สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเพิ่มผลผลิตไขมันในสาหร่ายน้ำมัน *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITL โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตไบโอดีเซล

Enhanced lipid production of *Botryococcus braunii* KMITL2 and *Scenedesmus dimorphus* KMITL by using carbon dioxide in algal cultivation for biodiesel production

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

RCH
ส 821 ก
2558

ลขหมู่.....
เลขทะเบียน 141523
รับ เดือน ปี 16 ส.ค. 2559

b 12758814
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การเพิ่มผลผลิตไขมันในสาหร่ายน้ำมัน *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITL โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเพาะเลี้ยง เพื่อผลิตไบโอดีเซล

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 200,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

หัวหน้าโครงการและผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 1-20 % ต่อสาหร่าย *B. braunii* KMITL2และสาหร่าย *S. dimorphus* KMITL พบว่า *B. braunii* การเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % โดยมีค่าเท่ากับ 0.30 ± 0.14 ต่อวัน ผลผลิตชีวมวลมีค่าสูงสุด 1.48 ±0.03 กรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 10 % คาร์โบไฮเดรทมีปริมาณสูงสุด 25.2±6.8 % เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 15 % ปริมาณไขมัน, โปรตีน, ผลผลิตไขมัน และกำลังการผลิตไขมัน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 57.41 ± 3.59%, 94.7±4.9 %, 0.40 ± 0.02 กรัมต่อลิตร และ72.66 ± 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายมีปริมาณสูงสุดที่ 46.5 % เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 %

ในสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่าการเจริญเติบโตจำเพาะ, ผลผลิตชีวมวลมีค่า, ผลผลิตไขมัน และ กำลังการผลิตไขมัน มีค่าสูงสุดเมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 % โดยมีค่าเท่ากับ 0.31 ± 0.06 ต่อวัน, 0.89 ±0.04 กรัมต่อลิตร, 0.34 ± 0.02 กรัมต่อลิตร และ 90.57 ± 16.99 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.52 ± 0.92 % เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 % คาร์โบไฮเดรทมีค่าสูงสุด 23.0±3.5 % เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 15 % โปรตีนมีค่าสูงสุด 88.8±8.2 % เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % สาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 10 % มีปริมาณคาร์บอนในเซลล์สูงสุดเท่ากับ 33.62 %

มีแนวโน้มว่า *S. dimorphus* ต้องการปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในระบบเพาะเลี้ยงมากกว่า *B. braunii* และมีความทนทานต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ ได้มากกว่า แต่มีการสะสมคาร์บอนในเซลล์ต่ำกว่า จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงเพื่อดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม

คำสำคัญ : คาร์บอนไดออกไซด์, โบทริโอคอคคัส บราวนี, ซีนีเดสมัน ไดมอร์ฟัส, ไขมัน, กรดไขมัน, ไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Enhanced lipid production of *Botryococcus braunii* KMITL2 and *Scenedesmus dimorphus* KMITL by using carbon dioxide in algal cultivation for biodiesel production

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon

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

ABSTRACT

The effect of 1-20% CO_2 on *B. braunii* KMITL2 and *S. dimorphus* KMITL were studied. The results showed that the highest specific growth rate of *B. braunii* (0.30 ± 0.14 /d) was showed in cultivation with 5% CO_2. The maximum biomass of 1.48 ±0.03 g/l was showed in 10% CO_2. The maximum carbohydrate of 25.2±6.8 % was showed in 15% CO_2. The maximum lipid content, protein, lipid yield and lipid productivity were 57.41 ± 3.59%, 94.7±4.9 %, 0.40 ± 0.02 g/l and 72.66 ± 2.56 mg/l/d, respectively. The highest carbon content of 46.5% was showed in 5% CO_2.

The highest specific growth rate (0.31 ± 0.06 /d), biomass (0.89 ±0.04 g/l), lipid yield (0.34 ± 0.02 g/l) and lipid productivity (90.57 ± 16.99 mg/l/d) of *S. dimorphus* were showed in cultivation with 20% CO_2. The highest lipid content of 45.52 ± 0.92 % was showed in 5% CO_2. The maximum carbohydrate of 23.0±3.5 % was showed in 15% CO_2. The maximum protein of 88.8±8.2 % was showed in 1% CO_2. The highest carbon content of 33.62 % was showed in 10% CO_2.

Green microalga, *S. dimorphus* display higher resistance to CO_2, and grow well under high CO_2 concentration. Thus the results of this study indicated that *S. dimorphus* was suitable for use as the living biosorbent for accumulation of industrial flue gas.

Key words: carbondioxide, *Botryococcus braunii*, *Scenedesmus dimorphus*, lipid, fatty acid, biodiesel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

"การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558"

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย	2
1.5 คำสำคัญของการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงในอดีต	4
2.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	4
2.3 การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการใช้สาหร่ายเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิง	4
2.4 บทบาทของคาร์บอนไดออกไซด์ในสาหร่าย	5
2.5 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	5
2.6 ...การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเพิ่มผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย	6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย	9
3.2 การศึกษาผลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย	12
3.3 ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย	12
3.4 **การวิเคราะห์ข้อมูล**	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	13
4.1 การศึกษาผลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย	13
4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย	56
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
บรรณานุกรม	62
ประวัติผู้เขียน	65

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	19
4.2 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	21
4.3 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	27
4.4 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	29
4.5 กรดไขมันของ ของ *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	35
4.6 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	37
4.7 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	43
4.8 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	45
4.9 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	51
4.10 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	53
4.11 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	56
4.12 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ ได้รับ CO_2 5%	57
4.13 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ ได้รับ CO_2 10%	57
4.14 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	57
4.15 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	58
4.16 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	58
4.17 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	58
4.18 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	59
4.19 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	59
4.20 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	59
4.21 ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 สาหร่าย *B. braunii* KMITL2 โคโลนีที่เจริญเติบโตเต็มและที่ปล่อยน้ำมันออกนอกโคโลนี	9
3.2 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *S. dimorphus* KMITL	10
3.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ	10
3.4 ลักษณะเซลล์สาหร่ายแห้งก่อนสกัดน้ำมัน	10
3.5 อุปกรณ์วัดและควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง	11
4.1 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	15
4.2 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1 %	15
4.3 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	15
4.4 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	16
4.5 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	16
4.6 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	16
4.7 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	17
4.8 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	17
4.9 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	17
4.10 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%	18
4.11 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	23
4.12 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	23
4.13 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	24
4.15 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	24
4.16 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	24
4.17 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	25
4.18 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	25
4.19 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	25
4.20 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%	26
4.21 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	31
4.22 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10 %	31
4.23 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	31
4.24 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	32
4.25 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	32
4.26 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	32
4.27 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	33
4.28 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.29 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	33
4.30 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%	34
4.31 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	39
4.32 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15 %	39
4.33 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	39
4.34 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	40
4.35 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	40
4.36 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	40
4.37 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	41
4.38 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	41
4.39 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	41
4.40 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%	42
4.41 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	47
4.42 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20 %	47
4.43 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.44 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	48
4.45 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	48
4.46 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	48
4.47 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	49
4.48 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	49
4.49 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	49
4.50 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%	50

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากปัญหาน้ำมันปิโตเลียมที่มีปริมาณจำกัดและราคาที่เพิ่มสูงขึ้นตลอดเวลา ทำให้มีการค้นคว้าหาแหล่งพลังงานแหล่งใหม่ โดยเฉพาะแหล่งพลังงานที่เป็นเชื้อเพลิงเหลวเนื่องจากมีความต้องการใช้มาก ทั้งกับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ และระบบขนส่งต่าง ๆ ฯล จึงได้มีความพยายามในการหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งใหม่เพื่อมาผลิตเชื้อเพลิงเหลว ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการหาวัตถุดิบชนิดใหม่มาเป็นแหล่งผลิต โดยพบว่าสาหร่ายขนาดเล็กเป็นทางเลือกในการนำมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลที่ไม่กระทบแหล่งอาหารของมนุษย์เหมือนปาล์มน้ำมัน และไบโอดีเซลจากสาหร่ายไม่เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับสิ่งแวดล้อม ไม่ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน เนื่องจากมีสมดุลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ไบโอดีเซลและที่ถูกใช้ไปโดยสาหร่าย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลนั้นต้องได้ผลผลิตสาหร่ายและปริมาณน้ำมันสูง ซึ่งพบมีรายงานว่าการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับที่เหมาะสมต่อสาหร่ายชนิดนั้น ๆ สามารถเพิ่มชีวมวลและปริมาณไขมันในสาหร่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสาหร่ายต้องการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง และคาร์บอนไดออกไซด์นี้มีบทบาทต่อการเพิ่มชีวมวล การสร้างอาหารสะสม และการมีชีวิตรอดของสาหร่าย นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อสาหร่ายได้รับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน จะทำให้มีชนิดของกรดไขมันแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความเหมาะสมต่อการนำน้ำมันจากสาหร่ายไปผลิตไบโอดีเซลโดยตรง

สาหร่ายขนาดเล็กมีศักยภาพในการจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 0.2-1 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรต่อวัน หากขาดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สาหร่ายจะไม่เจริญเติบโต การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกได้มากถึง 82 เปอร์เซ็นต์ (Scott et al, 2010) โดยพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันในสาหร่ายได้ และยังส่งผลทำให้สาหร่ายมีชนิดกรดไขมันที่แตกต่างกัน แต่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายเช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ แร่ธาตุในอาหาร และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

จากการวิจัยของผู้วิจัยขั้นต้นกับสาหร่ายที่เป็นสายพันธุ์ท้องถิ่นสองสายพันธุ์ คือ *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITL พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 เป็นสาหร่ายที่สามารถผลิตน้ำมันได้สูง 40-52เปอร์เซ็นต์ แต่ยังได้ผลผลิตชีวมวลที่ไม่สูงมาก ส่วนสาหร่าย *S. dimorphus* KMITL นั้นเป็นสาหร่ายที่ให้ผลผลิตชีวมวลค่อนข้างสูง แต่ปริมาณน้ำมันยังได้เพียง 20-28เปอร์เซ็นต์ จึงได้มีแนวคิดที่จะเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์นี้โดยการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในการเพาะเลี้ยง

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการเพิ่มชีวมวลและปริมาณน้ำมันของสาหร่ายน้ำมัน *B. braunii* KMITL2 และ *S. dimorphus* KMITL และศึกษาศักยภาพในการเก็บกักคาร์บอน รวมทั้งระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่สาหร่ายนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถเจริญเติบโตได้ เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้นำ flue gas จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เพิ่มผลผลิตในระบบเพาะเลี้ยงแบบมหภาคต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมกับสาหร่าย *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITL (เป็นสายพันธุ์ท้องถิ่นที่ผู้วิจัยคัดแยกเอง) ที่ทำให้สาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์มีผลผลิตชีวมวลและน้ำมันสูงสุด รวมทั้งมีชนิดกรดไขมันที่เหมาะสมต่อการนำมาผลิตไบโอดีเซล

1.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อการผลิตกรดไขมัน และปริมาณไขมันที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพสูงสุดในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย และระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่สาหร่ายเจริญเติบโตได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเพาะเลี้ยงสาหร่าย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทดสอบผันแปรระดับคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITL ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้สาหร่ายนี้เป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล และเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนไดออกไซด์

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

สาหร่ายใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ การสร้างอาหารสะสมประเภทต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงปริมาณน้ำมันและชนิดกรดไขมันในเซลล์สาหร่าย โดยพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยหรือมากเกินไปจะส่งผลเสียต่อสาหร่าย ส่วนระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี โดยสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์มีระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังนั้นหากทราบระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อสาหร่ายสายพันธุ์ที่ต้องการศึกษา จะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันให้มากพอและมีความเหมาะสมต่อการนำมาผลิตไบโอดีเซลได้

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

คาร์บอนไดออกไซด์, โบทริโอคอคคัส บราวนี, ซีนีเดสมัส ไดมอร์ฟัส, ไขมัน, กรดไขมัน, ไบโอดีเซล

Carbondioxide, *Botryococcus braunii*, *Scenedesmus dimorphus*, lipid, fatty acid, biodiesel

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ด้านวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยสำหรับนักวิจัยท่านอื่น ๆ ทั้งจากสังกัดรัฐบาลและเอกชน ทางด้าน สาหร่ายวิทยา การผลิตน้ำมันจากสาหร่าย การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

1.6.2 ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

ได้ข้อมูลระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่สาหร่ายสามารถทนได้ เพื่อนำไปออกแบบระบบเพาะเลี้ยงที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จาก flue gas ของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

1.6.3 อื่น ๆ สามารถเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับชาติ และสามารถผลิตบัณฑิต ให้เป็นนักวิจัยที่มีความรู้ด้านการเพาะเลี้ยงสาหร่าย การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งพลังงานเชื้อเพลิงในอดีต

แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัด มีความผันแปรของราคาสูง และการเผาไหม้แหล่งพลังงานเหล่านี้ ยังมีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (green house gases) เนื่องจากมีการปล่อย CO_2, SO_x และ NO_x ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งแหล่งที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งได้แก่เชื้อเพลิงประเภท ถ่านหิน (Coal) แก๊สธรรมชาติ (Gases) น้ำมันปิโตเลียม (Natural Oil) หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil Shale and Tar Sand) (Kadam, 2002)

2.2. ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ปัญหาภาวะโลกร้อน คือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 20 และมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีสาเหตุจากการเพิ่มปริมาณมากของแก๊สเรือนกระจก ซึ่งคือแก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศที่ทำให้การสูญเสียความร้อนสู่ห้วงอวกาศลดลง จึงมีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศผ่านปรากฏการณ์เรือนกระจก แก๊สเรือนกระจกมีความจำเป็นต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของโลก หากปราศจากแก๊สเรือนกระจก โลกจะหนาวเย็นจนสิ่งมีชีวิตอยู่อาศัยไม่ได้ แต่การมีแก๊สเรือนกระจกมากเกินไปก็เป็นเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แก๊สเรือนกระจกหลัก ๆ บนโลกประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ มากถึง 68เปอร์เซ็นต์ และมีการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศอย่างต่อเนื่องมากถึง 6.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี (CDIAC, 2011)

การเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล มีส่วนเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศประมาณ 3 ใน 4 ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ความต้องการพลังงานที่มากขึ้นโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการหาวิธีในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์เหล่านี้

2.3 การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการใช้สาหร่ายเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิง

ในปัจจุบันการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นแหล่งของวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว biodiesel ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยใช้สาหร่ายแทนพืชที่เป็นแหล่งอาหารเช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม และคาโนลา เพราะไม่กระทบต่อแหล่งอาหารมนุษย์ และเป็นแหล่งพลังงานที่มีความปลอดภัยเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สาหร่ายบางชนิดยังมีปริมาณน้ำมันที่สูงมาก และน้ำมันจากสาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย นอกจากนี้ข้อดีของสาหร่ายคือสามารถจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงช่วยแก้ปัญหาภาวะเรือนกระจกได้ (Antoni et al., 2007, Chisti, 2007, 2008; Huang et al., 2010; Demirbas, 2011) โดยสาหร่ายขนาดเล็กสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าพืชบก 10 เท่า และมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าพืชบก 10-50 เท่า (Chen et al., 2011) ดังนั้นการเพาะเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สาหร่ายเพื่อเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลจึงช่วยกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จากสิ่งแวดล้อมได้ มีรายงานว่าการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus obtusiusculus* เพื่อผลิตน้ำมันนั้น สามารถใช้สาหร่ายชนิดนี้เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Toledo-Cervantes, 2013) และการใช้ *B. braunii* เป็นแหล่งผลิตน้ำมัน ยังช่วยป้องกันปัญหาภาวะโลกร้อนได้ด้วย (Sawayama et al., 1995)

2.4 บทบาทของคาร์บอนไดออกไซด์ในสาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่ดำรงชีวิตโดยมีขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการอยู่รอด โดยสาหร่ายจำเป็นต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์ร่วมในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยพบว่าสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) เป็นสิ่งมีชีวิตที่เจริญเติบโตได้เร็วที่สุด และมีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด โดยคาร์บอนมีบทบาทโดยตรงต่อการเพิ่มชีวมวลของสาหร่าย การแบ่งเซลล์ การมีชีวิตรอด และการสร้างอาหารสะสมของสาหร่าย (Melis, 2013)

เนื่องจากสาหร่ายต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในเซลล์เพื่อการดำรงชีวิต สาหร่ายจึงจัดเป็น Carbon sink หรือแหล่งสำหรับเก็บกักคาร์บอนตามธรรมชาติที่สำคัญมากแหล่งหนึ่ง โดยได้ผ่านการวิจัยแล้วว่าสาหร่ายขนาดเล็กน้ำหนัก 2 ตัน สามารถลดปริมาณแก๊ส CO_2 ในบรรยากาศได้ประมาณ 1 ตัน เมื่อเทียบกับการปลูกป่าสักที่มีอายุ 10 ปีขึ้นไป ในพื้นที่ 1 ไร่เป็นเวลา 1 ปี สามารถดูดซับหรือกักเก็บ CO_2 ได้ประมาณ 1.09 ตัน แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในพื้นที่ 1 ไร่เท่ากัน ภายในเวลา 1 ปี สามารถดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศได้มากถึง 9.59 ตัน นั่นคือสาหร่ายขนาดเล็กสามารถดูดซับ CO_2 ในบรรยากาศได้มากกว่าไม้ยืนต้น ประมาณ 8-9 เท่า

2.5 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป โดยเมื่อเทียบต่อพื้นที่ 1 เฮคแตร์ สาหร่ายขนาดเล็กสามารถให้น้ำมันได้มากถึง 58,700-136,900 ลิตร ซึ่งมากกว่าน้ำมันปาล์มที่ให้น้ำมันได้ 5,950 ลิตร (Chisti, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่นของเสียฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง (Mulbry et al., 2008) และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

