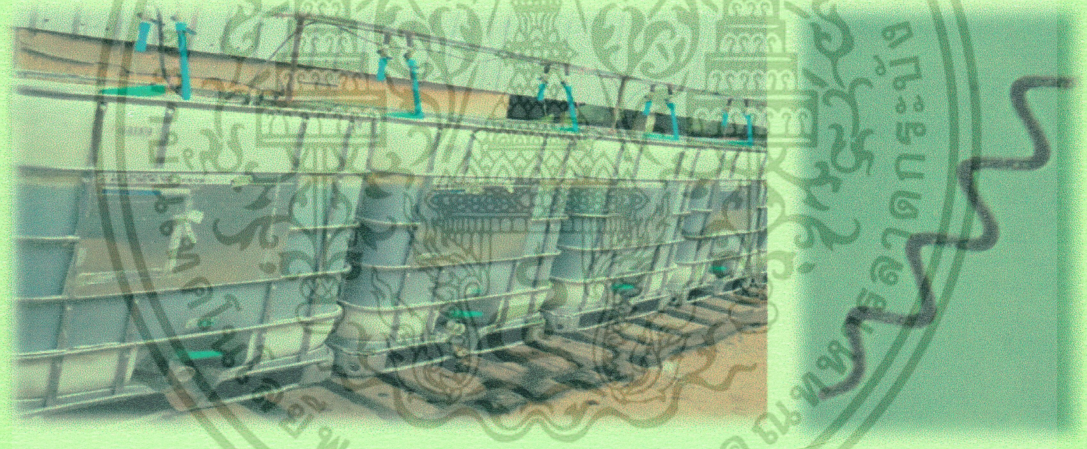
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์และการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

Biofixation of carbon dioxide from biomass fuel of feedmiller using alga *Spirulina platensis* and utilization of algal biomass by-product for aquatic animal feeds



รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ดร. นรธัช ประชุม

นายดุสิต เอื้ออำนวย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์และการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

Biofixation of carbon dioxide from biomass fuel of feedmiller using alga *Spirulina platensis* and utilization of algal biomass by-product for aquatic animal feeds

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ดร. นรธัช ประชุม

นายดุสิต เอื้ออำนวย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์และการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

Biofixation of carbon dioxide from biomass fuel of feedmiller using alga *Spirulina platensis* and utilization of algal biomass by-product for aquatic animal feeds

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
ดร. นรธัช ประชุม
นายดุสิต เอื้ออำนวย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
สส821ก
2560
หมู่ 149086
เลขทะเบียน
วันเดือนปี 4 ส.ค. 2561
b 1288134X
i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์และการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ

Biofixation of carbon dioxide from biomass fuel of feedmiller using alga *Spirulina platensis* and utilization of algal biomass by-product for aquatic animal feeds

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
ดร. นรธัช ประชุม
นายดุสิต เอื้ออำนวย

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์และการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหารสัตว์น้ำ
แหล่งเงิน เงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560
ประจำปีงบประมาณ 2560 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 498,680 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559 ถึง 30 กันยายน 2560
หัวหน้าโครงการและผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
ดร. นรธัช ประชุม
อ. ดุสิต เอื้ออำนวย
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมีของการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ ผันแปรคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04-9 เปอร์เซ็นต์ เพาะเลี้ยงสาหร่าย 18 วัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีค่าชีวมวล (0.56±0.08 กรัมต่อลิตร) คลอโรฟิลล์ (3.00±0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม) และ ผลผลิตน้ำมัน 1801.70±28.85 มิลลิกรัมต่อลิตร สูงที่สุด ส่วนคาร์โบไฮเดรต (206.11±28.10 มิลลิกรัมต่อกรัม) โปรตีน (795.17±33.55 มิลลิกรัมต่อกรัม) และแคโรทีนอยด์ (4.19±0.40 ไมโครกรัมต่อกรัม) สูงสุดเมื่อสาหร่ายได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยชนิดกรดไขมันที่พบสูงได้แก่ palmitic acid และ linoleic acid

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยผันแปรความเข้มแสง 500-3000 ลักซ์ พบว่าที่ระดับความเข้มแสง 1500 ลักซ์ สาหร่ายมีชีวมวล คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท และโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 0.50±0.03 กรัมต่อลิตร, 1.23±0.04, 0.0013±0.0000, 126±1.78 และ 49.07±1.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณไฟโคไซยานินพบสูงที่สุด 295±32 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสาหร่ายที่เลี้ยงโดยได้รับแสงที่ระดับ 1000 ลักซ์ และผลผลิตไขมัน (0.20±0.01 กรัมต่อลิตร) พบมากที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงที่ความเข้มแสง 500 ลักซ์

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในปุ๋ยสูตรการค้า N:P:K โดยปรับความเข้มข้นให้เท่ากับปุ๋ยในห้องปฏิบัติการ พบว่ามีชีวมวลที่วันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.5±0.02 กรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์ ไฟโคไซยานิน คาร์โบไฮเดรท โปรตีน มีค่าอยู่ในช่วง 0.32- 1.84, 71-231, 53-126 และ 10-41.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และลิพิดมีค่าอยู่ในช่วง 23.1-36.04 เปอร์เซ็นต์

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ โดยใช้ปุ๋ยเข้มข้น 50-100 เปอร์เซ็นต์ และผันแปรแสงธรรมชาติและได้รับแสง 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่ายที่ได้รับปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสงตลอดเวลา มีน้ำหนักแห้ง โปรตีน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และผลผลิตไขมัน สูงที่สุดเท่ากับ 0.4514±0.01 กรัมต่อลิตร, 32.50±1.69, 0.26±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.229±0.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.24±0.09 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนสาหร่ายที่ได้รับอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ ได้รับแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว มีค่าคาร์โบไฮเดรทสูงที่สุดคือ 23.93±2.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชนิดกรดไขมันที่พบสูงได้แก่ palmitic acid, oleic acid, linoleic acid และ arachidic acid ซึ่งล้วนเป็นกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์และสัตว์น้ำ

ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค Feed microscopy พบว่าสาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีสีที่เข้มและกลิ่นของสาหร่ายที่แรงกว่า และพบการปลอมปนบ้างเล็กน้อย (~2%) นอกจากนี้พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Bulk density) ที่สูงกว่าสาหร่ายเกรด commercial ($p \leq 0.05$) จากการประเมินองค์ประกอบทางเคมี พบว่าสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงด้วย flue gas จากบอยเลอร์ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสไปรูลิน่าตามท้องตลาด (Commercial) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่ากรดอะมิโนจำเป็น (Indispensable amino acids) ส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเกรดที่ขายในท้องตลาด ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงมาผสมในอาหารกุ้งที่ระดับต่างๆ (0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพอาหาร พบว่าค่าความคงตัวในน้ำ (Water stability) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้พบว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีนจากสาหร่ายที่ได้ทั้งสองชนิดในกุ้งขาวแวนนาไมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าการย่อยได้โปรตีนอยู่ระหว่าง 85.4–85.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าการย่อยได้ปรากฏของกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด ได้แก่ ไลซีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน เฟนิลอะลานีน และกรดอะมิโนกลุ่ม BCAAs ใน *Spirulina sp.*, Cultured สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสาหร่าย Commercial ค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนกลุ่มซัลเฟอร์ใน *Spirulina sp.*, Cultured น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสาหร่ายสไปรูลิน่า Commercial ($p \leq 0.05$) ค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) บางชนิด ได้แก่ อะลานีน (Alanine) ไกลซีน (Glycine) ซีลีน (Serine) ในสาหร่ายที่ผลิตได้จาก flue gas สูงกว่า *Spirulina* sp., Commercial อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : สไปรูลิน่า, คาร์บอนไดออกไซด์, โรงงานผลิตอาหารสัตว์, อาหารสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Biofixation of carbon dioxide from biomass fuel of feedmiller using alga *Spirulina platensis* and utilization of algal biomass by-product for aquatic animal feeds
Researcher: Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon
Dr. Noratat Prachom
Mr. Dusit Aue-Amneoy
Faculty: Faculty of Agricultural Technology **Department:** Department of Fisheries Science

ABSTRACT

The effect of 0.04-9% CO_2 on growth and biochemical composition of *Spirulina platensis* were studied in laboratory for 18 days. The maximum biomass (0.56±0.08 g/l), chlorophyll (3.00±0.12 mg/g) and lipid yield (1801.70±28.85 mg/l) were obtained in 0.04% CO_2 supplied. The maximum carbohydrate (206.11±28.10 mg/g), protein (795.17±33.55 mg/g) and carotenoid (4.19±0.40 µg/g) were obtained in 3% CO_2 supplied. The major fatty acid components found in this alga were palmitic acid and linoleic acid.

Alga cultivated under light intensity 500-3000 Luxs were studied and found that the maximum biomass, chlorophyll, carotenoid, carbohydrate and protein of 0.50±0.03 g/l, 1.23±0.04, 0.0013±0.0000, 126±1.78 and 49.07±1.26 mg/l, respectively, were obtained under 1500 Luxs. The maximum phycocyanin (295±32 mg/l) and lipid yield (0.20±0.01 g/l) were obtained under 1000 and 500 Luxs, respectively.

The result showed the alga cultivation in NPK medium (similar concentration with Zarrouk medium) showed the high biomass 0.5±0.02 g/l, chlorophyll, phycocyanin, carbohydrate, protein and lipid content of 0.32- 1.84, 71-231, 53-126, 10-41.5 mg/l, and 23.1-36.04%, respectively.

The cultivation of this alga supplied with flue gas from feedmiller with various medium concentrations (50-100 %) and light time (12-24 h) was studied. The result showed that alga cultivated under 100 % medium and 24 h light exposure showed the maximum biomass, protein, chlorophyll, carotenoid and lipid yield of 0.4514±0.01 g/l, 32.50±1.69, 0.26±0.00 mg/l, 0.229±0.00 µg/l and 0.24±0.09 g/l, respectively. The maximum carbohydrate (23.93±2.42 mg/l) was obtained under 100 % medium and natural light exposure. The major fatty acid components found in this alga were palmitic acid, oleic acid, linoleic acid and arachidic acid, which beneficial for human and aquatic animal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical characteristics of *Spirulina*, cultured had stronger color and algal smell than *Spirulina*, commercial. Adulteration of *Spirulina*, cultured was observed under stereo microscope (~2%). Cultured *Spirulina* from flue gas had lower protein and amino acid content than commercial *Spirulina*. High inclusion levels of Spirulina linearly improved the water stability of the pellet for white shrimp feed ($p \leq 0.05$). Both Spirulina, cultured or commercial had high digestibility of protein (85.4–85.5%) and their protein digestibility were non-significantly different ($p \geq 0.05$). Majority of indispensable amino acids (i.e. lysine, threonine, tryptophan, phenylalanine and branch-chained amino acids (BCAAs) in cultured *Spirulina* had higher digestibility than those of amino acids in commercial *Spirulina* ($p \leq 0.05$). Contrary, sulfur amino acids (i.e. methionine and cysteine) in cultured microalgae had lower than commercial *Spirulina*. Dispensable amino acids (i.e. alanine, glycine, and serine) had higher in cultured microalgae than commercial grade ($p \leq 0.05$).

Key words: *Spirulina*, carbon dioxide, feedmiller, animal feed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

"การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560"

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
ดร. นรธัช ประชุม
อ. ดุสิต เอื้ออำนวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย	3
1.5 คำสำคัญของการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ปัญหาภาวะโลกร้อน	4
2.2 สาหร่ายกับการลดภาวะโลกร้อน	5
2.3 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์	5
2.4 ความเหมาะสมในด้านการเพาะเลี้ยงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย	7
2.5 ความเหมาะสมด้านคุณค่าโภชนาการและองค์ประกอบที่มีคุณค่าในเซลล์ของสาหร่าย	7
2.6 การใช้ประโยชน์สาหร่ายเป็นอาหารสัตว์น้ำ	8
2.7 การใช้สาหร่ายเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ	9
2.8 การคัดเลือกสาหร่ายสำหรับดักจับคาร์บอนไดออกไซด์และเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	12
3.1 การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ด้วยระบบดักจับแบบสาหร่ายประสิทธิภาพสูง	12
3.2 การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายที่ได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	16
4.1. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย	16
4.2. ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย	39
4.3. การปรับปรุงสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยง	51
4.4. ศึกษาการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำด้วยระบบดักจับแบบสาหร่าย	57
4.5 การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายที่ได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม	80
ประวัติผู้เขียน	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไปที่ใช้ในอาหารสัตว์ 10

2.2 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นของสาหร่ายเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไปที่ใช้ในอาหารสัตว์ 10

4.1 การเจริญเติบโตและไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมี CO_2 แตกต่างกัน 28

4.2 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 0.04% ที่แตกต่างกัน..... 29

4.3 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 3% ที่แตกต่างกัน..... 31

4.4 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 6% ที่แตกต่างกัน..... 33

4.5 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 9% ที่แตกต่างกัน..... 35

4.6 ความสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์..... 37

4.7 สหสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (กรัมต่อลิตร) ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ผลผลิตไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร) และกำลังการผลิตไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)..... 38

4.8 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ที่สิ้นสุดการทดลอง..... 38

4.9 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน สิ้นสุดการทดลอง..... 42

4.10 การผลิตลิพิดของ ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน 43

4.11 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 500 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน..... 44

4.12 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 1000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน..... 46

4.13 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 1500 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน..... 48

4.14 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 2000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน..... 50

4.15 การผลิตลิพิดของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK..... 54

4.16 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปุ๋ย NPK..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.17 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปุ๋ย NPK ที่สิ้นสุดการทดลอง 56

4.18 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 58

4.19 พีเอชของอาหารเลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 58

4.20 คาร์โบไฮเดรท (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 59

4.21 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 59

4.22 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 60

4.23 โปรตีน (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 60

4.24 โปรตีน (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 61

4.25 โปรตีน (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 61

4.26 คลอโรฟิลล์ (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 62

4.27 คลอโรฟิลล์ (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 62

4.28 คลอโรฟิลล์ (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 63

4.29 แคโรทีนอยด์ (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 63

4.30 แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.31 แคโรทีนอยด์ (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ..... 64

4.32 การผลิตสิพิดของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ..... 65

4.33 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ สิ้นสุดการทดลอง..... 65

4.34 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันเริ่มต้นของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน..... 66

4.35 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน..... 68

4.36 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน..... 70

4.37 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลินาจากการเลี้ยงเทียบกับท้องตลาด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) 73

4.38 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายสไปรูลินาจากการเลี้ยงเทียบกับท้องตลาด..... 74

4.39 การคงตัวในน้ำของอาหารที่มีสไปรูลิน่าที่ระดับ 0, 5, 10 และ15 เปอร์เซ็นต์..... 74

4.40 สูตรอาหารสำหรับการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของสารอาหารของสาหร่ายในอาหารกุ้งขาว (กรัมต่อกิโลกรัม) 75

4.41 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารสำหรับการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของสาหร่ายในอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง) 76

4.42 ค่าการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของวัตถุแห้งและโปรตีนของสาหร่ายในกุ้งขาว (เปอร์เซ็นต์)..... 77

4.43 ค่าการย่อยได้ปรากฏของกรดอะมิโนของสาหร่ายในกุ้งขาว (เปอร์เซ็นต์) 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 ลักษณะเส้นสายสาหร่าย *Spirulina platensis* สายพันธุ์ที่ทำการเพาะเลี้ยง	12
3.2 ลักษณะถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 1000 ลิตร พร้อมระบบแกสที่ส่งเข้าสู่ถังเพาะเลี้ยง	13
3.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำปล่อยเข้าสู่ถังเพาะเลี้ยง	14
3.4 ลักษณะการผสมของมวลน้ำเมื่อมีการให้แกสคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในถังเพาะเลี้ยงสาหร่าย	14
3.5 ลักษณะการให้แสงสีน้ำเงินในภาชนะเพาะเลี้ยงสาหร่ายในช่วงกลางคืน	14
4.1 การเจริญเติบโตของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	23
4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	23
4.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	24
4.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	24
4.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	25
4.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (เปอร์เซ็นต์) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	25
4.7 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	26
4.8 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	26
4.9 ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	27
4.10 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน	27
4.11 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	39
4.12 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	39
4.13 คลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	40
4.14 แคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	40
4.15 ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริทรินของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	41
4.16 คาร์โบไฮเดรทและโปรตีนของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน	42
4.17 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.18 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK..... 52
4.19 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK..... 53
4.20 ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริทรินของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK..... 53
4.21 คาร์โบไฮเดรทและโปรตีนของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK..... 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเผาผลาญเชื้อเพลิงในการพัฒนาทางอุตสาหกรรม เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (Green house gases) โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้น ทำให้ฤดูกาลต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป สำหรับผลกระทบต่อมนุษย์นั้น อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้บางพื้นที่กลายเป็นทะเลทราย ประชาชนขาดแคลนอาหารและน้ำดื่ม บางพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมหนัก เนื่องจากฝนตกรุนแรงขึ้น น้ำแข็งขั้วโลกและบนยอดเขาสูงละลาย ทำให้ปริมาณน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น อาจทำให้บางพื้นที่จมหายไปอย่างถาวร และคาดว่าจะทำให้เกิดภาวะลมฟ้าอากาศเปลี่ยนอย่างรุนแรง เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตผลทางเกษตร การสูญพันธุ์พืช-สัตว์ต่าง ๆ รวมทั้งการกลายพันธุ์และแพร่ขยายโรคต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปัญหาภาวะโลกร้อนจึงเป็นปัญหาสำคัญที่จะต้องร่วมมือกันป้องกัน และเสริมสร้างความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น (ที่มา: องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก)

กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์เพิ่มการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญชนิดอื่นๆ มากขึ้น แหล่งเกิดตามธรรมชาติของคาร์บอนไดออกไซด์ในตอนแรกมีปริมาณสูงกว่าจากกิจกรรมมนุษย์ประมาณ 20 เท่า แต่ปริมาณจากธรรมชาติดังกล่าวอยู่ในภาวะสมดุลด้วยการกักเก็บตามธรรมชาติ ความเข้มของปริมาณ CO_2 ที่เจือปนในบรรยากาศปัจจุบันมีประมาณ 383 ppm และถูกคาดการณ์ว่าปริมาณ CO_2 ในอนาคตจะสูงขึ้นอีกจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน อัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนทางเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี และการพัฒนาของตัวธรรมชาติเอง แต่ขึ้นอยู่กับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก มีรายงานว่าจากการจำลองการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (Special Report on Emissions Scenarios) ของ IPCC ได้จำลองว่าปริมาณ CO_2 ในอนาคตจะมีค่าอยู่ระหว่าง 541 ถึง 970 ส่วนในล้านส่วน ในราวปี พ.ศ. 2643 และยังสามารถเพิ่มปริมาณขึ้นได้อีกเมื่อเลยปี 2643 ไปแล้ว ถ้าเรายังคงใช้ถ่านหิน น้ำมันดิน น้ำมันดินในทราย หรือมีเทนก้อน (Methane Clathratesmethane Clathrates) ต่อไป

ดังนั้นการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเสริมสร้างความเข้าใจและการยอมรับของประชาชนและกลุ่มเอ็นจีโอ แม้ว่าการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับประเทศไทยยังไม่อยู่ในภาคบังคับก็ตาม โดยเทคโนโลยีการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธี ได้แก่ Enhanced Oil Recovery (EOR), Enhanced coal bed methane recovery (ECBM), Enhanced Geothermal Systems (EGS), Mineral carbonation และ Biological CO_2 Fixation หรือวิธีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีชีวภาพ โดยวิธีหลังสุดนี้มีความเหมาะสมมาก เนื่องจากต้นทุนการก่อสร้างระบบและต้นทุนการดำเนินงานต่ำ ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำผลพลอยได้จากกระบวนการนำมาใช้ใหม่ในรูปแบบอื่นได้ด้วย

การดำเนินกิจกรรมของโรงงานผลิตอาหารสัตว์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากขั้นตอนการดำเนินงานสูงกว่าปริมาณที่มีในธรรมชาติมาก ซึ่งหากลดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานเหล่านี้ได้จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง วิธีที่น่าสนใจคือการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีชีวภาพ ซึ่งเป็นการใช้สิ่งมีชีวิตในการดูดซับ จับ หรือกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสาหร่ายขนาดเล็กได้รับการยอมรับว่ามีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มีประสิทธิภาพสูง เพาะเลี้ยงได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนต่ำ เจริญเติบโตได้รวดเร็ว นอกจากนี้หากเลือกชนิดสาหร่ายที่เหมาะสมมาใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำให้ได้ผลผลิตสาหร่ายที่มีประโยชน์และนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้อีกด้วย

สาหร่ายมีศักยภาพในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงถึง 0.2-1 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อลิตรต่อวัน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82% (Scott et al, 2010) เนื่องจากสาหร่ายจำเป็นต้องใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง หากขาดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สาหร่ายจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และหากได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เหมาะสมจะเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของสาหร่ายได้อย่างดี สาหร่ายหลายชนิดมีโปรตีนและน้ำมันสูง มีกรดไขมันที่ช่วยในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและความจำ และยังพบรงควัตถุที่สามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้เร่งสีและกระตุ้นภูมิคุ้มกัน จึงมีผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตเป็นอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์น้ำ เป็นแหล่งพลังงานทดแทน หรือเป็นวัตถุดิบในการสกัดสารเพื่อผลิตเครื่องสำอาง หรืออาหารเสริมสุขภาพต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก

ดังนั้นหากมีการนำชนิดสาหร่ายที่เหมาะสม มาใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์ จะทำให้สามารถป้องกันและลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับกิจการ และยังผลิตสาหร่ายที่มีประโยชน์เป็นผลพลอยได้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ โดยใช้ระบบสาหร่ายในการดักจับ
2. เพื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ในการผลิตสาหร่ายชนิดที่มีประโยชน์
3. เพื่อศึกษาการนำผลพลอยได้จากสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมและที่ระดับสูงสุดที่สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ ศึกษาความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย ในระดับห้องปฏิบัติการ และทำการเพาะเลี้ยงในระดับมหมวล (outdoor cultivation) ในบ่อกลางแจ้งโดยออกแบบเป็นระบบดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยสาหร่าย มีการให้คาร์บอนไดออกไซด์จากขบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์โดยตรง จากนั้นนำสาหร่ายที่ได้ไปผลิตเป็นอาหารสัตว์น้ำ

กระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบให้ความร้อน โดยใช้การเผาผลาญชีวมวล ปล่อยก๊าซออกสู่บรรยากาศโดยตรงจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม สาหร่ายสามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต สาหร่ายหลายชนิดมีประโยชน์ทั้งด้านอาหารมนุษย์และสัตว์น้ำ ดังนั้นหากนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย จะทำให้สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการดำเนินงานของโรงงานได้

ภายใต้ทฤษฎีที่ว่า สาหร่ายใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการสังเคราะห์แสง การเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบเพาะเลี้ยงสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดี และจากกระบวนการผลิตของโรงงานอาหารสัตว์จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้ไปใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะทำให้ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดต้นทุนในการผลิตสาหร่าย ช่วยเพิ่มผลผลิตสาหร่าย และช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ ซึ่งช่วยแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนได้

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

สาหร่ายต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต โรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ เป็นต้นเหตุให้เกิดการสะสมของก๊าซชนิดนี้ในชั้นบรรยากาศได้ ดังนั้นหากมีการนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ย่อมทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี และช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้ด้วย

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

สไปรูลิน่า, คาร์บอนไดออกไซด์, โรงงานผลิตอาหารสัตว์, อาหารสัตว์

Spirulina, carbon dioxide, feedmiller, animal feed

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เชิงพาณิชย์

สามารถนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ นำไปผลิตวัตถุดิบเพื่อใช้ในโรงงานอาหารสัตว์หรือจำหน่ายได้ในอนาคต

2 เชิงสาธารณะ

สามารถนำไปประโยชน์/แก้ปัญหา ให้กับ สังคม ชุมชน ท้องถิ่น

3 สามารถนำไปสร้างนวัตกรรม ผลิตภัณฑ์ หรือนำไปสู่การจดทะเบียนทรัพย์สินทางปัญญาได้ ออกแบบระบบสาหร่ายที่จำเพาะต่อรูปแบบของโรงงานอุตสาหกรรม นำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์หรือพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาภาวะโลกร้อน

การเพิ่มขึ้นของประชากร และการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานและแหล่งอาหารโดยรวมเพิ่มขึ้น แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัด มีความผันแปรของราคาสูง และการเผาไหม้แหล่งพลังงานเหล่านี้ ยังมีผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก (green house gases) เนื่องจากมีการปล่อย CO2, SOx และ NOx ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งแหล่งที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งได้แก่เชื้อเพลิงประเภท ถ่านหิน (Coal) แก๊สธรรมชาติ (Gases) น้ำมันปิโตเลียม (Natural Oil) หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil Shale and Tar Sand) (Kakam, 2002)

