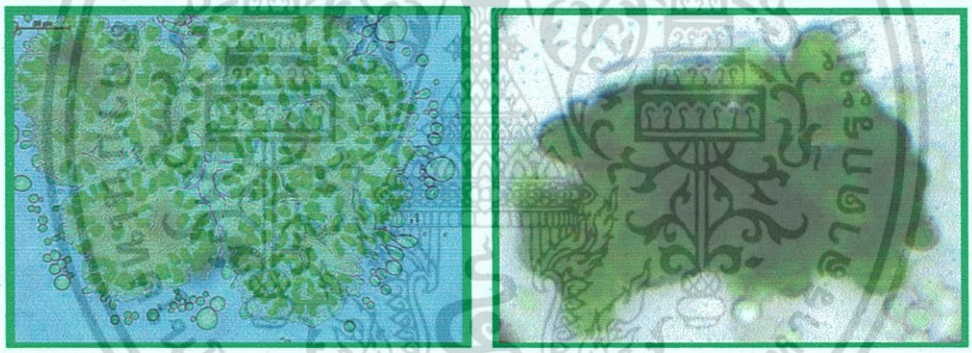
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวล เพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

Strain Selection and Mass Culture of High Lipid Content Algae for the Feasibility of Biofuel Production



รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

ผศ. ดร. มณฑล แก่นมณี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวล เพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

Strain Selection and Mass Culture of High Lipid Content Algae for the Feasibility of Biofuel Production

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ
ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ
ผศ. ดร. มณฑล แก่นมณี

RCH
ก๓๔๓ก
2555

b. 12793371
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143544
วัน.เดือน.ปี 17 มี.ค. 2559

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวล เพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555

ประจำปีงบประมาณ 2555 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 355,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555

หัวหน้าโครงการและผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ

ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ

ผศ. ดร. มณฑล แก่นมณี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การคัดเลือกสาหร่ายเพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยทำการคัดเลือกจากไซยาโนแบคทีเรีย (*Phormidium*, *Stigonema*, *Oscillatoria*, *Fischerella*, *Hapalosiphon*, *Arthrospira*, *Nostoc*, *Mastigocladopsis*) สาหร่ายสีเขียว (*Botryococcus braunii*, *Chlorella*, *Ulva intestinalis*, *U. rigida*, *Cladophra*, *Caulerpa racemosa*, *C. lentilifera*) ไดอะตอม (*Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Tetraselmis*) สาหร่ายสีแดง (*Acanthophora*) และสาหร่ายสีน้ำตาล (*Sargassum*, *Padina*) พบว่าสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *B. braunii* มีไขมันมากที่สุด 13.2±0.2% กรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในสาหร่ายทุกชนิดคือ palmitic acid พบกรดไขมันโอเมกา linoleic acid ในสาหร่ายเกือบทุกชนิด พบ DHA ใน *Mastigocladopsis*, *Chlorella*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis* และ *Sargassum* พบ EPA ใน *Chlorella*, *U. intestinalis*, *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Tetraselmis* และ *Acanthophora*

สภาวะที่เหมาะสมต่อสาหร่ายแต่ละชนิดในการผลิตน้ำมันคือ สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. เลี้ยงภายใต้การได้รับแสงต่อเนื่องมีไขมันสูงสุด 11.09±0.46%, *Mastigocladopsis* sp. เลี้ยงภายใต้การได้รับแสง 4120 ลักซ์ มีไขมันสูงสุด 23.31±1.92%, *Oscillatoria limnetica* เลี้ยง 40 วัน มีไขมันสูงสุด 19.45±0.61%, *Botryococcus braunii* เลี้ยง 40 วัน มีไขมันสูงสุด46.56±10.43% และ*Scenedesmus dimorphus* เลี้ยงภายใต้อาหารเพิ่มเหล็กขึ้น 250% มีไขมันสูงสุด 24.7±0.49% การเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในระดับมหมวล ด้วยปุ๋ยสูตร 18-12-6 ที่ 5 g/L ให้ไขมันมากที่สุด 44.83±2.10%

คำสำคัญ : ไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล น้ำมัน ไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Strain selection and mass culture of high lipid content algae for the feasibility of biofuel production

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon

Faculty: Faculty of Agricultural Technology **Department:** Department of Fisheries Science

ABSTRACT

To select algae with a high lipid content for biodiesel production, the lipid content of cyanobacteria (*Phormidium*, *Stigonema*, *Oscillatoria*, *Fischerella*, *Hapalosiphon*, *Arthrospira*, *Nostoc*, *Mastigocladopsis*), green algae (*Botryococcus braunii, Chlorella*, *Scenedesmus dimorphus, Ulva intestinalis*, *U. rigida, Cladophra*, *Caulerpa racemosa*, *C. lentilifera*), diatom (*Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Tetraselmis*), red algae (*Acanthophora*) and brown algae (*Sargassum*, *Padina*) were studied. *B. braunii* showed the maximum total lipid content of 13.2±0.2%. The most abundant fatty acids in all genera of algae were palmitic acid. Linoleic acid was present in all genera of algae, DHA was present in *Mastigocladopsis*, *Chlorella*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis*, and *Sargassum* extract, EPA was present in *Chlorella*, *U. intestinalis*, *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Tetraselmis*, and *Acanthophora* extract.

Among the different culture conditions, continuous illumination was found to be the best condition for lipid production of *Hapalosiphon* sp. (11.09±0.46%). The highest lipid content of *Mastigocladopsis* sp. (23.31±1.92%) was obtained when cultured under light intensity 4120 lux. The highest lipid content of *Oscillatoria limnetica* (19.45±0.61%) and *Botryococcus braunii* (46.56±10.43%) was occurred *when cultured* for 40 days. The highest lipid content of *S. dimorphus* 24.7±0.49% was occurred in medium containing 250 % iron. The highest lipid content of *S. dimorphus* (44.83±2.10%) under mass scale production was occurred in medium containing 5 g/L of commercial fertilizer 18-12-6.

Key words: cyanobacteria, green algae, diatom, red algae, brown algae, lipid, biodiesel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ท่าน รศ.ดร. วิเชียร ยงมานิตไชย อาจารย์ประจำภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ที่ให้ความรู้และอนุญาตให้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์กรดไขมัน "การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555"

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
รศ. ศักดิ์ชัย ชูโชติ
ผศ. ดร. ปวีณา ทวีกิจการ
ผศ. ดร. มณฑล แก่นมณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย	3
1.5 คำสำคัญของการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)	4
2.2 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งน้ำมัน	5
2.3 กรดไขมันในสาหร่าย	8
2.4 การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมัน	10
2.5 ปริมาณไขมันในสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน	10
2.6 การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย	14
3.2 การศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมัน : การหาสภาวะในการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไขมันสูง	15
3.3 การเพาะเลี้ยงระดับมหมวล	15
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	16
4.1 ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย	16
4.2 การศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมัน : การหาสภาวะในการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไขมันสูง	22
4.3 การเพาะเลี้ยงระดับมหมวล	46
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ประวัติผู้เขียน	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมันระหว่างสาหร่ายขนาดเล็กกับพืชบางชนิดที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล	7
4.1 ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่าย	27
4.2 กรดไขมัน (%) ที่พบในไซยาโนแบคทีเรีย	19
4.3 กรดไขมัน (%) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีเขียว	20
4.4 กรดไขมัน (%) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีแดง สีน้ำตาลและไดอะตอม	21
4.5 กรดไขมัน (%) ที่พบใน *Botryococcus braunii* KMITL 2	22
4.6 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการเลี้ยงที่แตกต่างกัน	23
4.7 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน	23
4.8 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการรับแสงที่แตกต่างกัน	24
4.9 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเค็มที่แตกต่างกัน	24
4.10 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน	25
4.11 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน	26
4.12 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน	26
4.13 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในการเลี้ยงที่แตกต่างกัน	27
4.14 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน	28
4.15 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน	28
4.16 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.17 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน..... 30

4.18 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน..... 30

4.19 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเค็มที่แตกต่างกัน..... 31

4.20 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการเลี้ยงที่ต่างกัน... 32

4.21 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน..... 33

4.22 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน..... 33

4.23 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน..... 34

4.24 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน.... 35

4.25 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณความเข้มแสงต่างกัน..... 36

4.26 ปริมาณไขมัน (%น้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการให้แสงต่างกัน... 36

4.27 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน..... 37

4.28 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะให้แสงที่แตกต่างกัน..... 38

4.29 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความความเค็มที่แตกต่างกัน..... 38

4.30 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะเวลาเลี้ยงที่แตกต่างกัน..... 39

4.31 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน..... 40

4.32 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน..... 40

4.33 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน..... 41

4.34 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ที่ความเข้มข้นของอาหารสูตร *chlorella* medium แตกต่างกัน..... 42

4.35 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกัน.. 43

4.36 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน..... 43

4.37 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.38	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน...	45
4.39	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน.....	45
4.40	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเค็มที่แตกต่างกัน.....	46
4.41	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันเมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล.....	47
4.42	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปุ๋ยสูตร 16-16-16 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล.....	47
4.43	การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปุ๋ยสูตร18-12-6 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
2.1 ไดอะแกรมการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย..... 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงาน และแหล่งอาหารโดยรวมเพิ่มขึ้น แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัด มีความผันแปรของราคาสูง และการเผาไหม้แหล่งพลังงานเหล่านี้ ยังมีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (green house gases) ปัจจุบันแหล่งพลังงานทางเลือกได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และมีหลายทางเลือกทั้งพลังงานนิวเคลียร์ แสงอาทิตย์ ไฮโดรเจน ลม และ biofuels (Patil, 2008) โดย biofuel เป็นพลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถแก้ปัญหาเรื่องโลกร้อนจากภาวะเรือนกระจกและปัญหาจากราคาที่ผันผวนของปิโตรเลียม biodiesel เป็นแหล่งพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งของ biofuel ซึ่งอยู่ในรูปของเหลว

ในอดีตได้มีการผลิต biodiesel จากผลิตผลของพืช แต่มีข้อเสียในหลายด้าน ทั้งการใช้พื้นที่มากในการปลูกพืช รวมทั้งพืชหลายชนิดเช่นปาล์มน้ำมัน อ้อย ข้าวโพด นั้น เดิมล้วนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์หรืออาหารสำหรับมนุษย์ เมื่อวัตถุดิบจำนวนมากถูกเปลี่ยนไปเป็น biodiesel แทน จึงทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับการบริโภคของมนุษย์สูงขึ้น ในปัจจุบันการหันมาเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่อาหารสำหรับมนุษย์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยพบว่าสาหร่ายได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เพราะไม่กระทบต่อแหล่งอาหารมนุษย์ และเป็นแหล่งพลังงานที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยแก้ปัญหาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ โดยพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82%

สาหร่ายขนาดเล็กพบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภท มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ใช้เวลาในการเจริญเติบโตที่สั้นกว่าพืชชั้นสูง โดยสามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมง และน้ำมัน (oil) จากสาหร่าย สามารถใช้เป็นแหล่งของ biodiesel ได้ โดยทั่วไปสาหร่ายขนาดเล็กมีน้ำมัน 20-50 % ของน้ำหนักแห้ง (Chisti, 2007) แต่สาหร่ายบางชนิดให้น้ำมันสูงถึง 80 %ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณน้ำมันที่พบจะผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Mulbry et al., 2008)

สาหร่ายที่ให้ไขมัน (lipid) ได้สูงพบทั้งในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว และไดอะตอม เช่น *Chlorella, Scenedesmus, Isochrysis, Tetraselmis* นอกจากนี้ไขมันของสาหร่ายยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นประโยชน์อยู่มาก เช่น arachidonic acid (AA), eicospentaenoic acid (EPA), docasahexaenoic acid (DHA), gamma-linolenic acid (GLA) และ linoleic acid (LA) เป็นต้น (Chisti, 2007) ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมอาหารของมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป สาหร่ายขนาดเล็กสามารถให้น้ำมันได้มากถึง 58, 700-136, 900 ลิตรต่อเฮคแตร์ ซึ่งมากกว่าปาล์มน้ำมันที่ให้น้ำมันได้ 5, 950 ลิตรต่อเฮคแตร์ (Chisti, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่น จากฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยเกณฑ์สำคัญที่จะทำให้การนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งไบโอดีเซลได้สำเร็จ คือ ต้องมีสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสมให้ปริมาณน้ำมันได้สูง มีการเจริญเติบโตที่สูง นอกจากนี้ต้องมีการพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงโดยใช้ต้นทุนต่ำ และเก็บผลผลิตได้ง่ายด้วย

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ให้ไขมันหรือน้ำมันสูง สามารถเพาะเลี้ยงและเก็บผลผลิตได้ง่าย หาสภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ไขมันได้สูงสุด รวมถึงศึกษาแนวทางการนำไขมันจากสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ ทั้งในด้านอาหารของมนุษย์และพลังงานทดแทน เพื่อลดวิกฤตปัญหาด้านการขาดแคลนอาหารและพลังงานของมนุษย์ในอนาคต รวมถึงลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. ศึกษาปริมาณไขมัน (crude lipid) และชนิดของกรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กและสาหร่ายขนาดใหญ่เพื่อหาชนิดสาหร่ายที่ให้ไขมันสูง และมีชนิดของกรดไขมันที่มีประโยชน์ เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ประโยชน์ ทั้งในด้านอาหารของมนุษย์ และพลังงาน

1.2.2. คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่ให้ปริมาณไขมันสูง เพาะเลี้ยงและเก็บผลผลิตได้ง่าย

1.2.3. ศึกษาสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมเพื่อให้สาหร่ายมีผลผลิตและปริมาณไขมันสูงที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่ายขนาดใหญ่ที่มีมากในธรรมชาติโดยครอบคลุมในกลุ่มของสาหร่ายคือสาหร่ายสีแดง (*Acanthophora* sp.) สาหร่ายสีเขียว (*Ulva intestinalis, U. rigida, Caulerpa racemosa*, *C. lentilifera*, *Cladophora* sp.) สาหร่ายสีน้ำตาล (*Sagussum* sp., *Padina* sp.) และศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย (*Hapalosiphon* sp., *Stigonema* sp., *Nostoc* sp., *Fisherella* sp., *Phormidium* sp., *Spirulina platensis*, *Mastigocladopsis* sp.) สาหร่ายสีเขียว (*Botryococcus braunii*, *Scenedesmus* sp., *Chlorella sp.* น้ำจืดและ *Chlorella sp.* น้ำเค็ม) prasinophyte (*Tetraselmis* sp.) และไดอะตอม (*Thalassiosira* sp.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นคัดเลือกชนิดสาหร่ายที่ให้ไขมันได้สูง สามารถเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณมากได้ง่ายในสูตรอาหารราคาถูก มาทำการผันแปรสภาวะในการเพาะเลี้ยงเพื่อหาสภาวะที่ให้ไขมันและผลผลิตได้สูง โดยผันแปรปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางเคมี

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

แหล่งเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) ที่มาจากวัตถุดิบเดิมที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์เช่นอ้อย ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง ทำให้มีผลกระทบด้านราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับการบริโภคของมนุษย์สูงขึ้น สาหร่ายมีอยู่ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม สาหร่ายหลายชนิดไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ใด ๆ ในสาหร่ายมีไขมันและกรดไขมันหลายชนิดที่มีประโยชน์ หากมีการนำมาเป็นแหล่งน้ำมันเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพจะช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานได้

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

สาหร่ายขนาดเล็ก, สาหร่ายขนาดใหญ่, ไขมัน, กรดไขมัน, ไบโอดีเซล

microalgae, macroalgae, lipid, fatty acid, biodiesel

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. ได้สายพันธุ์สาหร่ายที่ให้ไขมันสูง เพาะเลี้ยงง่าย เพื่อนำไปใช้ในการเป็นแหล่งผลิตน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลต่อไป

1.6.2. เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยสำหรับนักวิจัยท่านอื่น ๆ ต่อไปทางด้าน สาหร่ายวิทยาด้านการศึกษาพลังงานทางเลือก

1.6.3. สามารถนำสาหร่ายที่ไม่มีมูลค่าในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.6.4. สามารถผลิตมหาบัณฑิต ให้เป็นนักวิจัยที่มีความรู้ด้านการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานและแหล่งอาหารโดยรวมเพิ่มขึ้น แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัด มีความผันแปรของราคาสูง และการเผาไหม้แหล่งพลังงานเหล่านี้ ยังมีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (green house gases) เนื่องจากมีการปล่อย CO_2, SO_2 และ NO_x ปัจจุบันแหล่งพลังงานทางเลือกได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และมีหลายทางเลือกทั้งพลังงานนิวเคลียร์ แสงอาทิตย์ ไฮโดรเจน ลม และ biofuels (Patil, 2008) โดย biofuel เป็นพลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิต อาจอยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว หรือแกส

ได้มีการใช้ biofuel มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 โดยได้มาจากผลิตผลทางการเกษตร แต่ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 เมื่อน้ำมันปิโตเลียมราคาถูกลง ความนิยมใน biofuel จึงลดลง แต่หลังจากนั้นก็ได้รับความสนใจอีกครั้งเพราะต้องการแก้ปัญหาเรื่องโลกร้อนจากภาวะเรือนกระจกและปัญหาจากราคาที่ผันผวนของปิโตรเลียม ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการหันมาเลือกใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นแหล่งผลิต biofuel

แต่อย่างไรก็ตามการใช้ผลิตผลทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต biofuel นั้นได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ในหลายด้าน ทั้งด้านการใช้พื้นที่ปริมาณมากในการปลูกพืช รวมทั้งผลิตผลหลายชนิด เช่นปาล์มน้ำมัน อ้อย ข้าวโพด นั้น เดิมล้วนใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์หรืออาหารสำหรับมนุษย์ เมื่อวัตถุดิบจำนวนมากถูกเปลี่ยนไปเป็น biofuel แทน จึงทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับการบริโภคของมนุษย์สูงขึ้น นอกจากนี้แม้ในทางสิ่งแวดล้อม biofuel จะทำให้อากาศสะอาดขึ้นเมื่อเทียบกับควันการเผาไหม้จากน้ำมันธรรมดา แต่กระแสต่อต้าน biofuel คือการเป็นห่วงความสิ้นเปลืองของการใช้พืชเกษตรที่อาจต้องตัดไม้ทำลายป่าเพิ่มขึ้นมาก เพื่อหาที่เพาะปลูกสมบูรณ์พอเพียง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

Biodiesel เป็นประเภทหนึ่งของ biofuel ซึ่งอยู่ในรูปของเหลว ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นการนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เช่น เอทานอลหรือเมทานอล ในปริมาณที่มากมาทำปฏิกิริยาเคมี ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเกิดการรวมพันธะของไตรกลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ เปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นไปเป็นเอทิลเอสเทอร์ (FAEs) หรือเมทิลเอสเทอร์ (FAMEs) และมีกลีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ ซึ่งเอสเทอร์มีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ข้อดีคือค่าซีเทน (cetane ค่าดัชนีการจุดติดไฟ) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ติดเครื่องดี การสันดาปสมบูรณ์ เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงไม่มีผลกระทบกับเครื่องยนต์ในระยาว ส่วนกลีเซอรีนที่ได้จากการผลิต ถือเป็นผลพลอยได้ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ

biodiesel เป็นแหล่งพลังงานที่ได้รับความต้องการและมีบทบาทที่สำคัญเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันการหันมาเลือกใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่อาหารสำหรับมนุษย์ในการผลิต biodiesel ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยสาหร่ายได้รับความสนใจอย่างยิ่งในการนำมาเป็นทางเลือกแทนพืชที่เป็นแหล่งอาหารเช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม และคาโนลา เพราะทำให้ไม่กระทบต่อแหล่งอาหารมนุษย์ และเป็นแหล่งพลังงานที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สาหร่ายบางชนิดยังมีปริมาณน้ำมันที่สูงมาก และน้ำมันจากสาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย นอกจากนี้ข้อดีของสาหร่ายคือสามารถกำจัด ฟอสฟอรัส ไนโตรเจนจากน้ำเสีย และสามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จึงช่วยแก้ปัญหาภาวะเรือนกระจกได้ (Antoni et al., 2007, Chisti, 2008; Huang et al., 2010)

แต่สิ่งที่เป็นประเด็นสำคัญในการนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งน้ำมันคือ ต้องเลือกสายพันธุ์สาหร่ายให้เหมาะสม คือให้ปริมาณน้ำมันได้สูงที่สุดและมีการเจริญเติบโตที่สูงด้วย นอกจากนี้การพัฒนาวิธีการเพาะเลี้ยงให้ใช้ต้นทุนต่ำ และพัฒนาวิธีการเก็บผลผลิตให้ง่าย ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการที่จะนำสาหร่ายมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลได้สำเร็จอีกด้วย

ซึ่งประเด็นเหล่านี้ไม่ใช่สิ่งที่ยุ่งยาก ซับซ้อนจนเกินไป โดยพบว่านักวิทยาศาสตร์สหรัฐอเมริกาได้มีการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่สามารถนำมาผลิตเป็น biodiesel ได้ในเชิงพาณิชย์ได้สำเร็จ และเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อกักน้ำเสียโรงงาน เนื่องจากมีฟอสเฟต และไนเตรทปนเปื้อนอยู่ สารทั้งสองชนิดมีผลเสียต่อแม่น้ำ ลำคลอง แต่กลับเป็นปุ๋ยที่ดีสำหรับทำฟาร์มสาหร่าย จึงมีการทำฟาร์มสาหร่ายใกล้กับโรงบำบัดเสีย และพบว่าการใช้น้ำมันจากสาหร่ายเป็นไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้ได้กับรถเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องบินไอพ่นได้ (http://sciinaction)

