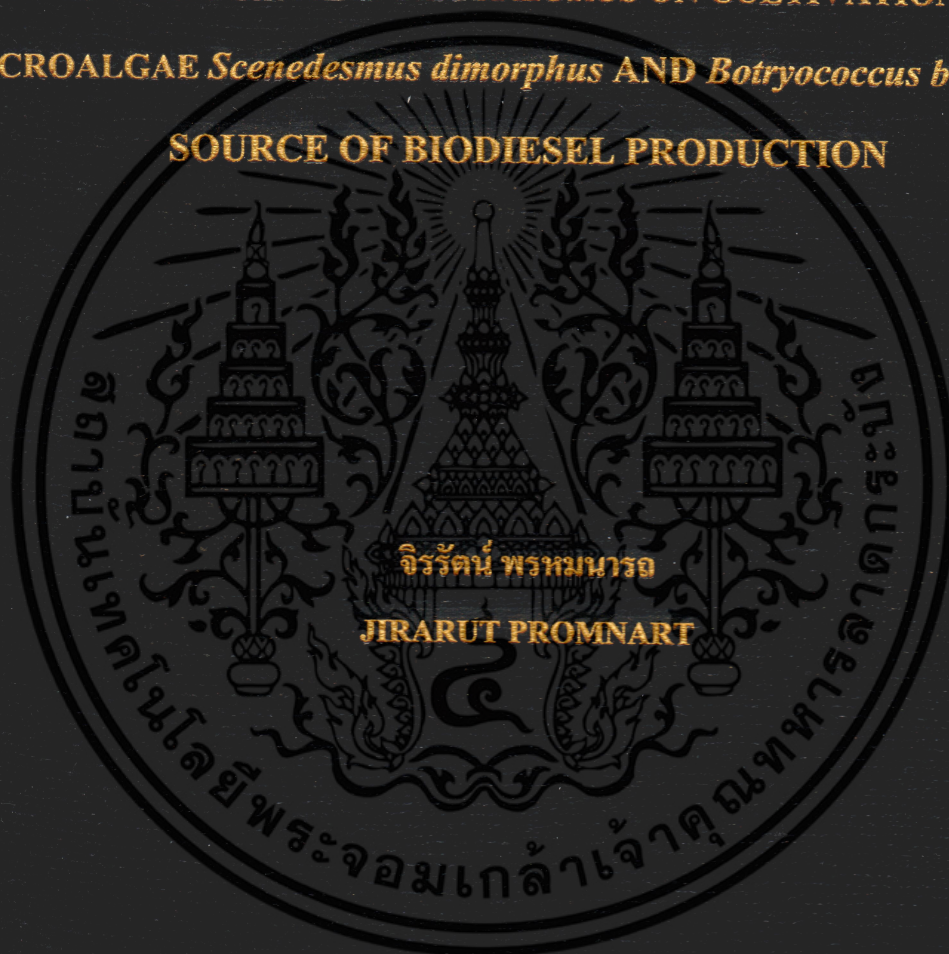


ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

Scenedesmus dimorphus และ *Botryococcus braunii*

เพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล

EFFECT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON CULTIVATION OF GREEN
MICROALGAE *Scenedesmus dimorphus* AND *Botryococcus braunii* AS
SOURCE OF BIODIESEL PRODUCTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

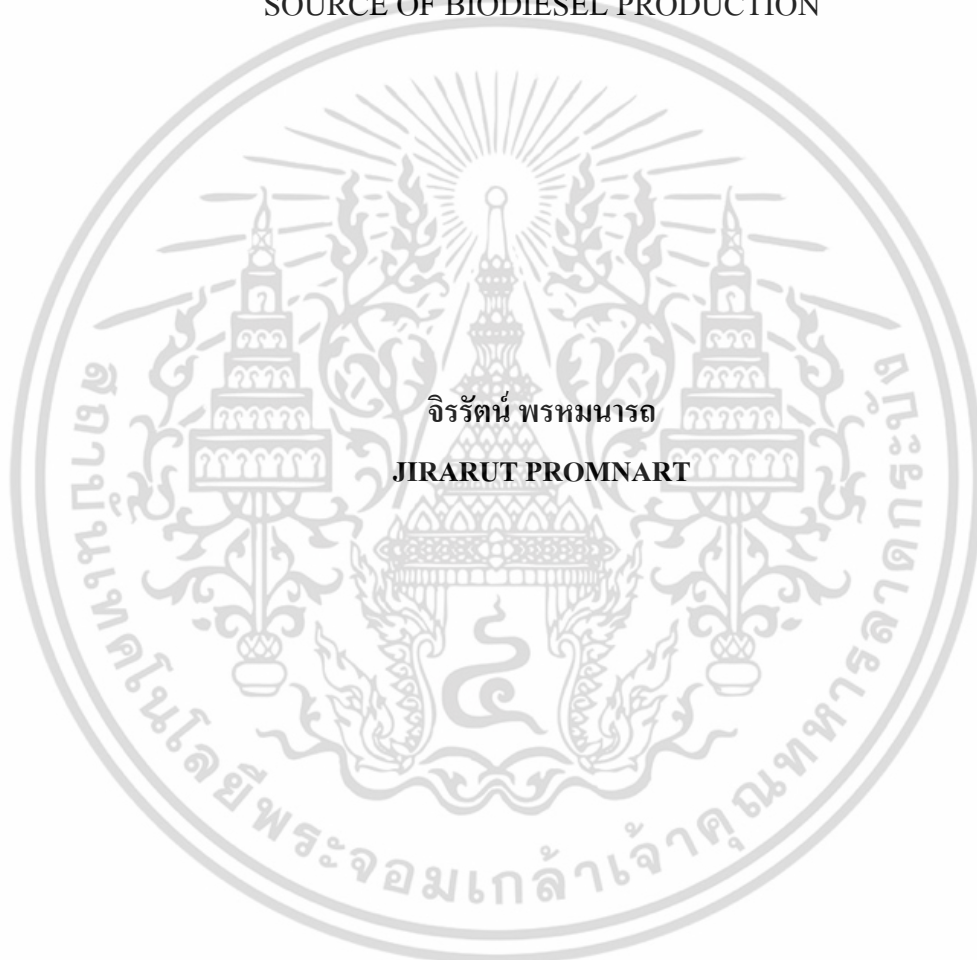
KMITL-2016-AG-M-081-224

ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

Scenedesmus dimorphus และ *Botryococcus braunii*

เพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล

EFFECT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON CULTIVATION OF GREEN
MICROALGAE *Scenedesmus dimorphus* AND *Botryococcus braunii* AS
SOURCE OF BIODIESEL PRODUCTION



จिरรัตน์ พรหมนารถ

JIRARUT PROMNART

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMIT-2016-AG-M-081-224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS ON CULTIVATION OF GREEN
MICROALGAE *Scenedesmus dimorphus* AND *Botryococcus braunii* AS
SOURCE OF BIODIESEL PRODUCTION



JIRARUT PROMNART

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2016

KMITL-2016-AG-M-081-224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก
Scenedesmus dimorphus และ *Botryococcus braunii* เพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่ง
ผลิตไบโอดีเซล

Effect of nitrogen and phosphorus on cultivation of green microalgae, *Scenedesmus
dimorphus* and *Botryococcus braunii* as source of biodiesel production

นักศึกษา นางสาวจิรรัตน์ พรหมนารถ

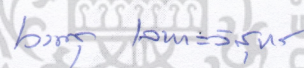
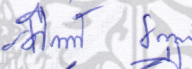


รหัสประจำตัว 54640901

ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การประมง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.นงนุช เลาหะวิสุทธิ	
ดร.เดือนรัตน์ ชลอุดมกุล	
รศ.ดร.สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ	
ผศ.ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์	
ผศ.ดร.อัจฉรี เรืองเดช	

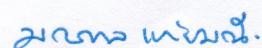
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 13 กรกฎาคม 2559

สถานที่สอบ ห้องประชุม A 209 (ชั้น 2 ตึกเจ้าคุณทหาร)

คณบดีรับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑล แก่นมณี)

คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 21 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Scenedesmus dimorphus</i> และ <i>Botryococcus braunii</i> เพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิรรัตน์ พรหมนารถ
รหัสประจำตัว	54640901
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การประมง
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปุ๋ยสูตรการค้าต่อผลผลิตไขมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus* และ *Botryococcus braunii* เพื่อทราบความเป็นไปได้ในการใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่ผันแปรความเข้มข้นของไนโตรเจน 0.17-0.85 กรัมต่อลิตร (ใช้โพแทสเซียมไนเตรทเป็นแหล่งไนโตรเจน) ผันแปรความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 0-0.56 กรัมต่อลิตร (ใช้โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นแหล่งฟอสฟอรัส) ปุ๋ยยูเรีย 0.0037-0.74 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K (0.17:0.28:0.83 กรัมต่อลิตร) ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีชีวมวล ปริมาณลิพิดและผลผลิตลิพิดสูงสุดเท่ากับ 1.08 ± 0.03 กรัมต่อลิตร 40.80 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 0.42 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ และเมื่อนำมาเพาะเลี้ยงภายนอกห้องปฏิบัติการในระบบ Photobioreactor พบว่ามีค่าชีวมวลสูง ปริมาณลิพิดสูงและผลผลิตลิพิดสูงสุด เท่ากับ 0.76 ± 0.02 กรัมต่อลิตร 33.76 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 0.26 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ ชนิดกรดไขมันของสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหารยูเรียมี C10:0-C18:2 เท่ากับ 86.63 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เหมาะสมกับการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล ส่วนสาหร่าย *B. braunii* อาหารที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรอาหารการค้า N:P:K พบว่ามีชีวมวลสูงสุด ปริมาณลิพิดสูง และผลผลิตลิพิดสูงสุด เท่ากับ 1.96 ± 0.03 กรัมต่อลิตร 39.32 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 0.74 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16, 20 และ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาเพาะเลี้ยงภายนอกห้องปฏิบัติการ ในระบบ Photobioreactor พบว่า มีชีวมวลสูงสุด ปริมาณ ลิพิดสูง และผลผลิตลิพิดสูงสุด เท่ากับ 2.07 ± 0.01 กรัมต่อลิตร 48.74 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 0.99 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16, 20 และ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ ชนิดกรดไขมันของสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหาร N:P:K มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 80.23 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง เหมาะสมกับการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Effect of nitrogen and phosphorus on cultivation of green microalgae, <i>Scenedesmus dimorphus</i> and <i>Botryococcus braunii</i> as source of biodiesel production.
Student	Miss Jirarut Promnart
Student ID	54640901
Degree	Master of Science
Program	Fisheries Science
Year	2016
Thesis Adviser	Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon

ABSTRACT

The effect of nitrogen, phosphorus and commercial fertilizer on lipid production of microalgae, *Scenedesmus dimorphus* and *Botryococcus braunii* were studied, for use as feedstock for biodiesel production. Laboratory study, algae were cultivated in Chlorella medium under various concentrations of nitrogen 0.17-0.85 g/l (KNO_3 as nitrogen source), phosphorus 0-0.56 g/l (KH_2PO_4 as phosphorus source), urea 0.0037-0.74 g/l and NPK fertilizer (0.17:0.28:0.83 g/l). The result showed that *S. dimorphus* cultivated in urea 0.74 g/l had the maximum biomass, lipid content and lipid yield of 1.08 ± 0.03 g/l, 40.80 ± 0.97 % and 0.42 ± 0.01 g/l, respectively. While outdoor cultivation of this alga in photobioreactor had the maximum biomass, lipid content and lipid yield of 0.76 ± 0.02 g/l, 33.76 ± 0.53 % and 0.26 ± 0.00 g/l, respectively. Dominant fatty acid composition of this alga cultivated in urea was C10:0-C18:2 (86.63 %), which suitable for biodiesel production. *B. braunii* cultivated in NPK fertilizer showed the maximum biomass, lipid content and lipid yield of 1.96 ± 0.03 g/l, 39.32 ± 0.26 % and 0.74 ± 0.03 g/l, respectively. While outdoor cultivation of this alga in photobioreactor had the maximum biomass, lipid content and lipid yield of 2.07 ± 0.01 g/l, 48.74 ± 1.57 % and 0.99 ± 0.01 g/l, respectively. Dominant fatty acid composition of this alga cultivated in NPK fertilizer was C10:0-C18:2 (80.23 %), which suitable for biodiesel production. The result of this study indicated both algae were potential feedstock for biodiesel production.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุนิรัตน์ เรืองสมบูรณ์
หลักสูตรวิทยาศาสตรจารย์ประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการทำวิจัยแก้ปัญหาหาตลอดจนความรู้
และประสบการณ์ที่ดี รวมทั้งตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้าพเจ้ารู้สึก
ซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.พรทิวา กัญยวงส์หา สาขาวิชาปฐพีวิทยา รศ.ดร.นงนุช
เลาหะวิสุทธิ รศ.ดร.อนัญญา เจริญพรนิพัทธ์ และ ผศ.ดร.อังลรี เรืองเดช หลักสูตรวิทยาศาสตร
จารย์ประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
และ ดร.เดือนรัตน์ ชลอุดมกุล ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบให้คำแนะนำ ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนคำแนะนำงานกระทั่ง
สำเร็จการศึกษาด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการหลักสูตรวิทยาศาสตรจารย์ประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่อำนวยความสะดวกและ
คำแนะนำต่าง ๆ ในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในสาขาวิชาวิทยาศาสตรจารย์ประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์
ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และสนับสนุนส่งเสริม
ด้านการศึกษาให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ซึ่งประโยชน์และคุณค่าของวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบ
แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านตลอดจนผู้ที่สามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปได้

จิรรัตน์ พรหมนารถ

กรกฎาคม 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สำหรับ <i>S. dimorphus</i> และสำหรับ <i>B. braunii</i>	4
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่าย.....	10
2.3 ประโยชน์ของสาหร่าย.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 ชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก.....	36
3.2 สารเคมี.....	36
3.2.1 อาหารเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก.....	36
3.2.2 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ.....	36
3.2.3 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณโปรตีน.....	36
3.2.4 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรต.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.5 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณน้ำมันและกรดไขมัน.....	37
3.3 อุปกรณ์.....	37
3.4 สถานที่ทำการวิจัย.....	38
3.5 วิธีดำเนินการ.....	38
3.5.1 การเตรียมสาหร่ายบริสุทธิ์.....	38
3.5.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	38
3.5.3 การทดลองนอกห้องปฏิบัติการในระบบ Photobioreactor.....	41
3.5.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี.....	42
3.5.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	42
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> และ <i>B. braunii</i> ในห้องปฏิบัติการ.....	43
4.1.1 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของ สาหร่าย <i>S. Dimorphus</i>	43
4.1.2 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของ สาหร่าย <i>B. braunii</i>	48
4.2 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> และ <i>B. braunii</i> ในห้องปฏิบัติการ.....	53
4.2.1 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของ สาหร่าย <i>S. dimorphus</i>	53
4.2.2 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของ สาหร่าย <i>B. braunii</i>	58
4.3 ผลของปุ๋ยสูตรการค้าต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของ สาหร่าย <i>S. dimorphus</i> และ <i>B. braunii</i> ในห้องปฏิบัติการ.....	63
4.3.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0).....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i>	63
4.3.1.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>B. braunii</i>	66
4.3.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	71
4.3.2.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i>	71
4.3.2.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>B. braunii</i>	75
4.3.3 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส	79
4.3.3.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i>	79
4.3.3.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย <i>B. braunii</i>	83
4.4 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดเพาะเลี้ยงในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> และ <i>B. braunii</i> นอกห้องปฏิบัติการ.....	87
4.4.1 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i>	87
4.4.2 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย <i>B. braunii</i>	92
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	99
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	112
บรรณานุกรม.....	113
ภาคผนวก	121
ประวัติผู้เขียน.....	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ VII ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารประกอบฟอสเฟตบางชนิดในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ.....	18
2.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย <i>S. Dimorphus</i>	22
2.3 ส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักและในปุ๋ยการค้า.....	24
2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองสาหร่าย <i>D. salina</i> สายพันธุ์ DCCBC15.....	25
2.5 สูตรอาหารที่แตกต่างกันใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน <i>Oscillatoria</i> sp.....	26
2.6 เปรียบเทียบแหล่งผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็กและแหล่งผลิตไบโอดีเซลอื่น.....	30
2.7 ค่า Cetane Number ของกรดไขมัน.....	33
2.8 ค่าปริมาณไขมันและกรดไขมันในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสกุล <i>Scenedesmus</i> spp. และ <i>B. braunii</i>	34
4.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	46
4.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	51
4.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	56
4.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	61
4.5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน.....	64
4.6 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน.....	69
4.7 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	74
4.8 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการถ่ายเรีย: ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)	82
4.10 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการถ่ายเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)	86
4.11 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปฏิกิริยาการถ่ายเรีย ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	90
4.12 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณน้ำมันของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปฏิกิริยาการถ่ายเรีย ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	95



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สาหร่าย <i>S. dimorphus</i> และ <i>B. braunii</i>	6
2.2 แผนผังกระบวนการสังเคราะห์แสง การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และการสะสมคาร์บอน ภายในเซลล์สาหร่าย	9
2.3 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็ก.....	11
2.4 การเปรียบเทียบการสร้างกรดไขมันอะราซิก (C22:6n-4) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและ สาหร่าย.....	12
2.5 กลไกการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์สาหร่ายขนาดเล็ก.....	13
2.6 ปฏิกิริยา Transesterification.....	29
4.1 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โพรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของ ไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	45
4.2 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	47
4.3 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โพรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของ ไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	50
4.4 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน.....	52
4.5 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โพรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของ ฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	55
4.6 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	60
4.8 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน.....	62
4.9 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน.....	63
4.10 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน.....	65
4.11 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน.....	68
4.12 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงภายใต้ปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน	70
4.13 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	73
4.14 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	74
4.15 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	77
4.16 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)	78

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 ซิวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แครโทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)	81
4.18 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>S. Dimorphus</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)	82
4.19 ซิวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แครโทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร).....	85
4.20 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร).....	86
4.21 ซิวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แครโทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปฏิกิริยาการค้ำยูเรีย ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	89
4.22 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่าย <i>S. dimorphus</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา (A) และปฏิกิริยาการค้ำยูเรีย (B) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	91
4.23 ซิวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แครโทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปฏิกิริยาการค้ำ (N: P: K) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	94
4.24 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่าย <i>B. braunii</i> ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา (A) และปฏิกิริยาการค้ำ (N: P: K) (B) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ.....	96

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อีกทั้งยังส่งผลให้ภาวะโลกร้อนมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น จึงเป็นแรงผลักดันให้มีการค้นหาแหล่งพลังงานทดแทน (Liu *et al.* 2012) ในปัจจุบันสาหร่ายขนาดเล็กเป็นทางเลือกในการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลโดยดึกว่าน้ำมันปิโตรเลียม เพราะไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สาหร่ายสามารถดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้สูงกว่าพืชพลังงานชนิดอื่นๆ จึงช่วยแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของก๊าซในชั้นเรือนกระจก (Mandal and Mallick 2009)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลนั้นจะสามารถทำในเชิงพาณิชย์ได้ต้องมีผลผลิตไขมันต่อพื้นที่สูงที่สุดและใช้ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับพืชพลังงานอื่น ๆ ซึ่งมีแนวทางคือการเพาะเลี้ยงในธาตุอาหารที่ความเข้มข้นเหมาะสม โดยธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณไขมันของสาหร่าย ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโต การสะสมลิพิด และฟอสฟอรัส (P) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ DNA RNA และสารให้พลังงานสูง (ATP) นอกจากนี้การเลือกใช้ปุ๋ยราคาถูก เช่น ปุ๋ยยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน หรือการเลือกระบบเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมยังสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนได้ ซึ่งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบปิด (Close-Photobioreactor) สามารถลดปัญหาด้านการปนเปื้อนและเพิ่มผลผลิตน้ำมันได้ (Moazami *et al.* 2011) อย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตน้ำมันมีความสัมพันธ์กับสภาวะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง หากสภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน การสะสมน้ำมันก็จะแตกต่างกันด้วย (Liu *et al.* 2012)

สาหร่ายขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus* และ *Botryococcus braunii* เจริญเติบโตเร็วกว่าพืชพลังงานชนิดอื่นและสามารถผลิตน้ำมันได้ 12-25 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 25-75 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีศักยภาพในฐานะของแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้ผลผลิตอื่น ๆ ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก ได้แก่ โปรตีนนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรืออาหารเสริม คาร์โบไฮเดรตสามารถเปลี่ยนไปเป็นเชื้อเพลิงเอทานอลหรือใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนสารสีที่ได้เช่นคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เป็นผลผลิตที่นำไปใช้อุตสาหกรรมยา เป็นต้น (Cheng and Ogden 2011)

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมีและชนิดกรดไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กชนิด *S. dimorphus* และ *B. braunii* ที่เพาะเลี้ยง

ภายใต้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเกรดห้องปฏิบัติการและเกรดการค้าที่แตกต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อนำความเข้มข้นที่เหมาะสมมาเพาะเลี้ยงในระบบ Photobioreactor ภายนอกห้องปฏิบัติการ เพื่อทราบสภาวะที่สาหร่ายได้ผลผลิตสูงที่สุดสำหรับประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเกรดห้องปฏิบัติการและเกรดการค้าที่แตกต่างกัน โดยเพาะเลี้ยงภายในห้องปฏิบัติการ

1.2.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ตามข้อ 1.2.1 โดยนำความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปุ๋ยการค้าที่เหมาะสมที่สุดมาเพาะเลี้ยงภายในระบบ Photobioreactor

1.2.3 เพื่อศึกษาศักยภาพของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* โดยพิจารณาจากชนิดของกรดไขมันและผลผลิตลิพิดเพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่าย 2 ชนิด ได้แก่ สาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ภายใต้ห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ และผันแปรสภาวะที่ต้องการศึกษาคือ สารอาหารในรูปแบบต่าง ๆ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย และปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย จากนั้นนำสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มาเพาะเลี้ยงภายในระบบ Photobioreactor โดยใช้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและปุ๋ยการค้าที่เหมาะสมที่สุด และบันทึกผลข้อมูลเชิงปริมาณ

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ใช้ระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ มิถุนายน 2557 – ธันวาคม 2558

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.1 เข้าใจการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ที่สามารถสร้างได้ภายใต้สภาวะที่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายและความเข้มข้นของปุ๋ยการค้าในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย

1.5.2 เข้าใจการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* เพาะเลี้ยงภายในห้องปฏิบัติการและภายนอกห้องปฏิบัติการ (Photobioreactor)

1.5.3 เข้าใจและสามารถประยุกต์ถึงความเป็นไปได้ของการใช้สาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* แหล่งผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาจากชนิดของกรดไขมันและผลผลิตลิพิดเพื่อประยุกต์ใช้ในการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาหร่าย *Scenedesmus dimorphus* และสาหร่าย *Botryococcus braunii*

เป็นสาหร่ายสีเขียว จัดอยู่ใน Division Chlorophyta มีชื่อเรียกว่า Chlorophytes ลักษณะของสาหร่ายสีเขียวคือ มีคลอโรพลาสต์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ และ บี นอกจากนี้ยังพบเบต้าแคโรทีน (Betacarotene) และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ซึ่งสารสีรวมอยู่ในคลอโรพลาสต์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีมากกว่า 1 อัน อาหารสะสม (Starch) ได้แก่ True Starch อยู่ในไซโทพลาซึมหรือคลอโรพลาสต์ (ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544)

การจำแนกหมวดหมู่ (Classification)

ยึดตามเกณฑ์ของ Prescott (1962) ดังนี้

Division Chlorophyta

Class Chlorophyceae

Order Chlorococcales

Family Botryococcaceae Genus *Botryococcus*

Family Scenedesmaceae Genus *Scenedesmus*

2.1.1 สาหร่าย *S. dimorphus*

สาหร่าย *S. dimorphus* มีลักษณะ เป็นกลุ่มเซลล์จำนวน 2-4 เซลล์ รูปร่างเซลล์เป็นรูปวงเดือน เซลล์เรียงกันโดยใช้ด้านข้างแตะกัน มีคลอโรพลาสต์ 1 อัน อยู่ที่ขอบเซลล์และมีขนาดใหญ่จนเกือบเต็มเซลล์ มีไฟรินอยด์ 1 อัน (สุนิรัตน์ เรื่องสมบุญ. 2549) สาหร่ายสกุลนี้พบว่าเป็นหนึ่งในสกุลที่โดดเด่นมากในฐานะแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากมีความสามารถในการปรับตัวกับสิ่งแวดล้อมและสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำเสีย นอกจากนี้ยังพบว่ามีความสามารถในการสร้างชีวมวล และผลิตได้เป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับพืชพลังงานอื่น ๆ ซึ่งนับว่าเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมมากสำหรับแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (Anand and Arumugam 2015)

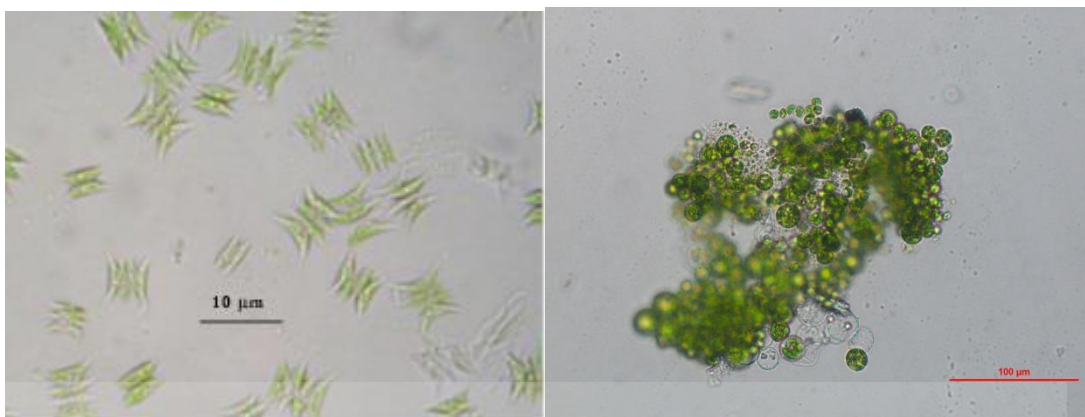
สาหร่าย *Scenedesmus* spp. พบว่ามีปริมาณผลิต 21 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Singh and Gu 2010) โปรตีน 28-46.17 มิลลิกรัมต่อลิตร คาร์โบไฮเดรต 32-60 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kirroliia *et al.* 2011; Anand and Arumugam 2015) คลอโรฟิลล์ เอ 3.5-17.38 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคโรทีนอยด์ 1.15-3.4 มิลลิกรัมต่อลิตร (Kim *et al.* 2007; Prabakaran and Ravindran 2012; Ruangsomboon *et al.* 2013; Velichkova *et al.* 2013) และมีศักยภาพใน

ฐานะของแหล่งผลิตลิพิด นอกจากนี้ยังมีผลผลิตอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ ได้แก่ โปรตีนนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรืออาหารเสริม คาร์โบไฮเดรตสามารถเปลี่ยนไปเป็นเชื้อเพลิงเอทานอลหรือใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนสารสีที่ได้ เช่น คลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ เป็นผลผลิตที่นำไปใช้อุตสาหกรรมยา เป็นต้น (Cheng and Ogden 2011) อย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตลิพิดมีความสัมพันธ์กับสถานะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง หากสถานะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน การสะสมลิพิดจะแตกต่างกันด้วย (Liu *et al.* 2012)

2.1.2 สาหร่าย *B. braunii*

สาหร่าย *B. braunii* มีลักษณะ เป็นกลุ่มเซลล์รูปทรงกลมหรือรี อยู่เรียงกันแน่นในแนวรัศมี โดยมีสารเมือกเหนียวหุ้มโดยรอบ มีไฟรินอยด์ 1 อัน อาหารสะสมมีทั้งแป้งและลิพิด แต่ลิพิดจะมีปริมาณมากกว่าแป้ง (สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ. 2549)

สาหร่าย *Botryococcus* spp. มีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากสามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ในปริมาณมาก ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสถานะในการเจริญเติบโต โดยผลิตได้มากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (Sawayama *et al.* 1995) โปรตีน 8-40 กรัมต่อลิตร คาร์โบไฮเดรต 2-50 กรัมต่อลิตร (Lupi *et al.* 1994; Um and Kim 2009; Sydney *et al.* 2010; Tulukdar *et al.* 2013) คลอโรฟิลล์ เอ 9-13 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคโรทีนอยด์ 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Anitha *et al.* 2009; Rao *et al.* 2007; Ashokkumar and Ramasamy 2012) สาหร่าย *B. braunii* มี 3 สายพันธุ์ ซึ่งแต่ละสายพันธุ์สามารถผลิตไฮโดรคาร์บอนได้ต่างชนิดกันและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมากในฐานะแหล่งผลิตไฮโดรคาร์บอนและเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลหรือไบโอเอทานอล (Methzger and Largeau 2005; Yoo *et al.* 2010; Watanabe *et al.* 2014) นอกจากนี้ยังมีผลผลิตอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ เช่น โพลีแซ็กคาไรด์สามารถช่วยบำบัดน้ำเสียจากโลหะหนักใช้วิธีการรวมตะกอน (Lupi *et al.* 1994)



ภาพที่ 2.1 สาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ที่มา : ผู้วิจัย

2.1.3 องค์ประกอบทางชีวเคมีที่สำคัญของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก

รงควัตถุ

ประกอบไปด้วย

1. คลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์จัดเป็นรงควัตถุสีเขียวที่พบมากในพืชและในสาหร่าย คลอโรฟิลล์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ และ บี คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดมีโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกันทำให้มีความสามารถในการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดในช่วงคลื่นต่างกัน ซึ่งโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ประกอบด้วย ส่วนหัวของ Porphyrin Ring ซึ่งมีแมกนีเซียมอยู่ตรงกลางและส่วนหางเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาวเรียกว่า Phytol ส่วนคลอโรฟิลล์ บี แตกต่างจาก คลอโรฟิลล์ เอ ที่ Aldehyde Group (-CHO) ซึ่งจะแทนที่ Methyl Group (-CH₃) ที่ตำแหน่งที่ 3 เท่านั้น โดยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ คลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่งไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ คลอโรฟิลล์เป็นสารสีเขียวที่พบในพืชและสาหร่ายทั่วไป ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในสาหร่ายทั่วไปปกติมีประมาณ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และสามารถเพิ่มได้สูงถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ในสาหร่ายที่เลี้ยงไว้ในที่มีแสงอ่อนๆ คลอโรฟิลล์มีไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง จากสูตรโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ คำนวณได้ว่า คลอโรฟิลล์ เอ มีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณ 8.22 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโมเลกุล ในขณะที่โปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในปริมาณ 15.5-18 เปอร์เซ็นต์

2. แคลโรทีนอยด์

แคลโรทีนอยด์เป็นสารประกอบจำพวกไขมันไฮโดรคาร์บอนชนิดไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง ละลายได้ในลิพิดและตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ สลายตัวได้ง่าย จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยเฉพาะเมื่อละลายอยู่ในลิพิด ประกอบด้วยสารสำคัญ 2 ชนิด คือ แคล

โรทีน (Carotene) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดงและสีส้ม และรงควัตถุอีกชนิดหนึ่งคือแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) ซึ่งมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล พบว่าแคโรทีนอยด์มีในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ ซึ่งในคลอโรพลาสต์จะประกอบไปด้วยแคโรทีนอยด์โดยจะอยู่ร่วมกับคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ไม่ได้มีบทบาทในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรงแต่เป็นตัวรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อไปให้กับคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงอีกต่อหนึ่ง เพราะแคโรทีนอยด์สามารถดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงคลื่นที่กว้างกว่า หากพืชหรือสาหร่ายชนิดใดมีเฉพาะแคโรทีนอยด์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีคลอโรฟิลล์ พืชหรือสาหร่ายนั้นจะสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้ เพราะหน้าที่ของแคโรทีนอยด์มีเพียงรับพลังงานจากแสงแล้วส่งต่อไปให้คลอโรฟิลล์ เอ เท่านั้น โดยการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่สามารถเกิดที่โมเลกุลของแคโรทีนอยด์เพราะพลังงานในการสังเคราะห์ไม่เพียงพอ

โปรตีน

โปรตีน คือ สารชีวโมเลกุลประเภทสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุ C, H, O, N เป็นองค์ประกอบสำคัญนอกจากนั้นยังมีธาตุอื่น ๆ เช่น S, P, Fe, Zn ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีน องค์ประกอบย่อยของโปรตีนเรียกว่า กรดอะมิโน โปรตีนและเพปไทด์ประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงตัวกันเป็นสายยาวโดยมีพันธะเพปไทด์ เป็นพันธะเชื่อมโยง พันธะเพปไทด์เป็นพันธะเอไมด์ที่เกิดจากการรวมตัวกันของหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนตัวที่หนึ่งกับหมู่เอมิโนของกรดอะมิโนตัวถัดไปและมีการสูญเสียหนึ่งโมเลกุล

กรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) เป็นสารชีวโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ทำหน้าที่เก็บและถ่ายทอดข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นต่อไปให้แสดงลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ควบคุมการเจริญเติบโตและกระบวนการต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต กรดนิวคลีอิกมี 2 ชนิดคือ DNA (Deoxyribonucleic Acid) และ RNA (Ribonucleic Acid) โมเลกุลของกรดนิวคลีอิก ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (Nucleotide) โมเลกุล DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สายเรียงตัวสลับทิศทางกันและมีส่วนของเบสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลบิดเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียน ส่วน RNA เป็นพอลินิวคลีโอไทด์เพียงสายเดียว DNA และ RNA มีน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบต่างกัน ใน DNA เป็นน้ำตาลดีออกซีไรโบส (Deoxyribose Sugar) ส่วนใน RNA เป็นน้ำตาลไรโบส (Ribose Sugar) เบสที่พบใน DNA และ RNA มีบางชนิดที่เหมือนกัน และบางชนิดต่างกัน นิวคลีโอไซด์ และนิวคลีโอไทด์ นิวคลีโอไซด์สามารถจะถูก ฟอสฟอริเลต โดยเอนไซม์ ไคเนส ในเซลล์ และได้เป็น นิวคลีโอไทด์ ซึ่งจะ เป็นโมเลกุลพื้นฐานของ DNA และ RNA

คาร์โบไฮเดรต

เป็นสารประกอบพอลิไฮดรอกซีแอลดีไฮด์ (Polyhydroxyaldehyde) หรือ พอลิไฮดรอกซีคีโตน (Polyhydroxyketone) มีสูตรเอมพิริคัลเป็น $C_n(H_2O)_m$ เช่น กลูโคส $m = n = 6$ จึงมีสูตร

โมเลกุลเป็น $C_6H_{12}O_6$ คำว่าคาร์โบไฮเดรตยังครอบคลุมไปถึงอนุพันธ์ที่เกิดจากไฮโดรลิซิสและ

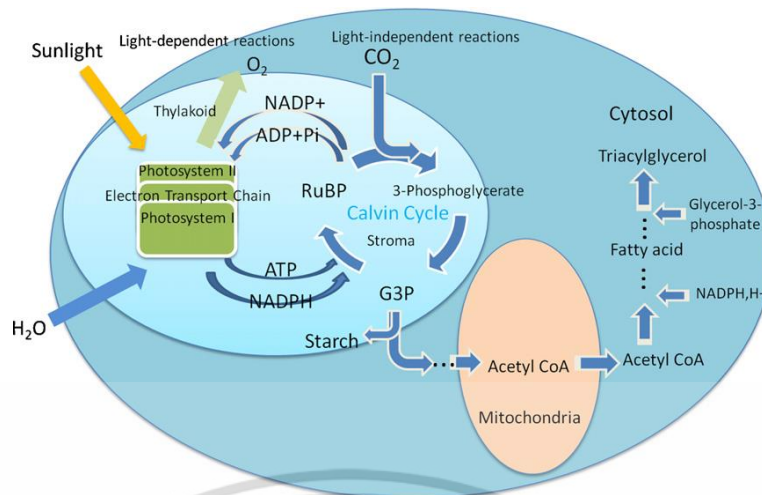
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยาม ใดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุพันธ์อื่นของสารทั้งสองจำพวกอีกด้วย คาร์โบไฮเดรตพบมากในพืชและสาหร่ายโดยเกิดผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ได้แก่ แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มอนอแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) ไดแซ็กคาไรด์ (Disaccharide) และพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide)

ลิพิด

ลิพิดประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน โมเลกุลของลิพิด ประกอบด้วย กลีเซอริน 1 โมเลกุล และกรดไขมัน 3 โมเลกุล ซึ่งอาจเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ ลิพิดมีหลายชนิด แต่ชนิดของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ ลิพิดในอาหาร ประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นส่วนใหญ่ และโคเลสเตอรอล (Cholesterol) เป็นส่วนน้อย ไตรกลีเซอไรด์เมื่ออยู่ในรูปของแข็งที่อุณหภูมิห้องปกติจะเรียกว่าไขมัน (Fat) หากเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องปกติจะเรียกว่าน้ำมัน (Oil)

น้ำมันและไขมันเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ โดยไขมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของแข็ง ส่วนน้ำมันเป็นเอสเทอร์ประเภทของเหลวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม ลิพิดพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของกรดไขมันซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลมาก (โดยมี C-Atom ตั้งแต่ 14 อะตอมขึ้นไป) กับกลีเซอรอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ OH ถึง 3 หมู่ สาหร่ายขนาดเล็กสามารถผลิตลิพิดเป็นอาหารสะสมภายในเซลล์ได้โดยเกิดขึ้นในกรณีที่สาหร่ายเกิดความเครียด เช่น ภาวะขาดธาตุไนโตรเจนในอาหาร เมื่อเกิดความเครียดจากสภาวะแวดล้อมดังกล่าว สาหร่ายจะมีกลไกภายในเซลล์โดยเปลี่ยนอาหารสะสมจากแป้งเป็นลิพิดและสะสมในส่วนที่เป็นของเหลวภายในเซลล์ (Cytosol) โดยการทำงานของกระบวนการนี้ต้องอาศัย Organell 2 ตัวคือ คลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรีย โดยที่คลอโรพลาสต์ทำหน้าที่สร้างน้ำตาล G-3-P (Glyceral-3-Phosphate) จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การถ่ายอิเล็กตรอน กระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และวัฏจักรเคลวิน ส่วนไมโทคอนเดรียจะเปลี่ยนน้ำตาล G-3-P (Glyceral-3-Phosphate) เป็น อะซิติล-โคเอ (Acetyl CoA) ซึ่งเปรียบเสมือนสารตั้งต้นของการสังเคราะห์กรดไขมันโดยมีสารทำงานร่วมคือ NADPH⁺ เมื่อเกิดการสร้างกรดไขมันภายในเซลล์ กรดไขมันดังกล่าวจะรวมตัวกับ G-3-P ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนกลางสำหรับการสร้าง Triacylglyceral (TAG, Triglyceride) ซึ่งเป็นสารที่สามารถไปเป็นเชื้อเพลิง Biodiesel ที่แท้จริงได้ (Zeng *et al.*, 2011) (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 แผนผังกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และการสะสมคาร์บอนภายในเซลล์สำหรับ

ที่มา : Zeng *et al.* (2011)

กรดไขมัน

กรดไขมันเป็นสารอินทรีย์ประเภทหนึ่งซึ่งกรดไขมันสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) คือ กรดไขมันที่พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนในโมเลกุลเป็นพันธะเดี่ยวและไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก มีสูตรทั่วไปเป็น $C_nH_{2n}O_2$ มีความเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้ไม่เกิดการเหม็นหืนจากออกซิเจน (Lipid Oxidation) และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) คือ กรดไขมันที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะหรือมากกว่า โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ Monounsaturated Fatty Acid เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง และ Polyunsaturated Fatty Acid เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 1 ตำแหน่งขึ้นไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ากรดไขมันและ Triacylglycerol เป็นสารที่เซลล์สำหรับสามารถสร้างโดยกลไกและกระบวนการสังเคราะห์ (ภาพที่ 2.3) จากการศึกษาของ Hu *et al.* (2008) ได้อธิบายกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันในเซลล์สำหรับ โดยเริ่มต้นสารตั้งต้นคือ Acetyl-CoA ซึ่งเป็นสารที่มาจากกระบวนการสังเคราะห์ภายในเซลล์บริเวณไมโทคอนเดรีย ซึ่ง Acetyl-CoA จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยการกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดได้แก่

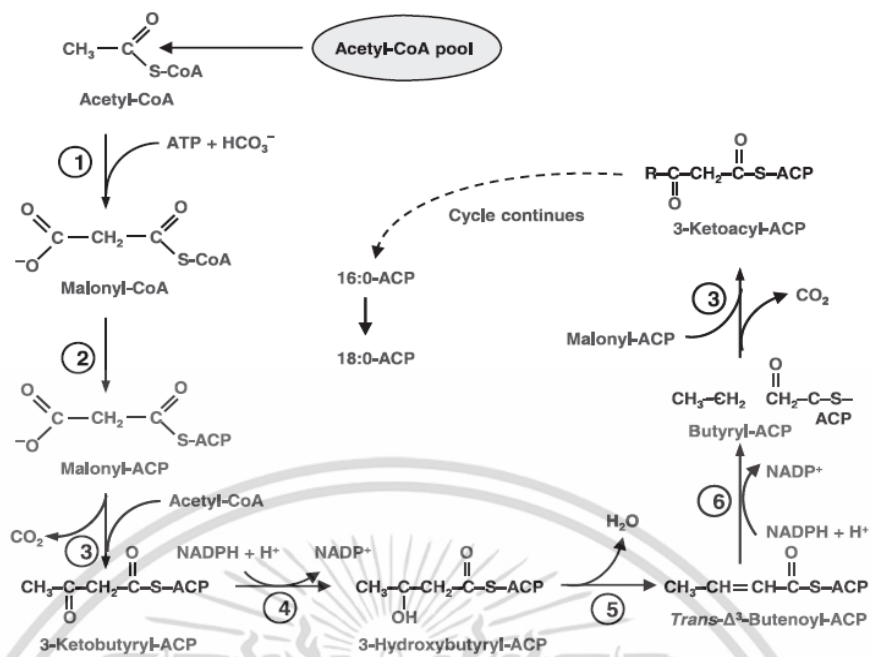
1. Acetyl-CoA Carboxylase (ACC ase)
2. Malonyl CoA:ACP Transferase
3. 3- Ketoacyl ACP Reductase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. 3- Hydroxyacyl ACP Dehydrase

5. Enoyl ACP Reductase

ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวจะได้กรดไขมันที่มีคาร์บอน 18 อะตอมและไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุลซึ่ง กลไกทั้งหมดส่วนมากเกิดขึ้นที่คลอโรพลาสต์ของเซลล์สาหร่าย แต่ในความเป็นจริงแล้วเมื่อทำการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันของสาหร่ายขนาดเล็กพบว่ามีการคาร์บอนมากกว่า 18 อะตอม อีกทั้งยังมีกรดไขมันที่เป็นพันธะคู่หลากหลายชนิด จากการศึกษาของ Guschina and Harwood (2006) ได้อธิบายได้ว่าสาหร่ายขนาดเล็กสามารถสร้างกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 18 อะตอม และทำให้เกิดพันธะคู่ได้จากกระบวนการ Elongation และกระบวนการ Desaturation โดยกระบวนการ Elongation คือ กระบวนการเติมอะตอมของคาร์บอนลงไปที่ละ 2 อะตอมเพื่อให้สายของกรดไขมันมีโมเลกุลยาวมากขึ้นสารที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้อะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันคือ Malonyl-ACP (Hu *et al.* 2008) ส่วนกระบวนการ Desaturation คือกระบวนการที่ทำให้เกิดพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันโดยดึงอะตอมของไฮโดรเจนออกจากโมเลกุล (ภาพที่ 2.4) กรดไขมัน (C18:0) จะผ่านกระบวนการ Elongation และกระบวนการ Desaturation โดยมีการเติมคาร์บอน 4 อะตอมและทำให้เกิดพันธะคู่ที่ 6 ตำแหน่งซึ่งอยู่ที่คาร์บอนอะตอม 4, 7, 10, 13, 16 และ 19 ตามลำดับ ผลสุดท้ายเมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวมาสาหร่ายขนาดเล็กจะสามารถสร้างกรดไขมันอะราชิโดอิก (C22:6n-4) เพื่อนำไปรวมตัวกับสารอื่น ๆ ภายในเซลล์เพื่อทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เซลล์ต้องการซึ่งหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและนับว่ามีความสำคัญมากต่อการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็กคือ Triacylglycerol

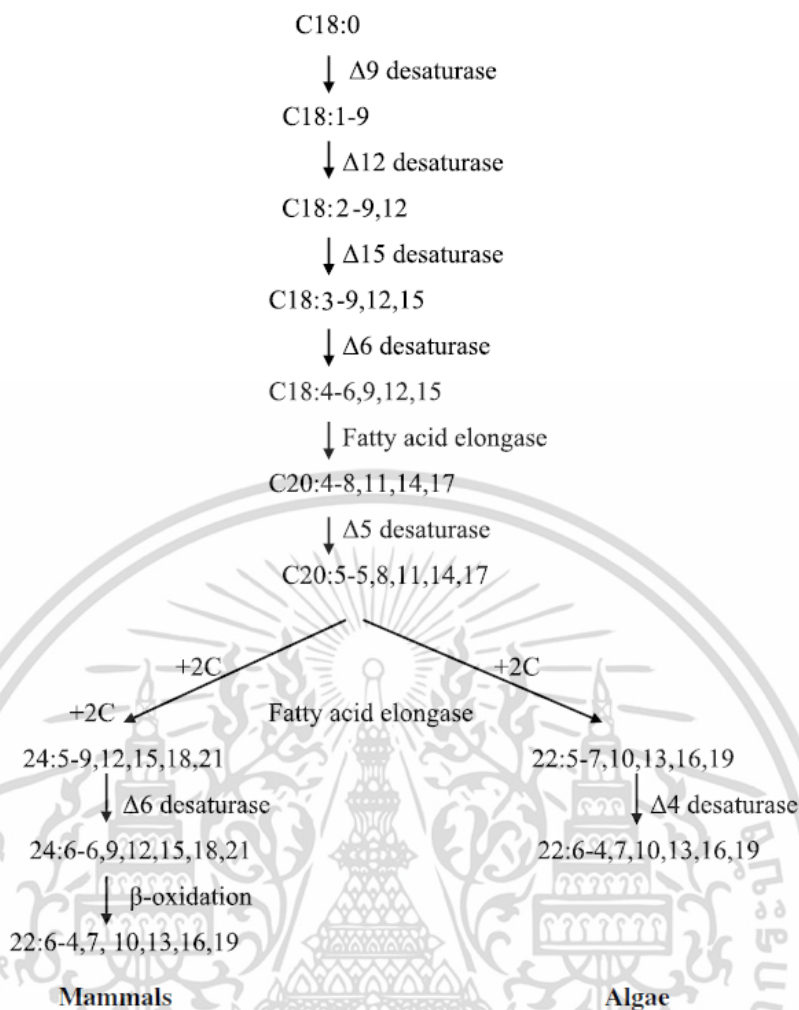


ภาพที่ 2.3 กลไกการสังเคราะห์กรดไขมันในสายขนาดเล็ก

ที่มา: Hu *et al.* (2008)

- *1. Acetyl-CoA Carboxylase (ACC Ase)
- 2. Malonyl CoA : ACP
- 3. Acetyl-CoA Carboxylase (ACC Ase)
- 4. 3-Ketoacyl ACP Reductase
- 5. 3-Hydroxyacyl ACP Dehydrase
- 6. Enoyl ACP Reductase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

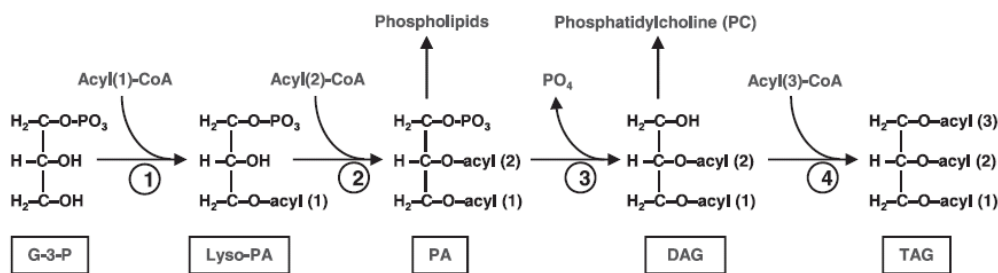


ภาพที่ 2.4 การเปรียบเทียบการสังเคราะห์ไขมันอะราชิคิก (C22:6n-4) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและสาหร่าย

ที่มา : Guschina and Harwood. (2006)

โดยการสังเคราะห์ Triacylglycerol ที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กมาจากกรดไขมันที่เซลล์สาหร่ายสร้างขึ้นจะรวมตัวกับ G-3-P เพื่อสังเคราะห์ Triacylglyceride ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการผลิตไบโอดีเซล โดยกลไกจะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ จาก G-3-P ไปเป็น Lysophosphatic Acid, Phosphotidic Acid, Diacylglycerol และ Triacylglyceride ตามลำดับ โดยอาศัยเอนไซม์ต่าง ๆ เป็นตัวกระตุ้นการทำงาน ในสถานะตามธรรมชาติการสังเคราะห์ Triacylglyceride จะเกิดขึ้นอยู่ตลอด แต่พบว่าเมื่อสาหร่ายเกิดความเครียดอันเนื่องมาจากการเพาะเลี้ยงไม่เหมาะสมหรือเกิดจากการขาดสารอาหารบางตัวจะมีผลทำให้เกิดการกระตุ้นการสร้าง Triacylglyceride ที่มากขึ้นได้ (Hu *et al.* 2008) (ภาพที่ 2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 กลไกการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์สำหรับขนาดเล็ก

ที่มา : Hu *et al.* (2008)

- * 1. Cytosolic Glycerol-3-Phosphate Acyl Transferase
- * 2. Lyso-Phosphatidic Acid Acyl Transferase
- * 3. Phosphatidic Acid Phosphatase
- * 4. Diacylglycerol Acyl Transferase
- * G-3-P หมายถึง Glycerol-3-Phosphate
- * Lyso-PA หมายถึง Lyso-Phosphatidic Acid
- * PA หมายถึง Phosphatidic Acid
- * DAG หมายถึง Diacylglycerol
- * TAG หมายถึง Triacylglyceride

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่าย

2.2.1 ปัจจัยทางกายภาพ

แสงและความเข้มแสง (Light และ Light Intensity) เป็นปัจจัยสำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตดี เช่น ความเข้มแสง มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ถ้าความเข้มของแสงสูง เช่น การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในที่ที่มีแสงแดดจ้า ความสามารถในการใช้พลังงานแสงของสาหร่ายจะลดลง ช่วงเวลาที่ได้รับแสงสาหร่าย บางชนิดได้รับแสง 24 ชั่วโมงจะเจริญได้ดีที่สุด หรือ บางชนิดได้รับแสง 12 ชั่วโมงและมีมืด 12 ชั่วโมงโตดีที่สุด เป็นต้น ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดก็จะมีค่าความเหมาะสมของความเข้มแสง และช่วงเวลาที่ได้รับแสงแตกต่างกัน

อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่พอเหมาะ ถ้าสูงเกินเอนไซม์จะเสื่อมสภาพทำให้

การทำงานของเอนไซม์จะยังคง ดังนั้น อุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย และส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีของสาหร่าย โดยถ้าเป็นสาหร่ายน้ำจืดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม

การกวนและการผสมผสาน (Aeration / Mixing) การกวนทำให้เกิดการผสมผสานกันอย่างทั่วถึงระหว่างเซลล์กับอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยงเพื่อป้องกันการตกตะกอน เพื่อให้สาหร่ายได้รับแสงในปริมาณที่เท่ากัน ป้องกันการสะสมความร้อนในระบบการเพาะเลี้ยง กลางแจ้งและเป็นการเพิ่มการแลกเปลี่ยนอากาศในระหว่างการเพาะเลี้ยง

2.2.2 ปัจจัยทางเคมี

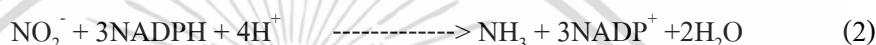
ปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการและปัจจัยทางเคมีที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขึ้นกับอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นหลัก ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแบ่งเป็น 2 กลุ่ม หลัก ๆ คือ ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) เป็นส่วนที่ประกอบเป็นโครงสร้างของสาหร่ายจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากและธาตุอาหารรอง (Micronutrients)

ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients)

- C คือ คาร์บอนใช้ในรูปอนินทรีย์คาร์บอน และคาร์บอนจะอยู่ในรูปใดนั้นขึ้นอยู่กับระดับ pH ของอาหาร โดยอนินทรีย์คาร์บอนจะช่วยให้การเจริญเติบโต อนินทรีย์คาร์บอนที่ใช้ เช่น น้ำตาล ซูโครส กลูโคส และกาแลคโตส ปกติสาหร่ายต้องการในรูปอนินทรีย์คาร์บอนในสภาพไร้แสงและไร้อากาศ
- N คือ ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นหนึ่งในธาตุอาหารที่จำเป็นที่สุดของสาหร่ายขนาดเล็กโดยทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบหลักของสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ภายในเซลล์ ยกตัวอย่าง เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิกและสารอื่น ๆ แหล่งไนโตรเจนที่สาหร่ายขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้มีหลายแหล่ง ได้แก่ ไนเตรต (NO_3^-) ไนไตรต์ (NO_2^-) แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) และไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์ แต่โดยทั่วไปแล้วแหล่งไนโตรเจนที่สาหร่ายขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้คือไนเตรต ส่วนกรณีของไนไตรต์สาหร่ายก็สามารถนำไปใช้ได้แต่พบว่าไนไตรต์จะมีความเป็นพิษต่อเซลล์สูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่เมื่อเทียบเท่ากับไนเตรต โดยทั่วไปรูปของไนโตรเจนที่สาหร่ายเลือกที่จะนำไปใช้คือแอมโมเนียมไอออนเนื่องจากสามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์ได้โดยตรง แต่อย่างไรก็ตามหากแอมโมเนียมไอออน มีความเข้มข้นในสารละลายมากกว่า 25 ไมโครโมลาร์ จะมีความเป็นพิษต่อสาหร่ายบางชนิด ดังนั้น ไนเตรตจึงถูกใช้เป็นอาหารเพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก (Prochazkova *et al.* 2014)

เมื่อสาหร่ายดูดซับธาตุอาหารไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของไนเตรตเข้าไปในเซลล์ ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ผ่านกระบวนการไนเตรตรีดักชัน (Nitrate Reduction and Assimilation and Utilization) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

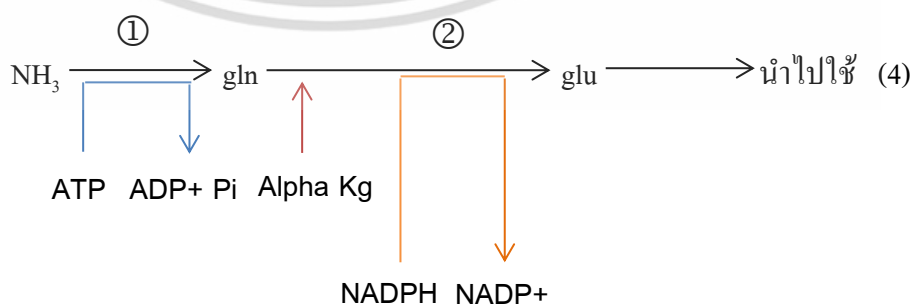
กระบวนการไนเตรทรีดักชัน มีทั้งหมด 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นไนไตรต์และขั้นตอนที่ 2 เป็นการรีดิวซ์ไนไตรต์ให้เป็นแอมโมเนียม (Heldt and Heldt 2005) ซึ่งกลไกขั้นตอนที่ 1 จะเกิดขึ้นภายในไซโทพลาซึมของเซลล์สำหรับโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาชื่อ Nitrate Reductase (NR) ในขณะที่ขั้นตอนที่ 2 จะเกิดขึ้นภายในคลอโรพลาสต์ (บริเวณstroma ที่ติดกับเนื้อเยื่อไทลาคอยด์ เนื่องจากมี NADPH และ Reduced Ferredoxin มาก) โดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาชื่อ Nitrite Reductase (NiR) ผลผลิตของกระบวนการไนเตรทรีดักชัน ได้แก่ แอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์อะมิโนและโปรตีน (Rigobello *et al.* 2006) โดยสามารถสรุปกระบวนการไนเตรทรีดักชันได้ดังสมการด้านล่าง (Heldt and Heldt 2005)



เมื่อรวมสมการที่ (1) และ (2) จะได้เป็น



เมื่อเกิดปฏิกิริยา (1) ก็เกิดปฏิกิริยา (2) ตามมาอย่างรวดเร็วเพื่อไม่ให้สะสมไนไตรต์จนเป็นพิษต่อเซลล์ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยา (1) เป็นปฏิกิริยาที่เกิช้า จึงเป็นปฏิกิริยาที่กำหนดความเร็วของกระบวนการนี้ ส่วนปฏิกิริยา (2) เกิดเร็วมาก (สิริกัก สระตันดี. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) เนื่องจากแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความเป็นพิษต่อเซลล์ เช่น ยับยั้งการสร้าง ATP ในคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรีย ดังนั้นเซลล์สำหรับจึงมีกลไกเพื่อลดปริมาณแอมโมเนียโดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปกลูตามัตซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่ง ซึ่งกลไกการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นกลูตามัต เกิดปฏิกิริยาบริเวณstromaของคลอโรพลาสต์ (Rigobello *et al.* 2006) และสมการที่ (4) ดังนี้



หมายเหตุ glu = กลูตามัต gln = กลูตามีน

① = Glutarnime Synthetase ② = Glutarmate Synthetase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์กรดอะมิโนกลูตาเมตนั้นกล่าวได้ว่าประกอบด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 คือการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นกลูตามีน ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวต้องอาศัยสารพลังงานสูง (ATP) และตัวเร่งปฏิกิริยา Glutamine Synthetase ขั้นตอนที่ 2 คือการเปลี่ยนกลูตามีนเป็นกลูตาเมต ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวต้องอาศัย NADPH สารแอลฟาคีโตกลูตาเลต ที่ได้จากวัฏจักรเครบส์หรือวัฏจักรกรดไตรคาร์บอกซิก (Tricarboxylic Acid Cycle หรือ TCA Cycle) และตัวเร่งปฏิกิริยา Glutamate Synthetase (Rigobello *et al.* 2006) จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าการสังเคราะห์กรดอะมิโนกลูตาเมต นับว่าเป็นกลไกที่มีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงโดยตรงกับธาตุไนโตรเจนที่สาหร่ายดูดซับโดยตรง นอกจากนี้ไนโตรเจนยังส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งมีสารตั้งต้นจากกรดอะมิโนกลูตาเมตและเป็นสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าทุกปฏิกิริยาของการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ยังต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นไนโตรเจนจึงมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ (Ortega *et al.* 2014) ซึ่งกรดอะมิโน 5-Aminolevulinic Acid เป็นสารตั้งต้นในกลไกการสังเคราะห์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ดังนั้นสภาวะการเพาะเลี้ยงที่ขาดไนโตรเจนจะส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย โดยชักนำให้มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนลดลง (Neill *et al.* 2003) ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ ทำหน้าที่ในการจับพลังงานจากแสงและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโต ดังนั้นการลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายจากการขาดไนโตรเจนย่อมทำให้เซลล์มีการเจริญเติบโตที่ไม่เหมาะสมทำให้ชีวมวลและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

นอกจากนี้ยังพบว่าการขาดไนโตรเจนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีนไปเป็นกลไกการสะสมสารอาหารอื่นที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไตรกลีเซอไรด์หรือไขมัน สารอาหารที่สาหร่ายจะสะสมเมื่ออยู่ในสภาวะไม่มีไนโตรเจนอาจจะเป็นหนึ่งชนิดหรือทั้งคู่ก็ได้ ปริมาณที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสกุลของสาหร่ายหรือสภาวะแวดล้อมที่เป็นปัจจัยร่วมต่อสาหร่าย (Prochazkova *et al.* 2014) เนื่องจากเซลล์สาหร่ายมีการแบ่งตัวที่ช้าลงซึ่งเกิดจากสารอาหารที่ไม่เพียงพอทำให้เซลล์เลือกที่จะสะสมอาหารในรูปของลิพิดเพราะเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการสังเคราะห์ลิพิดสามารถทนต่อการขาดไนโตรเจนได้ดีกว่าเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในกลไกการสังเคราะห์ลิพิดคือ Diacylglycerol Transferase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนDiacylglyceral เป็น Triacylglyceride (TAG) ดังนั้นสารอินทรีย์จึงถูกชักนำให้เปลี่ยนไปเป็นลิพิดมากกว่าคาร์โบไฮเดรต ทำให้สามารถพบปริมาณลิพิดมีค่าสูงในภาวะที่มีไนโตรเจนจำกัด (Xin *et al.* 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่ายขนาดเล็กหลายสกุลสามารถเหนี่ยวนำให้เซลล์เกิดการสะสมลิพิดในปริมาณมาก ผ่านสภาวะการเพาะเลี้ยงที่ขาดไนโตรเจน ในทางตรงกันข้ามสภาวะดังกล่าวกลับผลักดันให้กำลังการผลิตชีวมวลมีค่าลดลง จากผลลัพธ์ดังกล่าวส่งผลให้กำลังการผลิตลิพิดของสาหร่ายขนาดเล็กลดลงตามไปด้วย หนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาที่กล่าวไว้ข้างต้นคือการเพาะเลี้ยงสาหร่าย 2 ขั้นตอน (Zhou *et al.* 2013)