ปัญหาภาวะโลกร้อน คือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้พื้นผิวโลกและน้ำในมหาสมุทรตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังของคริสต์ศตวรรษที่ 20 และมีการคาดการณ์ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีสาเหตุจากการเพิ่มปริมาณมากของแก๊สเรือนกระจก ซึ่งคือก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศที่ทำให้การสูญเสียความร้อนสู่ห้วงอวกาศลดลง จึงมีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศผ่านปรากฏการณ์เรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจกมีความจำเป็นต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของโลก หากปราศจากก๊าซเรือนกระจก โลกจะหนาวเย็นจนสิ่งมีชีวิตอยู่อาศัยไม่ได้ แต่การมีก๊าซเรือนกระจกมากเกินไปก็เป็นเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ก๊าซเรือนกระจกหลัก ๆ บนโลกประกอบด้วย

- คาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 68%
- ก๊าซมีเทน (CH4) 4–9%
- โอโซน 3–7%
- ซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์ SF6
- ก๊าซในกลุ่มไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HFCs)
- เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs)
- ไนตรัสออกไซด์ (N2O)

การเผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์หรือเชื้อเพลิงฟอสซิล มีส่วนเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศประมาณ 3 ใน 4 ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ส่วนที่เหลือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะการทำลายป่าเป็นส่วนใหญ่ โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เจือปนในบรรยากาศปัจจุบันมีประมาณ 383 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (ppm) ซึ่งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในอนาคตจะสูงขึ้นอีกจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน อัตราการเพิ่มขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนทางเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี และการพัฒนาของตัวธรรมชาติเอง แต่อาจขึ้นอยู่กับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก

ความต้องการพลังงานที่มากขึ้นโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ทำให้มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการหาวิธีในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากการใช้เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์เหล่านี้ เช่นการกักเก็บคาร์บอน การจับคาร์บอน หรือการหาแหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration, carbon capturing หรือ storing carbon) โดยได้มีการใช้ทั้งวิธีทางเคมีและกายภายในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากปล่องปล่อยควัน (smoke stack emission) แต่ค่าใช้จ่ายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวทำให้ต้นทุนของการผลิตพลังงานเพิ่มขึ้น เช่น ค่าใช้จ่ายในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงาน coal-fired power plant ที่มีการจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (flue gas desulfurization) มีค่าใช้จ่ายประมาณ 32-264 $ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานเพิ่มจาก 2.5 เป็น 13 cent/kWh (IEA, 1998)

2.2 สาหร่ายกับการลดภาวะโลกร้อน

กระบวนการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตได้รับการยอมรับกันมานานว่าสามารถจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มีประสิทธิภาพดี โดยในกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่สามารถจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้นพบว่าสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) เป็นสิ่งมีชีวิตที่เจริญเติบโตได้เร็วที่สุด และมีอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด โดยสูงมากกว่าพืชบกหลายเท่า โดยการสังเคราะห์แสง คือ กระบวนการซึ่งสาหร่ายสังเคราะห์สารอินทรีย์จากสารประกอบ อนินทรีย์ โดยมีแสงปรากฏอยู่ด้วย โดยสมการการสังเคราะห์แสงคือ

6CO2+6H2O + light +heat®C6H12O2 + 6O6

ประโยชน์ของการสังเคราะห์แสง

1. สร้างอาหารเพื่อการดำรงชีวิตของสาหร่าย
2. สร้างสารประกอบชนิดอื่น ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย
3. ให้ก๊าซออกซิเจนแก่บรรยากาศ
4. ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งการนำ CO2 ออกจากบรรยากาศ (carbon sequestration) เป็นเรื่องสำคัญมากสำหรับสิ่งแวดล้อม

การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างอาหารสะสม การเจริญเติบโต และผลทางอ้อมคือเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดการตกตะกอนในรูปของ calcium carbonate ซึ่งเป็นแหล่งเก็บคาร์บอน (carbon sink) ในระยะยาวได้เป็นอย่างดี (Mazzone et al., 2002)

Carbon sink คือแหล่งสำหรับเก็บกักคาร์บอน อาจเป็นแหล่งธรรมชาติหรือสร้างขึ้น สาหร่ายทะเลสามารถเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเล (CO2 Sink) ซึ่งถือเป็นการช่วยลดปริมาณ CO2 ของโลก ในปัจจุบันปริมาณ CO2 ในชั้นบรรยากาศของโลกสูงมาก ต้นไม้ที่เจริญอยู่บนบก เป็นตัวช่วยในการลดปริมาณก๊าซได้เป็นอย่างดี ซึ่งพืชแต่ละชนิดก็มีศักยภาพในการใช้ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ CO2 ที่ละลายลงสู่น้ำ ทั้งน้ำจืดและน้ำทะเล มีปริมาณมากเช่นกัน ดังนั้นหน้าที่ในการดูดซับแก๊ส CO2 ที่ละลายอยู่ในน้ำนั้น เป็นของพืชที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่น สาหร่ายและหญ้าทะเลนั่นเอง

การใช้ CO2 ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อเร่งการเจริญเติบโต ช่วยแก้ปัญหาการปล่อย CO2 ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยจากการทดลองในระบบปิดพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 50-85%

2.3 สาหร่ายและความเหมาะสมในการนำมาเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์

ความเหมาะสมด้านความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การเจริญเติบโตของสาหร่าย ต้องอาศัย CO2 ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งได้ผ่านการวิจัยแล้วว่าสาหร่ายขนาดเล็กน้ำหนัก 2 ตัน สามารถลดปริมาณแก๊ส CO2 ในบรรยากาศได้ประมาณ 1 ตัน เมื่อเทียบกับการปลูกป่าสักที่มีอายุ 10 ปีขึ้นไป ในพื้นที่ 1 ไร่เป็นเวลา 1 ปี สามารถดูดซับหรือกักเก็บ CO2 ได้ประมาณ 1.09 ตัน แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในพื้นที่ 1 ไร่เท่ากัน ภายในเวลา 1 ปี สามารถดูดซับ CO2 จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศได้มากถึง 9.59 ตัน นั่นคือสาหร่ายขนาดเล็กสามารถดูดซับ CO2 ในบรรยากาศได้มากกว่าไม้ยืนต้น ประมาณ 8-9 เท่า

ตัวอย่างประสิทธิภาพการดูดซับ CO2 โดยสาหร่ายขนาดเล็กชนิดต่าง ๆ

- สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechococcus* มีค่าการดูดซับ CO2 สูงสุด 0.6 g/CO2/l/d (ถ้าเพาะเลี้ยงในบ่อขนาด 4000 m3 จะดูดซับ CO2 ได้ 1 ตัน/ชม.)
- สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ดูดซับ CO2 ได้ 0.251 g/CO2/l/d (Sydney et al., 2010), 0.624 g/CO2/l/d (Yun et al., 1997)
- สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechocystis aquatilis* ดูดซับได้ 1.5 g/ CO2/l/d
- สาหร่ายสีเขียว *Botryococcus braunii* ดูดซับได้ 1 g/CO2/l/d (Marakumi and Ikenouochi, 1997)
- สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina platensis* 0.413 (Morais and Costa, 2007)
- สาหร่ายสีเขียว *Dunaliella tertiolecta* 0.313 (Kishimoto et al., 1994)

แนวคิดในการนำสาหร่ายมาจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิต มีขั้นตอนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือการนำคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดึกดำบรรพ์ ส่งเข้าสู่บ่อเลี้ยงสาหร่าย (ซึ่งมีแร่ธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายอยู่) และสาหร่ายใช้แสงในการเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอาหารสะสม และสารประกอบต่าง ๆ โดยสาหร่ายขนาดเล็กมีอาหารสะสมที่เป็นประโยชน์ทั้งโปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และสาหร่ายหลายชนิดสามารถผลิตสารประกอบที่มีมูลค่าสูง (Borowitzka, 1995) เช่น กรดไขมันดีเอชเอ อีพีเอ ช่วยบำรุงสมองและผิวพรรณ สารสีคลอโรฟิลล์ใช้ผสมน้ำยาบ้วนปากหรือลูกอมระงับกลิ่นปาก แคโรทีนอยด์ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง ใช้ผสมเครื่องสำอาง หรือเร่งสีสัตว์น้ำให้สวยงาม ใช้ผสมอาหารสัตว์ปีกเช่นไก่ หรือเป็ด ทำให้มีสีไข่แดงที่น่ารับประทาน

ข้อดีของการใช้สาหร่ายขนาดเล็กในระบบตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือ (Olaizola, 2003)

- สามารถใช้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ หรือจากก๊าซเชื้อเพลิง (flue gas) ที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยงได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่คงที่
- แก๊สจากการเผาไหม้บางตัวเช่น SOx และ NOx สามารถใช้เป็นแร่ธาตุอาหารสำหรับสาหร่ายขนาดเล็กได้
- ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อจับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
- ผลผลิตสาหร่ายหรือสารที่ได้จากสาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือจำหน่ายให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไปได้

ซึ่งแนวคิดในการนำสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากแหล่งเผาไหม้เชื้อเพลิงได้มีมานานแล้ว (Kadam, 1997; Oswald and Golueke, 1968; Sheehan, et al., 1998) โดยได้มีการศึกษาความสามารถของสาหร่ายขนาดเล็กที่ทนต่อความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงที่มีใน flue gas ได้ (Hanagata et al., 1992; Yun et al., 1997) รวมถึงทนต่อความเป็นพิษของ SOx และ NOx ได้ (Lee et al., 2002; Negoro et al., 1991) ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากที่พยายามคัดแยกและเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาวะดังกล่าว (Murakami and Ikenouchi, 1997; Chang and Yang, 2003; Maeda et al., 1995; Sung et al., 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความเหมาะสมในด้านการเพาะเลี้ยงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถพบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภท มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แต่มีข้อดีกว่าคือใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนได้ผลผลิตสูงสุด สั้นกว่าพืชชั้นสูงมาก โดยพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น (Chisti, 2007) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่นของเสียจากธุรกิจปศุสัตว์ เช่นจากฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง (Mulbry et al., 2008) และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต ซึ่งช่วยแก้ปัญหาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยจากการทดลองในระบบปิดพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82% (Scott et al, 2010)

2.5 ความเหมาะสมด้านคุณค่าโภชนาการและองค์ประกอบที่มีคุณค่าในเซลล์ของสาหร่าย

กรดไขมันในสาหร่าย: น้ำมันที่ได้จากสาหร่ายมีความแตกต่างจากน้ำมันพืชชนิดอื่นคือน้ำมันจากสาหร่ายมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ตั้งแต่สี่คู่ขึ้นไปประกอบอยู่ปริมาณมาก และกรดไขมันชนิดที่มีประโยชน์มากได้แก่ eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n-3; 5 พันธะคู่) docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n-3 พันธะคู่ 6 คู่) และlinolenic acid (C18:3n-3 พันธะคู่ 3 คู่) เป็นต้น โดย EPA ช่วยกระตุ้นการสร้างโครงสร้างที่สำคัญในระบบประสาทส่วนกลางและเรตินาให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น (Meharban, 2005) ลดอาการอักเสบของไขข้อ อักเสบของผิว (โรคสะเก็ดเงิน) ลดอาการอักเสบในลำคอ นอกจากนี้ยังลดอาการอักเสบของเนื้อร้าย (เซลล์มะเร็ง) ลดการเกาะตัวเป็นก้อนของเม็ดเลือดหรือที่เรียกว่าลิ่มเลือด กรดไขมัน EPA จึงนับได้ว่าเป็นกรดไขมันที่จำเป็นสำหรับทุกคน แต่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นเองต้องรับประทานเข้าไปเท่านั้นกรดไขมัน DHA ช่วยป้องกันการสะสมตัวของไขมันอิ่มตัวหรือคอเลสเตอรอลอันเป็นสาเหตุให้เส้นเลือดอุดตัน ซึ่งนำไปสู่โรคหัวใจและเส้นเลือดในสมองแตก ลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ บำรุงสมอง บรรเทาอาการของโรคไขข้ออักเสบ ลดการอักเสบของโรคผิวหนัง ช่วยลดความเครียด และกรดไขมัน EPA พบได้โดยมากในน้ำมันปลาทะเลทั่วไป แต่การที่ปลามี EPA ได้ก็มาจากอาหารที่กินเข้าไปไม่ใช่จากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง การใช้สาหร่ายมาสกัดกรดไขมัน EPA จึงเป็นสิ่งที่นักวิจัยด้านสิ่งมีชีวิตให้ความสนใจเป็นอย่างมาก (Chen et al., 2007)

โปรตีนและแร่ธาตุในสาหร่าย: สาหร่ายหลายชนิดมีโปรตีน แร่ธาตุ และวิตามินที่มีประโยชน์ จึงได้รับความนิยมนำมาบริโภคในประเทศไทย เช่น Scenedesmus, Spirulina, Spirogyra, หรือ Cladophora (บานชื่น, 2532) โดยสาหร่ายต่าง ๆ มีโปรตีนประมาณ 18-70 % และพบแร่ธาตุพวกแคลเซียม แมกนีเซียม วิตามินเอ บี1 บี2 ซี กรดอะมิโนที่จำเป็นอีกหลายชนิด

รงควัตถุในสาหร่าย: สาหร่ายมีรงควัตถุใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยทำให้เรามองเห็นสาหร่ายมีสีแตกต่างกัน โดยรงควัตถุประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ ซึ่งทำให้เรามองเห็นสาหร่ายเป็นสีเขียว แคโรทีนอยด์ หรือแอสตาแซนธิน ทำให้เรามองเห็นสาหร่ายเป็นสีเหลือง ส้ม และไฟโคบิลิโปรตีนซึ่งให้สีม่วงเพราะเกิดจากการผสมของสีน้ำเงินของไฟโคไซยานินและสีแดงของไฟโคอิริทริน โดยสาหร่ายแต่ละกลุ่มมีรงควัตถุเป็นองค์ประกอบแตกต่างกันไป ซึ่งการใช้ ประโยชน์ของรงควัตถุ มีดังนี้

1. ใช้ผสมในอาหารสัตว์ นิยมใช้ astaxanthin เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงเพื่อที่จะทำให้สัตว์น้ำมีสีสรรสวยงามและขายได้ในราคาสูง (Johnson and Scrroeder, 1995) สำหรับอุตสาหกรรม สัตว์ปีกได้มีการใช้ astaxanthin ผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์พบว่าสามารถทำให้ไข่แดงมีสีเหลืองมากขึ้น (Marusich and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bauernfeind, 1989) และ มีการใช้ phycocyanin ซึ่งมีโปรตีนสูงเป็นอาหารของสัตว์น้ำ (Herrera และคณะ, 1989) phycocyanin ยังใช้ในการกระตุ้นภูมิคุ้มกันของ ลูกกุ้ง

2. ใช้ผสมในอาหารมนุษย์ ได้มีการใช้ astaxanthin ทาที่ผิวของปูอัดทำให้ปูอัดมีสีแดงน่ารับประทาน และยังได้มีการนำ phycocyanin มาใช้เป็นสีผสมอาหารในไอศกรีม และในเครื่องสำอาง และที่ประเทศเม็กซิโกได้มีการใช้คลอโรฟิลล์เติมลงในนมในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับให้เด็กทารกและเด็กขาดสารอาหารดื่ม (เจียมจิตต์, 2535)

3. ใช้ในทางการแพทย์ มีการค้นพบว่า astaxanthin จากสาหร่าย มีคุณสมบัติในการเป็น antioxidant ที่สูงมาก (Kobayashi and Sakamoto, 1999) มีสมบัติเป็น strong antioxidant ที่สูงกว่า carotenoid ประเภทอื่นๆ (Terao, 1989) ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกได้ เนื่องจากการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกนั้นมีอนุมูลอิสระเป็นจุดเริ่มต้นและส่งเสริมการเกิดมะเร็ง ดังนั้นการที่ astaxanthin มีสมบัติเป็น antioxidant สูง จึงมีส่วนช่วยกำจัดอนุมูลอิสระได้ดี (Palozza and Krinsky, 1992) และมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของ คลอโลฟิลล์ ที่ใช้กระตุ้นการทำงานของตับให้ดียิ่งขึ้น ส่งเสริมการงอกใหม่ของเซลล์ รวมทั้งคลอโรฟิลล์ยังช่วยให้การขับถ่ายดีขึ้น เพราะคลอโรฟิลล์จะช่วยกระตุ้นการบีบรูดตัวของลำไส้ มีการนำ phycobiliprotein มาผลิตขายในระดับอุตสาหกรรม (Patricia et al., 1996) นิยมนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนธรรมชาติ (natural protein) โดยเฉพาะ phycocyanin นั้นนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตรวจวัดระบบภูมิคุ้มกัน (fluorescent markers) (Tchernov et al., 1999) นำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวะ เป็นตัวสืบค้นทางชีวเคมีในเรื่องการตรวจสอบภูมิคุ้มกันโรค และการวัดเซลล์ (Herrera และคณะ, 1989) ใช้ผสมในยาต่าง ๆ phycocyanin ที่มีความบริสุทธิ์สูง มีคุณสมบัติเป็นสารเรืองแสง ใช้เป็นสารติดตามในการวิเคราะห์ทางภูมิคุ้มกันวิทยา ทางด้านเนื้อเยื่อและจุลทรรศน์วิทยาโดยใช้ phycocyanin ในปริมาณต่ำ (ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมโปรตีนต่อมิลลิลิตร) (Herrera และคณะ, 1989)

สารสกัดจากสาหร่ายหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการเป็น antifungal, antitumor, antibacterial (Kajiyama et al, 1998), anti-HIV protein (Gustafson et al, 1997; Kirk et al, 1997) สาหร่ายจึงเป็นที่ได้รับความสนใจในทางการค้าเป็นอย่างมาก (Reis et al, 1998)

2.6 การใช้ประโยชน์สาหร่ายเป็นอาหารสัตว์น้ำ

การผลิตสาหร่ายในปัจจุบันนอกจากเป็นอาหารเสริมสุขภาพแล้วยังนิยมใช้สาหร่ายผงเพื่อผสมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาหารปลาสวยงามเพื่อเร่งสี ทั้งนี้เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นบนตัวปลาโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีของรงควัตถุหรือสารสีโดยเฉพาะที่เป็นสารในกลุ่มคาโรทีนอยด์ ความเข้มของสีที่ปรากฏบนผิวของปลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณคาโรทีนอยด์ที่ได้จากอาหาร เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์คาโรทีนอยด์เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Latcha, 1990) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ในสาหร่ายยังทำให้สัตว์น้ำมีอัตรารอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นด้วย

การพัฒนาคุณภาพอาหารปลาสามารถทำได้ทั้งการเพิ่มปริมาณโปรตีนหรือสารสีในอาหาร โดยแหล่งอาหารโปรตีนที่เป็นที่นิยมผสมในอาหารสัตว์น้ำในปัจจุบันคือแหล่งโปรตีนจากสาหร่าย ซึ่งเพาะเลี้ยงได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชขนาดใหญ่ ใช้ระยะเวลาสั้น ซึ่งทำให้สามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายควบคู่ไปกับการเลี้ยงปลาและใช้สาหร่ายสดเป็นอาหารปลา โดยสาหร่ายสดจะมีข้อดีกว่าสาหร่ายแห้งคือจะไม่ทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่ายถ้ามีสาหร่ายเหลือตกค้างอยู่ในตู้ปลาหรือบ่อปลา นอกจากนี้สาหร่ายยังให้คุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น สาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina*) ซึ่งเป็นที่ยอมรับและรู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีของปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ มีความสำคัญต่อผู้บริโภคไม่แพ้ขนาดและรูปร่างของมัน ดังนั้น นักเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงพยายามผลิตอาหารที่มีส่วนผสมของ carotenoid เพื่อเร่งสีของสัตว์น้ำให้เข้มขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถจำหน่ายได้ในราคาที่สูงขึ้น ในปัจจุบันผู้ผลิตอาหารปลานิยมใช้สาหร่ายผสมในอาหารปลาเพื่อเร่งสี ทั้งนี้เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นที่ตัวปลาโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสีของรงควัตถุหรือสารสีโดยเฉพาะที่เป็นสารในกลุ่ม carotenoid การสะสม carotenoid ในปลา carotenoid ส่วนใหญ่จะละลายในไขมัน โดยจะทำให้เกิด สีเหลือง ส้ม หรือแดง ในส่วนของไข่ อวัยวะสืบพันธุ์ ตับและผิวหนัง ความเข้มของสีที่ปรากฏบนที่ตัวของปลานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณ carotenoid ที่ได้จากอาหาร เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถสังเคราะห์ carotenoid เองได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น (Latcha, 1990) นอกจากนี้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่าง ๆ ในสาหร่ายยังทำให้สัตว์น้ำมีอัตรารอดและอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นด้วย

โดยพบว่ามีการทดลองผสม *Spirulina* ในอาหารเลี้ยงปลานิลและศึกษาอัตราการย่อย การใช้ประโยชน์ รวมทั้งการวางไข่และคุณภาพไข่ของปลา ซึ่งพบว่าปลานิลสามารถย่อย *Spirulina* ได้ดี แต่ไม่มีผลต่อการวางไข่และคุณภาพไข่ (Lu et al., 2004; Lu and Takeuchi, 2004; Lu et al., 2006) และพบว่ามีผลต่อสีของปลา (Boonyaratpalin and Unprasert, 1989) ส่วนการทดลองเลี้ยงปลาดุกอุยด้วยอาหารที่ผสมสาหร่าย *Spirulina* sp. ที่ระดับ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสีของปลาดุกอุยจะเข้มขึ้น หากใช้สาหร่ายเกลียวทองผสมในอาหารปริมาณ ตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ความเข้มของสีเนื้อปลาจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายเกลียวทองและระยะเวลาที่เลี้ยง (บานชื่น, 2532)

2.7 การใช้สาหร่ายเพื่อเป็นแหล่งของโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ

ปัจจุบันสาหร่ายที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหารคน หรืออาหารสัตว์ เช่น สาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina*) คลอเรลลา (*Chlorella*) ฮีมาโตคอคคัส (*Haematococcus*) ได้มาจากการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางว่าสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์ได้ดี เช่น สาหร่ายสไปรูไลน่าสามารถใช้ได้ 1-5 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหาร คุณค่าทางโภชนาการทางโภชนาการของสาหร่ายเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนที่ใช้ในอาหารสัตว์น้ำ (National Research Council 2011) (ตารางที่ 1 และ 2)

บทบาทของการใช้สาหร่ายเพื่อบำบัดมลภาวะ อาทิ ใช้เพื่อบำบัดน้ำเสีย หรือใช้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (ก๊าซธรรมชาติ) ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นเรื่องใหม่ที่มีการศึกษาไม่มาก นอกเหนือจากนี้ การนำสาหร่ายที่เป็นผลพลอยได้ (By-products) จากการบำบัดมลภาวะมาใช้ประโยชน์ เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำเป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่มีการศึกษา มีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ และความปลอดภัยในการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนในอาหารสัตว์น้ำ

2.8 การคัดเลือกสาหร่ายสำหรับดักจับคาร์บอนไดออกไซด์และเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

การคัดเลือกชนิดสาหร่ายที่มีการจับคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงและเป็นชนิดที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมสัตว์น้ำได้ ต้องพิจาณาถึงคุณค่าโภชนาการของสาหร่ายที่เหมาะสมและความสามารถในการย่อยได้ของสัตว์น้ำ โดยชนิดสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เหมาะสมที่คัดเลือกมาศึกษามีคุณสมบัติดังนี้

Spirulina platensis สาหร่ายน้ำจืด กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae, cyanobacteria)

ปริมาณโปรตีน 46-63% คาร์โบไฮเดรท 10-17% ไขมัน 12-14% (Chauhan and Pathak, 2010)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ 12.8-15.9 mg/g (Chauhan and Pathak, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแคโรทีนอยด์-แอสตาแซนทิน 15.3 ug/g (Sullivan et al., 2011)

ปริมาณไฟโซยานิน 19.4% (Sarada et al., 1999) ผลผลิตในการเพาะเลี้ยง 1.5-3.5 g/l (Binagli et al., 2003; Morais et al., 2007) C-content 48.2% (Binagli et al., 2003) CO2 fixation 45.61-53.29% (Morais et al., 2007)

การใช้ประโยชน์ อาหารสัตว์น้ำ อาหารมนุษย์ ช่วยเร่งสีสัตว์น้ำ ทำให้เนื้อปลามีสีแดงสวยงาม เพิ่มมูลค่าการจำหน่าย เพิ่มภูมิคุ้มกัน เพิ่มอัตรารอด เป็น antioxidant ป้องกันการเกิดมะเร็ง ใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ สปา ฯลฯ มีรงควัตถุที่มีราคาสูงเป็นองค์ประกอบ (ไฟโคไซยานิน ราคากิโลกรัมละ 70,000-150,000 บาท) เหมาะกับอุตสาหกรรมอาหารเสริมมนุษย์ อาหารสัตว์น้ำ เครื่องสำอาง (Binagli et al., 2003; Chien and shiau, 2005; Morais et al., 2007)

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายทางการค้าทั้งในรูปเกษรกรรายย่อยและฟาร์มเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่ จำหน่ายทั้งในรูปแบบสด และอบแห้ง เพื่อเป็นอาหารสัตว์น้ำและอาหารมนุษย์

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไปที่ใช้ในอาหารสัตว์

คุณค่าทางโภชนาการ	สไปรูไลน่า*	ปลาป่นเกรด 62*	ไก่ป่น**	หมูป่น*
พลังงาน (Kcal/kg)	2,900	4,374	3.998	3,609
ความชื้น (%)	7.0	5.7	11.0	4.6
โปรตีน (%)	57.5	62.6	63.0	55.6
ไขมัน (%)	7.7	9.2	11.0	5.4
เยื่อใย (%)	3.6	-	-	-
เถ้า (%)	6.2	20.8	18.5	31.7