2.2 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งน้ำมัน

2.2.1 ความเหมาะสมในด้านปริมาณและการเพาะเลี้ยงของสาหร่าย

สาหร่ายมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เนื่องจากสาหร่ายมีอยู่มากมายในธรรมชาติ โดยการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นทั้งหมดบนโลกนั้น เกิดจากสาหร่ายถึง 90 % นอกจากนี้การเก็บสาหร่ายจากธรรมชาติมาเป็นอาหารหรือนำมาสกัดผลผลิตต่าง ๆ มีมากเกิน 3 ล้านตันต่อปี โดยพบว่าผลผลิตที่มีอยู่ตามธรรมชาติมีปริมาณให้เก็บเกี่ยวได้ สำหรับสาหร่ายสีแดงมีประมาณ 2.6 ล้านตัน และ สาหร่ายสีน้ำตาลมีสูงถึงประมาณ 16 ล้านตัน (Schiewer and Volesky, 2000)

สำหรับสาหร่ายขนาดใหญ่ในประเทศไทยจะพบในทะเลปริมาณมาก โดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล เช่น *Sargassum*, *Padina* สาหร่ายสีแดง *Gracilaria* สาหร่ายสีเขียว *Caulerpa* ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้จะถูกพัดพาขึ้นมาโดยคลื่นมาติดบริเวณชายหาดเป็นปริมาณมากเมื่อถึงฤดูกาลที่สาหร่ายเหล่านี้เจริญเติบโตสูงสุด โดยพบว่าในบางสถานที่ โดยเฉพาะแหล่งท่องเที่ยวสาหร่ายเหล่านี้บดบังทัศนียภาพที่งดงามที่ชายหาด จนต้องมีการกำจัดทิ้ง ต้องเสียค่าแรงงานในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บ ค่าใช้จ่ายในการกำจัด เช่นการกำจัดสาหร่าย *Gracilaria* ออกจากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี เป็นต้น ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้สามารถเก็บมาใช้ประโยชน์ได้

นอกจากนี้สาหร่ายขนาดใหญ่ยังได้มีการเพาะเลี้ยงไว้ในบ่อบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสัตว์น้ำเพื่อช่วยในการบำบัดน้ำ ซึ่งไม่มีต้นทุนเรื่องสารเคมีเพราะใช้ธาตุอาหารจากน้ำที่ระบายออกมาจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่นสาหร่ายสีเขียว *Ulva*, *Caulerpa*, *Chaetomorpha*, สาหร่ายสีแดง *Acanthophora*, *Gracilaria* เป็นต้น โดยสาหร่ายเหล่านี้เมื่อใช้บำบัดน้ำเสียผ่านไปสักระยะหนึ่งจะมีผลผลิตเพิ่มขึ้นมีปริมาณมากจนเกินความต้องการ เพราะสารอาหารที่มากทำให้สาหร่ายเติบโตได้ดี ดังนั้นจึงนำสาหร่ายเหล่านี้มาใช้ได้ โดยไม่ต้องมีต้นทุนในการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถพบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภท มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แต่มีข้อดีกว่าคือใช้เวลาในการเจริญเติบโตสูงสุดที่สั้นกว่าพืชชั้นสูงมาก โดยพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น (Chisti, 2007) และน้ำมัน (oil) จากสาหร่าย สามารถใช้เป็นแหล่งของ biodiesel ได้ โดยทั่วไปสาหร่ายขนาดเล็กจะมีน้ำมัน 20-50 % ของน้ำหนักแห้ง (Chisti, 2007) แต่ในสาหร่ายบางชนิดสามารถให้ปริมาณน้ำมันได้สูงถึง 80 %ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณน้ำมันและกรดไขมันที่พบจะผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Mulbry et al., 2008: สุนีรัตน์ และคณะ, 2548; สุนีรัตน์ 2549) สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิดสามารถเก็บจากธรรมชาติและนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องทำการเพาะเลี้ยงเอง เช่นสาหร่ายกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* ซึ่งเป็นชนิดที่พบว่ามีการบลูมในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม หรือในแหล่งน้ำธรรมชาติได้บ่อยและมีปริมาณมาก ซึ่งสาหร่ายที่เก็บได้เองจากธรรมชาติย่อมมีต้นทุนต่ำ มีเฉพาะค่าเดินทางในการเก็บ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป โดยเมื่อเทียบต่อพื้นที่ 1 เฮคแตร์ สาหร่ายขนาดเล็กสามารถให้น้ำมันได้มากถึง 58, 700-136, 900 ลิตร ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มที่ให้น้ำมันได้ 5950 ลิตร (Chisti, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่นของเสียจากธุรกิจปศุสัตว์ เช่นจากฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง (Mulbry et al., 2008) และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยจากการทดลองในระบบปิดพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82% (Scott et al, 2010)

2.2.2 ความเหมาะสมในด้านปริมาณน้ำมัน (oil) ในสาหร่าย

สาหร่ายสามารถนำมาเป็นแหล่งน้ำมันได้เนื่องจากสาหร่ายมีอาหารสะสมเป็นแป้ง ไขมันและกลีเซอรอล ปัจจุบันสาหร่ายขนาดเล็กเป็นทางเลือกใหม่ในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน การนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งน้ำมัน จะไม่ส่งผลกระทบต่อราคาของอาหารหรือสินค้าอุปโภคประเภทอื่น ๆ จากการเปรียบเทียบปริมาณไขมันในสาหร่ายกับพืชชนิดอื่นต่อพื้นที่ผลิตที่เท่ากัน พบว่าสาหร่ายให้ผลผลิตน้ำมันมากกว่าพืชหลายชนิด (ตารางที่ 1) โดยพบว่าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณน้ำมันในเซลล์ที่ร้อยละ 30 น้ำหนักแห้ง สามารถให้น้ำมันได้ถึง 58, 700 ลิตรต่อเฮคแตร์ต่อหนึ่งปี โดยสามารถผลิตไบโอดีเซลได้สูงถึง 51, 927 กิโลกรัมต่อเฮคแตร์ต่อปี ซึ่งสูงกว่าพืชอื่น ทั้งข้าวโพด ปาล์ม ถั่วเหลือง ฯล

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบปริมาณผลผลิตน้ำมันระหว่างสาหร่ายขนาดเล็ก กับพืชบางชนิดที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล

ชนิดพืช	ปริมาณน้ำมัน (L oil/ha year)	พื้นที่ที่ต้องการในการปลูก (M^2 year/kg biodiesel)	การผลิตไบโอดีเซล (kg biodiesel/ha year)
ข้าวโพด	172	66	152
ถั่วเหลือง	636	18	562
คาโนลา (Canola)	974	12	862
สบู่ดำ	741	15	656
ละหุ่ง	1307	9	1156
ทานตะวัน	1070	11	946
ปาล์มน้ำมัน	5, 366	2	4, 747
คาเมไลน่า (*Camelina sativa*)	915	12	809
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 30%)	58, 700	0.2	51, 927
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 50%)	97, 800	0.1	86, 515
สาหร่ายขนาดเล็ก (น้ำมัน 70%)	136, 900	0.1	121, 104

ที่มา: Mata et al. (2010)

โดยสาหร่ายที่ให้น้ำมันได้สูงพบทั้งในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว และไดอะตอม เช่น *Chlorella, Scenedesmus, Isochrysis, Tetraselmis* การศึกษาถึงปริมาณน้ำมัน (oil) ใน diatoms 6 ชนิดโดย Ying et al. (2001) พบปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) อยู่ใน *Chaetoceros gracilis* 6.97-10.78%, *Phaeodactylum tricornutum3.6-13.8* %, *Cylindrotheca fusiformis* 13.0-15.9%, *Nitzschia closterium* 4.1-5.4% (Xin et al., 2010; Ying et al., 2001)

การศึกษาปริมาณน้ำมัน (oil) ในสาหร่ายขนาดเล็ก พบปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) ใน *Botryococcus braunii* 25-75%, *Chlorella* sp. 28-32%, *Crypthecodinium cohnii* 20%, *Cylindrotheca* sp. 16-37%, *Dunaliella primolecta* 23%, *Isochrysis* sp. 25-33%, *Monallanthus salina* >20%, *Nannochloris* sp. 20-35%, *Nannochlorpossis* sp. 31-68%, *Neochloris oleoabundans* 35-54%, *Nitzschia* sp. 45-47%, *Phaeodactylum tricornutum* 20-30%, *Schizochytrium* sp. 50-77%, *Tetraselmis sueica* 15-23% (Chisti, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parson et al. (1961) ศึกษาไขมันไดอะตอม *Tetraselmis* sp. พบว่ามีไขมัน (lipid) 4% ปริมาณไขมันในสาหร่ายสีเขียว 3 ชนิด คือ *Chlorella* น้ำเค็ม, *Dunaliella tertiotecta* และ *Tetraselmis nele* พบว่าในตัวอย่างสาหร่ายแห้งดังกล่าวมีปริมาณไขมันดังนี้คือ *Dunaliella tertiotecta* 17.52 ± 0.07 % *Chlorella* 11.91 ± 0.3676 % และ *Tetraselmis nele* 11.05 ± 0.51 %

Mata et al. (2010) รายงานปริมาณไขมัน (% น้ำหนักแห้ง) ในสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิด โดยสาหร่ายมีไขมันในสาหร่ายต่าง ๆ เช่น *Ankistrodesmus* sp. 24.0–31.0%, *Botryococcus braunii* 25.0–75.0%, *Chlorella emersonii* 25.0–63.0%, *Chlorella protothecoides* 14.6–57.8%, *Chlorella sorokiniana* 19.0–22.0%, *Chlorella vulgaris* 5.0–58.0%, *Chlorella* sp. 10.0–48.0%, *Chlorella pyrenoidosa* 2.0%, *Chlorella* 18.0–57.0%, *Chlorococcum* sp19.3%., *Scenedesmus obliquus* 11.0–55.0%, *Scenedesmus quadricauda* 1.9–18.4%, *Scenedesmus* sp. 19.6–21.1%, *Spirulina platensis* 4.0–16.6%, *Spirulina maxima* 4.0–9.0% โดยสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผลิตไขมันได้ 10.3-142.0 mg/L/d และมีมวลชีวภาพใน 0.003-10 g/Lต่อวัน โดยใช้พื้นที่ในการผลิตมวลชีวภาพต่อกรัมคือ 0.57-130 ตารางเมตร ต่อวัน

การศึกษาปริมาณไขมันทั้งหมด (%น้ำหนักแห้ง) ของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่จากชายหาด Aqaba ประเทศจอร์แดนในระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนมิถุนายน พบว่ามีไขมันดังนี้ ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว *Ulva lactuca* 5.2±1.2%, *Enteromorpha compressa* 6.6±2.4% สาหร่ายสีน้ำตาล *Padina pavonica* 4.4±1.8%และสาหร่ายสีแดง *Laurencia obtuse* 2.4±0.3%โดยในสาหร่ายชนิดที่เป็นสีเขียวจะเป็นชนิดที่ให้ไขมันมากกว่าชนิดสีแดง และสีน้ำตาล (Wahbeh, 1997)

การศึกษาปริมาณไขมันทั้งหมด (%น้ำหนักแห้ง) ของสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่จากชายฝั่งของเกาะบอร์เนียวทางตอนเหนือ พบว่ามีไขมันดังนี้ ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera* 1.11±0.05%, สาหร่ายสีแดง *Eucheuma cottonii* 1.10±0.05%, และสาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum polycystum* 0.29±0.01% (Matanjun et al., 2008)

2.3 กรดไขมันในสาหร่าย

กรดไขมันมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่มีประโยชน์มากได้แก่ EPA ซึ่งกระตุ้นการสร้างโครงสร้างที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลางและเรตินาให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Meharban Singh, 2005) ลดอาการอักเสบของไขข้อ อักเสบของผิว (โรคสะเก็ดเงิน) ลดอาการอักเสบในลำคอ นอกจากนี้ยังลดอาการอักเสบของเนื้อร้าย (เซลล์มะเร็ง) ลดการเกาะตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดหรือที่เรียกว่าลิ่มเลือด กรดไขมัน EPA จึงนับได้ว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับทุกคน แต่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองต้องรับประทานเข้าไปเท่านั้น

DHA ช่วยป้องกันการสะสมตัวของไขมันอิ่มตัวหรือคอเลสเตอรอลอันเป็นสาเหตุให้เส้นเลือดอุดตัน ซึ่งนำไปสู่โรคหัวใจและเส้นเลือดในสมองแตก- ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ บำรุงสมอง บรรเทาอาหารของโรคไขข้ออักเสบ ลดการอักเสบของโรคผิวหนัง ช่วยลดความเครียด บรรเทาอาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมัน EPA พบได้โดยมากในน้ำมันปลาทะเลทั่วไป แต่การที่ปลามี EPA ได้ก็มาจากอาหารที่กินเข้าไปไม่ใช่จากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง การใช้สาหร่ายมาสกัดกรดไขมัน EPA ดึงดูดให้วงการวิจัยทางสิ่งมีชีวิตสนใจอย่างมากในช่วงเวลาไม่นานมานี้ (Chen et al., 2007)

น้ำมันของสาหร่ายมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มาก เช่น arachidonic acid (AA), eicospentaenoic acid (EPA), docasahexaenoic acid (DHA), gamma-linolenic acid (GLA) และ linoleic acid (LA) เป็นต้น (Chisti, 2007; Nuutila and Aura, 1997; Khozin-Goldberg and Cohen, 2006; Patil et al., 2005; Solovchenko et al., 2008; Vieler et al, 2007)

ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ดี จึงได้มีการศึกษาหาชนิดสาหร่ายขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่ให้กรดไขมันที่มีประโยชน์ในปริมาณมาก เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป โดยพบมีรายงานการศึกษาดังนี้ จากการศึกษาของ Matanjun et al. (2008) พบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีปริมาณ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid หรือ PUFAs) อยู่มากกว่าสาหร่าย *Caulerpa lentillifera, Sargassum polycystum* คือมีค่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 51.55% และมีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty) อยู่ที่ 25.17% สาหร่ายทั้ง 3 ชนิดมีกรดไขมันจำเป็นทั้ง linoleic acid (C18:2ω6), linolenic acid (C18:3ω3), the eicosanoid precursors arachidonic acid (C20:4ω6) และ eicosapentaenoic acid (EPA) (C20:5ω3) พบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีกรดไขมันโอเมกา-3 อยู่มากซึ่งมี EPA ประกอบอยู่ถึง 24.98% ของกรดไขมันทั้งหมด ส่วนสาหร่าย *Sargassum polycystum* เป็นชนิดเดียวที่พบกรดไขมัน docosahexaenoic acid (DHA) แต่พบในปริมาณน้อยแค่ 0.13% กรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) เป็นชนิดที่พบมากในสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และ *Sargassum polycystum* และพบว่าในสาหร่าย *Eucheuma cottonii* มีกรดไขมันโอเมกา-3 อยู่มากที่สุด 45.72%

สาหร่าย *Eucheuma cottonii* ที่มีปริมาณ กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFAs) มากที่สุดนั้นเนื่องจากเป็นลักษณะโดยทั่วไปของสาหร่ายสีแดง (Khotimchenko et al., 2008) สาหร่ายสีเขียวจะมีปริมาณของกรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) และจะมี PUFAs น้อย ซึ่งก็ไปสอดคล้องกับบันทึกการทดลองของ Dembitsky และคณะ (1991) ที่ทดลองโดยใช้สาหร่ายสีเขียวชนิด *Caulerpa* sp. ส่วน ส่วนสาหร่ายสีน้ำตาลที่มีปริมาณของกรดไขมัน Palmitic (C16:0) และ oleic acids (C18:1ω9) และจะมี PUFAs น้อยนั้นก็สอดคล้องกับบันทึกของ Hamdy and Dawes (1988) และ Herbreteau และคณะ (1997) ที่ทดลองโดยใช้สาหร่าย *Sargassum* ในสายพันธุ์ต่างๆ

การศึกษากรดไขมันในไดอะตอม *Nitzsghia laevis* แบ่งออกได้เป็น neutral lipid (NLs), glycolipid (GLs) และ phospholipids (PLs) โดย neutral lipid มีมากที่สุดคือ 78.6 % ของไขมันทั้งหมด triacylglycerol (TAG) จะมีมากใน neutral lipid (NLs) ถึง 87.9 % glycolipid มีอยู่ 8.1 % และ phospholipids มีอยู่ 11.6 % ของไขมันทั้งหมดและพบว่ามี phosphatidylcholine อยู่มากที่สุด 69.7 % กรดไขมันที่พบมากกว่าชนิดอื่นคือ tetradecanoic acid (C14:0), hexadecanoic acid (C16:0), palmitoleic acid (C16:1) และ EPA พบว่ากรดไขมัน EPA จะกระจายอยู่ทั่วไปในทุกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไขมันทั้ง triacylglycerol (TAG), monoglacylglycerol และ phosphatidylcholine (PC) (Chen et al., 2007)

2.4 การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการผลิตน้ำมัน

สายพันธุ์สาหร่ายที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งของน้ำมัน ควรเป็นสายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีปริมาณน้ำมันสูง และง่ายต่อการเก็บเกี่ยว โดยพบรายงานว่าปริมาณน้ำมันและกรดไขมันของสาหร่าย ผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Khotimchenko and Yakovleva, 2004; Merzlyak et al., 2007; Mulbry et al., 2008; สุนีรัตน์ 2549) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่ายมีหลายปัจจัยด้วยกันได้แก่

ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสง (light) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเจริญเติบโตอาจถูกยับยั้งหากได้รับแสงมากเกินไป อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของสาหร่าย มีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน

ปัจจัยทางเคมี เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ เช่น ไนโตรเจน มีหน้าที่หลักช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ สาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน เช่น สร้างขึ้นมาในรูปของน้ำมัน หรือแป้ง ฟอสฟอรัส เกี่ยวข้องกับขบวนการถ่ายทอดพลังงาน ขบวนการสร้างกรดนิวคลีอิกของสาหร่าย ถ้าขาดฟอสฟอรัสจำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์-เอ RNA, DNA ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง ส่วนปริมาณแป้ง คาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น เหล็กช่วยในการดูดซึมไนโตรเจนของสาหร่าย ช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยสร้างคลอโรฟิลล์-เอ phycocyanin

2.5 ปริมาณไขมันในสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปัจจัยทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน

2.5.1 ผลของไนโตรเจน เหล็ก และความเค็ม ต่อปริมาณไขมันในสาหร่าย

Converti et al. (2009) ได้ทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 1.500, 0.750 และ 0.375 g/L ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.375 g/L มีผลทำให้ *C. vulgaris* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.31 ± 0.51% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดจะทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Navicula oculata* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 0.300, 0.150 และ 0.075 g/L พบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.075 g/L มีผลทำให้ *N. oculata* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.86 ± 0.59%

Widjaja et al. (2009) ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* โดยเปรียบเทียบปริมาณไขมันรวมระหว่างสูตรอาหารปกติและสูตรอาหารขาดไนโตรเจน พบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลงเพราะในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลง ทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hsieh and Wu. (2009) ได้ทดลองลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ในการเลี้ยงสาหร่ายน้ำเค็ม *Chlorella* sp. ในสภาวะลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ที่ 0.025, 0.050, 0.100, 0.150 และ 0.200 g/L ผลพบว่า ยูเรียที่ระดับ 0.025 g/L มีผลทำให้ *Chlorella* sp. มีปริมาณไขมันสูงสุดคือ 0.661 g/g เพราะไนโตรเจนมีผลต่อขบวนการ metabolism ทำให้ปริมาณไขมันมากขึ้นในสาหร่ายขนาดเล็ก

Colla *et al.* (2007) ได้ทำการทดลองเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Spirulina platensis* สายพันธุ์ LEB-52 โดยใช้ sodium nitrate เป็นแหล่งไนโตรเจน ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน 4 ระดับ ที่ 0.625, 1.250, 1.875 และ 2.500 g/L โดยใช้ Zarrouk's medium เป็นอาหารมาตรฐาน (Zarrouk, 1966) โดยอาหารเลี้ยงเชื้อนี้ถูกใช้ในชุดทดสอบการเจริญเติบโตของ *S. platensis* การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ถูกเพาะเลี้ยงใน 201 photo-bioreactors ที่ปริมาณเริ่มต้น 141กรัม/ลิตร และความเข้มข้นของมวลชีวภาพ 0.15 กรัม/ลิตร หลอดแก้ว 2หลอดจะผ่านการปิดจุก photo-bioreactor หลอด 1 มาจากตัวอย่างและอีกหลอดสำหรับการให้อากาศ การเพาะเลี้ยงจะถูกเขย่าผสมกันโดยใช้อากาศเพาะเลี้ยงภายในเรือนกระจกภายใต้แสง 12 ชั่วโมง มืด 12 ชั่วโมง 40W fluorescent (Osram, Brazil), ให้แสงที่ 31.35 μmolphotons m^{-2} s^{-1} อุณหภูมิที่ 30 ºC และ 35 ºC การติดตามผลการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพในตัวอย่างที่ทำการเพาะเลี้ยงตลอด 24 ชั่วโมง ใช้เทคนิคปลอดเชื้อ การทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ชุด มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้พบว่า ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 2.500 g/L พบปริมาณไขมันสูงสุดคือ 8.16±0.23 % และที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.250 g/L ให้ปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือ 6.69±0.27 % ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.875 g/L พบปริมาณไขมันสูงสุดคือ 10.37±0.63 % และที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 0.625 g/L ให้ปริมาณไขมันต่ำที่สุดคือ 7.49±1.10 % จะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้นของ sodium nitrate 1.875 g/L ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด

Liu et al. (2008) ได้ทดลองเพิ่มเหล็กในการเลี้ยง *C. vulgaris* ในสภาวะ $FeCl_3$ ที่ 0, 1.2×10^{-8}, 1.2×10^{-7}, 1.2×10^{-6} และ 1.2×10^{-5} พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน Fe^{3+} ที่ 1.2×10^{-5} mol/L มีปริมาณไขมันสูงสุดคือ 56.6% เพราะ $FeCl_3$ ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน เมื่อเหล็กลดลงการดูดซึมไนโตรเจนลดลงทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดจึงทำให้เกิดสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

Takagi et al. (2006) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella teriolecta* ในระดับความ NaCl ที่ 0.5 และ 1.0 M พบว่าจากการเลี้ยงที่ให้ NaCl 1 M จะให้ปริมาณไขมัน 67% ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงใน NaCl 0.5 M ซึ่งให้ไขมัน 60%

2.5.2 ผลของแสงต่อปริมาณไขมันในสาหร่าย

นิพล (2547) ได้ทดลองเลี้ยง *Tetraselmis* sp. โดยให้ระยะเวลาการให้แสงสว่างแตกต่างกัน คือ ระยะเวลาการให้แสง : ไม่ให้แสง เท่ากับ 24 : 0 และ 12 : 12 เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 10 วัน พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสง : 24 : 0 ไขมันมีค่าเท่ากับ 3.73 ± 0.72 %น้ำหนักแห้ง ส่วนการให้แสง 12 : 12 ไขมันเท่ากับ 0.62 ± 0.10%น้ำหนักแห้ง การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 16 : 8 ชั่วโมง จะให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ ร้อยละ 6.42 ซึ่งสูงกว่าการให้แสงสว่างต่อมืดเท่ากับ 12 : 12 เพราะสาหร่ายเกิดความเครียดจากระยะเวลาของการสังเคราะห์แสงที่มาก และมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาของการหยุดสังเคราะห์แสงน้อย ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ และทำให้มีการสะสมของไขมันเพิ่มขึ้น

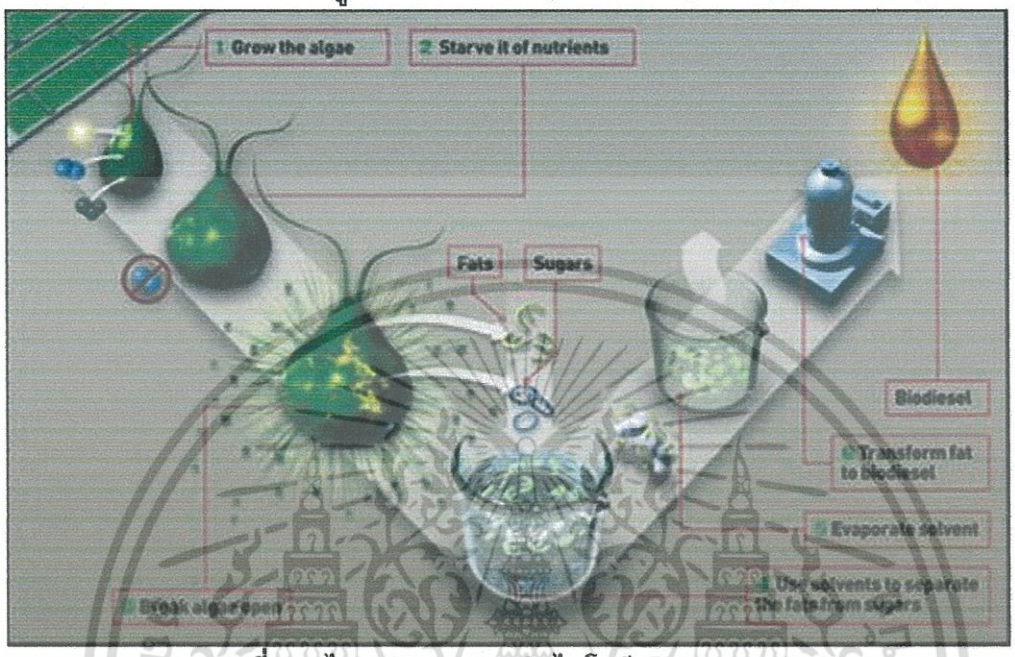
จากการศึกษาของ de la Pena (2007) ที่ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตในไดอะตอมน้ำลึกที่อยู่ในเขตร้อน *Amphora* sp. ซึ่งใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 8 วัน โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน 3 ความเข้มแสง ได้แก่ 11.4 µmol photon/m^2/s, 16.1 µmol photon/m^2/s และ 31.3 µmol photon/m^2/s โดยแต่ละความเข้มแสงก็จะให้อาหารทั้ง 3 สูตรที่แตกต่างกัน ผลที่ได้คือที่ความเข้มแสงต่ำที่สุด11.4 µmol photon/m^2/s มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.2±0.1 เพราะ ในความเข้มแสงต่ำจะมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากการย่อยและการดูดซึมสารอนินทรีย์ได้ดีกว่า

การเลี้ยง marine diatoms 6 ชนิดแล้วนำมาเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่ได้ที่ความเข้มแสง 5000 Lux และ 1500 Lux โดยเลี้ยงใน flask ขนาด 3 ลิตร ในสูตรอาหาร f/2 medium ที่อุณหภูมิ 22±1 °C และความเค็มที่ 28 ppt พบว่าปริมาณไขมันที่ของ *Chaetoceros gracilis* B13, *Phaeodactylum tricornutum* B118, *Phaeodactylum tricornutum* B221 และ *Cylindrotheca fusiformis* B211 ที่ความเข้มแสง 1500 Lux ให้ปริมาณไขมันสูง คือร้อยละ 10.78 ± 2.69, 5.93 ± 1.03, 13.38 ± 1.80 และ15.93 ± 0.91 ตามลำดับ สาเหตุที่เลี้ยงในความเข้มแสงต่ำแล้วให้ปริมาณไขมันสูง เพราะในความเข้มแสงต่ำสาหร่ายจะความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น (Ying et al., 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย

การผลิต biodiesel จากสาหร่าย ทำได้โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้ได้ปริมาณมาก มีไขมันสูง จากนั้นนำมาสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย ทำการแยกน้ำมันออกจากน้ำตาลที่เป็นอาหารสะสมของสาหร่าย และนำไปเปลี่ยนรูปเป็น biodiesel (Mata et al., 2010) (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ไดอะแกรมการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย
ที่มา : http://www.neduet.edu

ดังนั้นจึงพบได้ว่าการใช้สาหร่ายเป็นแหล่งน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลให้ได้ผลสำเร็จนั้น จะต้องมีสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสม เจริญเติบโตได้ดี ให้ปริมาณน้ำมันสูง สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่าย และใช้ต้นทุนในการเพาะเลี้ยงต่ำ จึงจะสามารถ ลดวิกฤตปัญหาด้านการขาดแคลนอาหารและพลังงานของมนุษย์ในอนาคต รวมถึงลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย

3.1.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่มีรายงานว่าผลิตน้ำมันได้สูงมาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำหัวเชื้อสาหร่ายขนาดเล็กที่คัดแยกสายพันธุ์ได้และที่มีอยู่แล้ว ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมงมาทำการเพาะเลี้ยงในขวดน้ำเกลือขนาด 1000 มิลลิลิตร โดยใส่หัวเชื้อสาหร่าย 10 มิลลิลิตร ลงในขวดน้ำเกลือที่บรรจุอาหารโดยไซยาโนแบคทีเรียเพาะเลี้ยงในสูตร BG-11 ส่วนสาหร่ายสีเขียวใช้สูตร chlorella medium ส่วนไดอะตอมใช้สูตร Conway medium โดยให้อากาศต่อเนื่องตลอดเวลา เพาะเลี้ยงที่ห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส วางไว้บนชั้นที่มีการติดหลอดไฟฟลูออเรซเซนต์ที่เปิดอยู่ตลอดเวลา เลี้ยงไว้เป็นระยะเวลานาน 7 วัน เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่สาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด จากนั้นนำสาหร่ายตั้งต้นทุกชนิดที่เลี้ยงไว้ในห้องปฏิบัติการมาเพาะเลี้ยงในโหลแก้วขนาด 10 ลิตรโดยใช้สาหร่ายตั้งต้น 1000 มิลลิลิตรต่ออาหาร 9 ลิตรซึ่งในการเลี้ยงนี้จะเลี้ยงในสภาวะปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิแต่จะให้แสงตลอด 24 ชั่วโมงและจะมีการให้อากาศตลอดเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนและสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างสาหร่าย อาหาร และแสง และทำการปิดปากโหลด้วยพลาสติกใส ทำการเลี้ยงเป็นเวลานาน 7 วัน เก็บเซลล์สาหร่ายเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมัน

3.1.2 การเก็บรวบรวมสาหร่ายขนาดใหญ่

สาหร่าย *Ulva rigida* และ *Ulva intestinalis* ได้รับมาจากสถานีประมงทะเลชายฝั่งจังหวัดตราดเดือนกุมภาพันธ์ 2555, สาหร่าย *Cladophora* sp.และ *Caulerpa* sp. ได้ทำการเก็บรวมจากเดือนพฤษภาคม 2555 และสาหร่าย *Acanthophora* sp., *Padina* sp. และ *Sargassum* sp. ได้ทำการเก็บรวมจากเดือนมีนาคม 2555 จากนั้นนำสาหร่ายทั้งหมดเข้า เครื่องอบ (Hot air oven) อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนสาหร่ายแห้ง แล้วนำมาวิเคราะห์ไขมันและกรดไขมันต่อไป

จากนั้นคัดเลือกชนิดสาหร่ายที่ให้ไขมันได้สูง สามารถเพาะเลี้ยงเพิ่มปริมาณมากได้ง่ายในสูตรอาหารราคาถูก มาทำการผันแปรสภาวะในการเพาะเลี้ยงเพื่อหาสภาวะที่ให้ไขมันและผลผลิตได้สูง โดยผันแปรปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางเคมี

3.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (Determination of lipid content)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันทำได้โดยการสกัดไขมันจากตัวอย่างสาหร่าย แล้วเปลี่ยนรูปกรดไขมันนั้นให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ของ methyl ester (derivatization) ด้วยกระบวนการ tranmethyllation จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีแบบคาพิลลารี (capillary gas chromatography; GC-14B, Shimadzu, Japan) ร่วมกับการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกผล integreter (C-R6A Chromatopac, Shimadzu) ประกอบกับบริเวณฉีดที่มี split injector และใช้ระบบตรวจแบบ flam ionization detector (FID) คอลัมน์ที่ใช้เป็นชนิดคาพิลลารี่ที่ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย fused silica megabore column ความยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.540 มิลลิเมตร ทำการเคลือบภายในด้วยฟิมล์หนา 1 ไมโครเมตร ที่ประกอบด้วยสาร cyanopropyl 25%, phenyl 25%, methylsiloxane 50% อุณหภูมิคอลัมน์ที่ใช้งานเท่ากับ 210 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของ Injector และ detector ที่ใช้เท่ากับ 250 องศาเซลเซียส ปริมาตรตัวอย่างที่ฉีดคือ 1 ไมโครลิตร และอัตราการแบ่งตัวอย่าง (Split rate) เท่ากับ 100:1 ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซพา (carrier gas) และปรับอัตราไหลของก๊าซเท่ากับ 41 มิลลิลิตรต่อนาที

3.2 การศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมัน : การหาสภาวะในการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไขมันสูง

ทำการเลือกสาหร่ายชนิดที่มีไขมันสูงและพิจารณาการเพาะเลี้ยงว่าสามารถทำได้ง่ายและมีความเป็นไปได้ในการนำไปเพาะเลี้ยงในระดับมหภาคเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตน้ำมันได้เพียงพอ โดยนำสาหร่ายที่ให้ไขมันสูงมาผันแปรสภาวะในการเลี้ยง เพื่อหาสภาวะที่ให้ไขมันสูงที่สุดโดยทำการผันแปรความเข้มแสง ระยะเวลารับแสง ความเค็ม ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวในอาหารสูตร Chlorella medium เลี้ยงสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียด้วยอาหารสูตร BG-11 และเลี้ยงไดอะตอมในอาหาร Conway medium ในขวดแก้วขนาด 1 ลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ จากนั้นทำการผันแปรปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสง (Lux) Light : Dark (ชม.) ความเค็ม (ppt) ปริมาณไนโตรเจน (%) ปริมาณฟอสฟอรัส (%) ปริมาณเหล็ก (%) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจนเข้าสู่ระยะปลายระยะการเจริญเติบโตเต็มที่ เก็บผลผลิตสาหร่าย วิเคราะห์ปริมาณไขมันที่ได้ในการเลี้ยงแต่ละสภาวะ โดยแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 4 ซ้ำ

3.3 การเพาะเลี้ยงระดับมหมวล

นำสาหร่ายที่ให้ไขมันสูงสุด มาเพาะเลี้ยงระดับมหมวลในถังกลางแจ้งความจุ 500 ลิตร และบ่อกลางแจ้งขนาดความจุ 1 ตัน โดยเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ให้ไขมันสูงสุด (จากข้อ 2) ใช้สารเคมีสูตรการค้า ทำการวิเคราะห์ไขมันและผลผลิตที่ได้ เพื่อหาวิธีในการเพาะเลี้ยงแบบมหมวลที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด และให้ไขมันสูงที่สุด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วางแผนการทดลองแบบ CRD เปรียบเทียบปริมาณไขมันของสาหร่ายที่เลี้ยงในแต่ละสภาวะ โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับคอมพิวเตอร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย

4.1.1 ปริมาณไขมันในสาหร่าย

ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *B. braunii* มีปริมาณไขมันมากที่สุด คือ 13.2 ± 0.2 % ส่วนในกลุ่มไดอะตอม *Isochrysis* sp. มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 6.3 ± 0.5 % กลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย *Arthrospira* มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 4.08 ± 0.15 % ในกลุ่มสาหร่ายขนาดใหญ่พบว่าสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* มีปริมาณไขมันมากที่สุดคือ 3.65 ± 0.26 % (ตารางที่ 4.1)

Wahbeh (1997) ทดลองนำสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ 4 ชนิดคือ *Ulva lactuca* (Chlorophyta), *Enteromorpha compressa* (Chlorophyta), *Padina pavonica* (Phaeophyta) และ *Laurencia obtuse* (Rhodophyta) มาศึกษาปริมาณไขมัน พบปริมาณไขมันในสาหร่ายสีเขียว *Ulva lactuca* 5.2±1.2 % และ *Enteromorpha compressa* 6.6±2.4 % และสาหร่ายสีน้ำตาลมีปริมาณไขมันทั้งหมดน้อยกว่าชนิดอื่นก็สอดคล้องกับการทดลองของ Matanjun และคณะ (2008) ได้ทำการทดลองโดยใช้สาหร่าย 3 ชนิดมาเป็นตัวแทนสาหร่ายทั้ง 3 ประเภทได้แก่ *Eucheuma cottonii* สาหร่ายสีแดง, *Caulerpa lentillifera* สาหร่ายสีเขียว และ *Sargassum polycystum* สาหร่ายสีน้ำตาล มาทำการหาปริมาณไขมันทั้งหมดโดยผลการทดลองพบว่าปริมาณไขมันทั้งหมด ในสาหร่าย *Sargassum polycystum* (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีน้ำตาลมีปริมาณไขมันน้อยที่สุดคือ 0.29±0.01%

4.1.2 ปริมาณและชนิดกรดไขมันที่พบในสาหร่าย

กรดไขมันที่พบในไซยาโนแบคทีเรียพบกรดไขมันโอเมกาในชนิด C18:2 Linoleic acid ในสาหร่ายทั้งหมด และพบกรดไขมันที่เหมือนกันในไซยาโนแบคทีเรียทุกชนิดคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Linoleic acid และสามารถพบ Docosahexaenoic acid หรือ DHA ได้ใน *Mastigocladopsis* โดยกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid (ตารางที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Matsunaga et al. (1995) ที่บันทึกไว้ว่าไซยาโนแบคทีเรียส่วนมากจะพบ กรดไขมัน C16:1 Palmitoleic acid อยู่อย่างโดดเด่นซึ่งในการทดลองนี้พบ C16:1 Palmitoleic acid ในสาหร่าย *Phormidium* sp. 54.5% และสาหร่าย *Oscillatoria* sp. 54.4% และจัดเป็นกรดไขมันที่มีมากที่สุดกว่ากรดไขมันชนิดอื่น

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียวทุกชนิดคือ Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Oleic acid โดยชนิดกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 22-62 %ของกรดไขมันทั้งหมด โดยพบว่าสามารพพบ EPA ได้ในสาหร่าย *Chlorella* น้ำเค็ม และ *U. intestinalis* และพบ DHA ได้ในสาหร่าย Chlorella ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม (ตารางที่ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไขมันที่พบในสาหร่าย

	ชนิดสาหร่าย	ปริมาณไขมันทั้งหมด (%)
Microalgae		
Cyanobacteria	*Hapalosiphon*	3.5 ± 0.0
	Stigonema	2.3 ± 0.4
	Nostoc	1.6 ±. 0.2
	Fischerella	1.5 ± 0.0
	Phormidium	2.3 ± 0.0
	Arthrospira	4.1 ± 0.1
	Mastigocladopsis	2.1 ± 0.0
	Oscillatoria	2.1 ± 0.0
Green algae	*Chlorella* sp. freshwater	4.5 ± 0.0
	Chlorella -marine	2.1 ± 0.1
	Botryococcus braunii K0	12.2 ± 0.5
	B. braunii K1	12.5 ± 0.5
	B. braunii K2	13.2 ± 0.2
	B. braunii K4	12.3 ± 0.4
	B. braunii K5	10.1 ± 0.4
Prasinophyte	*Tetraselmis* sp.	5.0 ± 0.4
Diatom	*Isochrysis* sp.	6.3 ± 0.5
	Chaetoceros sp.	2.4 ± 0.3
	Thalassiosira sp.	6.0 ± 0.5
Macroalgae		
Green algae	*Ulva*	2.3 ± 0.1
	Caullerpa lentilifera	2.2 ± 0.1
	Enteromorpha	2.1 ± 0.1
	Caullerpa	2.2 ± 0.0
	Cladophora	3.7 ± 0.3
Red algae	*Acanthophora*	2.0 ± 0.0
Brown algae	*Sagussum*	0.5 ± 0.0
	Padina	0.4 ± 0.1

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

140544

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายไดอะตอมทุกชนิดคือ Myristic acid, Palmitic acid, Palmitoleic acid และ Oleic acid โดยชนิดกรดไขมันที่แนวโน้มมีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16-44 %ของกรดไขมันทั้งหมด โดยพบว่าสามารพพบ EPA ได้ในไดอะตอมทั้งสามสกุลคือ *Chaetoceros*, *Isochrysis* และ *Tetraselmis* และพบ DHA ได้ในสาหร่าย *Chaetoceros* และ *Tetraselmis* (ตารางที่ 4.4) ส่วนใน *Acanthophora*, *Sargassum* และ *Padina* กรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ palmitic acid สามารถพบ EPA ได้ใน *Acanthophora* และพบ DHA ใน *Sargassum*

การศึกษาของ Hotimchenko (2002) ที่มีการบันทึกไว้ว่าพบกรดไขมัน DHA หรือ C22:6 Docosahexaenoic acid ในสาหร่าย *Ulva fenestrata* อยู่ 1.6 ± 0.1% การศึกษาของ Matanjun และคณะ (2008) ที่บันทึกไว้ว่า สาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum polycystum* มีการพบกรดไขมัน C22:6 Docosahexaenoic acid 0.13%

โดยพบว่าสาหร่ายที่มีกรดไขมันรวม C16-C18 ซึ่งเป็นกรดไขมันที่เหมาะกับการนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล อยู่ในปริมาณสูงมากกว่า 90 %ได้แก่ *Stigonema*, *Fischerella*, *Arthrospira*, *Nostoc* และ *B. braunii* ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสาหร่ายที่เหมาะสมที่จะนำไปศึกษาต่อคือ *B. braunii* เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูงที่สุด และมีชนิดกรดไขมันที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในไซยาโนแบคทีเรีย (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	cyanobacteria							
ชนิดกรดไขมัน	*Phormidium*	*Stigonema*	*Oscillatoria*	*Fischerella*	*Hapalosiphon*	*Arthrospira*	*Nostoc*	*Mastigocladopsis*
C14:0 Myristic acid	0	0	0	0	10.08 ± 0.91	0	0	1.71 ± 0.19
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	0	0	0	0	0	1.25 ± 0.11
C16:0 Palmitic acid	33.7 ± 4.01	26.54 ± 0.66	34.63 ± 3.74	31.96 ± 0.39	24.25 ± 0.41	58.89 ± 38.6	38.2 ± 4.88	40.81 ± 4.86
C16:1 Palmitoleic acid	10.57 ± 1.99	44.95 ± 1.74	8.46 ± 0.87	40.31 ± 1.08	42.44 ± 1.61	4.28 ± 0.75	14.26 ± 1.38	17.78 ± 3.8
C18:0 Stearic acid	22.24 ± 3.77	0	0	0	0	0.97 ± 0.84	0	4.73 ± 0.91
C18:1 Oleic acid	0	15.22 ± 0.77	27.74 ± 1.14	16.01 ± 0.16	12.94 ± 0.36	3.36 ± 0.06	8.18 ± 1.15	14.11 ± 1.92
C18:2 Linoleic acid	11.21 ± 1.34	6.18 ± 0.20	18.51 ± 1.06	11.71 ± 0.54	4.85 ± 0.07	11.21 ± 1.35	12.7 ± 1.32	5.58 ± 1.98
C18:3 γ-Linolenic acid	0	0	0	0	12.16 ± 1.65	0	0	0
C18:3 α-Linolenic acid	0	0	0	0	0	18.58 ± 2.67	0.87 ± 0.06	
C20:4 Arachidonic acid	0	0	0	0	0	0	0	0
C20:5 Eicosapentaenoic acid	0	0	0	0	0	0	0	0
C22:6 Docosahexaenoic acid	0	0	0	0	0	0	0	1.29 ± 0.01
Other	22.2 ± 3.09	7.1 ± 2.42	10.66 ± 4.65	0.025 ± 0.01	5.45 ± 1.52	3.12 ± 2.72	8 ± 11.40	11.86 ± 1.58
Total C16-C18	77.72	92.89	89.34	99.99	84.48	90.87	91.92	83.88