การผลิต biodiesel จากสาหร่าย ทำได้โดยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้ได้ปริมาณมาก มีไขมันสูง จากนั้นนำมาสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย ทำการแยกน้ำมันออกจากน้ำตาลที่เป็นอาหารสะสมของสาหร่าย และนำไปเปลี่ยนรูปเป็น biodiesel (Mata et al., 2010) สายพันธุ์สาหร่ายที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งของน้ำมัน ควรเป็นสายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีปริมาณน้ำมันสูง และง่ายต่อการเก็บเกี่ยว โดยพบรายงานว่าปริมาณน้ำมันและกรดไขมันของสาหร่าย ผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Khotimchenko and Yakovleva, 2004; Merzlyak et al., 2007; Mulbry et al., 2008; Ruangsobmoon, 2012) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่ายมีหลายปัจจัยด้วยกัน ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสง (light) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยการเจริญเติบโตอาจถูกยับยั้งหากได้รับแสงมากเกินไป คาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของสาหร่าย มีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ เช่น ไนโตรเจน มีหน้าที่หลักช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ สาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน เช่น สร้างขึ้นมาในรูปของน้ำมัน หรือแป้ง

สาหร่ายหลายชนิดสามารถให้น้ำมันได้สูง เช่นในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว สาหร่ายที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงคือ *Botryococcus braunii* 75 เปอร์เซ็นต์, *Nannochlorpossis* sp. 68 เปอร์เซ็นต์ และ *Chlorella vulgaris* 58เปอร์เซ็นต์ *Scenedesmus* sp. 19.6–21.1 เปอร์เซ็นต์ โดยสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผลิตไขมันได้ 10.3-142.0 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน และมีมวลชีวภาพใน 0.003-10 กรัมต่อลิตรต่อวัน โดยใช้พื้นที่ในการผลิตมวลชีวภาพต่อกรัมคือ 0.57-130 ตารางเมตร (Chisti et al., 2007)

การผลิต biodiesel จากสาหร่ายขนาดเล็กต้องมีการควบคุมมาตรฐานของน้ำมันที่ได้ให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละทวีป เช่นมาตรฐานในสหรัฐอเมริกา คือ ASTM Biodiesel Standard D6751 สำหรับในยุโรปแยกมาตรฐานที่ใช้สำหรับยานพาหนะ (Standard EN 14214) และใช้สำหรับหุงต้ม (Standard 14213) น้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็กค่อนข้างมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวสูง ที่มี 4 พันธะคู่หรือมากกว่า ตัวอย่าง กรด eicosapentaenoic (EPA C20: 5n-3; 5 พันธะคู่) และ กรด docosahexaenoic (DHA C22: 6n-3; 6 พันธะคู่) ซึ่งพบได้โดยทั่วไปในน้ำมันจากสาหร่าย กรดไขมัน methyl esters (FAME) ที่มีพันธะคู่ 4 หรือมากกว่า โดยแหล่งกำเนิดของน้ำมันที่ใช้ทำ biodiesel ประกอบด้วย triglycerides ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลที่ทำพันธะ ester กับโมเลกุลของ glycerol ในการทำ biodiesel นั้นโดย triglycerides จะทำปฏิกิริยากับ methanol เรียกปฏิกิริยา transesterification หรือ alcoholysis ปฏิกิริยานี้จะผลิต methyl esters ของกรดไขมันซึ่งเป็น biodiesel และ glycerol ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนดังนี้อันดับแรก triglycerides จะเปลี่ยนเป็น diglycerides หลังจากนั้นเป็น monoglycerides และสุดท้ายจะได้ glycerol ซึ่งปฏิกิริยา transesterification ต้องการ alcohol 3 โมเลกุลในแต่ละโมเลกุลของ triglycerides เพื่อผลิต glycerol 1 โมเลกุล และ 3 โมเลกุล ของ methyl esters ปฏิกิริยาจะสมดุล พบว่าในอุตสาหกรรมการผลิตจะใช้ methanol 6 โมเลกุล ในแต่ละโมเลกุลของ triglycerides ซึ่งเป็นการใช้ methanol ที่มากเกินพอเพื่อความแน่ใจในการเกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนเป็น methyl esters เพื่อเป็น biodiesel ผลผลิตของ methyl esters จะสูงถึง 98 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักมาตรฐาน (Chisti, 2007)

2.6 การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเพิ่มผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย

ไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะมีการใช้และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่สมดุล จึงได้มีการวิจัยด้านไบโอดีเซลจากสาหร่ายเพื่อพัฒนาการผลิตในปัจจุบัน โดยหาวิธีการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้น้ำมันปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ (Toledo-Cervandes et al., 2013) โดยพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์มีบทบาทต่อปริมาณไขมันที่สะสมในสาหร่ายโดยตรง นอกจากนี้การที่จะนำน้ำมันจากสาหร่ายมาผลิตไบโอดีเซลนั้น ต้องคำนึงถึงชนิดกรดไขมันด้วยเช่นกัน โดยกรดไขมันที่เหมาะสมกับการนำมาทำไบโอดีเซลคือ C16-C18; palmitic, stearic, oleic, linoleic, linolenic (Knothe, 2008) ซึ่งองค์ประกอบกรดไขมันขึ้นกับชนิดสาหร่ายและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สาหร่ายได้รับ (Yoo et al., 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกใช้ในขบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะถูกเปลี่ยนเป็น 3-phosphoglyceric acid (3-PGA) และ glyceraldyhyde-3-phospahte (G3P) นำไปสู่การสังเคราะห์น้ำตาลและกรดไขมัน โดยส่วนใหญ่สาหร่ายจะนำคาร์บอนไปสังเคราะห์น้ำตาลและเพิ่มชีวมวล มากกว่าการนำมาสังเคราะห์กรดไขมัน (Melis, 2013) ซึ่งจากทฤษฎีนี้เองจึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการหาวิธีการกระตุ้นการเพิ่มไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อนำมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายได้แก่ แสง อุณหภูมิ ส่วนประกอบแร่ธาตุในอาหาร พีเอช และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ให้ในระบบเพาะเลี้ยง เป็นต้น (Ho et al., 2011) การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่ายขนาดเล็กมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายและการใช้แสง (Jacob-Lopez et al., 2009) การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ (30-50 เปอร์เซ็นต์) เข้าในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ทำให้การสะสมไขมันทั้งหมดและ polyunsaturated fatty acid ของสาหร่ายเพิ่มขึ้น (Tang et al., 2011)

สาหร่ายที่มีประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูง จะให้ผลผลิตไขมันที่สูง ซึ่งขึ้นกับชนิดสายพันธุ์ของสาหร่าย ดังนั้นสาหร่ายที่จะนำมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลควรเป็นสายพันธุ์สาหร่ายที่มีแนวโน้มว่าให้ไขมันได้สูง และสามารถทนต่อสภาวะการเพาะเลี้ยงที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมากได้ เพื่อสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปสร้างไขมันสะสมได้อย่างเต็มที่ (Yoo et al., 2010) สำหรับสาหร่ายที่นิยมนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลมีหลายชนิด แต่ที่ได้รับความนิยมค่อนข้างมากได้แก่ สาหร่าย *Botryococcus braunii* ซึ่งเป็นสาหร่ายที่ผลิตน้ำมันได้สูงจนได้ชื่อเรียกว่า "สาหร่ายน้ำมัน" ได้รับการยอมรับจากนักวิจัยทั่วโลกว่ามีความเหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุด แต่ปัญหาที่พบคือสาหร่ายชนิดนี้ยังได้ผลผลิตชีวมวลในการเพาะเลี้ยงต่ำ และสาหร่าย *Scenedesmus* spp. ซึ่งมีน้ำมันปริมาณปานกลาง แต่มีผลผลิตชีวมวลที่ค่อนข้างสูง เพาะเลี้ยงง่าย เจริญเติบโตดี แต่ยังคงมีประเด็นว่าสายพันธุ์สาหร่ายของแต่ละประเทศมีความต้องการสภาวะในการเพาะเลี้ยงไม่เหมือนกัน

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus obtusiusculus* โดยมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อเนื่องในระบบ พบว่าการเพิ่มความเข้มแสงจาก 54.7 เป็น 134 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สามารถเพิ่มการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในสาหร่ายได้จาก 470 เป็น 950 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ให้ในระบบเพาะเลี้ยงจาก 0.04 เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ (0.8 vvm) สามารถเพิ่มปริมาณไขมันในสาหร่ายจาก 15 เป็น 49 เปอร์เซ็นต์ หรือจาก 51 เป็น 200 กรัมไขมันต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และยังพบอีกว่าการเลี้ยงในอาหารที่จำกัดปริมาณไนโตรเจนโดยให้คาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่อง สามารถเพิ่มไขมันได้จาก 28 เป็น 55.7 เปอร์เซ็นต์ (Toledo-Cervantes et al., 2013) ซึ่งไขมันของสาหร่ายสูงกว่าการเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่ขาดไนโตรเจนแต่ไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ (Praveenkuma et al., 2012)

การเพาะเลี้ยง *Scenedesmus dimorphus* พบว่าเมื่อเพิ่มการให้คาร์บอนไดออกไซด์จาก 2 เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ (0.26 vvm) สามารถเพิ่มไขมันในสาหร่ายจาก 17.8 เป็น 19.6 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่ม unsaturated fatty acid (Vidyashankar et al., 2013) ส่วน *S. obliquss* พบว่ามีการเจริญเติบโตได้ดีที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ได้ 390.2 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน (Ho et al., 2010)

การเพาะเลี้ยง *Botryococcus braunii* ในระบบที่มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่ 0.1-50 เปอร์เซ็นต์ ที่ 10 มิลลิลิตร ต่อนาที พบว่าที่ 0.2-5 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสม โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เจริญเติบโตของสาหร่ายจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จาก 0.04 เป็น 5 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโตจะลดลง (Yoshimura et al., 2013)

เมื่อเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์จาก flue gas (5.5เปอร์เซ็นต์ CO_2) เข้าในระบบการเพาะเลี้ยง *Scenedesmus* sp. และ *Botryococcus braunii* สามารถเพิ่มผลิตไขมันได้ 1.9 และ 3.7 เท่าตามลำดับ (Yoo et al., 2010) ส่วนการเพาะเลี้ยง *Botryococcus braunii* โดยใช้ flue gas ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 2-20 เปอร์เซ็นต์ (0.2 vvm) สามารถเพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอนได้ 16.43-24.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ยังเพิ่มการเจริญเติบโต และเพิ่มขนาดของโคโลนีได้อีกด้วย ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้ง่าย (Ge et al., 2011)

Salih (2011) รายงานว่า flue gas ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมีคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ และ *Scenedesmus* sp. สามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีคาร์บอนไดออกไซด์เข้มข้นถึง 80 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้โดยใช้ flue gas ได้

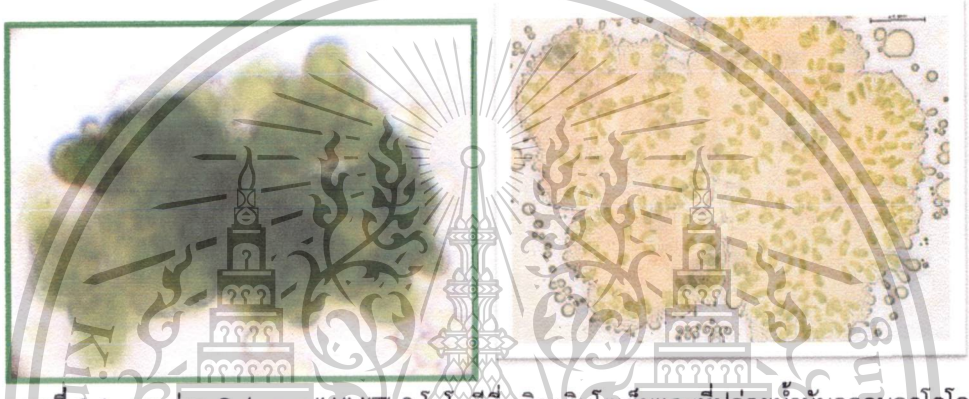
ซึ่งจากการทบทวนเอกสารแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า คาร์บอนไดออกไซด์สามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันในสาหร่ายได้ และยังส่งผลทำให้สาหร่ายมีชนิดกรดไขมันที่แตกต่างกันแต่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์นั้นมีความแตกต่างกัน จึงควรทำการหาระดับคาร์บอนไดออกไซด์และสภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อสาหร่ายน้ำมันสายพันธุ์ที่แยกได้ในประเทศไทยเอง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เช่นระยะเวลาการเลี้ยง พีเอชของอาหาร เป็นต้น โดยหากสายพันธุ์สาหร่ายที่เราทำการศึกษาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูง ยังจะทำให้เราสามารถนำไปประยุกต์สร้างระบบเพาะเลี้ยงที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงจาก flue gas ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย

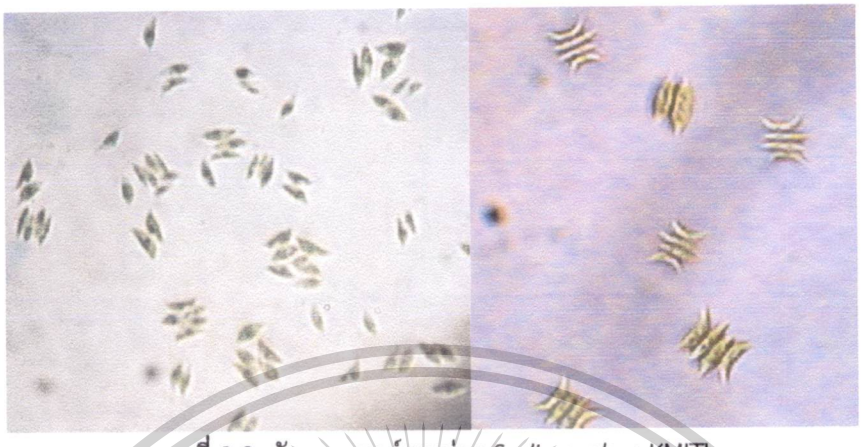
ทำการเลี้ยงหัวเชื้อสาหร่าย *Botryococcus braunii* KMITL2 และ *Scenedesmus dimorphus* KMITLในอาหารสูตร Chlorella medium ในภาชนะแก้วที่บรรจุอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 °C ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในห้องเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ปลอดเชื้อ มีการควบคุมแสงที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สาหร่ายเป็นหัวเชื้อในการศึกษาขั้นต่อไป



ภาพที่ 3.1 สาหร่าย *B. braunii* KMITL2 โคโลนีที่เจริญเติบโตเต็มและที่ปล่อยน้ำมันออกนอกโคโลนี

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

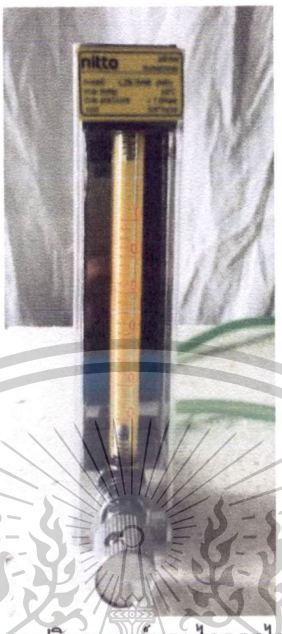


ภาพที่ 3.2 ลักษณะเซลล์สาหร่าย *S. dimorphus* KMITL

ภาพที่ 3.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 3.4 ลักษณะเซลล์สาหร่ายแห้งก่อนสกัดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดและควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การศึกษาผลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย

เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิด ในอาหารสูตร Chlorella medium โดยให้แสงต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 1-20 % (ประมาณ 1, 5, 10, 15, 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก flue gas ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่อยู่ที่ ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์) อัตราการให้ประมาณ 0.4-0.6 vvm เพื่อหาระดับที่คาร์บอนไดออกไซด์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตไขมันของสาหร่าย และหาระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่สาหร่ายสามารถทนได้ โดยหาในช่วงกว้างก่อน และทำการหาในช่วงแคบอีกครั้งหนึ่ง ทำการเลี้ยง 18 วัน ทำการวิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

3.3 ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย

เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิด ในอาหารสูตร Chlorella medium โดยให้แสงต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผันแปรระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 1-20% ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่าย โดยทำการวิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน จนสาหร่ายเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ late exponential phase วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคอมพิวเตอร์ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นำข้อมูลการศึกษาที่ได้มาทำการปรับปรุงการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยง ระบุระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ (ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) และบ่อเปิดนอกห้องปฏิบัติการ (ซึ่งใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ ไม่มีค่าใช้จ่าย) ทำการประเมินค่าการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สาหร่ายสามารถลดได้ต่อปี ต่อตันสาหร่าย หรือต่อลิตร ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาผลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย

เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิด ในอาหารสูตร Chlorella medium ให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 1-20 % อัตราการให้ประมาณ 0.4-0.6 vvm ทำการเลี้ยง 18 วัน ทำการวิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

ผลการศึกษาพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 1-20% นั้น สาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดคือ 1.48 ± 0.02 กรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.89 ± 0.04 กรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.1, 4.11, 4.21, 4.31 และ 4.41)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีคลอโรฟิลล์ เอสูงที่สุดคือ 13.39 ± 1.18 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีคลอโรฟิลล์ เอสูงสุดเท่ากับ 2.33 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.2, 4.12, 4.22, 4.32 และ 4.42)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีแคโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 7.86 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.0024 ± 0.000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.3, 4.13, 4.23, 4.33 และ 4.43)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรท พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีคาร์โบไฮเดรทสูงที่สุดคือ 280 ± 18 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีคาร์โบไฮเดรทสูงสุดเท่ากับ 187 ± 13 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.4, 4.14, 4.24, 4.34 และ 4.44)

ส่วนการคำนวนปริมาณคาร์โบไฮเดรทเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรท พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีคาร์โบไฮเดรทสูงที่สุดคือ 252 ± 68 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีคาร์โบไฮเดรทสูงสุดเท่ากับ 230 ± 35 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.5, 4.15, 4.25, 4.35 และ 4.45)

