

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนทั่วไป ตามโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ.) มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ขอขอบคุณนันทิกร ดวงแก้ว คุณสรายุรัตน์ สีหาวงศ์ คุณสุภาภรณ์ ภูกขุนทด คุณมัทธิยาภรณ์ พวงบุตร สำหรับความช่วยเหลือในการวิจัย ขอขอบคุณโครงการ อพ. สธ. มหาวิทยาลัยขอนแก่นสำหรับการอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำ ณ เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

รัตนภรณ์ ลีสิงห์
ภาควิชาจุลชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กรกฎาคม 2555

หัวข้องานวิจัย การคัดเลือกสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่ผลิตลิปิดสูงจากตัวอย่างน้ำจืดในพื้นที่เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

หัวหน้าโครงการ ดร. รัตนภรณ์ ลีสิงห์
ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อคัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กจากน้ำจืดในพื้นที่เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานีที่สามารถผลิตและสะสมลิปิด โดยคัดแยกด้วยวิธีวิธีที่สามารถแยกสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กจำนวน 6 ไอโซเลทจากตัวอย่างน้ำจืด จำนวน 7 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนในอาหาร Bristol's medium และเทคนิคการชิตลากบนผิวหน้าอาหารแข็งสามารถแยกสาหร่ายบริสุทธิ์ได้จำนวน 6 ไอโซเลท คือ MSU1, MSU2, MSU3, MSU4, MSU5, MSU6 ตามลำดับ พบว่าไอโซเลท MSU1, MSU2, MSU3 สามารถเพาะเลี้ยงได้ทั้งในสภาวะสังเคราะห์แสงและภายใต้สภาวะไม่มีแสงหรือเฮเทโรโทรฟิก เมื่อเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง สาหร่ายไอโซเลท MSU1 ให้มวลเซลล์สูงสุดที่ 1.667 g/L แต่ให้ลิปิด 23.942 mg/L ส่วนสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ให้ปริมาณมวลเซลล์ 1.2g/L และลิปิด 37.003mg/L และสาหร่ายไอโซเลท MSU3 ให้ปริมาณมวลเซลล์ 1.133g/L และลิปิด 36.354mg/L โดยมีอัตราการผลิตลิปิดเท่ากับ 2.394, 3.70 และ 3.635 mg/L/d ในสาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU2 และ MSU3 ตามลำดับ และเมื่อเพาะเลี้ยงแบบเฮเทโรโทรฟิกสาหร่ายไอโซเลท MSU1 ให้มวลเซลล์สูงสุดที่ 2.333g/L และลิปิด 94.90mg/L ส่วนสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ให้ปริมาณมวลเซลล์ 2.73g/L และลิปิด 398.86mg/L และสาหร่ายไอโซเลท MSU3 ให้ปริมาณมวลเซลล์ 5.28g/L และลิปิด 67.0mg/L เมื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตลิปิดพบว่าสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ให้อัตราการผลิตลิปิดสูงสุดที่ 66.48 mg/L/d ในขณะที่สาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU3 ให้อัตราการผลิตลิปิดเท่ากับ 15.82 และ 11.17 mg/L/d ตามลำดับ เมื่อศึกษาชนิดของแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญและการผลิตลิปิดของสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสงพบว่าเมื่อใช้ NaNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ปริมาณเซลล์สูงสุด 1.23 g/L และลิปิด 42.2mg/L ในวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยง และเมื่อใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ปริมาณเซลล์สูงสุด 1.15 g/L และลิปิด 37.41mg/L ในวันที่ 10 ของการเพาะเลี้ยง เมื่อศึกษาผลของความเข้มข้นที่ค่าต่างๆ กลูโคสต่อการเจริญและการผลิตลิปิดของสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ด้วยการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทโรโทรฟิก ให้มวลเซลล์สูงสุดที่ 5.72 g/L และปริมาณลิปิด 797.72mg/L เมื่อเจริญในอาหารที่มีกลูโคส 40 g/L เป็นแหล่งคาร์บอน และเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีกลูโคส 20, 30, 50 g/L ให้ปริมาณมวลเซลล์ 2.73, 4.52, 5.56 g/L ตามลำดับ และปริมาณลิปิด 398.86, 598.29, 698.01mg/L ตามลำดับ

คำสำคัญ : สาหร่ายขนาดเล็ก น้ำมันสาหร่าย การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทโรโทรฟิก

Research Title Isolation of high lipid producing-microalgae from freshwater samples in the area of Sirindhorn Dam, Ubol Ratchathani

Researcher Dr. Ratanaporn Leasing
Department of Microbiology, Faculty of Science,
Khon Kaen University