สภาวะการเพาะเลี้ยงที่ขาดไนโตรเจนไม่ได้ส่งผลต่อการผลิตลิพิดของสาหร่ายเท่านั้น แต่พบว่าส่งผลต่อจำนวนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว ซึ่งในสภาวะดังกล่าวมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยา Stearoyl ACP Desaturated Gene ทำงานมากขึ้น (Choi *et al.* 2011) เมื่อพิจารณาถึงการสะสมสารลิกนินแคโรทีนอยด์ (เบต้า-แคโรทีนและแอสตาแซนธิน) พบว่ามีการตอบสนองต่อการลดลงของไนโตรเจนโดยมีการสะสมเพิ่มมากขึ้น (Hu 2004)

- P คือ ฟอสฟอรัส (Phosphorus) หนึ่งในธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทั่วไปแล้วชีวมวลของสาหร่ายมีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง แต่ภายใต้สภาวะ Luxury uptake (การดูดซับหรือการนำฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์เมื่อเซลล์อยู่ในอาหารที่มีฟอสฟอรัสสูง (ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)) พบว่าชีวมวลของสาหร่ายมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ฟอสฟอรัสมีหน้าที่หลักได้แก่ เป็นส่วนประกอบสำคัญของกรดนิวคลีอิก ซึ่งมี 2 ชนิดคือ DNA กับ RNA หน่วยโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก คือ โมโนนิวคลีโอไทด์ (Mononucleotide) ซึ่งจะต่อกันเป็นสายด้วยพันธะ 3, 5 ไดฟอสโฟไดเอสเทอร์ (3, 5 Diphosphodiester Bond) ได้พอลินิวคลีโอไทด์ โมโนนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ น้ำตาลไรโบส ไนโตรจีนัสเบส (Nitrogenous Base) และอนุมูลฟอสเฟต น้ำตาลไรโบสใน DNA คือ ดีออกซีไรโบส ส่วนใน RNA คือ ไรโบส ทั้ง DNA และ RNA มีเบส 2 ชนิดคือ เพียวรีน (Purine) และไพริมิดีน (Pyrimidine) จึงถือว่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโครงสร้าง โดย DNA เป็นสารที่เก็บข้อมูลทางพันธุกรรม ซึ่งมีโมเลกุลยาวมากพบในนิวเคลียส ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ ส่วน RNA สร้างขึ้นจาก DNA มี 3 ชนิด คือ อาร์เอ็นเอเข้ารหัส (mRNA) ทำหน้าที่เข้ารหัสจาก DNA เพื่อเป็นแม่พิมพ์ในการสังเคราะห์โปรตีน อาร์เอ็นเอถ่ายโอน (tRNA) ทำหน้าที่พากรดอะมิโนมายังอาร์เอ็นเอเข้ารหัสเพื่อให้เรียงต่อกันตามลำดับตรงตามแบบที่อาร์เอ็นเอเข้ารหัสกำหนดไว้และอาร์เอ็นเอไรโบโซม (rRNA) อยู่ในไรโบโซมมีบทบาทร่วมในการสังเคราะห์โปรตีนเช่นเดียวกัน

(สิริภักดิ์ สระตันต์, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) และฟอสฟอรัสถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นแหล่งพลังงานหลักภายในเซลล์ (ATP) บ่อยครั้งที่พบว่า ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถรวมกับไอออนอื่น ๆ เช่น CO_3^{2-} , Fe^{3+} ซึ่งทำให้เกิดตะกอนในรูปที่สาหร่ายไม่สามารถนำไปใช้ได้ เป็นผลทำให้ยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เจริญเติบโตในธรรมชาติ (Prochazkova *et al.* 2014) ฟอสฟอรัสพบว่าสามารถกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เคลื่อนย้ายตำแหน่งของคาร์บอนภายในเซลล์ของสาหร่ายโดยทำให้เกิดการสะสมของลิพิดหรือแป้งภายในเซลล์ (Sigee *et al.* 2007) นอกจากนี้สาหร่ายยังมีการจัดเก็บฟอสฟอรัสเป็นสัดส่วน (Compartmentation) ซึ่งแหล่งสะสมฟอสเฟต (Phosphate Pool) ในเซลล์สาหร่ายมี 2 ส่วนคือแหล่งที่ใช้ในเมแทบอลิซึมหรือเมแทบอลิกพูล (Metabolicpool) ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตซึ่งส่วนใหญ่คือฟอสเฟตเอสเทอร์ (Phosphate Ester) ที่มีอยู่ในไซโทพลาสซึม (รวมทั้งคลอโรพลาสต์) และแหล่งที่ยังไม่ใช้เมแทบอลิซึม (Nonmetabolicpool) ได้แก่ ส่วนที่เก็บอยู่ในแวคิวโอลซึ่งมีฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^- , P) เป็นส่วนใหญ่ และพบว่าฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของสารสำคัญต่าง ๆ ในวัฏจักรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโต ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ (ตารางที่ 2.1) (Rebeille *et al.* 1984) ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต มีบทบาทต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลต่อการเจริญเติบโต คือ โปรตีน รงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์ เอ DNA และ RNA จะลดลง (ถัดดา วงศ์รัตน์. 2544)

ตารางที่ 2.1 สารประกอบฟอสเฟตบางชนิดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ

วัฏจักรแคลวิน ในการสังเคราะห์ด้วย แสง	ไกลโคไลซิส	การหายใจ วัฏจักรเครบส์
Ribulose-1,5-Bisphosphate	Glucose-6-Phosphate	Thamine Pyrophosphohate
3-Phosphoglycerate	Fructose-6-Phosphate	Guanosine Triphosphate (GTP)
1,3-Bisphosphoglycerate	Fructose-1,6-Bisphosphate	Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD)
Fructose-6-Phosphate	Glyceraldehyde-3-Phosphate	Flavin Adenine Dinucleotide (FAD)
Fructose-1,6-Bisphosphate	Dihydroxyacetone Phosphate	

ที่มา: ปรับปรุงจาก Epstein and Bloom. (2005); Heldt and Heldt. (2005)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zachleder *et al.* (1988) รายงานว่าสาหร่าย *S. quadricauda* ที่เพาะเลี้ยงในสภาวะขาดฟอสฟอรัส พบว่าเซลล์ลูกที่เกิดจากเซลล์ตั้งต้นที่ขาดฟอสฟอรัสและนำมาเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะไม่มีฟอสฟอรัสในอาหาร (Free-Phosphorus) เซลล์สาหร่ายไม่มีการแสดงออกทางกระบวนการชีวเคมีของ RNA DNA และการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ รวมถึงไม่พบการพัฒนาของเซลล์ในทางตรงกันข้ามสภาวะดังกล่าวส่งเสริมให้กลไกการสะสมแป้งเกิดขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงผนังเซลล์ของสาหร่ายที่ขาดฟอสฟอรัสอย่างรุนแรง โดยผนังเซลล์จะหนาเพิ่มมากขึ้น (DeMott and Van Donk, 2013) เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบสารชีวโมเลกุลของสาหร่ายขนาดเล็กที่ผลิตขึ้นภายใต้สภาวะดังกล่าวพบว่าสารชีวโมเลกุลประเภทลิพิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่โปรตีนและกรดไขมันไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน (Liang *et al.*, 2013)

- K คือ โพแทสเซียม (Potassium) เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ สาหร่ายจะดูดซึมในรูปโพแทสเซียมไอออน (K^+) สารเคมีที่ให้โพแทสเซียมคือโพแทสเซียมไนเตรท และโพแทสเซียมฟอสเฟต

- Ca คือ แคลเซียม (Calcium) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์พืช สาหร่ายจะดูดซึมในรูปแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แหล่งแคลเซียมไอออนที่ดีที่สุดคือแคลเซียมไนเตรทเนื่องจากละลายง่าย ราคาไม่แพงและยังให้ธาตุไนโตรเจนด้วย แหล่งอื่น ๆ ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์และแคลเซียมซัลเฟต

- Mg คือ แมกนีเซียม (Magnesium) เป็นแกนกลางของโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ที่เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของสาหร่ายและการหายใจ ฯลฯ สาหร่ายจะดูดซึมในรูปแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) สารเคมีที่ให้แมกนีเซียมคือ แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$)

- S คือ กำมะถัน (Sulphur) เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีนและโมเลกุลของเอนไซม์หลายชนิด พืชสามารถดูดกินในรูปซัลเฟตไอออน โดยทั่วไปไม่ค่อยมีปัญหาการขาดกำมะถัน เพราะสาหร่ายสามารถใช้สารอนินทรีย์ในรูปเกลือซัลเฟตของ K, Mg, Fe, Cu, Mn และ Zn อยู่แล้ว

ธาตุอาหารรอง (Micronutrients) คือธาตุอาหารซึ่งสาหร่ายต้องการใช้น้อย
ธาตุอาหารรองเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลจำเป็นแบ่งเป็น

ธาตุอาหารรองอนินทรีย์ (Inorganic Micronutrients) ได้แก่ เหล็ก, โบรอน, แมงกานีส ทองแดง, สังกะสี, โมลิบดีนัม, วานาเดียม, โคบอลต์, ซิลิกา, ซิลิเนียมและนิกเกิล

- Fe คือ เหล็ก (Iron) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโปรตีนหลายชนิดที่ เกี่ยวข้องกับการขนส่งอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ สาหร่ายจะดูดซึมในรูป Fe^{2+} หรือ

Fe^{3+} สารเคมีที่ให้ธาตุเหล็กที่มีราคาถูกที่สุดคือ เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ซึ่งละลายน้ำได้ง่าย แต่ก็เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะตกเป็นตะกอนได้เร็ว จึงต้องควบคุมสภาพความเป็น กรดต่างของสารละลายและเพื่อหลีกเลี่ยง ปัญหาเหล่านี้ จึงนิยมใช้เหล็กในรูปคีเลตซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อน สามารถคงตัวอยู่ในรูป สารละลายธาตุอาหารพืชและสาหร่ายจะดูดซึมได้ถ้าหากขาดจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและรูปร่าง เซลล์

- B คือ โบรอน (Boron) มีบทบาทในการสังเคราะห์ DNA RNA แต่พบว่าเมื่อใส่โบรอนลงไป ช่วยให้สาหร่ายบางชนิดเจริญเติบโตกว่าที่ไม่ได้ใส่โบรอนมาก

- Mn, Cu, Zn คือ แมงกานีส (Manganese), ทองแดง (Copper), สังกะสี (Zinc) มีความจำเป็น ต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของไนโตรเจนและการหายใจของเซลล์ ทำหน้าที่กระตุ้นการแตกตัวของน้ำในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกี่ยวข้องกับ Chloroplast Membrane กระบวนการทำงานของเอนไซม์ หากขาดจะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง การหายใจเพิ่มขึ้น แต่หากมีมากเกินไปสาหร่ายจะตาย โดยมีเหตุมาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงมาก สาหร่ายไม่สามารถสร้างอาหารได้ทำให้ไม่มีการเจริญเติบโตหรือขยายพันธุ์ได้

- Mo คือ โมลิบดีนัม (Molybdenum) เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ Nitrogenase มีบทบาทต่อกระบวนการ Nitrate Reduction

- Va คือ วานาเดียม จำเป็นต่อการเจริญเติบโต (ใช้แทน Mo ในการตรึงไนโตรเจนได้)

- Co คือ โคบอล เป็นส่วนประกอบวิตามินบี 12 ส่งผลต่อการเจริญเติบโต

- Ni คือ นิกเกิล มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ยูเรียของสาหร่ายบางชนิด

- Si คือ ซิลิกา จำเป็นต่อสาหร่ายกลุ่มไดอะตอม นำไปใช้ในการสร้างผนังเซลล์

- Se คือ ซีลีเนียม สาหร่ายบางชนิดใช้ในการเจริญเติบโต

ธาตุอาหารรองอินทรีย์ (Organic Micronutrients) แบ่งได้ 4 กลุ่มคือ คาร์โบไฮเดรต, เกลืออินทรีย์หรือสารประกอบที่มีเกลืออินทรีย์อยู่ด้วย วิตามิน อาหารเสริม สารกลุ่มนี้จำเป็นต้องใส่หลังจากการนิ่งมาเชื้อ มิฉะนั้นสารกลุ่มนี้จะสลายตัวทำให้ไม่เกิดประโยชน์

- pH ของอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ระดับ pH มีผลต่อการที่ สาหร่ายจะดูดซับ สารอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยทั่วไปพบว่าในอาหารเลี้ยง สาหร่ายในหลาย ๆ สูตร จะต้องทำการปรับค่า pH ให้ได้ในระดับหนึ่ง เพื่อให้เหมาะสมต่อ การนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่าย

- ความเค็ม น้ำทะเลจะมีระดับความเค็มอยู่ที่ 28-35 ppt ซึ่งเป็นช่วงความเค็มที่ เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเล สาหร่ายน้ำจืดจะเพาะเลี้ยงที่ความเค็ม 0 ppt

- คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเล็กน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ความเข้มของแสงน้อยและอุณหภูมิของอากาศต่ำกรณีเช่นนี้ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงตามไปด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้า

คาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้นสูงขึ้น ความเข้มของแสงและอุณหภูมิของอากาศก็เพิ่มขึ้นกรณีเช่นนี้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยเป็นต้น

2.2.3 บทบาทของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและปุ๋ยสูตรการค้าที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

Ruangsomboon *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* สายพันธุ์ KMITL ในสูตรอาหารคลอเรลลา (KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน) 5 ระดับ (16.5-344 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครไอน์สไต้นต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน พบว่าค่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.04 ± 0.03 กรัมต่อลิตร และ 0.12 ± 0.01 ต่อวัน ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับไนโตรเจนสูงสุด (344 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นไนโตรเจนมีผลทำให้ปริมาณลิพิด (Lipid content) ต่ำลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.3 ± 0.4 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจนเท่ากับ 16.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ผลผลิตลิพิด (Lipid yield) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกๆระดับความเข้มข้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.18 ± 0.01 กรัมต่อลิตร และความสามารถในการผลิตลิพิดเท่ากับ 21.14 ± 1.50 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน จากผลการทดลองพบว่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ คลอโรฟิลล์ เอ มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณและความสามารถในการผลิตลิพิดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อสาหร่ายอยู่ในสถานะที่มีความเข้มข้นสารอาหารไนโตรเจนสูง สาหร่ายจะดึงสารอาหารเข้าสู่กระบวนการสร้างโครงสร้างและการเจริญเติบโต ซึ่งนับว่าเป็นกระบวนการหลักของเซลล์เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการสร้างลิพิดของเซลล์

Venkatesan *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ Kutzing KM-104 ในสูตรอาหาร Modified CHU 13 (KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน) 7 ระดับ (0.99-11.87 มิลลิโมลาร์) ภายใต้ความเข้มแสง 30 ไมโครไอน์สไต้นต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบว่าผลผลิตลิพิดสูงสุดเท่ากับ 860 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน 1.98 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 38.65 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 13.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน 11.87 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shen *et al.* (2009) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในสูตรอาหาร Basal (KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน) 3 ระดับ (ตารางที่ 2.2) ภายใต้ความเข้มแสง 70 ไมโครโวนต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 30 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 17 วัน พบว่าค่าชีวมวลและผลผลิตลิวคินมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.2 ± 0.1 กรัมต่อลิตร และ 0.29 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 อาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus*

Medium	Medium code	Supplements (g/L nitrate)	Nitrogen concentration (mol)
Nitrate media	Low	1.25	0.01
	Medium	3.75	0.04
	High	6	0.06

Low คือ ความเข้มข้นของไนเตรทที่เทียบเท่าอาหารสูตรปกติ Medium คือ ความเข้มข้นของไนเตรทที่มากกว่าอาหารสูตรปกติ 3 เท่า High คือ ความเข้มข้นของไนเตรทที่มากกว่าอาหารสูตรปกติ 4.8 เท่า

ที่มา : ดัดแปลงจาก Shen *et al.* (2009)

Anand and Arumugam (2015) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตร BBM (ใช้ KNO_3 เป็นแหล่งไนโตรเจน) 2 ระดับ (ชุดการทดลอง Nitrogen Rich และชุดการทดลอง Free Nitrogen) อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน ในชุดการทดลอง Nitrogen Rich และ 12 วัน ในชุดการทดลอง Free Nitrogen ตามลำดับ พบว่าค่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.0055 ± 0.005 กรัมต่อลิตร และ 0.33 ต่อวัน ในการทดลองชุด Nitrogen Rich และเท่ากับ 1.394 ± 0.010 กรัมต่อลิตร และ 0.14 ต่อวัน ในชุดการทดลอง Free Nitrogen เมื่อเปรียบเทียบค่าชีวมวลพบว่าในชุดการทดลอง Free Nitrogen : Nitrogen Rich พบว่ามีสัดส่วนที่ลดลงถึง 25 เท่า เมื่อดูปริมาณลิวคินพบว่าการเลี้ยงสาหร่ายในสภาวะ Free Nitrogen มีผลในการกระตุ้นลิวคินสาหร่ายได้ให้เพิ่มขึ้นถึง 2.27 เท่า (สาหร่ายทั่วไปค่าเฉลี่ย 2-4 เท่า) เมื่อดูค่าปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต คลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ พบว่ามีค่าลดลงเมื่อทดลองเลี้ยงสาหร่ายใน Free Nitrogen จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า สภาวะการขาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอาหารในกลุ่มของไนโตรเจนมีผลต่อกลไกทางชีวเคมีของสาหร่าย เช่น การสังเคราะห์ดีเอ็นเอหรือสารสี

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

Ruangsomboon (2012) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ KMITL 2 ในอาหารสูตรคลอเรลลา (KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 5 ระดับ (22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครโวลต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 40 วัน พบว่าค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.91 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสสูงสุด (444 มิลลิกรัมต่อลิตร) นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัสจาก 22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ชีวมวลเพิ่มขึ้น 7.3 เท่า

Venkatesan *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ Kutzing KM-104 ในสูตรอาหาร Modified CHU 13 (K_2HPO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 7 ระดับ (0.29-0.63 มิลลิโมลาร์) ภายใต้ความเข้มแสง 30 ไมโครโวลต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.52 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 273 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.63 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 6.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.40 มิลลิโมลาร์ ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 4.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.34 มิลลิโมลาร์

Ruangsomboon *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* สายพันธุ์ KMITL ในสูตรอาหารคลอเรลลา (KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 5 ระดับ (22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครโวลต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน พบว่าค่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.35 ± 0.0 กรัมต่อลิตร และ 0.13 ± 0.01 ต่อวัน และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 17.38 ± 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสสูงสุด (444 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ปุ๋ยการค้า (Fertilizer) ที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

ปุ๋ยการค้า คือ ปุ๋ยที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยมีการผสมตามอัตราส่วนของ N:P:K ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งแหล่งที่มาของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด มีหลากหลายแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน (ตารางที่ 2.3) ปุ๋ยการค้าถูกนำมาใช้เพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย นอกจากนี้มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าปุ๋ยสูตรมาตรฐานอื่น เช่น ปุ๋ย Urea สูตร 46-0-0 ราคา 13.42 บาทต่อกิโลกรัม ปุ๋ย Di-Ammonium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phosphate สูตร 18-46-0 ราคา 17.02 บาทต่อกิโลกรัม และปุ๋ย Potassium Chloride สูตร 0-0-60 ราคา 10.90 บาทต่อกิโลกรัม เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของธาตุอาหารหลักและไนปุ๋ยการค้า

ธาตุอาหาร	ชุดการทดลอง	ปุ๋ยการค้า	อัตราส่วน N:P:K	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Nitrogen	1	Anhydrous Ammonia	82-0-0	82		
	2	Ammonium Nitrate	33-0-0	33		
	3	Ammonium Sulfate	21-0-0	21		
	4	Urea	46-0-0	46		
	5	Calcium Nitrate	16-0-0	16		
Phosphorus	1	Di-ammonium Phosphate	18-46-0	18	46	
	2	Mono-ammonium Phosphate	11-48-0	11	48	
Potassium	1	Potassium Chloride	0-0-60			60
	2	Potassium Magnesium Sulfate	0-0-50			50
	3	Potassium Sulfate	0-0-22			22

ที่มา : Vitosh (1996)

Nguyen *et al.* (2014) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella salina* สายพันธุ์ DCCBC15 ใช้น้ำทะเลจากธรรมชาติผสมปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K (30-15-10) 0.1 กรัมต่อลิตร MgSO₄ 1.86 กรัมต่อลิตร EDTA 0.00876 กรัมต่อลิตร FeCl₃ 0.00049 กรัมต่อลิตร MnCl₂ 0.00189 กรัมต่อลิตร NaHCO₃ 50 มิลลิโมลาร์ (MD4 สูตรที่ 1) (ตารางที่ 2.4) ในช่วงที่ 1 และเติมสูตรอาหารที่แตกต่างกัน 12 สูตร (สูตรที่ 2-13) ลงในแต่ละหน่วยการทดลองในช่วงที่ 2 ในขณะที่สูตรที่ MD4 สูตรที่ 1 คือ หน่วยการทดลองควบคุม ภายใต้ความเข้มแสง 50 ไมโครโวนส์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองช่วงเวลา ช่วงที่ 1 คือวันที่ 0-8 และช่วงที่ 2 คือ วันที่ 9-18 ของการทดลอง พบว่าค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 2.78×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในอาหารสูตรที่ 4 ที่เพิ่มลงในสูตรอาหาร MD4 สูตรที่ 1 จากผลการลองยังชี้ให้เห็นว่าการเติมปุ๋ยการค้าก่อนถึงช่วง Stationary Phase (วันที่ 8 ของการทดลอง) มีผลทำให้ระยะเวลาในช่วง Stationary Phase ยาวนานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์จากเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้ในการทดลองสาหร่าย *D. salina* สายพันธุ์ DCCBC15

Treatments	NPK* (กรัมต่อลิตร)	KNO ₃ (กรัมต่อลิตร)	KH ₂ PO ₄ (กรัมต่อลิตร)
MD 4 1 (Control)	0.00	0.00	0.00
2	0.05		
3	0.10		
4	0.15		
5		0.25	
6		0.50	
7		0.75	
8			0.0135
9			0.0270
10			0.0405
11		0.25	0.0135
12		0.50	0.0270
13		0.75	0.0405

หมายเหตุ (*) N-P-K (30-15-10): 30 % N, 15% P₂O₅, 10 % K₂O, 0.05 % Mg, 0.05 %Ca, 0.01 % B, 0.05 % Zn, 0.05 % Cu, 0.05 % Fe, 0.025 % Mn, 0.005 % Mo

ที่มา : Nguyen *et al.* (2014)

Dungtap *et al.* (2011) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* sp. ในสูตรอาหาร (ตารางที่ 2.5) ภายใต้ความเข้มแสง 92.5 ไมโครไอน์สไต้นต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน พบว่าความหนาแน่นของเซลล์และชีวมวลสูงที่สุดเท่ากับ 0.325±0.03 และ 0.65±0.04 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในอาหารสูตรที่ 3 คือ ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ Na₂HCO₃ 1 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8-10 ปริมาณลิพิดสูงที่สุดเท่ากับ 23.79±0.32 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง พบในสูตรอาหารที่ 1 คือ ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย Urea N:P:K (46-0-0) 1 กรัมต่อลิตร ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 27.19±0.82 เปอร์เซ็นต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักแห้ง พบในสูตรอาหารที่ 3 คือ ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ Na_2HCO_3 1 กรัมต่อลิตร ปริมาณแคลโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 855.436 ± 108.11 ไมโครกรัมต่อกรัม พบในสูตรอาหารที่ 1 คือ ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย Urea N:P:K (46-0-0) 1 กรัมต่อลิตร ซึ่งจากการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าปุ๋ยสูตรการค้าสามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้

ตารางที่ 2.5 สูตรอาหารที่แตกต่างกันใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp.

สารอาหาร	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
ปุ๋ยนา N : P : K (16:16:16) (กรัมต่อลิตร)	0.6	0.6	0.6	-
ปุ๋ย Urea N : P : K (46:0:0) (กรัมต่อลิตร)	1	-	-	-
ปุ๋ยมูลไก่ (เปอร์เซ็นต์)	-	10	-	-
Na_2HCO_3 (กรัมต่อลิตร)	-	-	1	2
NaCl (กรัมต่อลิตร)	-	-	-	1
MgSO_4 (กรัมต่อลิตร)	-	-	-	1

หมายเหตุ : ปุ๋ยมูลไก่หมักนาน 3 สัปดาห์ อัตราการหมัก (ตอนหมัก มูลไก่ 1 : น้ำ 5) แล้วกรองน้ำนำมาผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp.

ที่มา : Dungtap *et al.* (2011)

Choochote *et al.* (2010) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* E1708 โดยมีการผันแปรยูเรีย 4 ระดับ 800, 1,000, 1,200 และ 1,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสูตรอาหาร N-8 เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับยูเรีย 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าชีวมวลมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 19.09 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับยูเรียที่ 1,200 และ 1,400 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่แตกต่างจากระดับยูเรีย 800 มิลลิกรัมต่อลิตร

Arumugam *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Scenedesmus bijugatus* โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) แคลเซียมไนเตรท (CaNO_3) แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 2 ระดับ 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ในสูตรอาหาร Modified Basal เลี้ยงเป็นเวลา 18 วัน พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ การทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่ามีการเจริญเติบโตได้มากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่น

Goksan *et al.* (2011) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) และ แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) 4 ระดับ ความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัมต่อลิตร ในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัมต่อลิตร การทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่ามีค่าคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่น

แต่ต่างจาก Carlos *et al.* (2011) ทำการศึกษาในสาหร่าย *Coccomyxa acidophila* โดยมีการผันแปรการใช้ไนโตรเจนดังนี้โซเดียมไนเตรท (NaNO_3) ยูเรีย ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) และการจำกัดไนโตรเจนในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่ามีค่าแคโรทีนอยด์สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 38 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 ประโยชน์ของสาหร่าย

2.3.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นสารในกลุ่มของ Monoalkyl Ester ของกรดไขมันโดยทั่วไป ไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. Straight Vegetable oil 2. Kero Mix และ 3. Esterbiodiesel ซึ่งรายละเอียด ดังนี้

1. Straight Vegetable Oil คือ ไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง เช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์มหรือน้ำมันจากไขสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ป้อนลงไปเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นใด อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรง คือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน อุณหภูมิของน้ำมันที่อุ่นอย่างน้อย 70 องศาเซลเซียส แนวทางในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง เป็นวิธีการที่ได้น้ำมันในราคาที่ถูกลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้ แต่การที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลว ไขแข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 11-17 เท่า ที่อุณหภูมิตำ่ น้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับจนเกิดเป็นไข การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก (Slow / Low Volatility) ยิ่งทำ

ให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงและระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์

2. ไบโอดีเซลแบบลูกผสม (Veggie / Kero Mix) เป็นการผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากสัตว์กับ “น้ำมันก๊าด” หรือ “น้ำมันดีเซล” เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ “น้ำมันดีเซล” ให้มากที่สุด เช่น ไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันมะพร้าว เรียกว่า โคโคดีเซล (Cocodiesel) น้ำมันที่ได้จากวิธีการดังกล่าวเหมาะกับกรณีจำเป็นต้องการใช้ น้ำมันอย่างเร่งด่วน และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้งานหนัก ตลอดจนใช้งานในภูมิอากาศเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน อัตราส่วนผสมมีตั้งแต่ 10 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันก๊าด 90 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช จนถึง 40 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันก๊าด 60 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันก๊าด 80 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันพืช อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด สามารถติดตั้งถังน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์และตอนก่อนเลิกใช้งานเครื่องยนต์ ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งาน แต่เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูงทำให้ใช้ปริมาณของน้ำมันก๊าดน้อยเกินไป ทำให้น้ำมันผสมที่ได้เมื่อนำไปใช้จึงเกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม นอกจากนี้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการตัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่าง ๆ ตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตัน เป็นต้น

3. ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นความหมายของ “ไบโอดีเซลที่แท้จริง” และเป็นที่ยอมรับในสากล และมีการใช้อย่างทั่วไป เช่น สหพันธรัฐเยอรมัน สหรัฐอเมริกา มีคำจำกัดความว่า เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ “น้ำมันดีเซล” มากที่สุดทำให้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ ได้น้ำมันที่มีความคงตัวมากขึ้น สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิด ทั้งเติมโดยตรงและผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น B5 หมายถึงการผสมไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95 หรือ B100 ซึ่งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น แต่ปัญหาคือ ต้นทุนการผลิตมีราคาแพงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอดีเซลแบบอื่น ๆ ปัจจุบันราคาของน้ำมันไบโอดีเซลยังสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1-2 เท่าตัว อย่างไรก็ตามการนำมาใช้กับเครื่องยนต์มักจะนำน้ำมันดีเซลมาผสมด้วย ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในระบบขนส่งมวลชน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีราคาไม่ต่างจากน้ำมันดีเซลมากนัก นอกจากนี้เผาไหม้ได้อย่างหมดจดไม่มีเขม่าควันหลงเหลือให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากความนิยมเป็นอย่างมากเช่นนี้ทำให้ปั้มน้ำมันจำนวนมากนำไบโอดีเซลมาบริการให้กับลูกค้า เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทน ที่เป็นดัชนีบอกระดับ คุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Mata *et al.* 2010) จากคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เห็นว่าสาหร่ายขนาดเล็กมีศักยภาพและประสิทธิภาพที่สูงกว่าในฐานะแหล่งผลิตไบโอดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับพืชพลังงาน

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบแหล่งผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็กและแหล่งผลิตไบโอดีเซลอื่น

ชนิดพืช	ปริมาณผลิต (% oil by wt. in biomass)	ปริมาณผลิต (L oil/ha year)	พื้นที่ที่ต้องการใน การปลูก (M ² year/kg biodiesel)	การผลิตไบโอดีเซล (kg biodiesel/ha year)
ข้าวโพด	44	172	66	152
เฮมพ์	33	363	31	321
ถั่วเหลือง	18	636	18	562
สบู่ดำ	28	741	15	656
คามไลนา	42	915	12	809
คาโนลา	41	974	12	862
ทานตะวัน	40	1,070	11	946
ละหุ่ง	48	1,307	9	1,156
ปาล์ม	36	5,366	2	4,747
สาหร่ายขนาดเล็ก	30	58,700	0.2	51,927
สาหร่ายขนาดเล็ก	50	97,800	0.1	86,515
สาหร่ายขนาดเล็ก	70	136,900	0.1	121,104

ที่มา : Mata *et al.* (2010)

กรดไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิดสร้างขึ้นภายในเซลล์ มีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของ ไบโอดีเซลที่ผลิตจากสาหร่ายขนาดเล็ก จากการศึกษาของ Moazami *et al.* (2011) ได้กล่าวไว้ว่าสาหร่ายที่มีปริมาณกรดไขมันโอเลอิก (C18:0) ในเซลล์สูงจะส่งผลทำให้ไบโอดีเซลมีความเหมาะสมในแง่เชื้อเพลิงสำหรับการคมนาคม เนื่องจากกรดไขมันโอเลอิกจะช่วยเพิ่มความสามารถต่อต้านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxidative Stability) ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังช่วยลดค่า จุดจุดตันได้กรองที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CFPP) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานไบโอดีเซลในพื้นที่ที่เป็นเขตหนาว ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากสาหร่ายขนาดเล็กสามารถใช้งานในวงกว้างได้มากขึ้น มากยิ่งกว่านั้นปริมาณและชนิดของกรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กยังส่งผลต่อ จุดหลอมเหลว ค่าความหนืด ค่าซีเทน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกคุณภาพของไบโอดีเซลอีกด้วย ในเชิงพาณิชย์การผลิตไบโอดีเซลมีข้อระบุไว้ว่ากรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กไม่ควรมีพันธะคู่ในสายเกินกว่า 4 ตำแหน่ง เพื่อความเสถียรของน้ำมันดีเซล ดังนั้นหากทราบว่าสาหร่ายขนาดเล็กกลุ่มหรือชนิดใดเป็นมีองค์ประกอบกรดไขมันหลักเป็นตัวใดจะสามารถทำให้ผู้ผลิต ผลิตไบโอดีเซลได้ง่ายมากขึ้น

ค่าซีเทน (Cetane Number) คือค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการติดไฟ (Ignition) ของเครื่องยนต์ดีเซล จำนวนซีเทนที่สูงช่วยให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่าย โดยหลักการจำนวนค่าซีเทนจะสัมพันธ์กับเวลาหน่วงการจุดติดไฟ (Ignition Delay Time) (คือเวลาที่เชื้อเพลิงฉีดผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ถึงจุดติดไฟ) เมื่อจำนวนซีเทนสูงเวลาหน่วงการจุดติดไฟจะมีค่าสั้น การทดสอบจำนวนค่าซีเทนใช้วิธีตาม ASTM D975 ซึ่งผลที่ได้ต้องให้ค่าไม่ต่ำกว่า 40 มาตรฐานการทดสอบจำนวนค่าซีเทนตาม ASTM D975 หรือ En ISO 5165 ระบุให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายตรง เฮกซะเดคเคน (Long Straight Chain Hydrocarbon, Hexadecane ($C_{16}H_{34}$)) มีจำนวนซีเทนเท่ากับ 100 ในขณะที่สารประกอบที่มีโครงสร้างที่เป็นกิ่งสาขา (highly Branched Compound) ได้แก่ 2, 2, 4, 4, 6, 8, 8- เฮปตะเมทิลโนน (2, 2, 4, 4, 6, 8, 8, Heptamethylnonane, HMN) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลอย่างง่ายเหมือนเฮกซะเดคเคนคือ $C_{16}H_{34}$ มีจำนวนซีเทนเท่ากับ 15 จากสารประกอบทั้งสองชนิดพอสรุปได้ว่าเมื่อเชื้อเพลิงมีโครงสร้างทางเคมีที่มีกิ่งก้านเพิ่มขึ้นจำนวนซีเทนจะมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามในสารประกอบของกรดไขมันหรือไบโอดีเซล พบว่าจำนวนค่าซีเทนมีค่าสูงกว่าปิโตรเลียมดีเซล (Knothe 2005) (ตารางที่ 2.7)

ค่าไอโอดีน (Iodine Value) คือการวัดความไม่อิ่มตัวทั้งหมด (Total Unsaturation) ในน้ำมันหรือไขมัน ค่านี้จะแสดงในหน่วยกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับ 100 กรัม ของตัวอย่างไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนมีข้อกำหนดไว้ที่น้อยกว่า 120 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม ซึ่งตามมาตรฐานยุโรป เชื้อเพลิงที่มีค่าไอโอดีนสูงมีแนวโน้มที่จะเกิดพอลิเมอร์และกลายเป็นสิ่งเกาะติดจับอยู่บนหัวฉีด แหวนลูกสูบและร่องแหวนลูกสูบและเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเสื่อมสภาพ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ของค่าไอโอดีนกับค่าความหนืดและค่าซีเทน ซึ่งทั้งสองค่านี้จะลดลงเมื่อระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (Knothe 2009)

ค่าสมบัติการไหลในสภาวะที่เย็น (Cold Flow) เป็นตัวบ่งบอกถึงการนำไปใช้ในทางการค้า คุณสมบัติที่สำคัญของการไหลในสภาวะเย็นของไบโอดีเซลคือ ค่าจุดขุ่น (Cloud Point, CP) ค่าจุดไหลเท (Pour Point, PP) และค่าการอุดตันที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CFPP)

ซึ่งมาตรฐาน ASTM D 6751 ไม่มีการกำหนดมาตรฐานไว้ ค่าทั้งสามนี้รายงานเป็นอุณหภูมิ ซึ่งต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าน้อยเพื่อให้ไบโอดีเซลสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยค่าทั้งสามนี้ของไบโอดีเซลจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มไบโอดีเซลด้วยกันพบว่าค่าการจุดตันที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันสัตว์สูงกว่าน้ำมันพืช อาจเนื่องมาจากในไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันพืช เนื่องจากกรดไขมันอิ่มตัวจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน ทำให้เกิดเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ขณะที่การใช้น้ำมันพืชในการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดโอเลอิกและลิโนเลอิกที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว การมีโซ่ยาวที่ไม่อิ่มตัวของกรดไขมันจะส่งผลดีต่อลักษณะการไหลในที่เย็นของไบโอดีเซลและการมีพันธะคู่หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะทำให้จุดเดือดของไบโอดีเซลต่ำลง นอกจากนี้พบว่าเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติของจุดขุ่น จุดไหลเทที่เหมือนกัน การจุดตันที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นปัญหาสำหรับการสตาร์ทเครื่องในภาวะอากาศเย็นเนื่องจากจะทำให้มอเตอร์ไม่ทำงาน อากาศเย็นจะทำให้มีความหนืดสูงจนกลายเป็นของแข็ง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใส่สารเติมแต่งลงไปเพื่อเพิ่มการไหลของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำ ค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation Stability) เป็นการวัดการทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวและตำแหน่งของพันธะคู่ จากการทดสอบพบว่าค่าความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้น (Wyatt *et al.* 2005) สำหรับที่มีปริมาณกรดไขมันโอเลอิก (C18:0) ในเซลล์สูงซึ่งส่งผลให้ไบโอดีเซลมีความเหมาะสมในแง่เชื้อเพลิงสำหรับการคมนาคม เนื่องจากกรดไขมันโอเลอิกจะช่วยเพิ่มความสามารถต่อต้านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxidative Stability) ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานไบโอดีเซลในพื้นที่เขตนาว ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากสาหร่ายขนาดเล็กสามารถใช้งานในวงกว้าง มากไปกว่านั้นปริมาณและชนิดของกรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กยังส่งผลต่อจุดหลอมเหลว ค่าความหนืด ค่าซีเทน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกคุณภาพของไบโอดีเซลอีกด้วย ในเชิงพาณิชย์การผลิตไบโอดีเซลมีข้อระบุไว้ว่ากรดไขมันในสาหร่ายขนาดเล็กไม่ควรมีพันธะคู่ในสายเกินกว่า 4 ตำแหน่ง เพื่อความเสถียรของน้ำมันดีเซล ดังนั้นหากทราบว่าการกรดไขมันของสาหร่ายขนาดเล็กมีองค์ประกอบกรดไขมันหลักเป็นตัวใดจะสามารถทำให้ผู้ผลิตผลิตไบโอดีเซลได้ (Moazami *et al.* 2011)

โดยทั่วไปแล้วค่าซีเทน ความร้อนการเผาไหม้ และความหนืด จะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวพันธะเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงกรดไขมันที่มีพันธะยาว (C10-18:2) นั้นเหมาะที่จะเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ตารางที่ 2.8) แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายทั้งสองสกุลมีปริมาณลิพิดค่อนข้างสูง (19-65 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) และเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมันหลักที่เป็นองค์ประกอบ พบว่ามีกลุ่มของกรดไขมันหลักประเภทเดียวกันได้แก่ C16:0, C18:1, C18:2 และ C18:3 ซึ่งเหมาะสมต่อการ

ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะกลุ่มไบโอดีเซล เนื่องจากมีความยาวของสายคาร์บอนอยู่ระหว่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16-18 อะตอมและพันธะคู่ไม่เกิน 4 พันธะ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล (Chiti 2007; Lin and Lin 2011; Moazami *et al.* 2011) โดยมีค่าซีเทนมากกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D975 สำหรับน้ำมันดีเซลแบบธรรมดา ต้องการค่าซีเทนน้อยที่สุดเท่ากับ 40 (Knothe 2005)

ตารางที่ 2.7 ค่า Cetane Number ของกรดไขมัน

Fatty Acid		CN	Reference
Caproic Acid	C6:0	18.00	Knothe. (2014)
Caprylic Acid	C8:0	33.60	Knothe. (2005)
Capric Acid	C10:0	47.20	Knothe. (2005)
Lauric Acid	C12:0	61.40	Knothe. (2005)
Myristic Acid	C14:0	66.20	Knothe. (2005)
Palmitic Acid	C16:0	74.50	Knothe. (2005)
Palmitoleic Acid	C16:1	51.00	Knothe. (2005)
Stearic Acid	C18:0	86.90	Knothe. (2005)
Elaidic Acid	C18:1n9t	55.00	Knothe. (2005)
Oleic Acid	C18:1n9c	59.30	Knothe. (2005)
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	41.70	Knothe. (2014)
Linoleic Acid	C18:2n6c	42.20	Knothe. (2005)
Linolenic Acid	C18:3n3	20.60	Knothe. (2005)
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	29.20	Knothe. (2014)
Arachidic Acid	C20:0	100.00	Tong <i>et al.</i> (2011)
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	64.80	Tong <i>et al.</i> (2011)
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	29.60	Knothe. (2014)
Behenic Acid	C22:0	74.20	Knothe. (2014)
Erucic Acid	C22:1n9	74.00	Fakhry and Maghraby. (2013)

CN = Cetane Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ค่าปริมาณลิพิดและกรดไขมันในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กรวมถึง *Scenedesmus* spp. และ *B. braunii*

Strain	Lipid content % (DW.)	Lipid productivity g/l/day	Lipid yield g/l	Fatty acid			Reference
				SFA	MUFAs	PUFAs	
<i>B. braunii</i> Kutz. AP103	19.00	0.114	0.556	C16:0, C20:0	C18:1n-9c	C18:2n-6	Ashokkumar and Rengasamy (2012)
<i>B. braunii</i> UTEX 572	25.79	0.006	-	C16:0	C18:1n-9c	C18:2n-6	Yoo <i>et al.</i> (2010)
<i>B. braunii</i> FACHB 357	42.60	-	-	C16:0	C18:1n-9c	C:18:3n-3	Cheng <i>et al.</i> (2011)
<i>B. braunii</i> -	28.00	-	-	C16:0, C18:0	C18:1n-9c	C18:2n-6	Rao <i>et al.</i> (2007)
<i>B. braunii</i> -	-	-	-	C16:0	C18:1n-9c	C:18:3n-3	Fang <i>et al.</i> (2004)
<i>S. dimorphus</i> KMITL	14.00	0.021	0.18	C16:0	C18:1n-9c	C:18:3n-3	Ruangsomboon <i>et al.</i> (2013)
<i>S. acutus</i> PVUW12	32.53	0.081	-	C16:0	C18:1n-9c	C:18:2n-6, C18:3n-3	Damiani <i>et al.</i> (2013)
<i>S. obliquus</i> CNW-M	38.90	0.550	-	C16:0, C18:0	C18:1n-9c	C18:2n-6	Ho <i>et al.</i> (2010)
<i>Scenedesmus</i> sp. KCTC AG 20831	-	0.021	-	C16:0	C18:1n-9c	C18:2n-6	Yoo <i>et al.</i> (2010)
<i>S. dimorphus</i> UTEX 417	20.00	0.111	-	-	-	-	Adams <i>et al.</i> (2013)

SFA คือ saturated fatty acids, MUFA monounsaturated fatty acids, PUFA polyunsaturated fatty acids

นอกจากนี้ผลผลิตอื่นๆที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังสามารถไปใช้ประโยชน์ได้อีกได้แก่ โปรตีนนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรืออาหารเสริม คาร์โบไฮเดรตสามารถเปลี่ยนไปเป็นเชื้อเพลิง เอทานอลหรือใช้เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนสารสีที่ได้เช่นคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ เป็นผลผลิตที่นำไปใช้อุตสาหกรรมยา เป็นต้น (Cheng and Ogden 2011) อย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตลิวคินมีความสัมพันธ์กับสถานะที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง หากสถานะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน การสะสมลิวคินก็จะแตกต่างกันด้วย (Liu *et al.* 2012)

2.4 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบ Photobioreactor

ระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ในปัจจุบันพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ประเภทที่ 1 ระบบปิด (Closed Systems) เป็นระบบที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายภายในตัวอาคารหรือในระบบปิดที่สร้างขึ้น มี 52 เปอร์เซ็นต์ เช่นระบบ Photobioreactor ประเภทที่ 2 คือ ระบบเปิด (Open Pond) คือระบบที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้ง มีประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่นระบบ Raceway ส่วนประเภทที่ 3 คือการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในพื้นที่ธรรมชาติ (Natural Settings) มี 22 เปอร์เซ็นต์ (Singh and Gu 2010)

2.4.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อเพาะเลี้ยงแบบระบบปิด (Photobioreactor)

มีความจำเป็นสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ต้องการสาหร่ายเพียงชนิดเดียวในระบบเป็นระยะเวลานาน ซึ่งระบบนี้ประสบความสำเร็จในการผลิตสาหร่ายขนาดเล็กในปริมาณมาก (Chisti 2007) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นต้องได้ผลผลิตสาหร่ายต่อพื้นที่สูงที่สุดและใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งระบบปิด (Photobioreactor) เป็นวิธีที่ดีกว่าระบบเปิด (Open Pond) เพราะสามารถควบคุมสถานะในการเพาะเลี้ยงให้เหมาะสมและป้องกันการปนเปื้อนของสาหร่ายอื่นได้ ระบบเพาะเลี้ยงที่ดีที่สุดสำหรับสาหร่ายแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกันขึ้นกับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและความสามารถในการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด เนื่องจากให้ผลผลิตที่แตกต่างกัน

Lucas-Salas *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. obliquus* ในระบบการเพาะเลี้ยง Photobioreactor (Bench Scale) แบบกะ โดยใช้สูตรอาหาร BG-11 ภายใต้อุณหภูมิ 230 ไมโครโอมส์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 169 ชั่วโมง พบว่ามีค่าชีวมวล 0.140 ± 0.007 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าเท่ากับ 0.160 ± 0.014 ต่อวัน

Wen *et al.* (2014) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *C. pyrenoidosa* สายพันธุ์ XQ-20044 ในระบบการเพาะเลี้ยง Photobioreactor (Column) แบบกะ ใช้สูตรอาหาร BG-11 ภายใต้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 วัน พบว่ามีค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 2.2 กรัมต่อลิตร ปริมาณลิพิด 45 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และกำลังการผลิตลิพิด 96.28 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

Sforza *et al.* (2014) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กชนิด *S. obliquus* สายพันธุ์ SAG 267.7 ในระบบการเพาะเลี้ยง Photobioreactor (Flat-Bed) แบบกะ ใช้สูตรอาหาร BG-11 ภายใต้อุณหภูมิ 150 ไมโครอินสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 23±1 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.863±0.104 ต่อวัน ปริมาณลิพิด 42.78±4.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

Breuer *et al.* (2014) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. obliquus* สายพันธุ์ slm1 (เป็นสายพันธุ์ที่ไม่มีกลไกการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต เนื่องจาก ผ่านการปรับปรุงสายพันธุ์ด้วยรังสี (UV) ในระบบการเพาะเลี้ยง Photobioreactor (Flat-Panel Airlift Loop) แบบกะ ใช้สูตรอาหาร BG-11 ภายใต้อุณหภูมิ 500 ไมโครอินสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 27.5 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 5.2 ±0.2 กรัมต่อลิตร และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.863±0.104 ต่อวัน ปริมาณลิพิด 57.02 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

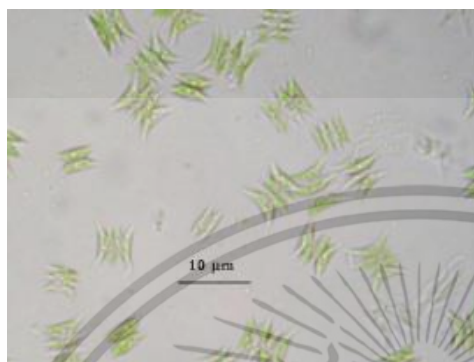
Pruvost *et al.* (2012) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ในระบบการเพาะเลี้ยง Photobioreactor (Flat-Panel) แบบกะ ใช้สูตรอาหาร BBM ภายใต้อุณหภูมิ 220 ไมโครอินสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 96 ชั่วโมง พบว่ามีค่ากำลังการชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 11 กรัมต่อตารางเมตร และปริมาณลิพิด 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ชนิดของสาหร่ายขนาดเล็ก

3.1.1 *Scenedesmus dimorphus*



3.1.2 *Botryococcus braunii*



3.2 สารเคมี

3.2.1 อาหารเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก (ตารางผนวก 49)

3.2.1.1 อาหารเลี้ยงเชื้อสูตรคลอเรลลา

3.2.1.2 ปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K ((NH₂)₂CO : (NH₄)₂H₂PO₄ : KCl)

3.2.2 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอและแคโรทีนอยด์

3.2.2.1 เมทานอล (Methanol) (Fisher scientific, UK)

3.2.2.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) (Carlo erba, France)

3.2.2.3 อะซิโตน (Acetone) (RCI Labscan, Germany)

3.2.3 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณโปรตีน

3.2.3.1 Folin-Ciocalteu reagent (Fluka, Switzerland)

3.2.3.2 โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) (Carlo erba, France)

3.2.3.3 คอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO₄) (Carlo erba, France)

3.2.3.4 โซเดียมโพแทสเซียมทราทาเตรด (NaKC₄H₆O₆) (Carlo erba, France)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเว็บไซต์มีข้อเสนอแนะด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Carlo erba, France)

3.2.3.6 โบวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin, BSA) (Fluka, Switzerland)

3.2.4 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

3.2.4.1 ฟีนอล (C₆H₅OH) (Carlo erba, France)

3.2.4.2 ซัลฟูริก (H₂SO₄) (Merck, Germany)

3.2.4.3 กลูโคสมาตรฐาน (Glucose standard) (Fluka, Switzerland)

3.2.5 เคมีภัณฑ์สำหรับศึกษาปริมาณน้ำมันและกรดไขมัน

3.2.5.1 เฮกเซน (hexane) (RCI Labscan, Germany)

3.2.5.2 เมทานอล (Methanol) (Fisher scientific, UK)

3.2.5.3 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) (Fisher Chemical, U.S.A.)

3.2.5.4 ซัลฟูริก (H₂SO₄) (Merck, Germany)

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 ไมโครปิเปต (Micropipette) (socorex, Switzerland)

3.3.2 เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter)

3.3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Maxmin Thermometer)

3.3.4 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Hettich Zentrifugen, Australia)

3.3.5 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) (Hirayama, Hiclave HV-50, Japan)

3.3.6 ตู้อบ (Hot Air Oven) (Shellab 1350FX, U.S.A)

3.3.7 อ่างทำความร้อน (Water Bath) (WNE, Germany)

3.3.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, Switzerland)

3.3.9 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, Switzerland)

3.3.10 เครื่องผสมสาร (Vortex) (vision scientific, Korea)

3.3.11 เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) (MS300 HS, Korea)

3.3.12 ตู้ปิดคอกเชื้อ (Microminar Flow, ABS 1200 A, UK)

3.3.13 คิวเวด (Semimicro rectangular 10 mm, Hellma, U.S.A.)

3.3.14 เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (BECthai, Thailand)

3.3.15 เครื่องวัดพีเอช (pH meter) (Ecoscan, Netherlands)

3.3.16 โถดูดความชื้น (Descicator)

3.3.17 เครื่องเขย่า (Shaker)

3.3.18 กระบอกตวง (Cylinder)

3.3.19 กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.20 เพลท (Plate)
- 3.3.21 ขวดรูปชมพู่
- 3.3.22 ขวดน้ำเกลือ
- 3.3.23 สายออกซิเจน
- 3.3.24 ทิป (tip)
- 3.3.25 หลอดทดลอง
- 3.3.26 เครื่องแก้วต่างๆ
- 3.3.27 ภาชนะพลาสติก (polypropylene) ต่างๆ

3.4 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการแพลงก์ตอน หลักสูตรวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 วิธีดำเนินการ

3.5.1 การเตรียมสาหร่ายบริสุทธิ์

ทำการเลี้ยงสาหร่ายบริสุทธิ์ *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลา ในภาชนะแก้วที่บรรจุอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ปลอดเชื้อ มีการให้แสง 24 ชั่วโมง ความเข้มแสง 1900 ลักซ์ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีการให้ฟองอากาศในขวดเพาะเลี้ยง เพื่อเพิ่มจำนวนสาหร่ายบริสุทธิ์

3.5.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองที่ 1.1 ผลของความเข้มข้นไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ทำการเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตรคลอเรลลา โดยผันแปรความเข้มข้นของไนโตรเจน 5 ระดับ ดังนี้ 0.17, 0.34, 0.51, 0.68 และ 0.85 กรัมต่อลิตร (KNO_3 เท่ากับ 1.25, 2.5, 3.75, 5 และ 6.25 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งไนโตรเจน) (ตารางที่ 3.1) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต (ชีวมวล) ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ไขมันและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 3.1 ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน 5 ระดับ

KNO ₃ (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณ N (กรัมต่อลิตร)
1.25	0.17
2.5	0.34
3.75	0.51
5	0.68
6.25	0.85

โดยอาหารสูตรคลอเรลามี KNO₃ 1.25 กรัมต่อลิตร ซึ่งเทียบเป็นปริมาณไนโตรเจน (N) = 0.17 กรัมต่อลิตร (KNO₃ น้ำหนักมวลโมเลกุล เท่ากับ 101.10)

การทดลองที่ 1.2 ผลของความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ทำการเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตรคลอเรลลา โดยผันแปรความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 5 ระดับ ดังนี้ 0, 0.14, 0.28, 0.42 และ 0.56 กรัมต่อลิตร (KH₂PO₄ เท่ากับ 0, 0.625, 1.25, 1.85 และ 2.5 กรัมต่อลิตร เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) (ตารางที่ 3.2) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต (ชีวมวล) ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ไขมันและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 3.2 ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 5 ระดับ

KH ₂ PO ₄ (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณ P (กรัมต่อลิตร)
0	0
0.625	0.14
1.25	0.28
1.85	0.42
2.5	0.56

โดยอาหารสูตรคลอเรลามี KH₂PO₄ 1.25 กรัมต่อลิตร ซึ่งเทียบเป็นปริมาณฟอสฟอรัส (P) = 0.28 กรัมต่อลิตร (KH₂PO₄ น้ำหนักมวลโมเลกุล เท่ากับ 136.09)

การทดลองที่ 1.3 ผลของความเข้มข้นของปุ๋ยสูตรการค้าต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

การทดลองที่ 1.3.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรียต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ทำการเลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยสูตรการค้าโดยใช้ยูเรีย 5 ระดับ ดังนี้ 0.0037, 0.185, 0.37, 0.56 และ 0.74 กรัมต่อลิตร ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ เป็นแหล่งไนโตรเจน) (ตารางที่ 3.3) โดยปรับยูเรียให้มีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 1, 50, 100, 150 และ 200 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารคลอเรลลา ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต (ชีวมวล) ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ไขมันและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

ตารางที่ 3.3 ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน 5 ระดับ ในปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย

ไนโตรเจนในอาหาร สูตรคลอเรลลา (เปอร์เซ็นต์)	ไนโตรเจนในสูตรอาหาร คลอเรลลา (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณยูเรีย (กรัมต่อลิตร) (ที่มี N เทียบเท่ากับสูตรคลอเรลลา)
1	0.0017	0.0037
50	0.085	0.185
100	0.17	0.37
150	0.255	0.56
200	0.34	0.74

โดยอาหารสูตรการค้า $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ สูตร 46-0-0 100 กรัม ซึ่งมีไนโตรเจน (N) เท่ากับ 46 กรัม

การทดลองที่ 1.3.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ทำการเลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K โดยผันแปรระดับความเข้มข้นของปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ในความเข้มข้นเท่ากับสูตรคลอเรลลาซึ่งมีอัตราส่วนเท่ากับ 0.17: 0.28: 0.83 โดยใช้ยูเรีย $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ เป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณเท่ากับ 0.13 กรัมต่อลิตร ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต $(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2 \text{PO}_4$ เป็นแหล่งฟอสฟอรัสมีปริมาณเท่ากับ 0.61 กรัมต่อลิตร และโพแทสเซียมคลอไรด์ KCl เป็นแหล่งโพแทสเซียมมีปริมาณเท่ากับ 1.38 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 3.4) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต (ชีวมวล) ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ไขมันและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ปริมาณความเข้มข้นของปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K ในความเข้มข้นเท่ากับสูตรคลอเรลลา

อัตราส่วน	สูตรอาหารคลอเรลลา (กรัมต่อลิตร)	แหล่งปุ๋ยสูตรการค้า	ปุ๋ยสูตรการค้า (กรัมต่อลิตร)
N	0.17	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	0.13
P	0.28	$(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2 \text{PO}_4$	0.61
K	0.83	KCl	1.38

โดยอาหารสูตรการค้า $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ สูตร 46-0-0 100 กรัม ซึ่งมีไนโตรเจน (N) เท่ากับ 46 กรัม
โดยอาหารสูตรการค้า $(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2 \text{PO}_4$ สูตร 18-46-0 100 กรัม ซึ่งมีไนโตรเจน (N) เท่ากับ 18
กรัม และฟอสฟอรัส (P) เท่ากับ 46 กรัม

โดยอาหารสูตรการค้า KCl สูตร 0-0-60 100 กรัม ซึ่งมีโพแทสเซียม (K) เท่ากับ 60 กรัม

การทดลองที่ 1.3.3 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย (N) : ฟอสฟอรัส (P) ต่อการ
เจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii*

ทำการเลี้ยงสาหร่ายในความเข้มข้นปุ๋ยสูตรการค้ายูเรียสูตรที่ดีที่สุดต่อระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ดีที่สุด จากผลการทดลองที่ 1.3.1 และ 1.2 ซึ่งมีค่าที่ดีที่สุดคือ 0.74:0.28 กรัมต่อลิตร ในสาหร่าย *S. dimorphus* และ 0.56:0.56 กรัมต่อลิตร ในสาหร่าย *B. braunii* ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ เป็นแหล่งไนโตรเจน และ KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์การเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ไขมันและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

3.5.3 การทดลองนอกห้องปฏิบัติการในระบบ Photobioreactor

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ปริสุทธิ์ในสูตรอาหารคลอเรลลา ซึ่งเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ขยายลงในโหลแก้วขนาด 10 ลิตร วางไว้บนชั้นที่มีการให้แสงด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 24 ชั่วโมง นอกห้องปฏิบัติการ ความเข้มแสง 104 – 890 ลักซ์ เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ในสูตรอาหารคลอเรลลา (สูตรควบคุม) และ ในสูตรอาหารที่เหมาะสมสำหรับสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ สูตรอาหารจากการทดลองที่ 1.3.1 มีค่าเท่ากับยูเรีย (46-0-0) 0.74 กรัมต่อลิตร สำหรับสาหร่าย *S. dimorphus* และจากการทดลองที่ 1.3.2 ในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K มีค่าเท่ากับยูเรีย $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 0.13 กรัมต่อลิตร $(\text{NH}_4)_2 \text{H}_2 \text{PO}_4$ 0.61 กรัมต่อลิตร และ KCl 1.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัมต่อลิตร สำหรับสาหร่าย *B. braunii* วิเคราะห์การเจริญเติบโต (ชีวมวล) ปริมาตรคงตัวดู ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน วิเคราะห์ลิพิดและกรดไขมัน ทุก 4 วัน เพาะเลี้ยง สาหร่ายเป็นเวลา 20 วัน

3.5.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมี

การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักแห้งโดยเก็บเซลล์สาหร่ายปริมาตร 5 มิลลิลิตร ล้างเซลล์ 2 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่น pH 4 โดยนำไปปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง นำเซลล์สาหร่ายที่ได้จากการตกตะกอนทั้งหมดเข้าเครื่องอบ (Hot Air Oven) ที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ตามวิธีของ Pearson *et al.* (1976)

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธี Lowry *et al.* (1951)

การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรตตามวิธี Phenol-sulfuric ของ Bois *et al.* (1956)

การวิเคราะห์ลิพิด ตามวิธีของ Bligh and Dyer (1959)

การวิเคราะห์กรดไขมัน โดยนำลิพิดไปทำไบโอดีเซลและนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรด ไขมัน ตามวิธี Transesterification และฉีดตัวอย่างวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่อง GC (Gas Chromatography) รุ่น HP 5890 (Series II) บริษัท Hewlett-Packard ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มี อัตราการไหลของแก๊สพาหีสีเลียม (He) 45 มิลลิลิตรต่อนาที แก๊สไนโตรเจน (N₂) 35 มิลลิลิตรต่อ นาที แก๊สไฮโดรเจน (H₂) 45 มิลลิลิตรต่อนาที และ แก๊สเอซีไร (Airzero) 350 มิลลิลิตรต่อ นาที ฉีดสาร 1 ไมโครลิตร อุณหภูมิ ฉีดสาร 240 องศาเซลเซียส ใช้คอลัมน์ BPX 70 ความ ยาว 100 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร เคลือบด้วย Dichloromethane หนา 0.25 ไมโครเมตร อุณหภูมิดีเทกเตอร์ 260 องศาเซลเซียส โปรแกรมอุณหภูมิ 3 -ขั้น โดยเริ่มต้นที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เพิ่มด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 180 องศาเซลเซียส คงที่ 50 นาที แล้วเพิ่มด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 190 องศาเซลเซียส คงที่ 20 นาที แล้วเพิ่ม ด้วยอัตรา 4 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึง 220 องศาเซลเซียส คงที่ 60 นาที สัดส่วนการไหลของ สาร 100:1