ส่วนการคำนวนปริมาณคาร์โบไฮเดรทเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรท พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีคาร์โบไฮเดรทสูงที่สุดคือ 25.2 ± 6.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีคาร์โบไฮเดรทสูงสุดเท่ากับ 23.0 ± 3.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.6, 4.16, 4.26, 4.36 และ 4.46)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริมาณโปรตีน พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีโปรตีนสูงที่สุดคือ 488 ± 51 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 557 ± 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.7, 4.17, 4.27, 4.37 และ 4.47)

ส่วนการคำนวนปริมาณโปรตีนเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม พบว่าปริมาณโปรตีน พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีโปรตีนสูงที่สุดคือ 947 ± 49 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 888 ± 82 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.8, 4.18, 4.28, 4.38 และ 4.48)

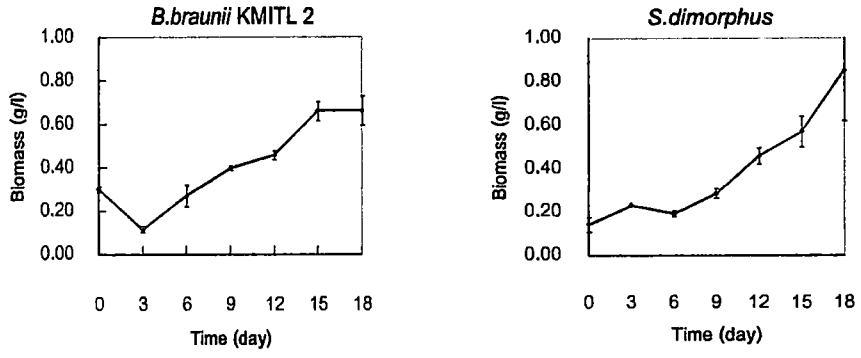
ส่วนการคำนวนปริมาณโปรตีนเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณโปรตีน พบว่าสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 มีโปรตีนสูงที่สุดคือ 94.7 ± 4.94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL มีโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 88.8 ± 8.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.9, 4.19, 4.29, 4.39 และ 4.49)

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชพบว่าในการเพาะเลี้ยง *B. braunii* KMITL2 พีเอชของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.91-7.25 ส่วนอาหารที่เพาะเลี้ยง *S. dimorphus* KMITL มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.52-7.66 โดยในช่วงแรกที่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ในระบบเลี้ยงจะทำให้ค่าพีเอชของอาหารในลดลงอย่างชัดเจนในช่วงการเพาะเลี้ยง 3 วันแรก แต่พบว่าแม้เพิ่มการให้คาร์บอนไดออกไซด์สูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายทั้งสองชนิดก็ยังคงเจริญเติบโตได้ แต่หลังจากผ่านไป 6 วัน พบว่าค่าพีเอชของอาหารที่ใช้เลี้ยงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดเวลา (ภาพที่ 4.10, 4.20, 4.30, 4.40 และ 4.50)

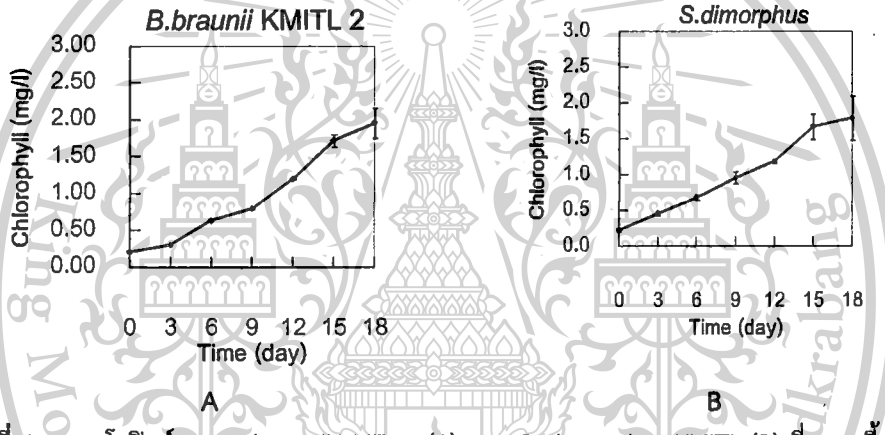
แสดงให้เห็นว่าปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในการเจริญเติบโตมากขึ้น ค่าพีเอชของอาหารจึงเพิ่มขึ้นแม้มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าระบบในปริมาณที่คงที่ตลอดเวลา และพบว่าในช่วงกลางคืนซึ่งมีการปิดไฟ ไม่มีการให้แสง แต่ยังคงให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าในระบบการเพาะเลี้ยง ก็ยังพบว่าสาหร่ายยังคงเจริญเติบโตได้ แสดงว่าสาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์มีความสามารถที่จะนำไปใช้ในระบบดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมได้จริง โดยไม่จำเป็นต้องให้แสงตลอดเวลา ใช้บ่อบำบัดตามสภาวะธรรมชาติได้ โดยอาจปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในระบบการเพาะเลี้ยงได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง เพราะก๊าซที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ได้ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว ยังมีก๊าซอื่นเป็นองค์ประกอบ เช่นไนตรัสออกไซด์ หรือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาจริงอีกครั้งหนึ่ง

โดยจากการเปรียบเทียบระดับพีเอชจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าพีเอชต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาวะที่ไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์จากที่ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ โดยค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นมากถึงระดับ 8-9 เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งการที่พีเอชเพิ่มสูงเกินไปจะทำให้สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหารของสาหร่ายมีการตกตะกอน และทำให้สาหร่ายไม่สามารถดูดซึมสารอาหารไปใช้ได้ เนื่องจากไม่อยู่ในรูปไอออนอิสระ จึงพบว่าการให้คาร์บอนไดออกไซด์กับสาหร่ายสามารถช่วยลดการตกตะกอนของสารอาหารได้

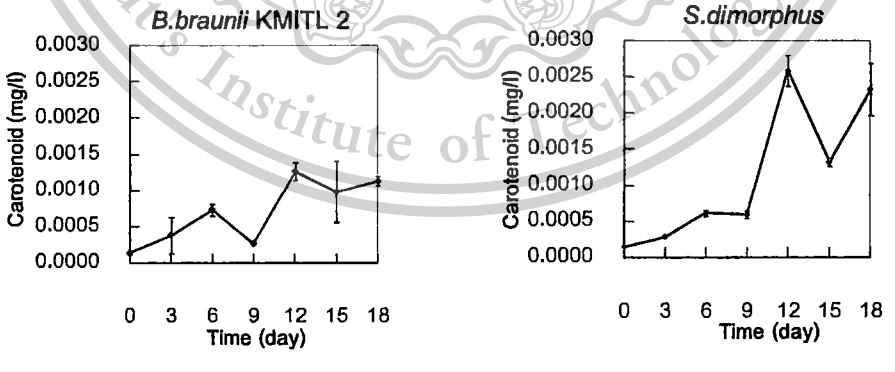
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.1 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

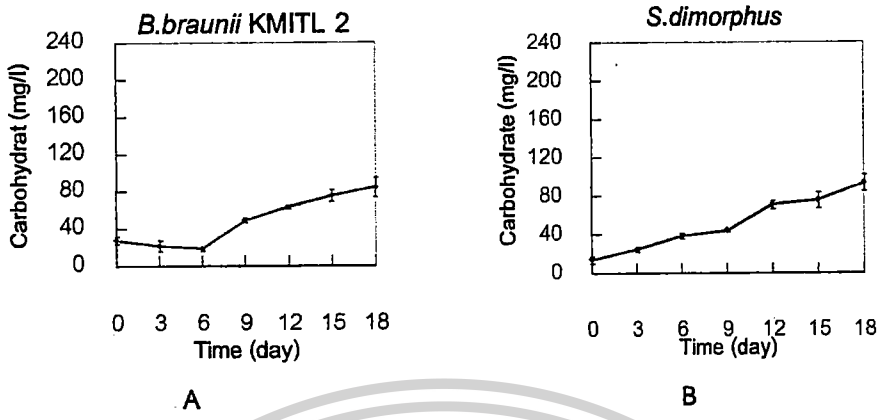


ภาพที่ 4.2 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1 %

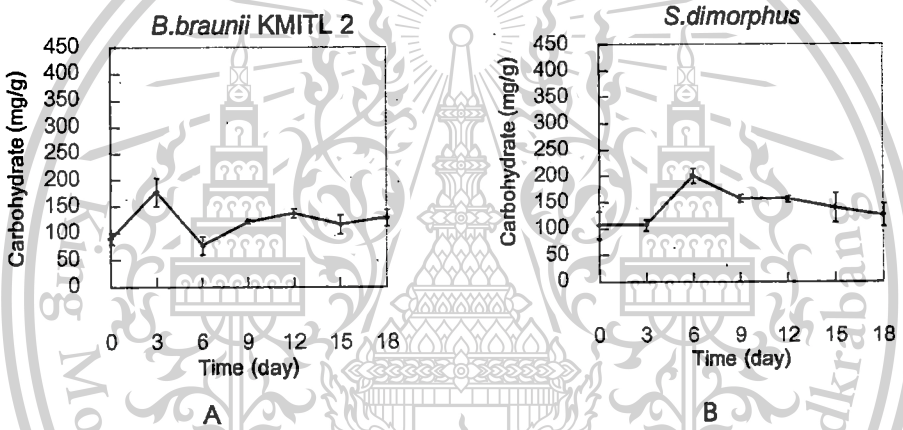


ภาพที่ 4.3 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

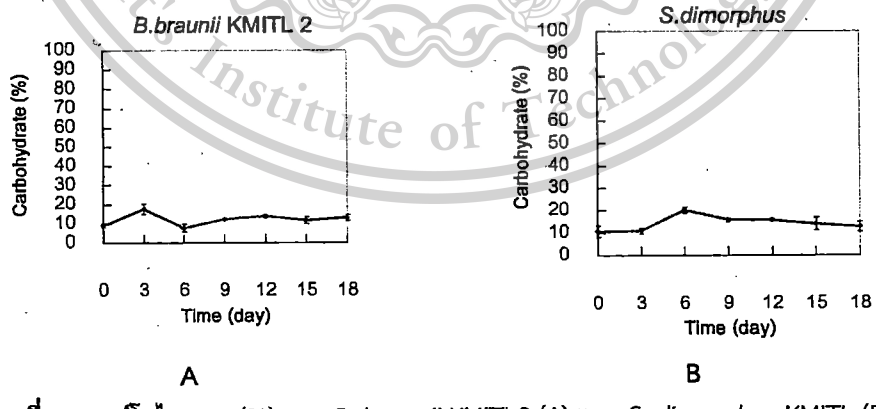
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.4 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%



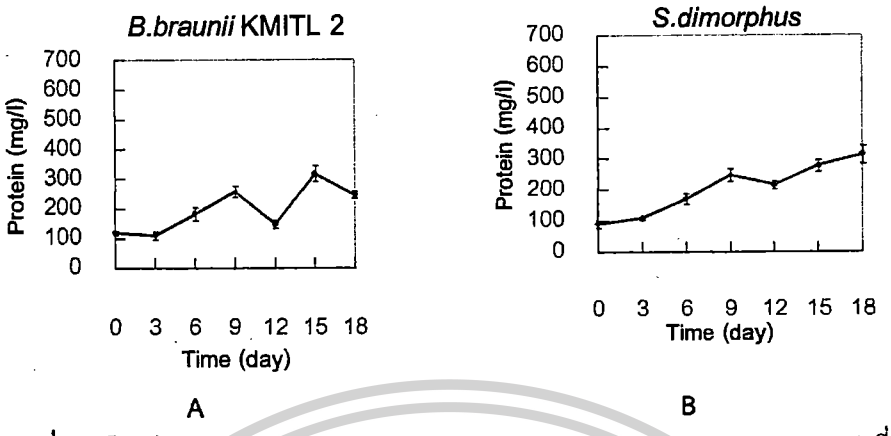
ภาพที่ 4.5 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%



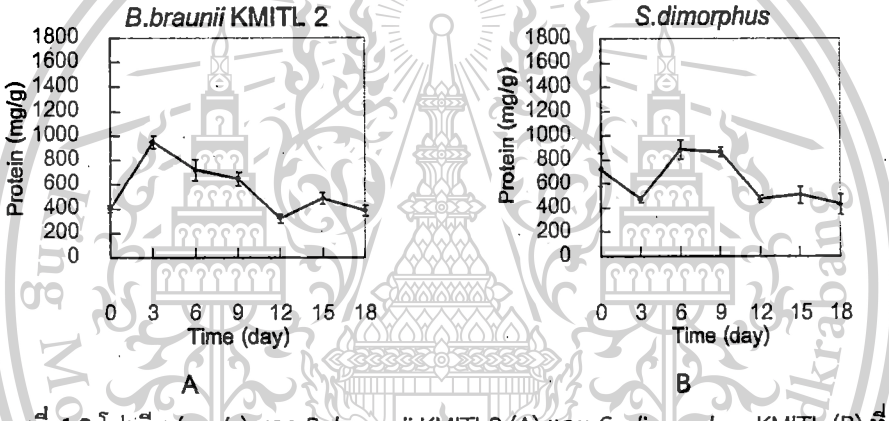
ภาพที่ 4.6 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

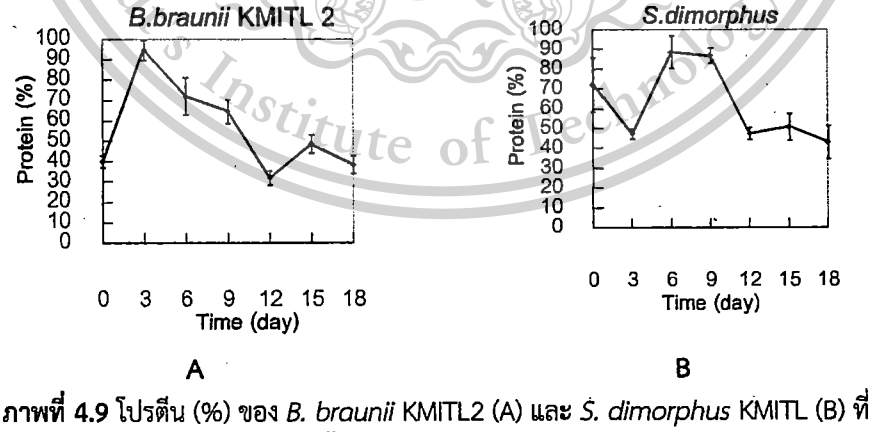
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 4.7 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

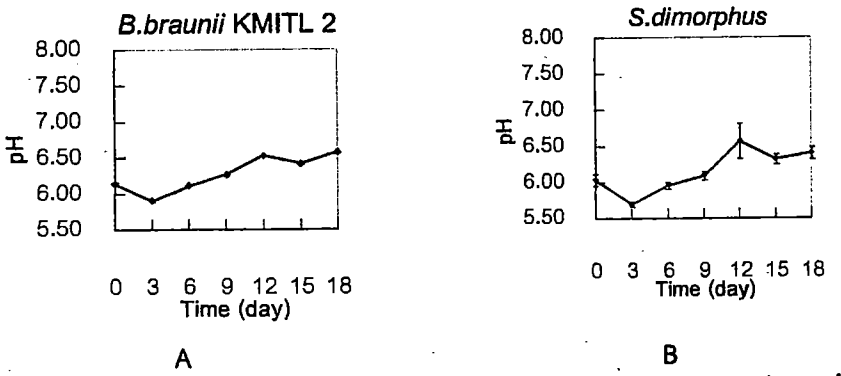


ภาพที่ 4.8 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%



ภาพที่ 4.9 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.
141523



A B

ภาพที่ 4.10 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.42	0.14	0.02	0.03
C6:0	0.11	0.02	0.01	0.01
C8:0	0.13	0.10	0.12	0.28
C10:0	0.15	0.08	0.08	0.13
C11:0	0.03	1.11	1.97	0.22
C12:0	3.96	2.06	2.73	1.77
C13:0	1.33	5.78	6.63	3.44
C14:0	1.67	0.97	1.37	0.68
C14:1	1.29	0.16	0.98	0.24
C15:0	0.40	0.39	0.42	0.20
C15:1	0.11	0.04	0.17	0.10
C16:0	31.72	22.06	20.39	26.11
C16:1	3.02	6.65	7.16	8.27
C17:0	3.57	2.87	1.14	2.15
C17:1	5.39	0.41	0.25	0.43
C18:0	2.33	6.21	8.48	5.51
C18:1n9t	5.38	8.04	0.54	4.87
C18:1n9c	7.71	0.00	0.00	4.56
C18:2n6t	0.30	14.49	11.39	0.00
C18:2n6c	14.51	0.00	14.01	6.36
C18:3n3	10.09	0.00	0.00	9.68
C18:3n6	2.12	1.60	1.12	2.22
C20:0	0.74	21.16	16.62	1.62
C20:1	0.13	2.93	1.92	2.32
C20:2	0.48	0.41	0.17	6.76
C20:3n3	0.18	0.02	0.11	0.63
C20:3n6	0.06	0.14	0.02	1.55
C20:4n6	0.10	0.15	0.21	2.10
C:20:5n3	0.03	0.00	0.00	0.79
C21:0	0.03	0.22	0.16	0.26
C22:0	0.33	0.38	0.46	1.91
C22:1n9	1.54	0.38	0.38	1.54
C22:2	0.02	0.04	0.14	0.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.01	0.10	0.03	0.01
C23:0	0.08	0.04	0.08	0.12
C24:0	0.45	0.42	0.37	0.60
C24:1	0.05	0.43	0.36	2.41
Saturated fatty acid	47.47	64.01	61.06	45.04
Unsaturated fatty acid	52.53	35.99	38.94	54.96
Monounsaturated fatty acid	24.63	19.04	11.74	24.75
Polyunsaturated fatty acid	27.90	16.95	27.20	30.22
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	86.15	62.33	64.47	70.17
C10:0-C18:2	82.88	71.32	77.70	65.04