ตารางที่ 4.3 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีเขียว (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	green algae						
ชนิดกรดไขมัน	*Chlorella freshwater*	*Chlorella marine*	*U. intestinalis*	*Cladophra*	*C. racemosa*	*C. lentilifera*	*U. rigida*
C14:0 Myristic acid	2.35 ± 0.41	0	2.23 ± 0.31	17.57 ± 0.51	4.28 ± 0.99	3.89 ± 0.12	1.55 ± 0.08
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	0.62 ± 0.41	0	0	0	1.05 ± 0.33
C16:0 Palmitic acid	21.76 ± 0.66	23.84 ± 0.56	40.55 ± 4.46	50.8 ± 0.91	62.42 ± 8.53	55.68 ± 0.32	46.23 ± 1.05
C16:1 Palmitoleic acid	4.55 ± 0.11	5.74 ± 0.99	3.87 ± 0.44	9.80 ± 0.77	3.55 ± 0.21	5.90 ± 0.06	12.08 ± 3.10
C18:0 Stearic acid	1.01 ± 0.02	2.8 ± 0.03	0	0	0	2.19 ± 0.01	0
C18:1 Oleic acid	14.45 ± 0.37	9.4 ± 0.08	11.57 ± 1.05	21.82 ± 0.39	4.89 ± 0.46	3.83 ± 0.12	15.28 ± 3.11
C18:2 Linoleic acid	14.60 ± 0.22	23.46 ± 0.69	13.82 ± 1.21	0	8.30 ± 0.19	1.64 ± 0.10	1.25 ± 0.23
C18:3 γ-Linolenic acid	1.87 ± 0.03	0	0.83 ± 0.55	0	0	0	5.77 ± 0.24
C18:3 α-Linolenic acid	13.95 ± 0.21	20.42 ± 6.52	7.07 ± 0.42	0	3.15 ± 0.31	0	7.03 ± 1.77
C20:4 Arachidonic acid	0.21 ± 0.02	0.09 ± 0.12	1.95 ± 0.15	0	2.31 ± 0.48	0	0
C20:5 Eicosapentaenoic acid	0	0.09 ± 0.12	0.24 ± 0.16	0	0	0	0
C22:6 Docosahexaenoic acid	0.20 ± 0.04	0.065 ± 0.09	0	0	0	0	0.6
Other	25.04 ± 0.81	14.11 ± 6.54	17.26 ± 6.83	0.02 ± 0.01	11.13 ± 7.59	17.41 ± 0.39	9.14 ± 2.71
Total C16-C18	72.19	85.66	77.71	82.42	82.31	69.24	87.64

ตารางที่ 4.4 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบในสาหร่ายกลุ่มสาหร่ายสีแดง สีน้ำตาลและไดอะตอม (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

	red algae	brown algae		diatom		
ชนิดกรดไขมัน	*Acanthophora*	*Sargassum*	*Padina*	*Chaetoceros*	*Isochrysis*	*Tetraselmis*
C14:0 Myristic acid	6.07	7.65 ± 0.69	9.24 ± 0.66	12.72 ± 0.10	17.60 ± 2.0	6.20 ± 0.74
C15:0 Pentadecanoic acid	0	0	1.20 ± 0.37	0.68 ± 0.05	0	1.47 ± 0.18
C16:0 Palmitic acid	65.30 ± 10.71	60.67 ± 5.76	57.45 ± 3.89	28.99 ± 0.9	15.55 ± 2.26	44.14 ± 6.89
C16:1 Palmitoleic acid	0	5.05 ± 0.37	6.54 ± 0.95	26.00 ± 0.89	17.07 ± 8.77	24.49 ± 4.74
C18:0 Stearic acid	0	2.17 ± 0.28	5.76 ± 0.44	0	2.95 ± 0.67	1.10 ± 0.57
C18:1 Oleic acid	14.03 ± 1.88	12.89 ± 2.77	15.05 ± 1.36	17.54 ± 0.88	16.44 ± 6.20	7.14 ± 0.25
C18:2 Linoleic acid	0	2.12 ± 1.27	0	2.85 ± 0.07	1.94 ± 0.70	0
C18:3 γ-Linolenic acid	0	0	0	0	0	1.00 ± 0.54
C18:3 α-Linolenic acid	0	0	0	2.54 ± 0.34	0	0
C20:4 Arachidonic acid	0	0	0	0.86 ± 0.06	2.26 ± 1.78	1.47 ± 1.26
C20:5 Eicosapentaenoic acid	11.1 ± 0.92	0	0	0.85 ± 0.08	3.26 ± 3.43	2.28 ± 1.92
C22:6 Docosahexaenoic acid	0	0.65 ± 0.11	0	1.86 ± 0.71	0	0.58 ± 0.09
Other	6.54 ± 9.22	8.82 ± 2.42	4.79 ± 3.04	5.22 ± 0.31	22.96 ± 3.54	10.15 ± 0.25
Total C16-C18	79.33	82.9	84.8	77.92	53.95	77.87

ตารางที่ 4.5 กรดไขมัน (ร้อยละ) ที่พบใน *Botryococcus braunii* KMITL 2 (ค่าเฉลี่ย ± ค่ามาตรฐาน)

Fatty acid	Amount (%)	
	Hexane	Chlroform: methanol
Myristic acid (C14:0)	0.63	0.50
Pentadecanoic acid (C15:0)	-	0.14
Palmitic acid (C16:0)	35.91	32.48
Heptadecanoic acid (C17:0)	-	0.32
Stearic acid (C18:0)	11.52	12.98
Arachidic acid (C20:0)	-	0.15
Behenic acid (C22:0)	-	0.04
Lignoceric acid (C24:0)	-	0.06
Palmitoleic acid (C16:1n7)	2.36	1.91
trans-9-Elaidic acid (C18:1n9t)	-	0.18
cis-9-Oleic acid (C18:1n9c)	3.14	1.83
trans-Linolelaidic acid (C18:2n6t)	-	7.43
cis-9, 12-Linoleic acid (C18:2n6)	23.36	20.63
gamma-Linolenic acid (C18:3n6)	4.29	4.12
alpha-Linolenic acid (C18:3n3)	12.84	12.27
Arachidonic acid (C20:4n6)	-	0.04
cis-5, 8, 11, 14, 17-Eicosapentaenoic acid (C20:5n3)	1.01	-
Total C16-C18	93.42	94.15

4.2 การศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมัน : การหาสภาวะในการเลี้ยงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ไขมันสูง

4.2.1 ปริมาณไขมันใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ระยะเวลาการเลี้ยงต่างกันคือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าการเลี้ยงที่ 20 วันให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 8.08 ± 0.49 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเลี้ยงที่ 30 และ 40 วัน แต่ไม่แตกต่างกับการเลี้ยง 10 วัน และพบว่าการเลี้ยงที่ 30 วัน ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายแห้งที่สุดคือ 0.9771 ± 0.0719 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการเลี้ยงที่ 10 และ 20 วัน แต่ไม่แตกต่างกับการเลี้ยง 40 วัน (ตารางที่ 4.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาการเลี้ยง (วัน)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
10	7.68 ± 0.46^{c}	0.4143 ± 0.0074^{a}	0.0318
20	8.08 ± 0.49^{c}	0.6487 ± 0.0186^{b}	0.0524
30	5.37 ± 0.33^{b}	0.651 ± 0.0719^{c}	0.034
40	1.45 ± 0.26^{a}	0.9450 ± 0.0351^{c}	0.0137

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ความเข้มแสงที่ต่างกันคือ 1.333, 317.5, 726 และ 1, 955 Lux พบว่าความเข้มแสงที่ 1.333 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.2973 ± 0. 2722 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่ 317.5 Lux แต่ไม่แตกต่างกับความเข้มแสงที่ 10 วัน 726 และ 1, 955 Lux และความเข้มแสงที่ 1, 955 Lux ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายสูงที่สุดคือ 2.4862 ± 0.1329 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่ 1.333, 317.5 และ 726 Lux (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
1.333	$6.30 \pm 0. 27^{b}$	0.1937 ± 0.0418^{a}	0.0122
317.5	$4.67 \pm 0. 49^{a}$	0.3721 ± 0.0169^{a}	0.0174
726	$5.63 \pm 0. 42^{ab}$	0.8154 ± 0.0956^{b}	0.0459
1, 955	$5.04 \pm 0. 45^{ab}$	2.4862 ± 0.1329^{c}	0.1253

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ระยะเวลาการรับแสงที่ต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่งโมง พบว่าระยะเวลาการรับแสงที่ 24 ชั่วโมงให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 11.0851 ± 0.9295 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการระยะเวลาการรับแสงที่ 16 :

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8และ 14 : 10 ชั่วโมง แต่ไม่แตกต่างกับระยะเวลาการรับแสง 12 : 12 ชั่วโมง ระยะเวลาการรับแสงที่ 16:8 ชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 1.1237 ± 0.0964 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการระยะเวลาการรับแสงที่ 24 : 0, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ระยะเวลาการรับแสงที่แตกต่างกัน

Light : Dark (ชม.)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
24 : 0	11.09 ± 0. 46^{c}	0.2547 ± 0.0794^{a}	0.0282
16 : 8	9.08 ± 0. 49^{b}	1.1237 ± 0.0964^{c}	0.1020
14 : 10	8.83 ± 0. 49^{b}	0.6337 ± 0.0872^{b}	0.0560
12 : 12	7.25 ± 0. 41^{a}	0.6501 ± 0.1129^{b}	0.0472

(ความเข้มแสง 726 Lux)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ความเค็มที่ต่างกันคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 10 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.6346 ± 0.6856 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0, 5, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 15 ppt ให้ปริมาณน้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงที่สุดคือ 0.7572 ± 0.0104 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0, 5 และ 10 ppt แต่ไม่แตกต่างกับความเค็มที่ 20 ppt (ตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
0	5.09 ± 0.32^{a}	0.4148 ± 0.0462^{a}	0.0211
5	4.98 ± 0.50^{a}	0.4674 ± 0.0832^{a}	0.0233
10	6.63 ± 0.34^{b}	0.4896 ± 0.0480^{a}	0.0325
15	4.21 ± 0. 49^{a}	0.7572 ± 0.0104^{b}	0.0319
20	4.41 ± 0.47^{a}	0.6909 ± 0.0261^{b}	0.0304

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณไนโตรเจนที่ต่างกันคือ 200, 100, 50, 25 และ 10 % พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 10.5169 ± 0.5096 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 50 และ 200 % แต่ไม่แตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 25 และ 10% พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 25 % ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.4377 ± 0.0373 g/L และไม่แตกต่างนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 200, 100, 50 และ 10 % (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ปริมาณไนโตรเจน (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
200	5.18 ± 0.88^{a}	0.3284 ± 0.0664^{a}	0.0170
100	10.52 ± 0.51^{c}	0.3176 ± 0.0496^{a}	0.0334
50	8.15 ± 0.79^{b}	0.3036 ± 0.0270^{a}	0.0248
25	9.66 ± 0.48^{bc}	0.4377 ± 0.0373^{a}	0.0423
10	9.65 ± 0.42^{bc}	0.3138 ± 0.0771^{a}	0.0303

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่างกันคือ 200, 100, 50, 25 และ 10 % พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 7.6644 ± 0.4499 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % และไม่แตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100, 50 และ 10% พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 50% ให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.3894 ± 0.0365 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200, 25 และ 10 % แต่ไม่แตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100% (ตารางที่ 4.11)

การเลี้ยง *Hapalosiphon* sp. ที่ปริมาณเหล็กที่ต่างกันคือ 250, 200, 150, 100 และ 50 % พบว่าปริมาณเหล็ก ที่ 150% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 8.4254 ± 0.3781 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 250 % และไม่แตกต่างกับปริมาณเหล็กที่ 200, 100 และ 50% พบว่าปริมาณเหล็ก ที่ 200% ให้ปริมาณน้ำหนักของสาหร่ายสูงที่สุดคือ 0.5271 ± 0.0550 g/L และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 50 % และไม่แตกต่างกับปริมาณเหล็กที่ 250, 150 และ 100% (ตารางที่ 4.12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ปริมาณฟอสฟอรัส (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
200	5.50 ± 0.26^{a}	0.3273 ± 0.0354^{ab}	0.0180
100	7.35 ± 0.37^{b}	0.2483 ± 0.0186^{a}	0.0183
50	7.49 ± 0.49^{b}	0.3894 ± 0.0365^{b}	0.0291
25	7.66 ± 0.45^{b}	0.3761 ± 0.0364^{b}	0.0288
10	7.32 ± 0.22^{b}	0.2887 ± 0.0186^{ab}	0.0211

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ใน *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

ปริมาณเหล็ก (%)	ปริมาณไขมัน (%)	น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (g/L)	ผลผลิตไขมัน (g/L)
250	4.80 ± 0.48^{a}	0.3273 ± 0.0354^{ab}	0.0208
200	7.92 ± 0.50^{b}	0.2483 ± 0.0186^{a}	0.0417
150	8.43 ± 0.38^{b}	0.3894 ± 0.0365^{b}	0.0383
100	7.97 ± 0.50^{b}	0.3761 ± 0.0364^{b}	0.0320
50	7.15 ± 0.35^{b}	0.2887 ± 0.0186^{ab}	0.0248

(ความเข้มแสง 726 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.2 ปริมาณไขมันใน *Mastigocladopsis* sp. ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. ในเวลาที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าที่ระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 40 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) สูงสุดคือ 0.101 ± 0.006 day^{-1} มีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 10 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.785 ± 0.252 g/L มีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ปริมาณไขมันสูงสุดคือ 0.072 ± 0.013 g/L แต่ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 20 วัน ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 7.046 ± 0.170 % ซึ่งมีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

($p<0.05$) และให้ผลผลิตไขมันสูงสุดคือ 6.328±0.256 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่างกับระยะเวลาในการเลี้ยงที่ 10 และ 40 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.13)

ตารางที่ 4.13 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในการเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการเลี้ยง (day)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.064±0.006^{a}	0.103±0.032^{a}	6.440±0.379^{b}	0.006±0.002^{a}	4.147±0.397^{a}
20	0.090±0.004^{b}	0.298±0.084^{a}	7.046±0.170^{b}	0.025±0.002^{a}	6.328±0.256^{b}
30	0.095±0.006^{b}	1.145±0.056^{b}	5.734±0.382^{b}	0.067±0.002^{b}	5.438±0.365^{b}
40	0.101±0.006^{b}	1.785±0.252^{c}	4.306±0.791^{a}	0.072±0.013^{b}	4.368±0.276^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกันคือ 0, 400, 740 และ 4, 120 Lux พบว่าในความเข้มแสงที่ 0 Lux มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.310±0.098 ต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.200±0.086 g/Lมีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 23.31±1.92 % ให้ปริมาณไขมัน 0.295±0.023 g/L และให้ผลผลิตไขมัน 50.697±3.257 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่างกับความเข้มแสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.14)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกันคือ 24: 0, 16: 8, 14: 10 และ 12: 12 ชั่วโมง (สว่าง: มืด ชม.) พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 14:10 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.076±0.014 /day มีความแตกต่างกับการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.145±0.155 g/L ไม่มีความแตกต่างกับการให้แสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 30 ของการเลี้ยง ในด้านของปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 16:8 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดร้อยละ 7.114±1.216 % มีความแตกต่างกับการให้แสงที่ 14:10 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ปริมาณไขมันคือ 0.092±0.015 g/L มีความแตกต่างกับการให้แสงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ผลผลิตไขมัน 0.319±0.105 mg/L/d ซึ่งมีความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในวันที่ 30 ของการเลี้ยง (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.14 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.310±0.098^{a}	0.220±0.008^{a}	9.86±0.26^{ab}	0.022±0.001^{a}	30.545±9.651^{b}
400	0.170±0.014^{a}	0.415±0.040^{a}	12.90±2.53^{b}	0.054±0.004^{a}	21.969±1.771^{ab}
740	0.165±0.016^{a}	0.430±0.105^{a}	7.12±0.46^{a}	0.033±0.007^{a}	11.779±1.132^{a}
4120	0.217±0.014^{a}	1.200±0.086^{b}	23.31±1.92^{c}	0.295±0.023^{b}	50.697±3.257^{c}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.15 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน

สว่าง : มืด (ชม.)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
16:8	0.056±0.009^{ab}	1.145±0.155^{a}	7.114±1.216^{b}	0.092±0.015^{b}	3.953±0.610^{b}
14:10	0.076±0.014^{b}	1.035±0.190^{a}	3.989±0.291^{a}	0.039±0.006^{a}	3.050±0.559^{ab}
12:12	0.035±0.016^{a}	1.010±0.149^{a}	4.444±1.119^{ab}	0.042±0.007^{a}	1.565±0.706^{a}
24:0	0.067±0.004^{ab}	0.935±0.120^{a}	5.253±0.301^{ab}	0.045±0.004^{a}	3.504±0.203^{b}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกันคือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.102±0.027 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับระดับไนโตรเจนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ 50 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.050±0.141 g/L มีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 7.960±1.288 % ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 และ 100 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ให้ปริมาณไขมันสูงสุด 0.077±0.011 g/L ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % กลับให้ผลผลิตไขมันสูงสุดที่ 6.504±1.717 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกับระดับไนโตรเจนที่ 50 และ 100 % แต่มีความแตกต่างกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 และ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในระยะเวลาในปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.052±0.012^{a}	0.615±0.040^{a}	0.172±0.004^{a}	0.001±0.000^{a}	0.090±0.021^{a}
25	0.091±0.015^{a}	0.985±0.092^{b}	0.144±0.006^{a}	0.001±0.000^{a}	0.131±0.021^{a}
50	0.071±0.013^{a}	1.050±0.141^{b}	7.960±1.288^{c}	0.077±0.011^{c}	5.651±1.012^{b}
100	0.063±0.022^{a}	0.994±0.173^{b}	5.400±0.083^{b}	0.052±0.009^{b}	3.397±1.162^{b}
200	0.102±0.027^{a}	0.837±0.029^{ab}	6.382±0.168^{bc}	0.054±0.001^{b}	6.504±1.717^{b}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันคือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 100 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.165±0.002 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 50 และ 200 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ 10 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.190±0.509 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และพบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 200 % ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 4.826±0.144 % ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.036±0.004 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 %อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 7.714±0.090 mg/L/d มีความแตกต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.17)

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. โดยให้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันคือ 50, 100, 150, 200 และ 250 % พบว่าปริมาณเหล็กที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.082±0.009 day^{-1} ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และที่ปริมาณเหล็ก 100 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 0.810±0.420 g/L ไม่มีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และปริมาณเหล็กที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 % ให้ปริมาณไขมันทั้งหมดสูงสุดร้อยละ 9.09±2.48 % มีความแตกต่างกับที่ปริมาณเหล็กในระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และให้ปริมาณไขมันกับผลผลิตไขมันสูงสุดอีกด้วย คือ 0.537±0.315 g/L และ 13.529±0.836 mg/L/d ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกับปริมาณเหล็กในทุกระดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.18)

ตารางที่ 4.17 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.151±0.003^{a}	1.190±0.509^{a}	3.308±0.188^{a}	0.025±0.004^{a}	4.990±0.094^{a}
25	0.145±0.003^{a}	0.930±0.165^{a}	4.420±0.169^{b}	0.036±0.003^{b}	6.430±0.115^{c}
50	0.161±0.002^{b}	0.715±0.033^{a}	3.619±0.100^{a}	0.026±0.001^{a}	5.819±0.068^{b}
100	0.165±0.002^{b}	0.815±0.074^{a}	3.777±0.330^{a}	0.031±0.003^{ab}	6.218±0.058^{c}
200	0.160±0.002^{b}	0.760±0.087^{a}	4.826±0.144^{b}	0.036±0.004^{b}	7.714±0.090^{d}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.18 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
50	0.067±0.004^{a}	0.590±0.185^{a}	9.09±2.48^{b}	0.537±0.315^{b}	13.529±0.836^{c}
100	0.063±0.007^{a}	0.810±0.420^{a}	3.48±0.16^{a}	0.033±0.004^{a}	2.136±0.236^{a}
150	0.069±0.007^{a}	0.755±0.053^{a}	3.81±0.18^{a}	0.029±0.002^{a}	2.618±0.249^{a}
200	0.082±0.009^{a}	0.800±0.018^{a}	3.69±0.15^{a}	0.029±0.002^{a}	3.031±0.334^{a}
250	0.063±0.003^{a}	0.525±0.076^{a}	3.87±0.32^{a}	0.072±0.001^{a}	8.189±0.426^{b}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย *Mastigocladopsis* sp. ในความเค็ม ที่ต่างกันคือที่ความเค็มที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มที่ 20 ppt ส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มากที่สุดคือ 0.065±0.011 day^{-1} มีความแตกต่างกับความเค็มที่ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความความเค็มที่ 20 ppt ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 2.445±0.487 g/L มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในด้านของปริมาณไขมันพบว่าที่ความเค็มที่ 10 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 4.442±0.332 % มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับ 0, 5 และ 20 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลผลิตไขมันในระดับความเค็มที่ 20 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.072±0.011 g/L มีความแตกต่างกับความเค็มที่ระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และผลผลิตไขมันที่ความเค็ม 20 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.194±0.034 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกับความเค็มที่ 10 ppt อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.19)