3.5.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และนำข้อมูลที่ได้ ทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) และในกรณีมากกว่า 2 ชุดการทดลอง เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากวิธีการของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย

S. dimorphus และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

4.1.1 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

4.1.1.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

สาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา โดยผันแปรความเข้มข้นของไนโตรเจน 5 ระดับ 0.17 - 0.85 กรัมต่อลิตร พบว่าชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 1.61 ± 0.09 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.1 A, ตารางผนวกที่ 1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน 0.17 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 1.13 ± 0.08 กรัมต่อลิตร

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.46 ± 0.026 ต่อวัน ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ

4.1.1.2 รงกวัตุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 16.13 ± 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.1 B, ตารางผนวกที่ 2) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน 0.17 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 8.60 ± 1.67 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 3.69 ± 0.00

มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.1 C, ตารางผนวกที่ 3) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ

4.1.1.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังวันที่ 12 ในทุกชุดการทดลองจนถึงวันที่ 18 ของการทดลอง พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1443.11 ± 149.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.1 D, ตารางผนวกที่ 4) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองไนโตรเจน 0.17 และ 0.68 กรัมต่อลิตร

4.1.1.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังวันที่ 12 ของการทดลอง พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 634.78 ± 39.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.1 E, ตารางผนวกที่ 5) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.17, 0.34 และ 0.68 กรัมต่อลิตร

4.1.1.5 ปริมาณลิพิด

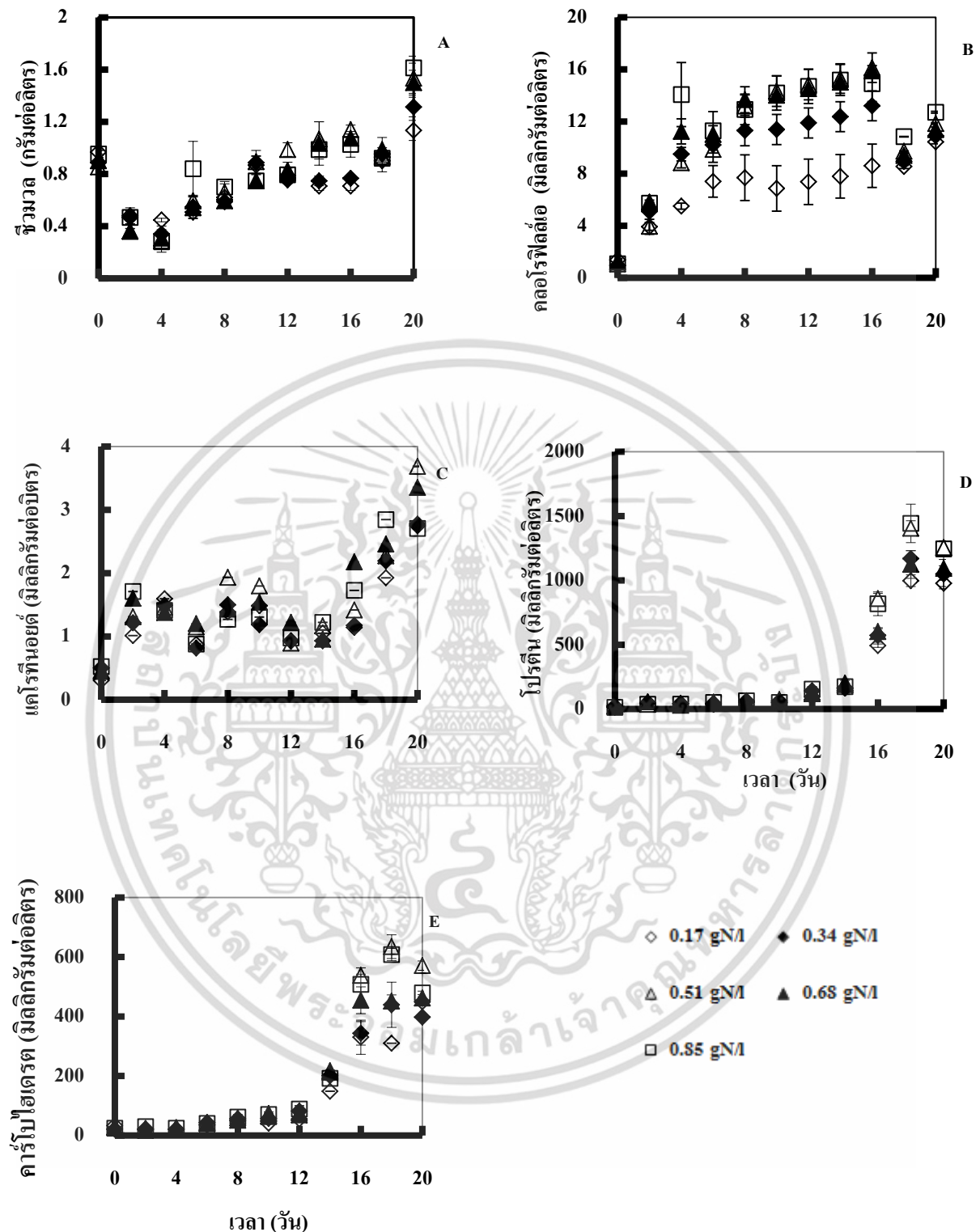
การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* ภายใต้ความเข้มข้นไนโตรเจนที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.68 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.94 ± 4.09 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.50 ± 0.06 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 55.21 ± 4.25 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.1.1.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจน 0.17 กรัมต่อลิตรมีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 57.26 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.2 A, ตารางผนวกที่ 6) และรองลงมาคือ Stearic Acid (C18:0) โดยมีปริมาณสูงสุดคือ 14.43 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง ในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจน 0.34 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 99.79 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่

4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.2 B, ตารางผนวกที่ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการดำเนินงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.1 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

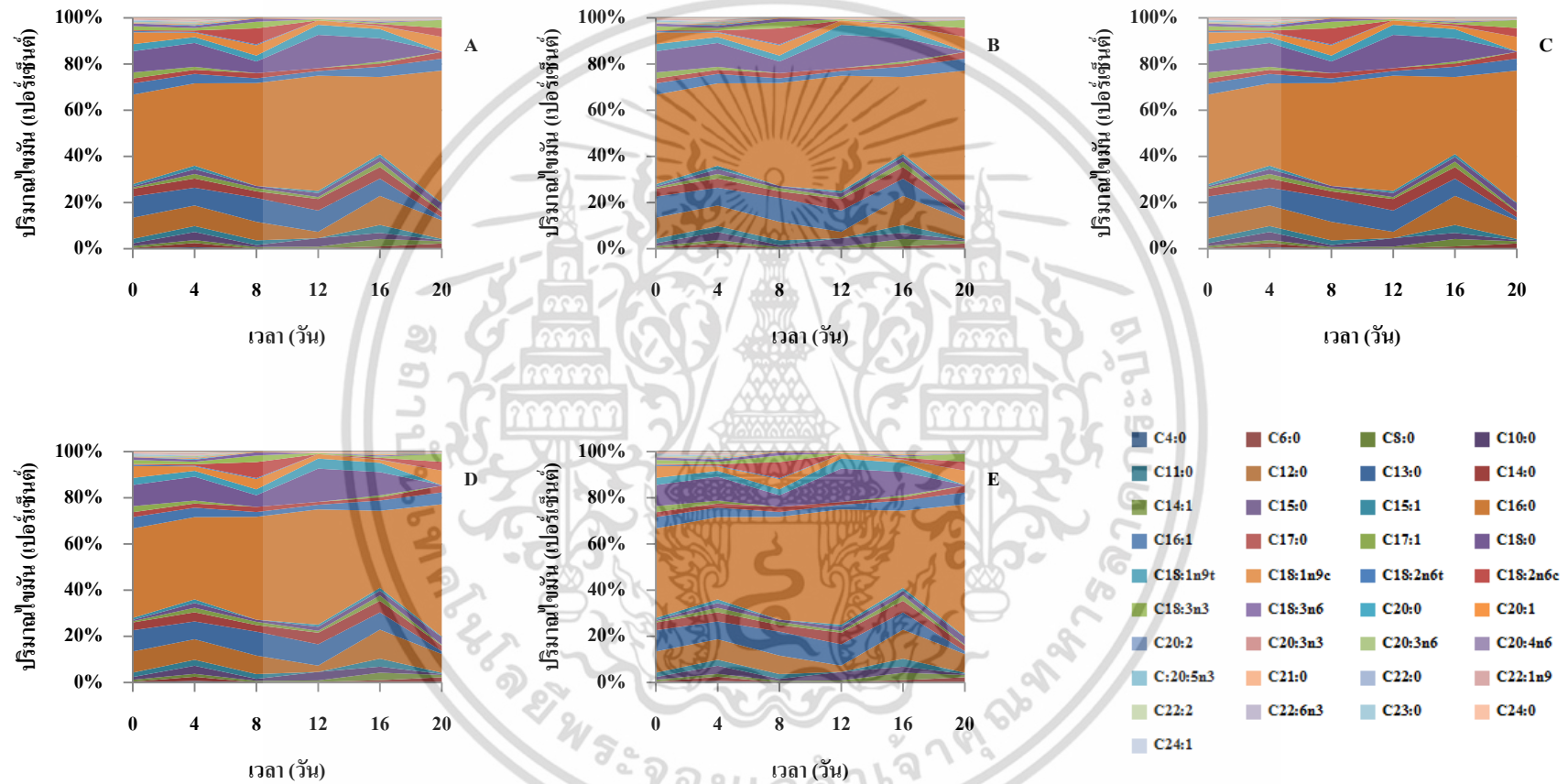
ตารางที่ 4.1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิวตินของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
		0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
อัตราการ	0	-	-	-	-	-
เจริญเติบโตจำเพาะ	4	-0.34±0.32 ^{aA}	-0.32±0.04 ^{aA}	-0.40±0.03 ^{aA}	-0.36±0.07 ^{aA}	-0.32±0.05 ^{aA}
(ต่อวัน)	8	0.07±0.00 ^{aB}	0.22±0.11 ^{aB}	0.24±0.08 ^{aB}	0.16±0.04 ^{aB}	0.46±0.26 ^{aB}
	12	0.09±0.01 ^{aB}	0.16±0.03 ^{aB}	0.19±0.04 ^{aB}	0.12±0.02 ^{aB}	0.19±0.04 ^{aB}
	16	0.09±0.01 ^{aB}	0.14±0.04 ^{aB}	0.14±0.02 ^{aB}	0.11±0.02 ^{aB}	0.10±0.02 ^{aB}
	20	0.06±0.00 ^{aB}	0.09±0.01 ^{abB}	0.11±0.01 ^{bbB}	0.10±0.01 ^{bbB}	0.11±0.02 ^{bbB}
ปริมาณลิวติน	0	10.48±0.00 ^{aC}	10.48±0.00 ^{aB}	10.48±0.00 ^{aA}	10.48±0.00 ^{aB}	10.48±0.00 ^{aB}
(เปอร์เซ็นต์	4	9.23±0.00 ^{cb}	13.64±0.00 ^{ec}	12.41±0.00 ^{dc}	8.28±0.00 ^{aA}	9.09±0.00 ^{ba}
น้ำหนักแห้ง)	8	6.13±0.00 ^{aA}	8.31±0.00 ^{ba}	12.31±0.00 ^{cb}	10.63±0.00 ^{cc}	10.87±0.00 ^{dc}
	12	27.27±2.27 ^{ce}	25.30±2.30 ^{ae}	28.64±2.20 ^{ce}	26.94±2.24 ^{be}	27.86±4.29 ^{de}
	16	29.58±2.11 ^{bf}	26.83±0.00 ^{af}	32.73±4.09 ^{df}	32.94±0.00 ^{cf}	30.56±2.04 ^{cf}
	20	24.02±0.81 ^{cd}	22.47±1.00 ^{ad}	24.82±0.68 ^{dd}	23.87±1.25 ^{bd}	25.72±0.66 ^{ed}
ผลผลิตลิวติน	0	0.12±0.00 ^{ac}	0.14±0.00 ^{bb}	0.16±0.00 ^{ba}	0.16±0.00 ^{cb}	0.17±0.00 ^{cb}
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	4	0.11±0.00 ^{ab}	0.18±0.00 ^{dc}	0.19±0.00 ^{cc}	0.12±0.00 ^{ba}	0.15±0.00 ^{ca}
	8	0.07±0.00 ^{aA}	0.11±0.00 ^{ba}	0.19±0.00 ^{cb}	0.16±0.00 ^{cc}	0.18±0.00 ^{dc}
	12	0.31±0.03 ^{ae}	0.33±0.03 ^{be}	0.44±0.03 ^{de}	0.40±0.03 ^{ce}	0.45±0.07 ^{ee}
	16	0.34±0.02 ^{af}	0.35±0.00 ^{bf}	0.50±0.06 ^{ef}	0.49±0.00 ^{df}	0.49±0.03 ^{cf}
	20	0.27±0.01 ^{ad}	0.29±0.01 ^{bd}	0.38±0.01 ^{dd}	0.36±0.03 ^{cd}	0.42±0.03 ^{cd}
กำลังการผลิตลิวติน	0	-	-	-	-	-
(มิลลิกรัมต่อลิตร	4	-31.28±0.00 ^{da}	-44.22±0.00 ^{ba}	-49.16±0.00 ^{aa}	-32.77±0.00 ^{ca}	-28.86±0.00 ^{aa}
ต่อวัน)	8	4.10±0.00 ^{ac}	18.31±0.00 ^{cc}	29.71±0.00 ^{bd}	16.72±0.00 ^{bc}	49.80±0.00 ^{ee}
	12	25.26±2.10 ^{ae}	40.51±3.68 ^{cf}	55.21±4.25 ^{ef}	32.16±2.68 ^{be}	53.66±8.26 ^{df}
	16	27.39±1.96 ^{af}	37.64±0.00 ^{de}	46.92±5.87 ^{ee}	35.43±0.00 ^{ef}	32.01±2.13 ^{bd}
	20	13.27±0.51 ^{ad}	19.47±1.83 ^{bd}	28.11±2.58 ^{dc}	23.51±2.89 ^{cd}	28.98±3.55 ^{cc}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

(0.17 กรัมต่อลิตร = A, 0.34 กรัมต่อลิตร = B, 0.51 กรัมต่อลิตร = C, 0.68 กรัมต่อลิตร = D, 0.85 กรัมต่อลิตร = E)

4.1.2 ผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii*

4.1.2.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

ชีวมวลของ *B. braunii* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 5 ระดับ 0.17 - 0.85 กรัมต่อลิตร พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.68 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 1.91 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.3 A, ตารางผนวกที่ 7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.44 ± 0.04 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.2) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ

4.1.2.2 รงควัตถุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.34 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เท่ากับ 1.02 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.3 B, ตารางผนวกที่ 8) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.68 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.3 C, ตารางผนวกที่ 9) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจน 0.17 และ 0.85 กรัมต่อลิตร

4.1.2.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกชุดการทดลอง จนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 257.71 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.3 D, ตารางผนวกที่ 10) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.1.2.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

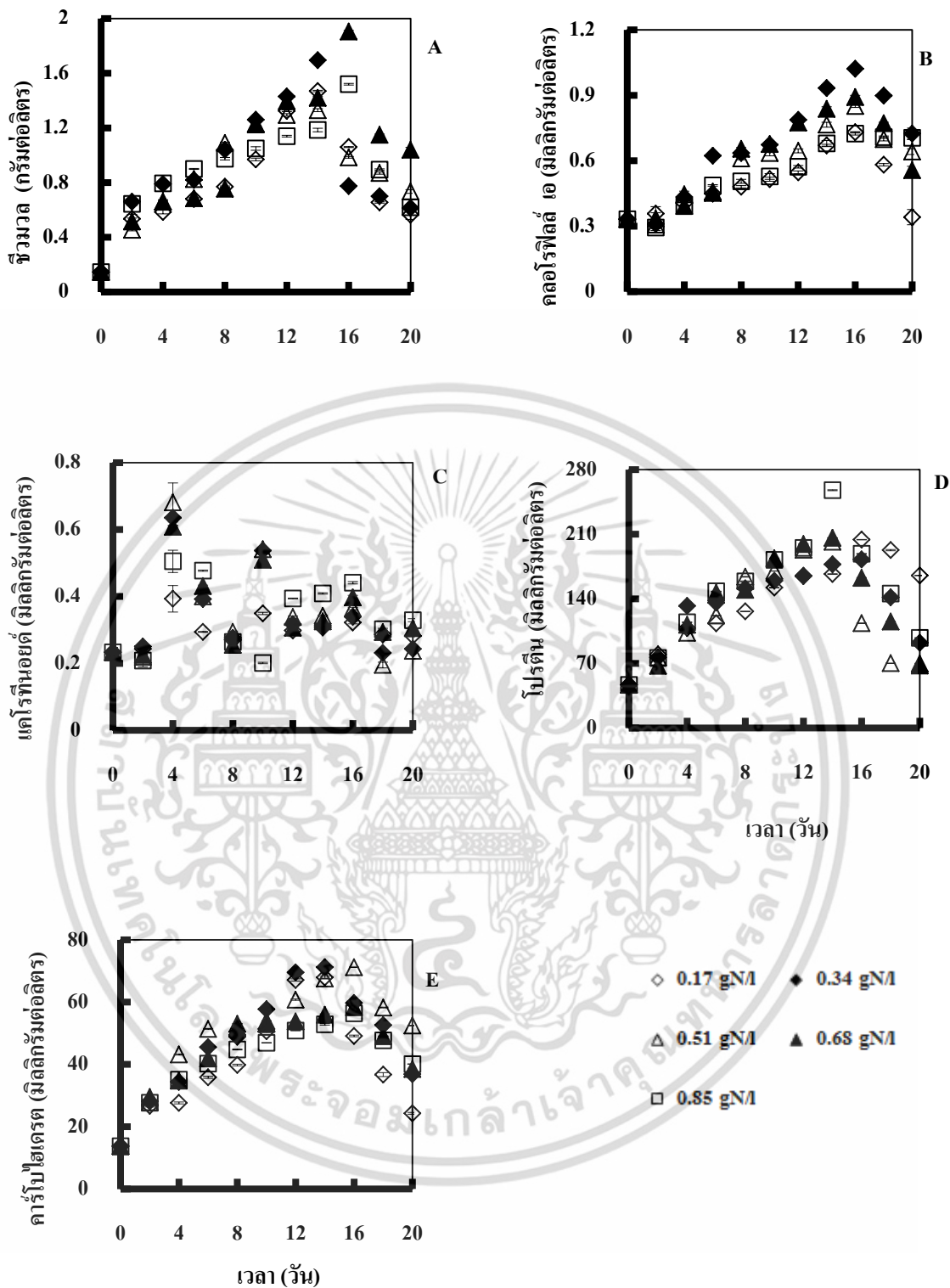
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.34 และ 0.51 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 71.20 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 และ 16 (ภาพที่ 4.3 E, ตารางผนวกที่ 11) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.1.2.5 ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* ภายใต้อุณหภูมิความเข้มข้นไนโตรเจนที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 44.15 ± 0.69 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.2) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจน 0.17 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าปริมาณลิพิดเท่ากับ 40.32 ± 1.28 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.68 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.80 ± 0.30 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.2) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นไนโตรเจน 0.85 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 151.01 ± 13.63 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.2) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ

4.1.2.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 54.57 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 0 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.4 C, ตารางผนวกที่ 12) และรองลงมาคือ Elaidic Acid (C18:1n9t) โดยมีปริมาณสูงคือ 15.16 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง และพบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นไนโตรเจน 0.51 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 97.67 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.4 C, ตารางผนวกที่ 12)



ภาพที่ 4.3 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

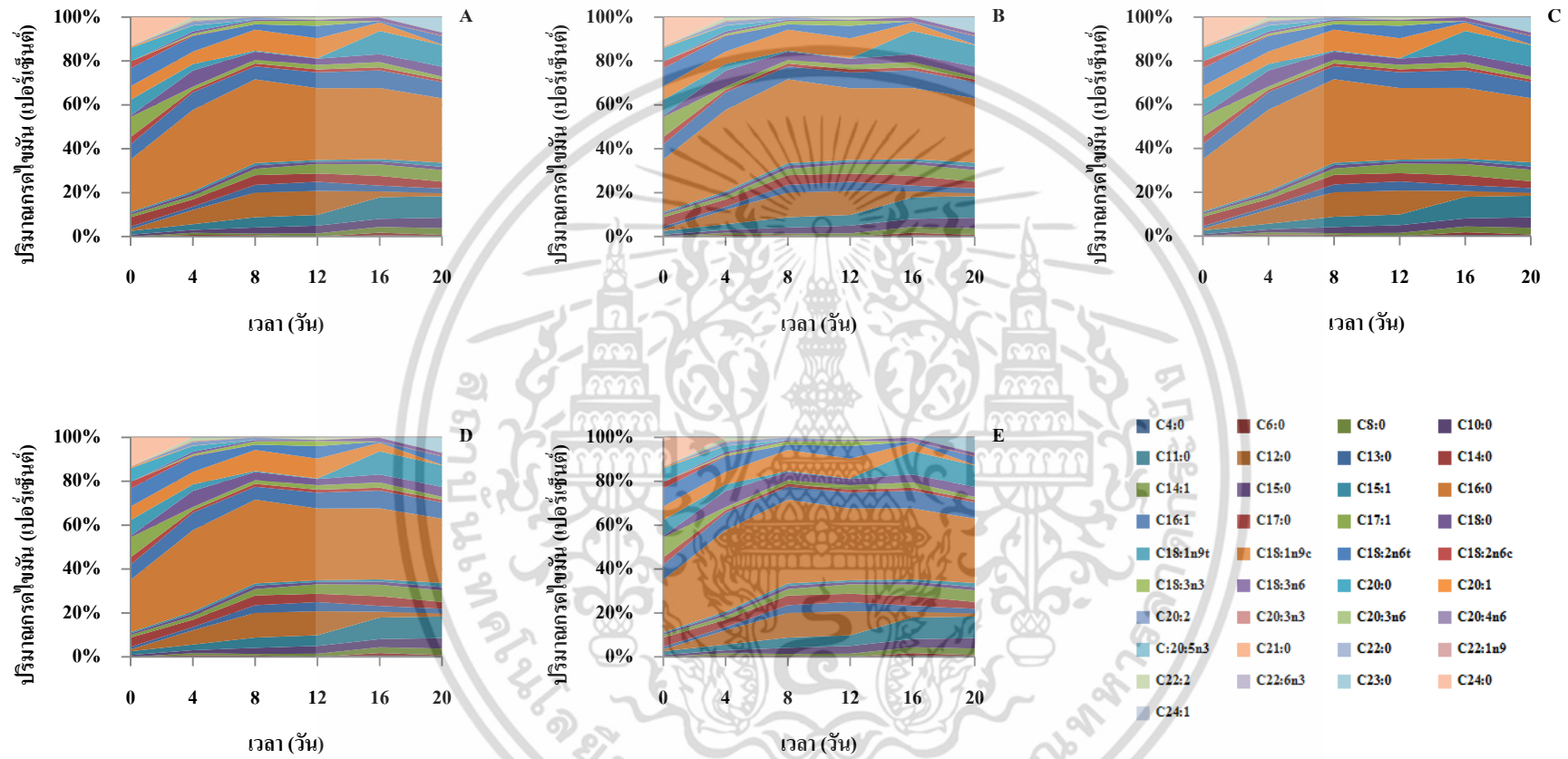
ตารางที่ 4.2 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิกพิดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
		0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
อัตราการ	0	-	-	-	-	-
เจริญเติบโตจำเพาะ	4	0.38±0.03 ^{ad}	0.43±0.04 ^{ad}	0.39±0.05 ^{ad}	0.39±0.05 ^{ad}	0.44±0.04 ^{ad}
(ต่อวัน)	8	0.26±0.02 ^{ac}	0.25±0.02 ^{ac}	0.26±0.02 ^{ac}	0.30±0.07 ^{ab}	0.24±0.02 ^{ac}
	12	0.19±0.01 ^{ab}	0.19±0.02 ^{abc}	0.19±0.02 ^{abc}	0.19±0.01 ^{ab}	0.18±0.02 ^{ab}
	16	0.17±0.01 ^{ab}	0.18±0.01 ^{ab}	0.18±0.02 ^{ab}	0.16±0.01 ^{ab}	0.15±0.01 ^{ab}
	20	0.17±0.01 ^{ab}	0.18±0.01 ^{ab}	0.18±0.02 ^{ab}	0.16±0.01 ^{ab}	0.15±0.01 ^{ab}
ปริมาณลิกพิด	0	27.72±0.94 ^{aa}	27.72±0.94 ^{aa}	27.72±0.94 ^{aa}	27.72±0.94 ^{aa}	27.72±0.94 ^{aa}
(เปอร์เซ็นต์	4	30.47±0.50 ^{aa}	31.58±0.43 ^{ab}	33.16±0.53 ^{bc}	33.68±0.61 ^{cb}	34.74±0.61 ^{cb}
น้ำหนักแห้ง)	8	36.83±0.92 ^{ab}	37.23±0.87 ^{ac}	37.90±0.81 ^{ac}	38.44±0.92 ^{ac}	38.83±0.69 ^{ac}
	12	38.95±1.29 ^{abc}	39.89±1.27 ^{acd}	40.43±0.75 ^{ad}	40.86±1.70 ^{acd}	41.76±0.00 ^{ad}
	16	39.63±0.27 ^{abc}	40.69±1.18 ^{ad}	41.40±0.54 ^{ade}	42.20±1.48 ^{acd}	42.47±0.93 ^{ade}
	20	40.32±1.28 ^{ac}	42.12±1.03 ^{abd}	43.21±0.68 ^{abd}	43.15±1.36 ^{bd}	44.15±0.69 ^{be}
ผลผลิตลิกพิด	0	0.04±0.01 ^{aa}	0.04±0.01 ^{aa}	0.04±0.01 ^{aa}	0.02±0.22 ^{aa}	0.04±0.01 ^{aa}
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	4	0.18±0.03 ^{ab}	0.25±0.01 ^{cb}	0.22±0.02 ^{ab}	0.22±0.02 ^{ab}	0.28±0.01 ^{cb}
	8	0.28±0.01 ^{ab}	0.39±0.01 ^{cd}	0.41±0.01 ^{cd}	0.29±0.02 ^{ac}	0.38±0.01 ^{bc}
	12	0.52±0.03 ^{bc}	0.57±0.03 ^{be}	0.52±0.02 ^{ab}	0.57±0.02 ^{be}	0.48±0.02 ^{ad}
	16	0.42±0.09 ^{ac}	0.31±0.01 ^{ac}	0.41±0.01 ^{ad}	0.80±0.30 ^{ef}	0.65±0.03 ^{be}
	20	0.23±0.02 ^{ab}	0.26±0.00 ^{ab}	0.32±0.04 ^{bc}	0.45±0.02 ^{cd}	0.27±0.01 ^{ab}
กำลังการผลิตลิกพิด	0	-	-	-	-	-
(มิลลิกรัมต่อลิตร	4	114.59±6.89 ^{bd}	137.56±14.07 ^{bc}	129.20±19.62 ^{ac}	132.10±18.42 ^{ad}	151.01±13.63 ^{ad}
ต่อวัน)	8	94.36±10.48 ^{ac}	94.07±8.95 ^{ab}	97.96±8.67 ^{ab}	113.37±24.15 ^{acd}	95.45±7.51 ^{ac}
	12	73.18±5.89 ^{ab}	77.58±7.08 ^{ab}	75.37±6.61 ^{ab}	78.42±6.27 ^{abc}	73.25±6.72 ^{abc}
	16	67.44±4.92 ^{ab}	72.41±4.87 ^{ab}	74.14±7.34 ^{ab}	69.09±4.83 ^{ab}	63.34±3.72 ^{ab}
	20	68.78±6.33 ^{ab}	75.63±7.31 ^{ab}	77.86±8.89 ^{ab}	71.28±2.99 ^{ab}	66.20±5.45 ^{ab}

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

(0.17 กรัมต่อลิตร = A, 0.34 กรัมต่อลิตร = B, 0.51 กรัมต่อลิตร = C, 0.68 กรัมต่อลิตร = D, 0.85 กรัมต่อลิตร = E)

4.2 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

4.2.1 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

4.2.1.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา โดยผันแปรความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 5 ระดับ 0 - 0.56 กรัมต่อลิตร พบว่าชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 1.29 ± 0.05 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5 A, ตารางผนวกที่ 13) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0 และ 0.14 กรัมต่อลิตร

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.17 ± 0.01 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0 และ 0.14 กรัมต่อลิตร

4.2.1.2 รงควัตถุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.42 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 2.46 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5 B, ตารางผนวกที่ 14) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.97 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5 C, ตารางผนวกที่ 15) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.1.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณ

โปรตีนเท่ากับ 272.07 ± 0.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5 D, ตารางผนวกที่ 16) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.1.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

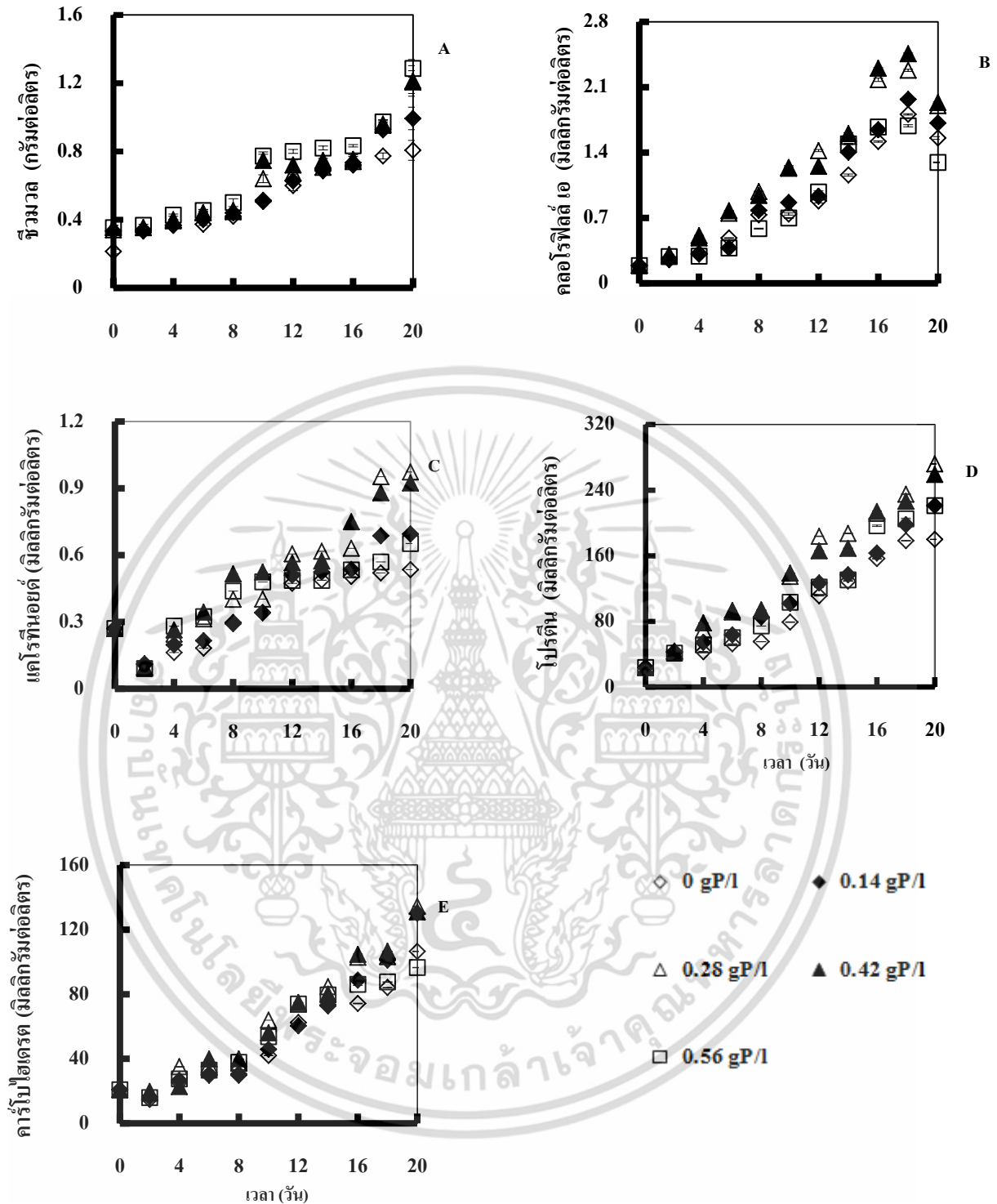
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 134.38 ± 0.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.5 E, ตารางผนวกที่ 17) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 0 และ 0.56 กรัมต่อลิตร

4.2.1.5 ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* ภายใต้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่ต่างกันพบว่า ปริมาณลิพิดมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 32.50 ± 0.86 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลองยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 และ 0.14 กรัมต่อลิตร ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.40 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลองยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 และ 0.14 กรัมต่อลิตร กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 38.03 ± 1.91 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 26.59 ± 3.22 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

4.2.1.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 54.57 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 0 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.6 A, ตารางผนวกที่ 18) และรองลงมาคือ cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid (C20:5n3) โดยมีปริมาณสูงคือ 18.29 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 ของการทดลอง และพบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.42 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 96.73 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.6 D, ตารางผนวกที่ 18)



ภาพที่ 4.5 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

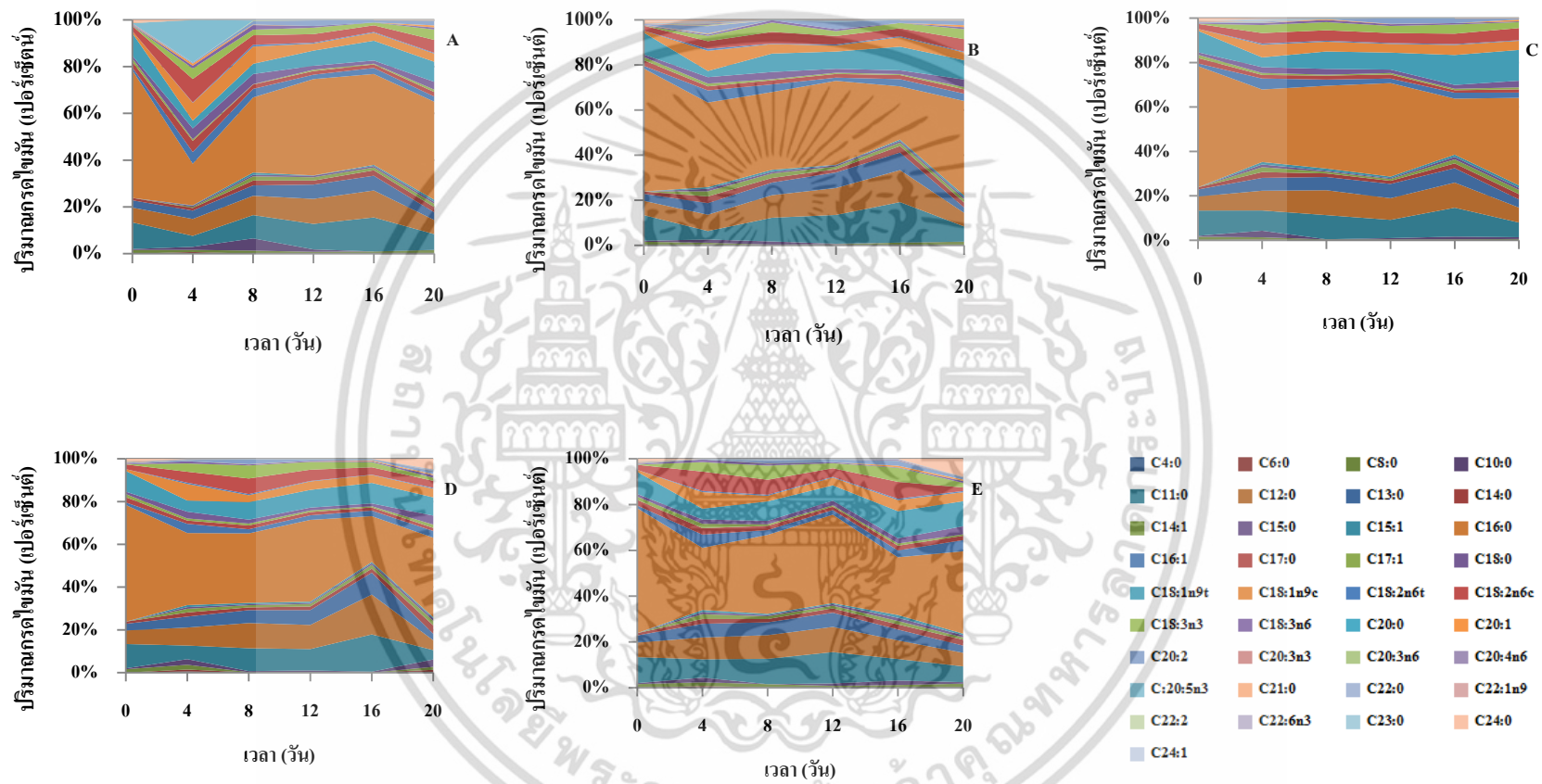
ตารางที่ 4.3 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิกพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเวลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
		0	0.14	0.28	0.42	0.56
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	0	-	-	-	-	-
	4	0.14±0.02 ^{aC}	0.14±0.02 ^{aC}	0.15±0.01 ^{abD}	0.16±0.02 ^{abD}	0.17±0.01 ^{bE}
	8	0.09±0.01 ^{aB}	0.09±0.01 ^{aB}	0.11±0.02 ^{aC}	0.11±0.02 ^{aBC}	0.11±0.01 ^{aCD}
	12	0.09±0.00 ^{aB}	0.09±0.00 ^{aB}	0.10±0.00 ^{abBC}	0.12±0.01 ^{cC}	0.11±0.01 ^{bcD}
	16	0.08±0.00 ^{aB}	0.08±0.01 ^{aB}	0.08±0.01 ^{aB}	0.09±0.00 ^{aB}	0.09±0.00 ^{aB}
	20	0.07±0.00 ^{aB}	0.08±0.00 ^{abB}	0.09±0.00 ^{bBC}	0.09±0.00 ^{bB}	0.09±0.00 ^{bBC}
ปริมาณลิกพิด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	0	31.52±0.22 ^{aC}	31.52±0.22 ^{aD}	31.52±0.22 ^{aD}	31.52±0.22 ^{aC}	31.52±0.22 ^{aD}
	4	19.40±0.83 ^{aA}	22.24±0.39 ^{bA}	21.32±0.50 ^{bA}	20.92±0.39 ^{abA}	21.84±0.15 ^{bB}
	8	20.38±0.35 ^{aAB}	24.87±0.46 ^{bB}	29.70±0.67 ^{cC}	32.39±0.46 ^{dC}	28.36±0.74 ^{cC}
	12	21.87±0.26 ^{aB}	22.25±0.48 ^{aA}	24.93±0.59 ^{bB}	24.73±0.93 ^{bB}	26.92±0.81 ^{cC}
	16	21.81±0.78 ^{cb}	21.28±0.49 ^{bcA}	24.31±0.61 ^{dB}	20.05±0.27 ^{abA}	19.64±0.14 ^{aA}
	20	21.39±0.28 ^{aB}	28.67±1.61 ^{bc}	32.50±0.86 ^{cd}	31.04±1.04 ^{bcC}	31.52±0.77 ^{bcD}
ผลผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	0	0.07±0.00 ^{aA}	0.07±0.00 ^{aA}	0.07±0.00 ^{aA}	0.07±0.00 ^{aA}	0.07±0.00 ^{aA}
	4	0.07±0.00 ^{aB}	0.08±0.00 ^{bA}	0.08±0.00 ^{bA}	0.08±0.00 ^{bA}	0.09±0.00 ^{cb}
	8	0.09±0.00 ^{aB}	0.11±0.00 ^{bB}	0.13±0.00 ^{cB}	0.15±0.00 ^{dB}	0.14±0.00 ^{dC}
	12	0.13±0.01 ^{aC}	0.14±0.00 ^{aC}	0.17±0.00 ^{bC}	0.18±0.00 ^{bC}	0.22±0.01 ^{eE}
	16	0.16±0.01 ^{aD}	0.16±0.00 ^{aC}	0.18±0.01 ^{bC}	0.15±0.00 ^{ab}	0.16±0.00 ^{aD}
	20	0.17±0.01 ^{aD}	0.28±0.02 ^{bD}	0.39±0.02 ^{cd}	0.37±0.01 ^{cd}	0.40±0.01 ^{eF}
กำลังการผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	0	-	-	-	-	-
	4	26.59±3.22 ^{aC}	30.38±3.24 ^{abD}	32.79±2.34 ^{abD}	33.00±2.05 ^{abCD}	38.03±1.91 ^{bD}
	8	17.36±0.98 ^{ab}	22.60±1.79 ^{abc}	31.81±4.56 ^{bcd}	35.10±4.18 ^{cd}	30.14±1.38 ^{bcC}
	12	18.89±0.33 ^{ab}	20.07±0.43 ^{abBC}	23.94±1.05 ^{bBC}	30.10±2.73 ^{cCD}	29.77±1.77 ^{cC}
	16	16.53±0.21 ^{ab}	17.31±0.71 ^{ab}	19.96±0.93 ^{bB}	17.18±0.29 ^{ab}	16.76±0.49 ^{ab}
	20	15.19±0.78 ^{ab}	23.00±1.26 ^{bc}	28.17±0.77 ^{cd}	26.85±0.48 ^{cC}	29.55±1.52 ^{cC}

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน (0 กรัมต่อลิตร = A, 0.14 กรัมต่อลิตร = B, 0.28 กรัมต่อลิตร = C, 0.42 กรัมต่อลิตร = D, 0.56 กรัมต่อลิตร = E)

4.2.2 ผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii*

4.2.2.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่ต่างกัน 5 ระดับ 0-0.56 กรัมต่อลิตร พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 0.58 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7 A, ตารางผนวกที่ 19) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.98 ± 0.20 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.4) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.2.2 รงควัตถุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 0.98 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7 B, ตารางผนวกที่ 20) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1.05 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7 C, ตารางผนวกที่ 21) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.2.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 227.58 ± 0.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7 D, ตารางผนวกที่ 22) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.2.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

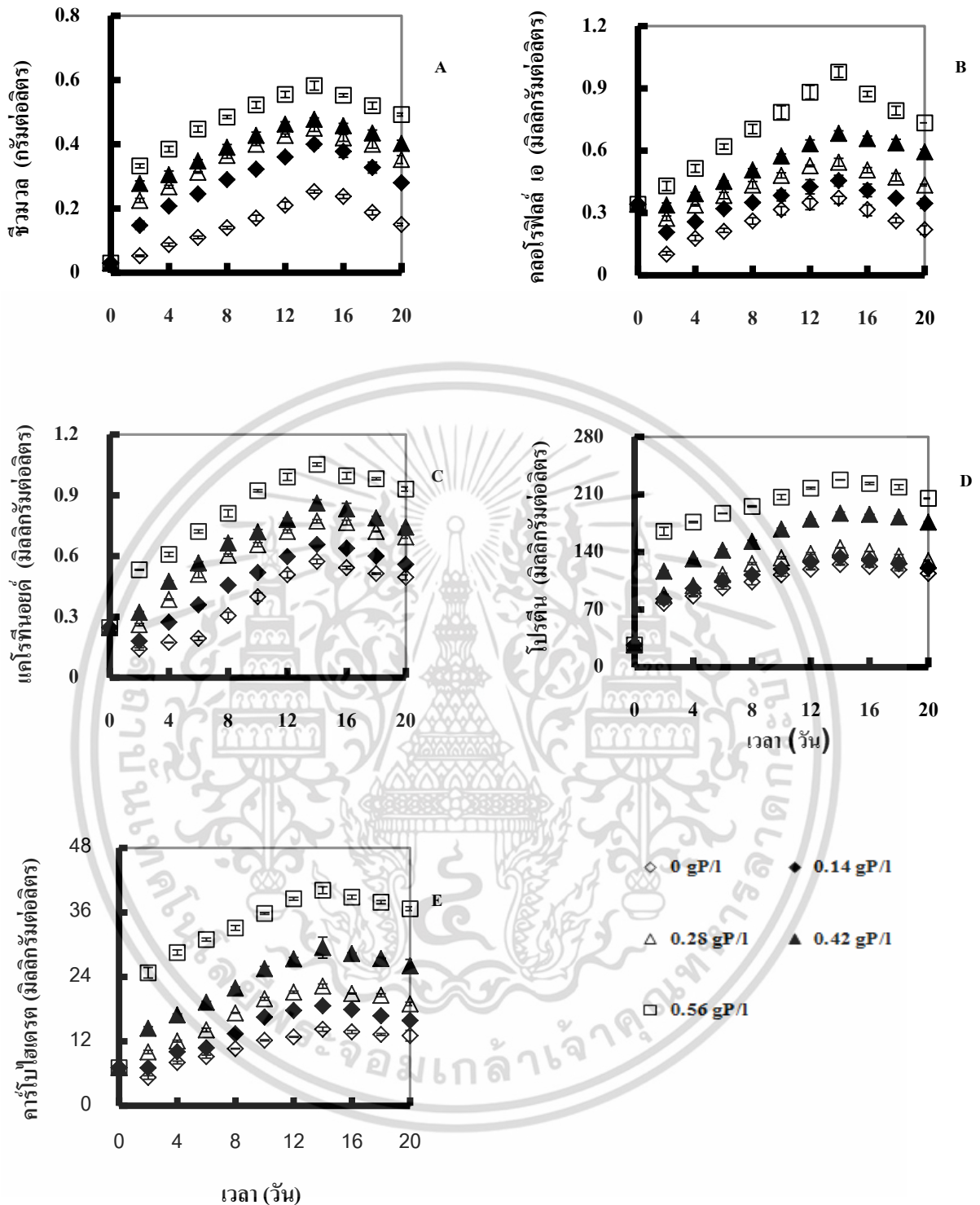
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 40.13 ± 0.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7 E, ตารางผนวกที่ 23) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

4.2.2.5 ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* ภายใต้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 45.11 ± 6.85 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.4) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่น ๆ ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.24 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.4) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 0.09 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 339.53 ± 99.13 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.4) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่น ๆ

4.2.2.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 43.60 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.8 C, ตารางผนวกที่ 24) และรองลงมาคือ Oleic Acid (C18:1n9c) โดยมีปริมาณสูงคือ 22.36 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 98.48 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.8 A, ตารางผนวกที่ 24)



ภาพที่ 4.7 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

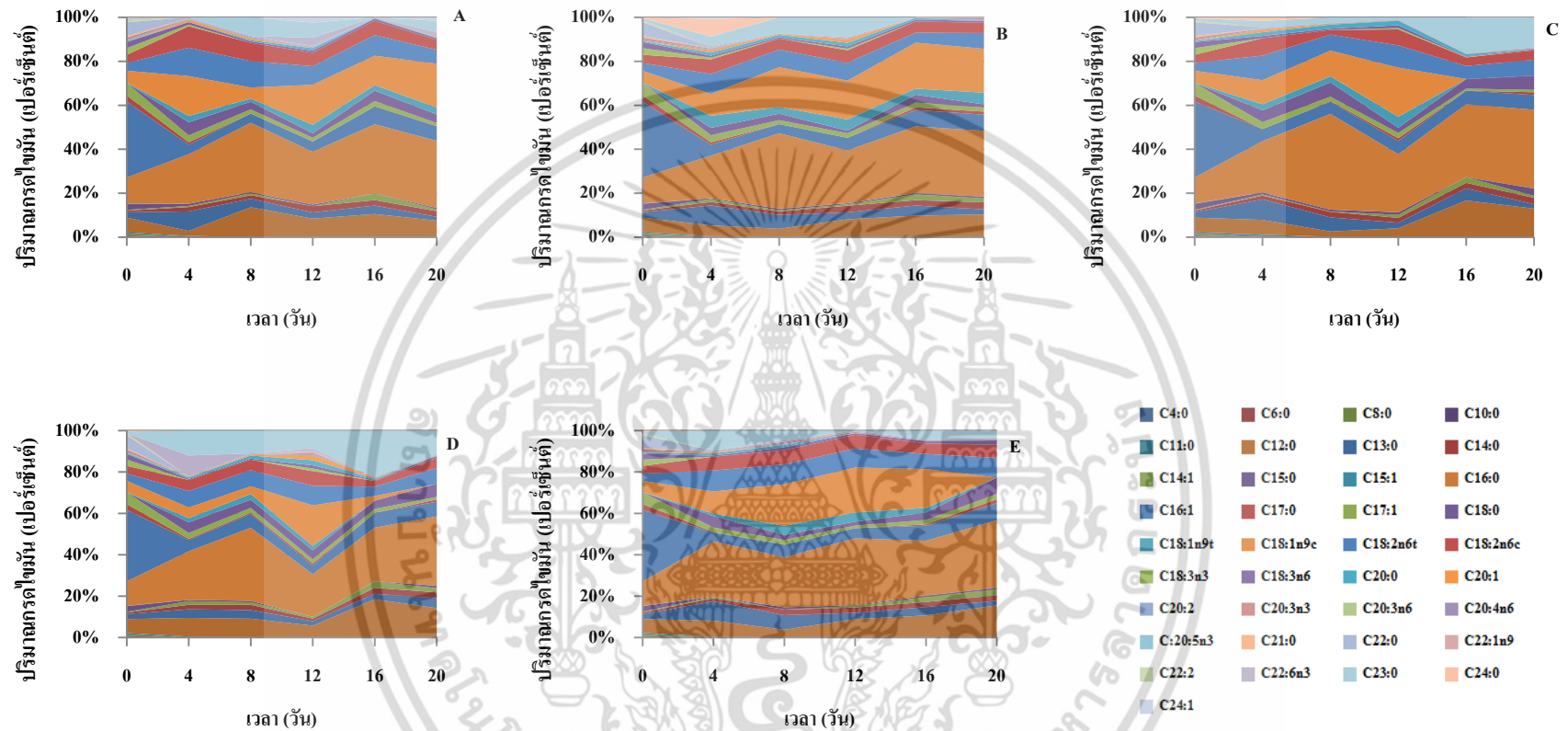
ตารางที่ 4.4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิกพิดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอโรลามีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
		0	0.14	0.28	0.42	0.56
อัตราการ	0	-	-	-	-	-
เจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	4	0.41±0.10 ^{aC}	0.75±0.16 ^{bC}	0.84±0.18 ^{cC}	0.89±0.18 ^{dC}	0.98±0.20 ^{cC}
	8	0.26±0.08 ^{aBC}	0.37±0.10 ^{bB}	0.41±0.10 ^{cB}	0.42±0.10 ^{dB}	0.46±0.12 ^{aB}
	12	0.17±0.02 ^{aAB}	0.21±0.02 ^{bAB}	0.23±0.02 ^{cAB}	0.23±0.0 ^{dAB}	0.25±0.02 ^{eAB}
	16	0.16±0.0 ^{aAB}	0.19±0.02 ^{bAB}	0.20±0.0 ^{cAB}	0.20±0.0 ^{dAB}	0.22±0.0 ^{eAB}
	20	0.16±0.0 ^{aAB}	0.19±0.02 ^{bAB}	0.20±0.0 ^{cAB}	0.20±0.0 ^{dAB}	0.22±0.0 ^{eAB}
ปริมาณลิกพิด (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	0	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aAB}	27.72±0.94 ^{aBC}	27.72±0.94 ^{aAB}
	4	32.18±1.27 ^{aA}	22.17±2.99 ^{aA}	22.96±0.90 ^{aAB}	24.60±6.02 ^{aAB}	33.28±2.97 ^{aBC}
	8	30.50±1.85 ^{aA}	43.06±27.38 ^{aA}	32.50±4.37 ^{aB}	31.20±0.98 ^{aBC}	28.41±7.89 ^{aB}
	12	44.05±24.01 ^{aA}	41.98±8.59 ^{aA}	45.11±6.85 ^{aC}	39.28±5.96 ^{aC}	44.26±3.58 ^{aC}
	16	30.86±6.59 ^{aA}	23.20±4.71 ^{aA}	26.33±3.54 ^{aAB}	22.19±4.73 ^{aB}	31.18±4.14 ^{aAB}
	20	17.26±3.05 ^{aA}	12.41±1.58 ^{aA}	15.64±2.31 ^{aA}	15.38±3.17 ^{aA}	17.46±4.54 ^{aA}
ผลผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0	0.01±0.00 ^{aA}	0.01±0.00 ^{aA}	0.01±0.00 ^{aA}	0.01±0.00 ^{aA}	0.01±0.00 ^{aA}
	4	0.03±0.00 ^{aABC}	0.05±0.01 ^{abAB}	0.06±0.00 ^{bBC}	0.07±0.02 ^{bBC}	0.13±0.01 ^{cBC}
	8	0.04±0.00 ^{bABC}	0.12±0.08 ^{aAB}	0.12±0.02 ^{aD}	0.12±0.00 ^{aC}	0.14±0.04 ^{aC}
	12	0.09±0.04 ^{aC}	0.15±0.03 ^{abB}	0.19±0.03 ^{bE}	0.18±0.02 ^{abD}	0.24±0.02 ^{bD}
	16	0.07±0.01 ^{aBC}	0.09±0.01 ^{aB}	0.11±0.02 ^{aCD}	0.10±0.02 ^{aBC}	0.17±0.02 ^{bBC}
	20	0.03±0.00 ^{aB}	0.04±0.01 ^{aA}	0.05±0.01 ^{abAB}	0.06±0.01 ^{abB}	0.09±0.02 ^{bb}
กำลังการผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อวัน)	0	-	-	-	-	-
	4	130.77±32.38 ^{aC}	178.47±57.59 ^{aC}	194.43±43.56 ^{aD}	250.89±100.55 ^{aB}	339.53±99.13 ^{aB}
	8	83.40±29.74 ^{aBC}	123.32±61.53 ^{aBC}	125.79±22.49 ^{aC}	128.48±29.10 ^{aAB}	155.79±84.88 ^{aA}
	12	64.12±28.87 ^{aABC}	91.48±21.88 ^{aABC}	105.01±22.41 ^{aBC}	90.74±12.60 ^{aA}	109.03±8.69 ^{aA}
	16	50.95±14.71 ^{aAB}	45.26±11.97 ^{aAB}	50.91±3.82 ^{aAB}	46.34±11.71 ^{aA}	67.98±11.10 ^{aA}
	20	26.17±4.12 ^{aAB}	23.69±3.45 ^{aAB}	31.76±6.62 ^{aA}	32.17±8.26 ^{aA}	39.47±12.02 ^{aA}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน (0 กรัมต่อลิตร = A, 0.14 กรัมต่อลิตร = B, 0.28 กรัมต่อลิตร = C, 0.42 กรัมต่อลิตร = D, 0.56 กรัมต่อลิตร = E)

4.3 ผลของปุ๋ยสูตรการค้าต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

4.3.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0)

4.3.1.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) โดยผันแปรความเข้มข้นของยูเรีย 5 ระดับ 0.0037 - 0.74 กรัมต่อลิตร พบว่าชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 1.08 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.9 A, ตารางผนวกที่ 25) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.20 ± 0.01 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.5) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของยูเรียเท่ากับ 0.0037 และ 0.185 กรัมต่อลิตร

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของยูเรียเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.185 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 2.40 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.9 B, ตารางผนวกที่ 26) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.54 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.9 C, ตารางผนวกที่ 27) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.185 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 259.56 ± 12.63 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.9 D, ตารางผนวกที่ 28) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองที่มีความเข้มข้นของยูเรียเท่ากับ 0.0037, 0.56 และ 0.74 กรัมต่อลิตร

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

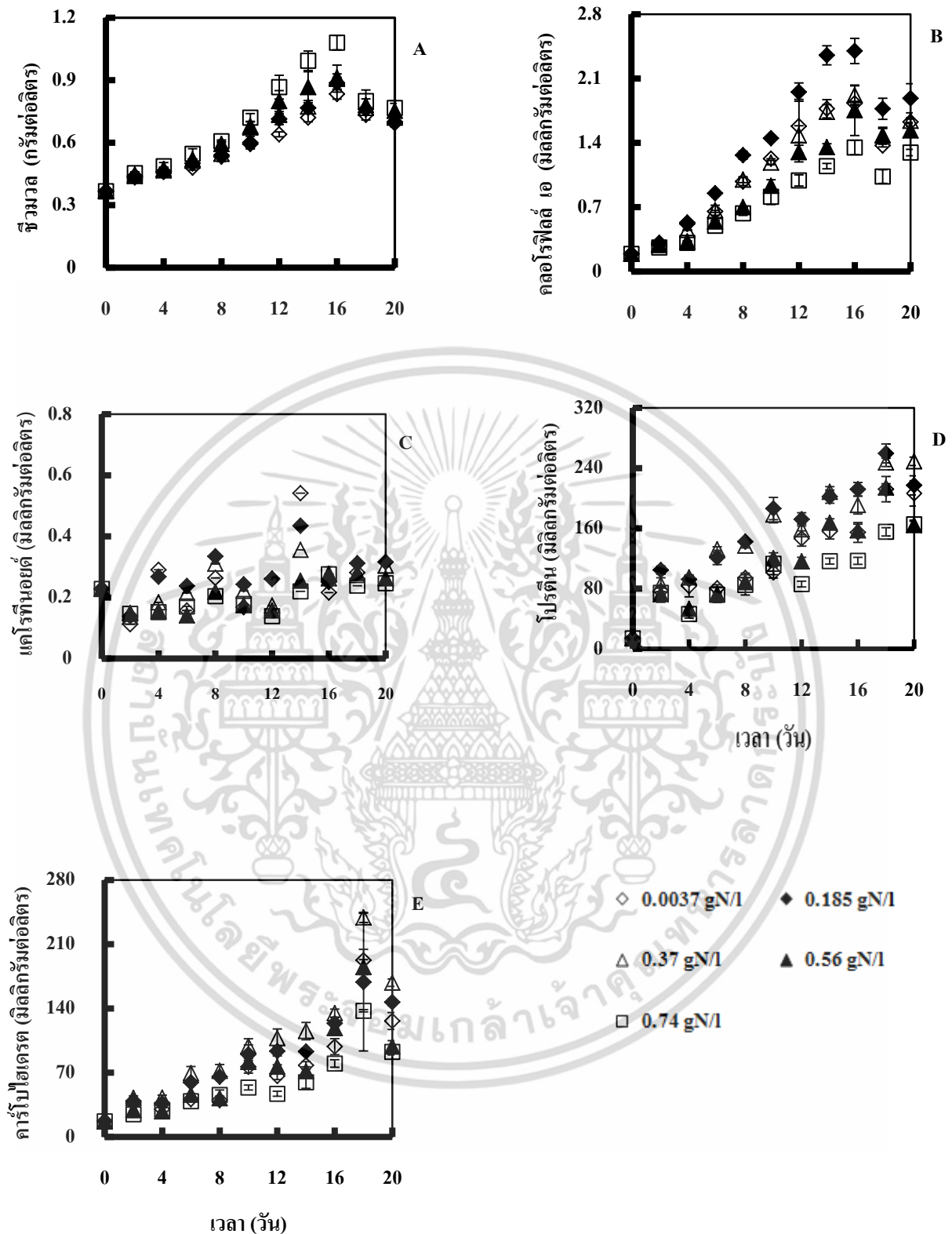
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของยูเรียเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.37 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 239.16 ± 5.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.9 E, ตารางผนวกที่ 29) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* ภายใต้อุณหภูมิที่ความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณลิพิดและผลผลิตลิพิดมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร โดยมีค่าเท่ากับ 40.80 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และ 0.42 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.5) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่สุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 40.60 ± 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.5) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลองยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นยูเรีย 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งกำลังการผลิตลิพิดเท่ากับ 33.46 ± 2.71 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 67.29 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.10 E, ตารางผนวกที่ 30) และในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร มีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Lauric Acid (C12:0) โดยมีปริมาณสูงคือ 65.98 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.10 A, ตารางผนวกที่ 30) และพบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 99.40 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ของการทดลอง