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.32	0.98	0.19	0.31
C6:0	0.02	0.23	0.13	0.10
C8:0	0.03	0.50	0.03	0.05
C10:0	0.89	0.39	0.02	0.18
C11:0	0.26	0.34	0.15	0.69
C12:0	2.53	1.24	0.54	1.14
C13:0	1.31	1.23	0.81	0.70
C14:0	5.48	6.02	9.57	6.75
C14:1	2.58	0.40	0.68	0.47
C15:0	0.95	0.97	0.65	0.53
C15:1	0.26	0.31	2.06	0.50
C16:0	31.10	30.46	10.35	28.14
C16:1	4.72	1.51	1.83	2.06
C17:0	1.55	2.68	0.20	1.49
C17:1	0.27	0.02	0.09	0.11
C18:0	11.66	20.53	2.58	13.15
C18:1n9t	2.05	4.94	1.79	4.71
C18:1n9c	8.82	14.17	0.50	10.94
C18:2n6t	0.41	0.23	0.17	0.34
C18:2n6c	6.92	3.38	1.57	2.49
C18:3n3	6.49	5.37	4.52	15.36
C18:3n6	0.59	0.36	0.32	0.33
C20:0	1.49	0.02	0.04	0.10
C20:1	0.27	0.02	0.04	0.58
C20:2	0.20	0.08	0.25	0.18
C20:3n3	0.05	0.08	0.00	1.55
C20:3n6	0.11	0.20	4.20	0.41
C20:4n6	0.10	0.70	8.58	1.60
C:20:5n3	0.11	0.01	5.56	0.05
C21:0	0.34	0.04	0.57	0.25
C22:0	0.86	0.20	3.43	0.49
C22:1n9	1.74	0.30	6.58	0.80
C22:2	0.67	0.06	3.67	1.33

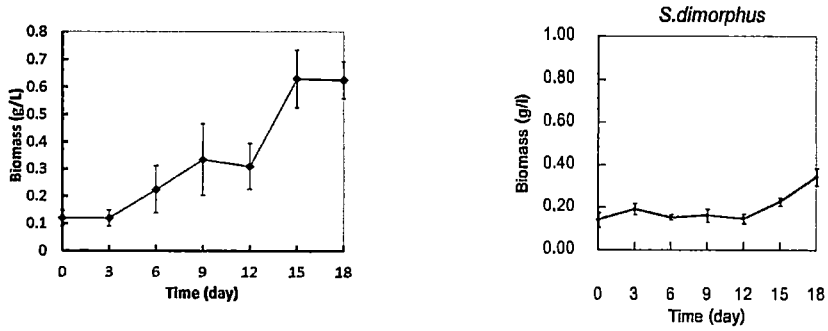
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

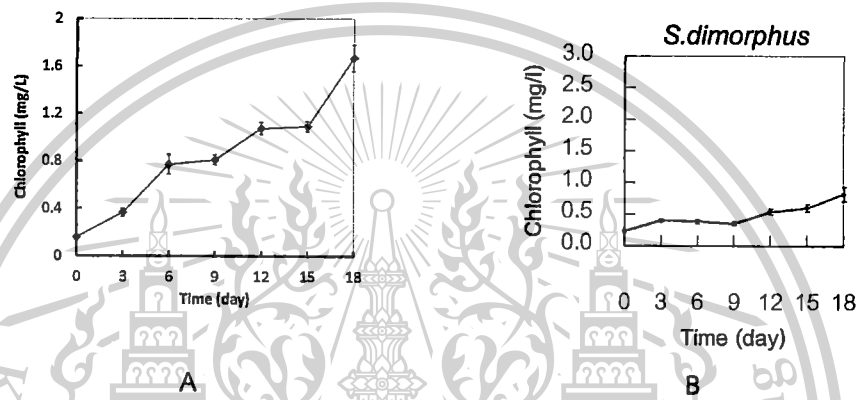
ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.60	0.00	0.00	0.05
C23:0	0.88	0.54	2.34	0.89
C24:0	2.05	0.85	5.31	0.78
C24:1	1.31	0.63	20.68	0.42
Saturated fatty acid	61.72	67.22	36.91	55.73
Unsaturated fatty acid	38.28	32.78	63.09	44.27
Monounsaturated fatty acid	22.02	22.30	34.24	20.59
Polyunsaturated fatty acid	16.25	10.48	28.85	23.68
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	74.57	83.66	23.92	79.12
C10:0-C18:2	81.76	88.82	33.56	74.38

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

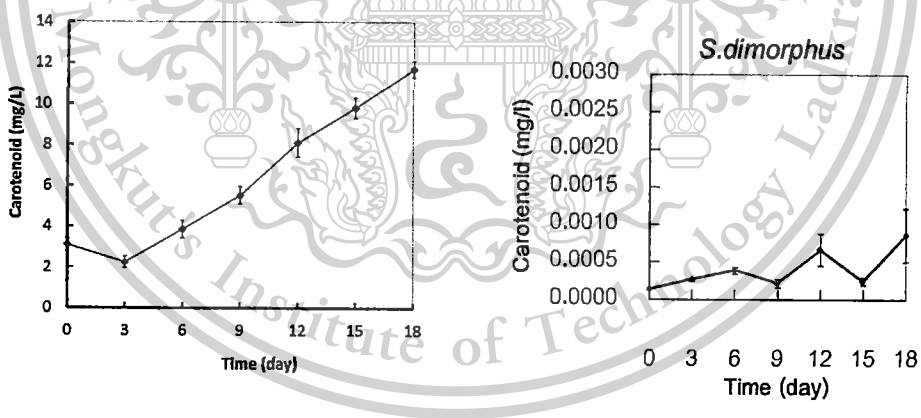
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.11 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

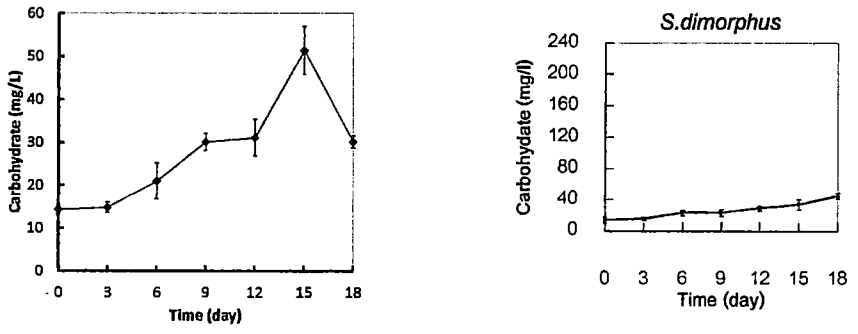


ภาพที่ 4.12 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

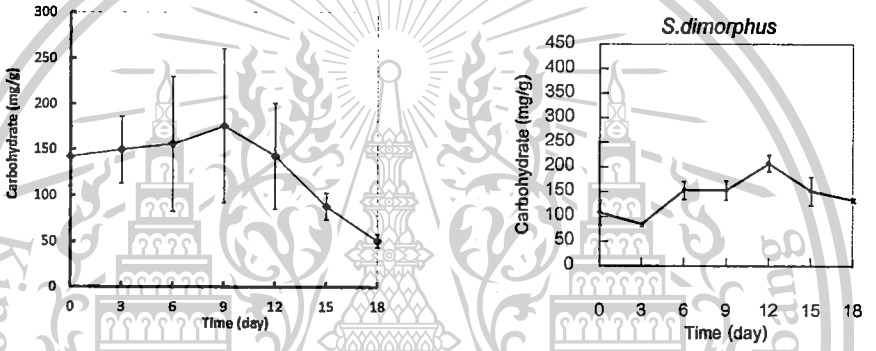


ภาพที่ 4.13 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

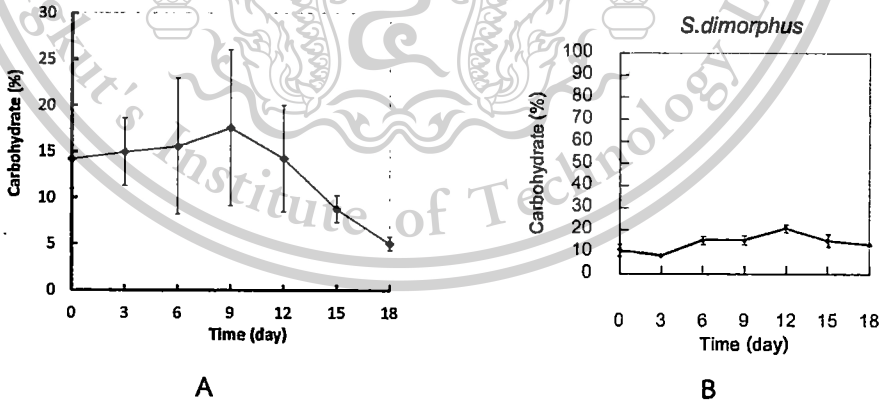
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.14 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

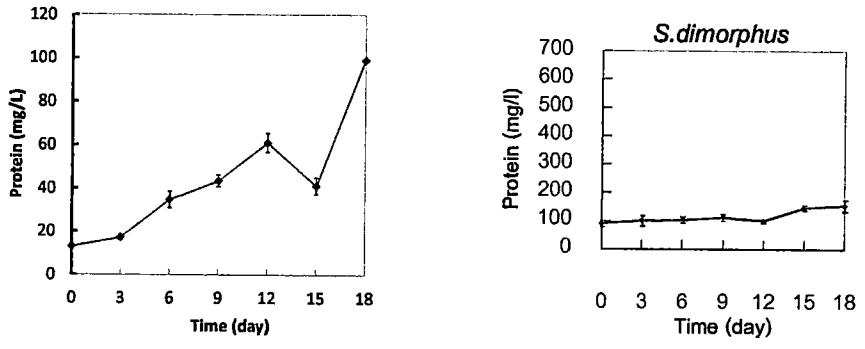


ภาพที่ 4.15 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

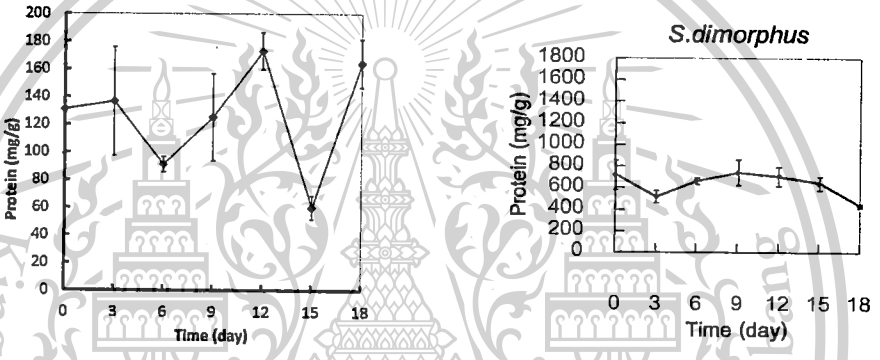


ภาพที่ 4.16 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

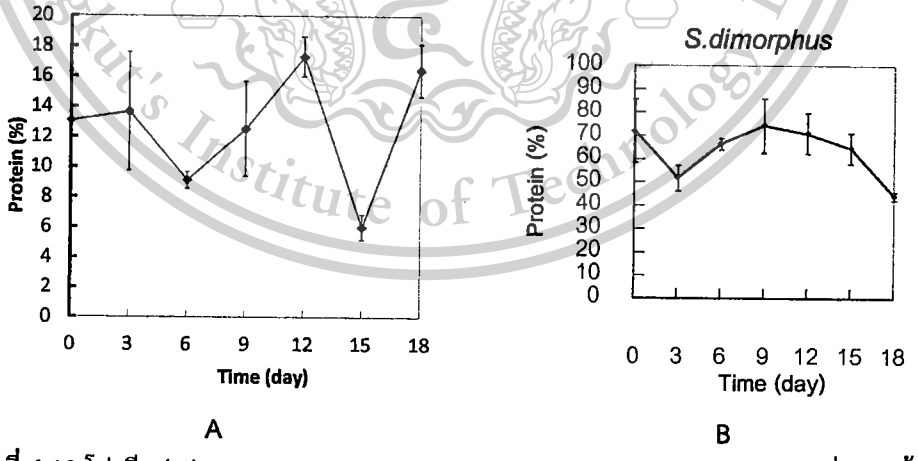
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.17 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

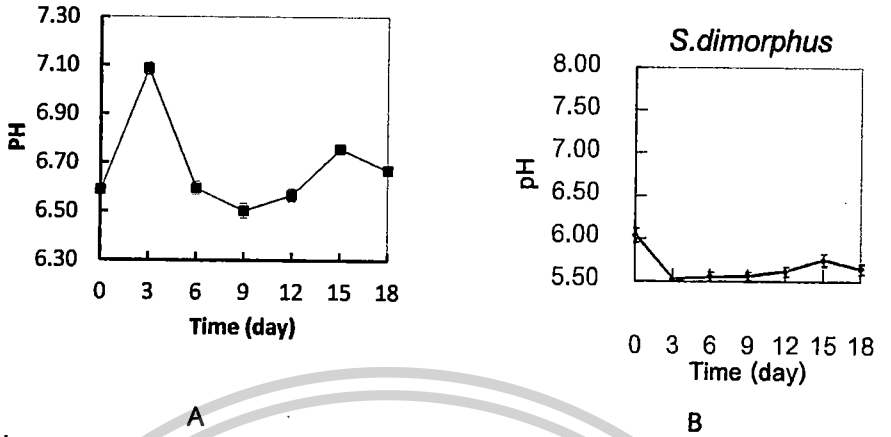


ภาพที่ 4.18 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%



ภาพที่ 4.19 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.20 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.14	-	0.00	0.00
C6:0	0.28	0.24	0.16	0.15
C8:0	-	-	0.00	0.00
C10:0	0.22	0.21	0.43	0.28
C11:0	4.66	6.60	10.62	7.03
C12:0	2.26	3.17	5.39	3.39
C13:0	1.57	0.62	1.05	1.27
C14:0	0.48	0.43	0.38	0.38
C14:1	0.47	0.39	0.17	0.11
C15:0	40.14	33.69	32.22	32.82
C15:1	2.13	6.78	3.66	4.90
C16:0	0.40	0.51	1.59	0.34
C16:1	6.45	3.29	11.78	12.21
C17:0	1.60	1.55	1.73	1.90
C17:1	5.86	5.53	3.17	5.94
C18:0	18.04	15.85	13.48	5.29
C18:1n9t	6.11	6.07	6.85	12.01
C18:1n9c	0.82	-	0.25	1.23
C18:2n6t	4.35	2.87	3.42	4.03
C18:2n6c	-	-	0.00	0.00
C18:3n3	2.19	2.37	0.80	1.29
C18:3n6	0.67	0.85	1.10	1.58
C20:0	0.45	0.81	0.14	0.00
C20:1	0.11	0.22	0.00	0.42
C20:2	0.00	-	0.14	0.24
C20:3n3	0.41	0.31	0.27	0.37
C20:3n6	-	-	0.00	0.00
C20:4n6	-	-	0.00	0.00
C:20:5n3	-	-	0.00	0.00
C21:0	-	-	0.05	0.00
C22:0	-	-	0.00	0.00
C22:1n9	-	-	0.00	0.00
C22:2	-	-	0.35	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	-	-	-	-
C23:0	-	-	-	-
C24:0	-	5.04	0.83	2.80
C24:1	-	-	0.00	0.00
Saturated fatty acid	-	2.49	0.00	0.00
Unsaturated fatty acid	0.20	-	0.00	0.00
Monounsaturated fatty acid	-	-	-	-
Polyunsaturated fatty acid	-	-	-	-
Total fatty acid	-	-	-	-
C16-C18	-	-	-	-
C10:0-C18:2	-	-	-	-

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.32	0.46	0.22	91.46
C6:0	0.02	0.43	0.05	4.67
C8:0	0.03	0.49	0.34	1.33
C10:0	0.89	0.39	0.02	0.11
C11:0	0.26	0.44	0.16	0.40
C12:0	2.53	0.97	0.69	0.08
C13:0	1.31	0.61	0.16	0.13
C14:0	5.48	7.30	5.16	0.20
C14:1	2.58	0.73	0.57	0.03
C15:0	0.95	1.13	0.94	0.08
C15:1	0.26	0.39	0.58	0.00
C16:0	31.10	27.00	26.86	0.99
C16:1	4.72	1.89	1.76	0.00
C17:0	1.55	3.17	3.22	0.00
C17:1	0.27	0.06	0.16	0.01
C18:0	11.66	17.06	19.93	0.34
C18:1n9t	2.05	5.92	6.26	0.01
C18:1n9c	8.82	15.98	11.44	0.03
C18:2n6t	0.41	0.39	0.27	0.00
C18:2n6c	6.92	2.26	2.22	0.00
C18:3n3	6.49	4.34	3.31	0.00
C18:3n6	0.59	0.07	0.12	0.00
C20:0	1.49	0.04	0.05	0.00
C20:1	0.27	0.01	0.02	0.00
C20:2	0.20	0.01	0.42	0.00
C20:3n3	0.05	0.17	1.32	0.01
C20:3n6	0.11	0.16	2.04	0.07
C20:4n6	0.10	1.29	2.13	0.02
C:20:5n3	0.11	0.02	1.00	0.00
C21:0	0.34	0.08	0.50	0.00
C22:0	0.86	0.25	0.72	0.00
C22:1n9	1.74	2.67	1.19	0.01
C22:2	0.67	0.14	0.00	0.00

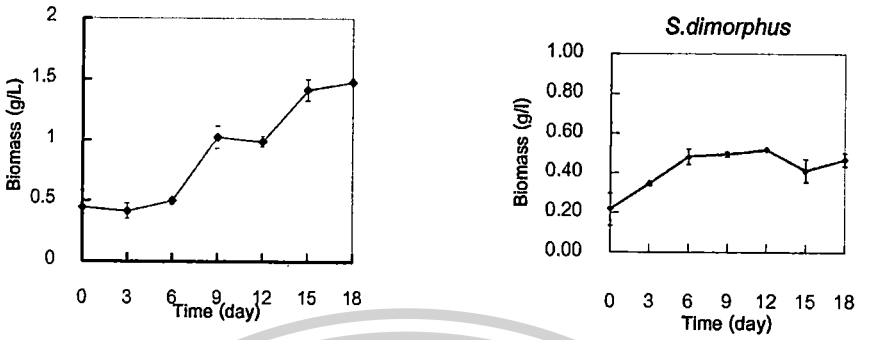
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