ตารางที่ 4.19 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันของ *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงในความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.021±0.008^{a}	0.540±0.060^{a}	2.609±0.276^{a}	0.014±0.001^{a}	0.056±0.021^{a}
5	0.014±0.005^{a}	0.660±0.116^{a}	3.017±0.351^{b}	0.019±0.002^{a}	0.042±0.015^{a}
10	0.041±0.010^{a}	0.985±0.172^{b}	4.442±0.332^{c}	0.043±0.003^{a}	0.182±0.045^{b}
15	0.004±0.001^{a}	1.505±0.184^{c}	4.085±0.473^{c}	0.061±0.007^{a}	0.020±0.005^{a}
20	0.065±0.011^{b}	2.445±0.487^{d}	2.977±0.482^{d}	0.072±0.011^{b}	0.194±0.034^{b}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.3 ปริมาณไขมันใน *Oscillatoria limnetica* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีระยะเวลาการเลี้ยงที่ 10, 20, 30 และ 40 วันพบว่าระยะเวลาการเลี้ยงที่ 40 วันได้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.112±0.010 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาในการเลี้ยง ปริมาณไขมันที่ 40 วันให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ19.45±0.61 % แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะเวลาการลี้ยงอื่น และที่ผลผลิตไขมัน g/L/d ที่ 40 วันให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 19.45±0.61 g/L/d ซึ่งทุกระยะเวลามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลของการใช้ระยะเวลาการเลี้ยงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตดี ทำให้มีผลผลิตไขมันสูงขึ้นตามลำดับและส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.20 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการเลี้ยงที่ต่างกัน

ระยะเวลาในการเลี้ยง (day)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.036±0.003^{a}	0.280±0.042^{a}	12.53±0.46^{a}	0.031±0.002^{a}	0.338±0.111^{a}
20	0.058±0.002^{b}	0.370±0.010^{ab}	14.20±1.64^{a}	0.053±0.001^{a}	0.651±0.189^{b}
30	0.086±0.004^{c}	1.520±0.526^{b}	14.59±0.61^{a}	0.181±0.053^{ab}	0.911±0.284^{c}
40	0.112±0.010^{d}	1.420±0.531^{ab}	19.45±0.61^{a}	0.275±0.104^{b}	1.807±0.284^{d}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การเลี้ยง *O. limnetica* ในความเค็มที่ต่างกันคือที่ความเค็มที่ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าความเค็มไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (/day) โดยทุกความเข้มข้นของความเค็มมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความเค็มที่ 20 ppt ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.590±0.072 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 0 – 5 ppt ปริมาณไขมันที่ความเค็ม 0 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 7.25±1.07 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ทุกระดับของความเค็ม ผลผลิตไขมัน (g/L) ที่ความเค็มทุกๆความเค็มให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเค็มที่ 0 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.493±0.061 ความเค็มส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน คือเมื่อมีการเพิ่มความเค็ม (ppt) พบว่าให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งสาหร่ายและปริมาณไขมันลดลงแต่ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.21)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในความเข้มข้นของไนโตรเจนของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่า ไนโตรเจนไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (/day) โดยทุกความเข้มข้นของไนโตรเจนมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความเข้มข้นที่ 10% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายต่ำสุด คือ 0.990±0.195 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นอื่น ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 50% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 9.08±1.88 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นไนโตรเจนทุกระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเข้มข้น ผลผลิตไขมัน (g/L) ที่ความเข้มข้นทุกๆความเข้มข้นให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มข้นที่ 50% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.851±0.201 (ตารางที่ 4.22) การลดปริมาณไนโตรเจนลงจะทำให้มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นคาดว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักของสาหร่ายเมื่อสาหร่ายขาดธาตุอาหารจึงมีการยับยั้งหรือลดการเจริญเติบโตลงจึงทำให้สาหร่ายกักกันไขมันไว้มากกว่าที่จะนำมาใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

ตารางที่ 4.21 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.068±0.008^{a}	0.700±0.066^{a}	7.25±1.07^{a}	0.050±0.007^{a}	0.493±0.061^{a}
5	0.061±0.004^{a}	0.990±0.093^{a}	5.56±0.52^{b}	0.055±0.005^{a}	0.341±0.023^{b}
10	0.054±0.006^{a}	1.335±0.088^{b}	5.04±0.55^{b}	0.067±0.007^{a}	0.275±0.030^{c}
15	0.059±0.024^{a}	1.395±0.073^{b}	6.25±0.54^{c}	0.087±0.007^{a}	0.370±0.151^{b}
20	0.035±0.004^{a}	1.590±0.072^{b}	3.99±0.53^{d}	0.063±0.008^{a}	0.142±0.016^{c}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
200	0.115±0.004^{a}	1.185±0.185^{a}	4.23±0.19^{a}	0.049±0.008^{a}	0.360±0.112^{a}
100	0.123±0.009^{a}	1.350±0.093^{a}	5.73±0.12^{ab}	0.075±0.004^{a}	0.532±0.180^{a}
50	0.121±0.006^{a}	1.555±0.098^{a}	9.08±1.88^{b}	0.129±0.010^{a}	0.851±0.201^{b}
25	0.089±0.030^{a}	1.140±0.395^{a}	7.55±1.10^{ab}	0.100±0.017^{a}	0.488±0.247^{a}
10	0.100±0.010^{a}	0.990±0.195^{b}	6.94±1.15^{ab}	0.062±0.014^{a}	0.563±0.167^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าความเข้มข้นที่ 200% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.345±0.010 (g/L)มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้น 10, 25 และ 50% ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 50% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 9.08±1.88 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทุกระดับของความเข้มข้นให้ ผลผลิตไขมัน (g/L) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และที่ผลผลิตไขมัน ($gL^{-1}day^{-1}$) ที่ความเข้มข้นที่ 100% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.088±0.011 ฟอสฟอรัสไม่ส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมัน (g/L/d) แต่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและผลผลิตไขมัน (g/L) เมื่อได้สาหร่ายแห้งมากก็จะได้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.23) จากการทดลองพบว่าที่ฟอสฟอรัสที่ 100% ได้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือฟอสฟอรัสเป็นอีกธาตุอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตเมื่อมีมากเกินไปทำให้มีการเจริญเติบโตมากใช้พลังงานมากแต่เมื่อน้อยจะได้สาหร่ายที่ปริมาณน้อยทำให้ได้ไขมันไม่ดีเท่ากับระดับที่เหมาะสมกับความต้องการในสูตรอาหาร

ตารางที่ 4.23 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
200	0.123±0.002^{a}	1.345±0.010^{c}	5.92±0.49^{a}	0.080±0.001^{bc}	0.559±0.166^{a}
100	0.118±0.002^{a}	1.260±0.050^{c}	7.67±2.05^{a}	0.088±0.011^{c}	0.737±0.164^{a}
50	0.128±0.008^{a}	1.040±0.029^{b}	6.04±0.48^{a}	0.067±0.004^{b}	0.616±0.191^{a}
25	0.103±0.035^{a}	0.825±0.030^{a}	6.07±0.52^{a}	0.047±0.002^{a}	0.627±0.210^{a}
10	0.118±0.006^{a}	0.820±0.034^{a}	6.21±0.09^{a}	0.050±0.002^{a}	0.565±0.188^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันของอาหารสูตร *BG-11* ที่ 50, 100, 150, 200 และ 250% พบว่าความเข้มข้นที่ 250% ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 1.020±0.278 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกความเข้มข้น ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นเหล็ก 100% ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 6.67±0.29% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของเหล็กทุกระดับ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มข้นที่ 200% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.562±0.188 (ตารางที่ 4.24) เหล็กส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันที่ความเข้มข้น 200% มีการเจริญเติบโตดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดและมีผลผลิตไขมันสูงที่สุดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นอื่น แต่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและ % ของปริมาณไขมัน คาดว่าเหล็กสามารถช่วยดูดซึมไนโตรเจนเมื่อเหล็กมีปริมาณน้อยทำให้ดูดซับไนโตรเจนไปใช้งานไม่ได้จึงเกิดความเครียดและเกิดการสะสมไขมันมากกว่านำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

ระดับเหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
250	0.089±0.011^{b}	1.020±0.278^{a}	5.67±0.39^{a}	0.066±0.013^{b}	0.374±0.127^{a}
200	0.112±0.012^{ab}	0.975±0.278^{a}	6.22±0.32^{a}	0.053±0.014^{ab}	0.562±0.188^{b}
150	0.101±0.003^{ab}	0.825±0.074^{a}	5.08±0.66^{a}	0.040±0.003^{ab}	0.405±0.114^{a}
100	0.107±0.005^{b}	0.835±0.102^{a}	6.67±0.29^{a}	0.059±0.004^{b}	0.529±0.167^{b}
50	0.085±0.003^{a}	0.495±0.034^{a}	5.64±0.62^{a}	0.029±0.002^{a}	0.365±0.104^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยง *Oscillatoria limnetica.* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีความเข้มแสง 0, 400, 740 และ 4120 Lux พบว่าความเข้มแสงที่ 4120 Lux ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุดคือ 0.870±0.318 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกความเข้มแสง และปริมาณไขมันที่ความเข้มแสง 0 Lux ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 14.64±1.43 % มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงทุกระดับ และที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ความเข้มแสง 4120 Lux ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.264±0.084 g/L/d (ตารางที่ 4.25)ความเข้มแสงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันที่ความเข้มแสง 0 Lux มีการเจริญเติบโตดีที่สุดและมีปริมาณไขมันสูงที่สุดซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงอื่น แต่งไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสาหร่ายแห้งและผลผลิตไขมัน

จากการทดลองผลที่ได้นั้นเมื่อแสงที่ 0 Lux มีปริมาณไขมันสูงที่สุดแต่มีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะว่าสาหร่ายต้องการแสงไปใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตเมื่อไม่มีแสงทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ จึงมีการสะสมอาหารและไขมันไว้ทำให้มีปริมาณไขมันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของปริมาณความเข้มแสงต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.026±0.005^{a}	0.260±0.042^{a}	14.64±1.43^{b}	0.039±0.006^{a}	0.252±0.080^{a}
400	0.029±0.008^{a}	2.575±2.089^{a}	6.97±1.66^{a}	0.048±0.014^{a}	0.135±0.030^{a}
470	0.038±0.005^{ab}	0.660±0.119^{a}	5.80±0.45^{a}	0.037±0.006^{a}	0.166±0.056^{a}
4120	0.053±0.008^{b}	0.870±0.318^{a}	6.61±0.96^{a}	0.067±0.018^{a}	0.264±0.084^{a}

(L:D : 24:0 h)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยง *O. limnetica* ในของอาหารสูตร *BG-11* ที่มีการให้แสงต่างเวลากันที่ 16:8, 14:10, 12:12 และ 24:0 ชั่วโมงพบว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 14:10 ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.7800 ± 0.314 (g/L) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกช่วงเวลาและปริมาณไขมันที่ระยะเวลาที่ 12:12 ชั่วโมงให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 11.79±0.40 % แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะเวลาการให้แสงทุกช่วงเวลาและที่ผลผลิตไขมัน (g/L/d) ที่ช่วงเวลาที่ 14:10 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อช่วงเวลาที่ 16:8 และ 24:0 (ตารางที่ 4.26) จากระยะเวลาการให้แสงส่งผลทั้งต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน 14:10 มีการเจริญเติบโตดีที่สุดและแต่ระยะช่วงเวลาที่มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 12:12 เนื่องจากอาหารบางชนิดของสาหร่ายจะทำงานได้ดีในบางสภาวะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและทางกายภาพโดยเฉพาะกลางวัน-กลางคืน

ตารางที่ 4.26 ปริมาณไขมัน (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ของ *O. limnetica* ที่เลี้ยงในระยะเวลาการให้แสงต่างกัน

ระยะเวลาการให้แสง (ชั่วโมง)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
16:8	0.034±0.010^{a}	0.670±0.277^{a}	9.06±0.48^{a}	0.040±0.004^{a}	0.227±0.112^{a}
14:10	0.036±0.006^{a}	0.780±0.314^{a}	10.42±0.36^{a}	0.091±0.030^{a}	0.297±0.114^{b}
12:12	0.059±0.006^{a}	0.490±0.066^{a}	11.79±0.40^{a}	0.054±0.007^{a}	0.550±0.187^{ab}
24:0	0.077±0.047^{a}	0.140±0.318^{a}	10.09±0.40^{a}	0.014±0.007^{a}	0.755±0.482^{a}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ปริมาณไขมันใน *Botryococcus braunii* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน คือ 0, 400, 740 และ 4120 Lux พบว่าที่ความเข้มแสง 4120 Lux มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.179±0.009 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 4120 Lux คือ 2.025 ±0.120 กรัม/ลิตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ความเข้มแสง 4120 Lux มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 13.854±0.875 โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 740, 400, 0 Lux ความเข้มแสงที่ 4120 Lux ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.957±0.616 กรัม/ลิตร และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 0.280±0.016 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.27)

ตารางที่ 4.27 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.066±0.002^{a}	0.320±0.021^{a}	6.273±0.733^{a}	0.330±0.094^{a}	0.020±0.001^{a}
400	0.100±0.006^{b}	0.640±0.106^{b}	7.720±0.242$^{a, b}$	0.580±0.190^{a}	0.049±0.008^{b}
740	0.145±0.012^{c}	1.035±0.035^{c}	8.304±0.280^{b}	0.837±0.262^{a}	0.085±0.002^{c}
4120	0.179±0.009^{d}	2.025±0.120^{d}	13.854±0.875^{c}	1.957±0.616^{b}	0.280±0.016^{d}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ระยะเวลาให้แสงแตกต่างกัน คือ 16:8, 14:10, 12:12, 24:0 พบว่าพบว่าที่ระยะให้แสงมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 24:0 คือ 0.126±0.011 กรัม/ลิตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระยะให้แสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ระยะให้แสง 24:0 มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 16.995±0.062 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับระยะให้แสงที่ 12:12, 14:10, 16:8 ที่ระยะให้แสง 24:0 มีปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.732±0.491 กรัม/ลิตร และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด 0.230±0.011 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.28)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะให้แสงที่แตกต่างกัน

Light : Dark (h)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
16:8	0.101±0.008[a]	1.600±0.074[a]	14.321±0.062[a]	1.175±0.391[a]	0.115 ±0.004[a]
14:10	0.108±0.007[a]	1.665±0.151[a]	15.241±0.872[a]	1.220±0.392[a]	0.127±0.012[a]
12:12	0.125±0.008[a]	1.685 ±0.143[a]	15.942±0.935[a]	1.302±0.355[a]	0.140±0.012[a]
24:0	0.126±0.011[a]	1.820±0.083[a]	16.995±0.062[a]	1.732±0.491[a]	0.230±0.011[b]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ความเค็มแตกต่างกัน คือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าที่ความเค็ม 20 ppt มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.106±0.009 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ความเค็ม 15 ppt คือ 2.145±0.110 กรัม/ลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับความเค็มเค็มที่ 20 และ 10 ppt ตามลำดับ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ความเค็ม 0 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 9.817±0.386 ที่ความเค็ม 0 ppt ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.847±0.109 กรัม/ลิตร และที่ 15 ppt ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.136±0.016 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.29)

ตารางที่ 4.29 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในความความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
0	0.086±0.019[a, b]	0.700±0.057[a]	9.817±0.386[c]	0.847±0.109[b]	0.068±0.001[a]
5	0.063±0.002[a]	1.290±0.107[b]	6.255±0.401[b]	0.397±0.016[a]	0.080±0.008[b]
10	0.076±0.007[a]	2.060±0.108[c]	5.797±0.079[a, b]	0.440±0.045[a]	0.119±0.002[b]
15	0.085±0.004[a, b]	2.145±0.110[c]	6.343±0.592[b]	0.542±0.029[a]	0.136±0.016[c]
20	0.106±0.009[b]	2.125±0.216[c]	4.987±0.230[a]	0.535±0.048[a]	0.106±0.012[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 10, 20, 30 และ 40 วัน พบว่าที่ระยะเวลาเลี้ยง 40 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.101±0.006 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ 40 วัน คือ 1.055±0.051 กรัม/ลิตร ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ 40 วัน มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 46.563±10.436 ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 4.707±0.305 กรัม/ลิตร และให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.491±0.023 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาเลี้ยงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.30) จากผลทำให้ทราบได้ว่าที่ 40 วัน สาหร่าย *B. braunii* สามารถเจริญเติบโตได้น้ำหนังเซลล์แห้งมากที่สุด ซึ่งทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มสูงด้วย เนื่องจากสาหร่าย *B. braunii* มีไขมันภายในเซลล์เป็นจำนวนมากอยู่แล้ว เมื่อได้จำนวนเซลล์ที่มากก็จะทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายด้วย

ตารางที่ 4.30 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในระยะเวลาเลี้ยงที่แตกต่างกัน

ระยะเวลา(วัน)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.059±0.003^{a}	0.695±0.076^{a}	10.474±0.504^{a}	0.625±0.040^{a}	0.072±0.008^{a}
20	0.109±0.011^{b}	0.780±0.016$^{a, b}$	9.529±0.783^{a}	1.045±0.111^{a}	0.074±0.001^{a}
30	0.099±0.009^{b}	0.765±0.045$^{a, b}$	29.933±6.952^{b}	2.967±0.289^{b}	0.229±0.013^{b}
40	0.101±0.006^{b}	1.055±0.051^{b}	46.563±10.436^{c}	4.707±0.305^{c}	0.491±0.023^{c}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณเหล็กแตกต่างกัน คือ 50, 100, 150, 200 และ 250% พบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.085±0.006 ต่อวัน แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็กที่ 50, 100, 150, 200% โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ที่ปริมาณเหล็ก 200% คือ 0.865±0.028 กรัม/ลิตร ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็กที่ 50, 150, 100, 250% ตามลำดับ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 10.328±0.615 ที่ปริมาณเหล็ก 100% ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.842±0.055 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณเหล็ก 200% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.079±0.002 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับที่ปริมาณเหล็ก 250% (ตารางที่ 4.31)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
50	0.062±0.008[a]	0.575±0.029[a]	9.349±0.748[a]	0.582±0.078[a]	0.053±0.002[a]
100	0.064±0.005[a]	0.675±0.083[a, b]	9.871±0.471[a]	0.842±0.055[b]	0.066±0.008[a, b]
150	0.080±0.003[a]	0.635±0.109[a]	9.524±0.366[a]	0.767±0.029[a, b]	0.060±0.010[a, b]
200	0.081±0.013[a]	0.865±0.028[b]	9.137±0.246[a]	0.745±0.126[a, b]	0.079±0.002[b]
250	0.085±0.006[a]	0.760±0.062[a, b]	10.328±0.615[a]	0.665±0.064[a, b]	0.078±0.006[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณไนโตรเจนแตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 50% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.119±0.005 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ปริมาณไนโตรเจน 25% คือ 1.440±0.086 กรัม/ ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 25% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.351±0.307 ที่ปริมาณไนโตรเจน 50%ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 0.745±0.030 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณไนโตรเจน 25% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.091±0.005 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.32)

ตารางที่ 4.32 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.095±0.009[b]	1.030±0.047[a]	4.659±0.197[a]	0.432±0.044[a]	0.048±0.002[a]
25	0.114±0.003[c]	1.440±0.086[b]	6.351±0.307[b]	0.727±0.025[c]	0.091±0.005[d]
50	0.119±0.005[c]	1.285±0.054[b]	6.208±0.275[a, b]	0.745±0.030[c]	0.079±0.003[c]
100	0.102±0.004[b, c]	1.255±0.017[b]	5.327±0.129[a]	0.545±0.023[b]	0.066±0.009[b]
200	0.071±0.005[a]	1.025±0.067[a]	5.320±0.267[a]	0.380±0.027[a]	0.054±0.003[a]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงที่ปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200% พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25% มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.102±0.002 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุดที่ปริมาณฟอสฟอรัส 200% คือ 0.885±0.073 กรัม/ลิตร ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับที่ปริมาณฟอสฟอรัส 10, 25, 50, 100% ปริมาณไขมัน(%)พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25% มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.547±0.229 ที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25%ให้ปริมาณไขมันสูงสุด คือ 1.495±0.035 กรัม/ลิตร และที่ปริมาณไนโตรเจน 25% ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.123±0.016[b] มิลลิกรัม/ลิตร/วัน มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.33)