ภาพที่ 4.5 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

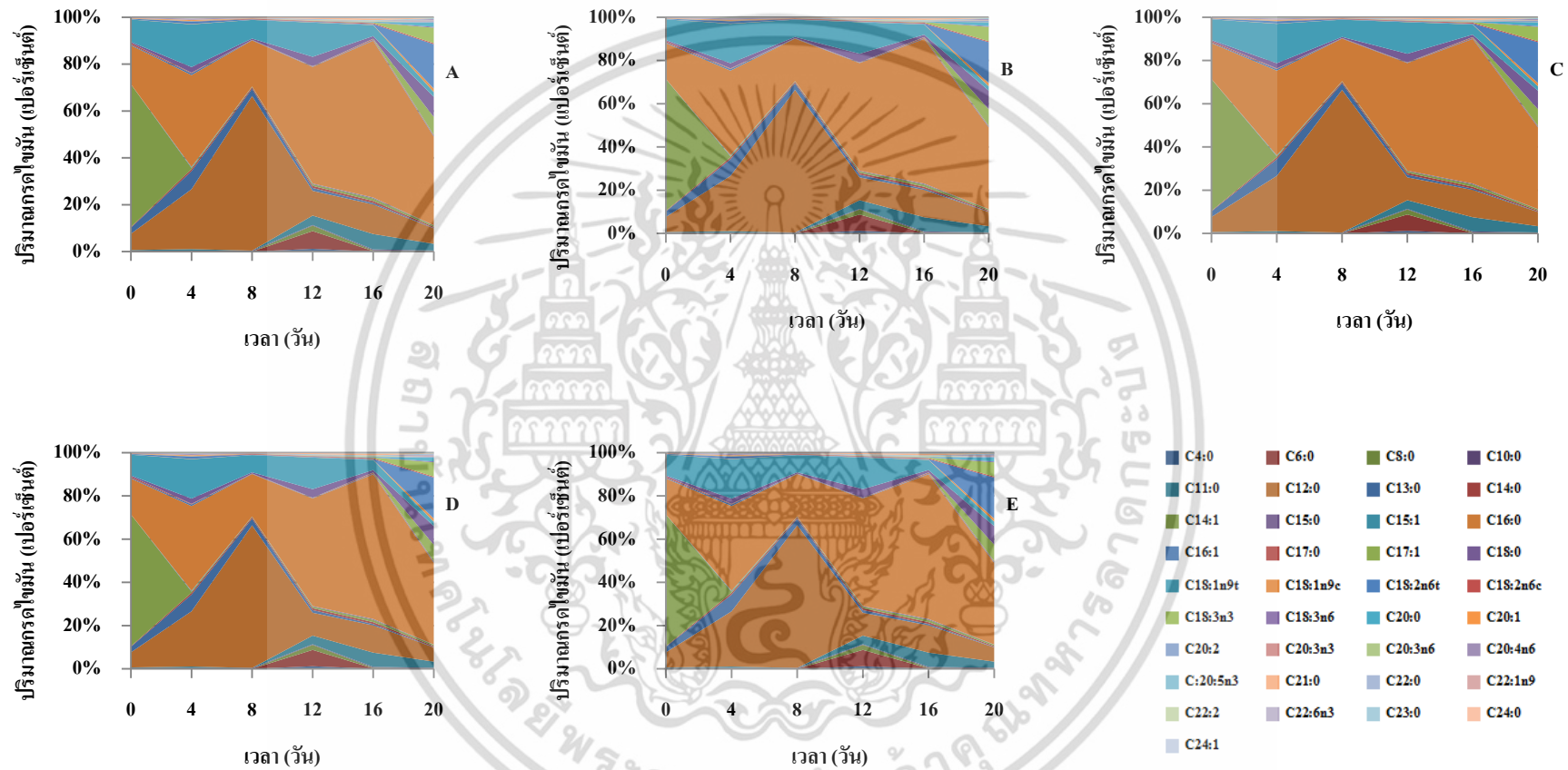
ตารางที่ 4.5 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิกนินของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
		0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
อัตราการ	0	-	-	-	-	-
เจริญเติบโตจำเพาะ	4	0.14±0.01 ^{aC}	0.14±0.01 ^{aC}	0.15±0.01 ^{abD}	0.16±0.01 ^{abD}	0.2±0.01 ^{bd}
(ต่อวัน)	8	0.09±0.01 ^{ab}	0.09±0.01 ^{ab}	0.11±0.01 ^{aC}	0.11±0.01 ^{abC}	0.11±0.01 ^{aCD}
	12	0.10±0.00 ^{ab}	0.10±0.00 ^{ab}	0.12±0.00 ^{abBC}	0.11±0.00 ^{cC}	0.08±0.00 ^{bcE}
	16	0.08±0.00 ^{ab}	0.08±0.00 ^{ab}	0.08±0.00 ^{ab}	0.09±0.00 ^{ab}	0.09±0.00 ^{ab}
	20	0.07±0.00 ^{ab}	0.1±0.00 ^{bb}	0.09±0.00 ^{bcBC}	0.09±0.00 ^{bb}	0.09±0.00 ^{bcB}
ปริมาณลิกนิน	0	31.87±0.39 ^{aE}	31.87±0.39 ^{aC}	31.87±0.39 ^{aCD}	31.87±0.39 ^{aCD}	31.87±0.39 ^{ab}
(เปอร์เซ็นต์	4	20.69±0.55 ^{aA}	19.35±0.40 ^{aA}	20.74±0.38 ^{aA}	20.88±0.69 ^{aA}	24.12±0.44 ^{ba}
น้ำหนักแห้ง)	8	23.08±0.81 ^{abB}	21.65±0.25 ^{aA}	26.84±0.89 ^{bb}	22.87±0.66 ^{abB}	22.45±1.12 ^{abA}
	12	27.96±0.84 ^{aC}	24.74±0.79 ^{ab}	31.05±1.37 ^{bcC}	29.57±0.89 ^{abC}	32.42±0.79 ^{bb}
	16	31.91±0.59 ^{aE}	33.33±1.46 ^{ad}	32.78±0.53 ^{aE}	32.98±0.98 ^{ad}	40.80±0.97 ^{bc}
	20	29.26±0.67 ^{ad}	29.12±0.72 ^{bcC}	31.82±0.27 ^{bdE}	28.95±0.39 ^{bc}	27.66±0.59 ^{bb}
ผลผลิตลิกนิน	0	0.12±0.00 ^{ab}	0.12±0.00 ^{aA}	0.12±0.00 ^{aA}	0.12±0.00 ^{aA}	0.12±0.00 ^{aA}
(มิลลิกรัมต่อลิตร)	4	0.10±0.00 ^{aA}	0.09±0.00 ^{aA}	0.10±0.00 ^{aA}	0.10±0.00 ^{aA}	0.11±0.00 ^{ba}
	8	0.13±0.00 ^{ab}	0.12±0.00 ^{aA}	0.14±0.00 ^{bb}	0.14±0.00 ^{bb}	0.14±0.01 ^{bb}
	12	0.17±0.00 ^{aC}	0.19±0.01 ^{abB}	0.21±0.01 ^{bcC}	0.24±0.01 ^{cdC}	0.26±0.02 ^{dd}
	16	0.27±0.00 ^{aE}	0.31±0.02 ^{aC}	0.30±0.00 ^{ad}	0.29±0.02 ^{ad}	0.42±0.01 ^{be}
	20	0.19±0.01 ^{ad}	0.21±0.01 ^{bb}	0.23±0.00 ^{bcC}	0.22±0.01 ^{bcC}	0.22±0.01 ^{bcC}
กำลังการผลิตลิกนิน	0	-	-	-	-	-
(มิลลิกรัมต่อลิตร	4	29.35±3.04 ^{aC}	27.16±2.39 ^{aC}	32.69±2.04 ^{ab}	33.46±2.71 ^{abCD}	40.60±1.33 ^{bd}
ต่อวัน)	8	20.17±1.54 ^{ab}	19.79±1.52 ^{ab}	27.48±3.71 ^{ab}	26.13±2.56 ^{ab}	25.23±2.69 ^{ab}
	12	23.43±0.67 ^{ab}	24.38±1.25 ^{abC}	27.64±2.05 ^{abB}	36.28±3.67 ^{cd}	33.65±1.45 ^c
	16	24.80±1.12 ^{ab}	28.73±2.39 ^{abC}	27.03±1.19 ^{ab}	27.54±0.60 ^{abC}	32.82±0.91 ^{bc}
	20	20.90±0.70 ^{ab}	24.41±1.08 ^{bbC}	27.45±0.16 ^{bb}	24.77±0.90 ^{bb}	27.31±1.40 ^{bb}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 เปอร์เซนต์กรดไนโตรเจนที่พบในสาหร่ายสีเขียว *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน (0.0037 กรัมต่อลิตร = A, 0.185 กรัมต่อลิตร = B, 0.37 กรัมต่อลิตร = C, 0.56 กรัมต่อลิตร = D, 0.74 กรัมต่อลิตร = E)

4.3.1.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) โดยผันแปรความเข้มข้นของยูเรีย 5 ระดับ 0.0037 - 0.74 กรัมต่อลิตร พบว่าชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีชีวมวลเท่ากับ 1.52 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.11 A, ตารางผนวกที่ 31) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.31 ± 0.04 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) โดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองอื่นๆ

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของยูเรียเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 2.31 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.11 B, ตารางผนวกที่ 32) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.56 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.11 C, ตารางผนวกที่ 33) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 229.77 ± 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.11 D, ตารางผนวกที่ 34) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

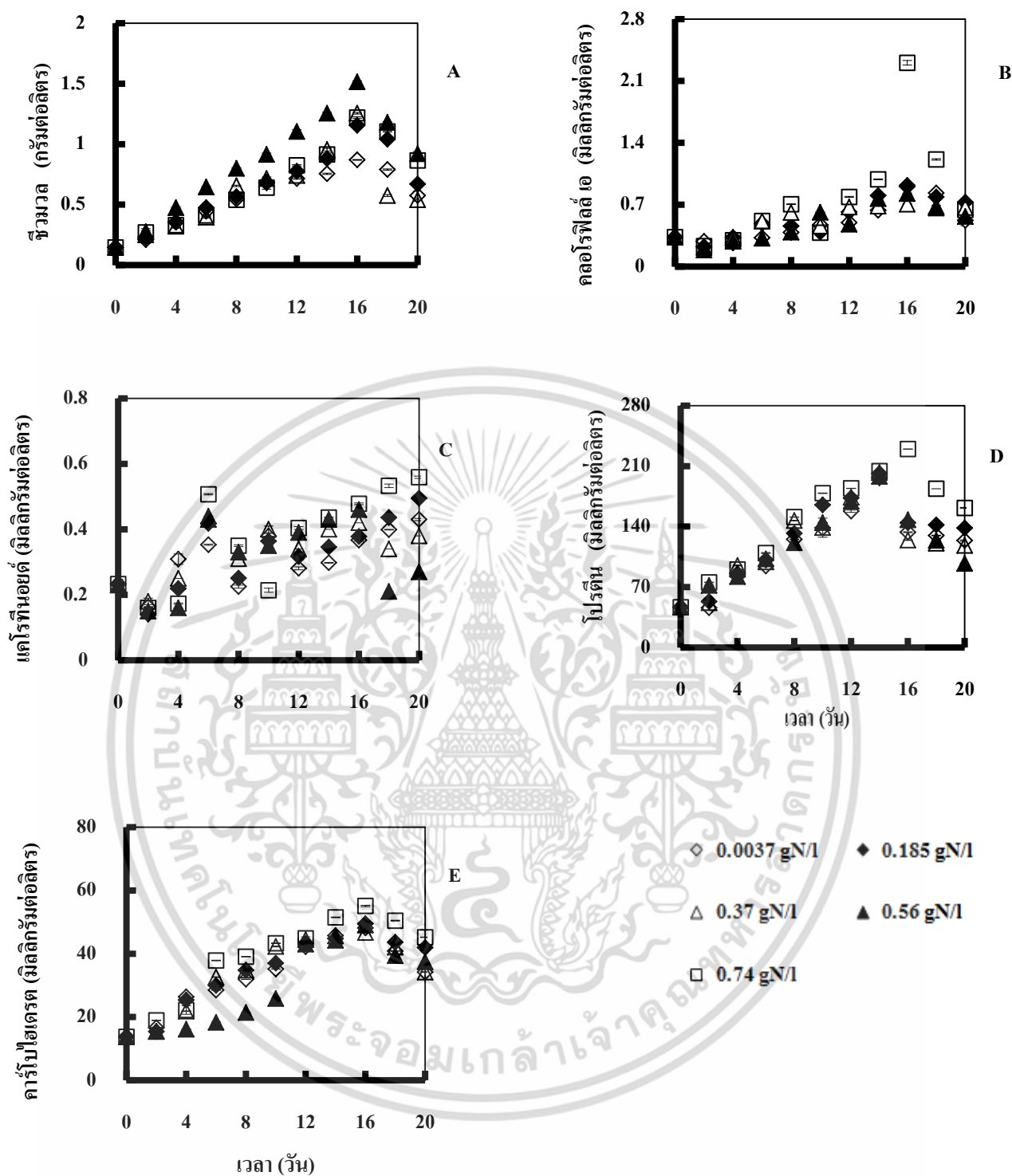
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของยูเรียเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 55.10 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.11 E, ตารางผนวกที่ 35) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* ภายใต้ความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกันพบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 41.07 ± 0.95 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลองยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38.74 ± 0.09 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.56 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.63 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่ความเข้มข้นยูเรีย 0.56 กรัมต่อลิตร เท่ากับ 104.28 ± 16.15 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.6) โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 37.34 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.12 C, ตารางผนวกที่ 36) และในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.185 กรัมต่อลิตร มีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Cis - 13, 16 - Docosadienoic Acid (C22:2) โดยมีปริมาณสูงคือ 22.32 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.10 B, ตารางผนวกที่ 30) และ พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้นยูเรีย 0.0037 กรัมต่อลิตร มีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 96.06 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.12 C, ตารางผนวกที่ 36)



ภาพที่ 4.11 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และคาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

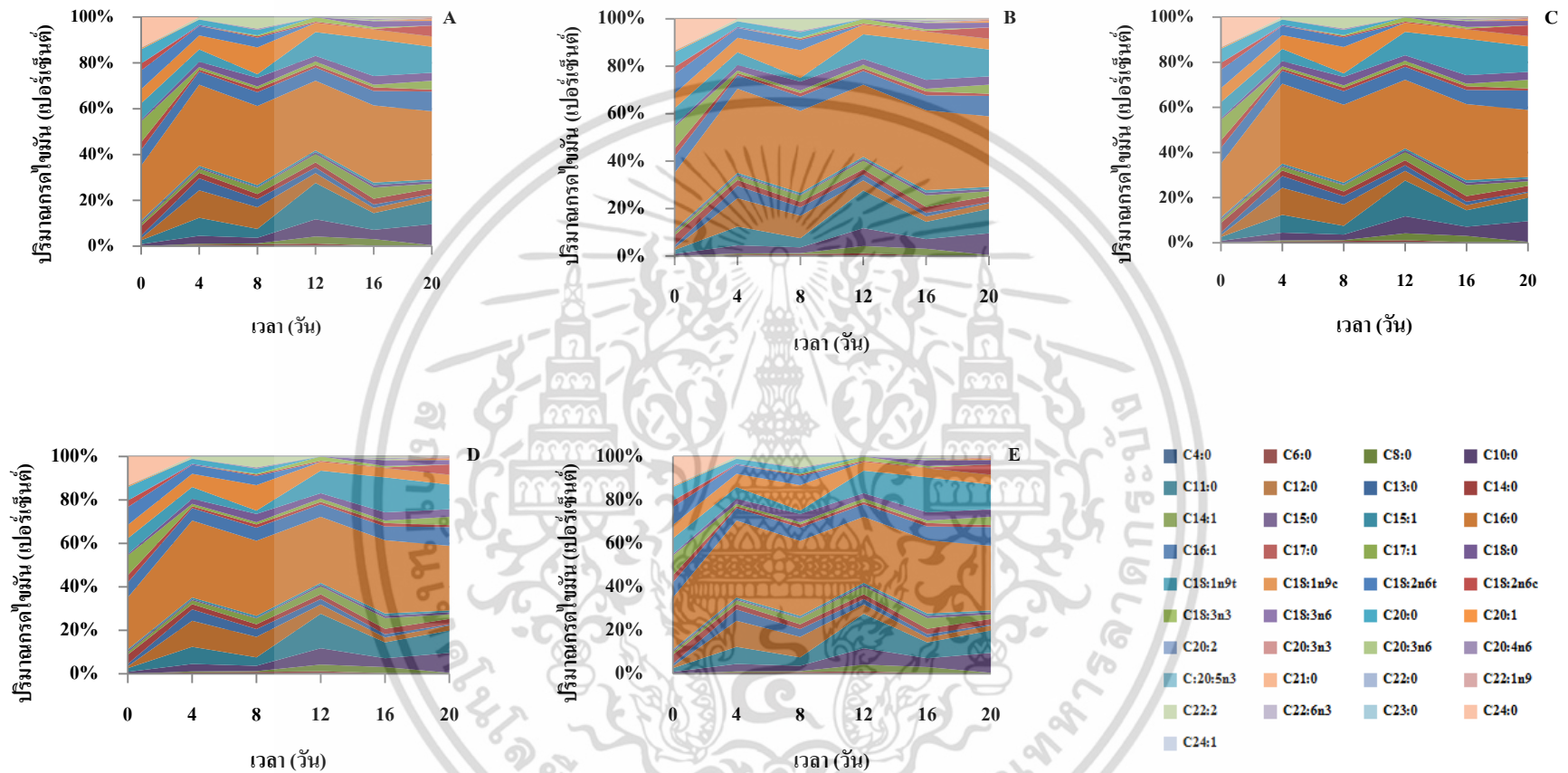
ตารางที่ 4.6 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและปริมาณลิกพิดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน

	เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
		0.037	0.185	0.37	0.56	0.74
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	0	-	-	-	-	-
	4	0.24±0.04 ^{aC}	0.30±0.08 ^{aC}	0.21±0.05 ^{aB}	0.31±0.04 ^{aC}	0.21±0.05 ^{aC}
	8	0.17±0.02 ^{aBC}	0.19±0.04 ^{aBC}	0.19±0.02 ^{aB}	0.22±0.02 ^{aB}	0.17±0.02 ^{aBC}
	12	0.15±0.02 ^{aB}	0.15±0.02 ^{aB}	0.15±0.02 ^{aB}	0.17±0.01 ^{aB}	0.15±0.01 ^{aBC}
	16	0.11±0.01 ^{aB}	0.13±0.01 ^{aB}	0.14±0.01 ^{aB}	0.15±0.01 ^{aB}	0.14±0.01 ^{aB}
	20	0.11±0.01 ^{aB}	0.13±0.01 ^{aB}	0.14±0.01 ^{aB}	0.15±0.01 ^{aB}	0.14±0.01 ^{aB}
ปริมาณลิกพิด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	0	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}
	4	29.08±0.82 ^{aA}	31.18±0.76 ^{abB}	32.53±1.11 ^{bcB}	33.87±0.69 ^{cbB}	34.04±0.43 ^{cbB}
	8	36.57±0.54 ^{aB}	36.83±0.68 ^{aC}	37.10±0.69 ^{aC}	37.23±0.43 ^{aC}	37.50±0.51 ^{aC}
	12	37.90±1.02 ^{aB}	38.16±0.26 ^{aC}	38.95±0.86 ^{aCD}	39.21±0.90 ^{aCD}	39.58±0.00 ^{aD}
	16	38.83±0.69 ^{aBC}	40.79±0.26 ^{abD}	40.89±0.50 ^{abD}	41.41±0.66 ^{bdD}	41.67±0.95 ^{bdE}
	20	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}	27.72±0.94 ^{aA}
ผลผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	0	0.04±0.04 ^{aA}	0.04±0.01 ^{aA}	0.04±0.01 ^{aA}	0.04±0.01 ^{aA}	0.04±0.01 ^{aA}
	4	0.10±0.00 ^{aB}	0.11±0.01 ^{abB}	0.10±0.00 ^{aB}	0.16±0.01 ^{bbB}	0.11±0.01 ^{abB}
	8	0.20±0.00 ^{aC}	0.21±0.00 ^{aC}	0.24±0.01 ^{bcC}	0.3±0.00 ^{ccC}	0.20±0.00 ^{aC}
	12	0.27±0.00 ^{adD}	0.30±0.00 ^{bdD}	0.29±0.01 ^{bdD}	0.43±0.01 ^{ddD}	0.33±0.00 ^{cdD}
	16	0.34±0.01 ^{aeE}	0.47±0.00 ^{beE}	0.51±0.01 ^{ceE}	0.63±0.01 ^{deE}	0.51±0.01 ^{efE}
	20	0.24±0.04 ^{acdD}	0.29±0.01 ^{adD}	0.24±0.01 ^{acC}	0.42±0.02 ^{bdD}	0.41±0.01 ^{beE}
กำลังการผลิตลิกพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	0	-	-	-	-	-
	4	68.10±12.28 ^{aB}	91.07±23.36 ^{abB}	66.59±12.68 ^{abB}	104.28±16.15 ^{acC}	73.07±15.95 ^{abB}
	8	62.28±8.34 ^{aB}	71.10±12.67 ^{abB}	72.18±8.71 ^{abB}	81.76±8.52 ^{abC}	63.55±8.47 ^{aB}
	12	58.70±9.06 ^{abB}	57.86±7.65 ^{abB}	57.27±6.91 ^{abB}	68.07±6.16 ^{abB}	58.82±5.76 ^{abB}
	16	44.56±4.15 ^{abB}	54.04±4.31 ^{abB}	56.17±4.02 ^{abB}	61.75±4.00 ^{abB}	56.61±4.44 ^{abB}
	20	47.14±3.92 ^{abB}	57.07±4.72 ^{abB}	61.18±5.08 ^{abB}	68.48±5.50 ^{abB}	64.06±5.45 ^{abB}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* ที่เลี้ยงภายใต้ปุ๋ยสูตรการค้ำ (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นยูเรียที่แตกต่างกัน (0.0037 กรัมต่อลิตร = A, 0.185 กรัมต่อลิตร = B, 0.37 กรัมต่อลิตร = C, 0.56 กรัมต่อลิตร = D, 0.74 กรัมต่อลิตร = E)

4.3.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

4.3.2.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า ของปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น 0.17: 0.28 : 0.83 พบว่าชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.65 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.13 A, ตารางผนวกที่ 37) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.25 ± 0.01 ต่อวัน ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 1.22 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.13 B, ตารางผนวกที่ 37) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.69 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.13 C, ตารางผนวกที่ 37) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 193.86 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อ ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.13 D, ตารางผนวกที่ 37) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

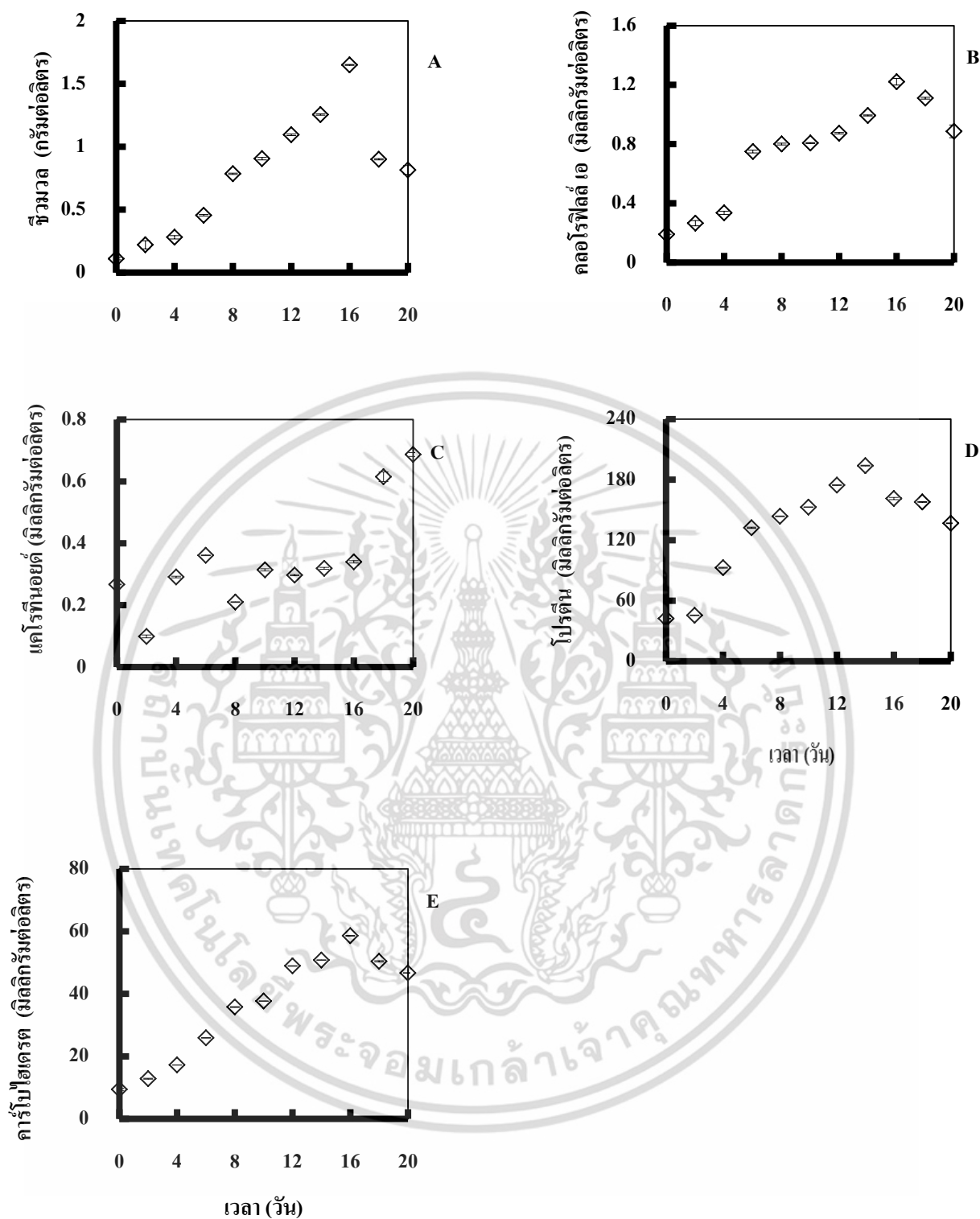
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 58.68 ± 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.13 E, ตารางผนวกที่ 37) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงเท่ากับ 29.79 ± 2.42 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 12 และ 16 ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.31 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงที่เท่ากับ 64.03 ± 3.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 8 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 4 และ 12

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 40.35 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.14 ตารางผนวกที่ 38) และมีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Undecanoic Acid (C11:0) โดยมีปริมาณสูงคือ 18.61 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 93.36 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 ของการทดลอง



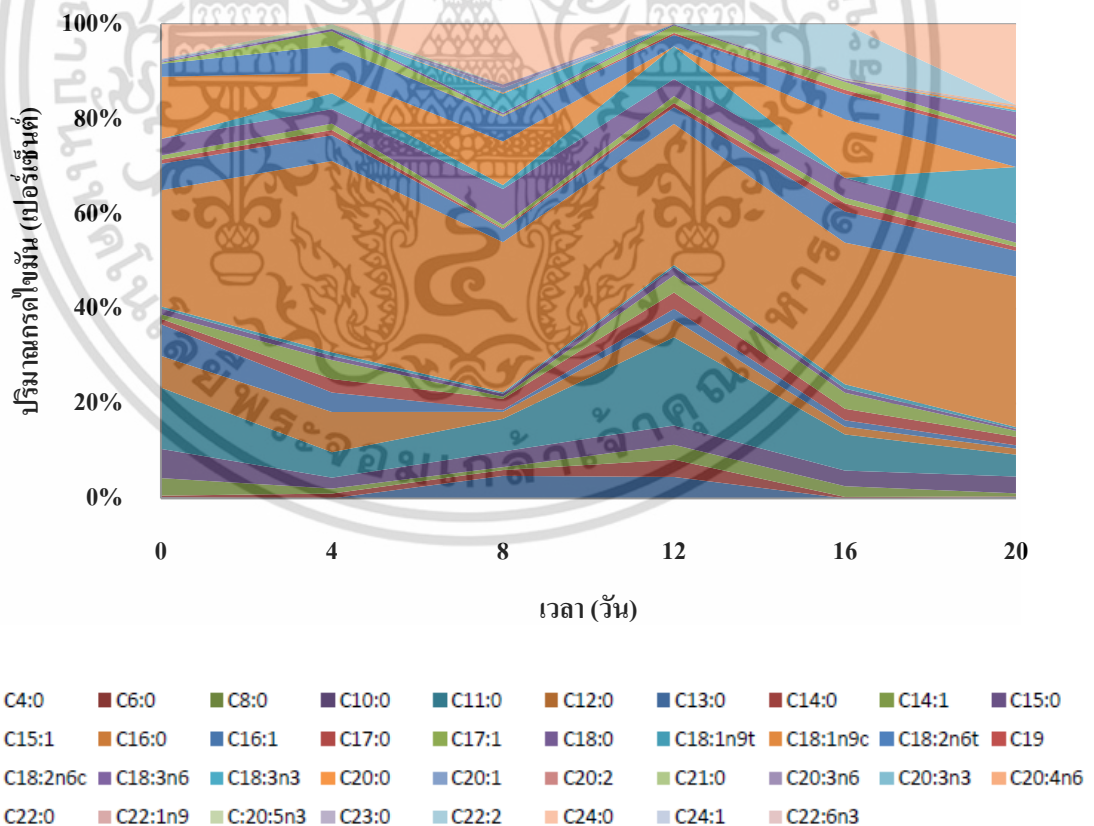
ภาพที่ 4.13 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิวพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

เวลา (วัน)	อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (ต่อวัน)	ปริมาณลิวพิด		
		(เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	ผลผลิตลิวพิด (กรัมต่อลิตร)	กำลังผลผลิตลิวพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
0	-	22.37±0.26 ^a	0.02±0.00 ^a	-
4	0.24±0.02 ^{bc}	22.61±1.01 ^a	0.06±0.00 ^b	53.46±4.03 ^{ab}
8	0.25±0.01 ^c	25.80±0.51 ^{ab}	0.20±0.01 ^c	64.03±3.32 ^b
12	0.21±0.00 ^b	26.60±0.75 ^{bc}	0.29±0.01 ^e	56.06±1.55 ^{ab}
16	0.17±0.01 ^a	28.46±1.18 ^{bc}	0.31±0.01 ^e	48.72±3.86 ^a
20	0.17±0.01 ^a	29.79±2.42 ^c	0.24±0.02 ^d	51.32±6.34 ^a

สัญลักษณ์ภายในอังกฤษพินที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 4.14 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า

(N: P: K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.96 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.15 A, ตารางผนวกที่ 39) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงเท่ากับ 0.28 ± 0.04 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.8) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 8 ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.23 ± 0.02 ลิตรต่อวัน

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 1.10 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.15 B, ตารางผนวกที่ 39) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการทดลอง และมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณ แคโรทีนอยด์ สูงเท่ากับ 0.45 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 และ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.15 C, ตารางผนวกที่ 39) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 18 ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เท่ากับ 0.42 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 192.67 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.15 D, ตารางผนวกที่ 39) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

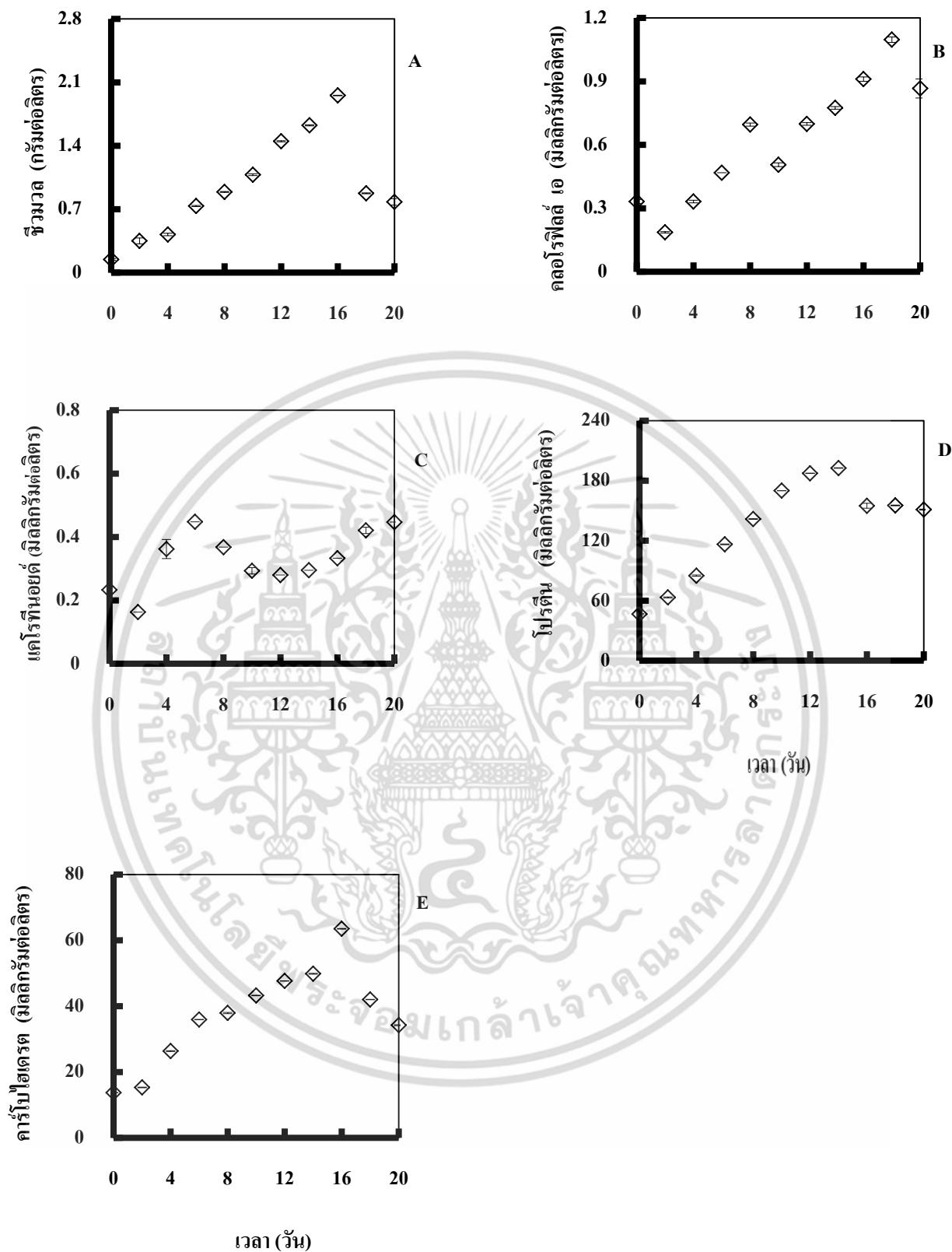
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 63.52 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง (ภาพที่ 4.15 E, ตารางผนวกที่ 39)

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 39.32 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.8) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.74 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.8) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงเท่ากับ 84.68 ± 12.71 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.8) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* พบว่าในอาหารที่มีความเข้มข้น มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 42.13 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.16, ตารางผนวกที่ 40) และรองลงมาคือ Elaidic Acid (C18:1n9t) โดยมีปริมาณสูงคือ 17.18 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 16 ของการทดลอง และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 92.71 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง



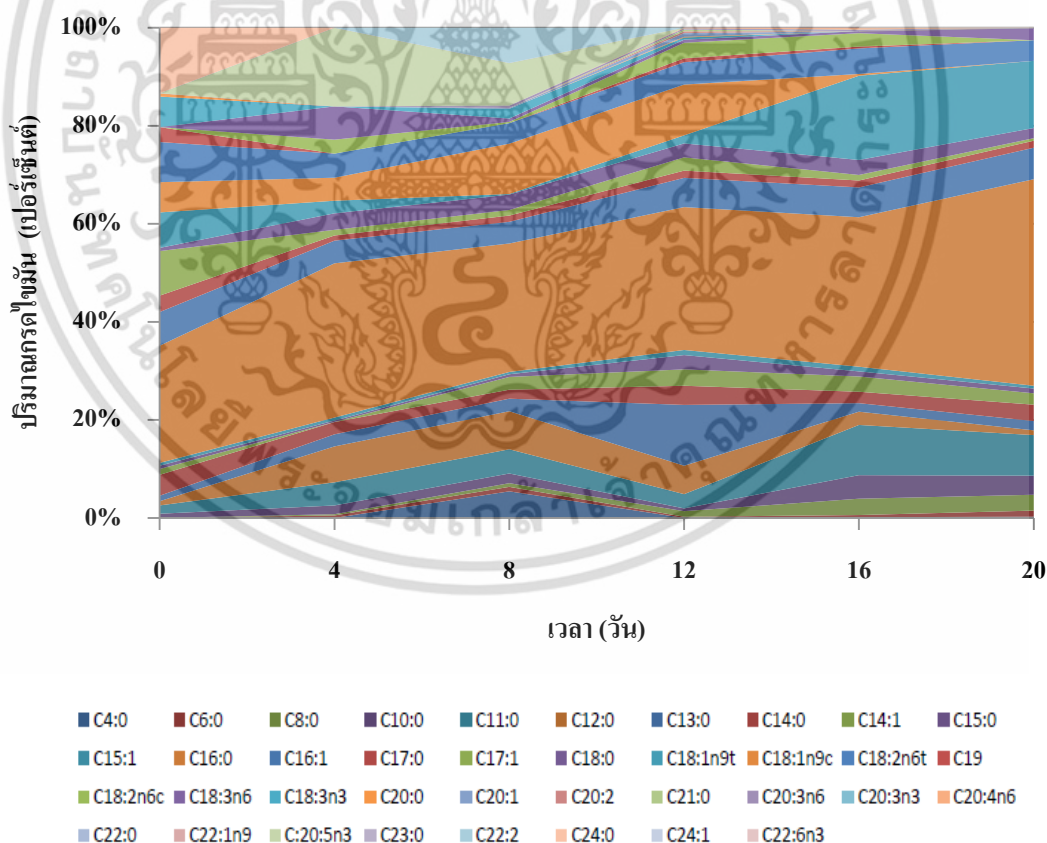
ภาพที่ 4.15 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคลโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N:P:K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิพิดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

เวลา (วัน)	อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (ลิตรต่อวัน)	ปริมาณลิพิด		
		(เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	ผลผลิตลิพิด (กรัมต่อลิตร)	กำลังผลิตลิพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
0	-	27.72±0.94 ^a	0.04±0.01 ^a	-
4	0.28±0.04 ^c	30.41±0.67 ^b	0.13±0.00 ^b	84.68±12.71 ^a
8	0.23±0.02 ^{bc}	33.25±0.49 ^c	0.30±0.01 ^c	77.38±7.12 ^a
12	0.20±0.01 ^{ab}	36.34±0.77 ^d	0.53±0.01 ^d	70.96±4.99 ^a
16	0.17±0.01 ^a	37.89±0.88 ^{de}	0.74±0.03 ^e	62.73±4.66 ^a
20	0.17±0.01 ^a	39.32±0.26 ^c	0.31±0.01 ^c	65.03±4.10 ^a

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 4.16 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส

4.3.3.1 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า ของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.59 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.17 A, ตารางผนวกที่ 41) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.34 ± 0.03 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.9) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 1.06 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.17 B, ตารางผนวกที่ 41) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.51 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.17 C, ตารางผนวกที่ 41) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 184.69 ± 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 14 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.17 D, ตารางผนวกที่ 41) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

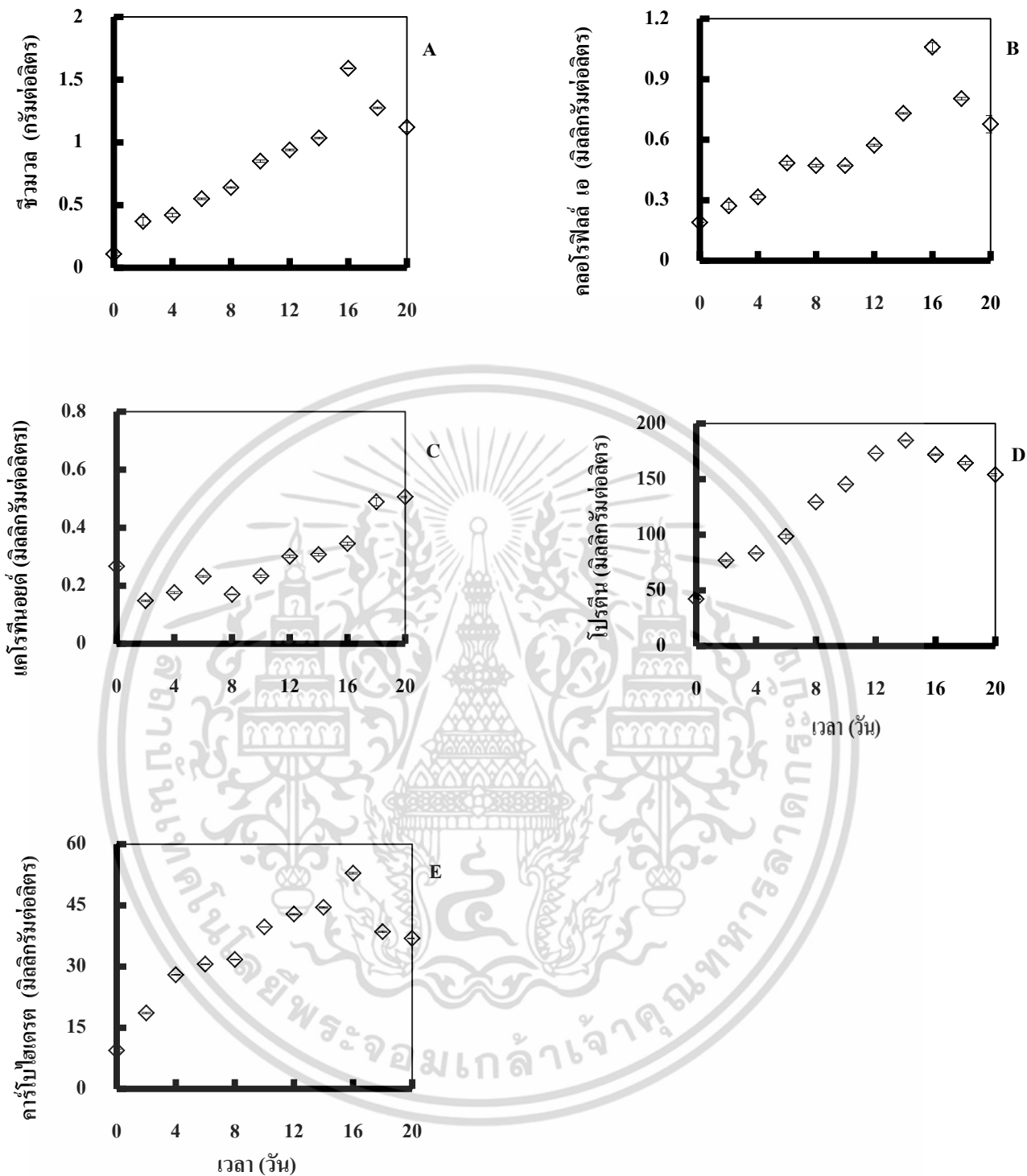
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 52.90 ± 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.17 E, ตารางผนวกที่ 41) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงเท่ากับ 28.39 ± 0.99 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.9) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 16 ของการทดลอง ซึ่งมีปริมาณลิพิดเท่ากับ 27.86 ± 1.07 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.44 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.9) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดที่เท่ากับ 78.67 ± 6.92 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.9) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 40.36 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.18, ตารางผนวกที่ 42) และมีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Elaidic Acid (C18:1n9) โดยมีปริมาณสูงคือ 17.62 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 95.03 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง



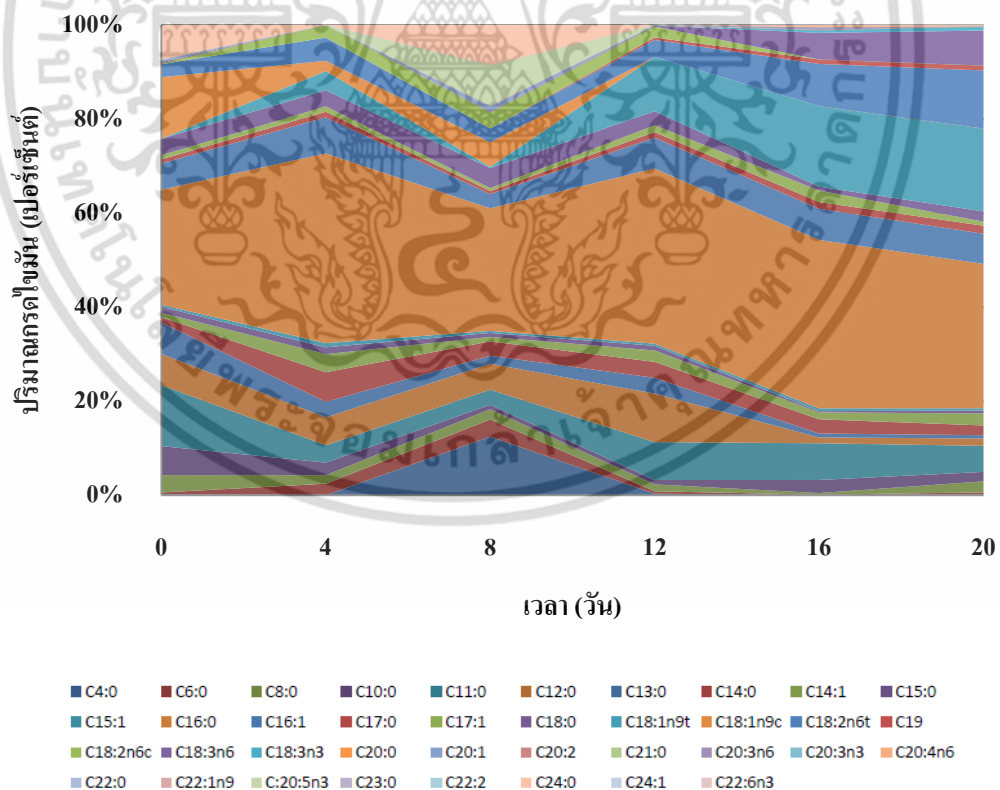
ภาพที่ 4.17 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิวตินของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตร การค้าขายเรีย: ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)

เวลา (วัน)	อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (ต่อวัน)	ปริมาณลิวติน		
		(เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง)	ผลผลิตลิวติน (กรัมต่อลิตร)	กำลังผลิตลิวติน (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
0	-	22.37±0.26 ^a	0.02±0.00 ^a	-
4	0.34±0.03 ^c	23.18±0.26 ^{ab}	0.10±0.00 ^b	78.67±6.92 ^b
8	0.22±0.02 ^b	24.48±0.30 ^{ab}	0.16±0.00 ^c	54.56±4.05 ^a
12	0.18±0.01 ^{ab}	25.26±0.89 ^b	0.24±0.01 ^d	45.38±1.61 ^a
16	0.17±0.01 ^a	27.86±1.07 ^c	0.44±0.01 ^f	47.08±3.59 ^a
20	0.17±0.01 ^a	28.39±0.99 ^c	0.32±0.01 ^e	47.59±0.89 ^a

สัญลักษณ์ภายในวงกลมที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 4.18 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *S. Dimorphus* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้าขายเรีย: ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 ผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii*

(1) การเจริญเติบโต

(1.1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงในอาหารสูตรการค้าของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 0.76 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.19 A, ตารางผนวกที่ 43) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(1.2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 ± 0.00 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.10) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2) รงควัตถุ

(2.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 1.64 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.19 B, ตารางผนวกที่ 43) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(2.2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 ของการทดลอง และมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีปริมาณ แคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.58 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.19 C, ตารางผนวกที่ 43) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(3) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 454.77 ± 1.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.19 D, ตารางผนวกที่ 43) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(4) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

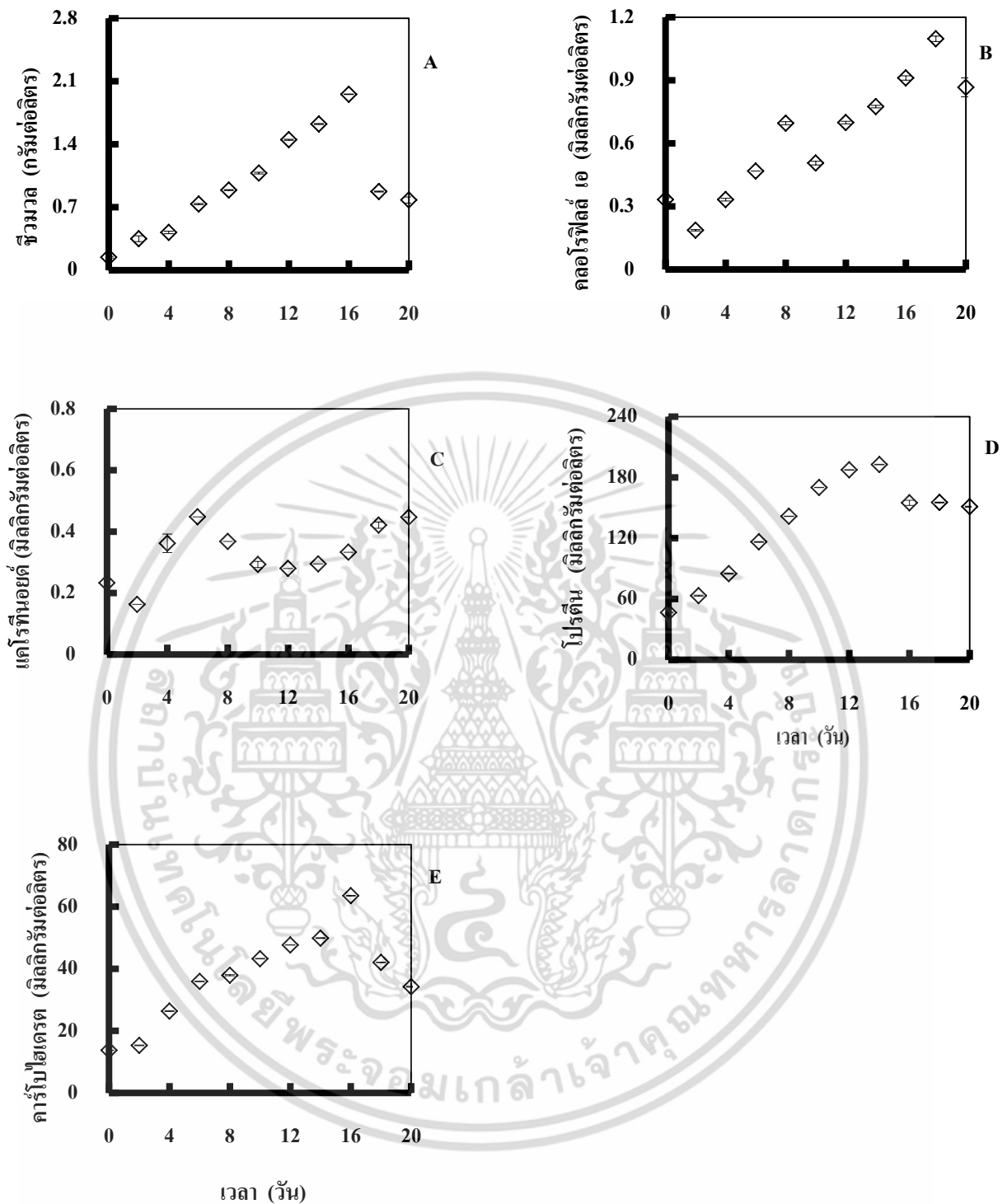
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้น พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 73.18 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.19 E, ตารางผนวกที่ 43) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(5) ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูงเท่ากับ 33.82 ± 0.29 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 20 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.10) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 16 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.23 ± 1.34 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ผลผลิตลิพิดมีค่าสูงเท่ากับ 0.23 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.10) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลองยกเว้นวันที่ 20 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.22 ± 0.00 กรัมต่อลิตร กำลังการผลิตลิพิดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.49 ± 1.47 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกวันของการทดลอง

(6) ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 32.97 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 4 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.20, ตารางผนวกที่ 44) และรองลงมาคือ Stearic Acid (C18:0) โดยมีปริมาณสูงคือ 17.62 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 20 ของการทดลอง และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 87.37 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 0 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.20 C, ตารางผนวกที่ 12)



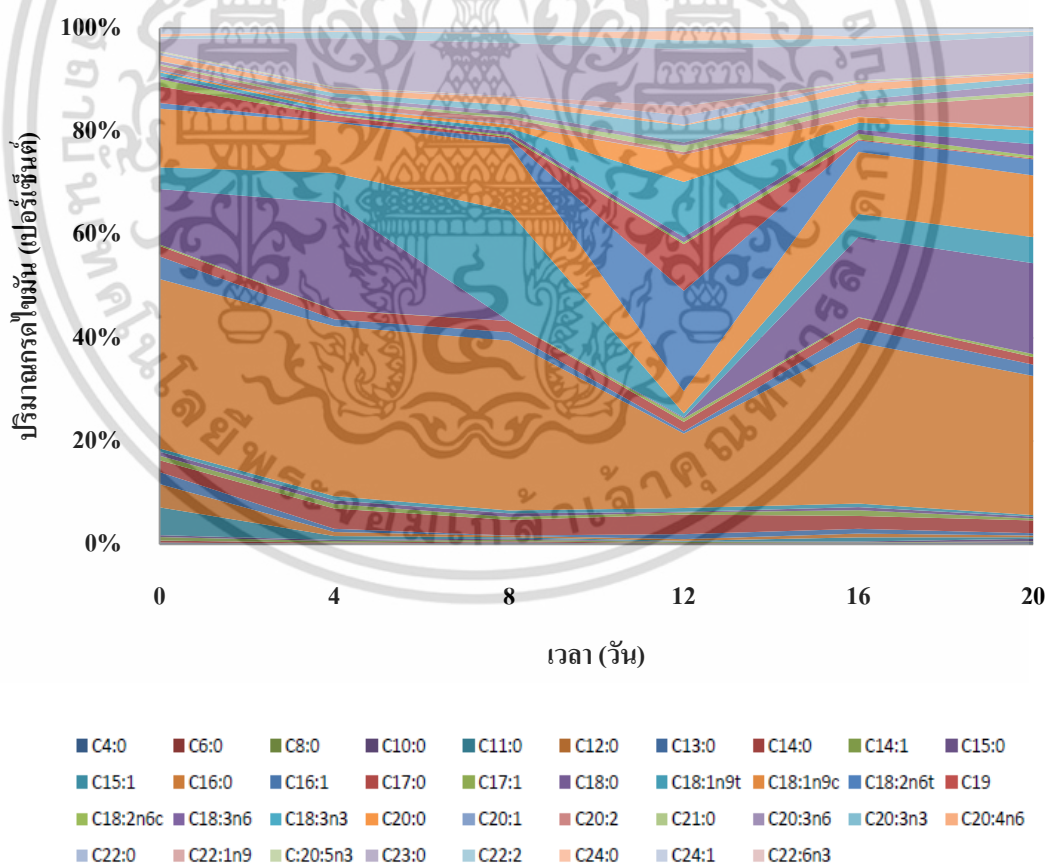
ภาพที่ 4.19 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิวปีดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตร การค้ายูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)

เวลา (วัน)	อัตราการเจริญเติบโต จำเพาะ (ต่อวัน)	ปริมาณลิวปีด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	ผลผลิตลิวปีด (กรัมต่อลิตร)	กำลังผลผลิตลิวปีด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)
0	-	20.98±0.55 ^a	0.03±0.00 ^a	-
4	0.16±0.00 ^b	25.85±0.85 ^b	0.07±0.00 ^b	41.49±1.47 ^b
8	0.13±0.01 ^c	28.09±1.12 ^{bc}	0.12±0.01 ^c	35.93±3.11 ^a
12	0.11±0.00 ^b	29.07±0.67 ^c	0.16±0.01 ^d	30.87±1.54 ^a
16	0.10±0.00 ^{ab}	32.23±1.34 ^d	0.23±0.01 ^e	31.86±2.11 ^a
20	0.09±0.00 ^a	33.82±0.29 ^d	0.22±0.00 ^e	30.52±0.73 ^a

ตัวอักษรพิมพ์เล็กในแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 4.20 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่ายสีเขียว *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดที่เพาะเลี้ยงในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* นอกห้องปฏิบัติการ

4.4.1 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย *S. dimorphus*

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้พบว่า สูตรอาหารที่ดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ของการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือสูตรอาหารยูเรีย (46-0-0) 0.74 กรัมต่อลิตร เนื่องจากมีค่าผลผลิตลิวคินสูงสุด เท่ากับ 0.42 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงนำมาศึกษาต่อ โดยการเลี้ยงในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

4.4.1.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น พบว่ามีชีวมวลสูงสุด เท่ากับ 0.79 ± 0.01 และ 0.76 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.21 A, ตารางผนวกที่ 45) ตามลำดับ โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลา และปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.24 ± 0.01 และ 0.14 ± 0.01 ต่อวัน ในวันที่ 4 และ 8 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย

4.4.1.2 รงกวัตุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 0.66 ± 0.051 และ 0.99 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21 B, ตารางผนวกที่ 45) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าสูตรอาหารยูเรีย

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า ยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 1.78 ± 0.03 และ 0.43 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.21 C, ตารางผนวกที่ 45) ตามลำดับโดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 387.25 ± 6.79 และ 431.17 ± 0.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21 D, ตารางผนวกที่ 45) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าสูตรอาหารยูเรีย

4.4.1.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

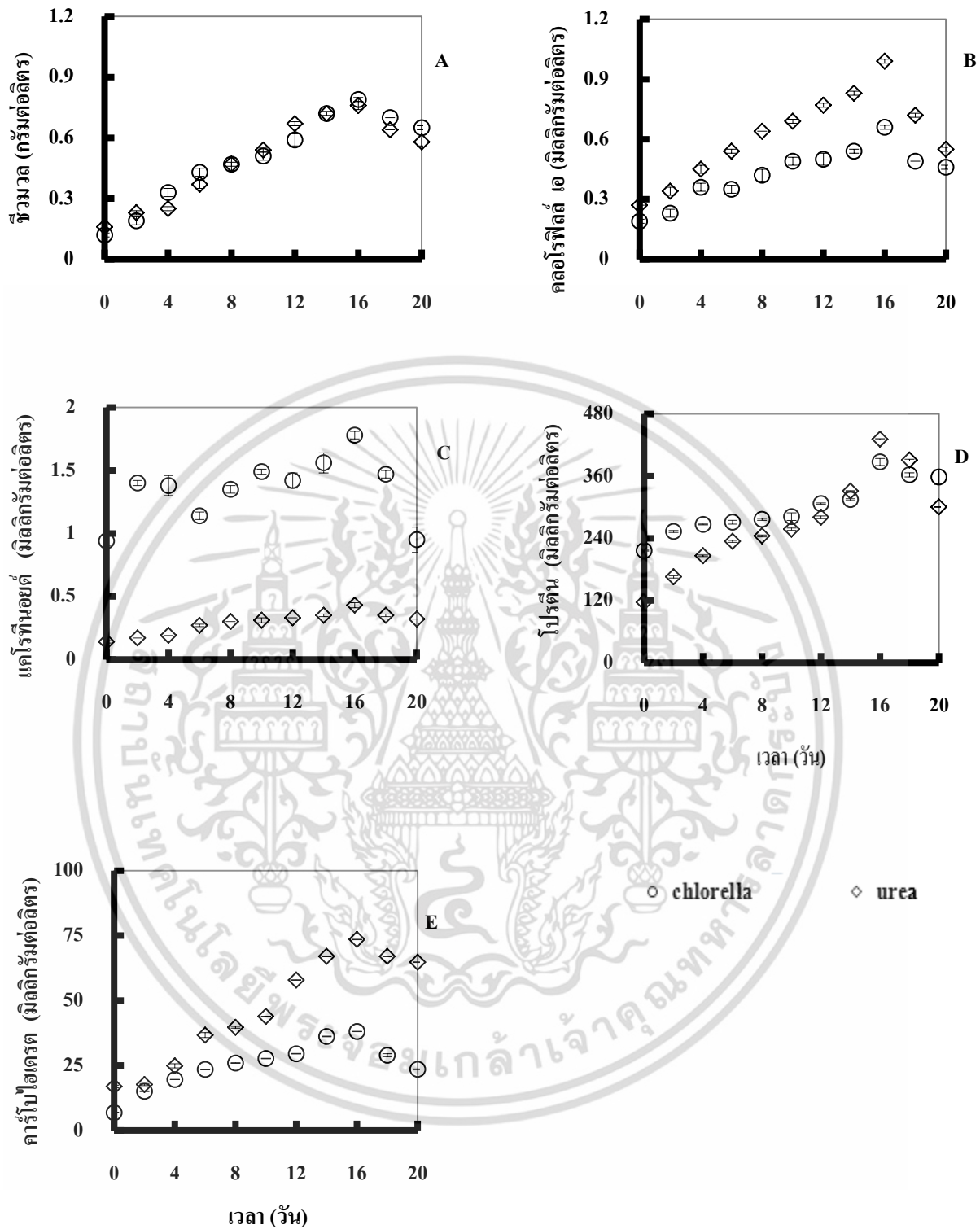
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 38.08 ± 0.06 และ 73.52 ± 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.21 E, ตารางผนวกที่ 45) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าสูตรอาหารยูเรีย

4.4.1.5 ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูง เท่ากับ 39.02 ± 0.95 และ 33.76 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย ผลผลิตลิพิดในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีค่าสูงเท่ากับ 0.31 ± 0.01 และ 0.26 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย กำลังการผลิตลิพิดในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีค่าสูงเท่ากับ 3.99 ± 0.24 และ 2.59 ± 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 และ 8 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย

4.4.1.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* พบว่าในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการคายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 25.71 และ 28.45 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 และ 0 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.22, ตารางผนวกที่ 46) และมีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Linoleic Acid (C18:2n6c) และ Oleic Acid (C18:1n9c) โดยมีปริมาณสูงคือ 18.49 และ 24.89 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 8 และ 0 ของการทดลอง ตามลำดับ และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 88.86 และ 86.63 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 16 และ 0 ของการทดลอง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.21 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แคโรทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา และปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