Source: *National Research Council (2011), ** Analytical data

ตารางที่ 2.2 ปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นของสาหร่ายเปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนทั่วไปที่ใช้ในอาหารสัตว์

กรดอะมิโนจำเป็น (%)	สไปรูไลน่า*	ปลาป่นเกรด 62*	ไก่ป่น**	หมูป่น*
ไลซีน	3.03	4.64	3.43	2.83
ทรีโอนีน	2.97	2.56	2.27	1.88
เมทไธโอนีน	1.15	1.63	1.06	0.73
ทริปโตเฟน	0.93	0.60	n/a	0.37
ไอโซลิวซีน	3.21	2.50	2.20	1.64
ลิวซีน	4.95	4.45	4.25	3.43
วาลีน	3.51	3.02	2.56	2.52
ฟีนีลแอลานีน	2.78	2.43	2.37	1.93
ฮีสทิดีน	1.09	1.59	1.10	1.12
อาร์จีนีน	4.15	3.82	4.11	3.77

Source: *National Research Council (2011), ** Analytical data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงกุ้งขาวขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเพาะเลี้ยง เนื่องจากกุ้งขาวเป็นสัตว์ที่ต้องการอาหารที่มีโภชนาการสูง ดังนั้นอาหารที่ดีต้องประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีคุณภาพ มีปริมาณสารอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีนและไขมัน ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญที่สุดในอาหาร ผู้เพาะเลี้ยงกุ้งขาวนิยมใช้ปลาป่นเป็นวัตถุดิบหลักของสูตรอาหาร ทำให้มีความต้องการปลาป่นเป็นจำนวนมากในการนำมาผลิตอาหาร เพื่อให้เพียงพอสำหรับการเพาะเลี้ยง แต่ปลาป่นมีอยู่จำนวนจำกัดในธรรมชาติ เมื่อมีความต้องการมากขึ้นจึงเกิดการขาดแคลนปลาป่น ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้วัตถุดิบทางเลือกทั้งพืช สัตว์ และอื่นๆ มาเป็นแหล่งของสารอาหารในอนาคต

นอกจากนี้สาหร่ายขนาดเล็กยังเป็นอีกวัตถุดิบหนึ่งที่ผู้ศึกษาให้ความสนใจนำมาเป็นแหล่งของสารอาหารในอาหารกุ้งขาว ได้แก่ สาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายสไปรูลินา ป็นสาหร่ายขนาดเล็กที่เพาะเลี้ยงไม่ยาก มีปริมาณโปรตีนสูง อุดมไปด้วยกรดอะมิโน กรดไขมันที่จำเป็น คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุที่กุ้งขาวต้องการ ซึ่งการใช้สาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารกุ้งขาวได้รับความสนใจมากขึ้น แต่ในปัจจุบันข้อมูลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทางโภชนศาสตร์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารที่ผสมสาหร่ายขนาดเล็ก (สไปรูลินา) ในกุ้งขาวยังขาดแคลน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการย่อยได้ปรากฏของโปรตีนและกรดอะมิโนของสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผลิตได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำและสไปรูลิน่าในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ ด้วยระบบดักจับแบบสาหร่ายประสิทธิภาพสูง

3.1.1 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย

เพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ซึ่งเป็นสาหร่ายน้ำจืด กลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae, cyanobacteria) โปรตีนสูง มีรงควัตถุที่มีราคาสูงเป็นองค์ประกอบ เหมาะกับอุตสาหกรรมอาหารเสริมมนุษย์ อาหารสัตว์น้ำ เครื่องสำอาง

ภาพที่ 3.1 ลักษณะเส้นสายสาหร่าย *Spirulina platensis* สายพันธุ์ที่ทำการเพาะเลี้ยง

3.1.2. การศึกษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารสูตรอาหารที่เหมาะสม โดยให้แสง 12:12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน 0.03-7.5 % (CO_2 4 ระดับ 0.03, 2.5, 5, 7.5%) เนื่องจาก flue gas ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ อยู่ที่ประมาณ 5 %) อัตราการให้ประมาณ 0.4-0.6 vvm เพื่อหาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายเป็นเวลา 18 วัน ทำการวิเคราะห์ ชีวมวล คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

3.1.3. ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย

เพื่อประเมินผลของความเข้มแสงที่แตกต่างกันในรอบวันและในแต่ละฤดูกาล ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณความต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน จึงทำการศึกษาผลของความเข้มแสงที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตรที่เหมาะสม โดยให้แสง 12:12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผันแปรระดับความเข้มแสงคือ ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสงประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

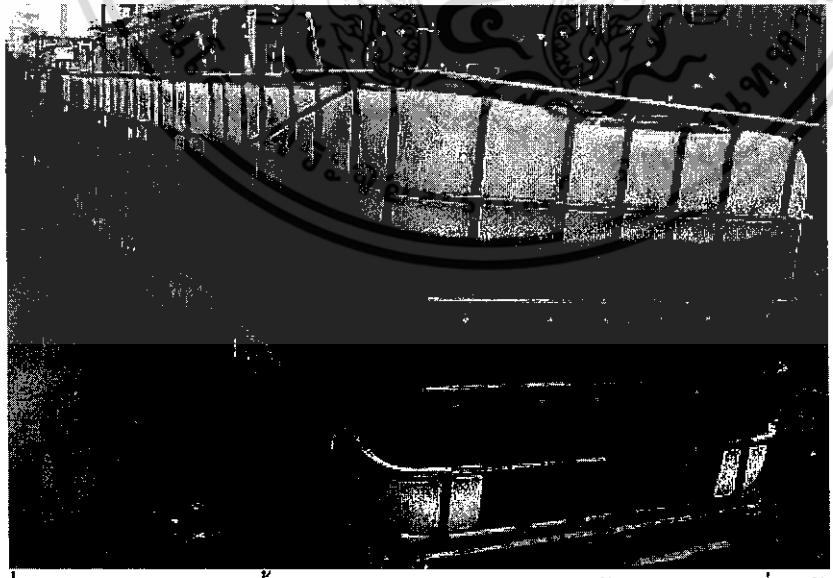
500, 1000, 1500 และ 3000 ลักซ์ ให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับที่สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ทำการเลี้ยง 18 วัน วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

3.1.4. การปรับปรุงสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยง

นำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำการปรับอัตราส่วนของ N:P:K ให้ใกล้เคียงกับปุ๋ยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยให้แสงต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับที่สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ทำการเลี้ยง 18 วัน วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

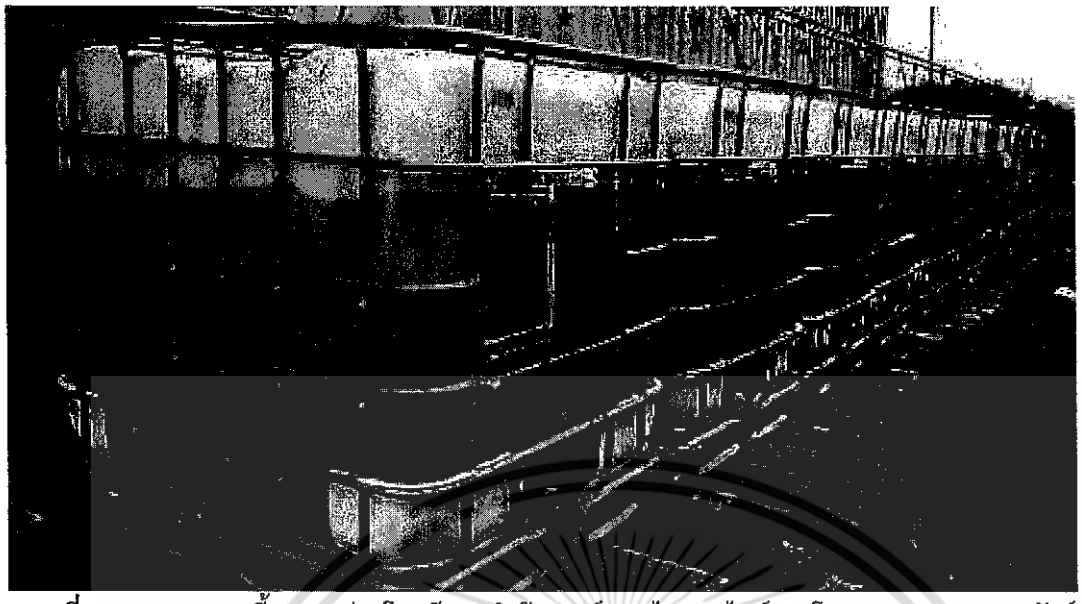
3.1.5. ศึกษาการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำด้วยระบบดักจับแบบสาหร่าย

นำสาหร่าย *S. platensis* มาทำการเลี้ยงในบ่อเพาะเลี้ยงกลางแจ้งบ่อขนาด ยาว 30 ม. X กว้าง 2 ม. X ลึก 1 ม. จำนวน 6 บ่อ ซึ่งมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำปล่อยเข้าสู่บ่อเพาะเลี้ยงโดยตรง โดยปรับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และควบคุมแสงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับความสามารถในการทนได้ของสาหร่าย (ผลจากการทดลองขั้นต้น) โดยใช้ปุ๋ยสูตรที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และปุ๋ยสูตรลดต้นทุน ทำการเลี้ยงประมาณ 18 วัน (หรือจนสาหร่ายเจริญเติบโตเต็มที่ ซึ่งตามปกติจะใช้เวลาสั้นกว่าในห้องปฏิบัติการ) วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน กรดอะมิโน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์โลหะหนักตกค้างในสาหร่าย ได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท



ภาพที่ 3.2 ลักษณะถังเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 1000 ลิตร พร้อมระบบแกสที่ส่งเข้าสู่ถังเพาะเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำปล่อยเข้าสู่ถังเพาะเลี้ยง

ภาพที่ 3.4 ลักษณะการผสมของมวลน้ำเมื่อมีการให้แกสคาร์บอนไดออกไซด์เข้าในถังเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ภาพที่ 3.5 ลักษณะการให้แสงสีน้ำเงินในภาชนะเพาะเลี้ยงสาหร่ายในช่วงกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6. การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโต และปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการประเมินค่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สาหร่ายสามารถลดได้ต่อปี ต่อตันสาหร่าย หรือต่อลิตรของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่าย จัดอบรมเผยแพร่ให้เกษตรกรใกล้เคียงได้ใช้สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงได้จากระบบดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไปใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงปลาต่อไป

3.2 การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายที่ได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ

วัตถุดิบและอาหารทดลอง

นำสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ผลิตได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีการมาตรฐาน (Prachom et al., 2103) จากนั้นนำมาใช้เพื่อคำนวณเพื่อประกอบสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงกุ้งขาวแวนนาไม

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยการศึกษาค่า Water stability ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลอง ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารที่ผสมสาหร่าย 0 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
ชุดการทดลองที่ 2 อาหารที่ผสมสาหร่าย 5 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่ผสมสาหร่าย 10 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร
ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่ผสมสาหร่าย 15 เปอร์เซ็นต์ในอาหาร

ศึกษาค่าการย่อยได้ปรากฏประกอบด้วย 3 ชุดการทดลอง ทำการทดลองละ 3 ซ้ำ

ชุดการทดลองที่ 1 อาหารสูตรอ้างอิง
ชุดการทดลองที่ 2 อาหารสูตรทดสอบ สาหร่ายสไปรูลิน่า Cultured
ชุดการทดลองที่ 3 อาหารสูตรทดสอบ สาหร่ายสไปรูลิน่า Commercial

นำส่วนผสมของอาหารแต่ละสูตรตามสัดส่วนที่กำหนด มาบดละเอียดผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 0.1 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องบดแบบมีดสับ (Hammer mill) จากนั้นนำวัตถุดิบผ่านเข้ากระบวนการผลิตอาหารทดลองโดยใช้เครื่องอัดเม็ดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้ารูแว่น (Die diameter) 2.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดอาหาร (Pellet diameter) ระหว่าง 3.0-3.5 มิลลิเมตร

จากนั้นอาหารแต่ละสูตรจะผ่านการเคลือบน้ำมัน (Fat coating) ตามสัดส่วนในสูตร และผ่านเข้าเครื่องอบลมร้อนจนกระทั่งได้ความชื้นประมาณ 12% และอุณหภูมิของเม็ดอาหารใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (±5 องศาเซลเซียส) จากนั้นถึงทำการบรรจุ จัดเก็บที่อุณหภูมิห้อง

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยนำค่าเฉลี่ยมาทดสอบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นทดสอบความแตกต่างระหว่างชุดทดลองด้วย Post hoc analysis แปรผล และสรุปการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของสาหร่าย

4.1.1 ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต

ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางเคมี (คลอโรฟิลล์, คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน และแคโรทีนอยด์) ของการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการ ภายใต้สภาวะควบคุมแสง และอุณหภูมิที่ระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ 4 ระดับ คือ 0.04, 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ตรวจวัดคลอโรฟิลล์ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ทุก 3 วัน ที่สิ้นสุดการศึกษาพบว่าคลอโรฟิลล์ (3.00±0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม), คาร์โบไฮเดรต (206.11±28.10 มิลลิกรัมต่อกรัม), โปรตีน (795.17±33.55 มิลลิกรัมต่อกรัม) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (4.19±0.40 ไมโครกรัมต่อกรัม) สูงสุดเมื่อเสริมด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04, 3 และ 3 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.1-4.9) การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษากับคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) มีความสัมพันธ์กับคาร์บอนไดออกไซด์ในทางบวก โดยมีค่า r เท่ากับ 0.165, 0.166, 0.322 และ 0.298 ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.6-4.7) ซึ่งแต่ละองค์ประกอบทางชีวเคมีที่ศึกษามีค่าสูงสุดที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันทั้งสิ้น ฉะนั้นหากต้องการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีนแล้ว ควรเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.04 เปอร์เซ็นต์

การวัดการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ในการทดลองนี้ใช้ค่าคลอโรฟิลล์ เป็นดัชนีของการเจริญเติบโต โดยพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.04, 3, 6 และ 7.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 18 วัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีคลอโรฟิลล์สูงที่สุดคือ 0.89±0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 4.2) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยการเจริญเติบโตของสาหร่ายผันแปรตลอดเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และเข้าสู่ระยะ stationary phase ที่ 12 วัน ของการเพาะเลี้ยง เมื่อสาหร่ายได้รับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้การเจริญเติบลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีคลอโรฟิลล์ที่สุดเท่ากับ 0.73±0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระดับอื่น

สาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อกรัมสาหร่ายสูงที่สุดคือ 3.00±0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม (0.3 เปอร์เซ็นต์) ในวันที่ 9 ของการเพาะเลี้ยง โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ มีคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 1.76±0.14 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม 1.3 เท่า โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นควรเลี้ยงสาหร่ายที่ระดับคาร์บอน 0.04 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ได้การเจริญเติบโต และปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากการศึกษาครั้งนี้ สาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ 0.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง โดยสูงกว่า การทดลองของ Pierre et al. (2011) ซึ่งเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* ผันแปรความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.0, 0.5, 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด 0.24 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์อื่น และการเจริญเติบโตสูงสุดที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 3.3±0.2 และ 3.4±0.2 กรัมต่อลิตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 0 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสาหร่าย *A. platensis* สามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญเติบโตได้ โดยที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงสุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์อื่น

ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันพบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 0.0016±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.3) ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม 3.2 เท่า โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และเมื่อในอาหารมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันพบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดคือ 4.19±0.40 ไมโครกรัมต่อกรัม ที่สิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม 10 เท่า โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และเมื่อในอาหารมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นควรเลี้ยงสาหร่ายที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ได้ผลผลิตปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด

จากการทดลองของ El-Kassas et al. (2015) ที่ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* จากน้ำเสียจากอุตสาหกรรมขนมหวาน (WC, เปอร์เซ็นต์) และโซเดียมคาร์บอเนต (SBC, กรัมต่อลิตร) โดยผันแปรระดับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมขนมหวาน และโซเดียมคาร์บอเนต ที่ระดับ 8.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 6.5 กรัมต่อลิตร, 26.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 6.5 กรัมต่อลิตร, 8.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 13.5 กรัมต่อลิตร, 26.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 13.5 กรัมต่อลิตร, 50 เปอร์เซ็นต์ กับ 10 กรัมต่อลิตร, 30.0 เปอร์เซ็นต์ กับ 10 กรัมต่อลิตร, 17.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 5 กรัมต่อลิตร, 17.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 15 กรัมต่อลิตร และ 17.5 เปอร์เซ็นต์ กับ 10 กรัมต่อลิตร พบว่าที่ระดับ 30.0 เปอร์เซ็นต์ กับ 10 กรัมต่อลิตร มีปริมาณเบต้า-แคโรทีนสูงที่สุดเท่ากับ 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่โซเดียมไบคาร์บอเนตไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อเบต้า-แคโรทีนของสาหร่าย *A. platensis*

4.1.2. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของ *S. platensis*

คาร์โบไฮเดรต: การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดคือ 37.08±4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.4) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงกว่าถึง 2 เท่า โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเท่ากับ 37.08±4.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์

สาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่อกรัมสาหร่ายสูงที่สุด คือ 206.11±28.10 มิลลิกรัมต่อกรัม (20.6 เปอร์เซ็นต์) ในวันที่ 3 ของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 4.5-4.6) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ในชุดควบคุมถึง 7.4 เท่า และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเท่ากับ 97.12±7.91 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม 2.7 เท่า โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเลี้ยงเพิ่มขึ้น และเมื่อในอาหารมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นดังนั้นควรเลี้ยงสาหร่ายที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ได้ผลผลิตปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด

จากการทดลองของ Tan et al. (2015) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ที่เป็นสายพันธุ์ในธรรมชาติ และสายพันธุ์ที่กลายพันธุ์ (3-A10, 3-B2 และ 4-B3) โดยมีการผันแปรระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 6 เปอร์เซ็นต์, 12 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ 12 เปอร์เซ็นต์ ทั้งใน *S. platensis* สายพันธุ์ในธรรมชาติ และกลายพันธุ์ (3-A10, 3-B2 และ 4-B3) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเท่ากับ 0.220 กรัมต่อลิตร, 0.281 กรัมต่อลิตร, 0.320 กรัมต่อลิตร และ 0.295 กรัมต่อลิตรตามลำดับ

โปรตีน: การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันพบว่า สาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือ 363.73±23.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.7) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณโปรตีนของสาหร่ายมีปริมาณมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น และเมื่อในอาหารมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 36.73±23.21 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกันพบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือ 795.17±33.55 มิลลิกรัมต่อกรัม (79.5 เปอร์เซ็นต์) ในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 4.8-4.9) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระดับอื่น โดยปริมาณโปรตีนของสาหร่ายมีปริมาณมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเลี้ยงที่เพิ่มขึ้น และเมื่อในอาหารมีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้โปรตีนเพิ่มขึ้น และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 749.51±45.59 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม 1.0 เท่า โดยมีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ระดับอื่น ดังนั้นควรเลี้ยงสาหร่ายที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ จึงจะทำให้ได้ผลผลิตปริมาณโปรตีนสูงที่สุด

ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ได้จากการทดลองครั้งนี้มีค่าสูงกว่ารายงานจากการทดลองของ Pierre et al. ที่ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* โดยการผันแปรระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 0, 0.5, 1, และ 2 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *A. platensis* มีค่าสูงสุด 47±1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ระดับ 0 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์

ความสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ จากการทดลองครั้งนี้พบว่าเมื่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในอาหารที่ให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และแคโรทีนอยด์จะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับคาร์บอนไดออกไซด์คือปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) และคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเชิงบวกกับปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัม)(r=0.688) (r=0.722) (r=0.702) และคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)(r=0.576) และมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในเชิงบวกกับปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)(r=0.578) และมีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงลบกับปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) (r=0.520) ซึ่งความสัมพันธ์ในเชิงบวกแสดงว่าเมื่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นทำปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ในเชิงลบคือเมื่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง และพบว่าปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเชิงลบกับปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อกรัม) ซึ่งแสดงว่าเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง

ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อชีวมวลของ *S. platensis* ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดคือ 0.56 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่สิ้นสุดการทดลองการทดลอง (ภาพที่ 1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงกว่าถึง 1.5 เท่า โดยการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้การเจริญเติบโตลดลง

4.1.3. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อพีเอชของ *S. platensis*

ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงที่สุดคือ 10.26 ที่สิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.10) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงกว่าถึง 1.2 เท่า โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสาหร่ายมีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chemical Buffering คือขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของแหล่งน้ำเพื่อการปรับ pH ของน้ำให้อยู่ในสภาวะที่เป็นกลางอยู่เสมอ ขบวนการนี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระหว่าง CO_2 ที่มีอยู่ ในน้ำทั้งสามรูป ซึ่งจะต้องมีธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมมาเกี่ยวข้องด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วเมื่อตอนต้นว่าเมื่อมี H_2CO_3 ลงไปในแหล่งน้ำหรือเกิดขึ้นเองในแหล่งน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยากับ $CaCO_3$ กลายเป็น $Ca(HCO_3)_2$ ซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวและต้องมี CO_2 จำนวนหนึ่งรวมอยู่ด้วยเสมอ สภาพแบบนี้จะทำให้มี pH ใกล้ 7 หรือมากกว่า 7 เล็กน้อย เป็นสภาพเป็นกลาง CO_2 ที่รวมอยู่ด้วยนี้เราเรียกว่า Equilibrium CO_2 ในตอนกลางวันการสังเคราะห์แสงโดยพืช ฉะนั้น Equilibrium CO2 จะถูกนำไปใช้และจะลดลง pH ของน้ำจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่น อาจจะเพิ่มจาก 7.2 เป็น 8 หรือ 9 เมื่อถึงขั้นนี้ Ca(HCO3)2 จะแตกตัวออก $Ca(HCO_3)_2$ ---- $CaCO_3 + CO_2 + H_2O$ ตกตะกอนได้ $CaCO_3$ ซึ่งตกตะกอนและ CO_2 จำนวนหนึ่ง ทำให้การปรับ pH ให้คงที่และไม่สูงขึ้นไปมาก กว่านี้

ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *S. platensis* อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุดคือ 0.38±0.12 ต่อวัน ในวันที่ 6 ของการทดลอง (ตารางที่ 1) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทุกระดับในวันที่ โดยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุดเท่ากับ 0.16±0.02 และ 0.16±0.04 ต่อวัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทุกระดับ

4.1.4. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันต่อผลผลิตน้ำมันและกรดไขมันของ *S. platensis*

ผลผลิตน้ำมัน : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตน้ำมันสูงที่สุดคือ 1801.70 ± 28.85 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ของการทดลอง (ตารางที่ 4.1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงกว่าถึง 2.2 เท่า โดยผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลผลิตน้ำมันลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตน้ำมันสูงที่สุดเท่ากับ 1717.53 ± 290.86 กรัมต่อลิตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำมัน : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ 42.67 ± 0.77 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 6 ของการทดลอง (ตารางที่ 1) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าสูงกว่าถึง 1.49 เท่า โดยปริมาณน้ำมันของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดเท่ากับ 30.52 ± 1.20 เปอร์เซ็นต์ โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์

กำลังการผลิตน้ำมัน : การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน พบว่าสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังการผลิตน้ำมันสูงที่สุดคือ 125.37 ± 37.58 กรัมต่อลิตรต่อวัน ในวันที่ 6 ของการทดลอง (ตารางที่ 1) โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทุกระดับ โดยกำลังการผลิตน้ำมันของสาหร่ายมีการผันแปรตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง และเมื่อสาหร่ายได้รับของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังการผลิตน้ำมันลดลง และที่สิ้นสุดการทดลองสาหร่ายที่ได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังการผลิตน้ำมันสูงที่สุดเท่ากับ 40.83 ± 8.60 กรัมต่อลิตรต่อวัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ทุกระดับ

ไขมันประกอบไปด้วยธาตุหลัก 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน เช่นเดียวกับโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต อย่างไรก็ตามไขมันมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนแต่มีออกซิเจนน้อย ดังนั้นไขมันจึงให้พลังงานมากถึง 9 แคลอรีต่อ 1 กรัม ในทางเทคนิคนั้นควรจะกล่าวถึงไขมันในลักษณะที่เป็นพหูพจน์เนื่องจากไขมันมีหลายชนิด โดยไขมันจะประกอบขึ้นด้วยกรดไขมัน (Fatty acids) ชนิดต่างๆที่มีลักษณะทางกายภาพและมีผลต่อร่างกายแตกต่างกันไป ไขมันยังสามารถแบ่งตามการมีพันธะคู่ของคาร์บอนอะตอมภายในกรดไขมันได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) ซึ่งไม่มีพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน ปกติพบได้ในไขมันจากสมองสัตว์หรือเครื่องในสัตว์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) ซึ่งมีพันธะคู่ พบได้ในไขมันพืช