ตารางที่ 4.33 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *B. braunii* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/day)
10	0.091±0.006[a, b]	0.880±0.114[a]	13.381±0.441[c]	1.225±0.084[c]	0.117±0.015[a, b]
25	0.102±0.002[b]	0.850±0.116[a]	14.547±0.229[d]	1.495±0.035[d]	0.123±0.016[b]
50	0.088±0.005[a, b]	0.780±0.084[a]	9.961±0.164[a]	0.877±0.058[a]	0.077±0.008[a]
100	0.078±0.005[a]	0.730±0.076[a]	13.777±0.063[c]	1.080±0.070[b, c]	0.100±0.010[b]
200	0.083±0.005[a]	0.885±0.073[a]	11.610±0.199[b]	0.970±0.060[a, b]	0.102±0.008[b]

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.2.5 ปริมาณไขมันใน *Scenedesmus dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาเลี้ยง *S. dimorphus* ในความเข้มข้นของอาหารสูตร chlorella medium ที่ต่างกันคือที่ความเข้มข้น 100, 75, 50, 25 และ10 % พบว่าความเข้มข้นของอาหารไม่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันโดยในทุกความเข้มข้นของอาหารมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ น้ำหนักแห้งของสาหร่ายเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าความเข้มข้นของอาหารที่ 100 % ให้น้ำหนักแห้งของสาหร่ายสูงสุด คือ 0.930±0.019 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของอาหารที่ทุกระดับของความเข้มข้นอาหาร ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นของอาหารที่ 100 % ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดคือร้อยละ 19.28±0.29 ไม่มีความแตกต่างกันกับที่ความเข้มข้นของอาหาร 75 %, ปริมาณไขมันที่ความเข้มข้นของอาหาร 100 % ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 0.180±0.003 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของอาหารที่ทุกระดับของความเข้มข้นอาหาร และที่ผลผลิตไขมันที่ความเข้มข้นของอาหาร 100 % ให้ผลผลิตไขมันสูงสุด คือ 23.34±1.42 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างกันกับที่ความเข้มข้นของอาหาร 75 % (ตารางที่ 4.34)

ตารางที่ 4.34 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ที่ความเข้มข้นของอาหารสูตร chlorella medium แตกต่างกัน

ความเข้มข้นอาหาร(%)	μ (/day)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.127±0.006^{a}	0.655±0.009^{a}	15.24±0.17^{a}	0.098±0.000^{a}	19.44±1.02^{ab}
25	0.116±0.005^{a}	0.750±0.059^{b}	15.75±0.61^{a}	0.123±0.008^{b}	18.33±0.91^{a}
50	0.128±0.010^{a}	0.770±0.017^{b}	15.85±0.22^{a}	0.120±0.001^{b}	20.42±1.61^{ab}
75	0.122±0.004^{a}	0.785±0.022^{b}	18.50±0.23^{b}	0.146±0.003^{c}	22.68±0.82^{c}
100	0.121±0.007^{a}	0.930±0.019^{c}	19.28±0.29^{b}	0.180±0.003^{d}	23.34±1.42^{c}

(ความเข้มแสง 740 Lux, L:D : 24:0)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ระยะเวลาการรับแสงที่แตกต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 14 : 10 และ 12 : 12 ชั่วโมง (Light : Dark ชม.) พบว่า พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 16: 8 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.106±0.006 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.365±0.047 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมัน พบว่าระยะเวลาการให้แสงไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณไขมันโดยปริมาณไขมันที่ได้ในทุกระยะการให้แสงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณไขมัน ที่ระยะเวลาการให้แสงที่ 16: 8 ชั่วโมง ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 0.374±0.009 g/L ผลผลิตไขมัน ได้ค่าสูงสุด คือ 16.56±0.95 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.35)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* โดยให้ความเข้มแสงที่แตกต่างกันคือ 0, 400, 740 และ 4, 120 Lux พบว่าที่ความเข้มแสงที่ 4, 120 Lux ต่อวันมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.107±0.010 ต่อวัน โดยให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.810±0.124 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน พบว่าที่ความเข้มแสง 4, 120 Lux มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 19.76±0.28 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 400 Lux แต่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มแสงที่ 0 Lux ปริมาณไขมันสูงสุด ที่ความเข้มแสง 4, 120 Lux คือ 0.541±0.017 g/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่ผลผลิตไขมัน ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 21.17±2.05 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะการให้แสงที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.36)

ตารางที่ 4.35 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในระยะเวลาการให้แสงที่แตกต่างกัน

L:D (ชม.)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
24:0	0.086±0.002^{a}	1.050±0.017^{b}	15.46±0.54^{a}	0.163±0.003^{a}	13.08±0.31^{a}
16:8	0.106±0.006^{b}	2.365±0.047^{c}	15.57±0.44^{a}	0.374±0.009^{b}	16.56±0.95^{b}
14:10	0.089±0.003^{a}	1.250±0.052^{ab}	15.10±0.23^{a}	0.191±0.006^{a}	13.97±0.51^{a}
12:12	0.076±0.005^{a}	1.180±0.098^{a}	15.54±0.42^{a}	0.180±0.013^{a}	11.76±0.90^{a}

(ความเข้มแสง 740 Lux)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.36 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเข้มแสงที่แตกต่างกัน

ความเข้มแสง (Lux)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.0318±0.004^{a}	0.750±0.028^{a}	18.49±0.37^{a}	0.139±0.005^{a}	5.87±0.83^{a}
400	0.044±0.004^{a}	0.985±0.083^{ab}	19.68±0.19^{b}	0.185±0.013^{b}	8.74±0.90^{a}
740	0.040±0.006^{a}	1.105±0.081^{b}	19.17±0.19^{ab}	0.199±0.004^{b}	7.84±1.29^{a}
4, 120	0.107±0.010^{b}	2.810±0.124^{c}	19.76±0.28^{b}	0.541±0.017^{c}	21.17±2.05^{b}

(L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดที่สุดคือ 0.123±0.007 ต่อวัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 10 % ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนที่ 25, 50 และ 100 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และที่ปริมาณไนโตรเจนที่ 200 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.045±0.037 g/L ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ปริมาณไขมัน พบว่าที่ปริมาณไนโตรเจน 10 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 20.33±0.41 โดย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไนโตรเจนที่ 50 % ปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณไนโตรเจน 50 % คือ 0.184±0.007 g/L ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณไนโตรเจน 50 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 21.14±1.50 mg/L/dมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.37)

ตารางที่ 4.37 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

ไนโตรเจน (%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.077±0.007^{a}	0.855±0.041^{a}	20.33±0.41^{c}	0.169±0.005^{a}	15.67±1.47^{a}
25	0.115±0.004^{b}	0.885±0.026^{a}	18.30±0.39^{b}	0.165±0.004^{a}	21.06±0.73^{b}
50	0.115±0.008^{b}	0.970±0.048^{ab}	18.38±0.34^{b}	0.184±0.007^{a}	21.14±1.50^{b}
100	0.120±0.004^{b}	1.040±0.060^{b}	16.84±0.54^{a}	0.174±0.009^{a}	20.36±0.80^{b}
200	0.123±0.007^{b}	1.045±0.037^{b}	16.79±0.32^{a}	0.178±0.004^{a}	20.72±1.23^{b}

(ความเข้มแสง 740 Lux, L:D : 24:0)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 % พบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.132 ±0.002 ต่อวัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน และที่ปริมาณฟอสฟอรัสที่ 200 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.345±0.009 g/L ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณไนโตรเจนที่ 100 % ปริมาณไขมันพบว่าที่ปริมาณฟอสฟอรัส 10 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 19.35±1.20 โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 25 % ปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณฟอสฟอรัส 100 % คือ 0.192±0.006 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณฟอสฟอรัส 25 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 20.65±0.51 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ 10 % (ตารางที่ 4.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

ฟอสฟอรัส (%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน (%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
10	0.105±0.003 [a]	0.820±0.033 [a]	19.35±1.20 [c]	0.147±0.007 [a]	20.49±0.62 [c]
25	0.116±0.002 [b]	0.825±0.029 [a]	17.80±0.54 [c]	0.146±0.004 [a]	20.65±0.51 [c]
50	0.123±0.002 [b]	1.040±0.029 [b]	15.06±0.32 [b]	0.156±0.004 [ab]	18.67±0.30 [b]
100	0.123±0.005 [b]	1.260±0.049 [c]	14.94±0.53 [b]	0.192±0.006 [c]	18.42±0.37 [b]
200	0.132±0.002 [c]	1.345±0.009 [c]	12.70±0.23 [a]	0.172±0.001 [b]	16.86±0.25 [a]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยให้ปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันคือ 50, 100, 150, 200 และ 250 % พบว่าที่ปริมาณเหล็กที่ 200 % มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.120±0.006 ต่อวัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเหล็กที่ 250, 150 และ100 % แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเหล็กที่ 10 % ที่ปริมาณเหล็กที่ 250 % ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 1.715±0.012 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมันพบว่าที่ปริมาณเหล็ก 250 % มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 24.67±0.49 โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกันและมีปริมาณไขมันสูงสุดที่ปริมาณเหล็กคือ 0.430±0.004 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันที่ปริมาณเหล็ก 250 % ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 27.21±0.34 mg/L/d ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับปริมาณเหล็กที่ 200 % (ตารางที่ 4.39)

ตารางที่ 4.39 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปริมาณเหล็กที่แตกต่างกัน

เหล็ก(%)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
50	0.090±0.001 [a]	0.900±0.028 [a]	15.09±0.47 [a]	0.136±0.004 [a]	13.60±0.17 [a]
100	0.117±0.004 [b]	1.335±0.222 [b]	15.44±0.15 [a]	0.203±0.003 [b]	18.03±0.62 [b]
150	0.113±0.004 [b]	1.335±0.009 [b]	19.24±0.08 [b]	0.256±0.001 [c]	21.75±0.94 [c]
200	0.120±0.006 [b]	1.290±0.028 [b]	21.39±0.35 [c]	0.271±0.003 [d]	25.69±1.32 [d]
250	0.113±0.001 [b]	1.715±0.012 [c]	24.67±0.49 [d]	0.430±0.004 [e]	27.21±0.34 [d]

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* โดยมีความเค็มที่แตกต่างกันคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 ppt พบว่าที่ความเค็มที่ 5 ppt มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดคือ 0.077±0.002 ต่อวัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ที่ความเค็มที่ 10 ppt ให้น้ำหนักสาหร่ายแห้งสูงสุด คือ 2.495±0.046 g/L มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ปริมาณไขมันพบว่าที่ความเค็มที่ 5 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดเท่ากับร้อยละ 14.27±0.23 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเค็มที่ 10 และ 15 ppt และความเค็มที่ 10 ppt มีปริมาณไขมันสูงสุดที่ 0.298±0.003 g/L มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับทุกระดับความเค็มที่แตกต่างกัน ที่ผลผลิตไขมันความเค็มที่ 5 ppt ให้ผลผลิตสูงสุด คือ 12.37±1.34 mg/L/d มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระดับความเค็ม (ตารางที่ 4.40)

ตารางที่ 4.40 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในความเค็มที่แตกต่างกัน

ความเค็ม (ppt)	μ (/d)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ปริมาณไขมัน(%)	ปริมาณไขมัน (g/L)	ผลผลิตไขมัน (mg/L/d)
0	0.076±0.006^{b}	1.475±0.043^{a}	13.29±0.16^{c}	0.193±0.004^{b}	10.22±0.85^{bc}
5	0.086±0.009^{b}	1.580±0.056^{a}	14.27±0.23^{d}	0.229±0.006^{c}	12.37±1.34^{c}
10	0.075±0.001^{b}	2.495±0.046^{c}	11.80±0.22^{b}	0.298±0.003^{d}	8.92±0.18^{b}
15	0.077±0.002^{b}	2.022±0.105^{b}	11.96±0.29^{b}	0.244±0.011^{c}	9.22±0.27^{b}
20	0.056±0.002^{a}	1.365±0.167^{a}	10.81±0.06^{a}	0.157±0.013^{a}	6.12±0.22^{a}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

4.3 การเพาะเลี้ยงระดับมหมวล

การทดลองเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเพาะเลี้ยงขนาดความจุ 1000 ลิตร โดยใช้ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ซึ่งเป็นสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดนอกห้องปฏิบัติการ ผลพบว่าปริมาณไขมันลดลงจากที่ได้ในห้องปฏิบัติการมาก และการเลี้ยงโดยเพิ่มปริมาณเหล็กให้ไขมันมากที่สุดคือ 8.70±0.01 % แต่การเลี้ยงในสูตรอาหาร chlorella medium ปกติให้ผลผลิตไขมันสูงที่สุดคือ 2.44±0.04 mg/L/D (ตารางที่ 4.41) และเมื่อทดลองนำไปเลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้าที่ใช้สำหรับพืชทั่วไปคือสูตร 16-16-16 (ตารางที่ 4.42) และสูตร 18-12-6 (ตารางที่ 4.43) ผลพบว่าเมื่อเลี้ยงในสูตรปุ๋ยสูตร 18-12-6 ที่ 5 g/L สาหร่ายให้ไขมันมากถึง 44.83±2.10 % ส่วนการเลี้ยงในสูตรปุ๋ย16-16-16 ที่ 4 กรัมต่อลิตรให้ผลผลิตไขมันสูงที่สุด 52.35±3.68 mg/L/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.41 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกันเมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน(g/L)	lipid(mg/L/D)
Control	0.04±0.00^{a}	8.08±0.18^{b}	8.11±0.02^{a}	0.46±0.01^{a}	2.44±0.04^{a}
ลด N 2 เท่า	0.02±0.00^{b}	6.36±0.29^{d}	6.38±0.01^{c}	0.14±0.00^{d}	0.36±0.00^{d}
เพิ่ม Fe 2.5 เท่า	0.02±0.00^{b}	8.68±0.33^{a}	8.70±0.01^{a}	0.37±0.00^{b}	1.05±0.02^{b}
ลด P 10 เท่า	0.02±0.00^{b}	6.76±0.13^{c}	6.78±0.01^{b}	0.22±0.01^{c}	0.76±0.00^{c}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.42 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ในปุ๋ยสูตร 16-16-16 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

g/l	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน (g/L)	lipid(mg/L/D)
4	0.16±0.00^{b}	2.67±0.12^{d}	32.14±3.38^{a}	0.86±0.16^{a}	52.35±3.68^{a}
8	0.32±0.00^{a}	6.42±0.03^{c}	7.17±1.53^{b}	0.46±0.10^{c}	23.20±1.21^{b}
12	0.12±0.00^{c}	9.09±0.11^{b}	5.05±0.30^{c}	0.46±0.03^{c}	6.18±0.95^{c}
16	0.15±0.00^{b}	13.35±0.46^{a}	5.02±0.18^{c}	0.67±0.02^{b}	7.70±0.88^{c}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.43 การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันใน *S. dimorphus* ใน18-12-6 เมื่อเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล

g/l	μ(/days)	น้ำหนักแห้ง (g/L)	ไขมัน (%)	ผลผลิตไขมัน (g/L)	lipid(mg/L/D)
2.5	0.10±0.00^{b}	1.02±0.04^{d}	17.36±2.69^{b}	0.18±0.02^{d}	17.16±1.33^{b}
5	0.05±0.00^{c}	2.71±0.10^{c}	44.83±2.10^{a}	1.22±0.02^{a}	21.55±1.54^{a}
10	0.15±0.00^{a}	3.95±0.11^{b}	11.71±2.36^{c}	0.46±0.05^{c}	18.05±1.05^{b}
15	0.06±0.00^{c}	7.20±0.24^{a}	11.00±1.04^{c}	0.79±0.03^{b}	6.92±0.89^{c}

ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันในแถวแนวตั้งเดียวกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

แสงจัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเติบโตของสาหร่าย ภายในเซลล์ของสาหร่ายจะมีรงควัตถุหลักคือคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งจะใช้พลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่ได้มาจากน้ำ หรือแหล่งให้ไฮโดรเจนอื่นๆ เพื่อสร้างอาหารสำหรับใช้ในการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตามแสงอาจมีผลต่อการเจริญเติบของสาหร่ายได้มากขึ้นหรือน้อยลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ได้รับแสงความเข้มแสง และคุณภาพแสงที่เหมาะสม และนอกจากแสงจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรงแล้วยังมีบทบาทในด้านการกระตุ้นหรือลดการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการทางสรีรวิทยาของไซยาโนแบคทีเรียอีกด้วย

สาหร่ายสีเขียวมีช่วงความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5-7.5 กิโลลักซ์ ถ้าสาหร่ายได้รับความเข้มแสงมากเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงเนื่องจากกระบวนการต่างๆภายในเซลล์ถูกยับยั้ง ส่งผลให้การสะสมปริมาณสารภายในเซลล์เกิดความเปลี่ยนแปลงเพราะมีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ลดลง โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายซึ่งอาจมาจากลักษณะของถิ่นที่อยู่ที่แตกต่างกันในธรรมชาติ

การเลี้ยงสาหร่าย *Botryococcus braunii* ที่ความเข้มแสงสูงมีผลต่อการสังเคราะแสงของเซลล์สาหร่าย เมื่อมีปริมาณแสงมาก การสังเคราะแสงก็จะมากขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตมากสูงขึ้นและส่งผลให้ปริมาณไขมันสูงขึ้น เนื่องจากสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีการสะสมไขมันภายในเซลล์มากอยู่แล้ว เมื่อมีปริมาณเซลล์มากจึงทำให้ปริมาณไขมันสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Li และ Qin. (2005) ที่ได้ศึกษาสาหร่าย *Botryococcus braunii* สามสายพันธุ์จากจีน (CHN) , สหราชอาณาจักรอังกฤษ (UK) และ ญี่ปุ่น (JAP) ที่ 3 ระดับความเข้มแสงที่ 60,100 และ 300 W/m^2 ถูกใช้ในการทดลองกับ *B. braunii* สามสายพันธุ์ สำหรับดูการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน ในแต่ละความเข้มแสงมีการทำซ้ำ 3 ซ้ำใน flask 250 ML แสงใช้หลอด cool fluorescent ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ความเข้มแสงต่างกัน ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ºC พบว่าสายพันธุ์เจริญเติบโตที่เร็วที่สุดที่ CHN ที่ 60 W/m^2 และเจริญเติบโตช้าที่สุดที่ 300 W/m^2 ($p < 0.05$) ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับสาหร่าย *B.braunii* ทั้งสามสายพันธุ์คือที่ความเข้มแสง 60 W/m^2 โดยมีอัตราการเจริญดีที่สุดในทุกสายพันธุ์ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มแสงจะพบว่าในสายพันธุ์ CHN มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ในขณะที่บางสายพันธุ์ เช่น สายพันธุ์ JAP การเพิ่มความเข้มแสงกลับทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

สายพันธุ์ CHN ปริมาณไขมันสูงที่ 60 และ 100 W/m^2 ในขณะที่ปริมาณไขมันจากสายพันธุ์ UK สูงสุดที่ 60 W/m^2, และต่ำสุดที่ 300 W/m^2 เมื่อแสงถึง 300 W/m^2 ไขมันไม่แตกต่างกันระหว่างสามสายพันธุ์ ความเข้มแสงที่เหมาะสมกับสาหร่าย *B.braunii* ทั้งสามสายพันธุ์ต่อปริมาณไขมันในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันไป เช่น ในสายพันธุ์ JAP เมื่อมีการเพิ่มความเข้มแสงจะพบว่า ที่ 60 W/m^2 ถึง 300 W/m^2 เป็นช่วงความเข้มแสงที่สาหร่ายสายพันธุ์นี้สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยมีปริมาณไขมันสูงสุดที่ความเข้มแสง 100 W/m^2 และเมื่อเลี้ยงที่ความเข้มแสงสูง 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W/m^2 ปริมาณไขมันลดลง ในขณะที่สายพันธุ์ UK การเพิ่มความเข้มแสงจาก 60 W/m^2 ที่เป็นความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเป็น 100 W/m^2 กลับทำให้มีปริมาณไขมันลดลง

Khotimchenko *et al.* (2005) ที่ศึกษาถึงผลของความเข้มแสงต่อปริมาณไขมันในสาหร่ายสีแดงขนาดเล็ก *Tichocarpus crinitus* ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยง 3 สัปดาห์ ที่ความเข้มแสง 70 – 80 % photosynthetically active radiation (PAR) คือปริมาณแสงช่วงที่ความยาวคลื่น 400-700 nanometer และ 8 – 10 % ของ PAR ที่ความเข้มแสง 70 – 80 % ของ PAR น้ำหนักสดของสาหร่าย 3.4±0.3 mg/g ส่วนความเข้มแสง 8 – 10 % ของ PAR จะได้ 4.2±0.5 mg/gจากการวิเคราะห์ไขมันแต่ละชนิดซึ่งมีทั้ง glycolipids, phospholipids และ neutral lipids กลุ่มไขมันหลักที่สำคัญคือ glycolipids มี 57.5–62.7% ของปริมาณไขมันทั้งหมด ผลการทดลองที่ได้ปริมาณไขมันแต่ละชนิดในทั้งสองความเข้มแสงมีปริมาณที่ต่างกันที่ความเข้มแสง 70-80% ให้ปริมาณไขมันชนิด TG, MGDG สูงกว่า ส่วนที่ความเข้มแสง 8-10% ให้ปริมาณไขมันชนิด DGDG, SQDG, PC และ PG สูงกว่า ไขมันแต่ละชนิดมีประโยชน์คือเป็นโครงสร้างของเยื่อเซลล์ (Lipid bilayer) เป็นแหล่งให้พลังงานและเป็นแหล่งกำเนิดกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับสาหร่าย