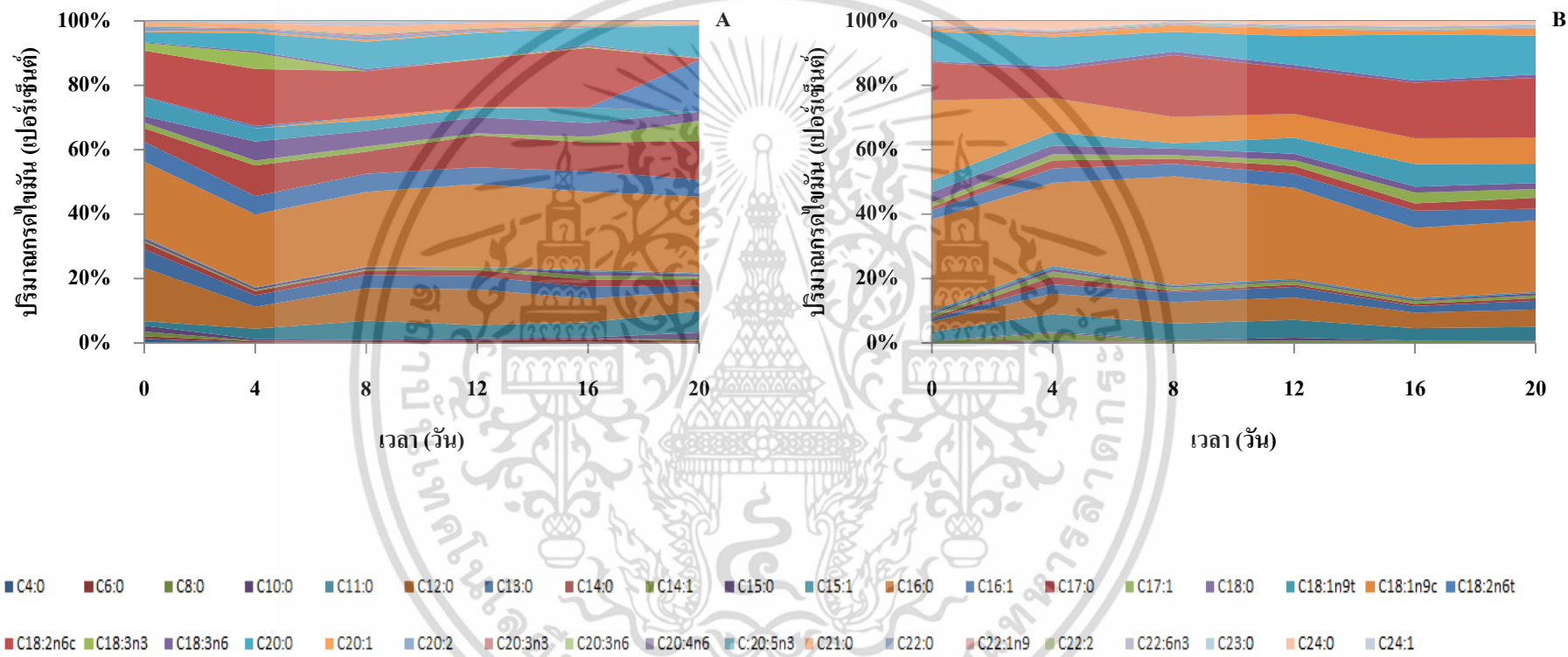
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาและปุยสูตรการค้ายูเรีย ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

	เวลา (วัน)	สูตรอาหาร	
		คลอเรลลา	ยูเรีย
อัตราการเจริญเติบโต	0	-	-
จำเพาะ (ต่อวัน)	4	0.24±0.01 ^d	0.11±0.03 ^{bc}
	8	0.16±0.01 ^c	0.14±0.01 ^c
	12	0.13±0.00 ^b	0.12±0.01 ^{bc}
	16	0.12±0.00 ^b	0.10±0.00 ^b
	20	0.12±0.00 ^b	0.10±0.00 ^b
ปริมาณลิพิด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	0	26.17±0.39 ^a	19.67±0.63 ^a
	4	30.95±0.79 ^b	27.36±0.69 ^b
	8	33.20±0.75 ^b	29.86±2.01 ^{bc}
	12	36.36±1.07 ^c	30.41±1.15 ^{bc}
	16	39.02±0.95 ^d	33.76±0.53 ^c
	20	39.77±0.38 ^d	29.85±2.85 ^{bc}
ผลผลิตลิพิด (กรัมต่อลิตร)	0	0.03±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a
	4	0.10±0.01 ^b	0.07±0.00 ^b
	8	0.15±0.01 ^c	0.14±0.01 ^c
	12	0.21±0.01 ^d	0.20±0.01 ^d
	16	0.31±0.01 ^f	0.26±0.00 ^c
	20	0.26±0.00 ^e	0.18±0.02 ^d
กำลังผลิตลิพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	0	-	-
	4	3.99±0.24 ^d	1.98±0.45 ^b
	8	2.90±0.16 ^c	2.59±0.25 ^b
	12	2.45±0.16 ^{bc}	2.33±0.13 ^b
	16	2.46±0.14 ^{bc}	2.00±0.07 ^b
	20	2.24±0.12 ^b	1.73±0.26 ^b

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา (A) และยีสต์คาร์ก้ายูเรีย (B) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

4.4.2 ผลของสูตรอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor ของสาหร่าย *B. braunii*

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้พบว่า สูตรอาหารที่ดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ของการทดลองในห้องปฏิบัติการ คือสูตรอาหารการค้า N:P:K มีค่าเท่ากับยูเรีย $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 0.13 กรัมต่อลิตร $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.61 กรัมต่อลิตร และ KCl 1.38 กรัมต่อลิตร เนื่องจากมีค่าผลผลิตลิวคินสูงสุด เท่ากับ 0.74 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงนำมาศึกษาต่อ โดยการเลี้ยงในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

4.4.2.1 การเจริญเติบโต

(1) ชีวมวล

ชีวมวลของสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ามีชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 0.57 ± 0.01 และ 2.07 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 และ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.23 A, ตารางผนวกที่ 47) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

(2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.14 ± 0.01 และ 0.22 ± 0.01 ต่อวัน ในวันที่ 4 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

4.4.2.2 รงกวัตุ

(1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 1.68 ± 0.01 และ 1.07 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 และ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.23 B, ตารางผนวก ที่ 47) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

(2) ปริมาณแคโรทีนอยด์

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 0.65 ± 0.01 และ 0.90 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 20 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.23 C, ตารางผนวกที่ 47) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

4.4.2.3 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 312.95 ± 0.25 และ 324.25 ± 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 และ 18 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.23 D, ตารางผนวกที่ 47) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K)

4.4.2.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

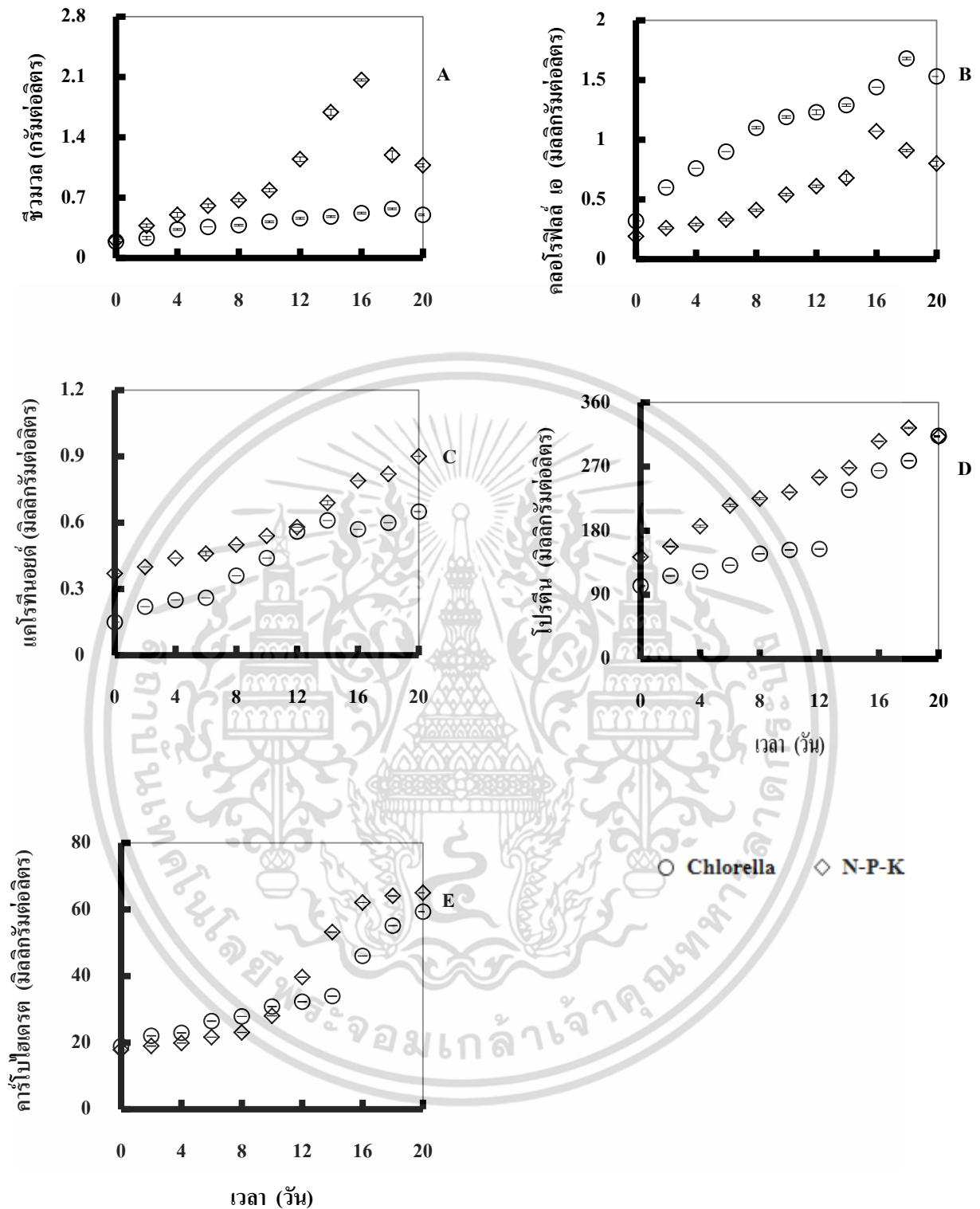
ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 59.34 ± 0.03 และ 64.98 ± 0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 20 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.23 E, ตารางผนวกที่ 47) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K)

4.4.2.5 ปริมาณลิพิด

การสะสมลิพิดของ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) พบว่าปริมาณลิพิดมีค่าสูง เท่ากับ 42.29 ± 0.47 และ 48.74 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ในวันที่ 16 และ 20 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) ผลผลิตลิพิดในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.22 ± 0.00 และ 0.99 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) กำลังการผลิตลิพิดในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) มีค่าสูงเท่ากับ 4.41 ± 0.61 และ 7.05 ± 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 4 และ 20 ของการทดลอง ตามลำดับ (ตารางที่ 4.12) โดยในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าต่ำกว่าบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K)

4.4.2.6 ปริมาณกรดไขมัน

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* พบว่าในอาหารสูตรคลอเรลลาและบ็วยสูตรการค้ำ (N: P: K) มีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุดคือ 35.47 และ 39.14 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 0 และ 20 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.24, ตารางผนวกที่ 48) และมีปริมาณกรดไขมันรองลงมาคือ Stearic Acid (C18:0) และ γ -Linolenic Acid (C18:3n6) โดยมีปริมาณสูงคือ 20.87 และ 21.42 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 และ 8 ของการทดลอง ตามลำดับ และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์รวมทั้งหมดของกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 83.66 และ 80.23 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 ชีวมวล (A), คลอโรฟิลล์ เอ (B), แครโทีนอยด์ (C), โปรตีน (D) และ คาร์โบไฮเดรต (E) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและ ปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

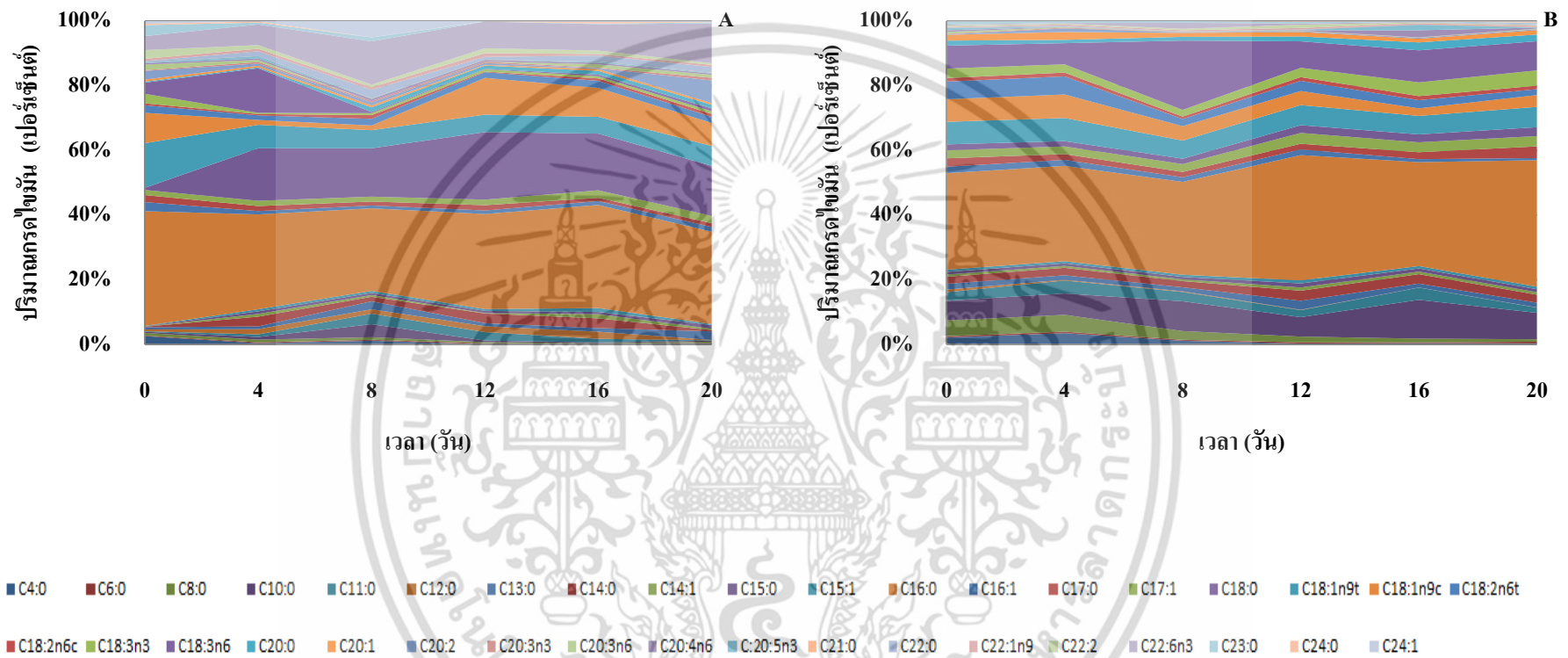
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 อัตราการเจริญเติบโตและปริมาณลิพิดของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N:P:K) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

	เวลา (วัน)	สูตรอาหาร	
		คลอเรลลา	N:P:K
อัตราการเจริญเติบโต	0	-	-
จำเพาะ (ต่อวัน)	4	0.14±0.01 ^d	0.22±0.01 ^c
	8	0.09±0.00 ^c	0.15±0.01 ^b
	12	0.08±0.00 ^{bc}	0.14±0.00 ^b
	16	0.06±0.00 ^b	0.14±0.00 ^b
	20	0.06±0.00 ^b	0.14±0.00 ^b
ปริมาณลิพิด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	0	24.87±1.01 ^a	28.60±2.25 ^a
	4	30.98±1.86 ^b	28.66±0.61 ^a
	8	35.52±0.95 ^c	41.85±2.22 ^b
	12	40.34±1.35 ^d	44.49±2.06 ^{bc}
	16	42.29±0.47 ^d	47.96±0.71 ^c
	20	35.59±0.73 ^c	48.74±1.57 ^c
ผลผลิตลิพิด (กรัมต่อลิตร)	0	0.05±0.00 ^a	0.06±0.01 ^a
	4	0.10±0.01 ^b	0.14±0.01 ^b
	8	0.14±0.00 ^c	0.28±0.02 ^c
	12	0.19±0.01 ^d	0.51±0.02 ^d
	16	0.22±0.00 ^c	0.99±0.01 ^c
	20	0.18±0.00 ^d	0.52±0.01 ^d
กำลังผลิตลิพิด (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)	0	-	-
	4	4.41±0.61 ^d	6.40±0.37 ^a
	8	3.27±0.23 ^c	6.24±0.58 ^a
	12	3.06±0.17 ^{bc}	6.39±0.33 ^a
	16	2.73±0.06 ^{bc}	6.94±0.24 ^a
	20	2.23±0.09 ^b	7.05±0.30 ^a

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.24 เปอร์เซนต์กรดไขมันที่พบในสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลา (A) และปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) (B) ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การศึกษาผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาผลของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่มีการผันแปรความเข้มข้นไนโตรเจน 5 ระดับ โดยผันแปรความเข้มข้นของ KNO_3 0.17-0.85 กรัมต่อลิตร และในอาหารสูตรการค้า (ยูเรีย 46-0-0) โดยผันแปรความเข้มข้นของยูเรีย 5 ระดับ 0.0037-0.74 กรัมต่อลิตร พบว่า

ค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนและยูเรียเพิ่มขึ้น เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบหลักของ ดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ เอนไซม์และกรดอะมิโน ซึ่งโมเลกุลทั้งหมดที่กล่าวมาเป็นส่วนประกอบในคลอโรพลาสต์ เป็นออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่สร้างคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่าย (Neill *et al.* 2003) ดังนั้นการเพิ่มไนโตรเจนจะมีผลทำให้การสร้างกรดอะมิโนมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น โดยกรดอะมิโนบางชนิดมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ของสาหร่าย เช่น กรดอะมิโนไกลซีนซึ่งทำหน้าที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์โดยรวมตัวกับ Succinyl-Coenzyme A เกิดการสังเคราะห์ Delta- Aminolevulinic Acid และผ่านวิถีทางชีวเคมีภายในเซลล์จนได้สารคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งไกลซีนเป็นสารเคมีที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบดังนั้นในการทดลองครั้งนี้การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนอาจทำให้ปริมาณไกลซีนเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์สาหร่ายมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น โดยการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโต ทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เป็นอาหารสะสมเพิ่มขึ้น และผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกนำไปใช้เพื่อเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ เช่นผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์และออกเกร์แนลล์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอัตราการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจากการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนย่อมทำให้เซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Lewin 1962) ซึ่งในหลายการทดลองรายงานว่าค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เช่น งานวิจัยของ Ruangsomboon *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* สายพันธุ์ KMITL ในสูตรอาหารคลอเรลลา (โพแทสเซียมไนเตรท เป็นแหล่งไนโตรเจน) 5 ระดับ (16.5-344 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าค่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.04 ± 0.03 กรัมต่อลิตร และ 0.12 ± 0.01 ต่อวัน ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับไนโตรเจนสูงสุด (344 มิลลิกรัมต่อลิตร) และคลอโรฟิลล์ เอ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนสูงขึ้น และงานวิจัยของ Goksan *et al.* (2011) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Haematococcus pluvialis* ในสูตรอาหาร BG 11 โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจน 2 แหล่ง คือโพแทสเซียมไนเตรทและยูเรีย ความเข้มข้น 4 ระดับ 0.25-2 กรัมต่อลิตร เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไนโตรเจนและยูเรียเพิ่มขึ้น ค่าชีวมวลมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.19 และ 0.59 กรัมต่อลิตร ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับไนโตรเจนและยูเรียสูงสุด (2 กรัมต่อลิตร) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ ของสาหร่ายมีแนวโน้มน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนและยูเรียสูงขึ้น และจากงานวิจัยของ Illman *et al.* (2000) ศึกษาการลดโซเดียมไนเตรทลงจาก 75 เป็น 37.5 กรัมต่อลิตร ในอาหารสูตร Watanbe โดยทดลองกับสาหร่าย 5 ชนิดคือ *Chlorella vulgaris*, *Chlorella emersonii*, *Chlorella protothecoides*, *Chlorella sorokiniana* และ *Chlorella minutissima* พบว่าการลดความเข้มข้นของไนโตรเจนลงนั้นมีผลทำให้ค่าปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตลดลง

ปริมาณลิวซีน ผลผลิตลิวซีน กำลังการผลิตลิวซีน มีแนวโน้มน้ำเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนและยูเรียในอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งการทดลองของ Shen *et al.* (2009) รายงานว่าการเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* (UTEX 417) มีผลผลิตลิวซีนและกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนในอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งจากรายงานผลการทดลองในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนช่วยให้มีการผลิตลิวซีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากชีวมวลเพิ่มขึ้นจึงได้ผลผลิตน้ำมันโดยรวมสูงขึ้นนั่นเอง หากต้องการเพิ่มปริมาณลิวซีน โดยการจัดการด้านสารอาหารไนโตรเจน เทคนิคที่ใช้กันก็คือเลี้ยงในสภาวะไนโตรเจนสูงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ชีวมวลมากจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดปริมาณไนโตรเจนลงเพื่อกระตุ้นให้มีการสร้างไขมันมากขึ้น (Prochazkova *et al.* 2014) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณลิวซีนจากการศึกษาครั้งนี้กับการทดลองอื่นๆ (ตารางที่ 2.8) พบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีปริมาณลิวซีนสูงกว่ารายงานการวิจัยที่ผ่านมา จึงนับได้ว่าเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ในอนาคต

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยมีค่าซีเทนสูงกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D975 สำหรับน้ำมันดีเซลเบนซินธรรมดา ซึ่งกำหนดค่าซีเทนต้องไม่ต่ำกว่า 40 (Knothe 2005) (ตารางที่ 2.7) โดยจากการทดลองที่มีการผันแปรความเข้มข้นไนโตรเจน 5 ระดับ (โพแทสเซียมไนเตรท 0.17-0.85 กรัมต่อลิตร) และในอาหารสูตรการค้า urea 46-0-0 (ยูเรีย 0.004-0.740) พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2

ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าจากการทดลองนี้การเพิ่มปริมาณไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการวิจัยในเพื่อนักวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์อันใดจากเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสาหร่าย โดยทั่วไปแล้วค่าซีเทน ความร้อนการเผาไหม้ และความหนืด จะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวพันธะเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงกรดไขมันที่มีพันธะยาว (C10-18:2) นั้นเหมาะที่จะเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมันหลักที่เป็นองค์ประกอบของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* พบว่ามีกลุ่มของกรดไขมันหลักประเภทเดียวกันได้แก่ C16:0, C18:1, C18:2 และ C18:3 ซึ่งเหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะกลุ่มไบโอดีเซล ซึ่งสามารถนำไปเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล (Chiti 2007; Lin and Lin 2011; Moazami *et al.* 2011) (ตารางที่ 2.8)

จากการศึกษานี้พบว่าค่าชีวมวลและปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลา มีค่าชีวมวลสูงเท่ากับ 1.61 ± 0.09 และ 1.91 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณโปรตีนสูงเท่ากับ 1443.11 ± 149.60 และ 257.71 ± 0.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยสูงกว่าอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งพบว่ามีค่าชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* เท่ากับ 1.08 ± 0.03 และ 1.52 ± 0.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณโปรตีนเท่ากับ 259.56 ± 5.53 และ 55.10 ± 0.19 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่ามีค่าปริมาณแคโรทีนอยด์และคาร์โบไฮเดรตในอาหารสูตรคลอเรลลาสูงกว่าด้วย ทั้งนี้มาจากการที่ในอาหารสูตรคลอเรลลา มีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ และกิจกรรมเมแทบอลิซึม ต่าง ๆ ของสาหร่าย เช่น เหล็ก (Fe), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg), โบรอน (Bo), แมงกานีส (Mn), สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) จึงทำให้อาหารสูตรคลอเรลลามีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากกว่าปุ๋ยยูเรียเพียงอย่างเดียวซึ่งธาตุอาหารดังกล่าว ทำหน้าที่ช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายคือ เหล็กมีหน้าที่ช่วยในการ ดูดซึมไนโตรเจน ช่วยในกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยสร้างคลอโรฟิลล์ เอ แคลเซียม มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีผลต่อโครงสร้างของเซลล์สาหร่าย แมกนีเซียมมีผลเกี่ยวกับ กระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์สาหร่าย โบรอนช่วยให้สาหร่ายบางชนิดเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ได้ใส่โบรอน ส่วนแมงกานีส, ทองแดง และสังกะสีเป็นองค์ประกอบสำคัญของการสังเคราะห์แสง องค์ประกอบเอนไซม์ ถ้าขาดสารอาหารเหล่านี้จะทำให้มีการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ลดลง อาหารที่สร้างขึ้นของสาหร่ายจะลดลง สาหร่ายไม่สามารถเจริญเติบโตหรือขยายพันธุ์ได้ (ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544) ในส่วนของปริมาณลิพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลา พบว่ามีค่า 39.94 ± 4.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่า

อาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 40.80 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์ และสาหร่าย *B. braunii* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอาหารสูตรคลอเรลลา พบว่ามีค่า 44.15 ± 0.69 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) โดยผันแปรความเข้มข้นของยูเรีย 5 ระดับ $0.0037-0.74$ กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 41.07 ± 0.95 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลผลิตลิพิดและกำลังการผลิตลิพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลา มีค่าสูงกว่าอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณลิพิดของสาหร่ายที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสกุลของสาหร่าย (Prochazkova *et al.* 2014)

5.2 การศึกษาผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาผลของฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่มี การผันแปรความเข้มข้นฟอสฟอรัส 5 ระดับ $0-0.56$ กรัมต่อลิตร พบว่า ค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาหร่ายสามารถดูดซับหรือมีการชักนำฟอสฟอรัสเข้าสู่เซลล์ได้ดี ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นส่วนประกอบของสารสำคัญต่าง ๆ ในวัฏจักรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโตได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจของสาหร่าย (ตารางที่ 2.1) (Rebeille *et al.* 1984) ถ้าปริมาณฟอสฟอรัสสูงจะมีผลต่อการเจริญเติบโตคือ รงกวัตถุชนิดคลอโรฟิลล์เอ DNA และ RNA จะเพิ่มขึ้น (ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544) ซึ่งในหลายการทดลองรายงานว่าค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น เช่น งานวิจัยของ Ruangsomboon (2012) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ KMITL 2 ในอาหารสูตรคลอเรลลา (KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 5 ระดับ (22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครโอสไต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 40 วัน พบว่าค่าชีวมวลสูงสุดเท่ากับ 1.91 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสสูงสุด (444 มิลลิกรัมต่อลิตร) นอกจากนั้นพบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัสจาก 22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้ชีวมวลเพิ่มขึ้น 7.3 เท่า และคล้ายกับงานวิจัย Ruangsomboon *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* สายพันธุ์ KMITL ในสูตรอาหารคลอเรลลา (KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 5 ระดับ (22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครโอสไต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 18 วัน พบว่าค่าชีวมวลและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงที่สุดมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 1.35 ± 0.0 กรัมต่อลิตร และ 0.13 ± 0.01 ต่อวัน และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 17.38 ± 0.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสสูงสุด (444 มิลลิกรัมต่อลิตร) และงานวิจัย Venkatesan *et al.* (2013) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ Kutzing KM-104 ในสูตรอาหาร Modified CHU 13 (K_2HPO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 7 ระดับ (0.29-0.63 มิลลิโมลาร์) ภายใต้ความเข้มแสง 30 ไมโครไอน์สไต้น์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ 6.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.40 มิลลิโมลาร์ ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงสุดเท่ากับ 4.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.34 มิลลิโมลาร์ และงานวิจัยของ Venkatesan *et al.* (2014) ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ Kutzing KM-104 ในสูตรอาหาร Modified CHU 13 (K_2HPO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 7 ระดับ (0.29-0.63 มิลลิโมลาร์) ภายใต้ความเข้มแสง 30 ไมโครไอน์สไต้น์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 วัน พบว่าปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.52 มิลลิโมลาร์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุดเท่ากับ 273 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นฟอสฟอรัส 0.63 มิลลิโมลาร์

ปริมาณลิวคิน ผลผลิตลิวคิน กำลังการผลิตลิวคิน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในอาหารลดลง โดยจากรายงานผลการทดลองในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสไม่ได้ช่วยให้มีการผลิตลิวคินเพิ่มมากขึ้น แต่ทำให้ได้ชีวมวลเพิ่มขึ้นจึงได้ผลผลิตไขมันโดยรวมสูงขึ้นนั่นเอง ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Ruangsomborn (2012) ซึ่งพบว่าปริมาณลิวคิน ผลผลิตลิวคิน กำลังการผลิตลิวคิน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในอาหารลดลง โดยทดลองเลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ KMITL 2 ในอาหารสูตรคลอเรลลา (KH_2PO_4 เป็นแหล่งฟอสฟอรัส) 5 ระดับ (22-444 มิลลิกรัมต่อลิตร) ภายใต้ความเข้มแสง 200 ไมโครไอน์สไต้น์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 40 วัน พบว่าปริมาณลิวคินเท่ากับ 19.4 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ซึ่งพบในอาหารที่มีระดับฟอสฟอรัสต่ำสุด (22 มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่ากำลังการผลิตลิวคินเท่ากับ 20.65 ± 0.51 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ในอาหารที่มีฟอสฟอรัส 55 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้นพบว่าค่าผลผลิตลิวคิน มีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ในอาหารที่มีฟอสฟอรัส 222 มิลลิกรัมต่อลิตร หากต้องการเพิ่มปริมาณลิวคิน โดยการจัดการด้านสารอาหารฟอสฟอรัส เทคนิคที่ใช้กันก็คือเลี้ยงในสภาวะฟอสฟอรัสสูงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ชีวมวลมากจนถึงจุดสูงสุดแล้วลดปริมาณฟอสฟอรัสลงเพื่อกระตุ้นให้มีการสร้างลิวคินมากขึ้น (Prochazkova *et al.* 2014) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณลิวคินจากการศึกษาครั้งนี้กับการทดลองอื่น ๆ (ตารางที่ 2.8) พบว่าสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีปริมาณลิวคินสูงกว่ารายงานการวิจัยที่ผ่านมา จึงนับได้ว่าเป็นหนึ่งในตัวเลือกที่สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ใน

อนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 อยู่ถึง 73.03-96.73 และ 75.07-98.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งกรดไขมันนี้มีค่าซีเทนสูงกว่าค่ามาตรฐาน ASTM D975 สำหรับน้ำมันดีเซลแบบธรรมดา พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าจากการทดลองนี้การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย และเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมันหลักที่เป็นองค์ประกอบของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* พบว่ามีกลุ่มของกรดไขมันหลักประเภทเดียวกัน ได้แก่ C16:0, C18:1, C18:2 และ C18:3 ซึ่งเหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะกลุ่มไบโอดีเซล เนื่องจากมีความยาวของสายคาร์บอนอยู่ระหว่าง 16-18 อะตอมและพันธะคู่ไม่เกิน 4 พันธะ ซึ่งสามารถนำไปเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล (Chiti 2007; Lin and Lin 2011; Moazami *et al.* 2011) (ตารางที่ 2.8)

5.3 การศึกษาผลของปุ๋ยสูตรการค้าต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในห้องปฏิบัติการ

5.3.1 การศึกษาผลของปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. Dimorphus*

การศึกษาผลของปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น 0.17: 0.28 : 0.83 ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* พบว่าค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีนและปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากปุ๋ยการค้า คือ ปุ๋ยที่ประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก 3 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยมีการผสมตามอัตราส่วนของ N:P:K ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งแหล่งที่มาของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด มีหลากหลายแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน (ตารางที่ 2.3) ปุ๋ยการค้าถูกนำมาใช้เพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย นอกจากนี้มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าปุ๋ยสูตรมาตรฐานอื่น โดยธาตุอาหารทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมพบว่ามีส่วนช่วยในด้านส่วนประกอบของสารสำคัญต่าง ๆ ในวัฏจักรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโต ได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจของสาหร่าย และจากการทดลองนี้ปริมาณลิกนิน ผลผลิตลิกนิน กำลังการผลิตลิกนิน มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการที่สาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเหนี่ยวนำให้เซลล์เกิดการสะสมลิพิดในปริมาณมาก ผ่านสภาวะการเพาะเลี้ยงที่ขาดสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต (Zhou *et al.* 2013) จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้ปุ๋ยสูตรการค้าได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Dungtap *et al.* (2011) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Oscillatoria* sp. ในสูตรอาหารที่ใช้ปุ๋ยสูตรการค้า (ตารางที่ 2.5) ภายใต้อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มแสง 92.5 ไมโครโวลต์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 วัน พบว่าความหนาแน่นของเซลล์เท่ากับ 0.325±0.03 ชีวมวลสูงที่สุดเท่ากับ 0.65±0.04 กรัมต่อลิตร และปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 27.19±0.82 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ในอาหาร ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ Na₂HCO₃ 1 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8-10 ปริมาณไขมันสูงที่สุดเท่ากับ 23.79±0.32 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 855.436±108.11 ไมโครกรัมต่อกรัม พบใน ปุ๋ยนา N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย Urea N:P:K (46-0-0) 1 กรัมต่อลิตร ซึ่งจากการทดลองนี้ทำให้เห็นว่าปุ๋ยสูตรการค้าสามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น 0.17: 0.28 : 0.83 พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 อยู่ที่ 93.36 และ 92.37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าจากการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย

จากการศึกษานี้พบว่าค่าชีวมวลของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่มีเข้มข้นไนโตรเจนของ KNO₃ 0.17 กรัมต่อลิตร และ ฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าชีวมวลสูงเท่ากับ 1.13 ±0.08 และ 1.47±0.03 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าชีวมวลต่ำกว่าปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น 0.17: 0.28 : 0.83 ซึ่งมีค่าชีวมวลเท่ากับ 1.65±0.02 และ 1.96±0.03 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณลิพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่มีเข้มข้นไนโตรเจนของ KNO₃ 0.17 กรัมต่อลิตร และ ฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 29.58±2.11 และ 40.32 ±1.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น 0.17: 0.28 : 0.83 พบว่ามีค่าเท่ากับ 29.79±2.42 และ 39.32±0.26 เปอร์เซ็นต์ และผลผลิตลิพิดและกำลังการผลิตลิพิดของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาที่มีเข้มข้นไนโตรเจนของ KNO₃ 0.17 กรัมต่อลิตร และ ฟอสฟอรัส 0.28 กรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่าปุ๋ยสูตรการค้า N: P: K ที่ความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.17: 0.28 : 0.83 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณลิกนินของสาหร่ายที่ได้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสกุลของสาหร่าย (Prochazkova *et al.* 2014) และเนื่องจากแหล่งของไนโตรเจนนั้นมีผลต่อการดูดซับของสาหร่าย โดยทั่วไปธาตุอาหารหลักของสาหร่ายได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (N, P) จะเห็นได้ว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญธาตุหนึ่งสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กโดยปริมาณของไนโตรเจนมีผลต่อการสะสมลิกนินของสาหร่าย ซึ่งโดยปกติจะใช้เกลือแอมโมเนียม ไนเตรต ยูเรีย เป็นแหล่งของไนโตรเจนแต่อัตราการดูดซึมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์จะแตกต่างกันดังนี้ แอมโมเนีย>ยูเรีย>ไนเตรต>ไนไตรท์ (Junying *et al.* 2013)

5.3.2 การศึกษาผลของปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย:ฟอสฟอรัส ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus*

การศึกษาผลของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร) และสาหร่าย *B. braunii* เลี้ยงในอาหารสูตรการค้ายูเรีย: ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร) ต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* พบว่าค่าชีวมวล ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณโปรตีน และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น ซึ่งธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีผลต่อกระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในปุ๋ยสูตรยูเรีย : ฟอสฟอรัส พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 อยู่ที่ 95.03 และ 82.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าจากการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย

5.4 ผลของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* และ *B. braunii* ในอาหารที่ดีที่สุด ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

5.4.1 ผลของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองเพาะเลี้ยง *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร พบว่าค่าชีวมวลของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอาหารสูตรคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย จากงานวิจัยของ Arumugam *et al.* (2013) ซึ่งรายงานว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่าการเจริญเติบโตได้มากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่นทำการศึกษาในสาหร่าย *S. bijugatus* ที่มีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โปแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท ยูเรีย แคลเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรทและแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 2 ระดับ คือ 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ในสูตรอาหาร Modified Basal เลี้ยงเป็นเวลา 18 วัน ซึ่งจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นได้ชัดว่าสามารถเลือกใช้สูตรอาหารยูเรียแทนสูตรอาหารคลอเรลลาได้เนื่องจากมีราคาของสารเคมีที่ถูกกว่าและให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างจากสูตรอาหารคลอเรลลา

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในอาหารสูตรยูเรียมีค่าสูงกว่าสูตรอาหารคลอเรลลา ในส่วนของปริมาณแคโรทีนอยด์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าในสูตรของอาหารคลอเรลลามีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรีย แต่ต่างจากงานวิจัยของ Goksan *et al.* (2011) ทำการศึกษาในสาหร่าย *H. phyalis* โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โปแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท ยูเรียและแอมโมเนียมไนเตรท 4 ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัมต่อลิตร ในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00 กรัมต่อลิตร การทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่ามีค่าคลอโรฟิลล์ เอ และแคโรทีนอยด์ ต่ำกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่น

ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในอาหารสูตรยูเรียมีค่าสูงกว่าสูตรอาหารคลอเรลลา ซึ่งจากการทดลอง Piorreck *et al.* (1984) ในสาหร่าย *S. obliquus* โดยการผันแปรไนโตรเจน พบว่าที่ระดับความเข้มข้นไนโตรเจนสูงชักนำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และโปรตีน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 450 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิจัยของ Ho *et al.* (2010) ทำการศึกษาในสาหร่าย *C. vulgaris* FSP-E โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โปแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรทและยูเรีย ในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงเป็นเวลา 24 วันการทดลอง พบว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบโปแทสเซียมไนเตรท

ปริมาณลิพิด ผลผลิตลิพิดและกำลังการผลิตลิพิด จากการทดลองเพาะเลี้ยง

S. dimorphus ในอาหารสูตรคลอเรลลาและยูเรีย พบว่า ปริมาณลิพิดและผลผลิตลิพิด มีแนวโน้มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มมากขึ้น กำลังการผลิตลิพิดมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนในอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ Shen *et al.* (2009) โดยรายงานว่าการเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* (UTEX 417) มีผลผลิตลิพิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นไนโตรเจนในอาหารเพิ่มมากขึ้น

ปริมาณลิพิดมีค่าสูงในสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาแต่ไม่ได้มีความแตกต่างกับสูตรอาหารยูเรีย ซึ่งจากผลการทดลองของสูตรอาหารยูเรียพบว่าปริมาณลิพิดมีค่าใกล้เคียงกับสูตรอาหารคลอเรลลา เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารต่ำ เซลล์สาหร่ายมีการแบ่งตัวที่ช้าลงซึ่งเกิดจากสารอาหารที่ไม่เพียงพอทำให้เซลล์เลือกที่จะสะสมอาหารในรูปของลิพิดเพราะเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการสังเคราะห์ลิพิดสามารถทนต่อการขาดสารอาหารได้ดีกว่าเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต โดย เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในกลไกการสังเคราะห์ลิพิดคือ Diacylglycerol Transferase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยน Diacylglycerol เป็น Triacylglyceride (TAG) ดังนั้นโมเลกุลคาร์บอนที่ได้จากการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์หรือสารอินทรีย์จึงถูกชักนำให้เปลี่ยนไปเป็นลิพิดมากกว่าคาร์โบไฮเดรต ทำให้สามารถพบปริมาณลิพิดมีค่าสูงในภาวะที่มีสารอาหารจำกัด (Xin *et al.* 2010) ซึ่งจากงานวิจัยของ Xin *et al.* (2010) ศึกษาสาหร่าย *Scenedesmus* sp. ที่มีการผันแปรความเข้มข้นไนโตรเจน 2.5-25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอาหาร Growth ความเข้มข้นแสง 55-60 ไมโครไฮสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 14 วัน พบว่าการลดความเข้มข้นไนโตรเจนที่ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ปริมาณไขมันสูงสุดประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เพราะไนโตรเจนมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม การตรึงไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเติบโตโดยอาศัยเอนไซม์ไนโตรจีเนส (Nitrogenase Enzyme) หากมีการลดลงของไนโตรเจนจะทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายช้าลงเกิดการสะสมของสารอาหารมากกว่าการนำไปใช้ประโยชน์ทำให้มีปริมาณลิพิดเพิ่มมากขึ้น และงานวิจัยของ Shen *et al.* (2009) ได้ทำการศึกษาแหล่งไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก 2 ชนิดคือ *S. dimorphus* และ *C. protothecoides* อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ใช้แหล่งที่มาของไนโตรเจน 2 แหล่งคือ โปแทสเซียมไนเตรทและยูเรีย และผันแปรระดับความเข้มข้นของแหล่งอาหารแต่ละชนิดเป็น 3 ระดับ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าผลผลิตไขมันที่มีค่ามากที่สุด ในสาหร่าย *S. dimorphus* มีค่า 0.40±0.001 กรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นของยูเรียที่ 1.8 กรัมต่อลิตร ในขณะที่สาหร่าย *C. protothecoides* มีค่าผลผลิตไขมันสูงสุดเท่ากับ 5.89 กรัมต่อลิตร ที่ระดับความเข้มข้นของไนเตรทที่ 2.4 กรัมต่อลิตร ดังนั้นแหล่งของสารอาหารย่อมส่งผลกระทบต่อการใช้ โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่ายขนาดเล็กนั้น ๆ ด้วย เมื่อมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการผลิตลิพิดจึงต้องใช้แหล่งอาหารให้เหมาะสมเพื่อการให้เซลล์สาหร่ายสร้างลิพิดออกมาให้มากที่สุด

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและสูตรอาหารยูเรีย พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 อยู่ถึง 91.27 และ 86.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดไขมันนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าจากการทดลองนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย

จากการการศึกษานี้พบว่ามีค่าชีวมวล ปริมาณลิวคิน ผลผลิตลิวคิน และกำลังการผลิตลิวคินของสาหร่าย *S. dimorphus* ในสูตรอาหารยูเรียในห้องปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าสูตรอาหารยูเรียเพาะเลี้ยงในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายนอกห้องปฏิบัติการนั้นเพาะเลี้ยงโดยใช้แสงธรรมชาติ ซึ่งความเข้มแสงภายนอกอาจมีค่าสูงเกินไปถึงเท่ากับ 2890-8500 ลักซ์ โดยที่ภายในห้องปฏิบัติการมีค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 1900 ลักซ์ จึงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายได้รับความเข้มแสงมากเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงลดลงและกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ถูกยับยั้ง ส่งผลให้การสะสมปริมาณสารภายในเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงและเป็นเพราะมีผลทำให้ การสังเคราะห์ ATP ลดลง โดยความเข้มแสงที่เหมาะสมก็ขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย (Falkowski 1980)

5.4.2 ผลของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. dimorphus* ในอาหารที่ดีที่สุดในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองเพาะเลี้ยง *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอโรเลลาและปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K พบว่าค่าชีวมวลของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K มีค่าสูงกว่าอาหารสูตรคลอโรเลลา ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Arumugam *et al.* (2013) ทำการศึกษาในสาหร่าย *S. bijugatus* โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท ยูเรีย แคลเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรทและแอมโมเนียมคลอไรด์พบว่าผลการทดลองที่ใช้ยูเรียพบว่าการเจริญเติบโตได้มากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่น ซึ่งจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็น ได้ชัดเจนว่าสามารถเลือกใช้ปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K แทนสูตรอาหารคลอโรเลลาได้เนื่องจากมีราคาของสารเคมีที่ถูกกว่าและให้ผลผลิตที่สูงกว่าสูตรอาหารคลอโรเลลา

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในสูตรอาหารคลอโรเลลา มีค่าสูงกว่าปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K และในส่วนของปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในส่วนของปริมาณแคโรทีนอยด์ในปุ๋ยสูตรการค้ามีค่าสูงกว่าสูตรคลอโรเลลา เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กเมื่อเจริญเติบโตอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสม (ธาตุอาหารไม่เพียงพอ) พบว่ามีแนวโน้มในการสะสมสารชีวโมเลกุลประเภทลิวคินรวมถึงกลุ่มแคโรทีนอยด์มากขึ้น (Hu 2004; Ordog *et al.* 2012) จากงานวิจัยของ Goksan *et al.* (2011) ทำการศึกษาในสาหร่าย *H. pluvialis* โดยมีการผันแปรแหล่งของ

ไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โพแทสเซียมไนเตรท โซเดียมไนเตรท ยูเรียและแอมโมเนียม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนเตรท 4 ระดับความเข้มข้น 0.25- 2.00 กรัมต่อลิตร ในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงในอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียมีค่าคลอโรฟิลล์ เอ ต่ำกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบอื่น

ปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K มีค่าสูงกว่าสูตรอาหารคลอเรลลา ซึ่งจากงานวิจัยของ Ho *et al.* (2013) พบว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบโพแทสเซียมไนเตรท โดยศึกษาในสาหร่าย *C. vulgaris* FSP-E ซึ่งมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจนในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ โพแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรทและยูเรีย ในสูตรอาหาร BG 11 เลี้ยงเป็นเวลา 24 วัน และงานวิจัยของ Hulatt *et al.* (2012) พบว่าการทดลองที่ใช้ยูเรียมีปริมาณโปรตีนมากกว่าการใช้แหล่งของไนโตรเจนรูปแบบโพแทสเซียมไนเตรท ศึกษาในสาหร่าย *C. vulgaris* โดยมีการผันแปรแหล่งของไนโตรเจน 2 แหล่ง คือ โพแทสเซียมไนเตรทและยูเรีย ในสูตรอาหาร M8 เลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน

ปริมาณลิวซีน ผลผลิตลิวซีนและกำลังการผลิตลิวซีน จากการทดลองเพาะเลี้ยง *B. braunii* ในอาหารสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K พบว่า ปริมาณลิวซีนและผลผลิตลิวซีนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น กำลังการผลิตลิวซีนในสูตรอาหารคลอเรลลามีแนวโน้มลดลงและในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กเมื่อเจริญเติบโตอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม (ธาตุอาหารไม่เพียงพอ) พบว่ามีแนวโน้มในการสะสมสารชีวโมเลกุลประเภทลิวซีนมากขึ้น (Ordog *et al.* 2012)

ปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย *B. braunii* ในปุ๋ยสูตรคลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K พบว่าเมื่อพิจารณาถึงกลุ่มกรดไขมัน C10:0-C18:2 อยู่ถึง 83.66 และ 80.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรดไขมันนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีกรดไขมัน ชนิด Palmitic Acid (C16:0) มากที่สุด ทั้ง 2 ชุดการทดลอง และในส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล 1 พันธะและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไปพบว่าการทดลองนี้ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดไขมันของสาหร่าย

จากการการศึกษานี้พบว่ามีค่าชีวมวล และกำลังการผลิตลิวซีน ของสาหร่าย *B. braunii* ในสูตรอาหาร N:P:K ในห้องปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าสูตรอาหาร N:P:K เพาะเลี้ยงในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ ปริมาณลิวซีนและผลผลิตลิวซีนของสาหร่าย *B. braunii* ในสูตรอาหาร N:P:K ในห้องปฏิบัติการมีค่าต่ำกว่าสูตรอาหาร N:P:K เพาะเลี้ยงในระบบ

Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายนอกห้องปฏิบัติการนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพาะเลี้ยงโดยใช้แสงธรรมชาติและไม่มีการควบคุมอุณหภูมิภายนอก ซึ่งอุณหภูมิภายนอกอยู่ในช่วง 26-34 องศาเซลเซียส และความเข้มแสงภายนอกอยู่ในช่วง 1200-12600 ลักซ์ ซึ่งพบว่าในหลายงานวิจัยมีรายงานว่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะส่งผลให้อัตรการเจริญเติบโตของสาหร่ายเติบโตได้ดี และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง ในทางกลับกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือลดต่ำลง ส่งผลให้ปริมาณลิพิดในสาหร่ายเพิ่มขึ้นอีกด้วย เช่น จากงานวิจัยของ Li and Qin (2005) ได้ศึกษาสาหร่าย *B. braunii* สามสายพันธุ์จากจีน (CHN) , สหราชอาณาจักรอังกฤษ (UK) และ ญี่ปุ่น (JAP) ในอาหาร Jaworski's Medium (JM) โดยนำมาเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 30 วัน พบว่าสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ CHN มีการเจริญเติบโตเร็วที่สุดที่อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียส มากกว่าที่ 30 องศาเซลเซียส ในขณะที่สายพันธุ์ UK และสายพันธุ์ JAP เจริญเติบโตเร็วที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มากกว่าที่ 20 หรือ 30 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะสายพันธุ์ CHN อัตรการเจริญเติบโตที่ 20 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างจาก 25 องศาเซลเซียส และปริมาณลิพิดในสาหร่าย *B. braunii* สายพันธุ์ JAP อุณหภูมิไม่ส่งผลต่อปริมาณลิพิดของสาหร่าย แต่สายพันธุ์ CHN และ UK มีปริมาณสูงที่ 25 องศาเซลเซียส มากกว่า 30 องศาเซลเซียส และจากงานวิจัยของ Casadevall *et al.* (1985) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ *B. braunii* คือ 25 องศาเซลเซียส และจากงานวิจัยของ Lupi *et al.* (1991) รายงานว่าการเจริญเติบโตของ *B. braunii* UC58 สามารถเลี้ยงได้ถึง 32 องศาเซลเซียส แต่พบว่าการเจริญเติบโตของทั้งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25-30 องศาเซลเซียส

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

สำหรับ *S. dimorphus* และ *B. braunii* ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและปุ๋ยสูตรการค้าที่แตกต่างกัน โดยเพาะเลี้ยงภายในห้องปฏิบัติการ พบว่าสูตรอาหารที่ดีที่สุดในการเพาะเลี้ยงสำหรับ *S. dimorphus* คือสูตรอาหารการค้ายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร โดยมีชีวมวล ปริมาณน้ำมัน และผลผลิตน้ำมันสูงสุด เท่ากับ 1.08 ± 0.03 กรัมต่อลิตร 40.80 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์ และ 0.42 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่ากรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 99.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในสำหรับ *B. braunii* สูตรอาหารที่เหมาะสมคือสูตรอาหารการค้า N:P:K โดยมีชีวมวล ปริมาณน้ำมัน และผลผลิตน้ำมันสูงสุด เท่ากับ 1.96 ± 0.03 กรัมต่อลิตร 39.32 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ และ 0.74 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่ากรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 92.37 เปอร์เซ็นต์

การเพาะเลี้ยงสำหรับ *S. dimorphus* ภายนอกห้องปฏิบัติการ ในระบบ Photobioreactor โดยใช้สูตรอาหารที่ดีที่สุดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ (ยูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร) พบว่ามีค่าชีวมวล ปริมาณน้ำมันและผลผลิตน้ำมันสูงสุด เท่ากับ 0.76 ± 0.02 กรัมต่อลิตร 33.76 ± 0.53 เปอร์เซ็นต์ และ 0.26 ± 0.00 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 86.63 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมกับการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล และการเพาะเลี้ยงสำหรับ *B. braunii* ภายนอกห้องปฏิบัติการ ในระบบ Photobioreactor ในสูตรอาหารที่ดีที่สุดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ (สูตรอาหารการค้า N:P:K) พบว่ามีค่าชีวมวล ปริมาณน้ำมันและผลผลิตน้ำมันสูงสุด เท่ากับ 2.07 ± 0.01 กรัมต่อลิตร 48.74 ± 1.57 เปอร์เซ็นต์ และ 0.99 ± 0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีกรดไขมัน C10:0-C18:2 เท่ากับ 80.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะสมกับการเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล

ในการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงการเพาะเลี้ยงสำหรับ *S. dimorphus* ด้วยอาหารสูตรอาหารการค้ายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร และ *B. braunii* ด้วยอาหารสูตรอาหารการค้า NPK ภายนอกห้องปฏิบัติการจะเหมาะสมต่อการนำสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ไปใช้เป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซลได้ในอนาคต

บรรณานุกรม

- จกกล พรมยะ และขจรเกียรติ แซ่ตัน. 2548. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสาไปรูลิน่าเพื่อสุขภาพ. เชียงใหม่ : โรงพิมพ์ศิรินาฎ.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. แพลงก์ตอนพืช. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริภักดิ์ สระตันดี. ชีวเคมีเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุนิรัตน์ เรืองสมบุญ. 2549. แพลงก์ตอนวิทยา. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Anand, J. and Arumugam, M. 2015. "Enhanced lipid accumulation and biomass yield of *Scenedesmus quadricauda* under nitrogen starved condition." **Bioresource Technology**. 188 : 190–194.
- Anitha, F.S., Lourenco, S.O. and Chaloub, R.M. 2009. "Effects of nitrogen starvation on the photosynthetic physiology of a tropical marine microalga *Rhodomonas* sp. (Cryptophyceae)." **Aquatic Botany**. 91 : 291-297.
- Arumugam, M. Ankur, A., Mahesh, C. A. and Zakwan, A. 2013. "Influence of nitrogen sources on biomass productivity of microalgae *Scenedesmus bijugatus*." **Bioresource Technology**. 131 : 246–249.
- Ashokkumar, V. and Rengasamy, R. 2012. "Mass culture of *Botryococcus braunii* Kutz. under open raceway pond for biofuel production." **Bioresource Technology**. 104 : 394–399.
- Bligh, E.G. and Dyer, W.J. 1959. "A rapid method for total lipid extraction and purification." **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**. 37 : 911-917.
- Bois, D.M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F. 1956. "Colorimetric method for determination of sugar and related substances." **Analytical Chemistry**. 28 : 350-356.
- Breuer, G., Jaeger, L.D., Artus, V.P.G., Marten, D.E., Springer, J., Draaisma, R.B., Eggink, G., Wiffels, R.H. and Lamers, P.P. 2014. "Superior triacylglycerol (TAG) accumulation in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- starchless mutants of *Scenedesmus obliquus* : (II) evaluation of TAG yield and productivity in controlled photobioreactors.” **Bioresource Technology**. 102 : 150–158.
- Carlos C., Maria C., Jose M. V. and Carlos V.. 2011. Enhanced Productivity of a Lutein-Enriched Novel Acidophile Microalga Grown on Urea. *Mar. Drugs* 9 29-42.
- Casadevall, E., Dif, D., Largeau, C., Gudin, C., Chaumont, D. and Desanti, O. 1985. “Studies on batch and continuous cultures of *Botryococcus braunii* : hydrocarbon production in relation to physiological state, cell ultrastructure, and phosphate nutrition.” **Biotechnol Bioeng**. 27(3) : 286-95.
- Cheng, K.C. and Ogden, K.L. 2011. “Renewable and sustainable energy reviews.” **American Institute of Chemical Engineers. Arizona**. 5.
- Chisti, Y. 2007. “Biodiesel from microalgae.” **Biotechnology Advances**. 25 : 294-306.
- Choi, G.G., Kim, B.H., Ahn, C.Y. and Oh, H.M. 2011. “Effect of nitrogen limitation on oleic acid biosynthesis in *Botryococcus braunii*.” **Journal of Applied Phycology**. 23 : 1031-1037.
- Choochote, W., Paiboonsin, K., Siripong, R. and Akkaphop, P. 2010. “Effects of Urea and Light Intensity on the Growth of *Chlorella* sp.” **International Symposium on Biocontrol and Biotechnology**. 8: 128-134.
- DeMott, W. and Van, D.E. 2013. “Strong interactions between stoichiometric constraints and algal defenses: evidence from population dynamics of *Daphnia* and algae in phosphorus-limited microcosms.” **Oecologia**. 171 : 175–186.
- Dungtap, C., Jongkolp, P., Niwoot, W., Bunyat, M. and Chanagnn, C. 2011. “Nutrition valued and carotenoid of cyanobacteria (*Oscillatoria* sp.) culture in different mediums.” **Journal of Fisheries Technology Research**. 5 : 76-89.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2nd edition Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Mass.
- Fakhry, E.M. and Maghraby, D.M.E. 2013. “Fatty acids composition and biodiesel characterization of *Dunaliella salina*.” **Journal of Water Resource and Protection**. 5; 894-899.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Falkowski, P. G. 1980. "Light-shade adaptation in marine phytoplankton." **Primary productivity in the sea.** 99-119.
- Fang, J. Y., Hsien-Chih, S., Jiunn-Tzong, W., Yin-Ru, C. and Shu-Hui, H. 2004. "Fatty acids in *Botryococcus braunii* accelerate topical delivery of flurbiprofen into and across skin." **International Journal of Pharmaceutics.** 276 : 163-173.
- Goksan, T., Ak, I., and Kılıç, C. 2011. "Growth characteristics of the alga *Haematococcus pluvialis* as affected by nitrogen source, vitamin, light and aeration." **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.** 11: 377-383.
- Guschina, I.A. and Harwood, J.L. 2006. "Lipids and lipid metabolism in eukaryotic algae." **Progress in Lipid Research.** 45 : 160–186.
- Hadley, N.F. 1985. "The adaptive role of lipids in biological systems." **Wiley, New York.**
- Ho, S., Huang, S., Chen, C., Hasunuma, T., Kondo, A. and Chang, J. S. 2010. "Characterization and optimization of carbohydrate production from an indigenous microalga *Chlorella vulgaris* FSP-E." **Bioresource Technology.** 135 : 157–165.
- Hu, Q. 2004. "Environmental effects on cell composition. In: Richmond A(ed) Handbook of microalgal culture." **Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Science, London.,** 83–94.
- Hu, Q., Sommerfeld, M., Jarvis, E., Ghirardi, M., Posewitz, M., Seibert, M. and Darzins, A. 2008. "Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances." **The Plant Journal.** 54 : 621–639.
- Hulatt, C.J., Lakaniemi A.M., Puhakka, J.A. and David, N. T. 2012. "Energy demands of nitrogen supply in mass cultivation of two commercially important microalgal species, *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella tertiolecta* ." **BioEnergy Research.** 3 : 669-684.
- Kim, M.K., Park, J.W., Park, C.S., Kim, S.J., Jeune, K.H., Chang, M.U. and Acreman, J. 2007. "Enhanced production of *Scenedesmus* spp. (green microalgae) using a new medium containing fermented swine wastewater." **Bioresource Technology.** 98 : 2220-2228.

- Kirrolia, A. Anita, K., Narsi, R.B. and Namita, S. 2011. "Salinity as a factor affecting the physiological and biochemical traits of *Scenedesmus quadricauda*." **Journal of Algal Biomass Utilization**. 2 (4): 28-34.
- Knothe, G. 2005. "Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters." **Fuel Processing Technology**. 86 : 1059-1070.
- Knothe, G. 2009. "Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty ester composition." **Energy and Environmental Science**. 2: 759-766.
- Li, Y. and Qin, J.G. 2005. "Comparison of growth and lipid content in three *Botryococcus braunii* strains." **Journal of Applied Phycology**. 17 : 551-556.
- Liang, K., Zhang, Q., Gu, M. and Cong, W. 2013. "Effect of phosphorus on lipid accumulation in freshwater microalga *Chlorella* sp.." **Journal of Applied Phycology** 25 : 311-318.
- Lin, Q. and Lin, J. 2011. "Biomass and oil productivity of a *Scenedesmus rubescens*-like microalga, a promising candidate for biodiesel production." **Bioresource Technol.**102:1615-1621
- Liu, J., Yuan, C., Hu, G. and Li, F. 2012. "Effects of light intensity on the growth and lipid accumulation of microalga *Scenedesmu* spp. 11-1 under nitrogen limitation." **Applied Biochemistry and Biotechnology**. 166 : 2127-2137.
- Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J. 1951. "Protein measurement which the folin phenol reagent." **The Journal of Biological Chemistry**. 193:265-275.
- Lucas-Salas, L.M., Castrillo, M. and Martínez, D. 2013. "Effects of dilution rate and water reuse on biomass and lipid production of *Scenedesmu sobliquus* in a two-stage novel photobioreactor." **Bioresource Technology**. 143 : 344-352.
- Lupi, F.M., Fernandes, H.M.L., Tome, M.M., Saá-Correia, I. and Novais, J.M. 1994. "Influence of nitrogen source and photoperiod on exopolysaccharide synthesis by the microalga *Botryococcus braunii* UC 58." **Enzyme and Microbial Technology**. 16 : 546-550.
- Mandal, S. and Mallick, N. 2009. "Microalga *Scenedesmus obliquus* as a potential source for biodiesel production." **Applied Microbiology and Biotechnology**. 84 : 281-291.