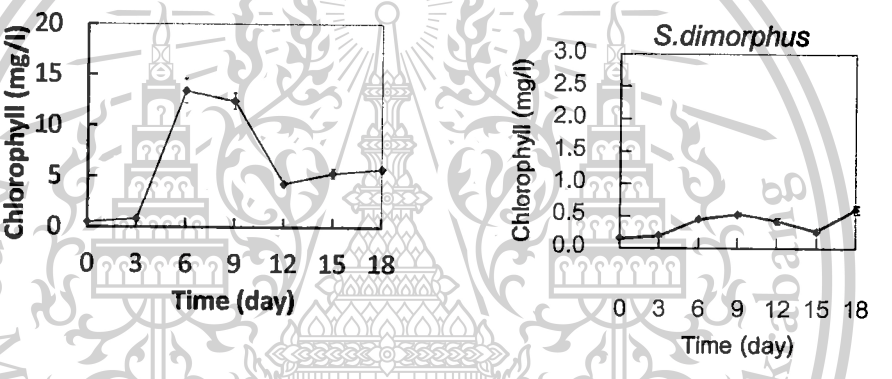
ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.60	0.00	0.93	0.00
C23:0	0.88	1.16	1.17	0.01
C24:0	2.05	1.55	2.47	0.00
C24:1	1.31	0.99	1.59	0.01
Saturated fatty acid	61.72	62.52	62.67	99.79
Unsaturated fatty acid	38.28	37.48	37.33	0.21
Monounsaturated fatty acid	22.02	28.63	23.58	0.10
Polyunsaturated fatty acid	16.25	8.85	13.75	0.11
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	74.57	78.13	75.55	1.38
C10:0-C18:2	81.76	85.66	80.42	2.41

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

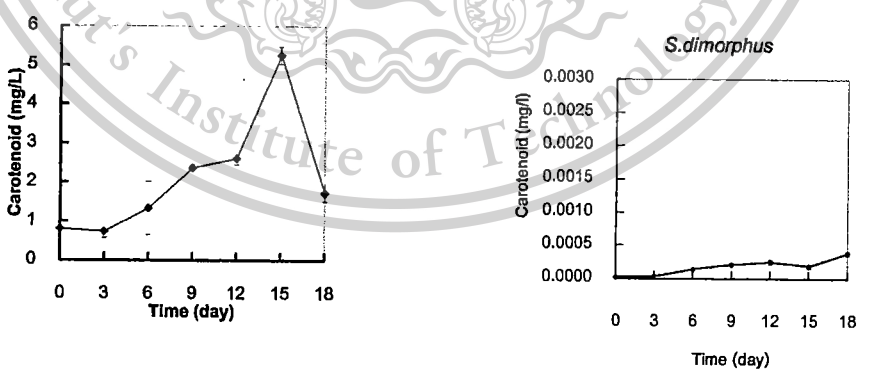
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.21 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

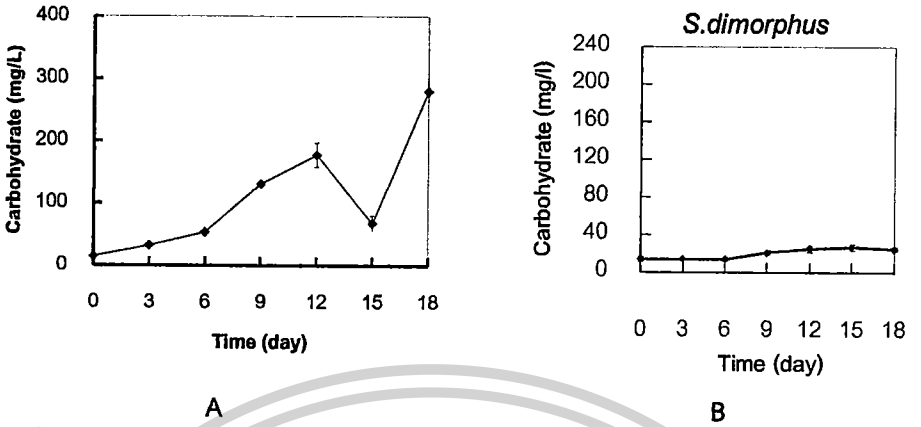


ภาพที่ 4.22 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10 %

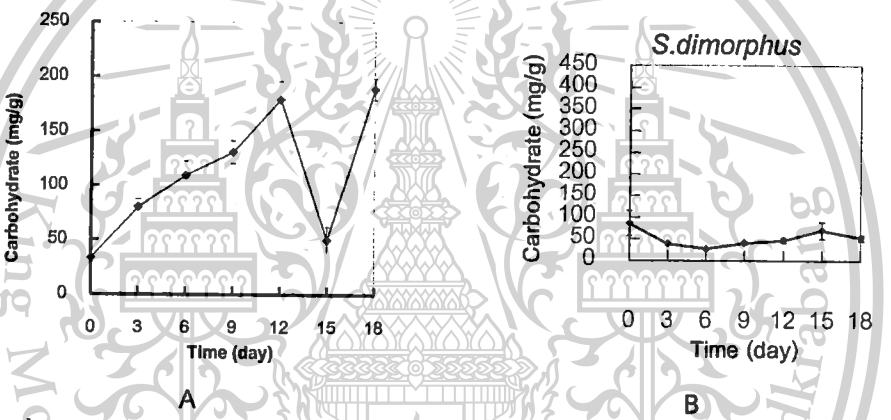


ภาพที่ 4.23 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

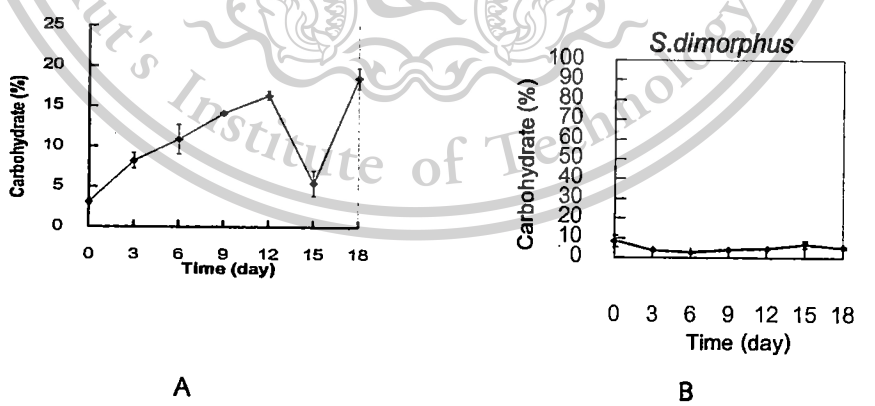
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.24 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

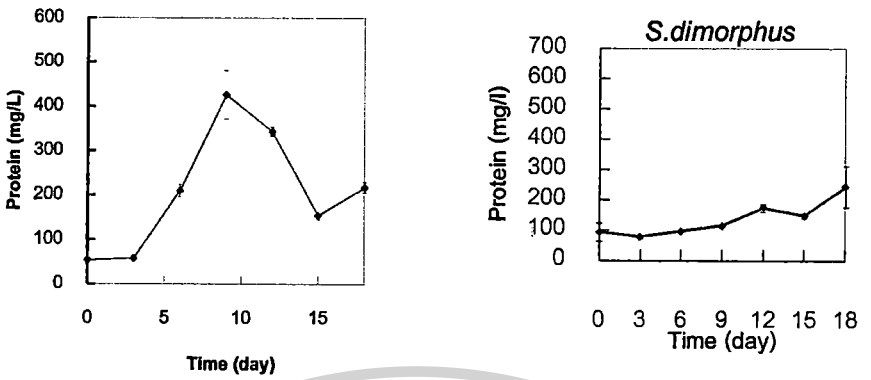


ภาพที่ 4.25 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

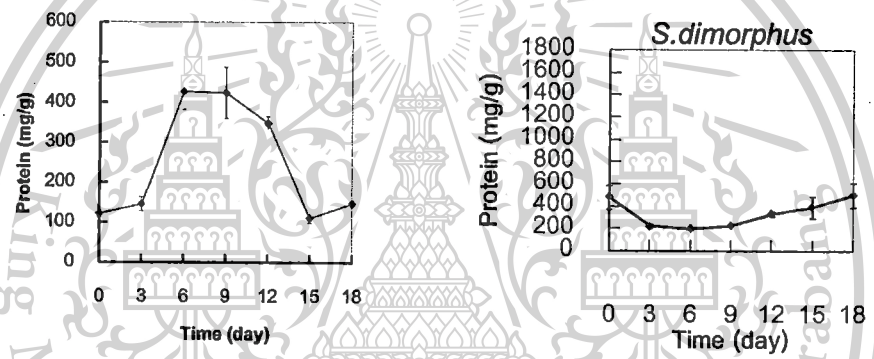


ภาพที่ 4.26 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

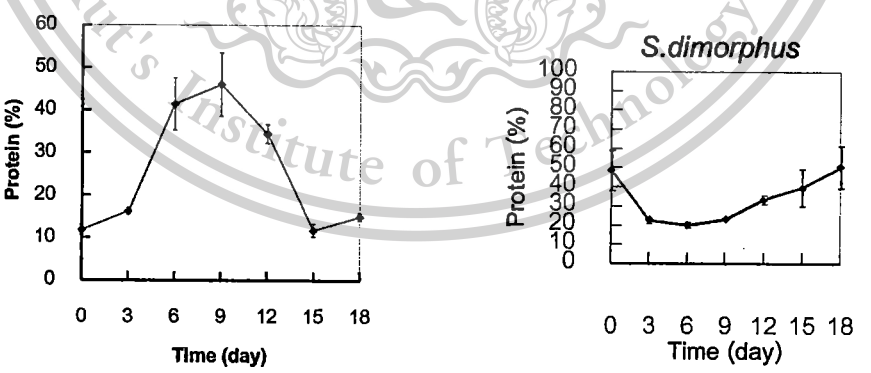
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.27 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

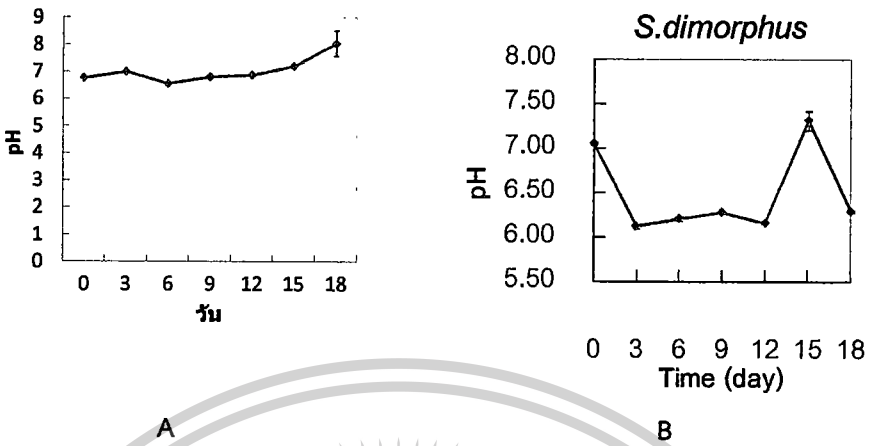


ภาพที่ 4.28 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%



ภาพที่ 4.29 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.30 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 กรดไขมันของ ของ *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.49	0.01	0.53	0.28
C6:0	0.15	0.01	0.39	0.20
C8:0	0.00	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.21	0.01	0.24	0.65
C11:0	0.39	0.01	0.24	0.13
C12:0	3.15	0.05	1.17	2.05
C13:0	0.98	0.03	0.90	1.28
C14:0	2.33	0.09	3.85	2.76
C14:1	0.22	0.01	0.34	0.31
C15:0	4.88	0.16	5.59	5.80
C15:1	0.34	0.01	0.31	0.40
C16:0	1.70	0.05	2.12	1.42
C16:1	61.16	1.67	65.46	66.34
C17:0	2.53	0.04	1.25	1.67
C17:1	2.86	97.52	3.44	4.54
C18:0	0.20	0.01	0.34	1.67
C18:1n9t	0.33	0.01	0.25	0.52
C18:1n9c	4.17	0.10	9.90	0.83
C18:2n6t	1.45	0.04	0.00	3.26
C18:2n6c	0.00	0.00	0.00	0.00
C18:3n3	0.36	0.01	0.10	0.00
C18:3n6	2.69	0.04	0.89	2.87
C20:0	0.81	0.01	0.21	0.81
C20:1	0.14	0.01	0.59	1.01
C20:2	0.39	0.01	0.32	0.00
C20:3n3	0.00	0.04	0.13	0.25
C20:3n6	0.18	0.00	0.09	0.25
C20:4n6	0.00	0.00	0.02	0.06
C:20:5n3	1.24	0.00	0.14	0.06
C21:0	0.00	0.00	0.40	0.00
C22:0	2.07	0.01	0.21	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	1.84	0.02	0.10	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.18	0.00	0.10	0.08
C23:0	1.70	0.00	0.08	0.06
C24:0	0.85	0.01	0.31	0.37
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.06
Saturated fatty acid	22.45	0.52	17.83	19.13
Unsaturated fatty acid	77.55	99.48	82.17	80.87
Monounsaturated fatty acid	69.21	99.33	80.29	74.00
Polyunsaturated fatty acid	8.34	0.15	1.88	6.87
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	77.46	99.46	83.75	83.12
C10:0-C18:2	86.90	99.83	96.39	93.62

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.13	0.20	0.09	0.07
C6:0	0.07	0.01	0.09	0.03
C8:0	0.29	0.28	0.09	0.07
C10:0	0.31	0.23	0.18	0.10
C11:0	0.05	0.46	0.67	0.03
C12:0	5.61	0.87	10.21	4.78
C13:0	2.72	3.38	5.42	4.38
C14:0	1.71	2.83	1.07	1.38
C14:1	0.77	0.35	0.30	0.38
C15:0	0.74	1.02	0.94	0.84
C15:1	0.38	0.21	0.11	0.10
C16:0	48.98	62.68	29.88	36.30
C16:1	6.03	4.49	5.14	7.10
C17:0	1.55	1.22	3.06	2.98
C17:1	0.42	0.20	0.54	0.61
C18:0	3.18	2.85	3.29	4.08
C18:1n9t	4.09	1.96	0.01	0.21
C18:1n9c	5.09	4.19	10.56	10.97
C18:2n6t	0.36	0.43	0.02	0.08
C18:2n6c	2.89	2.41	12.52	10.66
C18:3n3	2.14	2.00	0.00	11.08
C18:3n6	0.21	0.30	0.64	0.46
C20:0	0.26	0.24	11.76	0.02
C20:1	1.90	0.87	1.01	1.04
C20:2	4.79	0.76	0.05	0.08
C20:3n3	0.35	0.30	0.05	0.19
C20:3n6	0.49	0.20	0.05	0.19
C20:4n6	0.39	0.38	0.10	0.24
C:20:5n3	0.05	0.05	0.03	0.04
C21:0	0.61	0.62	0.07	0.07
C22:0	1.15	1.00	0.49	0.47
C22:1n9	0.80	0.71	0.26	0.37
C22:2	0.19	0.42	0.34	0.03

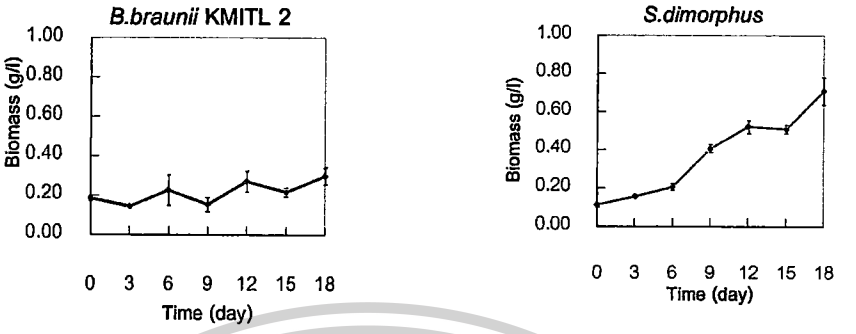
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

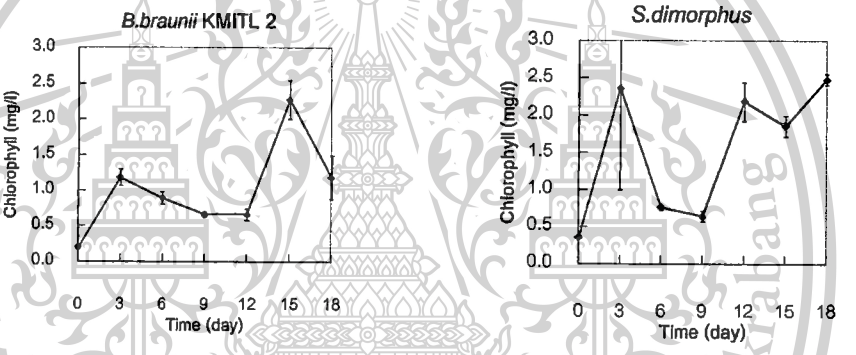
ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.27	0.24	0.21	0.05
C23:0	0.20	0.25	0.37	0.10
C24:0	0.67	1.02	0.34	0.36
C24:1	0.15	0.36	0.06	0.06
Saturated fatty acid	68.23	79.18	68.01	56.05
Unsaturated fatty acid	31.77	20.82	31.99	43.95
Monounsaturated fatty acid	19.62	13.34	17.98	20.84
Polyunsaturated fatty acid	12.15	7.48	14.00	23.11
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	74.94	82.73	65.66	84.53
C10:0-C18:2	84.88	89.78	83.92	84.98