ลิปิด หรือไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงสุด ไขมัน 1 กรัมให้พลังงาน 8-9 กิโลแคลลอรี่ เป็นหนึ่งใน 3 ของสารอาหารหลักที่จำเป็นของอาหารสัตว์น้ำ (โปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต) มีความสำคัญรองจากโปรตีน ไขมันมีอยู่ในทุกเซลล์ ของสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ เยื่อหุ้มหัวใจ เยื่อหุ้มประสาท ป้องกันไม่ให้ฮอร์โมน และวิตามินซึมออกไปนอกเซลล์ ทำให้ร่างกายอบอุ่น เป็นตัวกันการกระทบกระเทือนของอวัยวะภายใน ให้พลังงาน ตัวช่วยละลาย และดูดซึมวิตามินบางชนิดได้แก่ เอ ดี อี เค ให้กรดไขมันที่จำเป็นต่อ ร่างกาย เป็นตัวพาลิปิดอnjนๆไปที่ตับ และส่วนต่างๆของร่างกาย ไขมันในร่างกายของสัตว์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ไขมันคงตัวหรือ Constant fat มีอยู่ในปริมาณที่น้อยแต่ต้องมีตลอดไป เมื่อสัตว์ขาด อาหารร่างกายจะไม่ดึงไขมันตัวนี้ออกมาใช้และ ไขมันไม่คงตัว หรือ variable fat มีในร่างกายสัตว์เป็นพลังงานสำรอง เมื่อขาดแคลนอาหารไขมันส่วนนี้ จะถูกดึงมาใช้ กรดไขมัน แบ่งเป็น กรดไขมันที่อิ่มตัว (ไขมันสตัตว์ มะพร้าว และปาล์ม) มีจุดหลอมเหลวสูงมากกว่า 60 องศาเซลเซียส โดยแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง ถ้าไขมันที่ปลากินเข้าไปในร่างกายมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิในตัวปลาทำให้ไขมัน อยู่ในรูปของแข็งเป็นก้อนที่ลำไส้ เกิดการย่อยที่ไม่สมบูรณ์ ดูดซึมได้ช้า และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (ฟู้ามันปลา ฟู้ามันตับปลา และน้ำมันตับปลาหมึก) จุดหลอมเหลวต่ำ อยู่ในสภาพเป็นของเหลวทujอุณหภูมิห้อง มีความสำคัญเนื่องจากเป็นกรดไขมันที่จำเป็น (essential fatty acids หรือ EFA) เพราะสัตว์น้ำไม่สามารถสังเคราะห์ได้เอง ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น เป็นต้นกำเนิดของ prostaglandin หรือสารที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่อวัยวะสืบพันธ์เพศเมีย เร่งการตกไข่ ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนในร่างกาย และความดันโลหิต ในกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมีกรดไขมันที่จำเป็น (เพราะสัตว์น้ำ ไม่สามารถสร้างเอง) ได้แก่ lenoleic และlenolenic โดยสัตว์น้ำได้นำกรดไขมันทั้ง 2 ตัวไปเพื่อไปสร้าง arachidonic acid ซึ่งเป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ในร่างกาย ได้แก่ สมอง กล้ามเนื้อ และตับ ปลาที่ขาดกรดไขมันที่จำเป็นทำให้เจริญเติบโตช้า เซลล์ครีบหางตาย ตับซีด มีไขมันมาก ผิว

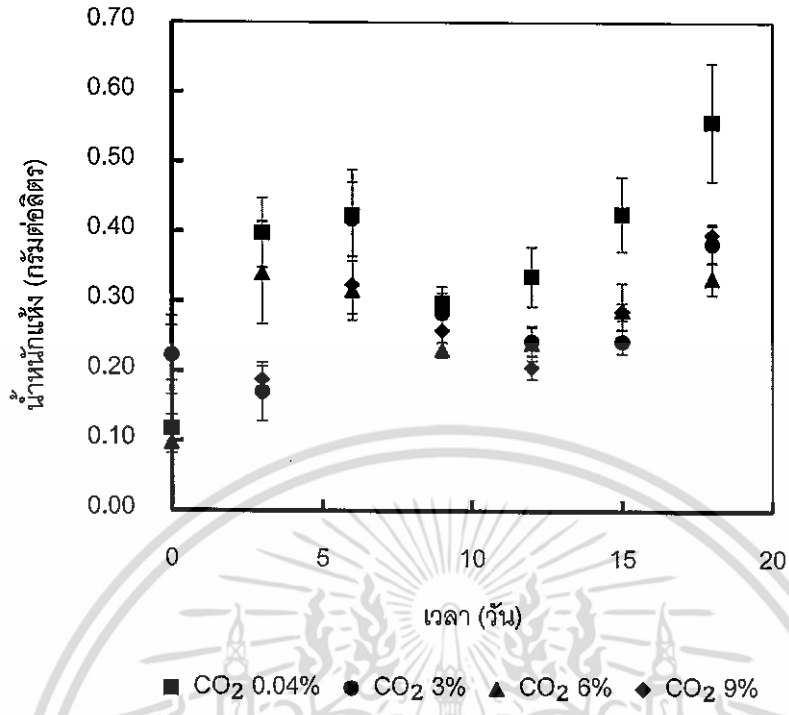
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาวบรอนซ์ ท้องบวม เม็ดเลือดแดงแตก หายใจเร็วขึ้นนกว่าปกติ นอกจากกรดไขมันยังมีลิปิดที่สำคัญ โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่มีเปลือกนั่นคอคอเลสเตอรอลซึ่งเป็น sterols ที่พบในสัตว์เป็นสารจำเป็นในการสร้าง น้ำดี ฮอร์โมนเพศ และฮอร์โมนลอกคราบ จำเป็นต่อการสร้างเซลล์ใหม่และphospholipid ที่เป็น องค์ประกอบของผนังเซลล์และช่วยลำเลียงกรดไขมันไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ปริมาณไขมันใน อาหารควรสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน และสารอาหารอื่นๆ

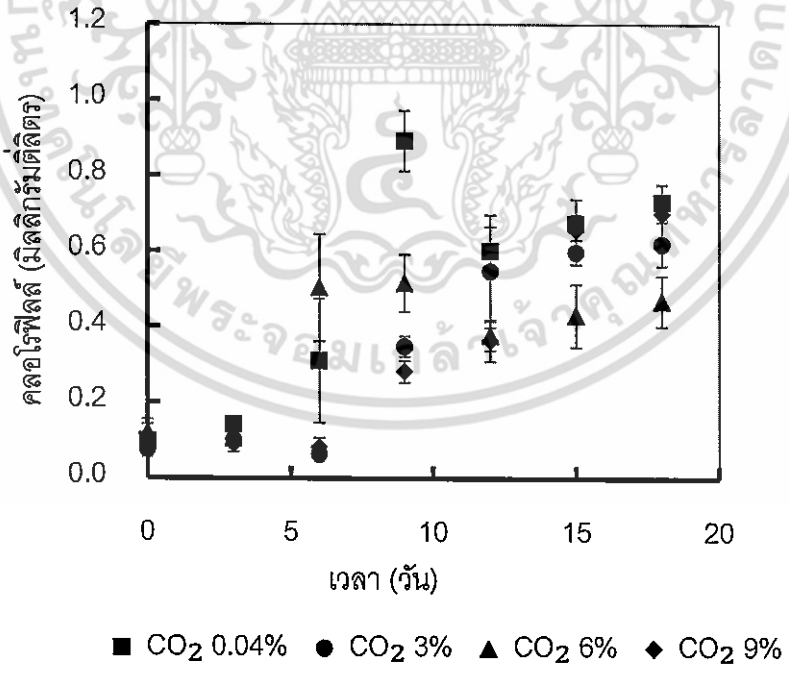
การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C 16:0) มากที่สุดคือคือ 78.79 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 6 ของการทดลอง และรองลงมาคือ Elaidic Acid (C 18:1n9t) มากที่สุดคือคือ 6.18 เปอร์เซ็นต์ ที่เริ่มต้นการทดลอง (ตารางที่ 4.2-4.5) ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3, 6 และ 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีองค์ประกอบกรดไขมันชนิด Palmitic Acid (C 16:0) มากที่สุดคือคือ 66.86 เปอร์เซ็นต์ 74.84 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 6 ของ การทดลอง และ 42.78 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 12 ของการทดลอง และรองลงมาคือ Linoleic Acid (C 18:2n6c) มากที่สุดคือคือ 33.35 เปอร์เซ็นต์ ที่เริ่มต้นการทดลอง 20.17 เปอร์เซ็นต์ ที่สิ้นสุดการทดลอง และ 33.35 เปอร์เซ็นต์ ที่เริ่มการทดลอง (ตารางที่ 2-5)

S. platensis ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามี Polyunsaturated fatty acid เฉลี่ยอยู่ที่ 21.32 ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามี Polyunsaturated fatty acid เฉลี่ยอยู่ที่ 81.16 ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 6 ปอร์เซ็นต์ พบว่ามี Polyunsaturated fatty acid เฉลี่ยอยู่ที่ 50.22 ในอาหารที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามี Polyunsaturated fatty acid เฉลี่ยอยู่ที่ 141.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

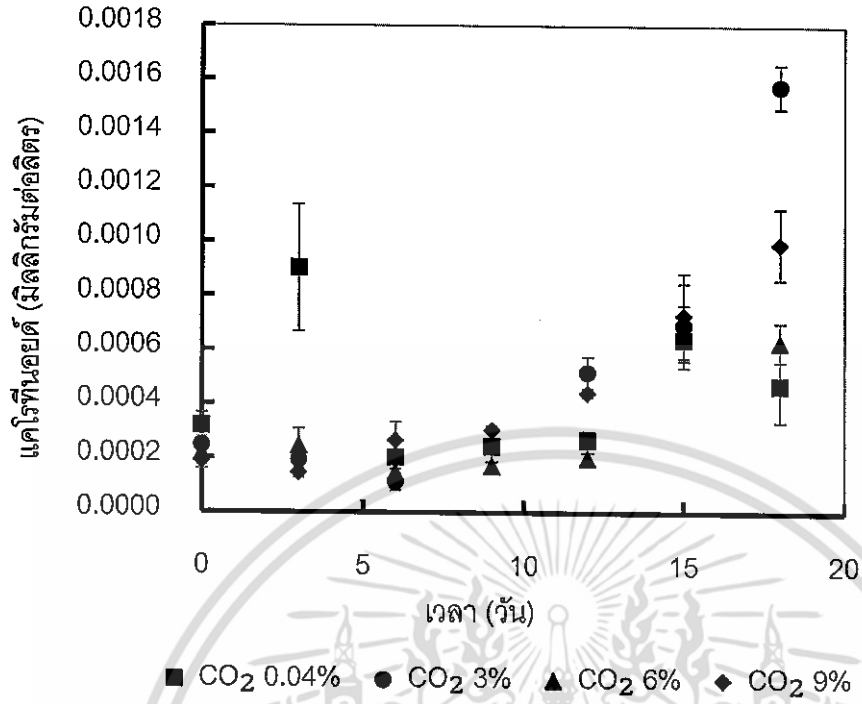


ภาพที่ 4.1 การเจริญเติบโตของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

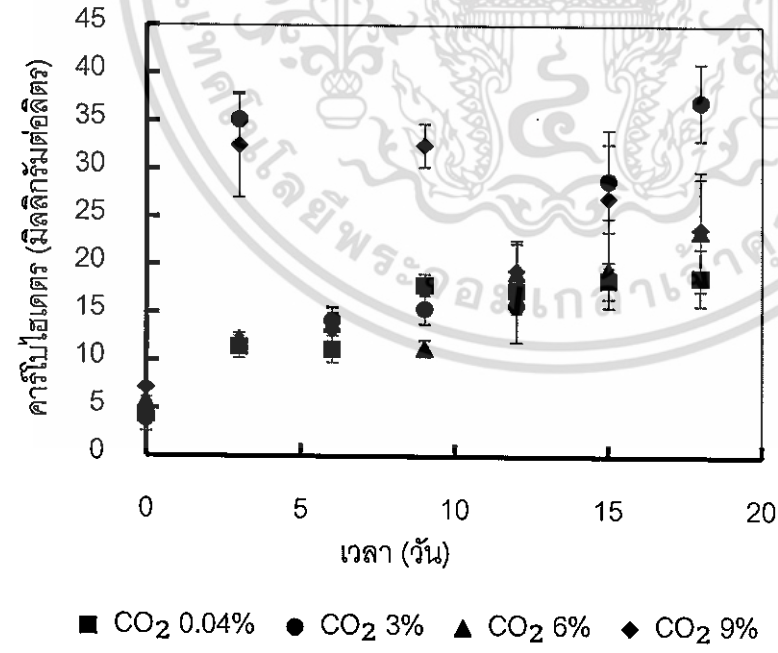


ภาพที่ 4.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

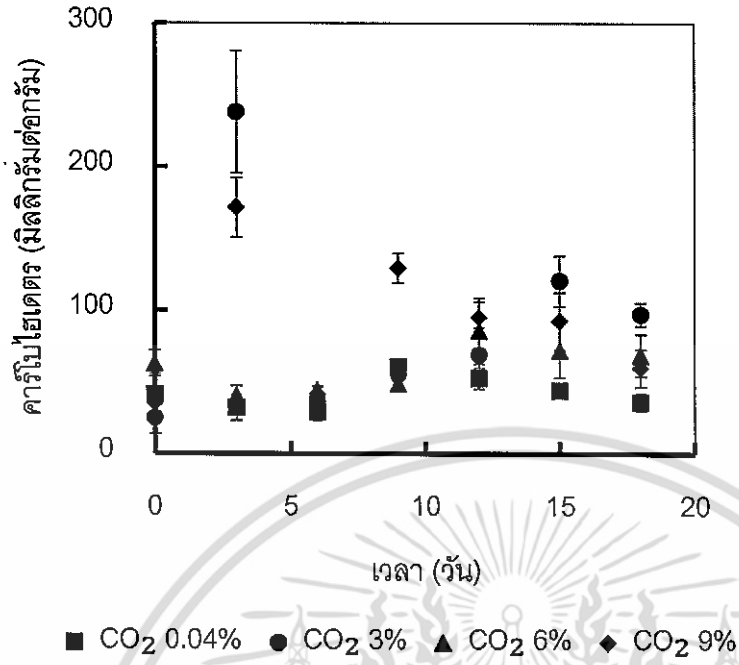


ภาพที่ 4.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

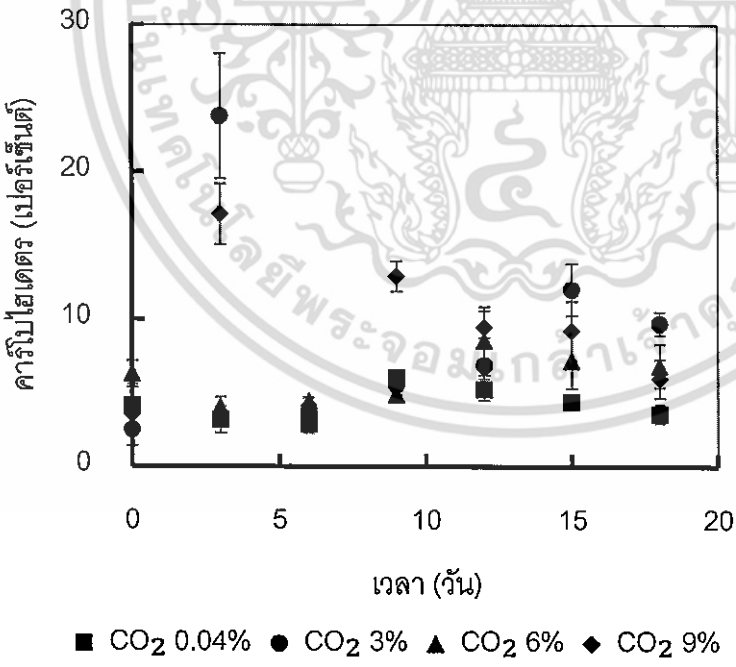


ภาพที่ 4.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

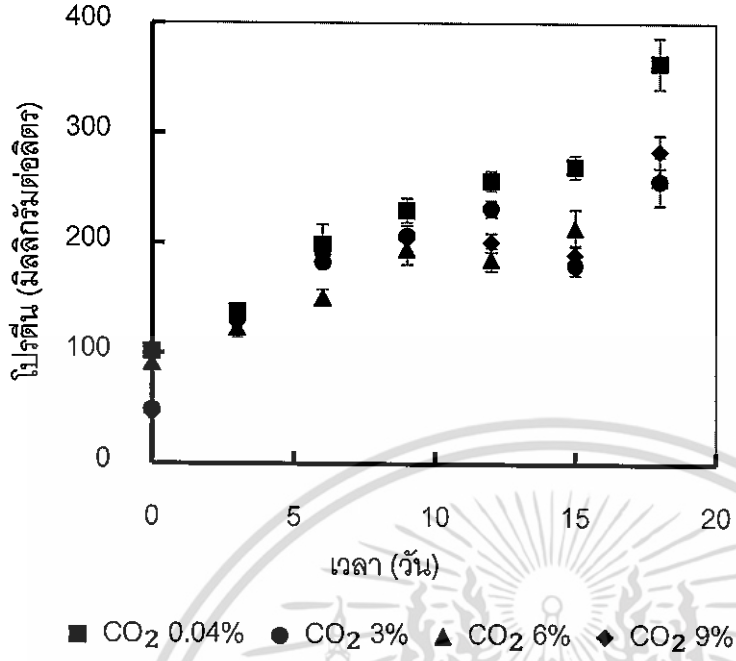


ภาพที่ 4.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

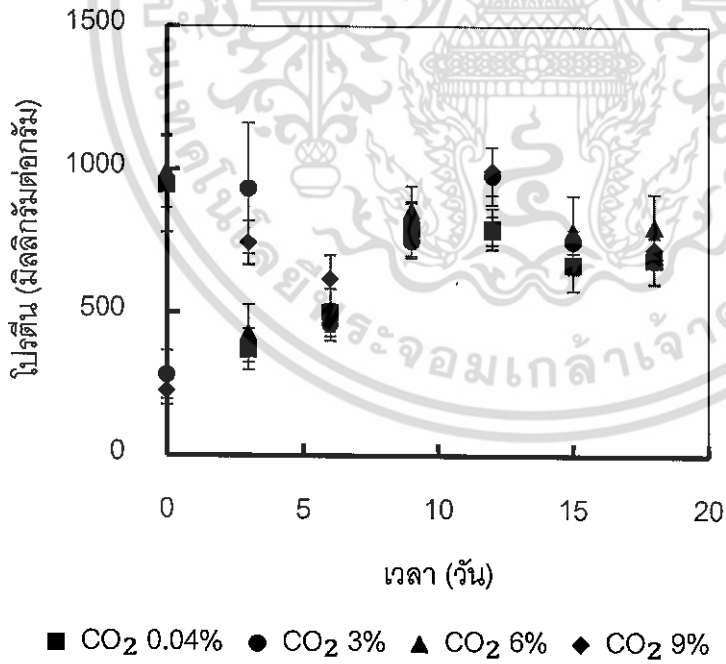


ภาพที่ 4.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรท (เปอร์เซ็นต์) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

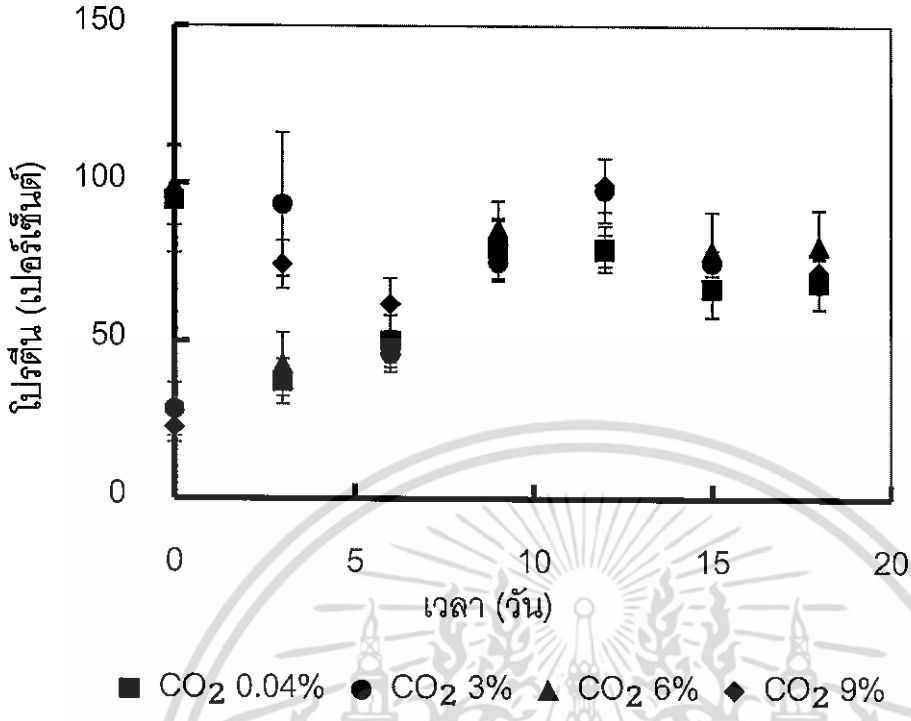


ภาพที่ 4.7 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

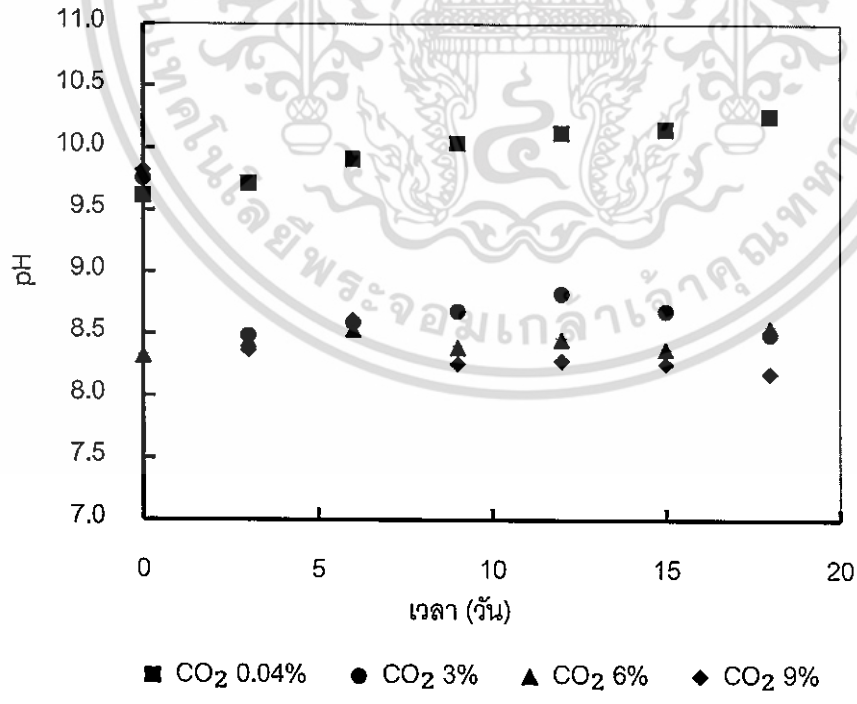


ภาพที่ 4.8 ปริมาณโปรตีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.10 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับ CO_2 ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตและไขมันของสาหร่าย *Spirulina sp.* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมี CO_2 แตกต่างกัน