- Mata, M.T., Antonio, A.M. and Nidia, S.C. 2010. "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review." **Renewable and Sustainable Energy**. 14 : 217-232.
- Metzger, P. and Largeau, C. 2005. "*Botryococcus braunii*: a rich source for hydrocarbons and related ether lipids." **Applied Microbiology and Biotechnology**. 66 (5) : 486-496.
- Miao, X and Wu, Q. 2006. "Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil." **Bioresour Technol**. 97 : 841-846.
- Moazami, N., Ranjbar, R., Alireza, A., Tangestani, M. and Nejad, A.S. 2011. "Biomass and lipid productivities of marine microalgae isolated from the Persian Gulf and the Qeshm Island." **Biomass and Bioenergy**. 35 : 1935-1939.
- Neill, S.J., Desikan, R. and Hancock, J.T. 2003. "Nitric oxide signalling in plants." **New Phytologist Journal**. 159 : 11-35.
- Nguyen, S., Duc, T., Sixto, P. and Trung, V. 2014. "Medium improvement for higher growth and longer stationary phase of *Dunaliella*." **Journal of Plant Sciences**. 2 (1): 9-13.
- Ortega, P., Grimm, B. and Ortega, E. 2014. "Evolutionary, physiological and biotechnological aspects of ferrochelatase and heme in higher plants." **Biotecnologia Aplicada**. 31(3) : 176-186.
- Pearson, H. 2003. "Microbial interactions in facultative and maturation ponds in Handbook of Water and Wastewater Microbiology (Ed. D. Mara and N. Horan)." **Academic press, London**, pp. 449-458 .
- Prabakaran, P. and Ravindran, A.D. 2012. "Influence of different carbon and nitrogen sources on growth and CO₂ fixation of microalgae." **Advances in Applied Science Research**. 3 : 1714-1717.
- Prescott, G. W. 1962. **Algae of the western Great Lakes area**. W. C. Brown. Co. 977 pp. Pls. 1-136.
- Prochazkova, G., Irena, B., Vilem, Z. and Tomas, B. 2014. "Effect of nutrient supply status on biomass composition of eukaryotic green microalgae." **The Journal of Applied Phycology**. 26 : 1359-1377.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pruvost, J., Van Vooren, G., Gouic, B.L., Couzinet-Mossion, A. and Legrand, J. 2012. “Systematic investigation of biomass and lipid productivity by microalgae in photobioreactors for biodiesel application.” **Bioresource Technology**. 102 : 150-158.
- Rao, A.R., Dayananda, C., Sarada, R., Shamala, T.R. and Ravishankar, G.A. 2007. “Effect of salinity on growth of green alga *Botryococcus braunii* and its constituents.” **Bioresource Technology**. 98 : 560–564.
- Rebeille, F., Bligny, R. and Douce, R. 1984. “Is the cytosolic pi concentration a limiting factor for plant cell respiration.” **Plant Physiology**. 74 : 355–359.
- Rigobello, M., Masini J.C. and Aidar, E. 2006. “The profiles of nitrate reductase and carbonic anhydrase activity in batch cultivation of the marine microalgae *Tetraselmis gracilis* growing under different aeration conditions.” **FEMS Microbiology Ecology**. 57 (1) : 18-25.
- Ruangsomboon, 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.
- Ruangsomboon, S., Ganmanee, M. and Choochote, S. 2013. “Effects of different nitrogen, phosphorus, and iron concentration sandsalinity on lipid production in newly isolated strain of the tropical green microalga, *Scenedesmus dimorphus* KMITL.” **Journal of Applied Phycology**. 25:867-874.
- Sawayama, S., Inoue, S., and Yokoyama, S. 1995. “Phylogenetic position of *Botryococcus braunii* based on small subunit of ribosomal RNA sequence data.” **Journal of Phycology**. 31: 419-420.
- Sforza, E., Barbara, G., Carlos E. de Farias, S., Tomas, M., and Alberto, B. 2014. “Effects of light on cultivation of *Scenedesmus Obliquus* in batch and continuous flat plate photobioreactor.” **Chemical Engineering Transaction**. 38:211–217.
- Shen, Y., Pei, Z., Yuan, W. and Mao, E. 2009. “Effect of nitrogen and extraction method on algae lipid yield.” **International journal of agricultural and biological engineering**. 2 (1) : 51-57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sigee, D.C., Bahrami, F., Estrada, B., Webster, R.E. and Dean, A.P. 2007. "The influence of phosphorus availability on carbon allocation and P quota in *Scenedesmus subspicatus*: a synchrotron-based FTIR analysis." **Phycologia**. 46 : 583–592.
- Singh, J. and Gu, S. 2010. "Commercialization potential of microalgae for biofuels production. Renewable and Sustainable." **Energy Reviews**. 14 : 2596-2610.
- Sydney, E.B., Sturm, W., Dde Carvalho, J.C., Thomaz-Soccol, V., Larroche, C., Pandey, A. and Soccol, C.R. 2010. "Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae." **Bioresource Technology**. 101: 5892-5896.
- Talukdar, J., Kalita, M.C., and Goswami, B.C. 2013. "Characterization of the biofuel potential of a newly isolated strain of the microalga *Botryococcus braunii* Kützing from Assam." **Bioresource Technology**. 149 : 268-275.
- Tong, D., Hu, C., Jiang, K. and Yuesong, L. 2011. "Cetane number prediction of biodiesel from the composition of the fatty acid methyl esters." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 88:415–423.
- Um, B.H. and Kim, Y.S. 2009. "Review: A chance for Korea to advance algal-biodiesel technology." **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 15 : 1-7.
- Velichkova, K., Sirakov, I. and Georgiev, G. 2013. "Cultivation of *Scenedesmus dimorphus* strain for biofuel production." **Agricultural science and technology**. 2 : 181-185.
- Venkatesan, S., Munuswamy, S. S., Duraisamy, J., Chinnasamy, S., Sailendra, B. and Ramasamy, R. 2013. "Effects of nitrate and phosphate on total lipid content and pigment production in *Botryococcus braunii* Kützing KM-104." **Journal of Academia and Industrial Research**. 1 (12) : 820-825.
- Vitosh, M.L. 1996. **N-P-K fertilizer**. Reprint July : 1-6. Michigan State University Extension Extension Bulletin.
- Watanabe, H., Li, D., Nakagawa, Y., Tomishige, K., Kaya, K. and Watanabe, M.M. 2014. "Characterization of oil-extracted residue biomass of *Botryococcus braunii* as a biofuel feedstock and its pyrolytic behavior." **Applied Energy**. 132 : 475-484.

- Wen, X., Geng, Y. and Li, Y. 2014. "Enhanced lipid production in *Chlorella pyrenoidosa* by continuous culture." **Bioresource Technology**. 161: 297-303.
- Wyatt, V.T., Hess, M.A., Dunn, R.O., Foglia, T.A., Hass, M.J. and Marmer, W.N. 2005. "Fuel properties and nitrogen oxide emission levels of biodiesel produced from animal fats." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 82(8) : 585-591.
- Xin, L., Hong-ying, H., Ke, G. and Ying-Xue, S. 2010. "Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus* sp.." **Bioresource Technology**. 101 : 5494-5500.
- 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(1,) : 71-74.
- Zachleder, V., Ballin, G., Doucha, J. and Šetlík, I. 1988. "Macromolecular syntheses and the course of cell cycle events in the chlorococcal alga *Scenedesmus quadricauda* under nutrient starvation: effect of phosphorus starvation." **Biologia Plantarum**. 30 : 92-99.
- Zeng, X., Michael, K. D., Xiao, D. C. and Yinghua, L. "Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production." **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 15 : 3252-3260.
- Zhou, X., MeiGe, H., Xia, L., Zhang, D. and Hu, C. 2013. "Evaluation of oil producing algae as potential biodiesel feedstock." **Bioresource Technology**. 134 : 24-29.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	0.97±0.01 ^{aF}	0.89±0.03 ^{aCD}	0.85±0.07 ^{aCD}	0.90±0.02 ^{aCDEF}	0.95±0.03 ^{aCD}
2	0.48±0.06 ^{aAB}	0.47±0.05 ^{aAB}	0.36±0.02 ^{aA}	0.36±0.02 ^{aAB}	0.47±0.05 ^{aAB}
4	0.45±0.01 ^{aA}	0.34±0.06 ^{aA}	0.29±0.09 ^{aA}	0.31±0.04 ^{aA}	0.28±0.06 ^{aA}
6	0.51±0.04 ^{aAB}	0.55±0.04 ^{aB}	0.59±0.04 ^{aB}	0.54±0.08 ^{aABC}	0.84±0.21 ^{aCD}
8	0.62±0.03 ^{aBC}	0.59±0.01 ^{aB}	0.66±0.06 ^{aBC}	0.58±0.05 ^{aBCD}	0.70±0.04 ^{aBC}
10	0.87±0.07 ^{aDEF}	0.89±0.09 ^{aCD}	0.89±0.05 ^{aD}	0.75±0.06 ^{aCDE}	0.75±0.06 ^{aCD}
12	0.79±0.06 ^{aDE}	0.75±0.03 ^{aC}	0.99±0.05 ^{aDE}	0.83±0.06 ^{aDEF}	0.79±0.03 ^{bCD}
14	0.71±0.03 ^{aCD}	0.75±0.04 ^{abC}	1.07±0.13 ^{bDE}	1.03±0.17 ^{abDEF}	0.99±0.07 ^{abD}
16	0.71±0.03 ^{aCD}	0.77±0.01 ^{aC}	1.14±0.03 ^{bE}	1.07±0.03 ^{bEF}	1.03±0.10 ^{bD}
18	0.90±0.08 ^{aEF}	0.95±0.05 ^{aD}	0.93±0.01 ^{aDE}	0.99±0.09 ^{aDEF}	0.92±0.03 ^{aC}
20	1.13±0.08 ^{aG}	1.31±0.08 ^{abE}	1.53±0.12 ^{bF}	1.50±0.09 ^{bG}	1.61±0.09 ^{bF}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงใน
อาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	1.37 ± 0.11 ^{bA}	0.94 ± 0.06 ^{aA}	1.06 ± 0.09 ^{abA}	1.23 ± 0.16 ^{abA}	1.08 ± 0.07 ^{abA}
2	3.92 ± 0.57 ^{aAB}	5.09 ± 0.05 ^{bB}	3.95 ± 0.30 ^{aB}	5.81 ± 0.15 ^{bB}	5.73 ± 0.07 ^{bB}
4	5.50 ± 0.23 ^{aBC}	9.50 ± 0.52 ^{abCD}	8.83 ± 0.39 ^{abC}	11.24 ± 0.97 ^{bcD}	14.07 ± 2.46 ^{cCD}
6	7.40 ± 1.21 ^{aBCD}	10.20 ± 0.62 ^{abCDE}	9.86 ± 1.00 ^{abCD}	11.01 ± 0.67 ^{bD}	11.29 ± 1.48 ^{bCD}
8	7.69 ± 1.75 ^{aBCD}	11.31 ± 1.17 ^{abCDEF}	13.19 ± 0.85 ^{bEF}	13.67 ± 1.00 ^{bE}	12.93 ± 1.17 ^{bCD}
10	6.86 ± 1.74 ^{aBCD}	11.39 ± 1.16 ^{bCDEF}	14.33 ± 1.17 ^{bEFG}	14.01 ± 0.08 ^{bE}	14.19 ± 1.32 ^{bCD}
12	7.37 ± 1.74 ^{aBCD}	11.89 ± 1.16 ^{bDEF}	14.83 ± 1.17 ^{bFG}	14.51 ± 0.08 ^{bEF}	14.70 ± 1.32 ^{bCD}
14	7.79 ± 1.67 ^{aBCD}	12.37 ± 1.14 ^{bEF}	15.30 ± 1.13 ^{bFG}	15.02 ± 0.08 ^{bEF}	15.19 ± 1.19 ^{bD}
16	8.60 ± 1.67 ^{aCD}	13.21 ± 1.14 ^{bF}	16.13 ± 1.13 ^{bG}	15.88 ± 0.09 ^{bF}	14.91 ± 1.38 ^{bCD}
18	8.54 ± 0.15 ^{aCD}	8.94 ± 0.31 ^{abC}	9.72 ± 0.02 ^{cCD}	9.40 ± 0.18 ^{bcC}	10.84 ± 0.02 ^{dC}
20	10.44 ± 0.15 ^{aCD}	10.90 ± 0.27 ^{abCDEF}	11.85 ± 0.06 ^{cDE}	11.39 ± 0.19 ^{bcD}	12.71 ± 0.07 ^{dCD}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 3 แคลโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	0.30 ± 0.00 ^{aA}	0.50 ± 0.00 ^{abA}	0.46 ± 0.00 ^{abA}	0.45 ± 0.00 ^{abA}	0.52 ± 0.00 ^{ba}
2	1.01 ± 0.00 ^{abC}	1.22 ± 0.00 ^{abBC}	1.31 ± 0.00 ^{abABC}	1.60 ± 0.00 ^{abBC}	1.71 ± 0.00 ^{bc}
4	1.59 ± 0.00 ^{aEF}	1.49 ± 0.00 ^{aC}	1.46 ± 0.00 ^{aABC}	1.38 ± 0.00 ^{ab}	1.41 ± 0.00 ^{abC}
6	0.87 ± 0.00 ^{aB}	0.82 ± 0.00 ^{aAB}	1.15 ± 0.00 ^{aABC}	1.20 ± 0.00 ^{ab}	0.88 ± 0.00 ^{aAB}
8	1.38 ± 0.00 ^{aCDE}	1.50 ± 0.00 ^{aC}	1.93 ± 0.00 ^{aBC}	1.43 ± 0.00 ^{ab}	1.27 ± 0.00 ^{abC}
10	1.49 ± 0.00 ^{aDE}	1.19 ± 0.00 ^{aBC}	1.80 ± 0.00 ^{aBC}	1.54 ± 0.00 ^{aBC}	1.31 ± 0.00 ^{abC}
12	0.93 ± 0.00 ^{aB}	0.93 ± 0.00 ^{aABC}	0.89 ± 0.00 ^{aAB}	1.22 ± 0.00 ^{ab}	0.98 ± 0.00 ^{aAB}
14	1.05 ± 0.00 ^{aBC}	0.93 ± 0.00 ^{aABC}	1.17 ± 0.00 ^{aABC}	0.95 ± 0.00 ^{aAB}	1.22 ± 0.00 ^{abC}
16	1.14 ± 0.00 ^{aBCD}	1.17 ± 0.00 ^{aBC}	1.42 ± 0.00 ^{abABC}	2.18 ± 0.00 ^{cCD}	1.73 ± 0.00 ^{bc}
18	1.93 ± 0.00 ^{aF}	2.19 ± 0.00 ^{aD}	2.27 ± 0.00 ^{abC}	2.46 ± 0.00 ^{abD}	2.85 ± 0.00 ^{bd}
20	2.75 ± 0.00 ^{aG}	2.77 ± 0.00 ^{aE}	3.69 ± 0.00 ^{aD}	3.35 ± 0.00 ^{aE}	2.71 ± 0.00 ^{ad}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	22.29±0.68 ^{cA}	14.53±1.08 ^{abA}	20.72±4.13 ^{bcA}	22.29±1.61 ^{cA}	12.74±2.04 ^{aA}
2	48.17±8.6 ^{aAB}	49.74±14.7 ^{aAB}	35.86±2.71 ^{aA}	54.88±6.35 ^{aA}	37.06±1.31 ^{aA}
4	40.79±5.35 ^{aAB}	42.35±8.68 ^{aAB}	29.15±8.8 ^{aA}	45.04±7.36 ^{aA}	37.73±3.13 ^{aA}
6	36.46±4.65 ^{aA}	43.84±6.33 ^{aAB}	52.42±7.13 ^{aAB}	53.54±1.96 ^{aA}	51.0±7.76 ^{aA}
8	63.09±8.76 ^{aAB}	53.24±3.31 ^{aAB}	63.91±1.29 ^{aAB}	49.06±4.87 ^{aA}	64.58±3.63 ^{aA}
10	48.91±5.30 ^{aAB}	61.07±5.55 ^{abAB}	73.68±3.33 ^{bAB}	65.99±3.62 ^{bA}	51.15±0.34 ^{aA}
12	94.41±2.63 ^{ab}	141.92±27.19 ^{abAB}	130.81±3.97 ^{abBC}	118.72±9.62 ^{abAB}	154.45±20.74 ^{ba}
14	163.02±11.15 ^{aC}	162.13±15.08 ^{ab}	202.1±20.59 ^{aC}	189.27±5.56 ^{ab}	173.76±25.70 ^{aA}
16	492.92±12.93 ^{ad}	572.73±52.78 ^{aC}	858.38±40.60 ^{bd}	601.81±31.01 ^{aC}	818.1±91.96 ^{bb}
18	997.85±44.97 ^e	1169.39±62.04 ^{abcd}	1405.07±59.27 ^{bcF}	1123.9±107.89 ^{abd}	1443.11±149.60 ^{cd}
20	976.97±23.92 ^{aE}	1048.57±114.53 ^{abd}	1255.16±53.51 ^{bE}	1093.32±20.17 ^{abd}	1245.47±55.45 ^{bc}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 5 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	33.12±0.30 ^{aA}	21.04±3.69 ^{aA}	28.48±3.05 ^{aA}	27.34±5.63 ^{aA}	24.76±3.94 ^{aA}
2	18.76±0.84 ^{abA}	22.40±1.18 ^{abA}	16.99±1.37 ^{aA}	23.62±3.00 ^{bcA}	29.66±2.39 ^{cAB}
4	20.79±2.14 ^{aA}	20.54±3.01 ^{aA}	25.86±1.56 ^{aA}	26.36±2.24 ^{aA}	24.59±3.97 ^{aA}
6	35.53±3.71 ^{aA}	43.34±2.45 ^{aA}	39.45±2.42 ^{aAB}	43.08±2.38 ^{aA}	40.47±2.50 ^{aAB}
8	56.43±2.90 ^{aA}	50.3±3.64 ^{aA}	58.45±2.14 ^{aAB}	50.94±1.04 ^{aA}	61.79±8.48 ^{aAB}
10	41.06±3.61 ^{aA}	57.06±7.74 ^{abA}	73.65±1.14 ^{bB}	64.15±6.54 ^{bA}	70.70±8.76 ^{bAB}
12	55.08±1.49 ^{aA}	81.97±15.40 ^{abA}	75.68±2.25 ^{abB}	68.84±5.45 ^{abA}	89.07±11.75 ^{bB}
14	148.66±0.89 ^{abB}	200.59±5.32 ^{bcB}	217.48±1.16 ^{cC}	212.75±7.30 ^{cB}	192.23±7.14 ^{bc}
16	330.35±57.52 ^{aC}	343.44±39.49 ^{aC}	538.09±4.03 ^{bD}	454.49±44.94 ^{abC}	508.11±55.56 ^{bD}
18	310.08±0.84 ^{aC}	439.29±75.86 ^{bD}	634.78±39.82 ^{cE}	451.53±21.16 ^{bC}	608.18±20.87 ^{cE}
20	449.42±4.98 ^{bD}	397.91±6.39 ^{aCD}	571.02±15.64 ^{dD}	462.09±4.16 ^{bcC}	479.40±5.99 ^{cD}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

กรดไขมัน	N = 0.17 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.04	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
Caproic Acid	C6:0	0.29	1.83	0.00	0.27	0.97	2.26
Caprylic Acid	C8:0	0.83	1.26	0.69	0.61	3.25	0.97
Capric Acid	C10:0	1.18	3.51	0.85	3.69	2.61	0.44
Undecanoic Acid	C11:0	1.90	2.57	2.07	0.00	3.46	0.55
Lauric Acid	C12:0	9.17	8.89	8.01	2.71	12.58	8.08
Tridecanoic Acid	C13:0	9.19	7.71	10.37	9.24	7.47	1.29
Myristic Acid	C14:0	3.39	3.98	2.86	5.00	5.02	2.41
Myristoleic Acid	C14:1	0.54	1.95	1.40	0.82	2.35	0.36
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.54	2.06	0.93	1.76	2.03	3.21
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.90	1.56	0.00	0.93	1.25	0.34
Palmitic Acid	C16:0	38.74	35.64	44.55	49.90	33.38	57.26
Palmitoleic Acid	C16:1	4.90	4.08	2.06	2.02	4.45	5.16
Heptadecanoic Acid	C17:0	2.13	1.80	2.25	1.23	1.34	2.93
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	2.63	1.27	0.00	0.00	0.87	0.00
Stearic Acid	C18:0	9.17	10.35	5.04	14.43	10.10	0.22
Elaidic Acid	C18:1n9t	3.07	2.54	2.56	4.35	3.99	0.00
Oleic Acid	C18:1n9c	5.13	1.91	4.43	1.93	1.32	6.28
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.58	0.31	0.44	0.00	0.15	0.00
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.30	0.64	6.93	0.00	0.73	3.83
Linolenic Acid	C18:3n3	1.77	1.08	2.84	0.51	0.47	3.52
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	1.20	0.89	1.42	0.00	0.52	0.00
Arachidic Acid	C20:0	0.00	0.36	0.00	0.00	0.17	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.19	0.33	0.29	0.00	0.32	0.00
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.19	0.26	0.00	0.00	0.19	0.00
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.04	0.10	0.00	0.00	0.09	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.20	0.41	0.00	0.00	0.21	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.11	0.08	0.00	0.00	0.02	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.44	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.05	0.23	0.00	0.00	0.16	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.34	0.16	0.00	0.00	0.03	0.12
Erucic Acid	C22:1n9	0.46	0.59	0.00	0.00	0.19	0.44
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	0.40	0.37	0.00	0.58	0.31	0.34
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		77.35	81.58	77.62	89.43	82.87	80.08
Unsaturated fatty acid		22.65	18.42	22.38	10.57	17.13	19.92
Monounsaturated fatty acid		17.82	14.26	10.74	10.06	14.74	12.57
Polyunsaturated fatty acid		4.83	4.15	11.64	0.51	2.39	7.35
C16-C18		69.62	60.52	72.53	74.37	57.33	79.21
C10:0-C18:2		93.45	90.80	94.76	98.02	93.09	92.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

N = 0.34 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.29	0.00	0.00	2.84	0.46	2.73
C8:0	0.83	0.00	0.65	1.06	2.83	0.90
C10:0	1.18	1.31	0.00	1.94	1.84	0.17
C11:0	1.90	0.62	1.77	2.85	3.50	0.48
C12:0	9.17	3.10	3.46	6.50	11.29	9.44
C13:0	9.19	6.32	5.54	1.19	7.78	1.19
C14:0	3.39	10.44	2.99	4.41	3.84	1.86
C14:1	0.54	5.66	0.80	1.16	2.15	0.70
C15:0	0.54	2.76	0.65	1.45	2.14	1.90
C15:1	0.90	1.48	0.00	0.59	1.25	0.47
C16:0	38.74	52.49	51.78	35.18	36.24	53.53
C16:1	4.90	3.07	5.56	3.56	3.68	5.90
C17:0	2.13	1.36	1.41	1.82	1.70	2.64
C17:1	2.63	0.00	0.00	0.46	0.86	0.00
C18:0	9.17	10.07	6.09	11.33	12.91	1.06
C18:1n9t	3.07	0.31	2.56	7.07	2.91	0.00
C18:1n9c	5.13	0.44	8.93	2.40	0.98	6.50
C18:2n6t	0.58	0.03	1.31	0.68	0.10	0.00
C18:2n6c	0.30	0.33	4.29	0.68	1.08	5.25
C18:3n3	1.77	0.15	1.46	0.50	0.44	3.79
C18:3n6	1.20	0.06	0.00	0.36	0.50	0.00
C20:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.15
C20:1	0.19	0.00	0.00	5.08	0.43	0.00
C20:2	0.19	0.00	0.00	2.31	0.14	0.00
C20:3n3	0.04	0.00	0.00	0.18	0.08	0.00
C20:3n6	0.20	0.00	0.19	1.24	0.22	0.08
C20:4n6	0.11	0.00	0.16	0.00	0.03	0.00
C:20:5n3	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
C21:0	0.05	0.00	0.00	0.96	0.00	0.28
C22:0	0.34	0.00	0.00	0.48	0.07	0.25
C22:1n9	0.46	0.00	0.21	0.28	0.24	0.45
C22:2	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	0.40	0.00	0.19	0.36	0.15	0.17
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	77.35	88.46	74.53	72.37	84.90	76.75
Unsaturated fatty acid	22.65	11.54	25.47	27.63	15.10	23.25
Monounsaturated fatty acid	17.82	10.96	18.07	20.59	12.51	14.02
Polyunsaturated fatty acid	4.83	0.58	7.40	7.03	2.60	9.23
C16-C18	69.62	68.32	83.39	64.05	61.41	78.67
C10:0-C18:2	93.45	99.79	97.14	83.26	94.27	91.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

N = 0.51 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.04	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00
C6:0	0.29	0.00	0.00	0.42	0.50	3.45
C8:0	0.83	0.00	0.00	2.60	0.86	0.99
C10:0	1.18	0.29	1.10	0.00	1.41	0.29
C11:0	1.90	0.97	1.87	3.43	4.64	0.58
C12:0	9.17	6.14	7.64	12.54	9.22	9.36
C13:0	9.19	1.92	1.17	9.10	1.93	1.11
C14:0	3.39	1.84	4.83	4.75	4.25	1.87
C14:1	0.54	1.11	0.00	1.97	2.77	0.57
C15:0	0.54	0.00	1.39	1.78	3.04	1.55
C15:1	0.90	0.44	0.00	0.67	1.56	0.80
C16:0	38.74	41.97	56.27	41.93	38.76	48.79
C16:1	4.90	8.27	4.10	1.80	5.93	4.47
C17:0	2.13	2.02	1.23	1.58	1.64	2.95
C17:1	2.63	0.00	0.39	0.15	1.22	0.00
C18:0	9.17	8.54	11.51	7.50	11.32	1.84
C18:1n9t	3.07	2.97	5.99	7.37	5.35	0.11
C18:1n9c	5.13	14.79	1.88	0.00	1.88	7.88
C18:2n6t	0.58	1.59	0.00	1.01	0.16	0.00
C18:2n6c	0.30	0.00	0.00	0.00	0.73	7.13
C18:3n3	1.77	3.03	0.64	0.54	0.00	5.84
C18:3n6	1.20	2.19	0.00	0.43	0.55	0.00
C20:0	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.18
C20:1	0.19	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
C20:2	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.04	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
C20:3n6	0.20	0.17	0.00	0.00	0.26	0.00
C20:4n6	0.11	0.25	0.00	0.00	0.05	0.00
C20:5n3	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.34	0.39	0.00	0.00	0.43	0.25
C22:1n9	0.46	0.43	0.00	0.11	0.18	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	0.40	0.39	0.00	0.31	0.19	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	77.35	64.75	87.00	85.95	78.70	73.20
Unsaturated fatty acid	22.65	35.25	13.00	14.05	21.30	26.80
Monounsaturated fatty acid	17.82	28.02	12.37	12.06	19.29	13.83
Polyunsaturated fatty acid	4.83	7.23	0.64	1.99	2.01	12.97
C16-C18	69.62	85.37	82.01	62.31	67.53	79.02
C10:0-C18:2	93.45	92.86	99.36	95.58	95.79	89.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ทางด้านวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

N = 0.68 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.29	0.49	0.00	0.35	0.00	1.86
C8:0	0.83	1.31	0.87	0.00	2.02	0.00
C10:0	1.18	1.21	0.89	1.10	2.65	0.32
C11:0	1.90	1.55	3.08	2.62	3.46	0.63
C12:0	9.17	9.10	8.87	11.73	11.65	10.30
C13:0	9.19	6.63	7.95	4.14	7.97	1.19
C14:0	3.39	3.45	4.99	3.70	4.05	2.01
C14:1	0.54	2.22	1.81	0.68	2.27	0.72
C15:0	0.54	2.11	1.44	1.37	2.32	0.93
C15:1	0.90	1.32	0.00	0.73	1.29	0.00
C16:0	38.74	40.93	54.23	46.29	35.67	50.24
C16:1	4.90	5.05	2.10	2.10	4.59	4.99
C17:0	2.13	3.26	1.89	1.33	1.39	2.84
C17:1	2.63	1.94	0.00	0.00	1.09	0.00
C18:0	9.17	8.57	2.95	10.45	9.43	1.95
C18:1n9t	3.07	2.36	3.85	7.28	4.67	0.00
C18:1n9c	5.13	2.69	2.54	2.53	1.78	9.44
C18:2n6t	0.58	0.36	0.32	0.13	0.26	0.00
C18:2n6c	0.30	0.75	0.00	1.54	0.62	6.77
C18:3n3	1.77	1.91	2.23	0.74	0.36	5.07
C18:3n6	1.20	1.00	0.00	0.43	0.36	0.00
C20:0	0.00	0.02	0.00	0.00	0.08	0.00
C20:1	0.19	0.15	0.00	0.14	0.60	0.00
C20:2	0.19	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.20	0.22	0.00	0.00	0.25	0.00
C20:4n6	0.11	0.10	0.00	0.20	0.28	0.00
C:20:5n3	0.44	0.16	0.00	0.00	0.05	0.00
C21:0	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.34	0.22	0.00	0.43	0.20	0.12
C22:1n9	0.46	0.33	0.00	0.00	0.41	0.39
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
C24:0	0.40	0.32	0.00	0.00	0.21	0.13
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	77.35	79.28	87.15	83.51	81.11	72.63
Unsaturated fatty acid	22.65	20.72	12.85	16.49	18.89	27.37
Monounsaturated fatty acid	17.82	16.06	10.30	13.45	16.71	15.53
Polyunsaturated fatty acid	4.83	4.65	2.55	3.04	2.19	11.84
C16-C18	69.62	68.83	70.11	72.82	60.23	81.30
C10:0-C18:2	93.45	93.51	96.90	97.71	95.18	92.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

N = 0.85 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.29	0.29	0.00	0.01	0.33	1.22
C8:0	0.83	0.44	0.69	1.15	2.72	0.41
C10:0	1.18	0.99	2.19	1.79	3.55	0.20
C11:0	1.90	1.35	2.38	4.35	10.88	0.36
C12:0	9.17	3.38	5.71	11.13	11.79	9.90
C13:0	9.19	4.63	1.97	1.87	3.10	0.99
C14:0	3.39	3.42	7.33	5.21	4.17	1.19
C14:1	0.54	2.89	5.44	2.41	1.91	0.24
C15:0	0.54	1.37	2.12	1.89	1.85	1.22
C15:1	0.90	1.60	0.81	0.94	1.04	0.25
C16:0	38.74	47.87	57.17	45.23	33.88	47.13
C16:1	4.90	5.31	2.91	3.58	3.62	5.07
C17:0	2.13	2.90	1.97	1.94	1.28	3.10
C17:1	2.63	2.04	0.46	0.07	0.60	0.31
C18:0	9.17	8.83	7.29	9.34	10.49	2.00
C18:1n9t	3.07	1.60	0.00	6.09	5.49	0.00
C18:1n9c	5.13	4.09	0.00	0.00	0.00	10.28
C18:2n6t	0.58	0.63	0.61	0.00	0.00	0.00
C18:2n6c	0.30	0.78	0.98	0.38	0.64	8.16
C18:3n3	1.77	1.29	0.00	0.25	0.70	6.32
C18:3n6	1.20	1.24	0.00	0.00	0.00	0.55
C20:0	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.10
C20:1	0.19	0.39	0.00	0.98	0.36	0.00
C20:2	0.19	0.17	0.00	0.22	0.00	0.00
C20:3n3	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.20	0.21	0.00	0.18	0.00	0.00
C20:4n6	0.11	0.33	0.00	0.00	1.21	0.00
C:20:5n3	0.44	0.30	0.00	0.00	0.00	0.23
C21:0	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.34	0.20	0.00	0.30	0.00	0.06
C22:1n9	0.46	0.54	0.00	0.21	0.00	0.40
C22:2	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.15
C24:0	0.40	0.28	0.00	0.48	0.40	0.16
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	77.35	76.36	88.80	84.69	84.43	68.19
Unsaturated fatty acid	22.65	23.64	11.20	15.31	15.57	31.81
Monounsaturated fatty acid	17.82	18.46	9.61	14.28	13.03	16.55
Polyunsaturated fatty acid	4.83	5.18	1.59	1.03	2.54	15.26
C16-C18	69.62	76.59	71.38	66.88	56.72	82.93
C10:0-C18:2	93.45	93.69	99.31	96.22	94.30	90.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 7 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}
2	0.54±0.02 ^{bA}	0.66±0.01 ^{bB}	0.46±0.03 ^{bA}	0.52±0.05 ^{bA}	0.65±0.01 ^{bB}
4	0.59±0.09 ^{bA}	0.79±0.02 ^{cdB}	0.66±0.06 ^{cAB}	0.66±0.06 ^{cAB}	0.80±0.05 ^{cB}
6	0.68±0.03 ^{bA}	0.82±0.01 ^{dB}	0.83±0.07 ^{cdeB}	0.69±0.02 ^{cA}	0.90±0.02 ^{dB}
8	0.77±0.01 ^{bcA}	1.04±0.01 ^{ec}	1.09±0.02 ^{fgC}	0.76±0.03 ^{cA}	0.98±0.01 ^{deB}
10	0.97±0.09 ^{cdA}	1.26±0.03 ^{fb}	1.23±0.02 ^{ghB}	1.23±0.05 ^{eb}	1.05±0.03 ^{cA}
12	1.33±0.03 ^{ebC}	1.43±0.06 ^{gC}	1.30±0.04 ^{hb}	1.40±0.03 ^{fbC}	1.14±0.04 ^{fA}
14	1.47±0.03 ^{cb}	1.7±0.06 ^{hc}	1.33±0.13 ^{hAB}	1.42±0.02 ^{fb}	1.19±0.05 ^{fA}
16	1.06±0.23 ^{da}	0.78±0.04 ^{cdA}	0.99±0.03 ^{efA}	1.91±0.02 ^{gC}	1.52±0.04 ^{gB}
18	0.66±0.09 ^{bA}	0.70±0.02 ^{bcA}	0.87±0.03 ^{deB}	1.15±0.06 ^{deC}	0.9±0.02 ^{dB}
20	0.57±0.04 ^{bA}	0.62±0.01 ^{bAB}	0.74±0.09 ^{cdB}	1.04±0.04 ^{bAB}	0.62±0.01 ^{bAB}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}
2	0.36±0.03 ^{aA}	0.31±0.02 ^{aA}	0.31±0.01 ^{aA}	0.34±0.03 ^{aA}	0.29±0.01 ^{aA}
4	0.40±0.01 ^{bAB}	0.43±0.01 ^{bBC}	0.45±0.01 ^{bc}	0.39±0.01 ^{bA}	0.39±0.01 ^{cA}
6	0.45±0.01 ^{bcA}	0.62±0.01 ^{sc}	0.45±0.01 ^{bA}	0.46±0.01 ^{cA}	0.49±0.00 ^{dB}
8	0.48±0.01 ^{cdA}	0.64±0.01 ^{cdD}	0.61±0.01 ^{cc}	0.65±0.01 ^{cd}	0.51±0.01 ^{deB}
10	0.52±0.01 ^{deA}	0.67±0.01 ^{dc}	0.64±0.01 ^{cdB}	0.68±0.01 ^{cc}	0.53±0.01 ^{cA}
12	0.55±0.01 ^{efA}	0.79±0.10 ^{fc}	0.65±0.01 ^{db}	0.77±0.01 ^{fc}	0.57±0.01 ^{fA}
14	0.67±0.01 ^{gA}	0.93±0.02 ^{gd}	0.77±0.01 ^{fb}	0.84±0.01 ^{gC}	0.68±0.01 ^{gA}
16	0.73±0.00 ^{hA}	1.02±0.01 ^{gd}	0.85±0.01 ^{gb}	0.89±0.10 ^{hc}	0.72±0.01 ^{hA}
18	0.58±0.01 ^{fA}	0.90±0.01 ^{gd}	0.70±0.01 ^{cb}	0.77±0.01 ^{fc}	0.71±0.01 ^{hb}
20	0.34±0.03 ^{aA}	0.72±0.03 ^{cd}	0.64±0.01 ^{dc}	0.56±0.02 ^{db}	0.71±0.01 ^{ghCD}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 แครอทินอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	0.23±0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{aA}
2	0.24±0.01 ^{abAB}	0.25±0.01 ^{abB}	0.22±0.01 ^{aAB}	0.23±0.01 ^{aAB}	0.21±0.02 ^{aA}
4	0.39±0.04 ^{fA}	0.64±0.02 ^{fC}	0.68±0.06 ^{fC}	0.61±0.00 ^{hBC}	0.51±0.03 ^{gB}
6	0.29±0.00 ^{cdA}	0.39±0.00 ^{dB}	0.40±0.00 ^{dC}	0.43±0.00 ^{dD}	0.48±0.00 ^{fgE}
8	0.27±0.00 ^{abcB}	0.28±0.00 ^{bB}	0.29±0.00 ^{bC}	0.26±0.01 ^{bA}	0.26±0.01 ^{bAB}
10	0.35±0.00 ^{eb}	0.54±0.00 ^{ed}	0.54±0.00 ^{ed}	0.51±0.01 ^{gC}	0.20±0.00 ^{aA}
12	0.30±0.00 ^{cdA}	0.32±0.00 ^{cC}	0.34±0.00 ^{bcC}	0.31±0.00 ^{cdB}	0.39±0.00 ^{dE}
14	0.31±0.00 ^{cdA}	0.31±0.01 ^{cA}	0.34±0.00 ^{bcC}	0.33±0.00 ^{dB}	0.41±0.00 ^{deD}
16	0.32±0.00 ^{deA}	0.34±0.00 ^{cb}	0.36±0.00 ^{cdC}	0.40±0.01 ^{dD}	0.44±0.00 ^{efE}
18	0.29±0.00 ^{cdC}	0.23±0.00 ^{ab}	0.20±0.01 ^{aA}	0.29±0.00 ^{cdD}	0.30±0.00 ^{cdD}
20	0.28±0.00 ^{bcdB}	0.24±0.01 ^{aA}	0.24±0.00 ^{aA}	0.31±0.00 ^{cdC}	0.33±0.00 ^{cd}

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 10 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	46.65±0.57 ^{aA}	46.65±0.57 ^{aA}	46.65±0.57 ^{aA}	46.65±0.57 ^{aA}	46.65±0.57 ^{aA}
2	79.65±0.35 ^{bC}	76.41±0.28 ^{bB}	76.52±0.37 ^{cb}	67.24±0.37 ^{bA}	75.76±0.39 ^{bB}
4	108.23±0.32 ^{cb}	132.28±0.39 ^{de}	103.05±0.78 ^{dA}	111.68±0.32 ^{cC}	114.59±0.35 ^{bd}
6	113.40±0.32 ^{dA}	135.73±0.31 ^{ec}	121.82±0.37 ^{bB}	146.51±0.58 ^{ed}	148.13±0.27 ^{fe}
8	126.35±0.27 ^{eA}	151.23±0.35 ^{gC}	163.88±0.37 ^{gE}	149.53±0.18 ^{bB}	158.81±0.54 ^{gd}
10	152.12±0.39 ^{fA}	159.46±0.58 ^{hB}	170.13±0.21 ^{hC}	183.72±0.41 ^{hE}	182.10±0.12 ^{hd}
12	164.96±0.37 ^{gA}	164.42±0.28 ^{ia}	193.11±0.47 ^{ib}	199.25±0.44 ^{id}	195.05±0.12 ^{ic}
14	166.79±0.39 ^{hA}	177.36±0.28 ^{ib}	201.73±0.68 ^{ic}	206.05±0.18 ^{id}	257.71±0.44 ^{ke}
16	204.11±0.28 ^{ie}	182.54±0.28 ^{kc}	113.51±0.12 ^{eA}	162.58±0.44 ^{bB}	188.79±0.35 ^{id}
18	192.78±0.62 ^{ie}	141.55±0.28 ^{fc}	70.16±0.18 ^{ba}	115.35±0.27 ^{bd}	145.65±0.47 ^{ed}
20	165.28±0.28 ^{ge}	92.37±0.51 ^{cC}	69.83±0.37 ^{bb}	67.57±0.56 ^{ba}	97.55±0.45 ^{cd}

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ไนโตรเจน (กรัมต่อลิตร)				
	0.17	0.34	0.51	0.68	0.85
0	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}
2	26.68±0.11 ^{cA}	28.12±0.16 ^{bC}	27.86±0.12 ^{bBC}	29.50±0.06 ^{bD}	27.68±0.06 ^{bB}
4	27.62±0.09 ^{dA}	34.36±0.16 ^{cB}	43.16±0.16 ^{cD}	34.77±0.05 ^{cBC}	35.09±0.20 ^{cC}
6	35.86±0.06 ^{eA}	45.54±0.08 ^{dD}	51.40±0.13 ^{dE}	41.86±0.18 ^{eC}	40.27±0.13 ^{dB}
8	39.80±0.07 ^{gA}	48.87±0.1 ^{fC}	53.01±0.05 ^{fE}	51.93±0.07 ^{gF}	44.77±0.13 ^{eB}
10	50.63±0.09 ^{iB}	57.72±0.11 ^{hE}	53.90±0.10 ^{gD}	52.98±0.15 ^{hC}	46.92±0.06 ^{fA}
12	67.11±0.09 ^{jd}	69.52±0.09 ^{ie}	60.78±0.21 ^{iC}	55.90±0.31 ^{iB}	52.87±0.09 ^{hA}
14	67.90±0.17 ^{kC}	71.20±0.06 ^{kd}	67.58±0.11 ^{jC}	55.90±0.31 ^{jB}	52.87±0.23 ^{iA}
16	49.13±0.07 ^{hA}	59.69±0.07 ^{ie}	71.20±0.06 ^{kd}	58.31±0.05 ^{kC}	56.40±0.09 ^{jB}
18	36.71±0.06 ^{fA}	52.60±0.08 ^{gd}	58.25±0.11 ^{hE}	49.04±0.10 ^{fC}	47.72±0.11 ^{gB}
20	24.30±0.15 ^{bA}	36.86±0.13 ^{dB}	52.45±0.07 ^{eE}	38.51±0.24 ^{dC}	40.10±0.06 ^{dD}

สัญลักษณ์ภายในวงกลมที่ใหญ่มากในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในวงกลมที่เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของไนโตรเจนแตกต่างกัน

กรดไขมัน	N = 0.17 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.33
Caproic Acid	C6:0	0.00	0.78	0.66	0.00	1.26	0.44
Caprylic Acid	C8:0	0.00	0.93	0.67	1.45	2.63	3.02
Capric Acid	C10:0	0.86	1.32	2.79	3.53	3.67	4.78
Undecanoic Acid	C11:0	1.69	2.60	4.68	4.87	9.83	9.82
Lauric Acid	C12:0	0.86	6.48	11.22	10.94	2.67	1.39
Tridecanoic Acid	C13:0	1.12	1.49	3.51	4.17	2.64	2.14
Myristic Acid	C14:0	4.27	3.32	4.42	3.80	4.42	3.11
Myristoleic Acid	C14:1	1.18	1.61	2.89	4.31	5.25	5.29
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.68	1.34	1.59	1.06	1.41	1.46
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.57	0.78	1.02	0.77	1.03	1.87
Palmitic Acid	C16:0	23.90	37.06	38.17	32.72	32.37	29.35
Palmitoleic Acid	C16:1	6.86	7.99	5.88	7.19	8.05	7.36
Heptadecanoic Acid	C17:0	3.35	1.13	1.33	1.35	1.39	1.22
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	9.09	1.44	1.70	2.09	2.36	1.34
Stearic Acid	C18:0	0.65	7.34	3.68	2.81	3.62	4.50
Elaidic Acid	C18:1n9t	7.24	2.96	0.44	0.24	10.56	9.79
Oleic Acid	C18:1n9c	6.17	5.67	9.61	9.04	3.90	0.29
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	8.19	7.11	2.43	5.70	0.54	3.79
Linoleic Acid	C18:2n6c	3.04	0.29	0.00	0.00	0.00	0.43
Linolenic Acid	C18:3n3	0.00	0.75	1.51	2.32	0.00	0.00
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.00	1.08	0.59	0.52	1.91	1.41
Arachidic Acid	C20:0	6.23	2.64	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.67	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.00	1.63	1.21	0.00	0.00	0.00
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	1.33	0.00	1.15	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	6.89
Lignoceric Acid	C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		56.98	66.65	72.73	66.69	66.40	68.45
Unsaturated fatty acid		43.02	33.35	27.27	33.31	33.60	31.55
Monounsaturated fatty acid		31.79	20.55	21.53	23.63	31.15	25.94
Polyunsaturated fatty acid		11.23	12.80	5.74	9.68	2.45	5.62
C16-C18		68.49	72.84	65.33	63.97	64.69	59.48
C10:0-C18:2		79.72	89.94	95.37	94.57	93.70	87.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

N = 0.34 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	5.11	0.38	0.55
C6:0	0.00	1.03	0.00	0.97	0.68	0.82
C8:0	0.00	1.24	0.46	0.63	2.84	2.69
C10:0	0.86	2.88	3.88	2.26	4.18	3.43
C11:0	1.69	4.16	4.70	4.15	8.15	6.63
C12:0	0.86	9.18	10.47	8.29	1.65	0.98
C13:0	1.12	5.77	3.68	2.62	1.21	1.23
C14:0	4.27	3.07	3.63	2.37	2.55	3.08
C14:1	1.18	3.34	3.48	1.82	4.89	3.92
C15:0	0.68	0.87	1.31	0.76	0.94	1.30
C15:1	0.57	0.77	0.61	0.66	1.46	2.21
C16:0	23.90	3.99	35.92	27.96	37.14	35.91
C16:1	6.86	7.14	6.95	5.57	4.58	7.31
C17:0	3.35	0.91	1.47	1.55	2.16	3.01
C17:1	9.09	1.66	1.52	1.55	0.93	6.11
C18:0	0.65	4.88	3.52	3.10	5.48	1.99
C18:1n9t	7.24	1.93	0.39	0.48	13.05	8.26
C18:1n9c	6.17	6.29	10.30	11.03	3.89	1.12
C18:2n6t	8.19	4.95	3.77	4.03	0.65	2.51
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	0.00	0.38	1.44
C18:3n3	0.00	0.00	0.36	2.16	0.00	0.00
C18:3n6	0.00	0.94	0.63	0.70	1.18	0.67
C20:0	6.23	3.11	1.53	0.00	0.00	0.25
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
C20:2	0.00	0.00	1.42	0.46	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00
C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.50	0.69	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60
C22:0	0.02	0.00	0.00	6.20	0.00	0.53
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40
C24:0	13.36	31.91	0.00	5.03	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	72.99	70.56	71.01	67.35	65.40
Unsaturated fatty acid	43.02	27.01	29.44	28.99	32.65	34.60
Monounsaturated fatty acid	31.79	21.12	23.26	21.12	28.81	29.98
Polyunsaturated fatty acid	11.23	5.89	6.18	7.86	3.85	4.62
C16-C18	68.49	32.67	64.83	58.16	69.44	68.33
C10:0-C18:2	79.72	61.77	95.60	78.22	93.29	90.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

N = 0.51 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
C6:0	0.00	1.18	0.42	0.79	0.49	0.53
C8:0	0.00	0.57	0.69	0.55	0.74	1.89
C10:0	0.86	1.87	3.05	3.22	2.94	2.01
C11:0	1.69	3.34	3.80	5.00	10.42	6.14
C12:0	0.86	7.05	9.40	11.59	1.66	0.61
C13:0	1.12	4.14	3.44	2.84	1.47	1.19
C14:0	4.27	4.06	4.42	3.86	2.96	3.05
C14:1	1.18	3.22	3.95	3.81	3.46	3.74
C15:0	0.68	1.02	1.57	1.46	1.10	1.16
C15:1	0.57	0.96	0.85	0.93	1.47	1.57
C16:0	23.90	38.89	38.80	34.57	37.24	38.68
C16:1	6.86	7.49	7.36	8.42	7.06	7.62
C17:0	3.35	0.99	1.51	1.13	2.23	0.65
C17:1	9.09	1.73	1.65	2.07	1.08	1.00
C18:0	0.65	5.13	4.00	3.06	7.74	4.17
C18:1n9t	7.24	1.74	0.53	0.31	10.15	15.16
C18:1n9c	6.17	4.96	9.34	9.54	3.35	0.00
C18:2n6t	8.19	6.25	3.42	3.95	0.48	5.20
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	0.00	0.40	0.65
C18:3n3	0.00	2.73	1.32	1.61	0.00	0.00
C18:3n6	0.00	0.00	0.49	0.55	0.99	2.75
C20:0	6.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
C20:2	0.00	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.52
C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.97	0.00	0.72	0.87	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	68.47	71.09	68.08	68.99	61.07
Unsaturated fatty acid	43.02	31.53	28.91	31.92	31.01	38.93
Monounsaturated fatty acid	31.79	20.09	23.68	25.09	26.57	29.80
Polyunsaturated fatty acid	11.23	11.44	5.23	6.83	4.44	9.13
C16-C18	68.49	69.90	68.41	65.22	70.73	75.89
C10:0-C18:2	79.72	92.82	97.08	95.77	95.22	92.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

N = 0.68 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.48
C6:0	0.00	3.83	0.00	3.88	0.35	1.42
C8:0	0.00	0.53	0.48	3.16	0.67	1.16
C10:0	0.86	2.65	0.47	2.33	9.00	2.16
C11:0	1.69	3.01	2.48	16.89	9.45	5.09
C12:0	0.86	6.12	14.23	2.11	1.44	2.02
C13:0	1.12	5.23	3.15	4.84	1.53	3.97
C14:0	4.27	3.04	4.42	7.97	3.04	5.66
C14:1	1.18	1.66	4.55	4.23	2.38	3.13
C15:0	0.68	0.95	1.66	2.85	1.02	3.81
C15:1	0.57	0.56	0.86	2.49	0.89	3.18
C16:0	23.90	37.57	37.67	18.80	33.69	21.49
C16:1	6.86	6.67	6.52	5.10	6.87	4.26
C17:0	3.35	1.38	1.49	2.02	1.29	3.63
C17:1	9.09	2.03	1.60	2.95	1.05	2.68
C18:0	0.65	7.25	4.05	3.19	8.16	13.09
C18:1n9t	7.24	2.22	0.43	6.32	10.22	10.49
C18:1n9c	6.17	4.41	9.03	0.77	4.67	2.77
C18:2n6t	8.19	5.87	5.05	2.86	0.68	2.49
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	1.02	0.56	0.47
C18:3n3	0.00	3.20	1.27	1.95	0.00	0.92
C18:3n6	0.00	0.74	0.58	0.94	1.33	1.50
C20:0	6.23	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.19	0.89	1.15
C20:2	0.00	0.00	0.00	0.59	0.00	1.38
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.39	0.67	0.44
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.30	0.14	1.18
C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	71.68	70.10	69.69	69.63	63.98
Unsaturated fatty acid	43.02	28.32	29.90	30.31	30.37	36.02
Monounsaturated fatty acid	31.79	17.54	22.99	22.06	26.98	27.65
Polyunsaturated fatty acid	11.23	10.78	6.90	8.24	3.39	8.37
C16-C18	68.49	71.33	67.69	45.93	68.52	63.79
C10:0-C18:2	79.72	90.60	97.67	86.77	95.95	90.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 12 (ต่อ)

N = 0.85 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.49
C6:0	0.00	1.14	0.69	1.89	0.80	1.43
C8:0	0.00	0.83	0.53	1.84	1.14	1.17
C10:0	0.86	2.99	1.44	11.50	2.90	2.18
C11:0	1.69	5.03	2.99	1.86	10.00	5.14
C12:0	0.86	10.04	6.57	2.37	0.55	2.03
C13:0	1.12	4.14	1.96	3.77	3.46	4.01
C14:0	4.27	3.30	2.72	2.85	6.34	5.71
C14:1	1.18	1.35	2.60	1.89	4.09	3.15
C15:0	0.68	0.88	0.91	0.44	1.96	3.85
C15:1	0.57	0.58	0.72	1.38	2.11	3.21
C16:0	23.90	37.77	27.40	21.98	33.68	21.69
C16:1	6.86	7.06	5.42	4.63	6.52	4.30
C17:0	3.35	2.26	1.19	2.03	2.86	3.66
C17:1	9.09	1.54	1.25	3.29	1.88	2.70
C18:0	0.65	3.48	4.03	4.22	8.63	13.21
C18:1n9t	7.24	1.73	0.14	10.43	7.37	10.59
C18:1n9c	6.17	4.20	7.52	1.06	1.64	2.79
C18:2n6t	8.19	7.12	4.62	5.40	0.40	2.51
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	1.60	0.52	1.51
C18:3n3	0.00	2.88	0.22	3.59	0.80	0.00
C18:3n6	0.00	0.71	0.63	2.03	0.35	0.93
C20:0	6.23	0.00	1.35	1.02	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.79	0.00	1.16
C20:2	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	1.39
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	1.35	0.52	1.19
C20:4n6	0.00	0.00	0.66	0.67	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.67	1.47	0.00
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.99	13.27	0.20	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	11.16	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	71.85	62.95	58.28	73.80	64.56
Unsaturated fatty acid	43.02	28.15	37.05	41.72	26.20	35.44
Monounsaturated fatty acid	31.79	16.45	17.65	24.19	23.60	27.90
Polyunsaturated fatty acid	11.23	11.70	19.40	17.53	2.60	7.53
C16-C18	68.49	68.74	52.43	60.26	64.65	63.90
C10:0-C18:2	79.72	93.45	71.49	80.71	94.91	92.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 13 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.21±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.34±0.01 ^{aA}	0.35±0.01 ^{aA}	0.35±0.01 ^{aA}
2	0.33±0.01 ^{ab}	0.34±0.01 ^{ab}	0.35±0.01 ^{abB}	0.35±0.01 ^{abB}	0.37±0.01 ^{bb}
4	0.37±0.01 ^{abC}	0.37±0.01 ^{ab}	0.39±0.01 ^{bbC}	0.40±0.01 ^{bb}	0.43±0.01 ^{bcB}
6	0.37±0.01 ^{abC}	0.40±0.01 ^{abBC}	0.44±0.01 ^{bcC}	0.44±0.02 ^{bcB}	0.45±0.01 ^{cCD}
8	0.42±0.01 ^{ac}	0.44±0.01 ^{ac}	0.45±0.01 ^{ac}	0.45±0.01 ^{ab}	0.50±0.02 ^{bd}
10	0.51±0.01 ^{ad}	0.51±0.01 ^{ad}	0.64±0.02 ^{bd}	0.75±0.04 ^{cC}	0.77±0.02 ^{cE}
12	0.60±0.03 ^{ae}	0.63±0.01 ^{abE}	0.67±0.01 ^{bcDE}	0.72±0.03 ^{cC}	0.80±0.01 ^{dE}
14	0.69±0.01 ^{af}	0.69±0.02 ^{aeF}	0.71±0.01 ^{abDE}	0.75±0.01 ^{bc}	0.82±0.01 ^{cE}
16	0.72±0.01 ^{afG}	0.73±0.01 ^{af}	0.74±0.03 ^{ae}	0.75±0.03 ^{ac}	0.83±0.01 ^{be}
18	0.77±0.02 ^{agH}	0.93±0.02 ^{bg}	0.95±0.03 ^{bf}	0.96±0.01 ^{bd}	0.97±0.01 ^{bf}
20	0.81±0.06 ^{ah}	0.99±0.07 ^{abG}	1.21±0.07 ^{bcG}	1.21±0.09 ^{bcE}	1.29±0.05 ^{cG}

สัญลักษณ์ท้ายอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ท้ายอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 14 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.19±0.00 ^{aA}	0.19±0.00 ^{aA}	0.19±0.00 ^{aA}	0.19±0.00 ^{aA}	0.19±0.00 ^{aA}
2	0.25±0.01 ^{ab}	0.27±0.01 ^{abB}	0.31±0.00 ^{cb}	0.30±0.01 ^{bcB}	0.29±0.01 ^{bcB}
4	0.31±0.01 ^{bc}	0.32±0.00 ^{bc}	0.51±0.00 ^{dc}	0.48±0.00 ^{cc}	0.29±0.01 ^{ac}
6	0.48±0.00 ^{bd}	0.38±0.00 ^{bd}	0.75±0.00 ^{cd}	0.78±0.00 ^{dd}	0.38±0.00 ^{bd}
8	0.73±0.00 ^{be}	0.78±0.00 ^{ce}	0.98±0.00 ^{de}	0.94±0.00 ^{de}	0.59±0.00 ^{de}
10	0.74±0.01 ^{ae}	0.86±0.00 ^{bf}	1.23±0.03 ^{ef}	1.24±0.01 ^{cf}	0.70±0.00 ^{af}
12	0.88±0.02 ^{af}	0.93±0.00 ^{bg}	1.42±0.01 ^{cg}	1.25±0.00 ^{df}	0.98±0.01 ^{cg}
14	1.16±0.01 ^{ag}	1.40±0.01 ^{bh}	1.57±0.02 ^{dh}	1.60±0.01 ^{dG}	1.49±0.01 ^{ch}
16	1.52±0.01 ^{ah}	1.64±0.01 ^{bi}	2.18±0.02 ^{ej}	2.30±0.01 ^{di}	1.67±0.01 ^{bi}
18	1.81±0.01 ^{bj}	1.97±0.01 ^{ck}	2.28±0.01 ^{dk}	2.46±0.01 ^{ej}	1.69±0.01 ^{aj}
20	1.56±0.01 ^{bi}	1.72±0.00 ^{ci}	1.90±0.02 ^{di}	1.94±0.01 ^{eh}	1.29±0.00 ^{ak}

สัญลักษณ์ท้ายอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ท้ายอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 15 แครีทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.27±0.00 ^{ad}	0.27±0.00 ^{ad}	0.27±0.00 ^{ac}	0.27±0.00 ^{ac}	0.27±0.00 ^{ab}
2	0.11±0.00 ^{bcA}	0.11±0.00 ^{ca}	0.10±0.00 ^{abA}	0.09±0.00 ^{aa}	0.09±0.00 ^{aa}
4	0.16±0.00 ^{bb}	0.20±0.00 ^{bb}	0.25±0.00 ^{cb}	0.26±0.00 ^{bb}	0.28±0.00 ^{bb}
6	0.18±0.00 ^{ac}	0.22±0.00 ^{bc}	0.31±0.00 ^{cd}	0.34±0.00 ^{cd}	0.32±0.00 ^{dc}
8	0.30±0.00 ^{ae}	0.29±0.00 ^{ae}	0.40±0.00 ^{be}	0.52±0.00 ^{de}	0.44±0.00 ^{cd}
10	0.34±0.00 ^{af}	0.34±0.00 ^{af}	0.40±0.00 ^{be}	0.52±0.00 ^{de}	0.48±0.00 ^{de}
12	0.47±0.00 ^{ag}	0.51±0.00 ^{bg}	0.61±0.00 ^{df}	0.57±0.00 ^{ef}	0.49±0.00 ^{de}
14	0.49±0.00 ^{ah}	0.52±0.00 ^{bh}	0.62±0.00 ^{dg}	0.57±0.00 ^{ef}	0.49±0.00 ^{de}
16	0.50±0.00 ^{ai}	0.54±0.00 ^{bi}	0.63±0.00 ^{ch}	0.75±0.00 ^{fi}	0.53±0.00 ^{bf}
18	0.52±0.00 ^{aj}	0.69±0.00 ^{ci}	0.95±0.00 ^{ci}	0.88±0.00 ^{dj}	0.57±0.00 ^{bg}
20	0.54±0.00 ^{ak}	0.70±0.00 ^{ck}	0.97±0.00 ^{ci}	0.92±0.00 ^{dk}	0.65±0.00 ^{bh}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 16 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	11.93±0.14 ^{aa}	11.93±0.14 ^{aa}	11.93±0.14 ^{aa}	11.93±0.14 ^{aa}	11.93±0.14 ^{aa}
2	21.06±0.00 ^{abb}	21.56±0.40 ^{bb}	21.85±0.19 ^{bb}	21.70±0.33 ^{bb}	20.70±0.07 ^{ab}
4	21.49±0.12 ^{ab}	27.24±0.07 ^{cb}	34.72±0.07 ^{dc}	39.11±0.07 ^{cc}	25.66±0.07 ^{bc}
6	26.31±0.07 ^{ac}	31.77±0.14 ^{cBc}	46.66±0.07 ^{cd}	45.72±0.07 ^{dd}	30.05±0.07 ^{bd}
8	27.67±0.07 ^{ad}	42.70±0.07 ^{cc}	47.02±0.07 ^{ed}	46.80±0.07 ^{de}	34.24±0.00 ^{be}
10	39.54±0.19 ^{ae}	50.97±0.07 ^{bd}	67.36±0.07 ^{de}	69.38±0.12 ^{ef}	51.69±0.12 ^{cf}
12	55.57±0.12 ^{af}	63.41±0.07 ^{ce}	91.88±0.14 ^{ef}	83.04±0.19 ^{dg}	60.89±0.14 ^{bg}
14	129.17±0.24 ^{ag}	136.86±0.24 ^{beF}	187.29±0.48 ^{dg}	169.04±0.42 ^{ch}	130.61±0.87 ^{ah}
16	156.55±0.64 ^{ah}	163.28±0.42 ^{bf}	211.55±0.42 ^{dh}	213.95±0.87 ^{ei}	196.66±0.87 ^{ci}
18	178.41±0.42 ^{al}	197.86±0.42 ^{bg}	235.08±0.64 ^{ei}	226.44±0.24 ^{dj}	205.06±0.83 ^{cj}
20	180.09±0.24 ^{aj}	221.15±0.24 ^{bh}	272.07±0.42 ^{dj}	259.10±1.25 ^{ck}	221.15±0.24 ^{bk}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 17 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	20.78±0.00 ^{aB}	20.78±0.00 ^{aB}	20.78±0.00 ^{aB}	20.78±0.00 ^{aB}	20.78±0.00 ^{aB}
2	14.81±0.16 ^{aA}	16.30±0.07 ^{aA}	19.72±0.00 ^{abA}	18.66±0.18 ^{abA}	15.91±0.08 ^{bA}
4	25.26±0.14 ^{aC}	26.59±0.04 ^{aC}	35.07±0.04 ^{bC}	22.74±0.10 ^{bC}	27.53±0.04 ^{cC}
6	29.81±0.08 ^{aD}	30.32±0.00 ^{abD}	36.25±0.04 ^{bcD}	39.78±0.10 ^{bcD}	32.91±0.00 ^{cD}
8	29.81±0.08 ^{aD}	30.48±0.08 ^{aD}	37.11±0.04 ^{aE}	39.86±0.07 ^{aD}	37.78±0.04 ^{bE}
10	42.02±0.04 ^{aE}	45.83±0.10 ^{aE}	63.89±0.00 ^{bF}	56.04±0.04 ^{cE}	53.64±0.48 ^{cF}
12	62.44±0.14 ^{aF}	60.36±0.24 ^{abF}	73.75±0.17 ^{bcG}	74.81±0.14 ^{cF}	73.90±0.12 ^{dG}
14	72.74±0.08 ^{aG}	73.36±0.62 ^{aG}	84.59±0.08 ^{abH}	80.04±0.08 ^{bG}	79.49±0.14 ^{cH}
16	74.23±0.21 ^{aH}	88.68±0.14 ^{aH}	102.81±0.14 ^{aI}	104.62±0.34 ^{aH}	86.09±0.59 ^{bI}
18	84.12±0.08 ^{aI}	101.08±0.28 ^{bI}	103.28±0.41 ^{bI}	106.58±0.14 ^{bI}	87.58±0.08 ^{bJ}
20	106.50±0.16 ^{aJ}	130.06±0.21 ^{abJ}	134.38±0.27 ^{bcJ}	130.92±0.21 ^{bcJ}	96.53±0.16 ^{cK}