Solovchenko *et al.* (2008) ทำการศึกษาถึงผลของความเข้มแสงต่อการเจริญเติบโตในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *P. incisa* ในที่ๆมีความเข้มแสงแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 14 วัน ได้แก่ ความเข้มแสงต่ำ (35 µmol photon/m^2/s) ความเข้มแสงปานกลาง (200 µmol photon/m^2/s) และความเข้มแสงที่สูง (400 µmol photon/m^2/s) โดย daylight fluorescent lamps และให้อากาศอย่างสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 25°C อาหารที่ใช้เลี้ยงคือ BG-11 ผลที่ได้คือความเข้มแสงที่สูงที่สุด 400 µmol photon/m^2/s มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.47 mg DW/day เพราะในความเข้มแสงที่สูงที่สุด 400 µmol photon/m^2/s จะทำให้สาหร่ายมีการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายให้เพิ่มสูงขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ying et al. (2001) โดยเลี้ยง marine diatoms 6 ชนิด แล้วนำมาเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่ได้ที่ความเข้มแสง 5000 Lux และ 1500 Lux โดยเลี้ยงใน flask ขนาด 3 ลิตร ในสูตรอาหาร f/2 medium ที่อุณหภูมิ 22±1 °C และความเค็มที่ 28 ppt พบว่าปริมาณไขมันของ *Chaetoceros gracilis* B13, *Phaeodactylum tricornutum* B118, *Phaeodactylum tricornutum* B221 และ *Cylindrotheca fusiformis* B211 ที่ความเข้มแสง 1500 Lux ให้ปริมาณไขมันสูง คือร้อยละ 10.78 ± 2.69, 5.93 ± 1.03, 13.38 ± 1.80 และ15.93 ± 0.91 ตามลำดับ สาเหตุที่เลี้ยงในความเข้มแสงต่ำแล้วให้ปริมาณไขมันสูง เพราะในความเข้มแสงต่ำสาหร่ายจะความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

ระยะเวลาให้แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยจะใช้สังเคราะห์แสงทำให้เซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้นและสาหร่าย *Botryococcus braunii* มีปริมาณไขมันภายในเซลล์มาก ทำให้เมื่อมีการเจริญเติบโตมาก ปริมาณไขมันก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Meseck *et.al.* (2005) เรื่องระยะเวลาการให้แสงต่อการเจริญเติบโต และสารอาหารของสาหร่าย *Tetraselmis chui* (สายพันธุ์ PLY429) โดยเลี้ยงในอาหารสูตร E/4 ที่ มีลักษณะความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอาหารคล้ายกับสูตรอาหาร Guillard's f/2 ควบคุมความเป็น กรด-ด่าง และอุณหภูมิที่ 18 ºC ในระยะเวลาเลี้ยง 28 วัน โดยช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่างกันคือ 24 : 0, 16 : 8, 12 : 12 และ 8 : 16 ชั่วโมง (Light : Dark ชม.) พบว่าระยะเวลาการให้แสงที่นาน อย่าง 24 : 0 ชั่วโมง มีอัตราการแบ่งเซลล์ต่อวันสูงสุด 0.61±0.04 และจำนวนเซลล์สุดท้ายเท่ากับ 2.833 ± 0.141x106 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยผลผลิตที่ได้มากกว่าระยะเวลาการให้แสงที่ 16 : 8, 12 : 12 และ 8 : 16 ชั่วโมง

ระยะเวลาที่สาหร่ายได้รับแสง (Photoperiod) มีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่ายเช่นกัน โดยทั่วไปแล้วในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระยะเวลาการให้แสงในการเลี้ยงไม่ควรจะต่ำเกิน 16 ชั่วโมง การมีช่วงมืดและสว่างเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากในช่วงมืดจะมีการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้น และในสภาพที่ให้แสงสว่างตลอด 24 ชั่วโมง จะบังคับให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงตลอดเวลาเกิดความจำเป็น (รวมทรัพย์, 2540) แต่อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการให้แสงอาจมีความเหมาะสมต่อสาหร่ายแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

Ho *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาสาหร่าย *Porphyridium cruentum* ที่เลี้ยงโดยให้แสง (Light :Dark) 6:8, 12:12 และ 18:6 ชั่วโมง เลี้ยงในที่มืดที่ให้กลูโคสและกลีเซอรอล ใน Erlenmeyer flasks 500 ml ที่ 30̊ C ความเข้มแสงที่ 10-25 μmol/m^2/s ในอาหารสูตร f/2 medium ระยะเวลา 25 วัน พบว่าการให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดคือ 19.9 (%,w/w) เนื่องจากธาตุอาหารบางชนิดในสาหร่ายจะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีแสงหรือไม่มีแสงที่ต่างกันไป เช่น จากกระบวนการตรึงไนโตรเจน (N_2-fixation) ซึ่งในการบวนการนี้จะต้องอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส ขึ้นอยู่กับ genus/spicies และสภาพทางกายภาพ เช่น กลางวัน/กลางคืนด้วย โดยเอนไซม์ไนโตรจีเนสจะสามารถทำงานได้ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สมถวิล และ อมรรัตน์ (2550) ได้ทำการวิเคราะห์ไขมันในสาหร่ายสีเขียว *Nannochloropsis oculata* ที่เลี้ยงโดยให้ระยะเวลาการให้แสง : ไม่ให้แสงแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 12:12, 14:10, 18:6 และ 24:0 ชั่วโมง พบว่า *Nannochloropsis oculata* ที่เลี้ยงที่ 24:0 ชั่วโมง ให้ปริมาณไขมันสูงสุดที่ 1.84 ± 0.21 %น้ำหนักแห้ง เพราะในการรับแสงตลอด 24 ชั่วโมง *Nannochloropsis oculata* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Botryococcus braunii* เนื่องจากในน้ำทะเลมีธาตุอาหารอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้สาหร่ายดึงเอาธาตุอาหารมาใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งทำให้เซลล์มีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตไขมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากความเค็มที่สูงส่งผลต่อเซลล์สาหร่าย ทำให้มีการสร้างคาร์โบไฮเดรตขึ้นมาป้องกันเซลล์มากขึ้น คาร์โบไฮเดรตที่มากส่งผลให้ให้ไขมันเพิ่มขึ้น โดยคาร์โบไฮเดรตที่มากถูกเปลี่ยนเป็นไขมันสะสมในเซลล์

Rao et al. (2007) ทำการศึกษาความเค็มในสาหร่าย *Botryococcus braunii* โดยเลี้ยงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml ใช้อาหาร Chu 13 medium 200 ml มีการเติม Sodium chloride ในอัตราตั้งแต่ 17-85 mM เลี้ยงเป็นเวลา 2 อาทิตย์ นำหัวเชื้อ B. *braunii* 20% (v/v) เก็บที่อุณหภูมิ 26±1 ºC ความเข้มแสงที่ 1.2±0.2 klux ให้แสงสลับมืด 16:8 ทุกวันเป็นเวลา 2 อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พบว่า B. *braunii* สามารถเจริญเติบโตได้ทุกความเค็มที่ทดสอบ (17-85 mM) ชีวมวลเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของความเค็มและชีวมวลสูงสุดคือ 17 mM และ 34 mM และภายใต้ความเค็มที่ 34-85 mM จะทำให้มีส่วนประกอบของไขมันในส่วนของ palmitic acid เพิ่มขึ้นเป็น 1.7-2.25 เท่า และมี oleic acid เพิ่มเป็น 2 เท่า ตามลำดับ

Takagi et al. (2006) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella teriolecta* ATCC 30929 ในอาหาร NORO medium ในระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 และ 1.0 M โดยเลี้ยงใน flsak ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 30 °C และความเข้มแสง 150 µmol m-2s-1 พบว่าจากการเลี้ยงที่ให้ NaCl ที่ 1.0 M ให้ปริมาณไขมันร้อยละ 67 % สูงกว่าที่ระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 M ให้ปริมาณไขมันร้อยละ 60 โดยที่ระดับความเข้มข้น NaCl ที่ 0.5 M มี Tricylglycerides (TG) ในไขมัน 40.8 %น้อยกว่าที่ความเข้มข้น NaCl ที่ 1.0 M มี Tricylglycerides (TG) ในไขมัน 56.6 %

ความเข้มข้นเกลือสูงนำไปสู่กลไกการปรับตัวของสาหร่ายเพื่อให้มีชีวิตอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ ในสภาวะดังกล่าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายในทางสรีรวิทยาและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย โดยพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมากจะสะสมสารอาหารเช่น กรีเซอรอล น้ำตาลแมนนิทอล (Mannitol) และ glycerol galatoside เมื่อต้องการความคุมน้ำและเกลือในเซลล์ (Osmoregulatory) ในการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของความเค็มหรือความดันออสโมติก (osmotic pressure) จากสภาพแวดล้อม ความเค็มที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในสาหร่าย (Hu, 2004)

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณไขมันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 9.95±0.34 % ได้จากการเพาะเลี้ยงในความเค็ม 10 ppt อัตราผลผลิตที่สูงสุดของไขมัน คือ 0.049 กรัมต่อลิตรพบที่ระดับความเค็มนี้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าที่ความเค็มสูงกว่า 10 ppt ไม่ได้กระตุ้นให้เกิดการสะสมไขมันในสาหร่ายสายพันธุ์นี้ และมีความเป็นไปได้ว่าเซลล์สาหร่ายอาจจะเก็บสะสมพลังงานเพิ่มขึ้นสำหรับการขับเกลือในรูปของ Na+ ในเซลล์เพื่อรักษาสมดุลออสโมติก (Vonshak และ Torzillo, 2004) จากนั้นจะลดปริมาณของอาหารที่สะสม (ไขมัน)

การเพิ่มขึ้นของความเค็มตั้งแต่ 0 ถึง 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหารนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของผลผลิตมวล 1.6 เท่าของมวลชีวภาพในสาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย โดยในสาหร่าย *Hapalosiphon* sp. มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของมวลชีวภาพในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีความเค็มสูง 15 ppt (0.76±0.01 กรัมต่อลิตร) เมื่อเปรียบเทียบกับ 0-10 ppt ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเค็มกระตุ้นการเจริญเติบโตในสายพันธุ์สาหร่ายนี้ การค้นพบนี้คล้ายกับรายงานของ Becker (1994) ที่พบว่าบางสายพันธุ์ของสาหร่ายน้ำจืดสามารถเพาะเลี้ยงได้ดีขึ้นในน้ำทะเลมากกว่าในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายปกติ Becker (1994) รายงานว่าน้ำทะเลในแหล่งธรรมชาตินั้นอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุหลัก และจุลธาตุอาหาร เป็นที่ต้องการสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายน้ำจืดหลายชนิด

เมื่อไซยาโนแบคทีเรีย ได้รับความเค็มจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลงทำให้มีการสะสมไขมันไว้ในเซลล์มากกว่านำไปใช้ในการเจริญเติบโต Khatoon *et al.* (2010) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย (*Oscillatoria* sp.) ใช้ระดับความเค็ม 6 ระดับ 0, 15, 20, 25, 30 และ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัมต่อลิตร ในแต่ละการทดลองทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทำการลดความเค็ม (ต่ำกว่า 30 g/L) ทำการ diluted น้ำทะเลกับน้ำกลั่น (MilliQ, Millipore, Germany) ในขณะที่ความเค็มสูง (35 g/L) จนกระทั่งได้ความเข้มข้นที่ต้องการ ทำการเลี้ยงใน Conway medium ที่อุณหภูมิ 28°C ความเข้มข้นแสงที่ 31.9 μE $m^{-2}s^{-1}$ สลับแสง-มืด 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและปริมาณไขมันวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าระดับความเค็มที่แตกต่างแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ การเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* sp. ที่ดีที่สุดคือ 25 g/L ปริมาณไขมันใน *Oscillatoria* sp. สูงสุด 25-35 g/L ดังนั้นระดับความเค็มที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Oscillatoria* sp. คือ 25 g/L แต่ในทางกลับกันปริมาณไขมันใน *Oscillatoria* sp. จะมีปริมาณไขมันมากที่ระดับความเค็มสูง

ปริมาณเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรงควัตถุ,โปรตีนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ สาหร่ายจะดูดซึมในรูป Fe^{+2} หรือ Fe^{+3} ถ้าหากขาดจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต และรูปร่างเซลล์ (สุนีรัตน์, 2549) โดยเหล็กเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน Liu et al. (2008) ศึกษาผลของความเข้มข้นเหล็กในการสะสมไขมันใน *C. vulgaris* โดยเลี้ยงในอาหาร F/2-Si medium ที่อุณหภูมิ 20±2 °C ภายใต้ความเข้มแสง 100 μmol/m^2/s โดยเปิดไฟสว่าง 14 h และปิดไฟ 10 h เลี้ยงจนเจริญเติบโตถึงระยะ late-exponential ที่ความเข้มข้นเหล็ก 2.22×10^{-6} mol/l หลังจากนั้นนำมาเลี้ยงใน flasks 250 ml แต่ละ flasks เลี้ยงที่ 200 ml ที่ Chelated iron อย่างเช่น เติม FeCl $6H_2O$/EDTA จำนวน 5 ระดับ คือ 0, 1.2×10^{-8}, 1.2×10^{-7}, 1.2×10^{-6}, 1.2×10^{-5} mol L^{-1} ตามลำดับ วิเคราะห์ไขมันด้วยสีย้อม Nile Red และสกัดไขมันจาก Chloroform/methanol (2/1,v/v) และชั่งน้ำหนัก พบว่าในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เติม $FeCl_3$ ที่ความเข้มข้นจาก 1.2×10^{-8} ถึง 1.2×10^{-6} mol L^{-1} เจริญเติบโตดีที่สุดและได้ความหนาแน่นเซลล์สูง แม้การเพาะเลี้ยงที่เติมด้วย Fe^{3+} 1.2×10^{-5} mol L^{-1} แสดงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะแรกจนถึงวันที่ 19 เริ่มเจริญเติบโตช้าลงและคงที่ก่อน ทรีทเมันท์อื่นๆ ความหนาแน่นเซลล์ระยะสุดท้ายการเพาะเลี้ยงที่เสริมด้วยความเข้มข้น Fe^{3+} สูง มีความหนาแน่นเซลล์ระยะสุดท้ายต่ำกว่าความเข้มข้น Fe^{3+} ต่ำ

ปริมาณไนโตรเจนจะมีผลต่อน้ำหนักแห้งของเซลล์สาหร่าย ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย โดยในปกติไนโตรเจน มีหน้าที่หลักในการสังเคราะห์แสง เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารหลายชนิดภายในเซลล์ เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิก สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานเอมไซม์ (สุนีรัตน์ ,2549) ในสภาวะที่มีการขาดไนโตรเจนหรือมีการจำกัดปริมาณไนโตรเจน จะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุของเซลล์ ในส่วนของอาหารสะสมจะเกิดการสะสมของสารประกอบคาร์บอนในปริมาณเพิ่มขึ้น อย่างเช่น พวกไขมัน หรือ โพลีแซคคาไรด์ เป็นผลให้เกิดการสะสมไขมันภายในเซลล์เพิ่มขึ้น (Hammond และ Glatz, 1988)

Xin et al.(2010) ในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ผลของไนโตรเจนต่อ ปริมาณไขมัน โดยมีระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน(NO_3–N)แตกต่างกันที่ 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร, 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร , 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร , 15.0 มิลลิกรัม/ลิตร และ 25.0 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีระดับความเข้มข้นไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นที่ 10.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในอาหารสูตร BG-11 ระยะเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °C ให้แสงสว่าง:มืดในอัตรา 14:10 ชั่วโมง ความเข้มแสง 55–60 μmol photons m^{-2} s^{-1} พบว่าที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงสุดถึง 30 %

Widjaja et al. (2009) ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* ในสูตรอาหาร Fitzgerald ในสภาพอาหารปกติ 4 ลิตร ให้แสง fluorescent 18 w 4 หลอด โดยเตรียมเป็นแนวตั้ง ระยะห่างจากเชื้อ 20 cm ให้แสงอย่างต่อเนื่อง ให้แสงเฉลี่ยที่ 30 μE/(m^2s) วัดปริมาณค่า optical density of cell โดยวัดค่าความดูดกลืนแสงที่ 682 nm ทุก 24 ชั่วโมง เก็บเกี่ยวเซลล์ที่ระยะใกล้ linear โดยความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ 1.1 × 10^7 cell/ml หลังจากนั้นตรวจสอบผลกระทบของการทำให้ขาดไนโตรเจน โดยเตรียมการเลี้ยง 1 ลิตร ที่ใกล้ระยะ linear แล้วเจือจางความเข้มข้นของไนโตรเจนให้ลดลงโดยทำให้เป็น 3 ลิตร และดำเนินการเลี้ยงสำหรับ 7 และ 17 วัน แล้วเก็บเกี่ยวโดยเปรียบเทียบปริมาณไขมันรวมระหว่างสูตรอาหารปกติและสูตรอาหารขาดไนโตรเจน ที่อัตราการไหลเวียน CO_2 20 ml/min โดยเลี้ยงภายใต้สูตรอาหารปกติ 15 และ 20 วัน หลังจากนั้นเปลี่ยนไปเลี้ยงในอาหารที่ขาดไนโตรเจน 7 และ 17 วัน แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น เพราะในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลง ทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

การ Converti et al. (2009) ได้ทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *C. vulgaris* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 1.500, 0.750 และ 0.375 g/L ตามลำดับ ในสูตรอาหาร Bold's Basal Medium โดยให้ นำไปเลี้ยงใน Erlenmeyer flask 2 ลิตร นาน 14 วัน ให้ความเข้มแสง 70.0 μEm^{-2} s^{-1} (ตารางที่ 4) ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.375 g/L มีผลทำให้ *C. vulgaris* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.31 ± 0.51% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียด จึงทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism โดยสาหร่ายจะเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นไขมันแทน

เมื่อเทียบกับการทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Nannochloropsis oculata* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 0.300, 0.150 และ 0.075 g/L ตามลำดับ ในสูตรอาหาร Guillard นำไปเลี้ยงใน Erlenmeyer flask 2 ลิตร นาน 14 วัน ให้ความเข้มแสง 70.0 μE/m^2/s ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.075 g/L มีผลทำให้ *N. oculata* มีปริมาณไขมันสูงที่สุดคือ 15.86 ± 0.59% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดจะทำให้มีปริมาณไขมันสูงและไขมันที่มาจากขบวนการ metabolism โดยสาหร่ายจะเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นไขมันแทน แต่สาเหตุที่ในการทดลองปริมาณไนโตรเจนที่ 100% มีปริมาณไขมันดีที่สุด คาดว่า *Hapalosiphon* sp. เป็นสาหร่ายกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งมี heterocyst ที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศเองได้ ดังนั้นเมื่อมีการลดปริมาณไนโตรเจนลงจึงไม่มีผลต่อปริมาณไขมันใน *Hapalosiphon* sp.

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต มีบทบาทต่อกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก รวมทั้งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยให้ค่ากรด-เบส ค่อนข้างคงที่ ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการเจริญเติบโต คือ โปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์-เอ RNA และ DNA จะลดลง แต่แป้งหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (ลัดดา,2540) ผลที่มักเกิดขึ้นในการตอบสนองต่อความเครียดจากสารอาหารของเซลล์สาหร่ายคือ เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ของเซลล์ เมื่อฟอสฟอรัสที่จำนวนจำกัดจะทำให้มีการลดลงของปริมาณโปรตีน และค่อนข้างเพิ่มการสะสมของไขมันและคาร์โบไฮเดรต (Bertilsson et al., 2003) สำหรับฟอสฟอรัสที่มีจำกัดสามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน โปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตได้

โดยสอดคล้องกับรายงานของ Xin et al.(2010) ในสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ผลของฟอสฟอรัส (PO_4-P) ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันโดย มีระดับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกันที่ 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ในอาหารดัดแปลงสูตร BG-11 ระยะเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 25 ºC ให้แสงสว่าง:มืดในอัตรา 14:10 ชั่วโมง ความเข้มแสง 55–60 µmol photons/m^2 /s พบว่าที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 2.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ได้ปริมาณชีวมวลของสาหร่ายสูงสุดคือ 0.98 ± 0.12 x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรต่อวัน ที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงสุดถึงร้อยละ 53 ต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย แต่ได้ปริมาณชีวมวลของสาหร่ายค่อนข้างต่ำเช่นเดียวกันกับไนโตรเจนที่ 2.5 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 0.26 ± 0.01 x10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

การที่ลดความเข้มข้นของอาหารลงจากสูตรปกติ เมื่อสารอาหารทุกกลุ่มลดลงไม่ว่ากลุ่มธาตุอาหารหลักเช่นพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกลุ่มธาตุอาหารรองเช่น เหล็ก แมงกานีส ฯลฯ เป็นผลให้สาหร่ายได้รับสารอาหารน้อยลงการเจริญเติบโตจึงลดลงไป ในส่วนของปริมาณไขมัน การที่สารอาหารน้อยลงจะส่งผลให้สาหร่ายนั้นลดการนำเอาพลังงานไปใช้ในการเจริญเติบโต เกิดการสะสมอาหารมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณไขมันสูงขึ้นด้วย โดยสังเกตได้จากที่ระดับความเข้มข้นของอาหารที่ 50, 25 และ 10 % ยังคงมีปริมาณไขมันที่ดี โดยปริมาณไขมันนั้นไม่ได้ลดลงไปตามความเข้มข้นของอาหารที่น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การคัดเลือกสาหร่ายที่ผลิตน้ำมันได้สูงโดยทำการคัดเลือกจากไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม สาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีน้ำตาล พบว่าสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* มีไขมันมากที่สุด โดยกรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดในสาหร่ายทุกชนิดคือ palmitic acid พบกรดไขมันโอเมกา Linoleic acid ในสาหร่ายเกือบทุกชนิด พบ Docosahexaenoic acid (DHA) ใน *Mastigocladopsis*, *Chlorella*, *Chaetoceros*, *Tetraselmis* และ *Sargassum* พบ EPA ได้ใน *Chlorella* น้ำเค็ม, *U. intestinalis*, *Chaetoceros*, *Isochrysis*, *Tetraselmis* และ *Acanthophora* สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำมันของสาหร่ายแต่ละชนิดคือ สาหร่าย *Hapalosiphon* sp. ที่เลี้ยงภายใต้การได้รับแสงต่อเนื่อง มีปริมาณไขมันสูงสุด 11.09±0.46%, *Mastigocladopsis* sp. ที่เลี้ยงภายใต้การได้รับแสง 4120 ลักซ์ ให้ปริมาณไขมันสูงสุด 23.31±1.92%, *Oscillatoria limnetica* เลี้ยงเป็นเวลา 40 วัน ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด 19.45±0.61%, *Botryococcus braunii* เลี้ยงเป็นเวลา 40 วัน ให้ปริมาณไขมันสูงที่สุด46.56±10.43% และ*Scenedesmus dimorphus* ที่เลี้ยงภายใต้อาหารที่มีเหล็กเพิ่มขึ้นจากสูตรปกติ 250% ให้ปริมาณไขมันสูงสุด 24.7±0.49% การทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในระดับมหมวล พบว่าการเลี้ยงโดยใช้ปุ๋ยสูตร 18-12-6 ที่ 5 g/L สาหร่ายให้ไขมันมากที่สุด 44.83±2.10 % ส่วนการเลี้ยงในสูตรปุ๋ย16-16-16 ที่ 4 g/L ให้ผลผลิตไขมันสูงที่สุด 52.35±3.68 mg/L/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Antoni, D.; Zverlov, V.V.; and Schwarz, H. 2007. Biofuels from Microbes. Appl. Microbiol. Biotechnol. 77:23-35.