Abstract

The aim of this research is to isolate freshwater microalgae for used as the potential feedstock for biodiesel production. Six microalgae isolates, namely MSU1, MSU2, MSU3, MUS4, MSU5 and MSU6, were isolated from 7 water samples taken in the area of Sirindhorn Dam, Ubol Ratchathani using enrichment and streak plate techniques in Bristol's media. Three isolates MSU1, MSU2, MSU3 can grow under photoautotrophic and heterotrophic cultivation. Under photoautotrophic cultivation, a biomass of 1.667g/L with lipid of 23.942mg/L, 1.2g/L with lipid of 37.003mg/L, 1.133g/L with lipid of 36.354mg/L were obtained for the isolate MSU1, MSU2 and MSU3, respectively. Volumetric lipid production rate of 2.394, 3.70 and 3.635 mg/L/d were found for MSU1, MSU2 and MSU3, respectively. Effect of different nitrogen sources were studied for cultivate of the isolate MSU2, a biomass of 1.23g/L with lipid 42.2mg/L and 1.15g/L with 37.42mg/L were found using NaNO_3 and urea as nitrogen source, respectively. Then, heterotrophic cultivation was investigated, a biomass of 2.333g/L with lipid of 94.9mg/L, 2.73g/L with 398.86mg/L, 5.28g/L with lipid of 67.0mg/L were obtained for microalgae isolate MSU1, MSU2 and MSU3, respectively. Volumetric lipid production rate of 15.82, 66.48 and 11.17 mg/L/d were found for MSU1, MSU2 and MSU3, respectively. Then, effect of different concentration of glucose to growth and lipid production of MSU2 was studied; a biomass of 5.72g/L with lipid of 797.72mg/L was obtained using 40g/L of glucose. While a biomass of 2.73 g/L with lipid of 398.86mg/L, 4.52g/L with lipid of 598.29mg/L, 5.56 g/L with lipid of 698.01 mg/L were obtained using 20, 30 and 50g/L of glucose, respectively.

Keywords : microalgae, microalgal oil, photoautotrophic cultivation, heterotrophic cultivation

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	43
บรรณานุกรม.....	45
ภาคผนวก	50

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยระบบบ่อเปิดแบบรางคู่และระบบปิดในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบต่างๆ (Ugwu et al., 2008; Brennen and Owende, 2010).....	6
ตารางที่ 2.2 การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายและระบบเพาะเลี้ยง (Pulz and Gross, 2004).....	6
ตารางที่ 2.3 ปริมาณองค์ประกอบของเซลล์สาหร่าย <i>Chlorella protothecoides</i> เมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะ photoautotrophic cultivation และ heterotrophic cultivation (Xu et al., 2006).....	7
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบความแตกต่างของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะต่าง ๆ (Chen et al., 2011).....	8
ตารางที่ 2.5 บริษัทผู้เพาะเลี้ยงและผลิตเซลล์สาหร่ายตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก (Singh and Gu, 2010)...	9
ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสายพันธุ์ต่างๆ ในรูปน้ำหนักแห้ง (%)	11
ตารางที่ 2.7 ปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด (Chisti, 2007).....	12
ตารางที่ 2.8 ชนิดของกรดไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กบางสายพันธุ์เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอและขาดไนโตรเจน (Chelf, 1990).....	12
ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบแหล่งที่มาของไบโอดีเซลในสหรัฐอเมริกา (Chisti, 2007).....	14
ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลโดยประมาณของพืชต่างๆ และสาหร่ายขนาดเล็ก (Smith et al., 2009).....	14
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณมวลเซลล์ (biomass, g/L) ปริมาณลิปิด (mg/L) และอัตราการผลิตลิปิด (lipid production rate, mg/L/d) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU2, MSU3 ในอาหาร Bristol medium ภายใต้สภาวะการสังเคราะห์แสง ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน.....	33
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบน้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้เพื่อการเจริญ (consumed sugar, g/L) ปริมาณมวลเซลล์ (biomass, g/L) ปริมาณลิปิด (mg/L) อัตราการผลิตลิปิด (lipid production rate, mg/L/d) และ Yield (Yx/s) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU2, MSU3 ในอาหาร Bristol medium ที่มีกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้สภาวะเฮเทโรโทรฟิก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 6 วัน	36
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณเซลล์ (Biomass) ลิปิด (lipid) น้ำตาลรีดิวซ์ที่ใช้ (consumed sugar) อัตราการผลิตลิปิด (lipid production rate) และค่า Yx/s ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MUS2 ในอาหาร Bristol medium ที่มีกลูโคสค่าต่างๆ เป็นแหล่งคาร์บอน.....	41

รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Chlorella ptotothecoides</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> var <i>vulgalis</i> (ที่มา: http://shigen.lab.nig.ac.jp/algae).....	3
รูปที่ 2.2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิดแบบรางคู่ (Sheehan et al., 1998).....	4
รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสงชนิดต่างๆ; (a): Tubular PBR, (b): Column PBR (air lift reactor, (c): Flat Plate PBR.....	5
รูปที่ 2.4 ร้อยละของบริษัทที่ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายของภูมิภาคต่างๆ ของโลก (a) และเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่าย (b) (ดัดแปลงจาก Singh and Gu, 2010).....	9
รูปที่ 2.5 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Fukuda et al., 2001).....	13
รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่โครงการ อพ. สธ. เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี.....	21
รูปที่ 3.2 การเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนสาหร่ายในอาหาร Bristol's medium ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก บ่มเป็นเวลา 14 วัน.....	21
รูปที่ 3.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่คัดเลือกได้ด้วยการเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ให้อากาศผ่านเครื่องให้อากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	22
รูปที่ 3.4 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่คัดเลือกได้ด้วยการเพาะเลี้ยงแบบไม่มีแสง (heterotrophic cultivation) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ที่มีกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอน บ่มแบบกวนผสมด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยเครื่อง magnetic stirrer plate ที่อุณหภูมิห้อง.....	23
รูปที่ 4.1 การเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนสาหร่ายในอาหาร Bristol's medium ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก บ่มเป็นเวลา 14 วัน.....	24
รูปที่ 4.2 เซลล์สาหร่ายที่ผ่านการกรองบนกระดาษกรอง GC/F.....	25
รูปที่ 4.3 การแยกสาหร่ายด้วยวิธี cross streak technique บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol's medium.....	25
รูปที่ 4.4 การแยกสาหร่ายให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค cross streak บนจานอาหารเลี้ยงเชื้อและในอาหารเหลวในพลาสติกขนาด 250mL ปริมาตรอาหาร 100mL	26
รูปที่ 4.5 รูปร่างของเซลล์สาหร่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light Microscope) ที่กำลังขยาย 1000เท่า (1000X); M= Microalgae, S=Sirindhorn Dam, U=Ubol Ratchathani	27
รูปที่ 4.6 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลูปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน.....	30

รูปที่ 4.7 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน.....	31
รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน.....	31
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิดของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU2 และ MSU3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง ในวันที่ 10 วันของการเพาะเลี้ยง.....	32
รูปที่ 4.10 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) น้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) และลิปิด (lipid) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ที่มีกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอน ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบไม่มีแสง (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	33
รูปที่ 4.11 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) น้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) และลิปิด (lipid) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ที่มีกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอน ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบไม่มีแสง (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	34
รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) น้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) และลิปิด (lipid) ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ที่มีกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอน ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบไม่มีแสง (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	34
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิดของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU1, MSU2 และ MSU3 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium ภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบไม่มีแสง (heterotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	35
รูปที่ 4.14 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมี NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 วัน.....	37
รูปที่ 4.15 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมียูเรีย (urea) 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 วัน.....	37

รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมียูเรีย (urea) และ NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cultivation) ภายใต้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยพ่นให้อากาศด้วยเครื่องพ่นอากาศขนาดเล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน.....	38
รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมี NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนและกลูโคส 20g/L เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	39
รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมี NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนและกลูโคส 30g/L เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	39
รูปที่ 4.19 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมี NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนและกลูโคส 40g/L เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	40
รูปที่ 4.20 แสดงปริมาณมวลเซลล์ (biomass) และลิปิด ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายไอโซเลท MSU2 ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol medium เมื่อมี NaNO_3 3.0 g/L เป็นแหล่งไนโตรเจนและกลูโคส 50g/L เป็นแหล่งคาร์บอนภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cultivation) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน.....	40
รูปที่ 4.21 แสดงรูปร่างของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กไอโซเลท MSU2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Bristol, A: ภายใต้การสังเคราะห์แสง (photoautotrophic cell), B: ภายใต้สภาวะเฮเทอโรโทรฟิก (heterotrophic cell) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100.....	42

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
g	กรัม
g/L	กรัมต่อลิตร
mg/L/d	มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน
L	ลิตร
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
rpm	รอบต่อนาที
°C	องศาเซลเซียส
μg	ไมโครกรัม
$Y_{x/s}$	ผลผลิตเซลล์ (cell yield)
%	ร้อยละ