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

กรดไขมัน	P = ๐ กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
Caproic Acid	C6:0	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Caprylic Acid	C8:0	1.58	0.88	1.30	0.79	0.94	1.61
Capric Acid	C10:0	0.42	1.33	5.23	1.03	0.00	0.00
Undecanoic Acid	C11:0	11.37	4.67	9.97	10.92	14.56	6.76
Lauric Acid	C12:0	6.34	7.23	8.26	10.70	11.52	6.05
Tridecanoic Acid	C13:0	3.13	3.55	4.42	6.11	6.30	3.30
Myristic Acid	C14:0	1.01	1.14	2.09	1.74	2.32	2.21
Myristoleic Acid	C14:1	0.00	0.43	1.80	1.40	1.21	1.45
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.00	0.50	0.66	0.68	0.66	0.82
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.00	0.19	0.95	0.12	0.46	0.91
Palmitic Acid	C16:0	54.57	17.76	32.12	41.19	38.86	41.89
Palmitoleic Acid	C16:1	1.18	5.01	3.66	1.86	2.60	2.21
Heptadecanoic Acid	C17:0	2.46	4.78	1.86	1.56	1.47	1.93
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	1.46	0.63	0.14	0.59	0.33	1.02
Stearic Acid	C18:0	1.13	4.67	4.34	1.67	1.36	3.34
Elaidic Acid	C18:1n9t	9.67	3.29	4.37	6.49	8.48	8.57
Oleic Acid	C18:1n9c	0.86	7.63	7.37	2.98	3.39	3.48
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.00	0.17	0.76	0.41	0.34	0.34
Linoleic Acid	C18:2n6c	2.22	10.04	4.07	3.66	2.85	5.53
Linolenic Acid	C18:3n3	0.08	4.47	2.39	2.75	1.23	4.42
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.23	1.19	1.98	0.74	0.00	0.89
Arachidic Acid	C20:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.10	0.91	0.23	0.00	0.00	0.88
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.32	0.40	1.43	2.35	1.02	2.02
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.11	18.29	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.00	0.00	0.30	0.26	0.09	0.35
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	1.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		83.41	47.26	70.57	76.65	78.08	68.27
Unsaturated fatty acid		16.59	52.74	29.43	23.35	21.92	31.73
Monounsaturated fatty acid		13.27	18.12	18.54	13.44	16.47	18.52
Polyunsaturated fatty acid		3.32	34.61	10.90	9.91	5.44	13.21
C16-C18		73.86	59.64	63.08	63.91	60.90	73.64
C10:0-C18:2		95.81	73.03	92.11	93.11	96.72	89.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

P = 0.14 กรั้มต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	1.58	0.70	0.25	0.47	0.94	1.61
C10:0	0.42	1.87	1.44	0.22	0.00	0.00
C11:0	11.37	7.24	10.52	12.77	14.44	6.75
C12:0	6.34	6.94	10.00	11.93	11.43	6.04
C13:0	3.13	3.17	5.61	6.93	6.25	2.37
C14:0	1.01	2.09	2.02	1.44	2.30	2.21
C14:1	0.00	2.02	2.01	1.18	1.20	1.45
C15:0	0.00	0.60	0.74	0.57	0.64	0.82
C15:1	0.00	0.94	0.88	0.20	0.54	0.91
C16:0	54.57	37.43	34.49	37.24	38.58	41.86
C16:1	1.18	5.36	3.41	1.43	2.58	3.23
C17:0	2.46	1.80	1.85	1.62	1.46	1.93
C17:1	1.46	1.23	0.48	0.56	0.33	1.02
C18:0	1.13	2.84	3.18	1.75	1.35	3.34
C18:1n9t	9.67	2.72	8.17	7.63	8.43	8.56
C18:1n9c	0.86	8.94	4.20	2.69	3.37	3.48
C18:2n6t	0.00	0.89	0.21	0.47	0.34	0.34
C18:2n6c	2.22	3.36	5.22	3.74	2.83	5.53
C18:3n3	0.08	2.36	4.14	2.17	1.91	4.41
C18:3n6	0.23	0.54	1.03	0.87	0.00	0.89
C20:0	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.88
C20:2	0.32	3.25	0.00	3.18	1.01	2.02
C20:3n3	0.35	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
C:20:5n3	0.11	0.22	0.10	0.29	0.00	0.00
C21:0	0.38	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.00	0.55	0.00	0.52	0.09	0.35
C22:1n9	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	1.04	0.40	0.00	0.15	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	83.41	66.54	70.11	75.60	77.45	67.28
Unsaturated fatty acid	16.59	33.46	29.89	24.40	22.55	32.72
Monounsaturated fatty acid	13.27	21.87	19.13	13.69	16.45	19.53
Polyunsaturated fatty acid	3.32	11.60	10.76	10.71	6.10	13.19
C16-C18	73.86	67.49	66.37	60.16	61.18	74.59
C10:0-C18:2	95.81	89.46	94.41	92.36	96.05	89.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

P = 0.28 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	1.58	0.42	0.34	0.35	0.33	0.57
C10:0	0.42	2.99	0.11	0.61	1.01	0.79
C11:0	11.37	9.16	10.86	8.21	10.60	6.61
C12:0	6.34	8.98	11.21	9.75	9.22	6.75
C13:0	3.13	5.83	5.96	6.43	5.30	3.65
C14:0	1.01	2.63	1.61	1.41	1.75	2.38
C14:1	0.00	2.23	0.77	0.80	1.48	1.90
C15:0	0.00	1.24	0.45	0.40	0.93	0.95
C15:1	0.00	1.10	0.97	0.69	0.44	1.11
C16:0	54.57	32.92	37.30	42.11	39.42	39.38
C16:1	1.18	4.96	2.76	2.03	2.18	2.39
C17:0	2.46	1.61	1.77	1.85	0.91	1.47
C17:1	1.46	0.91	0.44	0.65	0.53	0.84
C18:0	1.13	2.62	2.61	1.54	1.40	3.02
C18:1n9t	9.67	4.43	7.84	7.66	10.99	13.87
C18:1n9c	0.86	5.71	4.40	3.92	3.70	4.11
C18:2n6t	0.00	0.56	0.44	0.40	0.31	0.27
C18:2n6c	2.22	4.77	4.73	4.48	3.82	5.46
C18:3n3	0.08	3.63	3.65	3.21	3.36	2.66
C18:3n6	0.23	0.87	1.00	0.78	0.52	0.37
C20:0	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.10	0.09	0.35	0.15	0.00	0.78
C20:2	0.32	0.46	0.00	2.49	1.75	0.65
C20:3n3	0.35	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:5n3	0.11	0.32	0.22	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.38	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.00	0.40	0.15	0.09	0.07	0.01
C22:1n9	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	1.04	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	83.41	69.25	72.35	72.75	70.93	65.58
Unsaturated fatty acid	16.59	30.75	27.65	27.25	29.07	34.42
Monounsaturated fatty acid	13.27	19.67	17.53	15.91	19.32	25.00
Polyunsaturated fatty acid	3.32	11.08	10.11	11.35	9.75	9.41
C16-C18	73.86	63.00	66.93	68.61	67.13	73.83
C10:0-C18:2	95.81	92.65	94.22	92.93	93.98	94.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

P = 0.42 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.05	0.11	0.00	0.00	1.29
C8:0	1.58	0.97	0.11	0.22	0.00	1.39
C10:0	0.42	2.69	0.50	0.80	0.37	3.44
C11:0	11.37	6.50	10.69	10.01	14.39	4.35
C12:0	6.34	8.61	11.79	11.27	15.39	4.60
C13:0	3.13	5.21	6.05	6.94	8.47	3.04
C14:0	1.01	1.99	1.28	1.67	1.57	3.90
C14:1	0.00	1.75	1.02	1.21	1.44	2.14
C15:0	0.00	0.80	0.47	0.47	0.66	1.10
C15:1	0.00	0.95	0.64	0.63	0.41	0.63
C16:0	54.57	34.45	32.52	38.23	35.14	37.15
C16:1	1.18	4.42	1.93	2.13	2.14	3.13
C17:0	2.46	1.55	1.79	1.52	1.23	1.42
C17:1	1.46	1.01	0.89	0.75	0.45	1.57
C18:0	1.13	3.22	1.85	1.34	1.08	4.21
C18:1n9t	9.67	5.34	8.17	8.28	7.94	8.51
C18:1n9c	0.86	7.92	3.27	3.93	3.07	4.07
C18:2n6t	0.00	0.62	0.53	0.24	0.12	0.45
C18:2n6c	2.22	5.22	7.29	5.28	2.84	3.26
C18:3n3	0.08	3.97	6.09	3.65	2.00	1.43
C18:3n6	0.23	1.04	0.46	0.50	0.36	1.20
C20:0	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.10	0.00	0.13	0.00	0.33	0.49
C20:2	0.32	0.62	2.15	0.74	0.58	1.53
C20:3n3	0.35	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
C:20:5n3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.38	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.00	0.16	0.37	0.20	0.00	0.67
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	5.02
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	83.41	66.95	67.53	72.66	78.30	71.59
Unsaturated fatty acid	16.59	33.05	32.58	27.34	21.70	28.41
Monounsaturated fatty acid	13.27	21.39	16.05	16.93	15.79	20.54
Polyunsaturated fatty acid	3.32	11.66	16.53	10.41	5.91	7.86
C16-C18	73.86	68.76	64.79	65.85	56.39	66.40
C10:0-C18:2	95.81	92.25	90.68	94.70	96.73	86.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 18 (ต่อ)

P = 0.56 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.00	0.13	0.00	0.12	0.18
C8:0	1.58	0.75	1.41	0.80	0.83	1.58
C10:0	0.42	2.10	0.00	1.08	1.59	0.64
C11:0	11.37	8.13	11.08	13.68	7.66	6.91
C12:0	6.34	9.71	10.33	11.02	6.62	5.93
C13:0	3.13	6.07	5.60	6.18	3.87	3.15
C14:0	1.01	2.13	1.45	1.89	1.81	2.58
C14:1	0.00	2.12	1.20	1.19	1.23	1.00
C15:0	0.00	0.98	0.51	0.69	1.12	0.96
C15:1	0.00	0.87	0.55	0.45	0.61	0.66
C16:0	54.57	27.57	34.51	38.63	39.47	36.01
C16:1	1.18	5.85	2.08	2.01	2.45	4.85
C17:0	2.46	2.90	1.84	1.50	1.69	1.90
C17:1	1.46	1.93	0.72	0.56	0.80	0.65
C18:0	1.13	1.92	1.49	2.00	1.83	3.52
C18:1n9t	9.67	4.78	8.50	6.72	9.64	10.94
C18:1n9c	0.86	7.39	2.47	3.41	3.98	3.92
C18:2n6t	0.00	0.50	0.44	0.30	0.45	0.52
C18:2n6c	2.22	8.63	6.54	3.76	6.01	1.57
C18:3n3	0.08	4.19	6.17	2.21	4.99	2.02
C18:3n6	0.23	1.22	0.85	0.46	0.17	0.83
C20:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.10	0.00	0.13	0.00	0.60	0.60
C20:2	0.32	0.00	1.50	1.18	1.75	1.02
C20:3n3	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00
C:20:5n3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
C21:0	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.00	0.26	0.50	0.27	0.28	0.20
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	7.79
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	83.41	62.52	68.85	77.73	66.90	71.37
Unsaturated fatty acid	16.59	37.48	31.15	22.27	33.10	28.63
Monounsaturated fatty acid	13.27	22.94	15.65	14.35	19.31	22.61
Polyunsaturated fatty acid	3.32	14.54	15.50	7.91	13.79	6.02
C16-C18	73.86	66.88	65.60	61.58	71.47	66.73
C10:0-C18:2	95.81	93.58	89.31	95.08	90.84	85.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้แก่นักเรียนใช้ฟรีโดยไม่คิดค่าลิขสิทธิ์ และสงวนลิขสิทธิ์ไว้เป็นของตนเอง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 19 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.03±0.01 ^{aA}	0.03±0.01 ^{aA}	0.03±0.01 ^{aA}	0.03±0.01 ^{aA}	0.03±0.01 ^{aA}
2	0.05±0.01 ^{aB}	0.15±0.01 ^{bB}	0.23±0.01 ^{cB}	0.28±0.01 ^{dB}	0.33±0.01 ^{eB}
4	0.09±0.00 ^{cC}	0.21±0.00 ^{bC}	0.27±0.00 ^{cC}	0.31±0.01 ^{dC}	0.38±0.01 ^{cC}
6	0.11±0.00 ^{aD}	0.25±0.01 ^{bD}	0.31±0.00 ^{cD}	0.35±0.00 ^{dD}	0.45±0.01 ^{eD}
8	0.14±0.00 ^{aE}	0.29±0.00 ^{bEF}	0.37±0.01 ^{cE}	0.39±0.01 ^{dE}	0.49±0.01 ^{eE}
10	0.17±0.01 ^{aF}	0.32±0.01 ^{bFG}	0.40±0.00 ^{cF}	0.43±0.01 ^{cF}	0.52±0.01 ^{eF}
12	0.21±0.01 ^{aG}	0.36±0.01 ^{bHI}	0.43±0.00 ^{cGH}	0.46±0.01 ^{cH}	0.56±0.01 ^{eE}
14	0.25±0.00 ^{aH}	0.40±0.01 ^{bI}	0.45±0.01 ^{cH}	0.48±0.00 ^{cH}	0.58±0.01 ^{dH}
16	0.24±0.01 ^{aH}	0.38±0.02 ^{bIJ}	0.42±0.01 ^{cFG}	0.46±0.01 ^{dGH}	0.55±0.00 ^{cG}
18	0.19±0.01 ^{aF}	0.33±0.02 ^{bGH}	0.40±0.01 ^{cFG}	0.43±0.01 ^{dFG}	0.52±0.01 ^{dF}
20	0.15±0.00 ^{aE}	0.28±0.01 ^{bE}	0.35±0.01 ^{cE}	0.40±0.01 ^{dE}	0.49±0.00 ^{eE}

สัญลักษณ์ภายในแถวหนึ่งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ 20 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.34±0.00 ^{aDE}	0.34±0.00 ^{aB}	0.34±0.00 ^{aB}	0.34±0.00 ^{aA}	0.34±0.00 ^{aA}
2	0.10±0.01 ^{aA}	0.21±0.00 ^{bA}	0.27±0.01 ^{cA}	0.34±0.01 ^{dA}	0.43±0.02 ^{eB}
4	0.18±0.01 ^{aB}	0.26±0.01 ^{bA}	0.34±0.00 ^{cB}	0.39±0.01 ^{dB}	0.51±0.02 ^{cC}
6	0.21±0.02 ^{aB}	0.32±0.00 ^{bB}	0.38±0.02 ^{cC}	0.45±0.00 ^{dC}	0.62±0.01 ^{eD}
8	0.26±0.02 ^{aC}	0.35±0.02 ^{bBC}	0.43±0.02 ^{cD}	0.51±0.01 ^{dD}	0.70±0.02 ^{eE}
10	0.32±0.01 ^{aD}	0.38±0.03 ^{bBCD}	0.48±0.01 ^{cE}	0.57±0.01 ^{dE}	0.78±0.03 ^{eF}
12	0.35±0.02 ^{aDE}	0.43±0.03 ^{bDE}	0.53±0.00 ^{cF}	0.63±0.02 ^{dF}	0.88±0.03 ^{cG}
14	0.37±0.01 ^{aE}	0.46±0.03 ^{bE}	0.54±0.02 ^{cF}	0.68±0.01 ^{dG}	0.98±0.03 ^{eH}
16	0.32±0.02 ^{aD}	0.41±0.03 ^{bCDE}	0.51±0.01 ^{cEF}	0.66±0.01 ^{dFG}	0.87±0.01 ^{cG}
18	0.26±0.02 ^{aC}	0.37±0.01 ^{bBCD}	0.47±0.02 ^{cDE}	0.64±0.02 ^{dF}	0.79±0.02 ^{eF}
20	0.22±0.02 ^{aBC}	0.35±0.02 ^{bBC}	0.43±0.00 ^{cD}	0.59±0.01 ^{dE}	0.73±0.00 ^{eEF}

สัญลักษณ์ภายในแถวหนึ่งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 21 แคลโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	0.25±0.00 ^{AC}	0.25±0.00 ^{AB}	0.25±0.00 ^{BA}	0.25±0.00 ^{BA}	0.25±0.00 ^{BA}
2	0.14±0.01 ^{BA}	0.18±0.01 ^{BA}	0.26±0.01 ^{CA}	0.32±0.00 ^{DB}	0.53±0.00 ^{CB}
4	0.17±0.00 ^{AB}	0.27±0.01 ^{BC}	0.39±0.00 ^{CB}	0.47±0.00 ^{DC}	0.61±0.01 ^{CC}
6	0.19±0.01 ^{AB}	0.36±0.02 ^{BC}	0.51±0.02 ^{CC}	0.57±0.01 ^{DD}	0.72±0.01 ^{CD}
8	0.31±0.02 ^{BD}	0.46±0.01 ^{BD}	0.60±0.01 ^{CD}	0.66±0.02 ^{DE}	0.81±0.02 ^{EE}
10	0.40±0.02 ^{EE}	0.52±0.00 ^{BDE}	0.66±0.01 ^{EE}	0.72±0.01 ^{DF}	0.92±0.01 ^{EF}
12	0.51±0.02 ^{AFG}	0.60±0.00 ^{BEF}	0.72±0.01 ^{CG}	0.78±0.01 ^{DGH}	0.99±0.02 ^{CG}
14	0.57±0.01 ^{HH}	0.66±0.01 ^{BG}	0.77±0.01 ^{CH}	0.86±0.02 ^{II}	1.05±0.01 ^{CH}
16	0.54±0.01 ^{AG}	0.64±0.00 ^{BF}	0.77±0.01 ^{CH}	0.83±0.03 ^{II}	1.00±0.02 ^{CG}
18	0.51±0.00 ^{AFG}	0.60±0.02 ^{BEF}	0.72±0.00 ^{CG}	0.79±0.01 ^{HH}	0.98±0.01 ^{CG}
20	0.49±0.01 ^{AF}	0.56±0.01 ^{BEF}	0.69±0.01 ^{CF}	0.74±0.01 ^{DFG}	0.93±0.01 ^{CF}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 22 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
คลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	26.84±5.15 ^{AA}	26.84±5.15 ^{AA}	26.84±5.15 ^{AA}	26.84±5.15 ^{AA}	26.84±5.15 ^{AA}
2	77.41±1.02 ^{AB}	82.93±0.67 ^{BB}	87.62±1.00 ^{BB}	116.58±1.10 ^{CB}	165.13±4.86 ^{DB}
4	86.28±0.73 ^{AC}	95.65±1.90 ^{BC}	99.00±1.02 ^{BC}	131.48±0.93 ^{CC}	176.35±0.89 ^{DC}
6	96.32±1.49 ^{AD}	104.70±3.06 ^{BD}	112.56±1.70 ^{CD}	142.03±1.65 ^{DD}	186.90±0.33 ^{CD}
8	103.52±3.40 ^{AE}	112.06±1.97 ^{BE}	125.79±1.33 ^{CE}	152.74±1.65 ^{DE}	195.44±0.73 ^{EE}
10	112.06±1.37 ^{AF}	119.26±0.77 ^{BF}	132.82±1.33 ^{CFG}	167.81±1.31 ^{DF}	206.65±3.01 ^{CF}
12	118.76±0.50 ^{AFG}	127.63±1.02 ^{BGH}	138.18±1.21 ^{CGH}	179.87±0.33 ^{DGH}	217.53±1.17 ^{CG}
14	124.62±0.60 ^{AG}	133.32±2.09 ^{BH}	145.04±0.44 ^{CI}	186.90±1.70 ^{DI}	227.58±0.33 ^{CG}
16	122.27±0.87 ^{AG}	129.81±1.05 ^{BGH}	140.52±0.17 ^{CHI}	185.73±0.44 ^{DHI}	223.23±1.33 ^{CG}
18	118.26±1.05 ^{AFG}	125.62±2.36 ^{BFG}	134.83±2.09 ^{CFGH}	182.54±1.26 ^{DHI}	218.87±2.93 ^{CG}
20	113.90±2.96 ^{AF}	120.43±0.33 ^{BF}	129.47±0.89 ^{CEF}	176.18±1.02 ^{DG}	205.15±0.50 ^{EF}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 23 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหาร
สูตรคลอเรลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (กรัมต่อลิตร)				
	0	0.14	0.28	0.42	0.56
0	7.10±0.03 ^{aB}	7.10±0.03 ^{aA}	7.10±0.03 ^{aA}	7.10±0.03 ^{aA}	7.10±0.03 ^{aA}
2	5.26±0.33 ^{aA}	7.07±0.14 ^{bA}	10.02±0.31 ^{cB}	14.43±0.31 ^{dB}	24.77±0.99 ^{eB}
4	8.07±0.26 ^{aBC}	10.05±0.14 ^{bB}	12.04±0.19 ^{cC}	16.90±0.21 ^{dC}	28.53±0.48 ^{eC}
6	9.15±0.28 ^{aC}	10.78±0.21 ^{bC}	14.12±0.34 ^{cD}	19.28±0.19 ^{dD}	30.95±0.29 ^{eD}
8	10.63±0.06 ^{aD}	13.40±0.24 ^{bD}	17.29±0.09 ^{cE}	21.90±0.24 ^{dE}	33.12±0.46 ^{eE}
10	12.20±0.11 ^{aE}	16.51±0.16 ^{bF}	19.91±0.27 ^{cG}	25.52±0.41 ^{dF}	35.80±0.16 ^{eF}
12	12.83±0.08 ^{aEF}	17.74±0.16 ^{bG}	21.15±0.20 ^{cH}	27.33±0.29 ^{dFGH}	38.54±0.26 ^{eH}
14	14.26±0.40 ^{aG}	18.60±0.37 ^{bH}	22.28±0.42 ^{cI}	29.45±1.95 ^{dH}	40.13±0.64 ^{eI}
16	13.76±0.29 ^{aFG}	17.92±0.24 ^{bG}	20.91±0.09 ^{cH}	28.32±0.16 ^{dGH}	38.84±0.38 ^{eHI}
18	13.28±0.18 ^{aEFG}	16.75±0.10 ^{bF}	20.58±0.29 ^{cGH}	27.42±0.10 ^{dFGH}	37.91±0.31 ^{eGH}
20	13.06±1.00 ^{aEF}	15.89±0.16 ^{bE}	18.96±0.34 ^{cF}	26.02±1.22 ^{dFG}	36.69±0.37 ^{eFG}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 24 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
 กลอเวลลาซึ่งมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสแตกต่างกัน

กรดไขมัน	P = 0 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.25	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Caproic Acid	C6:0	0.47	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Caprylic Acid	C8:0	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Capric Acid	C10:0	0.11	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00
Undecanoic Acid	C11:0	0.59	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Lauric Acid	C12:0	6.70	2.24	13.59	8.43	10.54	7.52
Tridecanoic Acid	C13:0	2.45	8.90	3.84	2.80	3.84	1.71
Myristic Acid	C14:0	0.74	2.00	1.63	2.85	2.49	2.59
Myristoleic Acid	C14:1	0.33	0.52	0.88	0.00	3.01	0.82
Pentadecanoic Acid	C15:0	2.76	0.97	0.55	0.75	0.00	0.68
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Palmitic Acid	C16:0	11.78	22.55	31.55	24.02	31.47	30.52
Palmitoleic Acid	C16:1	34.55	4.34	4.18	4.67	8.14	6.63
Heptadecanoic Acid	C17:0	2.83	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	5.61	3.12	1.94	1.69	2.46	1.44
Stearic Acid	C18:0	0.01	5.97	3.43	2.04	4.73	3.96
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.17	2.89	1.45	3.88	2.50	3.13
Oleic Acid	C18:1n9c	5.44	18.13	5.05	18.22	13.39	19.92
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	3.52	12.93	12.04	8.41	9.38	6.37
Linoleic Acid	C18:2n6c	3.74	9.78	8.27	6.11	6.53	4.43
Linolenic Acid	C18:3n3	3.03	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	2.77	1.13	0.66	0.98	1.00	0.84
Arachidic Acid	C20:0	0.41	0.00	0.55	1.10	0.00	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.07	0.84	0.67	0.00	0.00	0.00
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.50	0.30	0.22	0.20	0.10	0.06
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	1.06	0.24	0.20	0.28	0.00	0.14
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.09	0.15	0.03	0.04	0.00	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.17	0.39	0.00	0.00	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.63	0.08	0.01	0.04	0.02	0.04
Behenic Acid	C22:0	6.19	0.37	0.39	0.59	0.40	0.09
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	3.61	0.00	2.35
Tricosanoic Acid	C23:0	0.87	0.00	8.48	6.89	0.00	5.22
Lignoceric Acid	C24:0	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	1.56
Saturated fatty acid		38.00	44.78	64.04	49.52	53.49	52.32
Unsaturated fatty acid		62.00	55.27	35.96	50.48	46.51	47.68
Monounsaturated fatty acid		46.34	29.83	14.16	30.84	29.50	33.49
Polyunsaturated fatty acid		15.66	25.43	21.81	19.64	17.01	14.19
C16-C18		73.44	82.68	68.56	70.02	79.60	77.23
C10:0-C18:2		81.49	95.94	88.38	83.88	98.48	89.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

P = 0.14 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.25	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.11	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
C11:0	0.59	0.24	0.13	0.00	0.18	0.00
C12:0	6.70	4.87	3.66	8.11	9.61	10.32
C13:0	2.45	9.07	6.34	3.19	4.61	2.32
C14:0	0.74	1.62	1.57	3.00	2.43	3.24
C14:1	0.33	1.31	0.47	0.64	2.60	1.75
C15:0	2.76	0.42	0.79	0.49	0.66	0.79
C15:1	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C16:0	11.78	19.35	34.32	24.05	30.34	30.00
C16:1	34.55	4.91	4.15	5.74	7.42	7.32
C17:0	2.83	1.17	0.00	0.00	1.24	1.38
C17:1	5.61	3.21	1.81	2.06	2.18	1.85
C18:0	0.01	3.33	2.92	1.19	3.60	1.44
C18:1n9t	0.17	5.47	3.08	5.08	2.73	5.35
C18:1n9c	5.44	9.95	18.11	17.68	20.93	19.96
C18:2n6t	3.52	9.09	7.98	8.09	4.52	7.17
C18:2n6c	3.74	6.66	5.06	5.71	5.09	4.71
C18:3n3	3.03	0.77	0.00	0.74	0.00	0.00
C18:3n6	2.77	0.92	0.59	1.01	0.79	0.83
C20:0	0.41	1.36	1.06	1.66	0.79	0.00
C20:1	0.07	1.06	0.36	1.51	0.00	0.00
C20:2	0.50	0.34	0.07	0.17	0.00	0.12
C20:3n3	1.06	0.39	0.05	0.42	0.00	0.16
C20:3n6	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.10
C20:4n6	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.98
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.63	0.06	0.00	0.04	0.00	0.06
C22:0	6.19	0.39	0.21	0.49	0.29	0.07
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.10
C23:0	0.87	4.26	7.27	8.95	0.00	0.00
C24:0	0.44	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	38.00	54.38	58.27	51.15	53.74	49.61
Unsaturated fatty acid	62.00	45.62	41.73	48.85	46.26	50.39
Monounsaturated fatty acid	46.34	26.63	27.98	32.71	35.86	36.23
Polyunsaturated fatty acid	15.66	18.99	13.75	16.13	10.40	14.16
C16-C18	73.44	64.83	78.02	71.34	78.83	80.01
C10:0-C18:2	81.49	80.86	90.38	85.03	98.13	97.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

P = 0.28 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.11	0.41	0.00	0.02	0.00	0.00
C11:0	0.59	0.67	0.22	0.20	0.00	0.00
C12:0	6.70	6.77	2.34	3.81	16.69	13.00
C13:0	2.45	9.34	6.41	2.57	5.48	1.97
C14:0	0.74	1.74	2.55	2.20	2.55	2.92
C14:1	0.33	0.50	0.16	1.34	2.58	0.90
C15:0	2.76	0.92	0.83	1.19	0.00	3.32
C15:1	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C16:0	11.78	23.33	43.60	26.45	33.15	35.87
C16:1	34.55	5.51	5.51	5.98	6.22	6.71
C17:0	2.83	0.00	0.36	1.25	0.00	1.26
C17:1	5.61	3.13	1.94	2.40	0.92	1.08
C18:0	0.01	5.35	6.51	2.42	4.36	6.51
C18:1n9t	0.17	2.77	2.77	4.94	0.00	0.00
C18:1n9c	5.44	10.99	11.68	22.36	0.00	0.00
C18:2n6t	3.52	11.16	7.30	10.11	5.94	7.21
C18:2n6c	3.74	7.98	2.11	7.29	3.89	4.31
C18:3n3	3.03	0.00	0.00	0.64	0.26	0.00
C18:3n6	2.77	1.01	0.57	1.25	0.26	0.39
C20:0	0.41	1.69	1.89	2.06	1.00	0.00
C20:1	0.07	1.07	0.09	0.00	0.00	0.00
C20:2	0.50	0.26	0.00	0.00	0.00	0.03
C20:3n3	1.06	0.26	0.33	0.16	0.12	0.00
C20:3n6	0.09	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.15	0.00	0.12	0.00	0.52
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.63	0.08	0.10	0.04	0.00	0.02
C22:0	6.19	0.33	0.19	0.32	0.25	0.41
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.87	2.83	2.55	0.90	16.34	13.60
C24:0	0.44	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	38.00	55.01	67.55	43.41	79.82	78.86
Unsaturated fatty acid	62.00	44.99	32.45	56.59	20.18	21.14
Monounsaturated fatty acid	46.34	24.08	22.14	37.03	9.72	8.68
Polyunsaturated fatty acid	15.66	20.91	10.31	19.56	10.47	12.45
C16-C18	73.44	71.22	82.34	85.08	54.99	63.31
C10:0-C18:2	81.49	90.56	94.28	94.53	81.78	85.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับใช้ในงานวิชาการศึกษานั้น ไม่ควรนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

P = 0.42 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C11:0	0.59	0.43	0.22	0.00	0.00	0.00
C12:0	6.70	9.02	8.88	5.73	18.46	14.23
C13:0	2.45	4.15	4.15	2.17	2.65	4.83
C14:0	0.74	2.16	2.55	1.21	2.94	2.75
C14:1	0.33	1.78	1.21	0.90	3.14	1.98
C15:0	2.76	0.63	0.70	0.00	0.00	1.26
C15:1	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C16:0	11.78	23.49	35.37	20.59	25.96	33.48
C16:1	34.55	5.45	6.60	4.21	7.18	7.09
C17:0	2.83	0.55	0.61	1.01	0.00	1.12
C17:1	5.61	2.85	2.40	1.98	1.86	1.24
C18:0	0.01	5.17	3.93	4.32	3.99	6.31
C18:1n9t	0.17	1.99	2.79	2.17	0.00	0.00
C18:1n9c	5.44	5.13	3.70	19.58	2.25	0.00
C18:2n6t	3.52	8.01	7.77	9.47	4.47	7.70
C18:2n6c	3.74	5.31	5.10	6.99	2.82	4.85
C18:3n3	3.03	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00
C18:3n6	2.77	0.48	0.48	1.50	0.39	0.92
C20:0	0.41	0.75	1.49	2.47	0.68	0.00
C20:1	0.07	0.35	0.53	2.44	0.55	0.00
C20:2	0.50	0.00	0.00	0.54	0.00	0.09
C20:3n3	1.06	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00
C20:3n6	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.63	0.00	0.00	0.41	0.00	0.03
C22:0	6.19	0.12	0.52	0.70	0.00	0.57
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	10.16	0.00	0.93	0.00	0.00
C23:0	0.87	12.01	11.00	8.43	22.67	11.50
C24:0	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	38.00	58.51	69.42	47.05	77.35	76.08
Unsaturated fatty acid	62.00	41.49	30.58	52.95	22.65	23.92
Monounsaturated fatty acid	46.34	17.54	17.24	31.28	14.98	10.31
Polyunsaturated fatty acid	15.66	23.95	13.34	21.67	7.67	13.61
C16-C18	73.44	58.42	68.74	73.21	48.91	62.71
C10:0-C18:2	81.49	76.14	85.97	80.34	75.70	86.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารฉบับร่างไว้สำหรับกรณีสั่งงานเพื่อศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 24 (ต่อ)

P = 0.56 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C8:0	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C10:0	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C11:0	0.59	0.27	0.12	0.00	0.00	0.00
C12:0	6.70	7.84	3.66	8.91	10.67	15.55
C13:0	2.45	9.40	7.03	3.01	4.07	2.21
C14:0	0.74	1.48	2.68	2.59	2.45	2.63
C14:1	0.33	0.77	0.00	0.84	2.36	2.82
C15:0	2.76	0.00	1.10	0.30	0.71	0.84
C15:1	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C16:0	11.78	26.72	24.22	32.29	26.52	32.62
C16:1	34.55	4.20	6.08	4.89	7.27	8.28
C17:0	2.83	0.31	0.00	0.00	0.66	1.86
C17:1	5.61	2.16	2.27	1.30	2.13	2.56
C18:0	0.01	5.52	2.44	1.86	3.56	7.91
C18:1n9t	0.17	1.17	4.44	4.38	2.26	0.00
C18:1n9c	5.44	10.72	20.08	21.80	18.79	0.00
C18:2n6t	3.52	10.15	9.58	9.19	7.28	9.53
C18:2n6c	3.74	6.67	6.85	6.63	5.11	6.32
C18:3n3	3.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C18:3n6	2.77	0.53	1.45	0.74	1.06	2.13
C20:0	0.41	1.07	1.13	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.07	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:2	0.50	0.13	0.46	0.11	0.16	0.09
C20:3n3	1.06	0.15	0.50	0.54	0.22	0.00
C20:3n6	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:4n6	0.00	0.32	0.49	0.00	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.63	0.01	0.17	0.03	0.03	0.02
C22:0	6.19	0.20	0.55	0.59	0.45	0.52
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.65
C23:0	0.87	9.60	4.40	0.00	4.24	3.43
C24:0	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	38.00	62.47	47.50	49.58	53.35	67.60
Unsaturated fatty acid	62.00	37.53	52.50	50.42	46.65	32.40
Monounsaturated fatty acid	46.34	19.56	32.87	33.22	32.80	13.67
Polyunsaturated fatty acid	15.66	17.98	19.63	17.21	13.84	18.73
C16-C18	73.44	68.15	77.40	83.08	74.64	71.23
C10:0-C18:2	81.49	87.42	90.54	97.99	93.84	93.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 25 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร การค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.37±0.01 ^{aA}	0.37±0.01 ^{aA}	0.37±0.01 ^{aA}	0.37±0.01 ^{aA}	0.37±0.01 ^{aA}
2	0.43±0.02 ^{aAB}	0.44±0.02 ^{ab}	0.44±0.01 ^{ab}	0.45±0.01 ^{aAB}	0.45±0.01 ^{aAB}
4	0.46±0.02 ^{ab}	0.46±0.02 ^{ab}	0.47±0.01 ^{abC}	0.47±0.01 ^{aAB}	0.49±0.02 ^{ab}
6	0.48±0.01 ^{abC}	0.50±0.02 ^{abC}	0.51±0.01 ^{abCD}	0.52±0.00 ^{abC}	0.55±0.02 ^{abC}
8	0.53±0.01 ^{bcD}	0.54±0.03 ^{abCD}	0.55±0.03 ^{abD}	0.59±0.01 ^{aCD}	0.61±0.01 ^{aC}
10	0.59±0.02 ^{adE}	0.06±0.03 ^{ad}	0.67±0.03 ^{bE}	0.68±0.00 ^{bDE}	0.72±0.02 ^{bd}
12	0.64±0.01 ^{aE}	0.71±0.03 ^{abE}	0.73±0.03 ^{abF}	0.80±0.05 ^{bcF}	0.87±0.06 ^{cE}
14	0.72±0.02 ^{aFG}	0.77±0.01 ^{abE}	0.77±0.03 ^{abF}	0.87±0.07 ^{bcFG}	0.99±0.05 ^{cF}
16	0.83±0.02 ^{aG}	0.89±0.04 ^{aF}	0.91±0.01 ^{aG}	0.91±0.06 ^{aG}	1.08±0.03 ^{bF}
18	0.73±0.02 ^{aH}	0.76±0.01 ^{aE}	0.77±0.01 ^{aF}	0.78±0.03 ^{aEF}	0.80±0.05 ^{adE}
20	0.69±0.02 ^{aEF}	0.70±0.02 ^{aE}	0.72±0.01 ^{aEF}	0.75±0.04 ^{aEF}	0.77±0.04 ^{adE}

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางผนวกที่ 26 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงใน อาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.19±0.00 ^{aA}	0.19±0.01 ^{aA}	0.19±0.02 ^{aA}	0.19±0.03 ^{aA}	0.19±0.04 ^{aA}
2	0.29±0.00 ^{bAB}	0.31±0.00 ^{cAB}	0.30±0.00 ^{bcAB}	0.29±0.00 ^{bAB}	0.26±0.00 ^{aA}
4	0.52±0.00 ^{cBC}	0.53±0.00 ^{cB}	0.45±0.00 ^{bB}	0.32±0.00 ^{aAB}	0.31±0.00 ^{aA}
6	0.65±0.00 ^{aC}	0.85±0.00 ^{aC}	0.67±0.00 ^{bC}	0.54±0.00 ^{bBC}	0.50±0.00 ^{cB}
8	0.98±0.00 ^{bd}	1.27±0.00 ^{cd}	1.00±0.0b ^{bd}	0.70±0.00 ^{aCD}	0.63±0.00 ^{ab}
10	1.23±0.00 ^{bDE}	1.45±0.00 ^{cd}	1.18±0.00 ^{bE}	0.93±0.00 ^{ad}	0.81±0.00 ^{aC}
12	1.58±0.00 ^{bcFG}	1.95±0.00 ^{cE}	1.48±0.00 ^{abcF}	1.30±0.00 ^{abE}	0.99±0.00 ^{ad}
14	1.77±0.00 ^{bG}	2.35±0.00 ^{cF}	1.74±0.00 ^{bG}	1.35±0.00 ^{aE}	1.15±0.00 ^{aE}
16	1.83±0.00 ^{abG}	2.40±0.00 ^{cF}	1.92±0.00 ^{bH}	1.75±0.00 ^{abF}	1.35±0.00 ^{aF}
18	1.37±0.00 ^{bEF}	1.77±0.00 ^{cE}	1.48±0.00 ^{bF}	1.48±0.00 ^{bEF}	1.03±0.00 ^{adE}
20	1.63±0.00 ^{bcFG}	1.88±0.00 ^{cE}	1.64±0.00 ^{bcFG}	1.53±0.00 ^{abEF}	1.29±0.00 ^{aF}

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 27 แคลโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.23±0.00 ^{aCD}	0.23±0.00 ^{ab}	0.23±0.00 ^{aC}	0.23±0.00 ^{aCD}	0.23±0.00 ^{aEF}
2	0.11±0.00 ^{aA}	0.14±0.00 ^{bA}	0.14±0.00 ^{bA}	0.15±0.00 ^{bAB}	0.15±0.00 ^{bA}
4	0.29±0.00 ^{bE}	0.27±0.00 ^{bb}	0.18±0.00 ^{ab}	0.15±0.00 ^{aAB}	0.15±0.00 ^{aAB}
6	0.16±0.00 ^{aA}	0.24±0.00 ^{bb}	0.21±0.00 ^{bc}	0.14±0.00 ^{aA}	0.17±0.00 ^{aBC}
8	0.26±0.00 ^{bcDE}	0.33±0.00 ^{dc}	0.31±0.00 ^{cdE}	0.22±0.00 ^{abC}	0.20±0.00 ^{ad}
10	0.17±0.00 ^{aAB}	0.24±0.00 ^{cb}	0.22±0.00 ^{bc}	0.17±0.00 ^{ab}	0.18±0.00 ^{aC}
12	0.26±0.00 ^{bcDE}	0.26±0.00 ^{bb}	0.17±0.00 ^{ab}	0.16±0.00 ^{aAB}	0.14±0.00 ^{aA}
14	0.54±0.00 ^{df}	0.43±0.00 ^{cd}	0.36±0.00 ^{bf}	0.25±0.00 ^{adE}	0.22±0.00 ^{adE}
16	0.22±0.00 ^{abc}	0.25±0.00 ^{bb}	0.26±0.00 ^{bd}	0.28±0.00 ^{bE}	0.28±0.00 ^{bg}
18	0.28±0.00 ^{bDE}	0.31±0.00 ^{cC}	0.27±0.00 ^{bd}	0.28±0.00 ^{bE}	0.24±0.00 ^{aEF}
20	0.24±0.00 ^{acDE}	0.32±0.00 ^{cC}	0.30±0.00 ^{bcE}	0.26±0.00 ^{abE}	0.25±0.00 ^{aF}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 28 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย สาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	13.785±0.14 ^{aA}	13.785±0.15 ^{aA}	13.785±0.16 ^{aA}	13.785±0.17 ^{aA}	13.785±0.18 ^{aA}
2	76.92±5.25 ^{ab}	104.53±5.46 ^{bb}	85.26±9.15 ^{abb}	72.60±10.75 ^{bAB}	74.47±6.05 ^{bc}
4	83.24±14.32 ^{bb}	92.30±5.25 ^{bb}	94.75±3.18 ^{bb}	53.04±2.23 ^{aAB}	46.14±5.36 ^{ab}
6	44.56±38.34 ^{ab}	121.35±9.49 ^{bbc}	132.14±3.36 ^{bc}	72.75±1.56 ^{abc}	71.74±10.33 ^c
8	94.03±6.47 ^{ab}	142.35±2.52 ^{bcd}	136.89±2.92 ^{bcd}	88.42±5.84 ^{aCD}	84.97±13.43 ^{aC}
10	101.37±7.42 ^{ab}	186.36±14.82 ^{bef}	178.30±10.97 ^{bef}	120.20±2.83 ^{adE}	113.01±14.35 ^{ad}
12	146.32±10.16 ^{cC}	171.98±8.73 ^{adE}	158.60±6.97 ^{cdE}	116.18±5.29 ^{bf}	85.98±3.87 ^{aC}
14	156.01±10.16 ^{bc}	202.18±8.73 ^{cef}	208.50±6.97 ^{cG}	167.52±5.29 ^{bFG}	116.47±3.87 ^{ad}
16	154.57±13.17 ^{bc}	211.81±9.07 ^{cf}	190.96±11.95 ^{cFG}	157.31±8.28 ^{bg}	116.90±4.69 ^{ad}
18	212.10±16.89 ^{bd}	259.56±12.63 ^{cG}	247.62±5.53 ^{ch}	214.26±4.98 ^{bef}	155.44±5.49 ^{aE}
20	206.49±16.89 ^{abd}	217.13±12.63 ^{bf}	249.06±5.53 ^{bh}	164.35±4.98 ^{aEF}	165.36±5.49 ^{aE}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 29 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงใน
อาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	17.011±0.07 ^{aA}	17.011±0.08 ^{aA}	17.011±0.09 ^{aA}	17.011±0.10 ^{aA}	17.011±0.11 ^{aA}
2	36.96±2.52 ^{bcB}	39.04±3.18 ^{bcA}	42.61±2.14 ^{cbB}	29.10±4.99 ^{abA}	24.63±3.36 ^{caB}
4	30.05±5.09 ^{aAB}	36.72±1.38 ^{abA}	42.77±2.75 ^{bbB}	27.77±4.13 ^{aA}	29.42±2.32 ^{abC}
6	41.08±1.02 ^{abB}	59.34±2.49 ^{baB}	69.39±7.30 ^{bcC}	45.95±1.38 ^{abB}	38.88±0.73 ^{aCD}
8	40.06±1.02 ^{abB}	65.54±2.45 ^{baB}	72.02±6.84 ^{bcC}	42.18±2.20 ^{abB}	45.75±5.33 ^{aDE}
10	77.95±4.10 ^{bcC}	93.10±1.07 ^{baBC}	115.33±9.40 ^{bdD}	71.59±4.89 ^{bcC}	59.49±6.53 ^{aEF}
12	66.33±3.83 ^{bcC}	93.46±5.28 ^{cdABC}	107.71±9.96 ^{cdD}	76.46±2.20 ^{bcC}	46.97±2.74 ^{aDE}
14	76.38±6.93 ^{abC}	89.92±10.27 ^{baBC}	98.95±7.98 ^{cdD}	81.72±3.62 ^{aC}	53.80±2.69 ^{aF}
16	98.36±8.75 ^{bdD}	123.89±6.23 ^{cbCD}	134.96±4.32 ^{ceE}	118.47±3.91 ^{ceE}	79.99±4.05 ^{aG}
18	192.56±11.88 ^{cfF}	168.72±75.11 ^{abD}	239.16±5.53 ^{dgG}	185.02±8.11 ^{bfF}	137.47±1.29 ^{ai}
20	126.37±9.25 ^{beE}	146.79±3.83 ^{cdD}	168.07±4.10 ^{dfF}	98.41±6.47 ^{adD}	92.60±3.32 ^{ahH}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพื้ใหญ่ในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพื้เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 30 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) สำหรับ *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า
(urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

กรดไขมัน	N = 0.0037 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.10	0.05	0.01	1.19	0.04	0.03
Caproic Acid	C6:0	0.03	0.08	0.01	7.56	0.20	0.06
Caprylic Acid	C8:0	0.00	0.00	0.00	2.33	0.29	0.09
Capric Acid	C10:0	0.26	0.28	0.37	0.26	0.40	0.28
Undecanoic Acid	C11:0	0.26	0.65	0.03	4.02	6.57	2.86
Lauric Acid	C12:0	6.97	25.56	65.98	10.57	12.61	6.60
Tridecanoic Acid	C13:0	2.60	7.73	3.10	1.24	0.62	0.17
Myristic Acid	C14:0	0.26	0.84	0.61	0.88	0.88	0.46
Myristoleic Acid	C14:1	60.87	0.50	0.21	0.70	1.06	0.55
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.08	0.10	0.05	0.24	0.34	0.10
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.02	0.35	0.08	0.05	0.07	0.03
Palmitic Acid	C16:0	16.59	39.19	19.69	49.76	66.95	37.88
Palmitoleic Acid	C16:1	0.32	0.70	0.15	0.17	0.28	0.39
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.62	0.22	0.09	0.14	0.41	0.31
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.03	0.09	0.02	0.06	0.13	7.63
Stearic Acid	C18:0	0.45	2.41	0.51	3.95	1.14	8.58
Elaidic Acid	C18:1n9t	9.60	18.23	7.98	14.62	4.70	2.05
Oleic Acid	C18:1n9c	0.05	0.14	0.04	0.13	0.11	1.50
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.29	1.03	0.20	0.28	0.30	18.92
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.02	0.06	0.29	0.26	0.42	0.46
Linolenic Acid	C18:3n3	0.03	0.07	0.06	0.07	0.25	6.59
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.02	0.07	0.02	0.04	0.10	0.39
Arachidic Acid	C20:0	0.02	0.07	0.01	0.03	0.22	1.80
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.18	0.37	0.10	0.03	0.05	0.06
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.02	0.07	0.03	0.04	0.07	0.55
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.02	0.08	0.02	0.03	0.04	0.24
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.03	0.01	0.21	0.30	0.10
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.16	0.46	0.16	0.23	0.08	0.58
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.01	0.05	0.03	0.22	0.15	0.34
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.02	0.06	0.08	0.46	0.72	0.11
Behenic Acid	C22:0	0.04	0.21	0.01	0.13	0.09	0.04
Erucic Acid	C22:1n9	0.02	0.04	0.02	0.08	0.09	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.03	0.19	0.01	0.00	0.10	0.13
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.01	0.02	0.01	0.00	0.09	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.12
Lignoceric Acid	C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		28.30	77.44	90.56	82.78	91.60	59.50
Unsaturated fatty acid		71.70	22.56	9.44	17.22	8.40	40.50
Monounsaturated fatty acid		71.08	20.43	8.61	15.84	6.49	12.21
Polyunsaturated fatty acid		0.62	2.13	0.83	1.38	1.91	28.29
C16-C18		28.04	62.23	29.06	69.47	74.80	84.69
C10:0-C18:2		99.29	98.10	99.40	87.33	96.99	88.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

N = 0.185 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.10	0.22	0.00	0.15	0.03	0.02
C6:0	0.03	0.29	0.00	0.64	0.11	0.08
C8:0	0.00	0.27	0.65	0.32	0.22	0.26
C10:0	0.26	0.63	0.00	0.43	0.16	0.26
C11:0	0.26	4.54	1.77	6.94	8.66	8.60
C12:0	6.97	17.96	3.46	13.91	16.50	17.87
C13:0	2.60	0.83	5.54	0.39	0.49	0.60
C14:0	0.26	1.61	2.99	0.74	0.69	2.31
C14:1	60.87	1.08	0.80	0.68	0.69	1.16
C15:0	0.08	0.20	0.65	0.22	0.22	0.80
C15:1	0.02	0.29	0.00	0.05	0.09	0.15
C16:0	16.59	46.51	51.78	60.30	55.02	1.64
C16:1	0.32	0.80	5.56	0.06	0.14	0.47
C17:0	0.62	0.28	1.41	0.13	0.31	1.30
C17:1	0.03	0.11	0.00	0.05	0.04	5.41
C18:0	0.45	1.51	6.09	6.04	5.90	22.16
C18:1n9t	9.60	18.52	2.56	3.46	4.32	8.08
C18:1n9c	0.05	0.23	8.93	0.14	0.11	0.77
C18:2n6t	0.29	0.66	1.31	0.27	3.49	16.71
C18:2n6c	0.02	0.60	4.29	0.95	0.39	0.20
C18:3n3	0.03	0.12	0.00	0.00	0.72	7.50
C18:3n6	0.02	0.07	1.46	0.03	0.07	0.16
C20:0	0.02	0.07	0.00	0.05	0.20	1.68
C20:1	0.18	0.40	0.00	0.06	0.04	0.17
C20:2	0.02	0.10	0.00	0.06	0.07	0.15
C20:3n3	0.02	0.05	0.00	0.17	0.02	0.08
C20:3n6	0.00	0.00	0.19	0.46	0.38	0.14
C20:4n6	0.16	0.38	0.00	0.00	0.18	0.30
C:20:5n3	0.01	0.13	0.16	0.61	0.07	0.12
C21:0	0.02	0.47	0.00	1.84	0.16	0.27
C22:0	0.04	0.33	0.21	0.11	0.13	0.15
C22:1n9	0.02	0.04	0.00	0.22	0.09	0.18
C22:2	0.03	0.25	0.00	0.30	0.06	0.13
C22:6n3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.46	0.19	0.24	0.24	0.11
C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	28.30	76.18	74.74	92.44	89.05	58.11
Unsaturated fatty acid	71.70	23.82	25.26	7.56	10.95	41.89
Monounsaturated fatty acid	71.08	21.46	17.86	4.71	5.52	16.39
Polyunsaturated fatty acid	0.62	2.36	7.40	2.85	5.43	25.50
C16-C18	28.04	69.40	83.39	71.43	70.51	64.40
C10:0-C18:2	99.29	96.34	97.14	94.74	97.22	88.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่สามารถตีพิมพ์หรือเผยแพร่ไปให้ผู้อื่นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

N = 0.37 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.10	0.15	0.17	0.08	0.11	0.00
C6:0	0.03	0.11	0.08	0.13	0.07	3.45
C8:0	0.00	0.00	0.12	0.77	0.34	0.99
C10:0	0.26	0.32	0.18	0.24	0.22	0.29
C11:0	0.26	0.82	3.43	7.43	1.73	0.58
C12:0	6.97	17.72	14.93	18.36	31.18	9.36
C13:0	2.60	0.60	0.52	1.68	0.51	1.11
C14:0	0.26	1.07	0.81	1.32	1.93	1.87
C14:1	60.87	0.59	0.53	0.97	0.81	0.57
C15:0	0.08	0.07	0.06	0.14	0.95	1.55
C15:1	0.02	0.09	0.08	0.03	0.10	0.80
C16:0	16.59	50.41	52.41	37.18	45.50	48.79
C16:1	0.32	0.26	0.29	0.37	0.19	4.47
C17:0	0.62	0.18	0.48	0.78	0.25	2.95
C17:1	0.03	0.07	0.05	0.16	0.29	0.00
C18:0	0.45	1.68	1.82	2.14	6.81	1.84
C18:1n9t	9.60	22.52	21.11	24.47	4.35	0.11
C18:1n9c	0.05	0.10	0.15	0.24	0.33	7.88
C18:2n6t	0.29	0.40	0.36	1.02	3.04	0.00
C18:2n6c	0.02	0.73	0.23	0.78	0.20	7.13
C18:3n3	0.03	0.04	0.00	0.34	0.13	0.00
C18:3n6	0.02	0.04	0.07	0.18	0.16	5.84
C20:0	0.02	0.03	0.04	0.35	0.18	0.18
C20:1	0.18	0.23	0.38	0.04	0.08	0.00
C20:2	0.02	0.10	0.02	0.11	0.05	0.00
C20:3n3	0.02	0.08	0.02	0.08	0.05	0.00
C20:3n6	0.00	0.03	0.43	0.19	0.11	0.00
C20:4n6	0.16	0.39	0.19	0.04	0.10	0.00
C:20:5n3	0.01	0.28	0.26	0.08	0.03	0.00
C21:0	0.02	0.15	0.21	0.04	0.13	0.25
C22:0	0.04	0.29	0.05	0.02	0.01	0.00
C22:1n9	0.02	0.05	0.15	0.09	0.02	0.00
C22:2	0.03	0.32	0.05	0.13	0.06	0.00
C22:6n3	0.01	0.08	0.08	0.04	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00
C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	28.30	73.61	75.55	70.65	89.92	73.20
Unsaturated fatty acid	71.70	26.39	24.45	29.35	10.08	26.80
Monounsaturated fatty acid	71.08	23.90	22.74	26.35	6.16	13.83
Polyunsaturated fatty acid	0.62	2.49	1.71	3.00	3.92	12.97
C16-C18	28.04	76.43	76.98	67.64	61.24	79.02
C10:0-C18:2	99.29	97.63	97.44	97.27	98.38	89.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

N = 0.56 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.10	0.05	0.09	0.07	0.06	0.60
C6:0	0.03	0.04	0.73	0.07	0.08	2.15
C8:0	0.00	0.00	0.56	0.24	0.25	1.43
C10:0	0.26	0.19	0.20	0.15	0.24	0.59
C11:0	0.26	0.56	3.96	5.83	6.19	3.13
C12:0	6.97	18.54	9.52	16.46	12.86	13.21
C13:0	2.60	0.33	0.66	0.30	0.45	2.07
C14:0	0.26	1.27	1.09	0.73	0.78	3.07
C14:1	60.87	0.62	0.84	0.55	1.02	0.68
C15:0	0.08	0.10	0.27	0.14	0.17	0.79
C15:1	0.02	0.05	0.14	0.02	0.07	0.05
C16:0	16.59	50.18	48.14	65.54	51.72	57.11
C16:1	0.32	0.36	0.17	0.14	0.15	0.94
C17:0	0.62	0.25	0.23	0.39	0.44	0.54
C17:1	0.03	0.07	0.10	0.14	2.68	0.06
C18:0	0.45	2.95	4.58	1.88	4.99	0.91
C18:1n9t	9.60	21.33	25.17	5.33	4.16	5.41
C18:1n9c	0.05	0.09	0.15	0.14	0.19	0.60
C18:2n6t	0.29	1.16	0.23	0.22	5.47	3.32
C18:2n6c	0.02	0.56	0.31	0.21	1.42	0.12
C18:3n3	0.03	0.01	0.00	0.48	4.31	1.91
C18:3n6	0.02	0.02	0.12	0.10	0.10	0.05
C20:0	0.02	0.03	0.04	0.21	0.70	0.27
C20:1	0.18	0.30	0.35	0.02	0.04	0.09
C20:2	0.02	0.08	0.02	0.03	0.19	0.04
C20:3n3	0.02	0.08	0.01	0.03	0.11	0.03
C20:3n6	0.00	0.00	0.54	0.18	0.17	0.11
C20:4n6	0.16	0.39	0.20	0.03	0.08	0.06
C:20:5n3	0.01	0.09	0.00	0.04	0.19	0.10
C21:0	0.02	0.17	0.44	0.19	0.36	0.20
C22:0	0.04	0.05	0.32	0.02	0.04	0.29
C22:1n9	0.02	0.03	0.21	0.03	0.00	0.00
C22:2	0.03	0.07	0.22	0.03	0.14	0.04
C22:6n3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.35	0.05	0.14	0.06
C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	28.30	74.68	71.20	92.27	79.48	86.41
Unsaturated fatty acid	71.70	25.32	28.80	7.73	20.52	13.59
Monounsaturated fatty acid	71.08	22.85	27.13	6.36	8.31	7.83
Polyunsaturated fatty acid	0.62	2.46	1.66	1.37	12.20	5.76
C16-C18	28.04	76.98	79.22	74.57	75.65	70.95
C10:0-C18:2	99.29	98.60	95.79	98.16	93.02	92.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยทางโภชนาการและการศึกษาโภชนาการ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในบริบทอื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 30 (ต่อ)

N = 0.74 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.10	0.06	0.11	0.11	0.01	0.02
C6:0	0.03	0.03	0.21	0.07	0.06	0.13
C8:0	0.00	0.00	0.21	0.46	0.12	0.50
C10:0	0.26	0.36	0.45	0.30	0.14	0.14
C11:0	0.26	5.34	4.42	9.32	6.71	4.92
C12:0	6.97	15.77	12.56	9.70	10.84	8.07
C13:0	2.60	2.84	0.60	0.52	0.24	0.52
C14:0	0.26	1.71	0.80	0.76	0.57	2.34
C14:1	60.87	0.89	0.78	0.94	0.67	0.75
C15:0	0.08	0.08	0.11	0.34	0.11	0.76
C15:1	0.02	0.20	0.15	0.03	0.01	0.07
C16:0	16.59	33.52	54.01	67.29	57.88	20.27
C16:1	0.32	0.44	0.08	0.14	0.26	0.52
C17:0	0.62	0.28	0.25	0.44	0.34	0.66
C17:1	0.03	0.07	0.09	0.06	4.58	0.88
C18:0	0.45	5.48	5.58	3.44	4.49	33.07
C18:1n9t	9.60	26.98	14.35	4.09	4.15	9.60
C18:1n9c	0.05	0.19	0.12	0.10	0.48	0.51
C18:2n6t	0.29	2.40	0.93	0.45	3.91	10.71
C18:2n6c	0.02	1.15	0.26	0.38	0.13	0.40
C18:3n3	0.03	0.07	0.00	0.21	1.50	2.72
C18:3n6	0.02	0.07	0.05	0.09	0.23	0.51
C20:0	0.02	0.06	0.05	0.19	1.11	0.11
C20:1	0.18	0.44	0.47	0.05	0.04	0.10
C20:2	0.02	0.23	0.08	0.06	0.31	0.09
C20:3n3	0.02	0.25	0.02	0.03	0.25	0.04
C20:3n6	0.00	0.07	0.61	0.18	0.05	0.40
C20:4n6	0.16	0.55	0.28	0.02	0.31	0.07
C:20:5n3	0.01	0.11	0.26	0.01	0.19	0.07
C21:0	0.02	0.18	1.34	0.01	0.09	0.78
C22:0	0.04	0.10	0.36	0.04	0.05	0.00
C22:1n9	0.02	0.02	0.13	0.03	0.03	0.00
C22:2	0.03	0.03	0.00	0.03	0.11	0.04
C22:6n3	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.28	0.09	0.06	0.23
C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	28.30	65.82	81.34	93.08	82.81	72.52
Unsaturated fatty acid	71.70	34.18	18.66	6.92	17.19	27.48
Monounsaturated fatty acid	71.08	29.24	16.17	5.45	10.22	12.42
Polyunsaturated fatty acid	0.62	4.95	2.49	1.48	6.97	15.06
C16-C18	28.04	70.66	75.70	76.71	77.94	79.85
C10:0-C18:2	99.29	97.72	95.54	98.32	95.50	94.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับใช้ในงานวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 31 ชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}	0.15±0.03 ^{aA}
2	0.21±0.01 ^{aA}	0.23±0.02 ^{abB}	0.25±0.01 ^{abcB}	0.28±0.01 ^{cb}	0.27±0.01 ^{bb}
4	0.36±0.01 ^{ab}	0.36±0.02 ^{ad}	0.32±0.01 ^{ad}	0.48±0.03 ^{bd}	0.33±0.03 ^{ad}
6	0.45±0.02 ^{bcB}	0.48±0.01 ^{cd}	0.40±0.01 ^{ad}	0.65±0.02 ^{dd}	0.41±0.02 ^{abd}
8	0.55±0.02 ^{ac}	0.57±0.01 ^{ae}	0.66±0.01 ^{bf}	0.80±0.01 ^{ce}	0.54±0.01 ^{ae}
10	0.69±0.03 ^{abd}	0.68±0.02 ^{abf}	0.72±0.01 ^{bg}	0.92±0.02 ^{cf}	0.64±0.00 ^{af}
12	0.72±0.02 ^{ad}	0.78±0.01 ^{be}	0.74±0.01 ^{abg}	1.11±0.02 ^{dg}	0.83±0.01 ^{cg}
14	0.76±0.01 ^{ad}	0.88±0.01 ^{bh}	0.96±0.02 ^{bch}	1.26±0.02 ^{di}	0.92±0.01 ^{ch}
16	0.87±0.01 ^{ae}	1.16±0.01 ^{bi}	1.26±0.02 ^{ci}	1.52±0.02 ^{dj}	1.22±0.01 ^{ci}
18	0.79±0.02 ^{bdE}	1.04±0.03 ^{ci}	0.58±0.02 ^{ae}	1.18±0.02 ^{ch}	1.11±0.01 ^{dj}
20	0.58±0.10 ^{ac}	0.67±0.01 ^{af}	0.54±0.01 ^{ae}	0.92±0.02 ^{bf}	0.87±0.02 ^{bg}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 32 คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{aA}	0.33±0.01 ^{ab}
2	0.28±0.01 ^{ca}	0.22±0.01 ^{ba}	0.22±0.01 ^{abA}	0.19±0.01 ^{aA}	0.23±0.01 ^{ba}
4	0.27±0.01 ^{ab}	0.33±0.01 ^{cb}	0.33±0.01 ^{cb}	0.28±0.01 ^{abB}	0.3±0.00 ^{bc}
6	0.33±0.01 ^{abC}	0.49±0.00 ^{bc}	0.51±0.00 ^{cb}	0.32±0.01 ^{ac}	0.52±0.01 ^{cd}
8	0.39±0.01 ^{acd}	0.46±0.00 ^{bcd}	0.61±0.00 ^{cc}	0.39±0.01 ^{ae}	0.71±0.00 ^{dde}
10	0.47±0.01 ^{bde}	0.39±0.01 ^{ad}	0.46±0.00 ^{bcd}	0.61±0.00 ^{ce}	0.38±0.01 ^{ae}
12	0.50±0.01 ^{aeF}	0.62±0.01 ^{bf}	0.67±0.01 ^{cd}	0.48±0.01 ^{af}	0.79±0.01 ^{df}
14	0.64±0.01 ^{ae}	0.80±0.01 ^{dg}	0.68±0.01 ^{cf}	0.77±0.01 ^{bg}	0.99±0.01 ^{cg}
16	0.90±0.01 ^{gh}	0.92±0.02 ^{ch}	0.71±0.01 ^{al}	0.83±0.01 ^{bh}	2.31±0.03 ^{dh}
18	0.83±0.01 ^{ce}	0.79±0.01 ^{bg}	0.68±0.02 ^{ae}	0.66±0.01 ^{af}	1.21±0.01 ^{dh}
20	0.52±0.06 ^{aA}	0.73±0.02 ^{ce}	0.67±0.02 ^{dd}	0.57±0.00 ^{abd}	0.64±0.03 ^{bcGH}