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

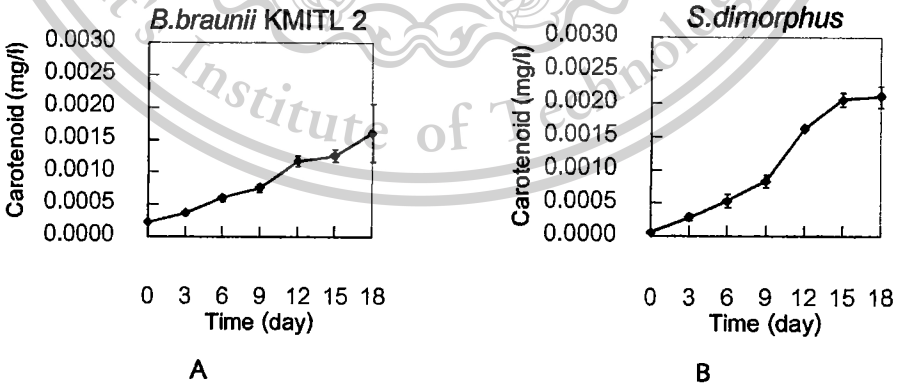
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.31 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

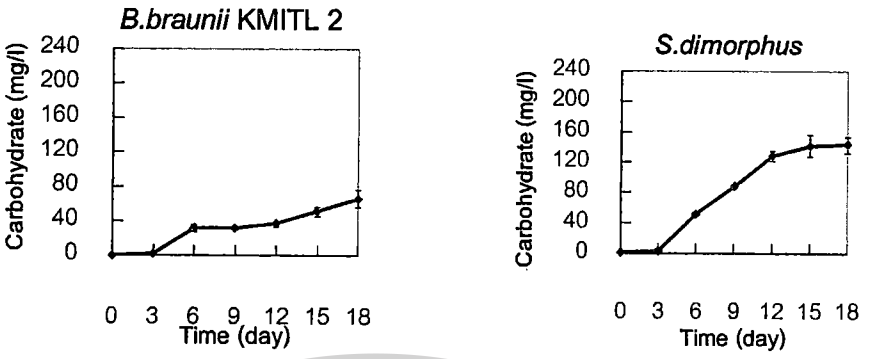


ภาพที่ 4.32 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15 %

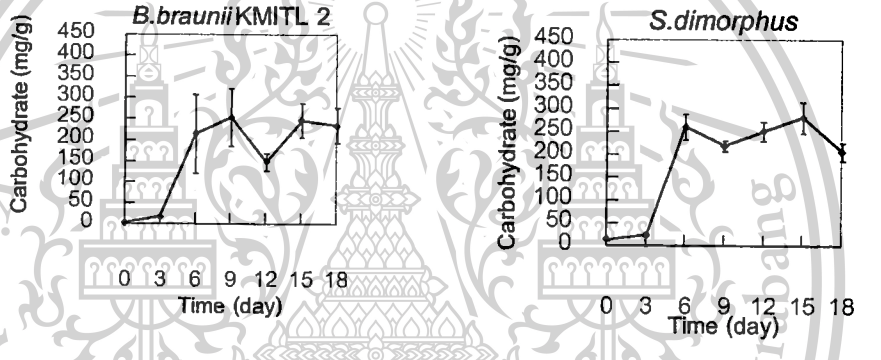


ภาพที่ 4.33 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

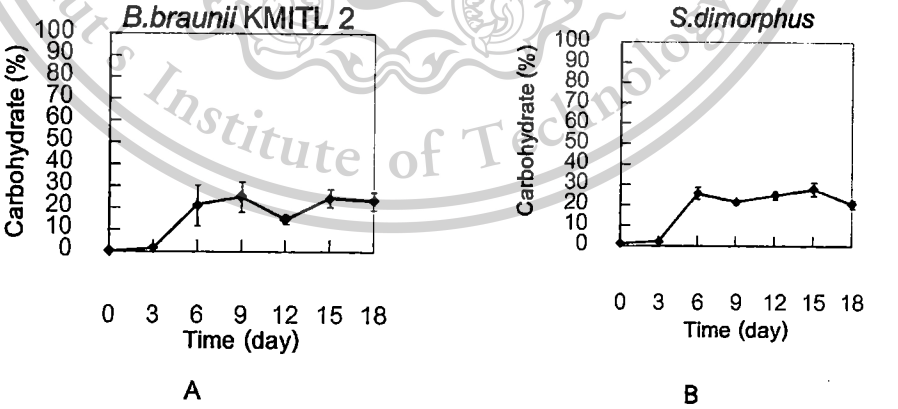
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.34 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

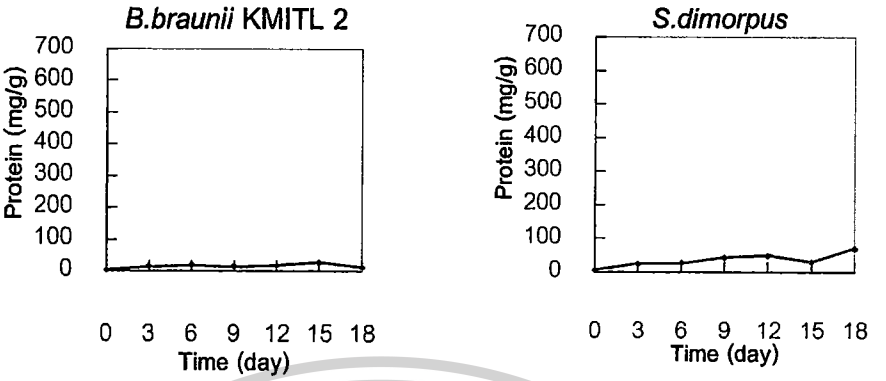


ภาพที่ 4.35 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

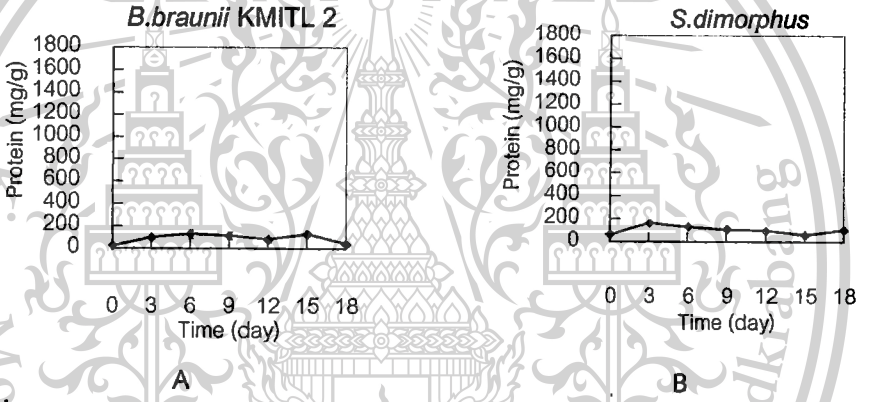


ภาพที่ 4.36 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

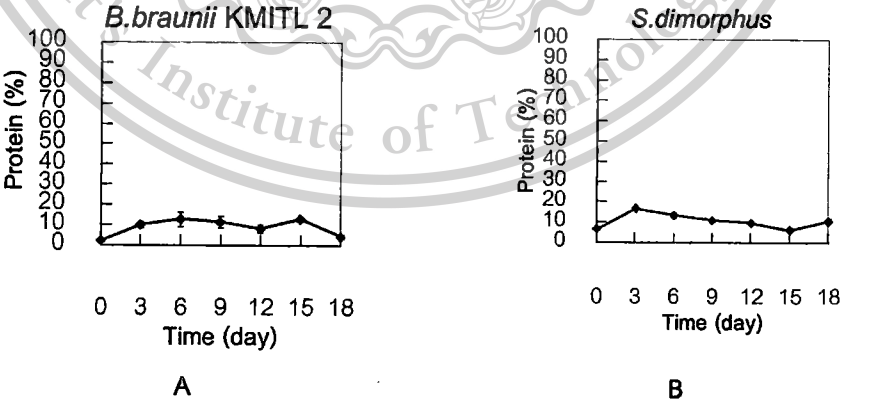
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.37 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

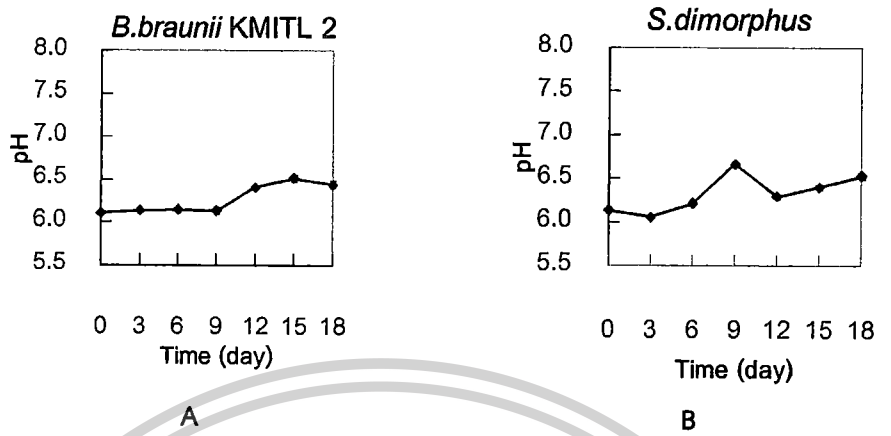


ภาพที่ 4.38 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%



ภาพที่ 4.39 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.40 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.06	0.01	0.01	0.01
C6:0	0.01	0.04	0.01	0.01
C8:0	0.09	0.10	0.05	0.04
C10:0	0.60	0.63	0.43	0.36
C11:0	0.07	0.25	0.08	0.06
C12:0	4.99	4.58	2.65	3.60
C13:0	2.52	4.32	2.63	0.86
C14:0	0.84	0.82	0.49	0.47
C14:1	0.22	0.35	0.45	0.28
C15:0	0.19	0.32	0.30	0.14
C15:1	0.03	0.51	0.81	0.53
C16:0	26.08	27.23	17.08	18.80
C16:1	2.04	2.56	2.02	1.95
C17:0	6.21	3.91	4.82	4.98
C17:1	0.04	5.93	10.92	14.99
C18:0	15.76	5.65	8.61	1.23
C18:1n9t	0.01	3.45	3.09	1.95
C18:1n9c	6.23	7.41	5.78	6.42
C18:2n6t	0.11	0.84	1.27	0.86
C18:2n6c	16.48	15.76	20.42	23.19
C18:3n3	13.99	10.18	11.55	13.31
C18:3n6	3.10	2.93	4.17	4.42
C20:0	0.00	0.27	0.06	0.00
C20:1	0.11	0.48	0.11	0.07
C20:2	0.02	0.08	0.04	0.05
C20:3n3	0.02	0.33	1.06	0.70
C20:3n6	0.02	0.10	0.04	0.04
C20:4n6	0.00	0.06	0.10	0.19
C:20:5n3	0.03	0.25	0.69	0.33
C21:0	0.02	0.10	0.06	0.00
C22:0	0.02	0.08	0.04	0.08
C22:1n9	0.00	0.17	0.06	0.04
C22:2	0.02	0.07	0.02	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.00	0.01	0.01	0.00
C23:0	0.02	0.03	0.04	0.01
C24:0	0.05	0.22	0.01	0.03
C24:1	0.01	0.00	0.02	0.01
Saturated fatty acid	57.51	48.55	37.36	30.66
Unsaturated fatty acid	42.49	51.45	62.64	69.34
Monounsaturated fatty acid	8.69	20.86	23.26	26.25
Polyunsaturated fatty acid	33.80	30.59	39.39	43.09
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	90.04	85.85	89.73	92.11
C10:0-C18:2	82.40	84.51	81.84	80.66

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	0.32	2.11	1.11	1.55
C6:0	0.36	3.70	1.05	0.52
C8:0	0.13	0.59	0.33	0.23
C10:0	0.50	0.09	0.17	0.11
C11:0	0.44	1.94	0.52	1.39
C12:0	3.62	2.20	1.77	2.95
C13:0	1.22	3.25	0.82	1.44
C14:0	2.36	1.66	2.21	0.63
C14:1	2.20	0.14	0.18	0.64
C15:0	1.01	0.95	0.74	0.45
C15:1	1.48	1.01	1.87	0.73
C16:0	21.74	19.85	24.98	22.05
C16:1	5.36	2.20	5.37	3.97
C17:0	2.86	1.99	3.11	2.53
C17:1	0.13	0.24	2.24	0.03
C18:0	8.62	0.62	0.54	5.84
C18:1n9t	5.29	5.47	5.60	4.75
C18:1n9c	5.44	3.24	3.76	2.53
C18:2n6t	2.72	0.17	2.47	0.76
C18:2n6c	12.44	8.75	4.79	8.09
C18:3n3	11.92	11.19	16.81	22.44
C18:3n6	0.31	0.60	2.38	0.45
C20:0	0.24	0.14	0.08	0.42
C20:1	0.32	0.84	0.71	0.15
C20:2	0.20	0.48	0.10	0.25
C20:3n3	1.84	1.38	0.55	2.93
C20:3n6	0.26	8.11	2.76	2.03
C20:4n6	0.66	1.56	0.70	2.55
C:20:5n3	0.96	4.34	1.70	0.03
C21:0	0.23	0.24	0.04	0.14
C22:0	0.38	1.72	0.14	0.45
C22:1n9	1.83	1.82	0.31	0.38
C22:2	0.39	2.38	6.73	3.07

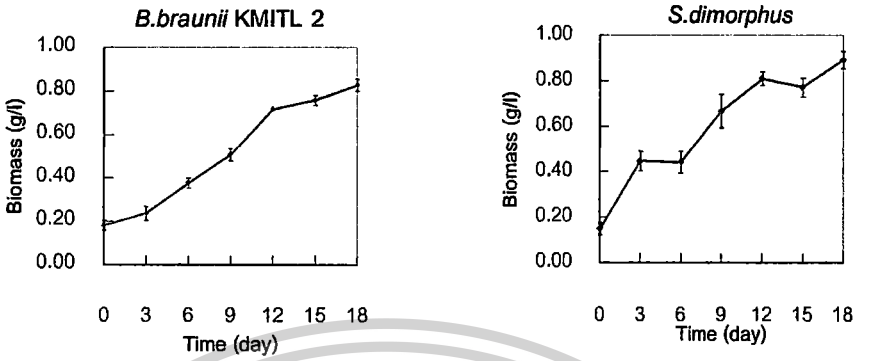
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

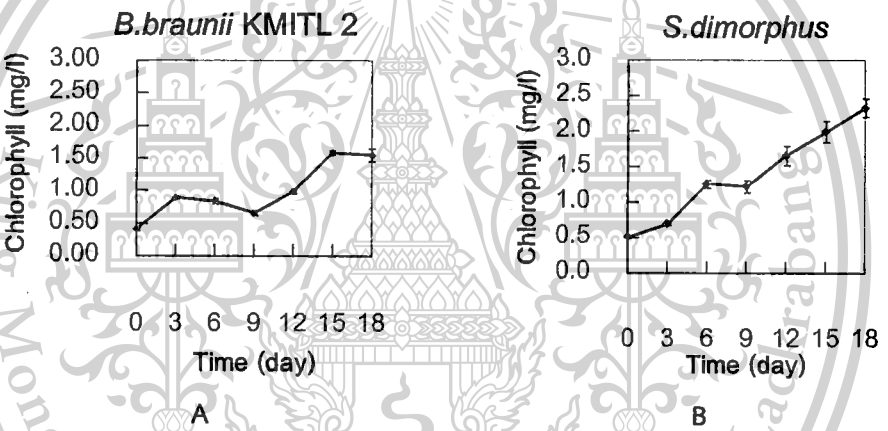
ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.14	0.02	0.32	0.81
C23:0	0.26	0.75	0.47	1.16
C24:0	1.67	2.50	1.86	0.62
C24:1	0.16	1.75	0.70	0.92
Saturated fatty acid	45.95	44.32	39.96	42.47
Unsaturated fatty acid	54.05	55.68	60.04	57.53
Monounsaturated fatty acid	22.21	16.71	20.74	14.11
Polyunsaturated fatty acid	31.84	38.97	39.31	43.41
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	76.81	54.31	72.06	73.44
C10:0-C18:2	77.43	53.77	61.15	58.89

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

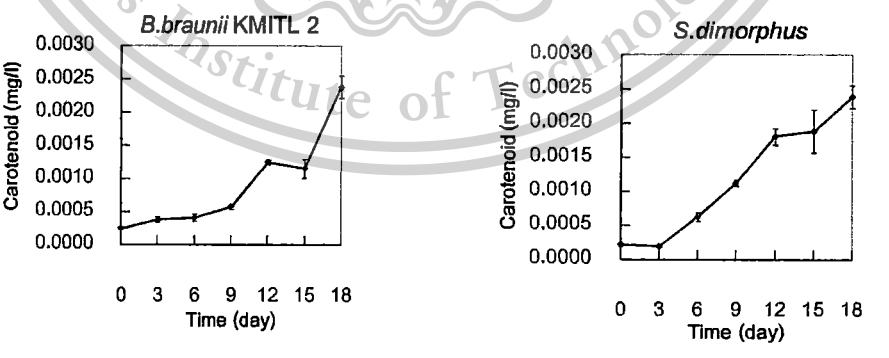
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.41 การเจริญเติบโตของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

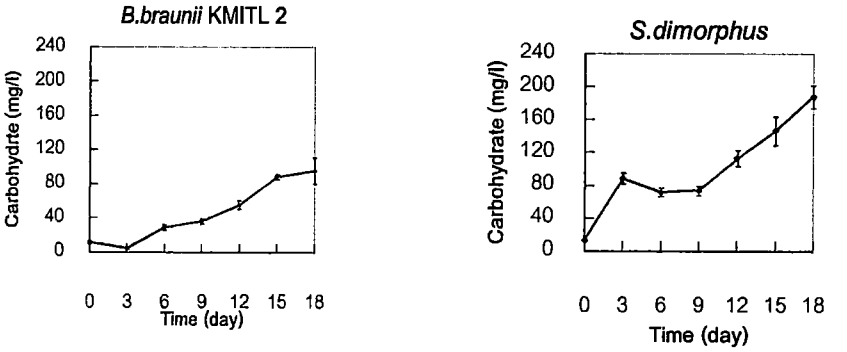


ภาพที่ 4.42 คลอโรฟิลล์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20 %



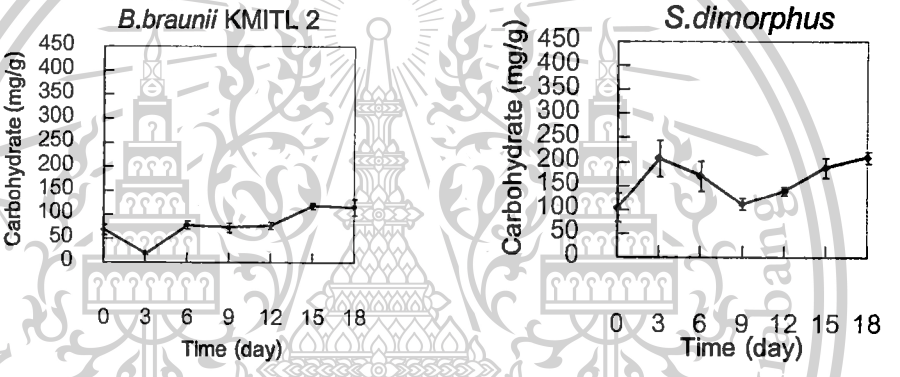
ภาพที่ 4.43 แคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



