีเทนกับชนิดของกรดไขมันในเมทิลเอสเตอร์ประเภทต่าง ๆ	23
รูปที่ 3.1	ตาข่ายแพลงก์ตอนและการใช้งาน	35
รูปที่ 3.2	วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นในการคัดแยกสาหร่ายขนาดเล็ก	36
รูปที่ 3.3	วิธีการแยกสาหร่ายจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยใช้วิธีดูดออกด้วยไมโครปิเปต	37
รูปที่ 3.4	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อ	39
รูปที่ 3.5	องค์ประกอบของถังปฏิกรณ์ชีวภาพและระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบปิด	40
รูปที่ 3.6	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสง ขนาด 3 ลิตร ที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ชุดปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสง	41
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนการเก็บเกี่ยวชีวมวลสาหร่ายโดยวิธีการตกตะกอนเซลล์และปั่นเหวี่ยง	42
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาแบบ *In-situ* acidic transesterification	43
รูปที่ 4.1	ลักษณะทั่วไปของแหล่งน้ำธรรมชาติที่ใช้เป็นแหล่งเก็บรวมสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก	45
รูปที่ 4.2	ลักษณะเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่คัดแยกได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ	46
รูปที่ 4.3	รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์การจัดจำแนกสายพันธุ์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศ ไทย (วว.)	48
รูปที่ 4.4	ลักษณะของหยดไขมันที่สะสมไว้ภายเซลล์ของสาหร่าย เมื่อย้อมด้วยซูดาน แบลค บี	49

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.5	การเจริญเติบโตของสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยง ในอาหารที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์	50
รูปที่ 4.6	อิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการสร้างชีวมวลสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย	51
รูปที่ 4.7	ลักษณะสีของเถ้าและเยื่อใยของสาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในสภาวะที่มีการเติมอากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 15%	52
รูปที่ 4.8	การเจริญของสาหร่าย *S. obliquus* ที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของ NaCl	53
รูปที่ 4.9	การเจริญของสาหร่าย *S. obliquus* โดยเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการแปรผันระดับความเข้มข้นของ NaCl 3 ระดับ และที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 15%	54
รูปที่ 4.10	สรีระวิทยาของเซลล์สาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของ NaCl ต่าง ๆ	55
รูปที่ 4.11	การเจริญของสาหร่าย *S. obliquus* ที่เติม NaCl ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในอาหารเพาะเลี้ยง เมื่อสาหร่ายเจริญเข้าสู่ระยะ early stationary phase ซึ่งมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 15%	56
รูปที่ 4.12	ลักษณะของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. obliquus* ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของ NaCl และมีการให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับความเข้มข้น 15%	56
รูปที่ 4.13	อิทธิพลของความเค็มต่อการสะสมปริมาณน้ำมันในสาหร่าย *S. obliquus* เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ ที่มีระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 20 วัน	57
รูปที่ 4.14	ลักษณะของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเซลล์เปียกของสาหร่าย *S. obliquus* โดยใช้วิธี *In-situ* acidic transesterification	58
รูปที่ 4.15	ไบโอดีเซลผลได้ที่ผลิตได้ โดยใช้วิธี In-situ acidic transesterification จากสาหร่าย *S. obliquus* ที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.3 โมลาร์	59
รูปที่ 4.16	การทดสอบคุณภาพของไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์; FAME) ที่ผลิตได้โดยวิธี *In-situ* acidic transesterification จากสาหร่าย *S. obliquus* หลังจากเติม NaCl ที่มีความเข้มข้น 0.3 โมลาร์	59
รูปที่ 4.17	ปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไบโอดีเซลที่ผลิตได้โดยวิธี *In-situ* acidic transesterification จากสาหร่าย *S. obliquus*	60
รูปที่ 4.18	โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 15% และเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 M ที่เวลา 0 วัน	62
รูปที่ 4.19	โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 15% และเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 M ที่เวลา 5 วัน	62

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.20	โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสายพันธุ์ *S. Obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 15% และเก็บเกี่ยวเซลล์เมื่อเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 M แล้วที่เวลา 10 วัน	63
รูปที่ 4.21	โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 15% และเก็บเกี่ยวเซลล์เมื่อเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 M แล้วที่เวลา 15 วัน	63
รูปที่ 4.22	โครมาโตแกรมของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสายพันธุ์ *S. obliquus* เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 15% และเก็บเกี่ยวเซลล์เมื่อเติมเกลือที่มีความเข้มข้น 0.3 M แล้วที่เวลา 20 วัน	64
รูปภาคผนวก ข.1	แสดงรายละเอียดของแผ่น Hemacytometer	79
รูปภาคผนวก ข.2	ตารางบนผิว Hemacytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า	80
รูปภาคผนวก ข.3	ลักษณะของเส้นขอบตารางของ Hemacytometer	80
รูปภาคผนวก ง.1	Gas Chromatography system	90