CO_2	day	μ	Biomass (g/l)	Total lipid (%)	Lipid yield (g/l)	Lipid productivity (mg/l/d)
0.04%	0	0.00 ± 0.00^{a}	0.12 ± 0.02^{ab}	604.02 ± 142.12^{a}	0.735 ± 0.24^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
	6	12.99 ± 3.29^{b}	0.42 ± 0.07^{d}	65.49 ± 4.45^{a}	0.272 ± 0.04^{a}	8834.91 ± 2568.43^{a}
	12	0.27 ± 0.11^{a}	0.34 ± 0.04^{cd}	37.72 ± 9.08^{a}	0.129 ± 0.04^{a}	89.57 ± 22.00^{a}
	18	0.25 ± 0.10^{a}	0.56 ± 0.08^{e}	46.73 ± 2.99^{a}	0.261 ± 0.05^{a}	116.64 ± 43.40^{a}
3%	0	0.00 ± 0.00^{a}	0.22 ± 0.06^{abc}	158.01 ± 109.36^{a}	0.247 ± 0.13^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
	6	11.84 ± 3.54^{b}	0.42 ± 0.05^{d}	43.26 ± 2.21^{a}	0.177 ± 0.01^{a}	4946.42 ± 1249.09^{a}
	12	0.37 ± 0.09^{a}	0.24 ± 0.02^{bc}	41.05 ± 0.70^{a}	0.099 ± 0.01^{a}	151.85 ± 37.04^{a}
	18	0.29 ± 0.13^{a}	0.38 ± 0.03^{d}	119.75 ± 80.63^{a}	0.408 ± 0.25^{a}	473.18 ± 380.39^{a}
6%	0	0.00 ± 0.00^{a}	0.10 ± 0.02^{a}	604.02 ± 142.12^{a}	0.602 ± 0.17^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
	6	16.82 ± 4.67^{b}	0.32 ± 0.04^{cd}	160.24 ± 121.68^{a}	0.547 ± 0.43^{a}	29045.30 ± 22695.86^{b}
	12	0.38 ± 0.12^{a}	0.24 ± 0.02^{bc}	67.53 ± 5.39^{a}	0.165 ± 0.03^{a}	244.50 ± 64.04^{a}
	18	0.32 ± 0.15^{a}	0.33 ± 0.02^{cd}	2488.10 ± 2429.05^{b}	7.485 ± 7.28^{b}	1837.49 ± 1614.27^{a}
9%	0	0.00 ± 0.00^{a}	0.23 ± 0.04^{abc}	158.01 ± 109.36^{a}	0.363 ± 0.25^{a}	0.00 ± 0.00^{a}
	6	4.24 ± 1.65^{a}	0.32 ± 0.04^{cd}	46.30 ± 0.66^{a}	0.150 ± 0.02^{a}	1980.31 ± 796.13^{a}
	12	0.12 ± 0.03^{a}	0.21 ± 0.02^{abc}	46.86 ± 4.29^{a}	0.098 ± 0.02^{a}	55.30 ± 8.36^{a}
	18	0.08 ± 0.01^{a}	0.40 ± 0.02^{d}	73.02 ± 36.56^{a}	0.279 ± 0.13^{a}	50.08 ± 21.64^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 0.04% ที่แตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.02	0.31	0.25	0.07
Caproic Acid	C6:0	0.07	0.24	0.07	0.04
Caprylic Acid	C8:0	0.82	0.97	0.42	0.20
Capric Acid	C10:0	0.76	0.84	0.88	0.66
Undecanoic Acid	C11:0	0.15	0.31	0.04	0.02
Lauric Acid	C12:0	1.15	0.37	0.60	0.30
Tridecanoic Acid	C13:0	0.09	0.47	0.42	0.27
Myristic Acid	C14:0	0.16	0.29	0.23	0.86
Myristoleic Acid	C14:1	0.12	0.35	0.27	0.17
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.21	2.09	3.10	0.00
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.84	3.82	6.17	5.60
Palmitic Acid	C16:0	74.27	78.79	69.54	48.22
Palmitoleic Acid	C16:1	0.02	0.58	0.12	0.17
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.89	0.65	0.92	0.14
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.27	0.08	0.02	0.06
Stearic Acid	C18:0	0.68	0.60	1.00	7.41
Elaidic Acid	C18:1n9t	6.18	5.37	5.80	4.49
Oleic Acid	C18:1n9c	0.49	0.14	0.48	0.66
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.09	0.19	0.20	0.14
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.21	0.31	0.23	18.72
Linolenic Acid	C18:3n3	0.90	0.16	0.48	0.12
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	0.08	0.00	0.00	10.90
Arachidic Acid	C20:0	0.53	0.27	0.09	0.03
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	1.23	0.96	0.56	0.29
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.34	0.21	0.32	0.11
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.81	0.22	0.56	0.01
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.30	0.06	1.01	0.02
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.43	0.14	0.00	0.06
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	1.83	0.21	1.01	0.07
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.04	0.08	0.05	0.01
Behenic Acid	C22:0	0.33	0.28	1.10	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Erucic Acid	C22:1n9	2.17	0.16	0.84	0.04
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	1.11	0.04	0.72	0.04
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.27	0.05	1.29	0.00
Tricosanoice Acid	C23:0	0.66	0.29	1.04	0.07
Lignoceric Acid	C24:0	0.00	0.02	0.11	0.02
Nervonic Acid	C24:1	0.48	0.08	0.07	0.03
Saturated fatty acid		81.83	86.86	79.87	58.32
Unsaturated fatty acid		18.17	13.14	20.13	41.68
Monounsaturated fatty acid		11.80	11.54	14.33	11.49
Polyunsaturated fatty acid		6.37	1.60	5.81	30.19
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		84.09	86.87	78.78	91.02
C10:0-C18:2		87.58	95.24	90.01	87.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 3% ที่แตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.13	0.74	0.18	0.08
Caproic Acid	C6:0	0.10	0.11	0.05	0.09
Caprylic Acid	C8:0	0.05	0.58	0.02	0.13
Capric Acid	C10:0	1.13	1.60	1.69	1.98
Undecanoic Acid	C11:0	0.00	0.19	0.02	0.01
Lauric Acid	C12:0	0.27	0.70	0.40	0.11
Tridecanoic Acid	C13:0	0.10	0.06	0.82	0.37
Myristic Acid	C14:0	0.92	2.91	0.75	1.04
Myristoleic Acid	C14:1	0.14	0.21	0.22	0.20
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.00	2.07	1.80	0.38
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	3.53	5.49	7.10	6.75
Palmitic Acid	C16:0	39.89	66.86	55.26	40.88
Palmitoleic Acid	C16:1	3.54	5.54	0.22	3.95
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.08	0.81	0.17	0.38
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.01	0.06	0.02	0.01
Stearic Acid	C18:0	0.22	4.10	1.25	0.10
Elaidic Acid	C18:1n9t	5.70	0.70	4.76	4.21
Oleic Acid	C18:1n9c	0.53	0.12	0.68	0.37
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.20	0.17	0.14	0.07
Linoleic Acid	C18:2n6c	33.35	0.36	0.08	20.31
Linolenic Acid	C18:3n3	0.06	0.22	0.08	0.06
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	9.07	0.00	23.60	17.73
Arachidic Acid	C20:0	0.02	0.58	0.01	0.02
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.22	0.66	0.05	0.03
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.18	0.35	0.33	0.18
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.11	0.97	0.08	0.07
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.02	0.00	0.03	0.05
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.01	0.60	0.01	0.02
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.01	0.00	0.04	0.12
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.01	0.01
Behenic Acid	C22:0	0.03	0.60	0.02	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Erucic Acid	C22:1n9	0.10	1.07	0.05	0.08
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.01	1.39	0.00	0.03
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.01	0.04	0.00	0.00
Tricosanoice Acid	C23:0	0.14	0.09	0.08	0.13
Lignoceric Acid	C24:0	0.06	0.03	0.00	0.00
Nervonic Acid	C24:1	0.04	0.01	0.00	0.00
Saturated fatty acid		43.16	82.03	62.52	45.75
Unsaturated fatty acid		56.84	17.97	37.48	54.25
Monounsaturated fatty acid		13.82	13.86	13.10	15.60
Polyunsaturated fatty acid		43.02	4.10	24.38	38.64
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		92.64	78.94	86.26	88.08
C10:0-C18:2		89.62	91.96	75.38	81.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 6% ที่แตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.02	0.47	0.00	0.09
Caproic Acid	C6:0	0.07	0.30	0.02	0.03
Caprylic Acid	C8:0	0.82	0.40	0.11	0.29
Capric Acid	C10:0	0.76	0.59	0.41	0.67
Undecanoic Acid	C11:0	0.15	0.10	0.03	0.03
Lauric Acid	C12:0	1.15	0.64	0.39	0.16
Tridecanoic Acid	C13:0	0.09	0.38	0.19	0.15
Myristic Acid	C14:0	0.16	0.04	0.68	0.81
Myristoleic Acid	C14:1	0.12	0.08	0.09	0.16
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.21	0.00	1.20	1.40
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.84	7.41	3.71	4.28
Palmitic Acid	C16:0	74.27	74.84	33.73	57.02
Palmitoleic Acid	C16:1	0.02	0.11	2.30	3.62
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.89	0.36	0.08	0.55
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.27	0.11	0.09	0.06
Stearic Acid	C18:0	0.68	4.52	2.09	0.17
Elaidic Acid	C18:1n9t	6.18	4.76	0.13	6.77
Oleic Acid	C18:1n9c	0.49	0.55	0.05	0.41
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.09	0.20	0.09	0.22
Linoleic Acid	C18:2n6c	0.21	0.22	13.03	20.17
Linolenic Acid	C18:3n3	0.90	0.09	0.07	0.08
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	0.08	0.11	0.31	0.09
Arachidic Acid	C20:0	0.53	0.02	0.17	0.16
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	1.23	0.22	0.19	0.41
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.34	0.28	0.01	0.19
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.81	0.11	0.00	0.52
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.30	0.02	0.00	0.01
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.43	0.06	7.57	0.00
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	1.83	1.34	14.57	0.19
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.04	0.03	0.00	0.01
Behenic Acid	C22:0	0.33	0.15	0.00	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Erucic Acid	C22:1n9	2.17	0.15	0.00	0.15
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	1.11	0.04	0.00	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.27	0.29	0.00	0.30
Tricosanoice Acid	C23:0	0.66	0.75	7.73	0.25
Lignoceric Acid	C24:0	0.00	0.19	0.00	0.20
Nervonic Acid	C24:1	0.48	0.06	10.93	0.32
Saturated fatty acid		81.83	83.77	46.85	62.04
Unsaturated fatty acid		18.17	16.23	53.15	37.96
Monounsaturated fatty acid		11.80	13.47	17.50	16.18
Polyunsaturated fatty acid		6.37	2.76	35.65	21.78
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		84.09	85.87	51.98	89.18
C10:0-C18:2		87.58	94.92	58.32	96.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นกรดไขมันของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารซึ่งมีความเข้มข้นของ CO_2 9% ที่แตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.13	0.01	0.03	0.01
Caproic Acid	C6:0	0.10	0.02	0.00	0.03
Caprylic Acid	C8:0	0.05	0.04	0.03	0.07
Capric Acid	C10:0	1.13	1.34	1.55	1.84
Undecanoic Acid	C11:0	0.00	0.01	0.01	0.04
Lauric Acid	C12:0	0.27	0.09	0.07	0.22
Tridecanoic Acid	C13:0	0.10	0.06	0.19	0.57
Myristic Acid	C14:0	0.92	2.52	0.02	0.58
Myristoleic Acid	C14:1	0.14	0.09	0.09	0.12
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.00	0.01	0.68	1.01
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	3.53	6.63	3.72	5.13
Palmitic Acid	C16:0	39.89	41.10	42.78	41.32
Palmitoleic Acid	C16:1	3.54	0.22	0.53	0.31
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.08	0.55	0.51	0.31
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.01	0.06	0.02	0.34
Stearic Acid	C18:0	0.22	0.08	1.03	0.28
Elaidic Acid	C18:1n9t	5.70	2.32	2.53	2.84
Oleic Acid	C18:1n9c	0.53	0.37	0.67	0.41
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	0.20	0.18	0.37	0.17
Linoleic Acid	C18:2n6c	33.35	22.74	20.64	18.81
Linolenic Acid	C18:3n3	0.06	0.13	0.06	15.85
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	9.07	20.77	18.56	0.07
Arachidic Acid	C20:0	0.02	0.02	0.01	0.15
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.22	0.03	0.04	0.12
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.18	0.17	0.22	0.20
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.11	0.05	1.14	0.00
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.02	0.04	0.00	0.55
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.01	0.02	0.24	2.29
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.01	0.09	1.38	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.00	0.00	0.00	0.00
Behenic Acid	C22:0	0.03	0.02	0.28	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Erucic Acid	C22:1n9	0.10	0.06	0.00	0.00
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.01	0.04	0.89	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.01	0.00	0.20	3.39
Tricosanoice Acid	C23:0	0.14	0.12	0.35	0.00
Lignoceric Acid	C24:0	0.06	0.00	0.66	2.94
Nervonic Acid	C24:1	0.04	0.00	0.47	0.00
Saturated fatty acid		43.16	45.99	48.23	49.38
Unsaturated fatty acid		56.84	54.01	51.77	50.62
Monounsaturated fatty acid		13.82	9.79	8.07	9.28
Polyunsaturated fatty acid		43.02	44.22	43.71	41.34
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		92.64	88.52	87.71	80.74
C10:0-C18:2		89.62	78.36	75.42	74.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์

	CO_2	Carbohydrate (mg/L)	Carbohydrate (mg/g)	Protein (mg/L)	Protein (mg/g)	Chlorophyll (mg/L)	Chlorophyll (mg/g)	Carotenoid (mg/L)	Carotenoid (µg/g)
CO_2	1	.016	.165	-.464	.166	-.184	.322	.133	.298
Carbohydrate (mg/L)	.016	1	.924**	-.520*	-.474	.328	.485	.688**	.578*
Carbohydrate (mg/g)	.165	.924**	1	-.677**	-.076	.080	.576*	.702**	.722**
Protein (mg/L)	-.464	-.520*	-.677**	1	.209	.421	-.210	-.412	-.501*
Protein (mg/g)	.166	-.474	-.220	.209	1	-.442	.128	-.220	.036
Chlorophyll (mg/L)	-.184	.328	.080	.421	-.442	1	.497*	.207	-.046
Chlorophyll (mg/g)	.322	.485	.576*	-.210	.128	.497*	1	.493	.505*
Carotenoid (mg/L)	.133	.688**	.702**	-.412	-.220	.207	.493	1	.910**
Carotenoid (µg/g)	.298	.578*	.722**	-.501*	.036	-.046	.505*	.910**	1

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ 4.7 สหสัมพันธ์ของคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (กรัมต่อลิตร) ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์) ผลผลิตไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร) และกำลังการผลิตไขมัน (มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน)

	CO_2	Biomass (g/L)	Specific growth rate (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (mg/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
CO_2	1	-.268	-.051	-.173	-.352	-.135
Biomass (g/L)	-.268	1	.526*	.625**	.913**	.531*
Specific growth rate (g/L)	-.051	.526*	1	.310	.510*	.971**
Lipid content (%)	-.173	.625**	.310	1	.853**	.399
Lipid yield (mg/L)	-.352	.913**	.510*	.853**	1	.584*
Lipid productivity (mg/L/d)	-.135	.531*	.971**	.399	.584*	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

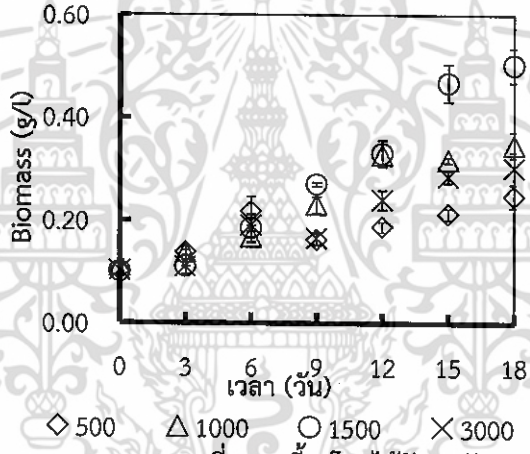
ตารางที่ 4.8 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ที่สิ้นสุดการทดลอง

CO_2 (%)	Carbon content (%)
0.04	40.8
3	43.3
6	45.58
9	48.27

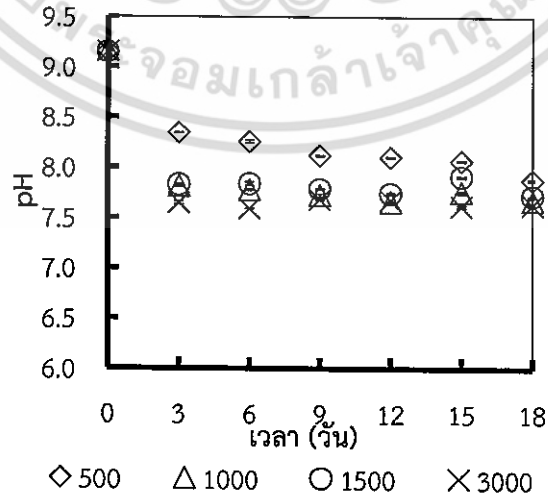
4.2. ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การเจริญเติบโตและคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย

เพื่อประเมินผลของความเข้มแสงที่แตกต่างกันในรอบวันและในแต่ละฤดูกาล ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณความต้องการคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน จึงทำการศึกษาผลของความเข้มแสงที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตรที่เหมาะสม โดยให้แสง 12:12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ผันแปรระดับความเข้มแสงคือ ใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสงประมาณ 500, 1000, 1500 และ 3000 ลักซ์ ให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ระดับที่สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุดและมีน้ำหนักคงที่มากที่สุดคือ 9 เปอร์เซ็นต์ ทำการเลี้ยง 18 วัน วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

ที่ระดับความเข้มแสง 1500 ลักซ์ สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดีที่สุดให้ชีวมลสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.50±0.03 กรัมต่อลิตรน้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 4.11) โดยระดับพีเอชของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในทุกชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4.12)



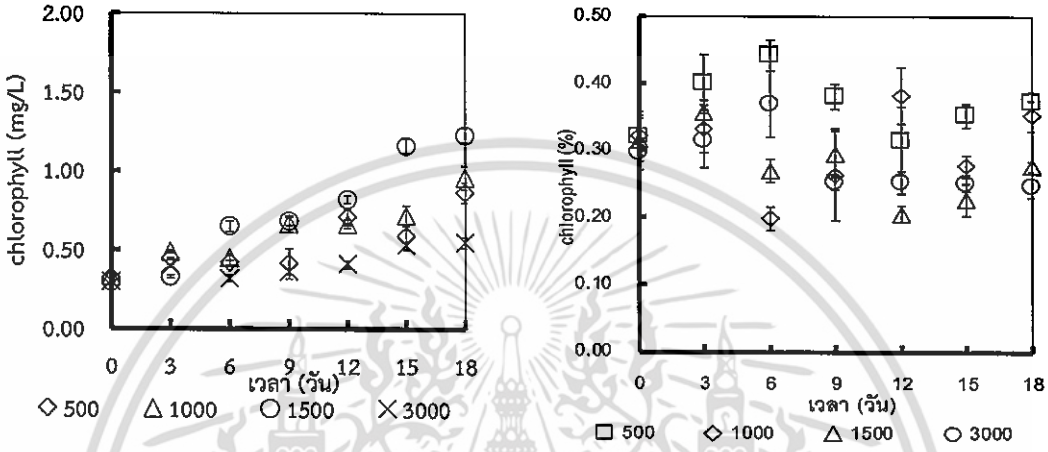
ภาพที่ 4.11 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.12 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

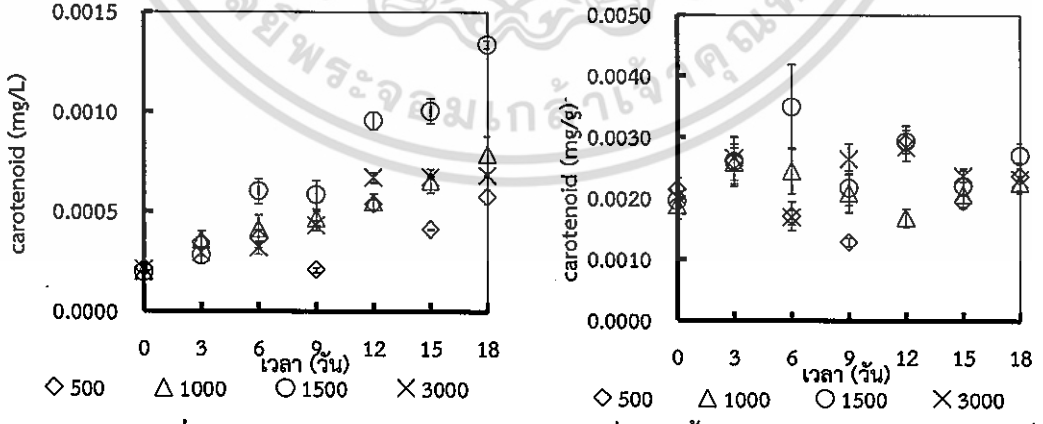
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงภายใต้ระดับแสงที่แตกต่างกัน มีการเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง มีความสัมพันธ์กับชีวมวลของสาหร่าย โดยสาหร่ายมีค่าคลอโรฟิลล์สูงสุดเมื่อได้รับความเข้มแสงที่ 1500 ลักซ์ โดยมีค่าเท่ากับ 1.23±0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อกรัมน้ำหนักของสาหร่ายพบว่า สาหร่ายที่ได้รับแสง 500 ลักซ์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ หรือเปอร์เซ็นต์คลอโรฟิลล์สูงที่สุด 0.37±0.01 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการเลี้ยงที่ระดับนี้ได้รับความเข้มแสงน้อยที่สุด สาหร่ายจึงต้องปรับตัวโดยทำการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เพื่อให้รับแสงเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 คลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

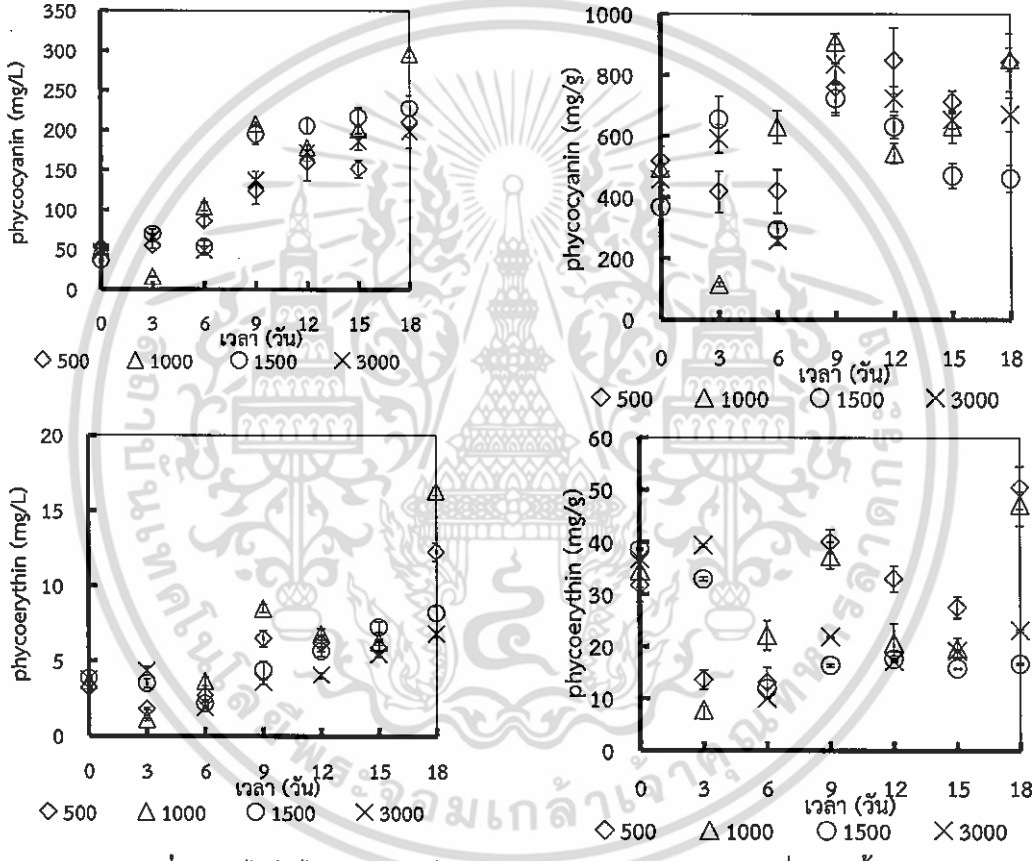
ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มสอดคล้องกับการเพิ่มของคลอโรฟิลล์ โดยพบว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับแสงที่ 1500 ลักซ์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 0.0013±0.0000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเทียบเท่าเป็น 0.0027±0.0002 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยพบว่าปริมาณแสงที่น้อย จะทำให้สาหร่ายมีปริมาณแคโรทีนอยด์โดยรวมต่อลิตรน้อยด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 แคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

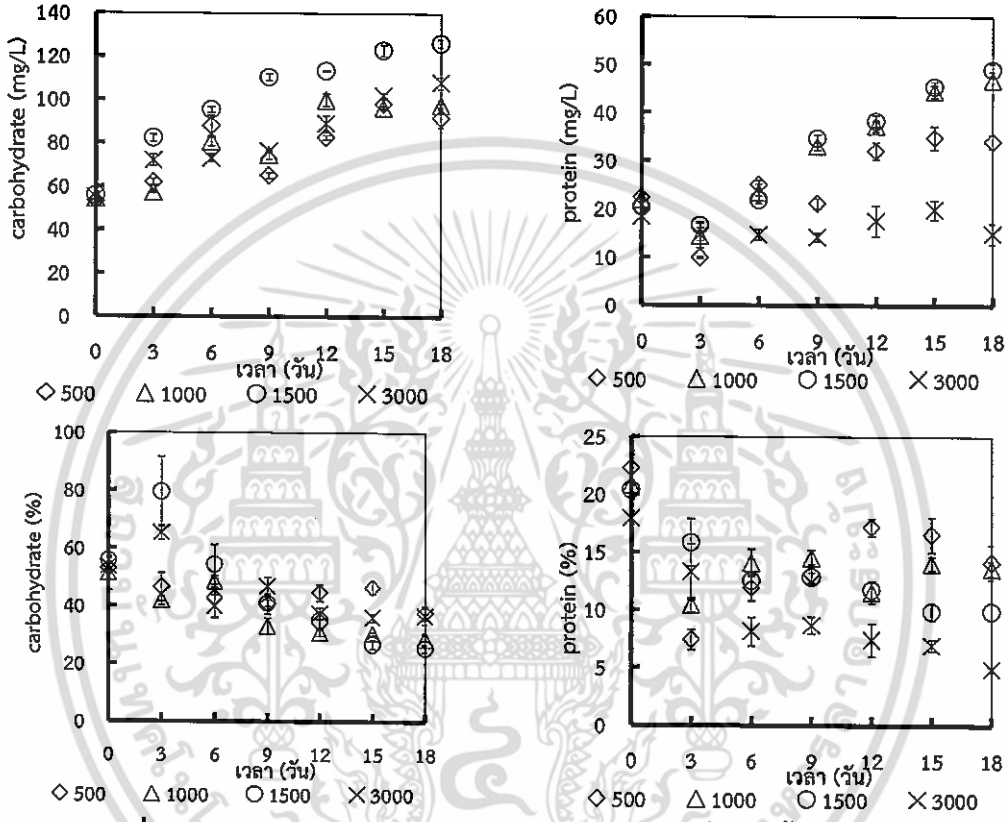
ปริมาณไฟโคไซยานินพบสูงที่สุดในสาหร่ายที่เลี้ยงโดยได้รับแสงที่ระดับ 1000 ลักซ์ โดยมีค่าเท่ากับ 295±32 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อคำนวนเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม ก็พบว่ามีปริมาณสูงสุดที่ระดับแสงนี้เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 852±95 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 4.15) โดยมีแนวโน้มว่าปริมาณไฟโคไซยานินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง เมื่อเทียบเป็นปริมาณต่อลิตร แต่หากเทียบเป็นปริมาณต่อกรัมปริมาณไฟโคไซยานินจะผันแปรตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงว่าแสงมีผลต่อปริมาณไฟโคไซยานินที่อยู่ในเซลล์ โดยพบว่าปริมาณไฟโคไซยานินนั้น มีรายงานว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนและเหล็กในอาหาร ซึ่งจะเห็นได้ว่า ไฟโคไซยานินจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ซึ่งเป็นเพราะว่ามีธาตุอาหารทั้งสองชนิดในปริมาณมาก หลังจากนั้นเมื่อธาตุอาหารลดลง ปริมาณไฟโคไซยานินจึงลดลงเช่นกัน