Bertilsson, S., O. Berglund, D.M. Karl, S.W. Chisholm. 2003. Elemental composition of marine Prochlorococcus and Synechococcus: implications for the ecological stoichiometry of the sea, Limnol. Oceanogr. 48 : 1721–1731.

Chen, G. Q., Jiang, Y. and Chen, F. 2007. Fatty acid and lipid class composition of the eicosapentaenoic acid-producing microalga, *Nitzschia laevis*. Food Chemistry. 104 : 1580–1585.

Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25:294–306.

Chisti, Y. 2008. Biodiesel from Microalgae Beats Bioethanol. Trends Biotechnol. 26:126-131.

Chunleuchanon, S., Sooksawang, A., teaumroong, N and Bookerd. 2003. Diversity of nitrogen-fixing cyanobacteria under various ecosystems of Thailand: population dynamics as affected by environmental factors. World Journal of Microbiology & Biotechnology 19 : 167-173.

Colla, L.M., C.O.Reinehr, C.Reichert and J.A.V.Costa. 2007. Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. Bioresource Technology 98 : 1489–1493.

Converti, A., A.A. Casazza, E.Y. Ortiz, P. Perego and M.D. Borghi. 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. Chemical Engineering and Processing 48: 1146-1151.

Critchley, A.T. 1993. Seaweed cultivation and marine ranching. Kanagawa International Fisheries Training Center, Japan International Cooperation Agency, Yokosuka.

Desikachary, T.V., 1959. Cyanophyta. Botany Department, University of Madras. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi, Indian. 868 page.

Hamdy, A.E.A, and Dawes, C.J.1988. Proximate constituents and lipid chemistry in two species of from the west coast of Florida. Bot Mar. 31:79–81.

Herbreteau F, Coffard L.J.M., Derrien A, . De Roeck-Holzharuer Y. 1997. The fatty acid composition of five species of macroalgae. Bot Mar. 40:25–27.

Ho Oh, S., J.G. Han, Y.Kim, J.H. Ha, S.S. Kim, M.H. Jeong, H.S. Jeong, N.Y.kim, J.S. Cho, W.B. Yoon, S.Y. Lee, D.H. Kang, and H.Y. Lee 2009. Lipid production in *Porphyridium*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cruentum growth under different culture condition. Journal of Bioscience and Bioengineering. 5:429-434

Hotimchenko, S. V. 2002. Fatty Acid Composition of Algae from Habitats with Varying Amounts of Illumination. *Russian Journal of Marine Biology.* 28(3) : 218–220.

Hsieh, C.H., and W.T. Wu. 2009. Cultivation of microalgae for oil production with a cultivation strategy of urea limitation. Bioresource Technology 100 : 3921-3926.

http://sciinaction.blogspot.com/2007/12/blog-post_18.html

http://www.ku.ac.th/emagazine/july46/agri/seaweed.html

http://www.neduet.edu.pk/environmental/Bio_Diesel_Online/algae_biodiesel.ht

http://www.omega3.truebc.com/epa.html

http://www.thaidogcenter.com/vb/showthread.php

Huang, G.H., Chen, F., Wei, D., Zhang, X., and Chen, G. 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. Applied Energy. 87:38–46

Khatoon, H., S. Banerjee, F. M.Yusoff ang M. Shariff .2010. Effects of salinity on the growth and proximate composition of selected tropical marine periphytic diatoms and cyanobacteria. Aquaculture Research 41:1348-1355

Khotimchenko S.V., I.M. Yakovleva 2005. Lipid composition of the red alga *Tichocarpus crinitus* exposed to different levels of photon irradiance Phytochemistry 66: 73–79

Khotimchenko, S.V. 2002. Fatty Acid Composition of Algae from Habitats with Varying Amounts of Illumination. *Russian Journal of Marine Biology.* 28(3) : 218–220.

Khotimchenko, S.V. and Yakovleva, I.M. 2004. Effect of solar irradiance on lipids of the green alga *Ulva fenestrata* Postels et Ruprecht. Bot Mar. 47:395–401.

Khozin-Goldberg, I. and Cohen, Z. 2006. The effect of phosphate starvation on the lipid and fatty acid composition of the fresh water eustigmatophyte Monodus subterraneus. Phytochemistry 67:696–701.

Li, Y. and J.G.Qin. 2005. Comparison of growth and lipid content in three *Botryococcus braunii* strains. Received 17 February 2005; accepted and revised 19 September 2005

Liu, Z.Y., G.C. Wang, and B.C. Zhou. 2008. Effect of iron growth and lipid accumulation in *Chlorella vulgaris*. Bioresource Technology. 99: 4717-4722.

Mata, T.M., Martins, A.A., and Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 :217–232

Matanjun, P., Mohamed, N., Mustapha, M., and Muhammad, K. 2008. Nutrient content of tropical edible seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. J Appl Phycol. DOI10.1007/s10811-008-93264.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Matsunaga, T., H. Takeyama, Y. Miura., T. Yamazaki., H. Furuya. and K. Sode.1995. Screening of marine cyanobacteria for high palmitoleic acid production. FEMS Microbiology Letters. 133 : 137- 141.

Mazel, D., Houmard, J., Castets, A. M. and Taodeau de Marsac, N. 1990. Highly repetitive DNA sequences in cyanobacterial genomes. J. Bacteriol. 172 : 2755-2761.

Meharban, S. 2005. Essential Fatty Acids, DHA and Human Brain. Indian J Pediatr. 72 : 239-242.

Merzlyak, M.N., Chivkunova, O.B., Gorelova, O.A., Reshetnikova, I.V., Solovchenko, A.E., Khozin-Goldberg, I., and Cohen, Z. 2007. Effect of nitrogen starvation on optical properties, pigments and arachidonic acid content of the unicellular green alga Parieto-chloris incisa Trebouxiophyceae, Chlorophyta). J Phycol 43:833–843.

Meseck, L. S., J.H. Alix and G.H.Wikfors. 2005. Photoperiod and light intensity effects on growth and utilization of nutrients by the aquaculture feed microalga, Tetraselmis chui (PLY429). Aquaculture. 246: 393-404

Mohammad, I. W. Amino acid macroalgae and fatty acid profiles of four species of from Aqaba and their suitability for usein fish diets. 1997. Aquaculture. 159 : 101-109.

Mulbry, W., Kondrad, S., Pizarro, C., Kebede-Westhead, E., 2008. Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers. Bioresour. Technol. 99:8137–8142.

Nuutila, A.M. and Aura, A.M. 1997. The effect of salinity, nitrate concentration, pH and temperature on eicosapentaenoic acid (EPA) production by the red unicellular alga *Porphyridium purpureum*." Journal of Biotechnology 55: 55-63.

Parsons, T.R., Maita, Y., and Lalli, C.M., 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press.

Patil, V. 2007. The Relevance of Biofuels. Curr. Sci. p. 92, 707.

Patil, V., Tran, K.Q., Khanh-Quang, Giselrød H. R. 2008. Towards Sustainable Production of Biofuels from Microalgae. International Journal of Molecular Sciences. 9:1188-1195.

Patil, V.; Reitan, K.I.; Knudsen, G.; Mortensen, L.; Kallqvist, T.; Olsen, E.; Vogt, G.; and Gislerød, H.R. 2005. Microalgae as Source of Polyunsaturated Fatty Acids for Aquaculture. Curr. Topics Plant Biol., 6:57-65.

Peña, M. R. de la. 2007. Cell growth and nutritive value of the tropical benthic diatom, *Amphora* sp., at varying levels of nutrients and light intensity, and different culture locations. J Appl Phycol 19:647–655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rao, A. R., C. Dayananda, R. Sarada, T.R. Shamala, and G.A. Ravishankar. 2007. Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents.Bioresource Technology. 98: 560-564

Rippka, R. 1988. Recognition and identification of cyanobacteria. Methods in Enzymol. 167:28-67.

Schiewer, S. and Volesky, B. 2000. Biosorption Process for Heavy Metal Removal In: Environmental Microbe-Metal Interactions. ASM Press. Washington.

Scott S.A., Davey M.P, Dennis J.S, Horst I., Howe C.J., Lea-Smith D. and Smith A.G. 2010. Biodiesel from algae: challenges and prospects. Current Opinion in Biotechnology. 21:277–286.

Solovchenko A. E., Khozin-Goldberg I., Didi-Cohen S., Cohen Z., and Merzlyak M.N. 2008. Effects of light intensity and nitrogen starvation on growth, total fatty acids and arachidonic acid in the green microalga *Parietochloris incise*. J Appl Phycol. 20:245–251.

Spolaore, P.C. Joannis-cassan, E. Duran and A. Isambert. 2006. Commercial Applications of microalgae. Journal of bioscience and bioengineering. 101(2) : 87 – 96.

Takagi, M., Karseno and Yohida, T. 2006. Effect of Salt Concentration on Intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* Cells. J. Biosci. Bioeng. 101: 223-226.

Venkataraman, G. S. 1975. The role of blue-green algae in tropical rice cultivation. *In* W. D. P. Stewart. Nitrogen Fixation by Free-living Microorganisms. Cambridge University Press, Cambridge. 207-218.

Vieler, A., Wilhelmb, C., Goss, R., Siib, R., and Schiller, J. 2007. The lipid composition of the unicellular green alga *Chlamydomonas reinhardtii* and the diatom *Cyclotella meneghiniana* investigated by MALDI-TOF MS and TLC. Chemistry and Physics of Lipids 150:143–155.

Wahbeh, M.I. 1997. Amino acid macroalgae and fatty acid profiles of four species of from Aqaba and their suitability for use in fish diets. Aquaculture, 159, 101–109.

Widjaja, A., Chao-Chang, Chien C., Yi-Hsu, C., Ju, Y.H. 2009. Study of increasing lipid production fromfreshwatermicroalgae Chlorella vulgaris. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 40:13-20.

Xin, L., Hong-ying, H. and Jia, Y. 2010. Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus* sp. LX1, growing in secondary effluent. New Biotechnology. 27:59-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ying, L.M., Kang-Sen, Shi-Chun, S. and Dao-Zhan, Y. 2001. Effect of light intensity on the total lipid and fatty acid composition of six strains of Marine diatoms. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 19: 249-254

Yusuf, C. 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances. 25 : 294 – 306.

กุลยา จันทร์อรุณ. 2533. เคมีอาหาร. ตำรา – เอกสารวิชาการ. ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ. หน่วยศึกษานิเทศก์. กรมการฝึกหัดครู. 89 – 94 น.

ทักษพร รัตนมขุย์. 2552. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก. วารสารการประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11: 659-665.

นิพล ชุมสุวรรณ์. 2546. ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อปริมาณโปรตีน และไขมันในสาหร่าย (*Tetraselmis* sp.). ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 20 น.

พรพจน์ ศรีสุขชยะกุล. 2549. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. 54 น.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

รวมทรัพย์ ชำนาญธนา. 2540. การเลี้ยง Dunaliella salina ในช่วงระยะเวลาให้แสงที่แตกต่างกัน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. แพลงก์ตอนพืช. คณะประมง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สมถวิล จริตควร และอมรรัตน์ ชมรุ่ง. 2550. ผลของระยะเวลาการให้แสงต่อปริมาณโปรตีนและไขมันในสาหร่าย *Nannochloropsis oculata* น. 57. ในการประชุมวิชาการสาหร่ายและสาหร่ายแห่งชาติ ครั้งที่ 3. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การดูดซับโลหะหนักโดยสาหร่าย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 489 น.

สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. แพลงก์ตอนวิทยา. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ. 490 น.

อาภา รัตน์ มหาขันธ์ วัชรีพร ลือคำหาญ จิราพัชร์ พลชัย จิราภรณ์ วัฒนกุล อุทัย เกตุนุติ ทวีศักดิ์ สุนธนศาสตร์ วัลลภา อรุณไพโรจน์ ประไพศรี สมใจ. 2545. การ ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว *Hapalosiphon* sp. TISTR 8252 ในการควบคุมหนอนกระทู้หอม (*Spodoptera exigua* (Hubner) (*Lepidoptera* : Noctuidae)). *วารสารแก่นเกษตร*. 30:64-76.

อาภารัตน์ มหาขันธ์ อุษา กลิ่นหอม มยุรี ตั้งธนานุวัฒน์ เจษฎา ทิพยะสุขศรี และวัชรี กัลยาลัง. 2546. วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune*, Cyanophyta). 1-84 น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

Miss Suneerat Ruangsomboon

เพศ หญิง วันเดือนปีเกิด 9 พฤศจิกายน 2515 อายุ 40 ปี

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ8

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2538	ตรี	วท.บ. (ประมง) วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม)	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2541	โท	วท.ม. (วิทยาศาสตร์การประมง) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2549	เอก	Ph.D. (Environmental Technology)	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี	ไทย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

อนุกรมวิธานของแพลงก์ตอน การใช้ประโยชน์สารสกัดจากสาหร่าย การบำบัดน้ำเสีย

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

1. ความเป็นไปได้ในการผลิตไข่พักไรแดงเป็นการค้า (งบประมาณแผ่นดิน 2544)
2. การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสีย้อมปนเปื้อนโดยใช้ *Lemna, Chlorella* และ *Phormidium* (ทุนอุดหนุนการวิจัย ม.ศรีปทุม 2544)
3. การกำจัดสารอินทรีย์และสีย้อมจากน้ำเสียโดยใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* (งบประมาณแผ่นดิน 2546)
4. การสะสมและถ่ายทอดแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ (สกว. มิ.ย. 2546- มิ.ย. 2547)
5. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดลาบ *Nostoc commune* เพื่อการค้า (รายได้ภาคฯ 2547)
6. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune*) และสาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina platensis*) ในน้ำนมดิบที่ทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ(งบประมาณแผ่นดิน 2548-2549)
7. ผลกระทบของแสง และอุณหภูมิ ที่มีต่อเสถียรภาพการออกฤทธิ์ของสารสกัดจากสาหร่ายในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของเมล็ดพืชทดสอบ (รายได้ภาคฯ 2549)
8. ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารสกัดจากสาหร่ายต่อการงอกของเมล็ดพืชทดสอบ (รายได้ภาคฯ 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู) (รายได้คณะฯ 2550)
10. แนวทางในการเพิ่มผลผลิต และปริมาณโปรตีนในปลาช่อนโดยการเลี้ยงด้วยอาหารผสม *Spirulina platensis* (เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบนประจำปีงบประมาณ 2550)
11. การเจริญเติบโต และคุณค่าทางโภชนาการของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* (รายได้ภาคฯ 2551)
12. ศักยภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Nostoc commune* (งบประมาณแผ่นดิน 2551-2552)
13. ศักยภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เซลล์สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียที่มีชีวิตในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสีย (สกว. มิ.ย. 2550- มิ.ย. 2552)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2544. การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 9(3):19-23.
2. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* โดยใช้ฟอร์มาลินและคลอรีน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 18(3):30-37.
3. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนโดยใช้แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla* Torr.). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 20 (3):1-11.
4. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย : *Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:48-60.
5. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ จตุพร บัณฑิต. 2546. ผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการสร้างไข่พักของไรแดง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:61-68
6. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็ก *Phormidium angustissimum* และ *Chlorella vulgaris*. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 3(1): 287-296.
7. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ *Scenedesmus dimorphus* เป็นตัวดูดซับ. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 12(1):42-47.
8. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2547. การผลิตไข่พักของไรแดงภายใต้สภาวะการควบคุมระดับพีเอชและแอมโมเนีย. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 22(2):65-75.
9. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2548. ผลของสารสกัดจากสาหร่ายต่อการงอกของพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 36:978-981.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ บุปผา จงพัฒน์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2548. คุณค่าทางโภชนาการของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 23(2):38-47.
11. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การสร้างไข่พักของไรแดงที่ระดับอุณหภูมิต่ำและอัตราฟักของไข่พักที่ฆ่าเชื้อด้วยฟอร์มาลิน และไข่พักที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(2):54-62.
12. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไข่น้ำ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimmer. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(3):1-14.
13. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2549. ผลของแสงและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ *Phormidium angustissimum* ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37(6):925-928.
14. ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher. 2549. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14(2):40-49.
15. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2550. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Calothrix marchica* Lemm. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 25:13-26.
16. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2550. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria jasorvensis* และ *Microcystis aeruginosa*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14:46-54.
17. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ นิธิ พันธุ์คงชื่น. 2551. การเจริญเติบโตของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม *Spirulina platensis* แห้ง. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 95-104.
18. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ ชาติสุพล เตรียมธนานันท์. 2551. คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 105-115
19. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. .การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย Stigonema sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 28:20-30.
20. อภิญญา สโมสร, สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, อำมร อินทร์สังข์ และ จรงศักด์ พุมนวน. 2553. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนาดใหญ่ ต่อไรฝุ่น *Dematophagoides pteronyssinus* (Trouessart) โดยวิธีสัมผัส. การประชุมทางวิชาการของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 184-191.

21. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. การเจริญเติบโตและการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้สารอาหารที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 193-202.
22. นำถม ตั้งคำ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 305-312.

งานวิจัยที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษ

1. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004. Bioremoval of Lead by cyanobacteria : *Gloeocapsa* sp. and *Calothrix marchi*ca. Proceeding of the 1st KMITL International Conference on Integration of Science and technology. 2:188-191.
2. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004 . Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .
3. Ruangsomboon, S., A. Chidthaisong, B. Bunnag, D. Inthorn and N.W. Harvey. 2004b. Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .
4. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*C. regularis)*, zooplankton (*M. macrocopa)*, and the predatory catfish. Aquatic Toxicology. 78:15-20.
5. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2006. Production, composition and Pb^{2+} adsorption characteristics of capsular polysaccharides extracted from a cyanobacterium *Gloeocapsa gelatinosa.* Water Research. 40:3759-3766.
6. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2007. Bioaccumulation of Cadmium in an Experimental Aquatic Ecosystem Involving Phytoplankton, Zooplankton, Catfish and Sediment. Kasetsart Journal (Natural Science) 41:180-185.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology", Bangkok, Thailand. 26-27 April 2007, 340-344.
8. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2007. Lead (Pb^{2+}) adsorption characteristics and sugar composition of capsular polysaccharides of cyanobacterium *Calothrix marchica.* Songklanakarin Journal of Science and Technology. 29:529-541.
9. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology". 26-27 April 2007. p. 340-344.
10. Ruangsomboon, S. 2007. Nitrate, ammonia and orthophosphate removal from wastewater by duckweed *Lemna perpusilla* Torr. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 922-925.
11. Ruangsomboon, S. 2007. Study of the parameters affecting the binding of cadmium (Cd^{2+}) in solution by *Phormidium angustissimum* West & G.S. West. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 918-921.
12. Ruangsomboon, S. and Choochote, S. 2007. Effect of feeding diets containing *Nostoc commune* on growth, survival, protein and carotenoid content of red tilapia *Oreochromis niloticus*. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 772-775.
13. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2008. Removal of lead (Pb^{2+}) by cyanobacteria *Gloeocapsa sp.* Bioresource Technology. 99:5650-5658.
14. Ruangsomboon, S. Choochote, S. and Taveekijakarn P. 2010. Growth performance and nutritional composition of red tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) fed Diets containing raw *Spirulina platensis*. The international conference on Sustainable community development 2010. 21-23 January, 2010. Khon Kaen University, Nong Khai campus, Thailand and Vientiane, Lao PDR. P. 27-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้