สัญลักษณ์ภายในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 33 แคลโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
การค้ำ (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	0.23±0.01 ^{ab}	0.23±0.01 ^{abc}	0.23±0.01 ^{ab}	0.23±0.01 ^{ac}	0.23±0.01 ^{ac}
2	0.16±0.00 ^{bcA}	0.14±0.01 ^{aA}	0.18±0.01 ^{cA}	0.15±0.01 ^{abA}	0.16±0.00 ^{abcA}
4	0.31±0.02 ^{dd}	0.22±0.01 ^{bb}	0.25±0.00 ^{cc}	0.16±0.00 ^{aA}	0.17±0.00 ^{aA}
6	0.35±0.00 ^{ab}	0.42±0.00 ^{bG}	0.43±0.00 ^{ch}	0.44±0.00 ^{dG}	0.51±0.00 ^{ch}
8	0.23±0.00 ^{af}	0.25±0.00 ^{bc}	0.31±0.00 ^{cd}	0.33±0.00 ^{de}	0.35±0.00 ^{cd}
10	0.38±0.01 ^{cdC}	0.36±0.01 ^{bcEF}	0.40±0.01 ^{dG}	0.35±0.01 ^{be}	0.21±0.01 ^{ab}
12	0.28±0.00 ^{ac}	0.32±0.00 ^{bd}	0.34±0.00 ^{ce}	0.39±0.00 ^{df}	0.4±0.00 ^{ee}
14	0.30±0.00 ^{acd}	0.35±0.00 ^{be}	0.40±0.00 ^{cG}	0.43±0.00 ^{dG}	0.44±0.00 ^{ef}
16	0.37±0.00 ^{aeF}	0.38±0.00 ^{bf}	0.42±0.00 ^{ch}	0.46±0.00 ^{dH}	0.48±0.00 ^{cG}
18	0.40±0.00 ^{cG}	0.44±0.00 ^{dG}	0.34±0.00 ^{be}	0.21±0.00 ^{ab}	0.53±0.01 ^{ci}
20	0.43±0.00 ^{ch}	0.50±0.00 ^{dH}	0.38±0.00 ^{bf}	0.27±0.00 ^{ad}	0.56±0.00 ^{ci}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 34 โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้ำ
(urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	46.64±0.57 ^{aA}	46.64±0.57 ^{aA}	46.64±0.57 ^{aA}	46.64±0.57 ^{aA}	46.64±0.57 ^{aA}
2	46.00±2.57 ^{aA}	53.22±2.24 ^{bb}	51.82±0.45 ^{ba}	71.88±0.18 ^{cb}	75.44±0.18 ^{cb}
4	82.67±0.18 ^{ab}	85.38±2.97 ^{ac}	94.96±0.41 ^{cb}	82.13±0.21 ^{ac}	90.32±0.21 ^{bc}
6	94.31±0.53 ^{ac}	101.32±1.08 ^{cd}	99.06±0.35 ^{bb}	102.40±0.57 ^{ce}	109.41±0.57 ^{dd}
8	125.16±0.28 ^{bd}	132.17±0.21 ^{ce}	146.95±0.18 ^{dd}	121.28±0.12 ^{cf}	151.04±0.12 ^{ef}
10	138.32±0.18 ^{ag}	165.17±0.21 ^{bH}	138.75±11.09 ^{ad}	144.57±0.28 ^{ah}	178.65±0.28 ^{bg}
12	157.84±1.32 ^{ahH}	173.04±0.12 ^{ci}	174.02±0.21 ^{ce}	169.27±0.21 ^{bj}	184.26±0.21 ^{dh}
14	196.45±0.37 ^{ai}	201.41±0.21 ^{cj}	202.49±0.21 ^{df}	198.07±0.45 ^{bk}	204.21±0.45 ^{ci}
16	133.46±0.51 ^{bf}	144.36±0.77 ^{cG}	124.30±0.28 ^{ac}	147.81±0.18 ^{dl}	229.77±0.18 ^{cj}
18	129.58±0.37 ^{ce}	141.88±0.64 ^{dFG}	120.63±0.39 ^{ac}	124.08±0.00 ^{bg}	183.83±0.00 ^{ch}
20	123.87±0.74 ^{cd}	138.43±0.21 ^{df}	118.15±0.21 ^{bc}	97.33±0.56 ^{ad}	161.61±0.56 ^{cf}

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 35 คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหาร
 สูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

เวลา (วัน)	ยูเรีย (กรัมต่อลิตร)				
	0.0037	0.185	0.37	0.56	0.74
0	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}	13.73±0.03 ^{aA}
2	16.62±0.06 ^{bA}	15.41±0.11 ^{aB}	15.41±0.08 ^{aA}	15.47±0.20 ^{aB}	18.94±0.03 ^{cB}
4	26.35±0.08 ^{cB}	25.35±0.11 ^{cC}	21.85±0.10 ^{bB}	16.12±0.08 ^{aC}	22.21±1.34 ^{bC}
6	28.50±0.03 ^{bC}	29.94±0.05 ^{cD}	32.62±0.06 ^{dB}	18.32±0.10 ^{aE}	37.86±0.09 ^{cD}
8	31.92±0.06 ^{bD}	34.80±0.09 ^{cE}	34.80±0.10 ^{bD}	21.41±0.06 ^{aF}	39.07±0.03 ^{bE}
10	35.15±0.06 ^{bG}	37.01±0.05 ^{cH}	42.30±0.15 ^{dD}	25.85±0.12 ^{aH}	43.30±0.10 ^{cG}
12	42.21±0.16 ^{aH}	43.27±0.15 ^{bI}	44.45±0.23 ^{cE}	43.01±0.05 ^{bJ}	44.89±0.42 ^{cH}
14	45.75±0.06 ^{cI}	44.80±0.21 ^{bJ}	45.60±0.14 ^{cF}	44.22±0.09 ^{aK}	51.48±0.11 ^{dI}
16	48.13±0.06 ^{bF}	49.48±0.08 ^{dG}	46.69±0.07 ^{aC}	49.07±0.06 ^{cI}	55.10±0.19 ^{cJ}
18	40.83±0.06 ^{bE}	43.63±0.13 ^{dFG}	42.04±0.07 ^{cC}	39.39±0.09 ^{aG}	50.45±0.11 ^{cH}
20	34.18±0.08 ^{aD}	41.95±0.07 ^{cF}	34.21±0.06 ^{aC}	37.48±0.13 ^{bD}	45.22±0.06 ^{dF}

สัญลักษณ์ภายในวงกลมที่ใหญ่มากในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สัญลักษณ์ภายในวงกลมที่เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 36 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรการค้า (urea 46-0-0) ซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรียแตกต่างกัน

กรดไขมัน	N = 0.0037 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00
Caproic Acid	C6:0	0.00	0.63	0.82	0.81	0.27	0.00
Caprylic Acid	C8:0	0.00	0.42	0.36	3.08	2.78	0.42
Capric Acid	C10:0	0.86	3.45	2.46	7.52	4.07	9.16
Undecanoic Acid	C11:0	1.69	7.87	3.87	15.87	7.30	10.33
Lauric Acid	C12:0	0.86	12.00	9.45	4.28	2.25	2.30
Tridecanoic Acid	C13:0	1.12	5.22	3.58	2.47	1.52	0.44
Myristic Acid	C14:0	4.27	2.43	2.21	2.22	2.49	2.56
Myristoleic Acid	C14:1	1.18	1.73	2.72	3.64	4.91	2.07
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.68	0.55	0.29	0.83	1.08	1.07
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.57	0.77	0.85	0.78	1.09	0.79
Palmitic Acid	C16:0	23.90	35.43	34.55	30.41	33.70	29.77
Palmitoleic Acid	C16:1	6.86	5.71	6.04	5.76	6.30	8.59
Heptadecanoic Acid	C17:0	3.35	0.85	1.48	1.10	1.61	0.90
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	9.09	1.12	1.03	1.59	1.14	3.82
Stearic Acid	C18:0	0.65	2.33	3.80	2.41	3.77	3.51
Elaidic Acid	C18:1n9t	7.24	5.40	1.54	10.37	16.11	11.34
Oleic Acid	C18:1n9c	6.17	6.10	11.71	4.02	4.27	4.57
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	8.19	4.11	4.26	0.00	0.00	0.00
Linoleic Acid	C18:2n6c	3.04	0.00	0.58	0.52	0.26	4.70
Linolenic Acid	C18:3n3	0.00	0.00	0.44	2.01	0.69	0.00
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.00	0.47	0.00	0.00	2.67	2.04
Arachidic Acid	C20:0	6.23	2.40	2.34	0.00	0.00	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.54
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.00	0.43	0.00	0.61	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
Behenic Acid	C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	1.02	5.03	0.00	0.69	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		56.98	73.58	65.22	71.31	60.83	60.78
Unsaturated fatty acid		43.02	26.42	34.78	28.69	39.17	39.22
Monounsaturated fatty acid		31.79	20.82	23.90	26.16	33.81	31.94
Polyunsaturated fatty acid		11.23	5.60	10.88	2.52	5.36	7.28
C16-C18		68.49	61.52	65.43	58.18	70.52	69.23
C10:0-C18:2		79.72	95.06	90.43	93.79	91.85	95.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 36 (ต่อ)

N = 0.185 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.12	1.85	0.00	0.00
C6:0	0.00	1.11	1.09	1.42	0.00	0.00
C8:0	0.00	4.44	0.31	1.00	0.28	0.47
C10:0	0.86	2.95	2.35	3.85	7.47	6.48
C11:0	1.69	1.77	3.50	21.45	8.95	7.49
C12:0	0.86	17.96	8.22	4.02	3.25	2.18
C13:0	1.12	4.18	2.18	2.71	1.07	0.61
C14:0	4.27	8.10	2.27	2.57	2.25	2.78
C14:1	1.18	4.67	2.17	3.84	2.89	3.00
C15:0	0.68	3.06	0.63	0.84	0.80	1.13
C15:1	0.57	2.75	0.58	0.73	1.09	1.20
C16:0	23.90	22.32	27.15	30.96	34.46	34.92
C16:1	6.86	5.09	4.70	6.92	4.87	6.76
C17:0	3.35	1.81	0.89	1.04	0.67	1.34
C17:1	9.09	2.11	1.77	1.40	1.17	1.64
C18:0	0.65	2.94	2.37	2.57	4.37	6.57
C18:1n9t	7.24	1.02	0.24	0.00	16.20	12.47
C18:1n9c	6.17	5.99	8.77	8.64	5.62	6.05
C18:2n6t	8.19	1.75	4.99	2.71	0.00	1.02
C18:2n6c	3.04	0.91	0.00	0.26	0.53	0.00
C18:3n3	0.00	0.61	0.17	1.21	0.00	0.00
C18:3n6	0.00	0.00	0.56	0.00	2.58	2.80
C20:0	6.23	1.11	2.52	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.50	0.00	0.00	1.14	1.10
C20:2	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:3n6	0.00	0.28	0.00	0.00	0.35	0.00
C20:4n6	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	22.32	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	72.53	53.59	74.27	63.57	63.96
Unsaturated fatty acid	43.02	27.47	46.41	25.73	36.43	36.04
Monounsaturated fatty acid	31.79	22.14	18.22	21.54	32.98	32.22
Polyunsaturated fatty acid	11.23	5.34	28.18	4.19	3.45	3.82
C16-C18	68.49	44.54	51.61	55.72	70.47	73.57
C10:0-C18:2	79.72	89.38	72.78	94.52	95.66	95.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 36 (ต่อ)

N = 0.37 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	1.17	0.83	1.30	0.34	0.27
C8:0	0.00	1.55	0.18	1.04	3.66	2.40
C10:0	0.86	0.99	3.75	4.25	4.65	3.43
C11:0	1.69	5.86	6.27	11.42	8.42	8.08
C12:0	0.86	13.31	14.24	3.06	1.90	1.78
C13:0	1.12	5.43	6.65	1.82	1.01	2.51
C14:0	4.27	4.54	2.06	3.48	1.93	2.97
C14:1	1.18	3.46	2.76	5.09	1.87	4.05
C15:0	0.68	1.78	0.29	1.02	0.74	1.03
C15:1	0.57	1.19	0.55	1.06	0.81	1.28
C16:0	23.90	31.91	30.43	37.34	35.57	28.33
C16:1	6.86	5.58	5.26	4.85	5.82	7.96
C17:0	3.35	1.78	1.17	1.11	1.27	1.60
C17:1	9.09	1.65	1.40	1.79	0.91	1.00
C18:0	0.65	3.16	3.06	3.64	3.05	6.93
C18:1n9t	7.24	0.28	0.25	12.41	18.07	16.86
C18:1n9c	6.17	8.67	9.54	0.00	6.30	5.11
C18:2n6t	8.19	3.69	4.37	3.73	0.35	0.40
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C18:3n3	0.00	0.77	0.00	1.60	0.00	0.00
C18:3n6	0.00	0.60	0.46	0.00	2.78	2.37
C20:0	6.23	1.59	1.56	0.00	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C20:2	0.00	0.45	0.46	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.21
C20:3n6	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.32
C20:4n6	0.00	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.10
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	4.22	0.00	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	73.06	70.49	69.46	62.84	60.45
Unsaturated fatty acid	43.02	26.94	29.51	30.54	37.16	39.55
Monounsaturated fatty acid	31.79	20.83	19.76	25.21	33.78	36.25
Polyunsaturated fatty acid	11.23	6.11	9.75	5.33	3.38	3.30
C16-C18	68.49	58.08	55.93	66.47	74.11	70.56
C10:0-C18:2	79.72	93.27	92.05	96.06	92.66	93.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับนักเรียนที่สมัครเรียนที่โรงเรียนนี้ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 36 (ต่อ)

N = 0.56 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.53	0.00	0.54	0.42	0.00
C8:0	0.00	1.16	0.49	0.32	3.80	0.49
C10:0	0.86	1.61	2.75	3.34	5.48	5.18
C11:0	1.69	8.56	3.97	14.78	8.25	7.37
C12:0	0.86	15.33	8.33	2.32	2.38	1.74
C13:0	1.12	8.02	2.74	1.24	1.17	1.48
C14:0	4.27	4.19	3.08	2.08	3.68	3.42
C14:1	1.18	3.77	2.25	4.67	4.05	2.90
C15:0	0.68	1.41	0.76	0.94	1.12	2.82
C15:1	0.57	0.98	0.50	1.02	1.01	1.29
C16:0	23.90	29.92	33.35	27.30	35.92	32.94
C16:1	6.86	5.16	3.54	5.85	6.88	7.07
C17:0	3.35	1.30	0.98	1.10	1.71	1.03
C17:1	9.09	1.48	1.21	1.58	0.90	1.16
C18:0	0.65	2.22	6.96	3.67	3.38	8.54
C18:1n9t	7.24	0.27	1.32	0.00	0.00	0.00
C18:1n9c	6.17	8.02	9.45	13.16	14.31	14.56
C18:2n6t	8.19	2.75	3.24	4.19	3.64	4.18
C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	0.69	0.25	0.50
C18:3n3	0.00	0.43	0.16	2.05	1.64	1.56
C18:3n6	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00
C20:0	6.23	1.49	1.60	0.34	0.00	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
C20:2	0.00	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.44
C20:3n6	0.00	0.00	0.31	0.37	0.00	0.35
C20:4n6	0.00	0.00	0.18	0.28	0.00	0.00
C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.39
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	11.02	7.98	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	77.15	65.02	57.96	67.31	65.38
Unsaturated fatty acid	43.02	22.85	34.98	42.04	32.69	34.62
Monounsaturated fatty acid	31.79	19.67	18.27	26.28	27.15	27.58
Polyunsaturated fatty acid	11.23	3.19	16.71	15.76	5.53	7.03
C16-C18	68.49	51.55	60.57	59.57	68.64	71.55
C10:0-C18:2	79.72	94.98	84.43	87.91	94.14	96.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 36 (ต่อ)

N = 0.74 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00
C6:0	0.00	0.57	0.47	0.60	0.10	0.80
C8:0	0.00	0.53	0.20	3.04	0.25	2.22
C10:0	0.86	0.31	2.50	5.44	6.45	3.33
C11:0	1.69	7.32	5.77	9.46	7.26	6.66
C12:0	0.86	12.27	10.25	1.69	2.12	0.96
C13:0	1.12	4.06	2.40	1.17	0.31	1.17
C14:0	4.27	3.85	1.95	2.38	1.36	3.09
C14:1	1.18	3.81	2.32	4.61	1.58	3.38
C15:0	0.68	1.28	0.56	1.05	0.55	1.24
C15:1	0.57	0.88	0.65	1.29	0.46	2.21
C16:0	23.90	36.29	27.10	28.24	30.44	37.33
C16:1	6.86	6.08	5.93	7.66	6.88	3.96
C17:0	3.35	1.32	1.36	0.91	1.67	2.21
C17:1	9.09	1.54	1.81	1.34	0.62	1.04
C18:0	0.65	2.60	2.60	3.32	4.40	7.56
C18:1n9t	7.24	0.13	0.22	0.00	0.00	0.00
C18:1n9c	6.17	10.31	12.40	13.42	17.67	15.35
C18:2n6t	8.19	3.62	7.25	4.22	9.56	4.15
C18:2n6c	3.04	0.64	0.00	0.58	0.55	0.59
C18:3n3	0.00	0.46	0.26	2.45	4.16	1.38
C18:3n6	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00
C20:0	6.23	2.13	3.38	0.00	0.50	0.00
C20:1	0.67	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00
C20:2	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.30
C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	1.07
C20:4n6	0.00	0.00	0.66	0.18	0.00	0.00
C20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:2	0.00	0.00	4.88	5.89	0.00	0.00
C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95	0.00
C24:0	13.36	0.00	3.75	0.00	0.00	0.00
C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid	56.98	72.53	62.28	57.79	57.65	66.57
Unsaturated fatty acid	43.02	27.47	37.72	42.21	42.35	33.43
Monounsaturated fatty acid	31.79	22.75	23.32	28.31	28.08	25.95
Polyunsaturated fatty acid	11.23	4.72	14.40	13.90	14.27	7.49
C16-C18	68.49	63.00	59.88	62.13	75.96	73.56
C10:0-C18:2	79.72	96.31	85.06	86.75	91.89	94.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 37 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงใน
ปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K)

เวลา (วัน)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	0.11±0.01 ^a	0.19±0.00 ^a	0.27±0.00 ^c	42.22±0.21 ^a	9.41±0.34 ^a
2	0.22±0.01 ^b	0.27±0.02 ^b	0.10±0.00 ^a	45.46±0.32 ^b	12.85±0.15 ^b
4	0.28±0.01 ^c	0.34±0.01 ^c	0.29±0.00 ^d	92.70±0.48 ^c	17.23±0.05 ^c
6	0.46±0.02 ^d	0.75±0.01 ^d	0.36±0.00 ^e	132.28±0.53 ^d	25.91±0.03 ^d
8	0.79±0.02 ^e	0.8±0.01 ^c	0.21±0.00 ^b	143.60±0.32 ^f	35.77±0.14 ^e
10	0.91±0.01 ^f	0.81±0.0 ^c	0.31±0.00 ^c	152.77±0.12 ^g	37.68±0.03 ^f
12	1.10±0.02 ^g	0.87±0.01 ^f	0.30±0.00 ^d	174.55±0.18 ^j	48.92±0.09 ^h
14	1.26±0.01 ^h	0.99±0.00 ^g	0.32±0.00 ^e	193.86±0.37 ^k	50.81±0.09 ⁱ
16	1.65±0.02 ⁱ	1.22±0.02 ⁱ	0.34±0.00 ^f	161.29±1.09 ⁱ	58.68±0.06 ^j
18	0.90±0.02 ^f	1.11±0.01 ^h	0.62±0.02 ^h	157.84±0.27 ^h	50.40±0.22 ⁱ
20	0.82±0.01 ^c	0.89±0.04 ^f	0.69±0.01 ⁱ	136.70±0.32 ^e	46.69±0.10 ^g

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 38 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ (N: P: K)

กรดไขมัน		เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.22	0.00	4.75	4.52	0.00	0.26
Caproic Acid	C6:0	0.36	1.02	1.23	3.65	0.30	0.16
Caprylic Acid	C8:0	3.69	1.05	0.61	3.13	2.26	0.64
Capric Acid	C10:0	6.16	2.30	3.32	4.07	3.29	3.55
Undecanoic Acid	C11:0	12.94	5.35	6.87	18.61	7.62	4.61
Lauric Acid	C12:0	6.68	8.48	1.48	3.73	1.64	1.28
Tridecanoic Acid	C13:0	6.68	4.10	0.41	2.25	1.34	0.70
Myristic Acid	C14:0	1.14	2.85	2.33	3.46	2.43	1.77
Myristoleic Acid	C14:1	0.93	4.00	0.46	3.61	3.38	1.26
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.25	0.88	0.65	1.76	0.87	0.45
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.43	0.76	0.28	0.42	0.92	0.36
Palmitic Acid	C16:0	24.48	40.35	31.67	29.77	29.86	31.74
Palmitoleic Acid	C16:1	5.58	5.42	2.69	3.51	6.55	5.42
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.88	1.11	0.23	0.88	1.74	0.85
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.86	1.34	0.69	1.47	1.17	0.91
Stearic Acid	C18:0	3.51	3.07	7.59	3.61	4.20	4.04
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.00	3.32	0.83	6.87	0.00	11.89
Oleic Acid	C18:1n9c	13.10	4.28	9.19	0.00	12.36	0.00
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	2.74	5.75	5.25	2.41	5.34	5.82
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.00	0.00	0.12	0.43	0.85	0.63
Linolenic Acid	C18:3n3	0.20	3.07	0.23	1.59	1.67	0.27
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.24	0.50	0.43	0.26	0.34	4.88
Arachidic Acid	C20:0	0.00	0.00	4.01	0.00	0.00	0.39
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.55
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.41	0.00	1.02	0.00	0.00	0.18
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.08	0.00	0.75	0.00	0.31	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
Behenic Acid	C22:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	7.32	0.00	12.70	0.00	0.00	16.98
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		75.31	70.56	77.84	79.44	66.95	67.83
Unsaturated fatty acid		24.69	29.44	22.16	20.56	33.05	32.17
Monounsaturated fatty acid		20.92	19.12	14.35	15.88	24.38	20.38
Polyunsaturated fatty acid		3.78	10.32	7.80	4.69	8.67	11.79
C16-C18		51.59	68.20	58.93	50.79	64.09	66.45
C10:0-C18:2		87.37	93.36	74.06	86.85	83.59	75.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 39 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ย

สูตรการค้ำ (N: P: K)

เวลา (วัน)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	0.15±0.03 ^a	0.33±0.01 ^b	0.23±0.01 ^b	46.64±0.57 ^a	13.73±0.03 ^a
2	0.35±0.02 ^b	0.19±0.00 ^a	0.16±0.00 ^a	63.25±0.53 ^b	15.32±0.10 ^b
4	0.42±0.01 ^c	0.33±0.01 ^b	0.36±0.03 ^c	85.04±0.57 ^c	26.35±0.14 ^c
6	0.74±0.02 ^d	0.47±0.00 ^c	0.45±0.00 ^f	116.32±0.39 ^d	35.92±0.06 ^c
8	0.89±0.02 ^c	0.70±0.01 ^d	0.37±0.00 ^c	141.66±0.21 ^c	37.92±0.19 ^f
10	1.08±0.02 ^f	0.51±0.01 ^c	0.29±0.01 ^c	170.03±0.12 ^h	43.24±0.08 ^h
12	1.45±0.01 ^g	0.7±0.01 ^d	0.28±0.00 ^c	187.39±0.21 ⁱ	47.66±0.03 ⁱ
14	1.63±0.02 ^h	0.77±0.01 ^c	0.30±0.00 ^c	192.67±0.25 ^j	49.87±0.13 ^j
16	1.96±0.03 ⁱ	0.91±0.01 ^f	0.33±0.00 ^d	154.93±2.51 ^g	63.52±0.09 ^k
18	0.88±0.02 ^c	1.10±0.01 ^g	0.42±0.01 ^f	155.25±0.37 ^g	42.04±0.06 ^g
20	0.78±0.02 ^d	0.87±0.05 ^f	0.45±0.00 ^f	151.15±0.44 ^f	34.21±0.14 ^d

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 40 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้า
(N: P: K)

กรดไขมัน		เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.00	0.00	5.42	0.00	0.15	0.26
Caproic Acid	C6:0	0.00	0.51	0.91	0.24	0.44	1.24
Caprylic Acid	C8:0	0.00	0.25	0.76	1.14	3.33	3.24
Capric Acid	C10:0	0.86	1.78	1.98	0.56	4.80	3.89
Undecanoic Acid	C11:0	1.69	4.72	4.93	2.91	10.24	8.28
Lauric Acid	C12:0	0.86	7.32	7.76	5.80	2.71	0.97
Tridecanoic Acid	C13:0	1.12	2.47	2.56	12.41	1.74	1.90
Myristic Acid	C14:0	4.27	2.50	1.83	3.91	2.33	3.34
Myristoleic Acid	C14:1	1.18	0.03	2.61	3.34	3.12	2.32
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.68	0.27	0.54	2.92	1.03	0.96
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.57	0.62	0.47	1.04	0.96	0.57
Palmitic Acid	C16:0	23.90	31.46	26.21	29.15	30.49	42.13
Palmitoleic Acid	C16:1	6.86	4.63	4.42	5.97	6.08	6.42
Heptadecanoic Acid	C17:0	3.35	1.06	1.28	1.47	1.41	1.43
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	9.09	1.15	1.13	2.71	1.13	0.52
Stearic Acid	C18:0	0.65	3.36	3.15	2.84	3.05	2.07
Elaidic Acid	C18:1n9t	7.24	2.57	0.12	1.64	17.18	13.70
Oleic Acid	C18:1n9c	6.17	4.70	10.27	10.36	0.37	0.00
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	8.19	4.91	4.18	4.55	5.21	4.21
Linoleic Acid	C18:2n6c	3.04	0.00	0.00	0.80	0.38	0.00
Linolenic Acid	C18:3n3	0.00	2.85	0.26	3.18	2.72	0.00
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	0.00	6.79	0.68	0.63	0.42	2.56
Arachidic Acid	C20:0	6.23	0.00	2.00	0.44	0.00	0.00
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.67	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.00	0.00	0.16	0.74	0.00	0.00
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.00	0.49	0.24	0.31	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.14	0.39	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	16.05	8.68	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	7.20	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	13.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		56.98	55.71	66.53	63.92	62.12	69.71
Unsaturated fatty acid		43.02	44.29	33.47	36.08	37.88	30.29
Monounsaturated fatty acid		31.79	13.70	19.02	25.21	28.83	23.53
Polyunsaturated fatty acid		11.23	30.59	14.46	10.87	9.05	6.76
C16-C18		68.49	63.47	51.70	63.30	68.46	73.03
C10:0-C18:2		79.72	73.56	73.44	92.37	92.23	92.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 41 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงใน
 บัวยสูตรการค้ำยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)

เวลา(วัน)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	0.11±0.01 ^a	0.19±0.00 ^a	0.27±0.00 ^d	42.22±0.21 ^a	9.41±0.34 ^a
2	0.37±0.01 ^b	0.27±0.00 ^b	0.15±0.00 ^a	76.95±0.59 ^b	18.62±0.18 ^b
4	0.42±0.01 ^c	0.32±0.01 ^c	0.18±0.00 ^b	83.31±0.51 ^c	27.97±0.07 ^c
6	0.55±0.01 ^d	0.48±0.00 ^c	0.23±0.00 ^c	98.52±1.76 ^d	30.59±0.11 ^d
8	0.64±0.01 ^c	0.47±0.00 ^c	0.17±0.00 ^b	129.26±0.18 ^c	31.71±0.08 ^c
10	0.85±0.02 ^f	0.47±0.00 ^c	0.23±0.00 ^c	145.33±0.21 ^f	39.71±0.05 ^h
12	0.94±0.01 ^g	0.57±0.01 ^d	0.30±0.00 ^c	173.15±0.11 ^j	42.86±0.12 ⁱ
14	1.04±0.01 ^h	0.73±0.01 ^f	0.31±0.00 ^c	184.69±0.51 ^k	45.51±0.12 ^j
16	1.59±0.03 ⁱ	1.06±0.02 ^h	0.35±0.00 ^f	171.97±0.56 ⁱ	52.90±0.20 ^k
18	1.28±0.02 ^k	0.8±0.01 ^g	0.49±0.01 ^g	164.42±1.25 ^h	38.54±0.13 ^g
20	1.12±0.02 ^j	0.68±0.03 ^e	0.51±0.00 ^h	153.96±0.95 ^g	36.98±0.05 ^f

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 42 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ
ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.74 : 0.28 กรัมต่อลิตร)

กรดไขมัน		เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.22	0.00	12.46	0.32	0.00	0.16
Caproic Acid	C6:0	0.36	2.45	3.64	0.52	0.12	0.44
Caprylic Acid	C8:0	3.69	1.81	2.18	1.46	0.34	2.35
Capric Acid	C10:0	6.16	2.67	0.95	0.94	2.79	2.00
Undecanoic Acid	C11:0	12.94	3.70	3.20	8.05	7.80	5.55
Lauric Acid	C12:0	6.68	5.94	5.52	10.33	1.24	1.57
Tridecanoic Acid	C13:0	6.68	3.29	1.70	3.35	0.84	0.70
Myristic Acid	C14:0	1.14	6.30	3.06	3.39	3.02	2.07
Myristoleic Acid	C14:1	0.93	3.84	0.96	2.43	1.48	2.55
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.25	1.45	0.84	0.99	0.25	0.63
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.43	0.90	0.43	0.46	0.61	0.48
Palmitic Acid	C16:0	24.48	40.36	26.08	37.25	35.82	30.70
Palmitoleic Acid	C16:1	5.58	7.66	3.02	6.55	6.63	6.40
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.88	1.16	0.67	1.19	1.42	1.70
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.86	1.17	0.60	1.46	2.46	0.87
Stearic Acid	C18:0	3.51	3.41	4.25	3.00	0.81	2.17
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.00	4.08	0.27	11.55	17.13	17.62
Oleic Acid	C18:1n9c	13.10	2.20	5.22	0.00	0.00	0.00
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	2.74	4.94	2.91	3.61	8.97	12.37
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.00	0.00	0.00	0.50	0.95	1.03
Linolenic Acid	C18:3n3	0.20	2.67	3.44	2.33	0.00	0.00
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.24	0.00	0.16	0.20	5.66	7.45
Arachidic Acid	C20:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.88
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.41	0.00	1.01	0.14	0.00	0.00
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.08	0.00	0.25	0.00	0.59	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.31
Behenic Acid	C22:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.00	8.68	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	7.32	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		75.31	72.54	73.05	70.77	55.52	51.23
Unsaturated fatty acid		24.69	27.46	26.95	29.23	44.48	48.77
Monounsaturated fatty acid		20.92	19.85	10.50	22.44	28.31	27.93
Polyunsaturated fatty acid		3.78	7.61	16.45	6.78	16.17	20.84
C16-C18		51.59	67.66	46.63	67.63	79.85	80.32
C10:0-C18:2		87.37	93.07	59.68	95.03	92.21	88.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 43 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปุ๋ย

สูตรการค้ำชูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)

เวลา(วัน)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	0.15±0.01 ^a	0.35±0.02 ^a	0.09±0.00 ^a	104.12±0.48 ^a	9.05±0.16 ^a
2	0.22±0.01 ^b	0.57±0.01 ^b	0.24±0.01 ^b	130.98±0.92 ^b	10.27±0.25 ^b
4	0.29±0.01 ^c	0.67±0.01 ^c	0.28±0.00 ^c	144.03±0.92 ^c	12.99±0.12 ^c
6	0.35±0.01 ^d	0.96±0.00 ^d	0.32±0.00 ^d	166.62±0.96 ^d	14.21±0.04 ^d
8	0.42±0.01 ^c	1.04±0.01 ^c	0.41±0.00 ^c	255.22±0.25 ^c	26.76±0.31 ^d
10	0.46±0.01 ^f	1.22±0.01 ^f	0.42±0.01 ^f	404.06±0.58 ^f	32.28±0.08 ^c
12	0.56±0.01 ^e	1.27±0.01 ^g	0.49±0.00 ^g	420.38±0.63 ^g	47.23±0.26 ^f
14	0.64±0.02 ^h	1.42±0.01 ^h	0.51±0.00 ^h	424.39±0.86 ^h	57.35±0.21 ^g
16	0.73±0.01 ⁱ	1.56±0.00 ^j	0.54±0.00 ⁱ	435.19±0.58 ⁱ	65.66±0.38 ^h
18	0.76±0.01 ^j	1.64±0.01 ^k	0.56±0.00 ^j	454.77±1.33 ^j	69.78±0.15 ⁱ
20	0.66±0.01 ^h	1.53±0.00 ⁱ	0.58±0.00 ^k	418.87±1.66 ^g	73.18±0.44 ^j

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่แสดงในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 44 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในปฏิกิริยาการค้ำ
ยูเรีย : ฟอสฟอรัส (0.56 : 0.56 กรัมต่อลิตร)

กรดไขมัน		เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	0.32	0.07	0.36	0.05	0.20	0.39
Caproic Acid	C6:0	0.39	0.24	0.22	0.17	0.05	0.08
Caprylic Acid	C8:0	0.68	0.29	0.29	0.21	0.10	0.09
Capric Acid	C10:0	0.37	0.23	0.22	0.06	0.17	0.49
Undecanoic Acid	C11:0	5.39	0.76	0.27	0.16	0.80	0.30
Lauric Acid	C12:0	4.51	0.78	0.27	0.33	0.74	0.33
Tridecanoic Acid	C13:0	2.33	0.62	0.06	0.96	0.92	0.44
Myristic Acid	C14:0	2.28	3.93	3.03	3.79	2.50	2.49
Myristoleic Acid	C14:1	0.88	0.88	0.57	0.44	1.11	0.36
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.78	0.71	0.70	0.11	0.61	0.37
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.63	0.80	0.55	0.74	0.68	0.30
Palmitic Acid	C16:0	32.84	32.97	32.92	14.43	31.24	26.97
Palmitoleic Acid	C16:1	4.39	1.32	1.63	0.44	2.82	2.20
Heptadecanoic Acid	C17:0	2.05	1.78	2.18	1.83	1.95	1.47
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.29	0.08	0.00	0.65	0.13	0.57
Stearic Acid	C18:0	10.74	20.68	0.00	0.21	15.55	17.62
Elaidic Acid	C18:1n9t	4.20	5.85	21.34	0.79	4.46	5.06
Oleic Acid	C18:1n9c	11.39	9.78	12.88	4.29	12.03	11.96
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	1.08	0.22	1.23	19.46	2.20	3.12
Linoleic Acid	C18:2n6c	3.23	1.07	0.24	9.04	0.20	0.19
Linolenic Acid	C18:3n3	1.45	0.20	0.32	0.37	1.10	0.49
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.55	0.39	0.64	0.99	0.78	2.28
Arachidic Acid	C20:0	0.72	0.51	0.76	10.71	1.38	2.65
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.18	0.53	0.65	5.29	1.15	0.47
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.33	0.16	0.15	0.00	0.04	0.14
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.83	0.71	1.06	0.48	1.71	6.14
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.30	0.51	0.51	1.26	0.67	0.67
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.53	0.63	0.79	0.60	0.82	1.75
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.04	0.76	1.29	3.28	1.68	1.02
Heneicosanoic Acid	C21:0	1.14	0.69	1.50	0.16	1.53	0.83
Behenic Acid	C22:0	0.48	0.13	0.06	1.76	0.15	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.09	0.24	0.17	1.86	0.17	0.26
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.22	0.16	0.00	0.00	0.29	0.08
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	2.38	9.43	10.30	11.02	6.82	7.02
Tricosanoic Acid	C23:0	0.39	1.24	1.75	1.69	1.27	0.84
Lignoceric Acid	C24:0	0.52	0.15	0.20	1.89	0.37	0.10
Nervonic Acid	C24:1	1.10	0.51	0.89	0.47	1.62	0.46
Saturated fatty acid		65.93	65.77	44.79	38.52	59.52	55.48
Unsaturated fatty acid		34.07	34.23	55.21	61.48	40.48	44.52
Monounsaturated fatty acid		23.15	19.98	38.69	14.98	24.17	21.63
Polyunsaturated fatty acid		10.93	14.24	16.53	46.50	16.31	22.89
C16-C18		72.19	74.33	73.36	52.51	72.46	71.93
C10:0-C18:2		87.37	82.44	78.08	57.73	78.11	74.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 45 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรคลอเรลลาและยิวสูตรการค้ายิว 0.74 กรัมต่อลิตร ในระบบ Photobioreactor นอกห้องปฏิบัติการ

เวลา(วัน)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)		คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	คลอเรลลา	ยิว	คลอเรลลา	ยิว	คลอเรลลา	ยิว
0	0.13±0.01 ^a	0.16±0.01 ^a	0.19±0.00 ^a	0.27±0.00 ^a	0.94±0.04 ^a	0.14±0.01 ^a
2	0.20±0.02 ^b	0.23±0.01 ^b	0.23±0.02 ^a	0.34±0.02 ^b	1.40±0.02 ^{cd}	0.17±0.00 ^{ab}
4	0.33±0.02 ^c	0.25±0.01 ^b	0.36±0.01 ^{bc}	0.45±0.02 ^c	1.38±0.08 ^c	0.19±0.00 ^b
6	0.43±0.02 ^d	0.37±0.02 ^c	0.35±0.03 ^b	0.54±0.01 ^d	1.14±0.03 ^b	0.27±0.01 ^c
8	0.47±0.03 ^{de}	0.47±0.01 ^d	0.42±0.01 ^{cd}	0.64±0.00 ^e	1.35±0.02 ^c	0.30±0.00 ^{cd}
10	0.51±0.02 ^e	0.54±0.01 ^c	0.49±0.01 ^{cf}	0.69±0.01 ^f	1.49±0.02 ^{cd}	0.31±0.02 ^d
12	0.59±0.03 ^f	0.67±0.01 ^g	0.5±0.01 ^{ef}	0.77±0.01 ^h	1.42±0.06 ^{cd}	0.33±0.00 ^{de}
14	0.72±0.02 ^h	0.72±0.01 ^h	0.54±0.01 ^f	0.83±0.01 ⁱ	1.56±0.08 ^d	0.35±0.01 ^e
16	0.79±0.01 ⁱ	0.76±0.02 ^h	0.66±0.05 ^g	0.99±0.01 ^j	1.78±0.03 ^e	0.43±0.02 ^f
18	0.70±0.01 ^{gh}	0.64±0.00 ^g	0.49±0.01 ^{cf}	0.72±0.01 ^g	1.47±0.03 ^{cd}	0.35±0.01 ^e
20	0.65±0.01 ^{fg}	0.58±0.02 ^f	0.46±0.02 ^{dc}	0.55±0.01 ^d	0.95±0.10 ^a	0.32±0.00 ^{de}

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 45 (ต่อ)

เวลา(วัน)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	คลอเรลลา	ยิว	คลอเรลลา	ยิว
0	216.32±1.08 ^a	116.42±0.50 ^a	6.85±0.04 ^a	16.93±0.49 ^a
2	253.21±1.90 ^b	165.61±2.23 ^b	15.07±0.14 ^b	17.65±0.39 ^a
4	266.77±0.95 ^{bc}	206.28±1.48 ^c	19.50±0.04 ^c	24.85±0.80 ^b
6	271.03±3.54 ^c	234.14±1.90 ^d	23.47±0.06 ^d	36.70±0.97 ^c
8	269.03±8.66 ^c	244.68±1.90 ^e	25.94±0.07 ^d	39.71±0.33 ^c
10	281.83±7.30 ^c	257.48±2.28 ^f	27.68±0.08 ^e	43.90±0.04 ^d
12	300.65±7.13 ^d	280.57±2.69 ^g	29.52±0.10 ^g	57.89±0.09 ^e
14	296.89±17.86 ^d	331.02±0.86 ⁱ	36.18±0.14 ^h	67.02±0.07 ^g
16	387.25±6.79 ^f	431.17±0.92 ^k	38.08±0.06 ⁱ	73.52±0.11 ^h
18	362.40±4.05 ^e	390.76±1.80 ^j	28.96±0.58 ^f	67.02±0.07 ^g
20	358.13±14.02 ^e	300.40±0.48 ^h	23.54±0.13 ^d	64.75±0.12 ^f

สัญลักษณ์ภายในวงเล็บที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 46 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *S. dimorphus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
 คลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้ายูเรีย 0.74 กรัมต่อลิตร ในระบบ Photobioreactor
 นอกห้องปฏิบัติการ

กรดไขมัน	N = 0.74 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	1.29	0.17	0.13	0.24	0.37	0.15
Caproic Acid	C6:0	0.80	0.37	0.38	0.61	0.91	0.48
Caprylic Acid	C8:0	1.44	0.20	0.00	0.00	0.00	0.40
Capric Acid	C10:0	1.85	0.46	0.43	0.66	0.43	2.25
Undecanoic Acid	C11:0	1.40	3.25	5.96	4.07	4.71	6.69
Lauric Acid	C12:0	16.58	6.79	10.16	11.06	7.33	6.09
Tridecanoic Acid	C13:0	5.74	3.58	4.11	4.06	3.70	1.73
Myristic Acid	C14:0	2.13	1.28	1.31	1.96	2.15	2.06
Myristoleic Acid	C14:1	0.42	0.41	0.40	0.82	1.30	0.71
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.77	0.62	0.68	0.00	1.29	0.81
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.37	0.19	0.18	0.18	0.53	0.28
Palmitic Acid	C16:0	23.51	22.63	23.19	25.71	24.24	23.80
Palmitoleic Acid	C16:1	6.19	5.66	5.62	5.19	6.35	5.27
Heptadecanoic Acid	C17:0	4.17	9.51	6.84	9.92	8.98	11.96
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	1.72	1.54	1.63	0.63	1.75	6.31
Stearic Acid	C18:0	2.03	5.90	4.81	5.00	4.28	2.79
Elaidic Acid	C18:1n9t	5.84	4.09	3.25	2.74	4.83	0.00
Oleic Acid	C18:1n9c	0.00	0.00	1.08	0.45	0.00	0.00
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.30	0.77	0.00	0.00	0.00	16.03
Linoleic Acid	C18:2n6c	14.21	17.66	14.27	14.72	18.49	0.50
Linolenic Acid	C18:3n3	2.35	5.03	0.00	0.24	0.38	0.10
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	0.26	0.49	0.65	0.00	0.48	0.16
Arachidic Acid	C20:0	3.20	5.55	8.47	8.00	5.34	10.05
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.39	0.57	0.47	0.34	0.00	0.17
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.85	0.73	1.01	0.40	0.24	0.09
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.45	0.22	0.63	0.66	0.34	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.23	0.23	0.36	0.26	0.49	0.00
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	1.24	1.23	2.32	1.46	0.82	0.59
Behenic Acid	C22:0	0.00	0.00	0.65	0.48	0.11	0.00
Erucic Acid	C22:1n9	0.13	0.32	0.48	0.16	0.15	0.52
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	0.11	0.55	0.55	0.00	0.00	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturated fatty acid		66.27	62.08	69.99	73.22	64.66	69.85
Unsaturated fatty acid		33.73	37.92	30.01	26.78	35.34	30.15
Monounsaturated fatty acid		15.07	12.79	13.10	10.49	14.91	13.27
Polyunsaturated fatty acid		18.66	25.13	16.91	16.29	20.43	16.88
C16-C18		48.69	57.01	57.35	66.94	73.71	69.98
C10:0-C18:2		69.33	77.37	79.96	83.57	88.86	91.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 46 (ต่อ)

N = 0.74 กรัมต่อลิตร	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	0	0.58	0.12	0.09	0.02	0.04
C6:0	0.07	0.26	0.69	0.13	0.11	0.06
C8:0	0.4	2.34	0.27	0.51	0.52	0.33
C10:0	0.18	0.3	1.55	0.92	0.11	0.28
C11:0	2.85	5.58	4.9	5.5	3.84	4.28
C12:0	3.15	6.23	4.53	6.98	4.83	5.39
C13:0	0.86	2.9	1.8	3.3	2.04	2.71
C14:0	0.4	2.47	0.65	0.7	0.68	0.81
C14:1	0.9	1.5	0.69	0.98	0.8	0.86
C15:0	0.51	0.97	0.34	0.44	0.47	0.67
C15:1	0.61	0.82	12.11	0.39	0.5	0.41
C16:0	28.45	25.81	18.55	28.26	21.82	22.24
C16:1	2.85	4.41	3.59	4.34	5.34	3.62
C17:0	1.06	2.53	1.95	2.43	2.27	3.39
C17:1	1.34	1.88	1.61	1.8	3.33	2.74
C18:0	3.14	2.76	5	2	1.88	1.84
C18:1n9t	3.71	4.08	4.13	4.96	7.01	6.01
C18:1n9c	24.89	10.75	13.06	7.46	8.02	8.06
C18:2n6t	0	0	0.49	0	0	0
C18:2n6c	11.73	8.6	9.6	14.08	17.23	18.6
C18:3n3	0	0	0	0	0	0
C18:3n6	0.39	1.05	7.46	1.06	0.66	1.05
C20:0	9.26	9.14	3.06	9.01	14.35	12.08
C20:1	0.7	0.77	1.58	2.13	1.06	2.24
C20:2	0.42	0.13	0.12	0.2	0.2	0.17
C20:3n3	0.23	0.71	0.19	0.15	0.13	0.08
C20:3n6	0.18	0.2	0.39	0.35	0.47	0.29
C20:4n6	0	0	0	0	0	0
C20:5n3	0	0	0	0	0	0
C21:0	0	0	0	0	0	0
C22:0	0	0	0	0	0	0
C22:1n9	0	0	0	0	0	0
C22:2	0	0	0	0	0	0
C22:6n3	0.32	0.28	0.46	0.33	0.49	0.45
C23:0	0.22	0.19	0.32	0.36	0.26	0.28
C24:0	1.17	2.77	1.49	1.15	1.56	1.03
C24:1	0	0	0	0	0	0
Saturated fatty acid	51.73	64.82	45.24	61.76	54.75	55.42
Unsaturated fatty acid	48.27	35.18	55.48	38.24	45.25	44.58
Monounsaturated fatty acid	35	24.21	36.76	22.07	26.06	23.94
Polyunsaturated fatty acid	13.27	10.97	18.72	16.17	19.19	20.64
C16-C18	77.56	61.88	65.43	66.39	67.56	67.55
C10:0-C18:2	86.63	81.58	84.55	84.53	80.17	81.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 47 การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
 คลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ในระบบ Photobioreactor นอก
 ห้องปฏิบัติการ

เวลา (วัน)	ซีวมวล (กรัมต่อลิตร)		คลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)		แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	คลอเรลลา	NPK	คลอเรลลา	NPK	คลอเรลลา	NPK
0	0.19±0.00 ^a	0.21±0.01 ^a	0.32±0.00 ^a	0.19±0.00 ^a	0.15±0.01 ^a	0.37±0.00 ^a
2	0.23±0.02 ^b	0.37±0.02 ^b	0.60±0.00 ^b	0.26±0.01 ^b	0.22±0.00 ^b	0.40±0.00 ^b
4	0.33±0.01 ^c	0.50±0.03 ^c	0.76±0.00 ^c	0.29±0.01 ^b	0.25±0.00 ^c	0.44±0.00 ^c
6	0.36±0.00 ^d	0.61±0.02 ^d	0.90±0.00 ^d	0.33±0.01 ^c	0.26±0.00 ^d	0.46±0.01 ^d
8	0.38±0.01 ^c	0.67±0.02 ^d	1.10±0.01 ^c	0.41±0.01 ^d	0.36±0.00 ^c	0.50±0.00 ^c
10	0.42±0.01 ^f	0.79±0.02 ^c	1.19±0.01 ^f	0.54±0.01 ^c	0.44±0.01 ^f	0.54±0.00 ^f
12	0.46±0.01 ^g	1.15±0.03 ^{fg}	1.23±0.02 ^g	0.61±0.01 ^f	0.56±0.01 ^g	0.58±0.00 ^g
14	0.48±0.01 ^{gh}	1.69±0.04 ^h	1.29±0.01 ^h	0.68±0.03 ^g	0.61±0.00 ⁱ	0.69±0.01 ^h
16	0.52±0.01 ⁱ	2.07±0.01 ⁱ	1.44±0.00 ⁱ	1.07±0.00 ^j	0.57±0.01 ^h	0.79±0.00 ⁱ
18	0.57±0.01 ^j	1.20±0.05 ^g	1.68±0.01 ^k	0.91±0.01 ⁱ	0.60±0.00 ⁱ	0.82±0.01 ^j
20	0.50±0.01 ^{hi}	1.08±0.02 ^f	1.53±0.00 ^j	0.80±0.02 ^h	0.65±0.01 ^j	0.90±0.00 ^k

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 47 (ต่อ)

เวลา (วัน)	โปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	คลอเรลลา	NPK	คลอเรลลา	NPK
0	102.61±0.86 ^a	143.02±0.41 ^a	18.90±0.08 ^a	17.86±0.09 ^a
2	116.67±0.63 ^b	157.58±0.65 ^b	22.07±0.10 ^b	18.99±0.05 ^b
4	122.94±0.41 ^c	186.20±1.59 ^c	22.95±0.09 ^c	19.89±0.04 ^c
6	131.48±0.29 ^d	215.31±1.59 ^d	26.48±0.10 ^d	21.64±0.04 ^d
8	147.54±0.29 ^e	225.10±1.44 ^e	27.89±0.02 ^d	23.06±0.04 ^d
10	153.06±0.41 ^f	233.89±0.65 ^f	30.85±0.04 ^e	28.05±0.07 ^e
12	154.32±0.63 ^f	254.72±0.63 ^g	32.28±0.06 ^f	39.66±0.08 ^f
14	237.15±0.63 ^g	268.02±0.65 ^h	33.98±0.03 ^g	53.30±0.02 ^g
16	264.26±0.25 ^h	305.42±0.48 ⁱ	46.05±0.06 ^h	62.10±0.08 ^h
18	278.06±0.29 ⁱ	324.25±0.87 ^k	55.13±0.09 ⁱ	64.07±0.04 ⁱ
20	312.95±0.25 ^j	311.70±0.58 ^j	59.34±0.03 ^j	64.98±0.04 ^j

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษที่เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 48 กรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ของสาหร่าย *B. braunii* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร
 กลอเรลลาและปุ๋ยสูตรการค้า (N: P: K) ในระบบ Photobioreactor นอก
 ห้องปฏิบัติการ

กรดไขมัน		เวลา (วัน)					
		0	4	8	12	16	20
Butyric Acid	C4:0	2.59	0.39	1.18	0.09	0.13	0.38
Caproic Acid	C6:0	0.17	0.28	0.28	0.29	0.09	0.12
Caprylic Acid	C8:0	0.83	0.83	0.79	0.35	0.18	0.38
Capric Acid	C10:0	0.35	0.84	4.01	0.48	0.24	0.32
Undecanoic Acid	C11:0	0.17	0.79	3.28	2.62	1.09	0.10
Lauric Acid	C12:0	0.55	1.63	1.34	1.82	2.21	0.09
Tridecanoic Acid	C13:0	0.67	0.84	2.47	0.95	1.11	2.65
Myristic Acid	C14:0	0.17	3.01	1.40	2.98	3.00	0.41
Myristoleic Acid	C14:1	0.03	0.86	0.53	0.15	1.28	0.42
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.09	0.79	0.67	0.65	0.71	1.12
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.12	0.64	0.61	0.54	1.21	0.32
Palmitic Acid	C16:0	35.47	29.32	25.54	29.41	31.87	28.55
Palmitoleic Acid	C16:1	2.81	1.05	0.86	1.09	1.21	1.48
Heptadecanoic Acid	C17:0	2.19	1.54	1.24	1.64	0.98	1.15
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	1.56	1.63	1.51	1.72	2.34	2.28
Stearic Acid	C18:0	0.66	16.24	14.96	20.87	17.53	15.45
Elaidic Acid	C18:1n9t	13.81	7.24	5.59	5.41	5.18	6.15
Oleic Acid	C18:1n9c	9.37	1.51	1.44	11.37	8.95	7.12
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	2.35	1.43	2.06	1.75	2.19	1.86
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.59	0.39	1.14	0.19	0.75	0.93
Linolenic Acid	C18:3n3	2.95	0.39	0.60	0.70	0.65	0.80
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	3.46	13.77	0.37	0.14	0.50	0.88
Arachidic Acid	C20:0	0.30	0.30	1.42	1.02	1.17	1.14
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.63	0.49	0.60	0.22	0.58	0.54
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	2.68	0.69	0.93	0.57	0.23	6.99
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.22	0.47	0.39	0.44	0.17	0.83
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	1.72	0.65	0.00	0.05	1.03	0.89
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.45	0.45	0.71	0.48	0.49	0.42
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.32	0.74	0.19	0.02	0.41	0.23
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.33	1.48	2.60	0.89	1.83	1.80
Erucic Acid	C22:1n9	0.69	0.77	0.83	1.17	0.48	0.66
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	2.70	1.13	0.79	1.51	1.06	0.49
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	4.33	6.39	13.37	8.25	8.17	12.30
Tricosanoic Acid	C23:0	3.38	0.58	1.23	0.02	0.18	0.35
Lignoceric Acid	C24:0	0.42	0.36	0.02	0.05	0.54	0.17
Nervonic Acid	C24:1	0.84	0.11	5.02	0.09	0.23	0.23
Saturated fatty acid		48.35	59.20	62.43	64.13	62.87	54.18
Unsaturated fatty acid		51.65	40.80	37.57	35.87	37.13	45.82
Monounsaturated fatty acid		29.86	14.30	17.00	21.75	21.47	19.20
Polyunsaturated fatty acid		21.78	26.50	20.56	14.12	15.66	26.62
C16-C18		75.22	74.51	55.32	74.30	72.15	66.65
C10:0-C18:2		70.97	69.75	68.66	83.66	81.87	70.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 48 (ต่อ)

	เวลา (วัน)					
	0	4	8	12	16	20
C4:0	2.15	3.50	1.14	0.29	0.44	0.34
C6:0	0.41	0.46	0.30	0.38	0.21	0.52
C8:0	4.87	5.19	2.70	1.76	1.16	0.75
C10:0	6.08	6.62	9.21	6.02	11.99	8.19
C11:0	2.65	4.01	2.88	2.16	3.79	1.60
C12:0	0.80	0.23	0.20	0.11	0.03	0.05
C13:0	1.80	1.37	1.23	2.78	1.22	1.47
C14:0	2.17	2.32	1.93	3.12	2.91	2.48
C14:1	0.69	0.59	0.53	1.00	0.79	0.77
C15:0	0.84	0.80	0.76	1.25	0.98	0.92
C15:1	0.67	0.65	0.66	0.96	0.73	0.77
C16:0	29.83	29.48	28.71	38.71	32.13	39.14
C16:1	2.01	1.86	1.42	1.78	0.93	0.65
C17:0	2.60	1.79	1.66	1.75	2.15	3.62
C17:1	2.49	2.36	2.42	3.34	3.07	3.18
C18:0	1.82	1.63	1.67	2.40	2.45	2.74
C18:1n9t	6.97	7.17	5.61	6.22	5.71	6.28
C18:1n9c	6.99	7.26	4.45	4.34	2.34	3.66
C18:2n6t	5.46	5.59	2.21	3.18	2.53	1.82
C18:2n6c	1.07	1.18	0.75	1.13	1.26	1.08
C18:3n3	2.96	2.55	2.07	2.88	4.24	4.72
C18:3n6	7.09	6.54	21.42	8.19	9.91	9.01
C20:0	1.55	1.03	1.18	1.51	2.45	2.09
C20:1	1.78	2.42	1.19	1.37	1.15	1.36
C20:2	0.13	1.11	0.15	0.21	0.25	0.24
C20:3n3	0.18	0.23	0.11	0.10	0.08	0.07
C20:3n6	0.59	0.19	0.06	0.12	0.07	0.17
C20:4n6	0.51	0.06	0.01	0.11	2.21	0.29
C:20:5n3	0.70	0.11	0.08	0.16	1.72	0.12
C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C22:0	0.17	0.26	0.10	0.10	0.09	0.08
C22:1n9	0.20	0.39	0.33	0.46	0.39	0.38
C22:2	0.42	0.24	0.45	1.00	0.23	0.22
C22:6n3	0.26	0.19	1.85	0.39	0.18	0.28
C23:0	0.98	0.59	0.54	0.51	0.18	0.45
C24:0	0.05	0.00	0.00	0.18	0.01	0.35
C24:1	0.08	0.00	0.00	0.04	0.05	0.16
Saturated fatty acid	58.77	59.29	54.22	63.04	62.18	64.78
Unsaturated fatty acid	41.23	40.71	45.78	36.96	37.82	35.22
Monounsaturated fatty acid	21.86	22.70	16.61	19.50	15.15	17.21
Polyunsaturated fatty acid	19.36	18.01	29.16	17.46	22.67	18.01
C16-C18	69.29	67.42	72.39	73.90	66.71	75.90
C10:0-C18:2	74.94	74.92	66.31	80.23	74.99	78.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 49 สูตรอาหารคลอเรลลา

สูตรอาหาร	ปริมาณต่อลิตร
โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3)	1.250 กรัม
โมโนโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (KH_2PO_4)	1.250 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	1.000 กรัม
แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)	0.084 กรัม
กรดบอริก (H_3BO_3)	0.014 กรัม
เฟอร์รัสซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.050 กรัม
ซิงค์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.088 กรัม
แมงกานีสคลอไรด์ 4-ไฮเดรต ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	0.014 กรัม
โมลิบดีนัมออกไซด์ (MoO_3)	0.007 กรัม
คอปเปอร์ซัลเฟต 5-ไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0.016 กรัม
โคบอลต์ไนเตรท 6-ไฮเดรต [$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$]	0.005 กรัม
อีดีทีเอ (EDTA)	0.500 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาว จิรรัตน์ พรหมนารถ

วัน เดือน ปีเกิด 7 พฤษภาคม 2532 ที่กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ 3/13 หมู่ 10 ซอยเจียมเจริญ 4 ต. บางคูรัด อ. บางบัวทอง จ. นนทบุรี

ประวัติการศึกษา 2553 วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2556 จิรรัตน์ พรหมนารถ และสุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ. 2556. “ผลของความเข้มข้นของ
ไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก
Scenedesmus dimorphus” วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง 7 : 93-101.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้