ภาพที่ 4.15 ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริทรินของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรทและโปรตีนที่พบในสาหร่ายมีค่าสูงที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงที่ความเข้มแสง 1500 ลักซ์ และเมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้นกว่าระดับนี้ ปริมาณคาร์โบไฮเดรทจะลดลง ส่วนประมาณโปรตีนที่ความเข้มแสงสูงสุด พบปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด (ภาพที่ 4.16) ทั้งนี้น่าจะเนื่องมาจากเหตุผลที่ว่าเมื่อความเข้มแสงมาก สาหร่ายเน้นการเจริญเติบโต จึงไม่เน้นการสะสมโปรตีน แต่เน้นการสร้างแป้งหรือไขมัน เพื่อเป็นพลังงานในการเจริญเติบโตแทน ส่วนที่ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรทต่ำกว่าที่ 1500 ลักซ์ อาจเป็นเพราะสาหร่ายอยู่ในภาวะที่ได้รับแสงมากเกินความต้องการ จึงอาจมีการสร้างไขมันแทนคาร์โบไฮเดรท (ตารางที่ 4.10)



ภาพที่ 4.16 คาร์โบไฮเดรทและโปรตีนของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

ปริมาณคาร์บอนที่พบในสาหร่ายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 45-50 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.9) กรดไขมันที่พบปริมาณมากในสาหร่ายที่เลี้ยงโดยการผันแปรความเข้มแสงได้แก่ palmitic และ Linoleic Acid (ตารางที่ 4.11-4.14)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน สิ้นสุดการทดลอง

Light intentsity (Luxs)	Carbon content (%)
500	44.93
1000	45.55
1500	47.88
3000	49.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การผลิตลิพิดของ ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสง (Luxs) ที่แตกต่างกัน

Light (Luxs)	Cultivation time	μ (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (m/L/d)
500	0	0.00±0.00	0.10±0.01	33.96±1.04	0.03±0.00	0.00±0.00
	6	0.08±0.01	0.21±0.01	50.96±3.41	0.10±0.01	44.05±7.04
	12	0.13±0.04	0.35±0.02	44.93±0.89	0.16±0.01	58.81±17.13
	18	0.01±0.00	0.49±0.02	39.69±1.81	0.20±0.01	1.91±1.60
1000	0	0.00±0.00	0.10±0.01	33.96±1.04	0.03±0.00	0.00±0.00
	6	0.07±0.04	0.22±0.03	34.64±2.12	0.07±0.01	22.21±11.48
	12	-0.02±0.02	0.19±0.01	32.07±1.96	0.06±0.01	-6.52±7.77
	18	0.00±0.00	0.35±0.02	30.70±0.69	0.11±0.01	1.17±0.90
1500	0	0.00±0.00	0.11±0.01	32.84±0.20	0.04±0.00	0.00±0.00
	6	0.09±0.01	0.19±0.01	30.73±1.33	0.06±0.00	29.69±2.28
	12	0.03±0.00	0.33±0.00	36.14±0.99	0.12±0.01	10.71±2.04
	18	0.00±0.00	0.35±0.00	30.70±0.80	0.11±0.01	1.17±1.05
3000	0	0.00±0.01	0.10±0.02	33.06±2.85	0.03±0.00	0.00±0.00
	6	0.09±0.00	0.19±0.02	30.73±3.42	0.06±0.02	29.69±14.78
	12	0.05±0.00	0.33±0.00	31.13±3.07	0.10±0.00	12.81±4.54
	18	0.00±0.03	0.50±0.03	37.31±1.50	0.19±0.02	1.44±1.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 500 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.40	0.047	0.12	0.13
Caproic Acid	C6:0	3.03	1.10	0.91	0.32
Caprylic Acid	C8:0	10.63	13.84	2.43	1.31
Capric Acid	C10:0	3.38	15.67	1.68	0.98
Undecanoic Acid	C11:0	1.88	6.85	0.53	0.68
Lauric Acid	C12:0	8.85	6.25	3.54	5.45
Tridecanoic Acid	C13:0	1.45	2.83	5.85	7.92
Myristic Acid	C14:0	0.87	0.30	0.51	1.02
Myristoleic Acid	C14:1	0.57	0.47	0.85	0.70
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.95	0.44	1.27	1.16
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.39	0.13	0.51	0.19
Palmitic Acid	C16:0	22.84	15.81	21.45	18.77
Palmitoleic Acid	C16:1	26.74	37.46	42.79	36.81
Heptadecanoic Acid	C17:0	3.52	1.86	3.82	3.71
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	3.85	2.38	5.04	3.85
Stearic Acid	C18:0	3.01	4.18	5.96	7.00
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.60	0.70	0.86	0.43
Oleic Acid	C18:1n9c	1.26	0.91	2.12	3.49
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	2.30	6.89	11.25	5.19
Linoleic Acid	C18:2n6c	7.94	nd	nd	4.73
Linolenic Acid	C18:3n3	12.12	11.69	18.01	18.48
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	0.45	0.18	0.26	8.97
Arachidic Acid	C20:0	2.00	1.65	3.52	3.98
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	4.54	4.02	7.84	Nd
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.31	0.18	0.53	0.58
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	nd	0.09	nd	0.03
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.20	0.06	nd	Nd
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	Nd	0.21	nd	0.09
Heneicosanoic Acid	C21:0	Nd	0.07	nd	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Behenic Acid	C22:0	nd	0.01	nd	0.03
Erucic Acid	C22:1n9	nd	nd	nd	0.06
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.24	0.21	0.32	0.32
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	nd	0.04	nd	0.05
Tricosanoice Acid	C23:0	0.37	0.13	0.09	0.05
Lignoceric Acid	C24:0	0.43	0.22	0.51	0.19
Nervonic Acid	C24:1	0.3	nd	nd	Nd
Saturated fatty acid		65.07	71.09	52.65	42.34
Unsaturated fatty		34.93	28.91	47.35	57.66
Monounsaturated fatty acid		11.67	14.63	25.04	20.91
Polyunsaturated fatty acid		23.25	14.28	22.31	36.75
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		60.90	46.26	72.30	78.59
C10:0-C18:2		76.79	77.36	83.27	83.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 1000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.17	nd	nd	Nd
Caproic Acid	C6:0	0.41	nd	nd	0.42
Caprylic Acid	C8:0	1.65	0.87	0.65	1.32
Capric Acid	C10:0	2.57	2.83	1.94	5.23
Undecanoic Acid	C11:0	0.53	0.50	1.38	2.77
Lauric Acid	C12:0	2.90	15.72	8.26	4.22
Tridecanoic Acid	C13:0	7.84	nd	3.62	7.65
Myristic Acid	C14:0	0.88	0.29	0.31	0.24
Myristoleic Acid	C14:1	0.70	0.48	0.73	0.40
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.15	0.90	1.17	0.71
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.41	0.07	0.24	0.23
Palmitic Acid	C16:0	19.38	17.86	18.80	17.44
Palmitoleic Acid	C16:1	3.38	3.23	3.45	3.16
Heptadecanoic Acid	C17:0	4.00	4.57	5.44	4.55
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	7.90	7.19	7.53	6.99
Stearic Acid	C18:0	0.48	1.13	1.19	1.09
Elaidic Acid	C18:1n9t	4.39	4.34	4.41	4.25
Oleic Acid	C18:1n9c	10.00	9.55	9.77	9.45
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	nd	nd	nd	Nd
Linoleic Acid	C18:2n6c	17.28	17.63	17.84	17.03
Linolenic Acid	C18:3n3	8.67	nd	nd	Nd
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.94	3.50	3.55	3.62
Arachidic Acid	C20:0	nd	8.70	8.96	8.43
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.61	0.51	0.53	0.56
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.09	nd	nd	Nd
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.04	nd	nd	nd
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	nd	Nd	nd	Nd
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.06	nd	0.15	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.10	nd	nd	nd
Behenic Acid	C22:0	0.11	nd	nd	Nd
Erucic Acid	C22:1n9	nd	nd	nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.24	0.12	0.10	0.17
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	nd	nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	0.4	nd	nd	nd
Lignoceric Acid	C24:0	0.35	nd	nd	Nd
Nervonic Acid	C24:1	nd	nd	nd	Nd
Saturated fatty acid		42.54	53.37	51.71	54.06
Unsaturated fatty acid		57.46	46.63	48.29	45.94
Monounsaturated fatty acid		27.13	25.38	26.66	25.03
Polyunsaturated fatty acid		30.33	21.25	22.31	20.91
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		79.41	69.00	71.98	67.57
C10:0-C18:2		83.41	86.29	86.07	85.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 1500 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	nd	nd	nd	Nd
Caproic Acid	C6:0	0.45	0.55	0.33	0.53
Caprylic Acid	C8:0	2.30	1.70	1.58	1.49
Capric Acid	C10:0	7.51	7.08	3.95	2.17
Undecanoic Acid	C11:0	5.56	2.04	2.20	3.29
Lauric Acid	C12:0	4.58	4.96	3.58	3.29
Tridecanoic Acid	C13:0	6.09	8.58	6.72	7.09
Myristic Acid	C14:0	0.33	0.40	0.29	0.34
Myristoleic Acid	C14:1	0.45	0.59	0.49	0.78
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.54	0.75	0.84	1.25
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.20	0.16	0.25	0.24
Palmitic Acid	C16:0	19.12	16.65	20.50	18.12
Palmitoleic Acid	C16:1	2.96	2.91	3.24	3.54
Heptadecanoic Acid	C17:0	4.60	4.58	4.63	5.18
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	5.69	6.66	5.76	6.54
Stearic Acid	C18:0	1.20	1.12	1.30	1.11
Elaidic Acid	C18:1n9t	3.16	4.14	3.22	3.23
Oleic Acid	C18:1n9c	2.43	2.54	3.21	3.52
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	6.58	6.59	7.66	6.24
Linoleic Acid	C18:2n6c	15.01	15.92	17.05	18.016
Linolenic Acid	C18:3n3	0.18	0.07	nd	Nd
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.08	3.44	3.50	3.42
Arachidic Acid	C20:0	6.58	7.58	8.14	8.03
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.43	0.50	0.54	0.52
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.21	0.07	0.22	Nd
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	nd	nd	nd	nd
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.07	Nd	nd	Nd
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	nd	nd	nd	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

Name of fatty acid		ltivation time			
		0	6	12	18
Heneicosanoic Acid	C21:0	nd	0.06	0.09	0.1
Behenic Acid	C22:0	Nd	0.04	0.25	0.05
Erucic Acid	C22:1n9	Nd	nd	nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.45	0.10	0.14	0.28
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	nd	nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	0.06	nd	0.07	0.07
Lignoceric Acid	C24:0	0.19	0.23	0.24	0.14
Nervonic Acid	C24:1	nd	nd	nd	Nd
Saturated fatty acid		59.11	56.32	54.72	53.52
Unsaturated fatty acid		40.89	43.68	45.28	46.48
Monounsaturated fatty acid		15.31	17.50	16.71	18.38
Polyunsaturated fatty acid		25.58	26.18	28.56	28.10
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		64.01	64.63	70.06	69.06
C10:0-C18:2		86.01	85.66	84.89	85.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับระดับแสงที่ 2000 ลักซ์ ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Cultivation time			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.16	nd	0.12	Nd
Caproic Acid	C6:0	0.40	0.57	2.51	1.30
Caprylic Acid	C8:0	1.10	1.73	6.27	5.40
Capric Acid	C10:0	4.61	2.62	9.32	5.68
Undecanoic Acid	C11:0	0.70	0.86	5.61	1.82
Lauric Acid	C12:0	2.49	2.32	4.46	6.84
Tridecanoic Acid	C13:0	7.46	3.06	0.72	0.86
Myristic Acid	C14:0	0.91	0.44	0.51	1.21
Myristoleic Acid	C14:1	0.68	0.25	0.35	0.56
Pentadecanoic Acid	C15:0	1.16	0.80	0.64	1.03
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.15	1.44	0.35	0.28
Palmitic Acid	C16:0	19.43	15.42	20.51	25.82
Palmitoleic Acid	C16:1	3.54	4.52	3.46	3.90
Heptadecanoic Acid	C17:0	3.80	2.79	3.91	4.29
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	7.74	3.43	4.72	5.63
Stearic Acid	C18:0	0.90	4.89	1.34	1.87
Elaidic Acid	C18:1n9t	2.93	1.59	2.02	3.14
Oleic Acid	C18:1n9c	nd	7.15	2.57	2.63
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	10.89	4.67	6.67	5.92
Linoleic Acid	C18:2n6c	17.67	10.35	13.63	12.58
Linolenic Acid	C18:3n3	0.19	0.19	0.21	Nd
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.41	1.89	2.31	2.38
Arachidic Acid	C20:0	7.77	8.36	5.72	5.73
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.49	0.55	0.33	0.37
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.12	4.32	0.53	0.32
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	0.07	3.55	0.27	nd
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.03	Nd	nd	Nd
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.02	Nd	nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	0.07	3.45	nd	Nd
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.30	0.20	0.20	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

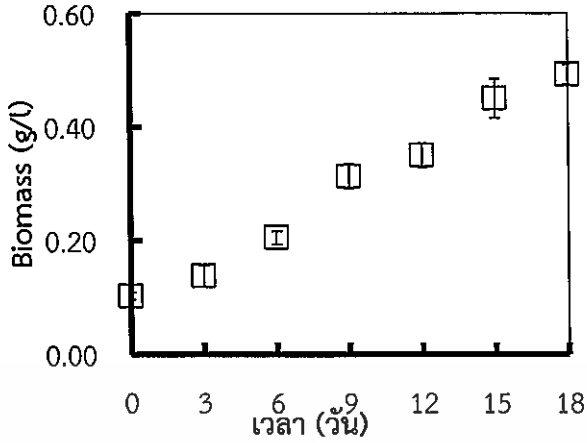
Name of fatty acid		ltivation time			
		0	6	12	18
Behenic Acid	C22:0	0.26	nd	0.10	nd
Erucic Acid	C22:1n9	0.02	nd	nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.27	nd	0.22	0.15
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	1.01	nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	0.04	nd	0.09	0.16
Lignoceric Acid	C24:0	0.24	7.56	0.33	nd
Nervonic Acid	C24:1	nd	nd	nd	0.13
Saturated fatty acid		51.71	51.64	62.35	62.02
Unsaturated fatty acid		48.29	48.36	37.65	37.98
Monounsaturated fatty acid		15.55	18.93	13.80	16.64
Polyunsaturated fatty acid		32.74	29.43	23.85	21.34
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		70.50	56.89	61.35	68.15
C10:0-C18:2		85.07	66.62	80.79	84.06

4.3. การปรับปรุงสูตรอาหารในการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยง

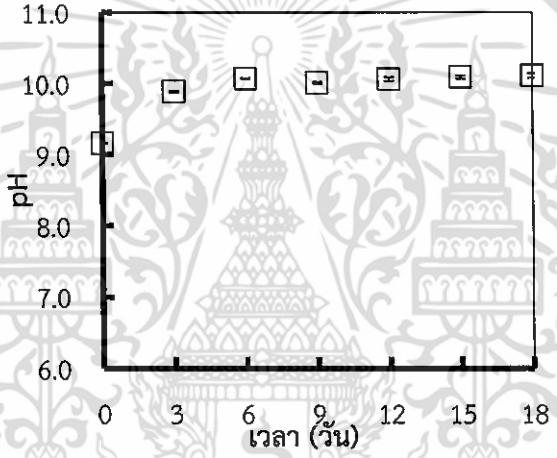
นำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงในปุ๋ยสูตรการค้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ทำการปรับอัตราส่วนของ N:P:K ให้ใกล้เคียงกับปุ๋ยในระดับห้องปฏิบัติการ โดยให้แสงต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับที่สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุด ทำการเลี้ยง 18 วัน วิเคราะห์ น้ำหนักแห้ง คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ คาร์โบไฮเดรท โปรตีน พีเอช ทุก 3 วัน วิเคราะห์ปริมาณไขมันของสาหร่าย ทุก 6 วัน วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมัน และคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในอาหารที่มีเฉพาะ N:P:K พบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยมีน้ำหนักแห้งที่วันสุดท้ายของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 0.5±0.02 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.17) โดยมีค่าพีเอชในระหว่างการเพาะเลี้ยงอยู่ในช่วง 9.2-10.2 (ภาพที่ 4.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK



ภาพที่ 4.18 ระดับพีเอชในอาหารที่เลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK

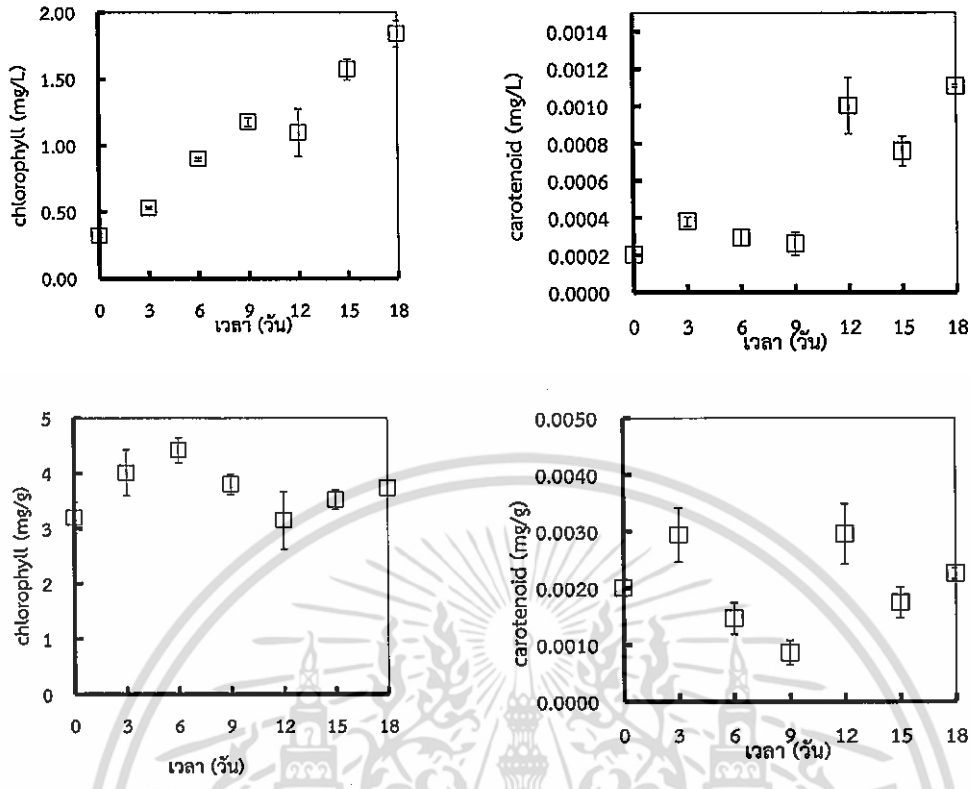
ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในสาหร่ายมีค่าอยู่ในช่วง 0.32- 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3.19-4.42 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์มีค่าอยู่ในช่วง 0.0002-0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 0.002-0.003 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 4.19)

ปริมาณไฟโคไซยานินมีค่าอยู่ในช่วง 71-231 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 469-777 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนปริมาณไซโคอิริทริน มีค่าอยู่ในช่วง 1.48-18.00 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 10.38-40.39 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 4.20)

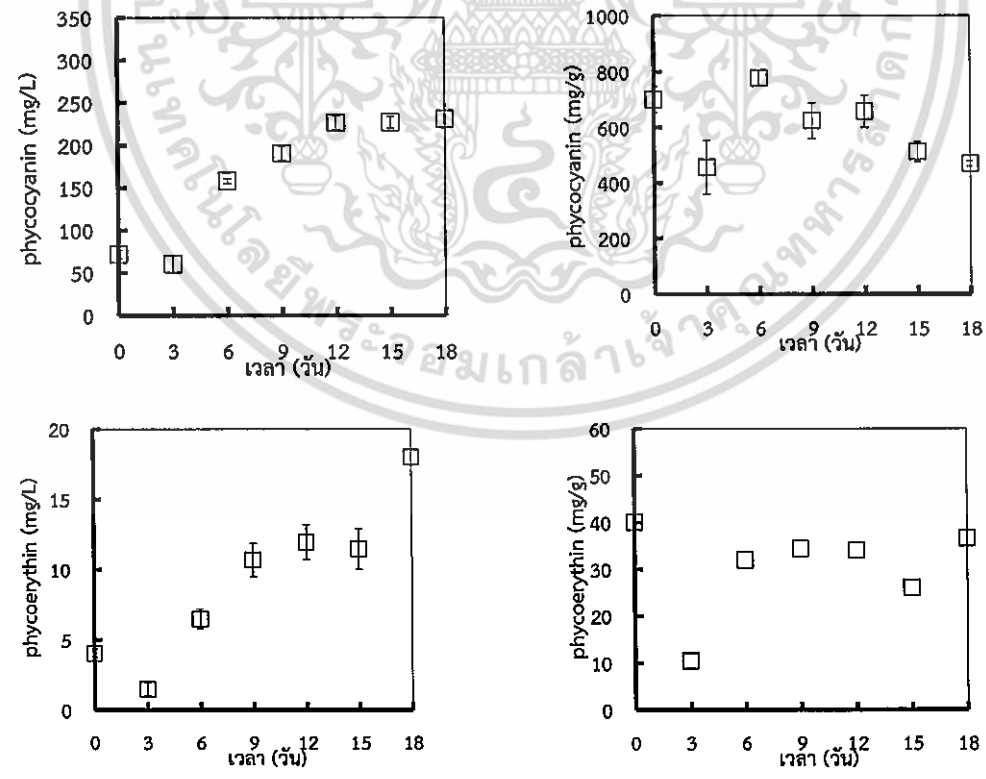
ปริมาณคาร์โบไฮเดรท มีค่าอยู่ในช่วง 53-126 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 221-529 มิลลิกรัมต่อกรัม โปรตีนมีค่าอยู่ในช่วง 10-41.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 74-222 มิลลิกรัมต่อกรัม (ภาพที่ 4.21)

ปริมาณลิพิดของสาหร่ายมีค่าอยู่ในช่วง 23.1-36.04 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.15) กรดไขมันที่พบมากได้แก่ palmitic acid, Linoleic Acid และ oleic acid (ตารางที่ 4.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

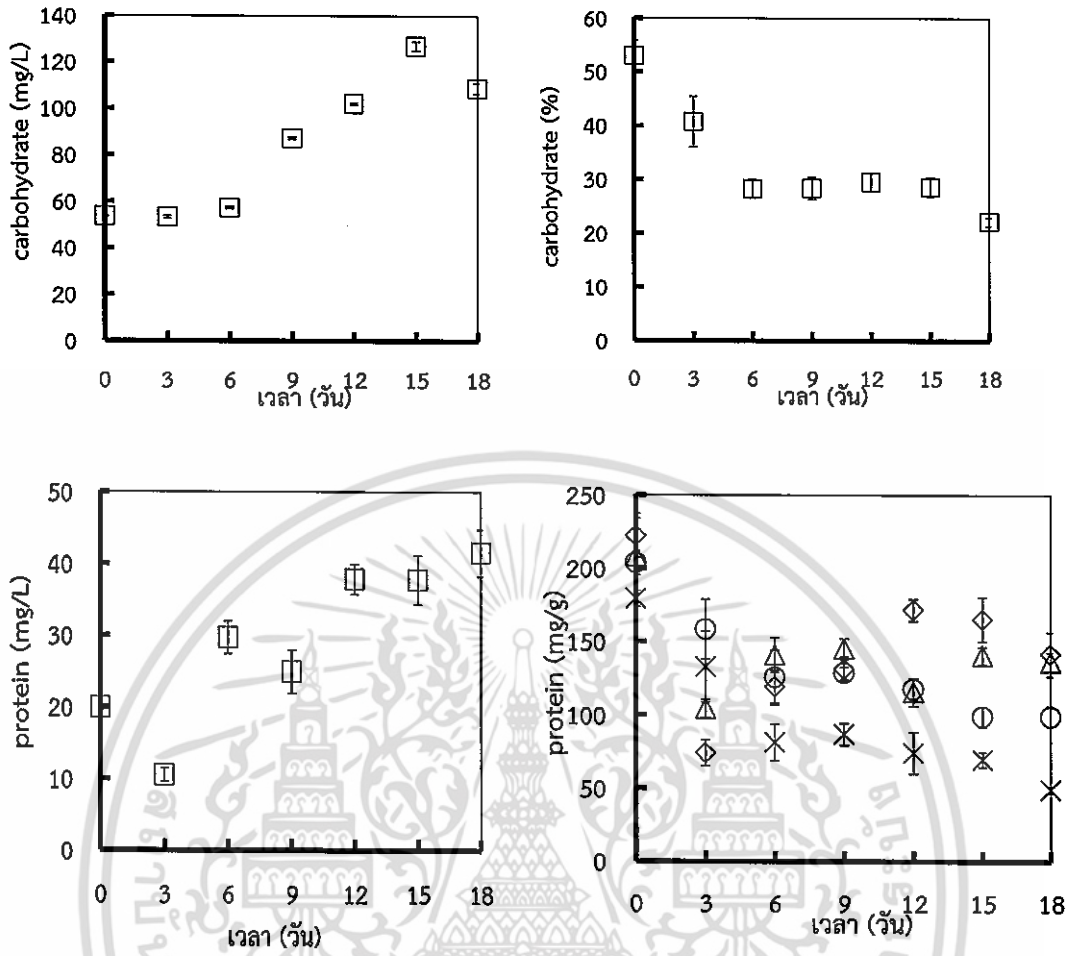


ภาพที่ 4.19 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK



ภาพที่ 4.20 ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริทรินของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 คาร์โบไฮเดรทและโปรตีนของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK