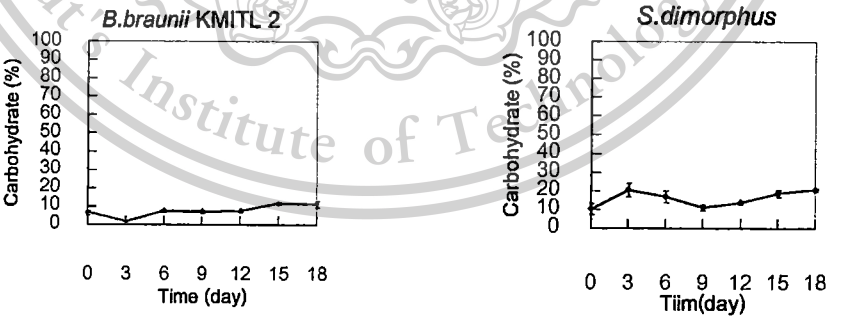
A B

ภาพที่ 4.44 คาร์โบไฮเดรท (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%



A B

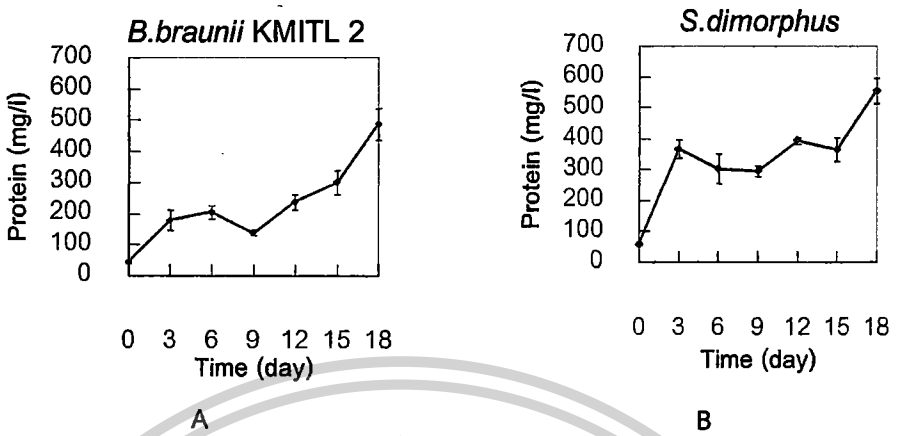
ภาพที่ 4.45 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%



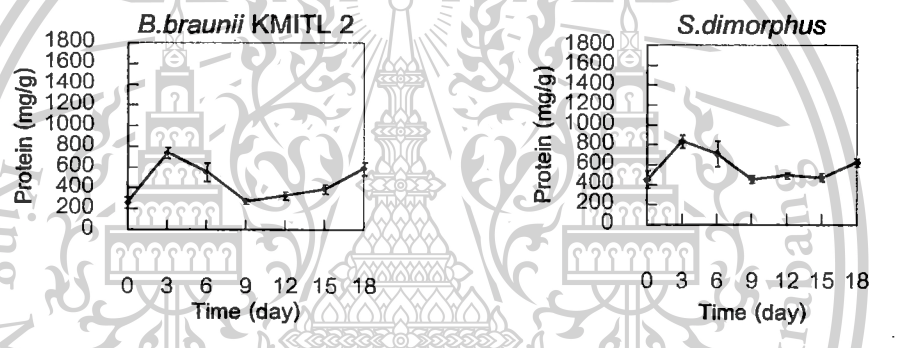
A B

ภาพที่ 4.46 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

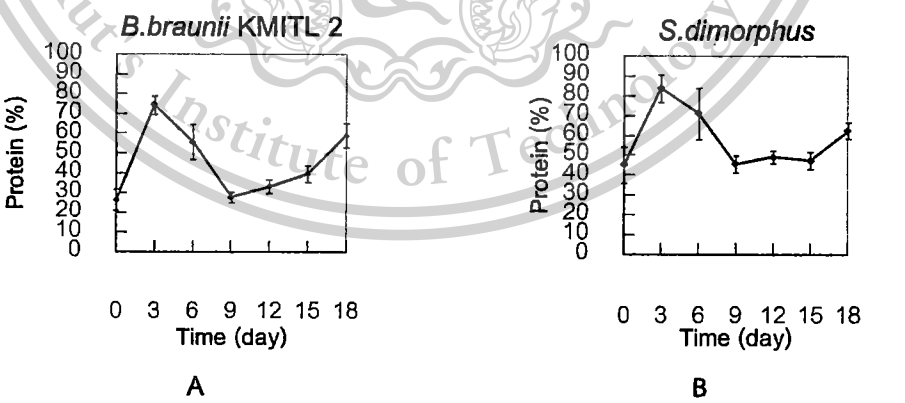
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.47 โปรตีน (mg/l) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

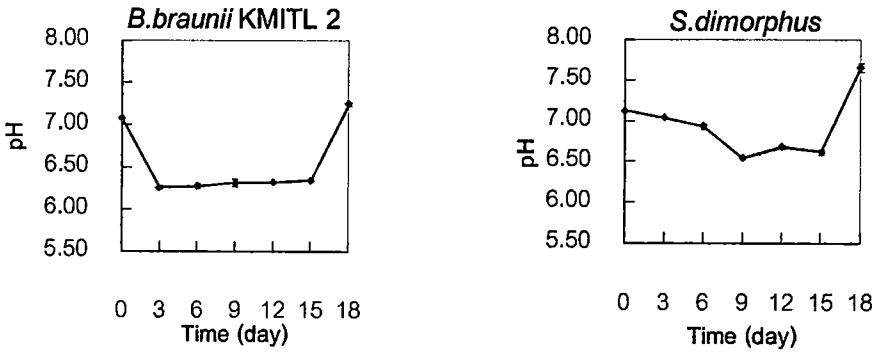


ภาพที่ 4.48 โปรตีน (mg/g) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%



ภาพที่ 4.49 โปรตีน (%) ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.50 พีเอช ของ *B. braunii* KMITL2 (A) และ *S. dimorphus* KMITL (B) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 กรดไขมันของ *B. braunii* KMITL2 เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	3.22	0.94	0.95	0.71
C6:0	0.18	0.08	0.88	1.31
C8:0	0.09	0.02	2.57	2.41
C10:0	0.20	0.18	2.14	1.28
C11:0	0.05	0.22	0.97	1.26
C12:0	0.11	2.52	0.39	3.76
C13:0	0.87	6.63	4.42	4.43
C14:0	1.15	2.36	1.80	1.47
C14:1	0.55	2.31	0.10	0.87
C15:0	0.23	0.75	0.22	0.32
C15:1	0.13	0.29	0.05	0.47
C16:0	13.53	25.42	17.91	26.99
C16:1	0.97	7.91	2.33	2.52
C17:0	0.53	2.28	1.71	0.71
C17:1	1.51	1.38	2.08	1.40
C18:0	3.95	3.86	5.39	4.93
C18:1n9t	1.08	9.20	6.36	3.43
C18:1n9c	4.02	7.40	7.85	8.81
C18:2n6t	1.89	0.55	5.00	0.54
C18:2n6c	4.29	6.33	8.85	7.90
C18:3n3	3.72	10.11	14.47	1.10
C18:3n6	0.90	1.13	1.41	12.70
C20:0	0.92	1.01	6.71	0.88
C20:1	0.69	1.07	2.40	2.16
C20:2	0.10	0.14	0.06	0.06
C20:3n3	2.40	0.84	0.61	0.69
C20:3n6	0.68	1.00	0.03	0.87
C20:4n6	0.00	0.84	0.29	0.71
C:20:5n3	0.00	0.00	0.11	0.61
C21:0	0.20	0.26	0.89	0.54
C22:0	2.57	0.81	0.27	1.23
C22:1n9	5.71	0.31	0.15	0.77
C22:2	19.72	0.25	0.01	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	6.10	0.11	0.14	0.23
C23:0	0.00	0.55	0.19	0.82
C24:0	17.71	0.92	0.19	0.48
C24:1	0.00	0.00	0.10	0.36
Saturated fatty acid	45.53	48.81	47.60	53.55
Unsaturated fatty acid	54.47	51.19	52.40	46.45
Monounsaturated fatty acid	14.66	29.87	21.42	20.79
Polyunsaturated fatty acid	39.81	21.31	30.99	25.67
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	36.40	75.58	73.36	71.01
C10:0-C18:2	35.07	79.58	67.57	71.09

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 กรดไขมันของ *S. dimorphus* KMITL เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C4:0	2.16	1.17	1.29	3.57
C6:0	2.66	1.00	1.80	4.92
C8:0	0.59	0.31	2.65	5.09
C10:0	0.05	0.07	0.27	0.83
C11:0	0.61	0.24	0.61	0.00
C12:0	1.97	1.45	1.14	0.83
C13:0	1.37	0.79	1.17	0.39
C14:0	3.72	3.46	0.21	4.94
C14:1	0.56	0.23	0.43	1.29
C15:0	0.77	0.55	0.69	0.48
C15:1	0.29	0.24	0.25	1.59
C16:0	29.44	28.27	24.35	15.71
C16:1	3.02	7.13	4.86	1.27
C17:0	2.84	2.96	1.26	1.32
C17:1	0.01	2.39	0.13	0.04
C18:0	1.96	1.82	8.33	0.41
C18:1n9t	0.01	0.31	3.17	3.85
C18:1n9c	8.66	7.29	6.92	7.29
C18:2n6t	0.03	0.06	0.09	4.84
C18:2n6c	7.32	12.99	7.48	3.47
C18:3n3	27.93	22.82	19.68	11.43
C18:3n6	1.13	1.26	1.11	0.12
C20:0	1.17	0.64	1.71	0.45
C20:1	0.06	0.00	0.14	0.46
C20:2	0.01	1.09	0.03	0.14
C20:3n3	0.07	0.28	0.63	3.56
C20:3n6	0.01	0.01	2.16	0.23
C20:4n6	0.07	0.08	0.48	0.06
C:20:5n3	0.12	0.00	0.14	2.37
C21:0	0.02	0.01	0.20	0.14
C22:0	0.23	0.31	0.78	0.07
C22:1n9	0.67	0.18	0.10	1.15
C22:2	0.01	0.00	3.08	7.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

ชนิดกรดไขมัน (%)	เวลา (วัน)			
	0	6	12	18
C22:6n3	0.00	0.02	0.05	0.12
C23:0	0.04	0.20	0.80	1.43
C24:0	0.40	0.29	1.62	4.83
C24:1	0.01	0.09	0.21	3.90
Saturated fatty acid	50.01	43.54	48.87	45.41
Unsaturated fatty acid	49.99	56.46	51.13	54.59
Monounsaturated fatty acid	13.30	17.85	16.21	20.83
Polyunsaturated fatty acid	36.69	38.61	34.92	33.76
Total fatty acid	100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18	82.36	87.29	77.38	49.75
C10:0-C18:2	62.64	70.26	61.35	48.55

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการศึกษาการเจริญเติบโตจำเพาะ ปริมาณผลผลิตชีวมวล ปริมาณไขมัน ผลผลิตไขมัน และกำลังการผลิตไขมัน (ตารางที่ 4.11-4.20) ในสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 พบว่าการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.30 ± 0.14 ต่อวัน ปริมาณไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 57.41 ± 3.59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.40 ± 0.02 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ กำลังการผลิตไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 72.66 ± 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์

ในสาหร่าย *S. dimorphus* KMITL พบว่าการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.31 ± 0.06 ต่อวัน ปริมาณไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.52 ± 0.92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.34 ± 0.02 กรัมต่อลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ กำลังการผลิตไขมันมีค่าสูงสุดเท่ากับ 90.57 ± 16.99 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบสาหร่ายทั้งสองชนิดจะพบว่าสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มว่ามีอัตราผลผลิตชีวมวล ปริมาณไขมัน ผลผลิตไขมัน มากกว่าสาหร่าย *S. dimorphus* แต่มีการเจริญเติบโตจำเพาะ และกำลังการผลิตไขมันต่ำกว่า และสาหร่าย *B. braunii* จะแสดงแนวโน้มว่ามีการเจริญเติบโตและมีไขมันสูงที่คาร์บอนไดออกไซด์ในช่วง 1-10 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* จะมีการเจริญเติบโตดีที่สุดที่คาร์บอนไดออกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ไขมันสูงสุดที่คาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้ทราบว่า *S. dimorphus* ต้องการปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในระบบเพาะเลี้ยงมากกว่า *B. braunii* และมีความทนทานต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ๆ ได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย

เลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิด ในอาหารสูตร Chlorella medium โดยให้แสงต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผันแปรระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 1-20% ศึกษาผลของระยะเวลาการเพาะเลี้ยงต่อการเจริญเติบโตปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่ายโดยทำการวิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันและกรดไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน จนสาหร่ายเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะ late exponential phase (ตารางที่ 4.11-4.20)

ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายส่งผลต่อปริมาณอาหารสะสมในเซลล์สาหร่าย โดยพบว่าปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่าย B. braunii ในการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 10-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไขมันในสาหร่ายลดลงขึ้น

ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายส่งผลต่อปริมาณอาหารสะสมในเซลล์สาหร่าย โดยพบว่าปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่าย S. dimorphus ในการเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 10-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไขมันในสาหร่ายเพิ่มขึ้น

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดมีผลตอบสนองต่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันในทางตรงข้าม สาหร่าย *B. braunii* ชอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลดีต่อปริมาณไขมัน ส่วนสาหร่าย *S. dimorphus* จะชอบคาร์บอนไดออกไซด์ ตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป จึงจะส่งผลให้ไขมันสะสมในเซลล์ได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.11 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00±0.00^{a}	0.30±0.01^{a}	6.27±0.68^{a}	0.0189±0.0021^{a}	0.00±0.00^{a}
6	0.19±0.02^{c}	0.27±0.05^{a}	39.40±1.36^{a}	0.1152±0.0535^{a}	72.66±2.56^{b}
12	0.13±0.01^{b}	0.46±0.02^{b}	21.64±1.27^{a}	0.1057±0.0662^{a}	29.21±1.69^{ab}
18	0.10±0.01^{b}	0.66±0.07^{c}	57.41±3.59^{b}	0.4070±0.0272^{b}	57.05±3.51^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.12 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	-	0.12 ± 0.04^{a}	19.57 ± 1.80^{a}	0.02 ± 0.01^{a}	-
6	0.17 ± 0.18^{ab}	0.23 ± 0.10^{a}	41.67 ± 7.47^{b}	0.09 ± 0.04^{a}	7.07 ± 7.60^{a}
12	0.42 ± 0.11^{b}	0.31 ± 0.08^{b}	35.93 ± 4.16^{b}	0.11 ± 0.03^{a}	15.26 ± 3.95^{a}
18	0.30 ± 0.14^{ab}	0.67 ± 0.07^{ab}	45.79 ± 5.02^{b}	0.29 ± 0.03^{b}	13.85 ± 6.40^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.13 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.36 ± 0.06^{a}	20.57 ± 0.51^{a}	0.09 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
6	0.09 ± 0.03^{b}	0.50 ± 0.03^{a}	38.59 ± 0.89^{b}	0.19 ± 0.01^{a}	3.46 ± 1.04^{a}
12	0.14 ± 0.01^{b}	0.99 ± 0.04^{b}	32.29 ± 0.66^{d}	0.32 ± 0.01^{b}	4.40 ± 0.28^{c}
18	0.09 ± 0.01^{b}	1.48 ± 0.03^{c}	26.12 ± 0.56^{c}	0.38 ± 0.00^{c}	2.31 ± 0.37^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.14 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.19 ± 0.01^{a}	27.17 ± 2.65^{b}	0.05 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
6	0.13 ± 0.09^{a}	0.23 ± 0.08^{a}	16.29 ± 0.17^{a}	0.04 ± 0.01^{a}	21.80 ± 13.79^{a}
12	0.26 ± 0.10^{a}	0.27 ± 0.05^{a}	16.12 ± 2.85^{a}	0.05 ± 0.01^{a}	36.75 ± 11.16^{a}
18	0.19 ± 0.12^{a}	0.30 ± 0.04^{a}	19.57 ± 0.35^{a}	0.06 ± 0.01^{a}	37.69 ± 24.78^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.15 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *B. braunii* KMITL2 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00±0.00^{a}	0.18±0.02^{a}	11.75±0.53^{a}	0.02±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
6	0.19±0.02^{a}	0.38±0.02^{b}	17.77±1.16^{c}	0.07±0.00^{b}	33.82±5.53^{c}
12	0.13±0.01^{b}	0.72±0.00^{c}	16.36±0.53^{bc}	0.12±0.00^{c}	21.36±1.92^{b}
18	0.10±0.01^{b}	0.83±0.03^{d}	14.54±0.55^{b}	0.12±0.00^{c}	14.81±1.02^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.16 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 1%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00±0.00^{a}	0.14±0.03^{a}	28.36±5.14^{b}	0.04±0.01^{ab}	0.00±0.00^{a}
6	0.05±0.03^{a}	0.19±0.01^{a}	9.07±1.44^{a}	0.02±0.00^{a}	4.56±2.57^{a}
12	0.20±0.08^{b}	0.46±0.04^{a}	10.46±0.68^{a}	0.05±0.01^{ab}	20.13±6.65^{b}
18	0.12±0.02^{ab}	0.85±0.23^{b}	8.14±0.29^{a}	0.07±0.02^{b}	9.77±1.37^{ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.17 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 5%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00±0.00^{a}	0.14± 0.03^{a}	45.52±0.92^{c}	0.07±0.02^{b}	0.00±0.00^{a}
6	0.04±0.03^{a}	0.16±0.01^{a}	24.84±10.14^{b}	0.04±0.02^{ab}	12.25±11.23^{a}
12	0.11±0.01^{b}	0.15±0.02^{a}	6.25±0.56^{a}	0.01±0.00^{a}	6.82±1.29^{a}
18	0.10±0.01^{b}	0.34±0.04^{b}	5.98±1.21^{a}	0.02±0.01^{a}	5.58±1.05^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.18 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 10%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.22 ± 0.08^{a}	12.50 ± 0.41^{b}	0.028 ± 0.011^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
6	0.17 ± 0.06^{b}	0.48 ± 0.04^{b}	9.76 ± 0.94^{a}	0.046 ± 0.001^{a}	14.55 ± 5.17^{ab}
12	0.16 ± 0.06^{b}	0.52 ± 0.00^{b}	15.33 ± 0.54^{c}	0.079 ± 0.003^{b}	24.23 ± 8.66^{b}
18	0.12 ± 0.05^{ab}	0.47 ± 0.03^{b}	20.14 ± 0.76^{d}	0.094 ± 0.008^{b}	24.06 ± 10.00^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.19 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 15%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.11 ± 0.01^{a}	20.34 ± 0.25^{c}	0.02 ± 0.00^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
6	0.10 ± 0.01^{bc}	0.21 ± 0.02^{a}	11.63 ± 0.14^{a}	0.02 ± 0.00^{a}	11.94 ± 1.18^{b}
12	0.13 ± 0.01^{c}	0.52 ± 0.03^{b}	20.48 ± 0.40^{c}	0.11 ± 0.01^{b}	26.31 ± 2.29^{d}
18	0.10 ± 0.01^{b}	0.71 ± 0.07^{c}	19.22 ± 0.31^{b}	0.14 ± 0.01^{c}	19.66 ± 1.68^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.20 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมัน *S. dimorphus* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับ CO_2 20%