ตารางที่ 4.15 การผลิตลิพิดของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ย NPK

	μ (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
0	0.00±0.00	0.10±0.01	36.04±3.59	0.04±0.00	0.00±0.00
6	0.07±0.00	0.22±0.03	23.10±2.57	0.05±0.01	14.73±0.67
12	0.02±0.00	0.19±0.01	27.22±7.49	0.05±0.01	5.78±0.73
18	0.01±0.00	0.25±0.02	26.91±1.67	0.07±0.00	2.37±0.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปุ๋ย NPK

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
Butyric Acid	C4:0	0.97	Nd	0.78	0.15
Caproic Acid	C6:0	4.63	0.56	2.65	3.21
Caprylic Acid	C8:0	11.22	2.95	5.44	10.82
Capric Acid	C10:0	2.74	1.24	1.77	4.83
Undecanoic Acid	C11:0	2.12	1.36	1.25	2.49
Lauric Acid	C12:0	5.42	3.93	6.27	3.77
Tridecanoic Acid	C13:0	Nd	0.28	Nd	Nd
Myristic Acid	C14:0	1.20	0.96	1.57	1.45
Myristoleic Acid	C14:1	0.60	0.52	1.00	0.50
Pentadecanoic Acid	C15:0	Nd	0.17	Nd	0.47
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	Nd	0.14	Nd	0.41
Palmitic Acid	C16:0	26.30	31.37	28.02	25.84
Palmitoleic Acid	C16:1	2.09	2.41	2.43	0.85
Heptadecanoic Acid	C17:0	5.48	9.63	7.87	8.07
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	Nd	0.36	Nd	Nd
Stearic Acid	C18:0	4.60	3.47	4.40	5.18
Elaidic Acid	C18:1n9t	Nd	Nd	Nd	Nd
Oleic Acid	C18:1n9c	9.91	12.24	10.68	7.57
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	Nd	Nd	Nd	Nd
Linoleic Acid	C18:2n6c	13.70	17.27	16.63	12.92
Linolenic Acid	C18:3n3	Nd	Nd	Nd	1.37
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	2.33	2.80	2.35	1.86
Arachidic Acid	C20:0	6.69	6.86	5.93	7.73
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	Nd	0.36	0.26	Nd
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	Nd	0.31	Nd	Nd
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	Nd	Nd	Nd	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

Name of fatty acid		Cultivation time (day)			
		0	6	12	18
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	Nd	0.18	Nd	Nd
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Heneicosanoic Acid	C21:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Behenic Acid	C22:0	Nd	0.12	Nd	Nd
Erucic Acid	C22:1n9	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	Nd	0.24	0.27	Nd
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	Nd	0.44	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	Nd	0.29	Nd	0.53
Lignoceric Acid	C24:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Nervonic Acid	C24:1	Nd	Nd	Nd	Nd
Saturated fatty acid		71.37	63.17	65.94	74.54
Unsaturated fatty acid		28.63	36.83	34.06	25.46
Monounsaturated fatty acid		12.60	16.02	14.37	9.32
Polyunsaturated fatty acid		16.04	20.80	19.68	16.14
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		64.41	79.55	72.37	63.65
C10:0-C18:2		74.16	85.34	81.89	74.33

ตารางที่ 4.17 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับปุ๋ย NPK ที่สิ้นสุดการทดลอง

ปุ๋ย NPK	Carbon content (%)
	41.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. ศึกษาการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำด้วยระบบดักจับแบบสาหร่าย

สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยการผันแปรปริมาณสารอาหารตั้งแต่ 50-100 เปอร์เซ็นต์ และมีการผันแปรแสง โดยมีการให้แสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว คือได้รับแสงเฉพาะช่วงเวลากลางวัน และการให้แสงเพิ่มในช่วงเวลากลางคืน พบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตเต็มที่เมื่อเพาะเลี้ยงได้ 12 วัน โดยสาหร่ายที่ได้รับปุ๋ย 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสงตลอดเวลา มีน้ำหนักแห้งสูงที่สุดคือ 0.4514±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.18) โดยตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยงค่าพีเอช ของทุกชุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 8.72-9.36 โดยค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดการเพาะเลี้ยง นั่นเป็นเพราะการเจริญเติบโตของสาหร่าย มีการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ เพื่อไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงทำให้พีเอชของน้ำมีค่าสูงขึ้น (ตารางที่ 4.19)

ปริมาณคาร์โบไฮเดรทของสาหร่าย มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น โดยที่สิ้นสุดการทดลอง สาหร่ายที่ได้รับอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ ได้รับแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว มีค่าคาร์โบไฮเดรทสูงที่สุดคือ 23.93±2.42 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 57.61±3.83 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 5.76±0.38 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.20-4.22) ทั้งนี้เนื่องมาจากสาหร่ายได้รับแสงเพียงช่วงกลางวัน กลางคืนสาหร่ายจึงมีการสะสมสารอาหารได้เต็มที่ จึงมีคาร์โบไฮเดรทสูงกว่าในชุดที่ได้รับแสง 24 ชั่วโมง

ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายมีการผันแปรค่อนข้างสูงตลอดการเพาะเลี้ยง โดยพบว่าที่สิ้นสุดการทดลอง สาหรายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสง 24 ชั่วโมง มีค่าโปรตีนสูงที่สุดคือ 32.50±1.69 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อคำนวนเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสงธรรมชาติเพียงอย่างเดียว มีค่าโปรตีนสูงที่สุด คือ 73.71±2.68 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 7.37±0.27 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.23-4.25)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ ที่สิ้นสุดการทดลอง สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับ อาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสง 24 ชั่วโมง มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 0.26±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 0.57±0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 0.057±0.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักแห้งของสาหร่ายนั่นเอง (ตารางที่ 4.26-4.28)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ของสาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง พบว่าสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับ อาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสง 24 ชั่วโมง มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุดเท่ากับ 0.000229±0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับอาหาร 75 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสง 24 ชั่วโมง มีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อกรัม สูงที่สุดเท่ากับ 0.00058±0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม หรือ 0.000051±0.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.29-4.31)

ปริมาณลิพิดในสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสงธรรมชาติ มีสูงที่สุดคือ 42.87±2.98 เปอร์เซ็นต์ ที่การเพาะเลี้ยง 6 วัน ส่วนผลผลิตไขมัน พบสูงที่สุดในสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับ อาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ และได้รับแสง 24 ชั่วโมง โดยมีค่าเท่ากับ 0.24±0.09 กรัมต่อลิตร นั่นเป็นเพราะสาหร่ายในชุดการทดลองนี้มีการเจริญเติบโตที่สูงสุดนั่นเอง (ตารางที่ 4.32) โดยปริมาณคาร์บอนในเซลล์สาหร่ายพบอยู่ในช่วง 40.02-44.61 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.33)

ชนิดกรดไขมันที่พบสูงได้แก่ palmitic acid, oleic acid, linoleic acid และ arachidic acid ซึ่งล้วนเป็นกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์และสัตว์น้ำ (ตารางที่ 4.34-4.36)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.0341±0.00^{a}	0.1172±0.01^{b}	0.2955±0.00^{b}	0.4584±0.01^{b}	0.4132±0.02^{b}
100%+Light	0.0360±0.00^{a}	0.1175±0.00^{b}	0.2966±0.00^{b}	0.4466±0.01^{b}	0.4514±0.01^{b}
75%+Light	0.0351±0.00^{a}	0.0775±0.00^{a}	0.2541±0.01^{a}	0.3255±0.00^{a}	0.3969±0.01^{b}
50%+Light	0.0327±0.00^{a}	0.0551±0.00^{a}	0.2489±0.00^{a}	0.2948±0.00^{a}	0.3194±0.00^{a}

ตารางที่ 4.19 พีเอชของอาหารเลี้ยง *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	8.78±0.01^{b}	8.78±0.06^{a}	8.42±0.07^{b}	9.03±0.02^{a}	9.36±0.03^{a}
100%+Light	8.78±0.01^{b}	8.97±0.03^{a}	8.58±0.11^{b}	9.17±0.01^{b}	9.29±0.02^{a}
75%+Light	8.74±0.00^{a}	8.90±0.17^{a}	9.05±0.11^{a}	9.13±0.04^{b}	9.29±0.04^{a}
50%+Light	8.72±0.00^{a}	8.91±0.00^{a}	8.40±0.00^{b}	9.15±0.00^{b}	9.26±0.00^{a}

ตารางที่ 4.20 คาร์โบไฮเดรท (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	2.49±0.23^{a}	1.40±0.55^{a}	15.02±0.98^{b}	34.83±1.23^{d}	23.93±2.42^{b}
100%+Light	2.89±0.13^{a}	1.58±0.19^{a}	18.02±2.52^{b}	26.75±0.89^{c}	23.60±0.42^{b}
75%+Light	2.60±0.22^{a}	0.32±0.22^{a}	3.30±0.16^{a}	19.00±1.09^{b}	22.80±0.11^{b}
50%+Light	2.60±0.11^{a}	0.70±0.05^{a}	3.79±0.33^{a}	8.68±0.65^{a}	6.89±0.49^{a}

ตารางที่ 4.21 คาร์โบไฮเดรท (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	74.13±8.45^{a}	12.52±5.53^{a}	50.93±4.01^{b}	75.99±2.04^{c}	57.61±3.83^{b}
100%+Light	80.99±7.11^{a}	13.43±1.35^{a}	60.56±7.54^{b}	59.97±2.76^{b}	52.30±0.87^{b}
75%+Light	73.83±3.64^{a}	4.16±2.94^{a}	12.99±0.27^{a}	58.36±3.12^{b}	57.48±1.33^{b}
50%+Light	79.57±6.18^{a}	12.70±1.53^{a}	15.24±1.38^{a}	29.47±2.45^{a}	21.55±1.29^{a}

ตารางที่ 4.22 คาร์โบไฮเดรท (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	7.41±0.85^{a}	1.25±0.55^{a}	5.09±0.40^{b}	7.60±0.20^{c}	5.76±0.38^{b}
100%+Light	8.10±0.71^{a}	1.34±0.13^{a}	6.06±0.75^{b}	6.00±0.28^{b}	5.23±0.09^{b}
75%+Light	7.38±0.36^{a}	0.42±0.29^{a}	1.30±0.03^{a}	5.84±0.31^{b}	5.75±0.13^{b}
50%+Light	7.96±0.62^{a}	1.27±0.15^{a}	1.52±0.14^{a}	2.95±0.24^{a}	2.15±0.13^{a}

ตารางที่ 4.23 โปรตีน (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	2.14±0.20^{a}	8.21±0.27^{ab}	22.61±0.33^{b}	32.88±1.21^{b}	30.40±0.97^{b}
100%+Light	1.99±0.13^{a}	10.09±0.57^{b}	25.83±0.13^{c}	34.60±2.37^{b}	32.50±1.69^{b}
75%+Light	1.88±0.34^{a}	9.30±0.34^{ab}	21.90±1.24^{b}	34.60±0.67^{b}	28.30±0.67^{b}
50%+Light	2.55±0.11^{a}	7.50±0.56^{a}	7.39±0.22^{a}	6.94±0.00^{a}	3.00±0.56^{a}

ตารางที่ 4.24 โปรตีน (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	64.52±10.66^{a}	70.71±5.98^{a}	76.55±1.61^{b}	71.69±0.87^{b}	73.71±2.68^{b}
100%+Light	55.82±5.23^{a}	85.76±1.61^{ab}	87.15±1.56^{c}	77.38±4.33^{b}	71.94±2.72^{b}
75%+Light	53.28±7.77^{a}	120.33±8.11^{bc}	86.09±2.41^{c}	106.31±2.47^{c}	71.37±3.01^{b}
50%+Light	78.29±6.25^{a}	136.97±16.06^{c}	29.68±0.76^{a}	23.55±0.19^{a}	9.39±1.66^{a}

ตารางที่ 4.25 โปรตีน (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	6.45±1.07^{a}	7.07±0.60^{a}	7.65±0.16^{b}	7.17±0.09^{b}	7.37±0.27^{b}
100%+Light	5.58±0.52^{a}	8.58±0.16^{ab}	8.71±0.16^{c}	7.74±0.43^{b}	7.19±0.27^{b}
75%+Light	5.33±0.78^{a}	12.03±0.81^{bc}	8.61±0.24^{c}	10.63±0.25^{c}	7.14±0.30^{b}
50%+Light	7.83±0.62^{a}	13.70±1.61^{c}	2.97±0.08^{a}	2.35±0.02^{a}	0.94±0.17^{a}

ตารางที่ 4.26 คลอโรฟิลล์ (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.13±0.02^{a}	0.12±0.01^{b}	0.16±0.02^{a}	0.16±0.01^{ab}	0.22±0.00^{d}
100%+Light	0.12±0.01^{a}	0.09±0.01^{ab}	0.13±0.01^{a}	0.20±0.01^{b}	0.26±0.00^{c}
75%+Light	0.12±0.01^{a}	0.06±0.00^{a}	0.15±0.01^{a}	0.18±0.00^{b}	0.20±0.01^{b}
50%+Light	0.13±0.01^{a}	0.08±0.00^{ab}	0.09±0.01^{a}	0.13±0.00^{a}	0.07±0.01^{a}

ตารางที่ 4.27 คลอโรฟิลล์ (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	3.78±0.34^{a}	1.05±0.14^{ab}	0.53±0.06^{a}	0.34±0.02^{a}	0.54±0.01^{bc}
100%+Light	3.34±0.48^{a}	0.79±0.07^{a}	0.44±0.03^{a}	0.44±0.01^{b}	0.57±0.00^{c}
75%+Light	3.42±0.06^{a}	0.82±0.03^{a}	0.60±0.03^{a}	0.54±0.00^{c}	0.49±0.01^{a}
50%+Light	4.06±0.05^{a}	1.38±0.06^{b}	0.38±0.03^{a}	0.43±0.00^{b}	0.22±0.02^{a}

ตารางที่ 4.28 คลอโรฟิลล์ (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.378±0.03^{a}	0.105±0.01^{ab}	0.053±0.01^{a}	0.034±0.00^{a}	0.054±0.00^{bc}
100%+Light	0.334±0.05^{a}	0.079±0.01^{a}	0.044±0.00^{a}	0.044±0.00^{b}	0.057±0.00^{c}
75%+Light	0.342±0.01^{a}	0.082±0.00^{a}	0.060±0.00^{a}	0.054±0.00^{c}	0.049±0.00^{b}
50%+Light	0.401±0.00^{a}	0.144±0.01^{b}	0.035±0.00^{a}	0.043±0.00^{ab}	0.020±0.00^{a}

ตารางที่ 4.29 แคโรทีนอยด์ (mg/L) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.000064±0.00^{a}	0.000131±0.00^{ab}	0.000256±0.00^{b}	0.000335±0.00^{b}	0.000173±0.00^{ab}
100%+Light	0.000064±0.00^{a}	0.000131±0.00^{ab}	0.000212±0.00^{ab}	0.000365±0.00^{b}	0.000229±0.00^{b}
75%+Light	0.000064±0.00^{a}	0.000140±0.00^{b}	0.000188±0.00^{a}	0.000260±0.00^{a}	0.000228±0.00^{b}
50%+Light	0.000056±0.00^{a}	0.000108±0.00^{a}	0.000204±0.00^{a}	0.000238±0.00^{a}	0.000064±0.00^{a}

ตารางที่ 4.30 แคโรทีนอยด์ (mg/g) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.00190±0.00^{a}	0.00112±0.00^{a}	0.00087±0.00^{a}	0.00073±0.00^{a}	0.00042±0.00^{ab}
100%+Light	0.00178±0.00^{a}	0.00112±0.00^{a}	0.00072±0.00^{a}	0.00082±0.00^{a}	0.00051±0.00^{ab}
75%+Light	0.00183±0.00^{a}	0.00180±0.00^{b}	0.00074±0.00^{a}	0.00080±0.00^{a}	0.00058±0.00^{b}
50%+Light	0.00172±0.00^{a}	0.00197±0.00^{b}	0.00082±0.00^{a}	0.00081±0.00^{a}	0.00020±0.00^{a}

ตารางที่ 4.31 แคโรทีนอยด์ (%) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation Time (day)				
	0	3	6	9	12
100%	0.000190±0.00^{a}	0.000112±0.00^{a}	0.000087±0.00^{a}	0.000073±0.00^{a}	0.000042±0.00^{ab}
100%+Light	0.000178±0.00^{a}	0.000112±0.00^{a}	0.000072±0.00^{a}	0.000082±0.00^{a}	0.000051±0.00^{ab}
75%+Light	0.000183±0.00^{a}	0.000180±0.00^{b}	0.000074±0.00^{a}	0.000080±0.00^{a}	0.000058±0.00^{b}
50%+Light	0.000172±0.00^{a}	0.000197±0.00^{b}	0.000082±0.00^{a}	0.000081±0.00^{a}	0.000020±0.0^{a}

ตารางที่ 4.32 การผลิตลิพิดของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ

Medium concentration	Cultivation time	μ (/d)	Biomass (g/L)	Lipid content (%)	Lipid yield (g/L)	Lipid productivity (mg/L/d)
100%	0	0.00±0.00	0.03±0.00	32.35±0.15	0.01±0.00	0.00±0.00
	6	0.15±0.00	0.30±0.00	42.87±2.98	0.13±0.01	66.39±5.87
	12	0.05±0.00	0.41±0.01	32.40±0.61	0.13±0.01	15.74±0.71
100%+Light	0	0.00±0.00	0.04±0.00	32.35±0.15	0.01±0.00	0.00±0.00
	6	0.11±0.00	0.44±0.15	41.18±1.85	0.18±0.06	44.09±16.43
	12	0.05±0.00	0.68±0.23	34.37±3.21	0.24±0.09	15.72±1.80
75%+Light	0	0.00±0.00	0.03±0.00	32.35±0.15	0.01±0.00	0.00±0.00
	6	0.25±0.00	0.25±0.00	32.36±0.93	0.08±0.00	81.39±1.81
	12	0.02±0.00	0.40±0.00	31.33±0.61	0.12±0.00	6.21±0.30
50%+Light	0	0.00±0.00	0.03±0.00	32.35±0.15	0.01±0.00	0.00±0.00
	6	0.25±0.00	0.25±0.00	32.36±0.55	0.08±0.00	81.39±0.72
	12	0.01±0.00	0.32±0.00	30.61±0.59	0.10±0.00	2.40±0.28

ตารางที่ 4.33 ปริมาณคาร์บอนในสาหร่าย *S. platensis* เพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ สิ้นสุดการทดลอง

Medium concentration	Carbon content (%)
100%	44.61
100%+24 L	43.88
75% + 24 L	41.39
25% + 24 L	40.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันเริ่มต้นของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
Butyric Acid	C4:0	0.53	0.72	0.37	0.60
Caproic Acid	C6:0	2.01	1.81	1.54	1.25
Caprylic Acid	C8:0	4.49	3.69	4.45	2.59
Capric Acid	C10:0	Nd	0.96	Nd	0.64
Undecanoic Acid	C11:0	1.09	1.76	1.33	1.33
Lauric Acid	C12:0	7.44	7.63	7.05	4.21
Tridecanoic Acid	C13:0	0.74	Nd	0.84	0.29
Myristic Acid	C14:0	0.81	1.64	1.27	1.22
Myristoleic Acid	C14:1	Nd	0.65	0.67	0.86
Pentadecanoic Acid	C15:0	Nd	0.28	0.20	0.15
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	Nd	Nd	Nd	0.15
Palmitic Acid	C16:0	27.38	26.26	26.05	23.15
Palmitoleic Acid	C16:1	1.71	1.77	2.41	4.11
Heptadecanoic Acid	C17:0	8.24	10.60	11.53	12.28
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	Nd	Nd	0.36	0.49
Stearic Acid	C18:0	3.88	3.96	3.58	5.59
Elaidic Acid	C18:1n9t	Nd	Nd	Nd	Nd
Oleic Acid	C18:1n9c	11.13	10.75	10.82	10.24
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	Nd	Nd	0.58	Nd
Linoleic Acid	C18:2n6c	17.90	18.14	16.14	18.39
Linolenic Acid	C18:3n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.39	2.41	3.02	3.35
Arachidic Acid	C20:0	8.68	6.34	7.37	8.26
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.36	0.37	0.40	0.59
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	Nd	Nd	Nd	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.34 (ต่อ)

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Heneicosanoic Acid	C21:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Behenic Acid	C22:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Erucic Acid	C22:1n9	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.21	0.09	Nd	0.11
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	Nd	Nd	Nd	0.07
Lignoceric Acid	C24:0	Nd	0.18	Nd	0.12
Nervonic Acid	C24:1	Nd	Nd	Nd	Nd
Saturated fatty acid		65.30	65.82	65.60	61.72
Unsaturated fatty		34.70	34.18	34.40	38.28
Monounsaturated fatty acid		13.20	13.54	14.66	16.43
Polyunsaturated fatty acid		21.50	20.64	19.74	21.84
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		73.64	73.88	74.50	77.58
C10:0-C18:2		80.33	84.39	82.85	83.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
Butyric Acid	C4:0	0.38	0.47	0.71	0.42
Caproic Acid	C6:0	0.95	1.19	2.27	1.55
Caprylic Acid	C8:0	2.20	1.79	5.92	3.27
Capric Acid	C10:0	0.63	0.58	Nd	0.89
Undecanoic Acid	C11:0	1.30	1.04	1.03	1.10
Lauric Acid	C12:0	3.40	5.38	7.73	4.89
Tridecanoic Acid	C13:0	Nd	0.67	Nd	Nd
Myristic Acid	C14:0	0.94	1.81	1.36	2.21
Myristoleic Acid	C14:1	0.54	0.40	0.55	0.72
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.07	0.54	Nd	0.33
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	Nd	Nd	Nd	Nd
Palmitic Acid	C16:0	23.19	26.69	30.28	30.05
Palmitoleic Acid	C16:1	3.63	4.20	1.67	3.24
Heptadecanoic Acid	C17:0	9.81	10.13	5.95	6.15
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.44	0.44	Nd	Nd
Stearic Acid	C18:0	5.00	2.59	6.15	13.75
Elaidic Acid	C18:1n9t	Nd	3.13	Nd	Nd
Oleic Acid	C18:1n9c	6.69	5.90	11.57	11.31
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	Nd	Nd	Nd	Nd
Linoleic Acid	C18:2n6c	17.67	17.95	15.17	11.50
Linolenic Acid	C18:3n3	8.87	10.03	0.40	Nd
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.71	3.16	2.55	2.24
Arachidic Acid	C20:0	8.87	Nd	6.66	4.82
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.60	0.88	Nd	0.72
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.33	0.19	Nd	0.12
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	Nd	Nd	Nd	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.35 (ต่อ)

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.12	0.13	Nd	0.09
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Heneicosanoic Acid	C21:0	Nd	0.15	Nd	Nd
Behenic Acid	C22:0	0.11	0.06	Nd	Nd
Erucic Acid	C22:1n9	Nd	0.07	Nd	0.12
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.11	0.18	Nd	0.19
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	0.15	Nd	Nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	0.14	0.04	Nd	0.09
Lignoceric Acid	C24:0	0.11	0.19	Nd	0.24
Nervonic Acid	C24:1	Nd	Nd	Nd	Nd
Saturated fatty acid		57.12	53.33	68.07	69.75
Unsaturated fatty acid		42.88	46.67	31.93	30.25
Monounsaturated fatty acid		11.91	15.02	13.80	16.12
Polyunsaturated fatty acid		30.96	31.64	18.13	14.14
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		79.02	84.23	73.75	78.24
C10:0-C18:2		73.32	81.46	81.48	86.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 กรดไขมันของของ *S. platensis* ที่วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ โดยได้รับอาหารและแสงแตกต่างกัน