วันที่	Specific growth rate (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00 ± 0.00^{a}	0.15 ± 0.03^{a}	33.52 ± 0.70^{c}	0.05 ± 0.01^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
6	0.31 ± 0.06^{c}	0.44 ± 0.05^{b}	29.67 ± 0.35^{b}	0.13 ± 0.01^{b}	90.57 ± 16.99^{c}
12	0.15 ± 0.02^{b}	0.81 ± 0.03^{c}	22.75 ± 0.32^{a}	0.18 ± 0.01^{c}	32.86 ± 3.29^{ab}
18	0.17 ± 0.06^{b}	0.89 ± 0.04^{c}	37.81 ± 0.38^{d}	0.34 ± 0.02^{d}	63.16 ± 23.40^{bc}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายพบว่าในสาหร่าย *B. braunii* KMITL2 พบปริมาณคาร์บอนในเซลล์สูงสุดที่ 46.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* KMITL ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคาร์บอนในเซลล์สูงสุดเท่ากับ 33.62 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.21) โดยพบว่าสาหร่าย *B. braunii* ที่ทุกระดับการได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณคาร์บอนในเซลล์มากกว่า *S. dimorphus* KMITL

ตารางที่ 4.21 ปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

CO_2 (%)	*B. braunii* KMITL2	***S. dimorphus* KMITL**
1	42.92	4.57
3	39.90	24.09
5	46.5	16.33
10	43.31	33.62
15	41.86	9.82
20	31.78	9.15

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายน้ำมัน *B. braunii* KMITL2 และ *S. dimorphus* KMITL ในอาหารที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 1-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสาหร่าย *B. braunii* เจริญเติบโตได้ดีและมีไขมันสูงเมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสาหร่าย *S. dimorphus* จะเหมาะกับระดับคาร์บอนไดออกไซด์ ตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งส่งผลให้ไขมันสะสมในเซลล์ได้มากขึ้น สาหร่าย *B. braunii* มีปริมาณคาร์บอนสะสมในเซลล์สูงกว่า โดยสะสมสูงสุดที่ 46.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วน *S. dimorphus* มีปริมาณคาร์บอนในเซลล์สูงสุดเท่ากับ 33.62 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ ควรมีการทดสอบเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ในระดับนอกห้องปฏิบัติการโดยใช้แก๊สที่ปล่อยออกจากโรงงานอุตสาหกรรมจริง เพื่อเปรียบเทียบผลกับในระดับในห้องปฏิบัติการ เพราะแก๊สที่ปล่อยจากโรงงานจะมีแก๊สอื่นปนมากับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลที่ได้อาจแตกต่างจากผลในระดับห้องปฏิบัติการ

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

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

CDIAC. 2011. Carbon dioxide information analysis center, Oak ridge national laboratory, US. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. Doi: 10.3334/CDIAC/00001-v2011.

Chen, C.Y., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.Jl., and Chang, J.S. 2011. Cultivation photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. Bioresource Technology. 102:71-81.

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

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

Demirbas, A. 2011. Biodiesel from oilgae, biofixation of carbon dioxide by microalgae: A solution to pollution problems. Applied Energy. 88:3541-3547.

Ge, Y., Liu, J. and Tian, G. 2011. Growth characteristics of *Botryococcus braunii* 765 under high CO_2 concentration in photobioreactor. Bioresource Technology. 102:130-134.

Ho, S-H., Chen, C-Y., Lee, D-J., and Chang, J-S. 2011. Perpectives on microalgal CO2-emission mitigation systems-A review. Biotechnology Advances. 29:189-198.

Ho, S-H., Chen, C-Y., Yeh, K-L., Chen, W-M., Lin, C-Y., and Chang, J-S. 2010. Characteriazation of photosynthetic carbon dioxide fixation ability of indigenous Scenedesmus obliquus isolates. Biochemical Engineering Journal. 53:57-62.

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

Jacop-Lopes, E., Revah, S., Hernandez, S., Shirai, K., and Franco, T.T. 2009. Development of operational strategies to remove carbon dioxide in photobioreactors. Chemical Engineering Journal. 153:120-126.

Kadam, K.L. 2002. Environmental implications of power generation via coal-microalgae cofiring. Energy 27: 905-922.

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.

Knothe, G., 2008. "Designer" biodiesel: optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. Energy and Fuels. 22:1358-1364.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Melis, A. 2013. Carbon partitioning in photosynthesis. Current Opinion in Chemical Biology. 17:453-456.

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.

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.

Praveenkumar, R., Shameera, K., Mahalakshmi, G., Abdulkader, M.A., Thajudding, N. 2012. Influence of nutrient deprivations on lipid accumulation in a dominant indigenous microalga *Chlorella* sp., BUM11008:evaluation for biodiesel production. Biomass Bioenergy. 37:60-66.

Ruangsobmoon, S. 2012. Effect of Light, Nutrient, Cultivation Time and Salinity on Lipid Production of Newly Isolated Strain of the Green Microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. Bioresource Technology. 109:261-265..

Salih, F.M. 2011. Microalgae tolerance to high concentrations of carbon dioxide : A review. Journal of Environmental Protection. 2:648-654.

Sawayama, S., Inoue, S., Dote, Y. and Yokoyama, S. 1995. CO_2 fixation and oil production through microalga. Energy Convers. Mgmt. 36:6-9.

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.

Tang, D., Han, W., Li. P., Miao, X., Zhong, J. 2011. CO_2 biofixation and fatty acid composition of *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella pyrenoidosa* in response to different CO_2 level. Bioresource Technology. 102:3071-3076.

Toledo-Cervantes, A., Morales, M. Novelo, E., and Revah, S. 2013. Carbon dioxide fixation and lipid storage by Scenedesmus obtusiusculus. Bioresource Technology. 130:652-658.

Vidyashankar, S., Deviprasad, K., Chauhan, V.S., Ravishankar, G.A., and Sarada, R. 2013. Selection and evaluation of CO2 tolerant indigenous microalga Scenedesmus dimorphus for unsaturated fatty acid rich lipid production under different culture conditions. Bioresource Technology. 144:28-37.

Yoo, C., Jun, S-Y., Lee, J-Y., Ahn, C-Y., and Oh, H-M. 2010. Selection of microalgae for lipid production under high levels carbon dioxide. Bioresource Technology. 101:571-574.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Yoshimura, T., Okada, S. and Honda, M. 2013. Culture of the hydrocarbon producing microalga Botryococcus braunii strain Showa: Optimal CO2, salinity, temperature, and irradiance conditions. 133:232-239.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
Miss Suneerat Ruangsomboon

เพศ หญิง

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)	King Mongkut's University of Technology Thonburi (International program)	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)
9. การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู) (รายได้คณะฯ 2550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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.
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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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 และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. หน้า 305-312.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

23. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. ผลของการจำกัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการดูดซับตะกั่วของไซยาโนแบคทีเรีย *Hapalosiphon* sp. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 7-8 ธันวาคม 2553. หน้า 1931-1938.
24. กวิน พันธุ์สัมฤทธิ์ และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. ผลของพีเอชต่อการดูดซับสีย้อม benewol red โดยสาหร่าย. การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 8 สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก. ระหว่างตีพิมพ์.
25. กวิน พันธ์สัมฤทธิ์ อทิยา สะพานกลาง และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2554. การดูดซับสีย้อมแอซิด benewol red โดยสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2554. หน้า 497-506.
26. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2555. การใช้อาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* สดและแห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี Kenyi Cichlid, Pseudotropheus lombardoi. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40:208-217.
27. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ดุสิต เอื้ออำนวย. 2556. ผลของระยะเวลา แสง และอุณหภูมิในการเก็บรักษาสารสกัดจากไซยาโนแบคทีเรีย, *Phormidium angustissimum* ต่อความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง (*Brassica chinensis* var. *parachinensis* Tsen & Lee). วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 41:973-984.
28. ปิยมาภรณ์ เวียนรอบทิศ และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของเหล็กต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria limnetica* (Lemmermann). ในการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 6 เชียงใหม่ มีนาคม 2556. หน้า 28-37.
29. ศุภลักษณ์ โภชนสมบูรณ์ เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชในระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ (อ่างพวง) บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. ในการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 6 เชียงใหม่ มีนาคม 2556. หน้า 77-89
30. จิรรัตน์ พรหมนารถ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 7:92-101
31. วัฒนา นุชซอและ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของความเข้มข้นของเหล็กที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 7:14-24.
32. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ มณฑล แก่นมณี และ จรงศักดิ์ พุมนวน. 2557. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาชะโดและบ่อปลูกผักกระเฉด. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2557. หน้า 275-283.
33. ปิยมาภรณ์ เวียนรอบทิศ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2557. ผลของเหล็กต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Botryococcus braunii*. ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2557. หน้า 334-342.

34. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, อำมร อินทร์สังข์ และ จรงศักดิ์ พุมนวน. 2557. ผลของสารสกัดจากไซยาโนแบคทีเรีย *Phormidium angustissimum* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารต่างกัน ที่มีต่อฤทธิ์การกำจัดไรฝุ่น *Dermatophagoides pteronyssinus*. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32:(1)13-20.
35. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2557. องค์ประกอบทางเคมีและการเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายสี*เขียว Cladophora glomerata*.วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32:(2)1-8
36. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2558. การดูดซับสีย้อมแอซิด เบเนวอล เรด โดยใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus* ที่มีชีวิตแบบตรึงเซลล์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 33:(2) 82-92.

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.
7. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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.
9. Saparnklang, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effects of Nitrogen and Phosphorus Limitation on Polysaccharides Content and Lead (Pb2+) Biosorption Capacity of Cyanobacterium *Phormidium* sp. Proceedings of 16th Asian Agricultural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Symposium and 1st International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 476-479.

10. Samosorn, A., Pumnuan, J., Insung, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effectiveness of Cyanobacteria Extracts on the House Dust Mite, *Dermatophagoides Pteronyssinus* (Trouessart) by Contact Method. Proceedings of 16th Asian Agricultural Symposium and 1st International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 700-703.
11. Pumnuan, J., Ruangsomboon, S., Kangkunt, S. 2010. Insecticide Residues in Neptunia Plantation Water and Related Canals:A Case Study in Amphur Bangplee, Samutprakarn Province. .Proceedings of 16th Asian Agricultural Symposium and 1st International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 460-463.
12. Samosorn, A., Pumnuan, J., Insung, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effects Of Nitrogen And Phosphorus In Culture Medium On Bioactive Compounds Of *Oscillatoria* sp. Extracts On The House Dust Mite, *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart). The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 215-219.
13. Pansamrit, K. and Ruangsomboon, S. 2010. Effect of pH on biosorption of basic-dye malachite green by algae. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 220-224.
14. Saparnklang, A. and Ruangsomboon S. 2010. Effects of nitrogen and phosphorus limitation on polysaccharides content and lead (Pb^{2+}) biosorption capacity of cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 225-230.
15. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakarn P. and Worasing S. 2010. Antibacterial activity of lipophilic and hydrophilic extracts of algae. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 231-237.
16. Suneerat Ruangsomboon and Ladda Wongrat. 2012. Toxic Effects of Low pH and Pb^{2+} on Chlorophyll Fluorescence and Growth of Cyanobacterium, *Hapalosiphon* sp. 2012 International Conference on Sustainable Environmental Technologies (ICSET). Century Park Hotel, Bangkok, Thailand; 26-27 April, 2012. p. 1-7
17. Suneerat Ruangsomboon and Sakchai Choochote. 2012. Effects of Different media on growth and lipid production in the green microalga, Botryococcus braunii KMITL2. Proceeding of 2nd Asia-Oceania algae innovation summit: algae for sustainable development, September 3-5, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

18. Suneerat Ruangsomboon, Sakchai Choochote, Paveena Thaweekijakarn, Dusit Aue-umneoy. 2012. Nitrogen and Phosphorus removal from wastewater by green microalga, Scenedesmus dimorphus. Proceeding of 2nd Asia-Oceania algae innovation summit: algae for sustainable development, September 3-5, 2012.
19. Suneerat Ruangsomboon, Sakchai Choochote, Paveena Thaweekijakarn, Monthon Ganmanee and Chamroon Laosinwattana. 2012. Acute toxicity of cyanotbacterial extracts, Oscillatoria tenuis and Phormidium angustissimum on freshwater invertebrate, Water flea (Moina Macrocopa). Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution ot Organic Agriculture in the 21st Centrury". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p.329-338.
20. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakran P., and Ganmanee M. 2012. Effect of different nitrogen sources and concentrations on growth and microcystin production of toxic cyanobacterium, *Microcystis aeruginosa*. Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution ot Organic Agriculture in the 21st Century". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p 339-346.
21. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakran P., and Ganmanee M. 2012. Toxic effect of *Oscillatoria tenuis* and *Arthrospira platensis* extracts on freshwater invertebrate, Lanchester's freshwater prawn (*Macrobrachium lanchesteri*). Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution to Organic Agriculture in the 21st Centrury". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p 347-354.
22. Ruangsomboon S., Aue-Umneoy D., and Saparnklang A. 2013. Biosorption of basic dye, malachite green by brown alga Padina sp. Proceeding of 2nd International conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST 2013): Biological diversity, food and agricultural technology. November 28-29, 2013, Bangkok Thailand, p.490-501
23. Saparnklang A. and Ruangsomboon S. 2013. Growth, polysaccharide contents and biosorption of lead (Pb2+) by the cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. cultured under different medium concentrations. Proceeding of 2nd International conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST 2013): Biological diversity, food and agricultural technology. November 28-29, 2013, Bangkok Thailand, p.193-202.
24. Ruangsomboon S. 2015. Preliminary study on used microalga (*Nostoc commune*) as a protein supplement in dry-wet mixtures feed for juveniles snakehead (*Channa striata*). Proceeding of 2nd International Symposium on Agricultural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Technology:Global Agriculture Trends for Sustainability (ISAT). July 1-3, 2015, Pattaya, Thailand, p. 321-324.

International Journal

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Ruangsobmoon S. 2012. Effect of Light, Nutrient, Cultivation Time and Salinity on Lipid Production of Newly Isolated Strain of the Green Microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. Bioresource Technology. 109:261-265.
5. Ruangsomboon S., Ganmanee M, and Choochote S. 2013. Effects of different nitrogen, phosphorus, and iron concentrations and salinity on lipid production in newly isolated strain of the tropical green microalga, *Scenedesmus dimorphus* KMITL. Journal of Applied Phycology. 25:867-874.
6. Ruangsomboon S., Wongrat L., Choochote S., Ganmanee M. and Saparnklang A. 2013. Effects of low pH and Pb^{2+} stress on living cyanobacterium, *Phormidium angustissimum* West & G.S. West : A test of its feasibility as a living biosorbent. Journal of Applied Phycology. 25:905-911.
7. Ruangsomboon S. 2013. The effect of light, nutrient, cultivation time and salinity on lipid production of the tropical cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* KMITL. Academic Journal of Science. 2:311-321.
8. Ruangsomboon S. 2014. Effect of media and salinity on lipid content of cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. *Chiang Mai J. Sci.* 41:307-315.
9. Ruangsomboon S., Yongmanitchai W., Taveekijakarn P., Ganmanee M. 2014. Cyanobacterial Composition and Microcystin Accumulation in Catfish Pond. *Chiang Mai J. Sci.* 41:27-38.
10. Ruangsomboon S. 2014. Biosorption of lead (Pb^{2+}) by living cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* Lemmermann. Academic Journal of Science. 03(02):459-469.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

11. Ruangsomboon S. 2015. Enhanced Production of Polysaccharides and Protein Content in Cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* as a Defense Mechanism Against Low pH and Pb^{2+}. *Chiang Mai J. Sci.* 42(1):34-43.
12. Ruangsomboon S. 2015. Effects of different media and nitrogen sources and levels on growth and lipid of green microalga *Botryococcus braunii* KMITL and its biodiesel properties based on fatty acid composition Bioresource Technology. 191:377-384.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.