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
Butyric Acid	C4:0	0.47	Nd	1.26	0.28
Caproic Acid	C6:0	1.55	1.45	3.60	2.37
Caprylic Acid	C8:0	3.34	4.53	7.64	5.44
Capric Acid	C10:0	1.16	Nd	2.50	2.06
Undecanoic Acid	C11:0	1.14	1.15	2.29	1.41
Lauric Acid	C12:0	4.03	6.35	3.81	5.68
Tridecanoic Acid	C13:0	0.28	Nd	Nd	0.33
Myristic Acid	C14:0	1.54	1.19	1.22	1.37
Myristoleic Acid	C14:1	0.69	0.63	Nd	1.19
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.21	0.27	0.25	0.18
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	Nd	Nd	Nd	0.24
Palmitic Acid	C16:0	24.11	27.66	25.89	26.87
Palmitoleic Acid	C16:1	3.51	1.82	1.62	1.91
Heptadecanoic Acid	C17:0	10.78	7.60	8.05	9.27
cis-10-Heptadecenoic Acid	C17:1	0.52	0.42	0.33	0.34
Stearic Acid	C18:0	6.17	4.82	4.91	3.39
Elaidic Acid	C18:1n9t	Nd	Nd	Nd	Nd
Oleic Acid	C18:1n9c	9.97	10.80	11.11	10.90
Linolelaidic Acid	C18:2n6t	Nd	Nd	Nd	Nd
Linoleic Acid	C18:2n6c	17.49	17.88	14.74	15.01
Linolenic Acid	C18:3n3	8.51	0.49	0.42	0.94
Y-Linolenic Acid	C18:3n6	3.33	3.31	2.63	2.75
Arachidic Acid	C20:0	Nd	9.60	7.19	7.23
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.64	Nd	Nd	Nd
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.10	Nd	Nd	0.13
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid	C20:3n3	Nd	Nd	Nd	Nd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.36 (ต่อ)

Name of fatty acid		Medium concentration (%)			
		100	100+L	75+L	50+L
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	0.08	Nd	Nd	0.07
Arachidonic Acid	C20:4n6	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid	C:20:5n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Heneicosanoic Acid	C21:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Behenic Acid	C22:0	Nd	Nd	Nd	Nd
Erucic Acid	C22:1n9	Nd	Nd	Nd	Nd
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.14	Nd	0.10	0.17
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	Nd	Nd	Nd	Nd
Tricosanoice Acid	C23:0	0.10	Nd	0.22	0.33
Lignoceric Acid	C24:0	0.17	Nd	0.22	0.13
Nervonic Acid	C24:1	Nd	Nd	Nd	Nd
Saturated fatty acid		55.04	64.64	69.06	66.35
Unsaturated fatty acid		44.96	35.36	30.94	33.65
Monounsaturated fatty acid		15.32	13.68	13.06	14.57
Polyunsaturated fatty acid		29.64	21.68	17.89	19.07
Total fatty acid		100.00	100.00	100.00	100.00
C16-C18		84.39	74.81	69.69	71.38
C10:0-C18:2		81.59	80.61	76.71	80.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การใช้ประโยชน์ของสาหร่ายที่ได้จากการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสัตว์น้ำเพื่อเป็นแหล่งโปรตีนเสริมในอาหารสัตว์น้ำ

จากตารางเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลิน่า (ตารางที่ 4.37) พบว่าสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงด้วย flue gas จากบอยเลอร์ในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสไปรูลิน่าตามท้องตลาด (Commercial) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่ากรดอะมิโนจำเป็น (Indispensable amino acids) ส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเกรดที่ขายในท้องตลาด ($p \leq 0.05$)

ลักษณะทางกายภาพตรวจด้วยเทคนิค Feed microscopy แสดงใน ตารางที่ 4.38 พบว่าสาหร่ายที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีสีที่เข้มและกลิ่นที่แรงกว่า และพบการปลอมปนบ้างเล็กน้อย นอกจากนี้พบว่าสาหร่ายที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Bulk density) ที่สูงกว่าสาหร่ายเกรด commercial ($p \leq 0.05$) การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบอาหารสัตว์ (Quality evaluation) โดยการประเมินทางกายภาพ (Feed microscopy) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้เพื่อประเมินคุณภาพเบื้องต้น (Quality control and assurance) โดยพิจารณาจากลักษณะภายนอก (Physical characteristics) ได้แก่ สี กลิ่น ขนาดอนุภาค และการปลอมปน เป็นต้น การวัดค่าความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density) เป็นวิธีนิยมใช้ในการประเมินและควบคุมคุณภาพ เนื่องจากเป็นวิธีการที่รวดเร็ว (Khajarern and Khajarern, 1999) ค่า Bulk density คำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างต่อปริมาตร ค่าที่ได้เป็นค่าคงที่ (Constant value) จากการศึกษาพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของสาหร่ายสไปรูลิน่าอยู่ระหว่าง 501–632 กรัมต่อลิตร หากเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอาหารสัตว์น้ำแล้วพบว่าใกล้เคียงกับวัตถุดิบกลุ่มโปรตีน (Protein sources) ได้แก่ ไก่ป่น (Poultry by-products meal) 546 ปลาป่น (Fishmeal) 562 เนื้อและกระดูกป่น (Meat and bone meal) 594 และกากถั่วเหลืองชนิดไม่กระเทาะเปลือก (Soybean meal) 594–610 กรัมต่อลิตร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.37 องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายสไปรูลินาจากการเลี้ยงเทียบกับท้องตลาด (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

Ingredients	*Spirulina sp.*, Cultured	*Spirulina sp.*, Commercial	*p*
Proximate composition			
Dry matter	92.50±1.44	93.95±1.44	≥0.05
Crude protein	59.91±0.51[b]	61.41±0.40[a]	≤0.05
Amino acids			
Alanine	2.71±0.23	2.67±0.31	≥0.05
Arginine*	4.69±0.11 [b]	5.03±0.13 [a]	≤0.05
Aspartic	4.09±0.51 [b]	6.26±0.90 [a]	≤0.05
Cysteine	0.18±0.00 [b]	0.21±0.00 [a]	≤0.05
Glutamic	9.08±0.51[b]	7.49±0.61[a]	≤0.05
Glycine	2.09±0.31	2.09±0.30	≥0.05
Histidine*	0.40±0.03 [b]	0.69±0.00 [a]	≤0.05
Isoleucine*	2.03±0.52 [b]	3.15±0.53 [a]	≤0.05
Leucine*	2.96±0.35 [b]	4.53±0.40 [a]	≤0.05
Lysine*	1.99±0.22 [b]	2.21±0.24 [a]	≤0.05
Methionine*	2.90±0.30 [b]	3.68±0.26 [a]	≤0.05
Phenylalanine*	2.27±0.10 [b]	2.22±0.00 [a]	≤0.05
Proline	2.79±0.55	2.81±0.60	≥0.05
Serine	1.19±0.38	1.87±0.51	≥0.05
Threonine*	1.34±0.10 [b]	1.88±0.20 [a]	≤0.05
Tryptophan*	0.10±0.00	0.10±0.00	≥0.05
Tyrosine	1.49±0.40	1.99±0.30	≥0.05
Valine*	2.58±0.52	2.57±0.47	≥0.05
Toxicological composition (mg/kg)			
Arsenic	Less than 1.00	Less than 1.00	*N.D.*
Lead	Less than 1.00	Less than 1.00	*N.D.*
Cadmium	Less than 0.50	Less than 0.50	*N.D.*
Mercury	Less than 0.02	Less than 0.02	*N.D.*
Total plate count (cell/g)	Less than 500000	Less than 500000	*N.D.*
Enterobacteriaceae (cell/g)	Less than 10	Less than 10	*N.D.*
Salmonella (cell/25 g)	Absent,	Absent	*N.D.*

*Indispensable amino acids, ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) N.D.; Not-determined ข้อมูลไม่ได้วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 ลักษณะทางกายภาพของสาหร่ายสไปรูลินาจากการเลี้ยงเทียบกับท้องตลาด

Feed microscopy	*Spirulina sp.*, Cultured	*Spirulina sp.*, Commercial	*p*
Bulk density (g/L)	632.73±1.17[a]	501.13±1.60[b]	≤0.05
Color	Dark green	Light green	*N.D.*
Smell	Seaweed or algae	Seaweed or algae	*N.D.*
Adulteration (%)	Yes (~2%)	No	*N.D.*
Particle size (mm)	<0.25	<0.25	*N.D.*

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$), *n.d.*; Not-determined ข้อมูลไม่ได้วิเคราะห์

ตารางที่ 4.39 การคงตัวในน้ำของอาหารที่มีสไปรูลิน่าที่ระดับ 0, 5, 10 และ15 เปอร์เซ็นต์

Water stability	*Spirulina sp.*				Regression model
	0	5	10	15	
15 minutes	83.59±0.74[d]	86.64±0.17[c]	87.04±0.14[b]	88.33±0.12[a]	y = 1.46x + 82.75 R^2 = 0.884, $p\leq0.05$
30 minutes	83.16±0.38[d]	86.63±0.03[c]	87.00±0.25[b]	88.30±0.08[a]	y = 1.58x + 82.33 R^2 = 0.862, $p\leq0.05$
1 hour	82.95±0.10[d]	86.52±0.08[c]	86.88±0.05[b]	88.20±0.02[a]	y = 1.61x + 82.11 R^2 = 0.858, $p\leq0.05$
2 hours	82.85±0.11[d]	86.37±0.04[c]	86.88±0.05[b]	88.11±0.04[a]	y = 1.63x + 81.98 R^2 = 0.869, $p\leq0.05$

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.39 เมื่อนำสาหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงมาผสมในอาหารที่ระดับต่างๆ (0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพอาหาร พบว่าค่าความคงตัวในน้ำ (Water stability) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ($p\leq0.05$) สอดคล้องกับการศึกษา Boney and Moritz (2017) ซึ่งรายงานว่าการใช้สไปรูลิน่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้อาหารมีค่า Pellet durability เพิ่มขึ้น และทำให้คุณภาพของเม็ดอาหาร (Pellet quality) ดีขึ้น จากนั้นนำสาหร่ายสไปรูลิน่ามาผสมอาหารเพื่อทดสอบค่าการย่อยได้ปรากฏของสารอาหารในสัตว์น้ำ (กุ้งขาวแวนนาไม) โดยอาหารประกอบไปด้วยอาหารสูตรอ้างอิง (Reference duet) และอาหารทดสอบ (Test diets) อีกสองสูตร (ตารางที่ 4.40)

โดยสูตรประกอบด้วยปลาป่น (Fishmeal) เกรด 1 ใช้เป็นแหล่งโปรตีนหลัก และน้ำมันปลาทูน่า (Fish oil) เป็นแหล่งของไขมัน โดยใช้น้ำนึ่งปลา (Fish solubles extract) ช่วยเพิ่มความน่ากินของอาหาร (Palatability) แป้งสาลี (wheat flour) และกัวกัม (Guar gum) เพื่อเป็นสารเหนียว (Binder) เพิ่มการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของวัตถุดิบอาหาร การศึกษานี้ใช้โครมิคออกไซด์ (Chromic oxide) ร้อยละ 0.5 เพื่อเป็น inert marker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 สูตรอาหารสำหรับการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของสารอาหารของสาหร่ายในอาหารกุ้งขาว (กรัมต่อกิโลกรัม)

Ingredients	Reference diet	Test diet	Test diet
Fishmeal (Local, grade 1; 60% protein)	600.0	420.0	420.0
Wheat flour	300.0	210.0	210.0
Fish oil (Tuna)	30.0	21.0	21.0
Fish solubles extract	10.0	3.0	3.0
Guar gum (binder)	10.0	3.0	3.0
Vitamin premix[1]	20.0	6.0	6.0
Mineral premix[2]	10.0	3.0	3.0
Mono-calcium phosphate	10.0	3.0	3.0
Calcium carbonate	5.0	1.5	1.5
Chromic oxide	5.0	1.5	1.5
Spirulina sp., Cultured	0.0	300.00	0.0
Spirulina sp., Commercial	0.0	0.0	300.0

[1]Vitamin premix composition (unit kg^{-1}): vitamin A, 2420 000 IU; vitamin D3, 2 420 000 IU; vitamin K3, 6050 mg; thiamine, 3025 mg; riboflavin, 3630 mg; pyridoxine, 2420 mg; cyanocobalamine, 6.0 mg; L-ascorbic acid, 368 902 mg; nicotinic acid, 24 200 mg; D-pantothenic acid, 6050 mg; inositol, 121 000 mg; d-biotin, 363 mg; folic acid, 908 mg; para-aminobenzoic acid, 3025 mg.

[2]Mineral premix composition (g kg^{-1}): sodium chloride, 50; magnesium sulphate, 745; iron (III) citrate n-hydrate, 125; trace element mix, 50; cellulose, 30. (The trace element mixture contains (g kg^{-1}): zinc sulphate heptahydrate, 353; manganese sulphate, 162; copper (II) sulphate pentahydrate, 31; aluminium chloride hexahydrate, 10; cobalt chloride, 3; potassium iodate, 1; cellulose,440). [4] 50% calcium propionic acid and 50% fumaric acid. [5] 50% butylated hydroxyanisole and 50% butylated hydroxytoluene

สูตรอาหารอ้างอิงจะถูกใช้เป็นพื้นฐาน (ร้อยละ 70) นำมาผสมกับวัตถุดิบที่จะใช้ทดสอบ (Test ingredient) ได้แก่ Spirulina, Cultured และ Commercial (อย่างละ 30 เปอร์เซ็นต์) จากนั้นจะได้สูตรอาหารทดสอบ (Test diets) ดังนั้นในสูตรอาหารทดสอบทั้งสองสูตร จะประกอบไปด้วยปลาป่นร้อยละ 42 (420 กรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการกินอาหารของสัตว์ทดลอง องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณกรดอะมิโนในสูตรอาหาร ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารสำหรับการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของสาหร่ายในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม แสดงใน ตารางที่ 4.41 พบว่าปริมาณโปรตีน ไขมันอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกุ้งขาวแวนนาไม (ไม่น้อยกว่าร้อยละ 38 และไม่น้อยกว่าร้อยละ 7 ตามลำดับ) อาหารทดลองทุกสูตรมีปริมาณโปรตีน (40.8–47.8 เปอร์เซ็นต์) (Isoproteic diet) และไขมัน (7.75–8.15เปอร์เซ็นต์) (Isolipidic diet) ที่ใกล้เคียงกัน ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.41 องค์ประกอบทางเคมีของสูตรอาหารสำหรับการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของสาหร่ายในอาหารกุ้ง (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

Nutrients	Test diets (70% reference diet + 30% test ingredient)			
	Reference	*Spirulina sp.*, Cultured	*Spirulina sp.*, Commercial	
Proximate composition				*p*
Dry matter	97.80±3.68	97.70±4.72	97.20±2.75	*n.s.*
Crude protein	40.80±2.98	46.80±3.30	47.80±4.73	*n.s.*
Crude lipid	8.15±0.80	7.75±0.68	7.80±0.74	*n.s.*
Amino acids				
Alanine	2.88	1.12	1.13	
Arginine*	2.07	3.08	3.10	
Aspartic	4.03	3.57	3.46	
Cysteine	0.10	0.14	0.14	
Glutamic	5.97	8.26	8.54	
Glycine	3.75	1.91	1.96	
Histidine*	0.64	0.51	0.51	
Isoleucine*	1.69	1.60	1.61	
Leucine*	2.38	2.23	2.18	
Lysine*	2.51	2.05	2.08	
Methionine*	4.00	3.46	3.56	
Phenylalanine*	1.30	1.29	1.34	
Proline	3.96	1.81	1.86	
Serine	1.49	1.34	1.41	
Threonine*	1.44	1.36	1.38	
Tryptophan*	0.41	0.83	0.83	
Tyrosine	1.10	1.16	1.16	
Valine*	1.52	0.78	0.77	

*Indispensable amino acids, n.s.; non-significantly differences

แสดงค่าการย่อยได้ปรากฏของวัตถุแห้งและโปรตีนเปรียบเทียบระหว่างสหร่ายที่ได้จากการเลี้ยงด้วย flue gas และที่ได้จากท้องตลาด (Commercial) (**ตารางที่ 4.42**) พบว่าค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งและโปรตีนระหว่างสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้จากการเลี้ยงด้วย flue gas จากบอยเลอร์กับสาหร่ายจากท้องตลาดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) โดยค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง (ADMD) และโปรตีน (APD) อยู่ระหว่าง 88.4–88.9 และ 85.4–85.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาของ Marcias-Sancho et al. (2014) ถึงผลของการใช้สาหร่ายไปรูลิน่าเพื่อทดแทนปลาป่นในกุ้งอาหารขาว พบว่าสามารถใช้แทนปลาป่นได้ถึงร้อยละ 75 ในสูตรอาหาร นอกจากนี้พบว่าสาหร่ายสามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันในกุ้งขาว และสามารถใช้เป็นแหล่งของสารสีธรรมชาติ (Natural carotenoid) เพื่อทดแทนสารสีสังเคราะห์ (Synthetic astaxanthin) ในอาหารปลาเรนโบว์เทราท์ (Teimouri et al., 2013) แต่ปัจจุบันยังไม่มีการรายงานค่าการย่อยได้ปรากฏของสารอาหาร (Apparent nutrient digestibility) ที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายสไปรูลิน่าในกุ้งขาวแวนนาไม

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีนอยู่ระหว่าง 85.4–85.5 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาในสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น Teuling et al. (2017) ที่ทดลองในปลาดุกแอฟริกา (African catfish, *Clarius gariepinus*) และปลานิล (Nile tilpia, *Oreochromis niloticus*) (81.4–82.5 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้ยังรายงานว่าค่าการย่อยได้ของโปรตีนของสาหร่ายสไปรูลิน่าในปลาทั้งสองชนิดนี้มีค่าสูงที่สุดในกลุ่มสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalage) ที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ *Chlorella*, *Scenedesmus* และ *Nannochloropsis* อีกด้วย

ตารางที่ 4.42 ค่าการหาค่าการย่อยได้ปรากฏของวัตถุแห้งและโปรตีนของสาหร่ายในกุ้งขาว (เปอร์เซ็นต์)

Test ingredients	ADMD* (%)	APD* (%)
Spirulina sp., Cultured	88.4±1.25	85.4±1.22
Spirulina sp., Commercial	88.9±1.44	85.5±1.17
P-value	≥0.05	≥0.05

*ADMD; Apparent dry matter digestibility, APD; Apparent protein digestibility, ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโน (Apparent digestible amino acid) ในสาหร่ายสไปรูลิน่าในอาหารกุ้งขาวแวนนาไม พบว่ากรดอะมิโนจำเป็น (Indispensable amino acids) ทั้ง 10 ชนิด ประกอบด้วย อาร์จีนีน (Arginine) ฮีสทีดีน (Histidine) กรดอะมิโนกลุ่ม Branched chain amino acids (BCAAs: ไอโซลิวซีน; Isoleucine ลิวซีน Leucine และแวลีน; Valine) ไลซีน (Lysine) กลุ่มซัลเฟอร์อะมิโน (Sulfur amino acids: เมทไธโอนีน; Methionine และซีสเทอีน; Cysteine) เฟนิลอะลานีน (Phenylalanine) ทรีโอนีน (Threonine) และทริปโตเฟน (Tryptophan) ในสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้จากการเลี้ยงด้วย flue gas และ commercial grade นั้นมีความแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) พบว่าค่าการย่อยได้ปรากฏขอกรดอะมิโนจำเป็นบางชนิด ได้แก่ ไลซีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน เฟนิลอะลานีน และกรดอะมิโนกลุ่ม BCAAs ใน *Spirulina sp.*, Cultured สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสาหร่าย Commercial ค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนกลุ่มซัลเฟอร์ใน *Spirulina sp.*, Cultured น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสาหร่ายสไปรูลิน่า Commercial ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการย่อยได้ของกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็น (Non-essential amino acids) บางชนิด ได้แก่ อะลานีน (Alanine) ไกลซีน (Glycine) ซีลีน (Serine) ในสาหร่ายที่ผลิตได้จาก flue gas สูงกว่า *Spirulina sp.*, Commercial อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.43 ค่าการย่อยได้ปรากฏของกรดอะมิโนของสาหร่ายในกุ้งขาว (เปอร์เซ็นต์)

Test ingredients	*Spirulina sp.*, Cultured	*Spirulina sp.*, Commercial	*p*
Alanine	74.15±1.44^{a}	38.43±1.11^{b}	≤0.05
Arginine*	83.85±1.34^{b}	89.02±1.54^{a}	≤0.05
Aspartic	85.83±1.26^{a}	75.22±1.32^{b}	≤0.05
Cysteine	81.57±1.36^{b}	92.14±1.15^{a}	≤0.05
Glutamic	78.98±1.32	82.63±1.37	*n.s.*
Glycine	86.27±2.44a	68.42±2.22^{b}	≤0.05
Histidine*	74.85±1.22^{b}	99.83±1.18^{a}	≤0.05
Isoleucine*	68.33±1.46^{a}	54.94±1.34^{b}	≤0.05
Leucine*	73.60±1.51^{a}	57.56±1.52^{b}	≤0.05
Lysine*	76.89±1.87^{a}	57.85±1.77^{b}	≤0.05
Methionine*	69.77±1.35^{b}	73.32±1.21^{a}	≤0.05
Phenylalanine*	80.07±2.10^{a}	74.19±2.15^{b}	≤0.05
Proline	75.25±1.11^{a}	24.46±1.08^{b}	≤0.05
Serine	82.38±1.21^{a}	69.99±1.17^{b}	≤0.05
Threonine*	83.00±1.78^{a}	71.36±1.70^{b}	≤0.05
Tryptophan*	85.25±2.26^{a}	37.61±2.42^{b}	≤0.05
Tyrosine	77.13±1.13^{b}	79.08±1.11^{a}	≤0.05
Valine*	78.98±1.56^{a}	69.43±1.49^{b}	≤0.05

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05), n.s.; non-significantly differences, *Indispensable amino acids

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในห้องปฏิบัติการพบว่ามีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และมีโปรตีนสูงที่สุดที่ คาร์บอนไดออกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ ระดับแสงที่ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตดีที่สุดที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ 9 เปอร์เซ็นต์ คือ 1500 ลักซ์ และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในปุ๋ยที่มีเพียง NPK พบว่าให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรปกติ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานผลิตอาหารสัตว์น้ำ สามารถทำให้สาหร่ายมีผลผลิตที่ใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการและมีกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์และสัตว์น้ำ โดยสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงได้เมื่อนำไปทำอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำพบว่ามีค่าการย่อยได้ของกรดอมิโนดีกว่าสาหร่ายที่ขายทั่วไปตามท้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Abdulrahman. N. M. and Ameen. Hawkar J. H. 2014. Replacement of Fishmeal with Microalgae *Spirulina* on Common Carp Weight Gain, Meat and Sensitive Composition and Survival. Pakistan Journal of Nutrition 13 (2): 93-98.

Aquilano, K., Baldelli, S., Rotilio, G. and Ciriolo, M.R. 2008. Role of nitric oxide syntheses in Parkinson's disease: a review on the antioxidant and anti-inflammatory activity of polyphenols. Neurochemical Research, 33: 2416–2426.

Balamurugan. G, Bibin Anand. G, Prakash. S , Karthikeyan. G, Balaji. R, and S. Kumar. 2013. Infant Santhose.B. 2013. Pigment Producing capacity of saline tolerant microalgae *Chaetoceros calictrans, Chlorella salina, Isochrysis galbana, Tetraselmis gracilis and its antimicrobial activity: An* Comparative Study. J. Microbiol. Biotech. Res. 3:1-7

Binaghi L., A. Del Borghi, A. Lodi, A. Converti, M. Del Borghi. 2003. Batch and fed-batch uptake of carbon dioxide by *Spirulina platensis*. Process Biochemistry 38:1341-1346.

Boney, J. W. and Moritz, J. S. (2017). The effects of Spirulina algae inclusion and conditioning temperature on feed manufacture, pellet quality, and true amino acid digestibility. Animal Feed Science and Technology. 224, 20–29

Boonyaratpalin, M. and Unprasert, N. 1989. Effects of pigments from different sources on colour changes and growth of red *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. 79:375-380.

Borowitzka, M.A. 1995. Microalgae as sources of pharmaceuticals and other biologically active compounds. J. Appl. Phycol. 7: 3-15.

Camacho-Rodiguez J., M.C. Cern-Garcia, C.V. Gonzalez-Lopez, J.M. Fernandez-Sevilla, A. Contreras-Gomez, E. Molina-Grima. 2013. A low-cost culture medium for the production of *Nannochloropsis gaditana* biomass optimized for aquaculture . Bioresource Technology 144:57–66.

Camacho-Rodriguez J., M.C. Cern-Garca, J.M. Fernandez-Sevilla, E. Molina-Grima. 2015. Genetic algorithm for the medium optimization of the microalga *Nannochloropsis gaditana* cultured to aquaculture. Bioresource Technology. 177:102–109.

Chang, E.H. and S.S. Yang. 2003. Microalgae for biofixation of carbon dioxide. Bot. Bull. Acad. Sin. 44: 43-52.

Chauhan U.K. and Pathak N. 2010. 2010. Effect of different conditions on the production of chlorophyll by *Spirulina platensis. J. Algal Biomass Utln.* 1:89 – 99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

Eaton, A.D., L.S. Clesceri and A.E. Greenberg. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. United Book Press, Baltimore, 1108 p.

Franova, S., Joskova, M., Sutovska, M., Novakova, E., Adamicova, K., Pechanova, O. and Nosalova, G. 2011. The efficiency of polyphenolic compounds on allergen induced hyperreactivity of the airways. Biomedicine & Preventive Nutrition 1: 232–235.

Gustafson, K.R., Sowder,R.C., Henderson, L.E., Cardellina, J.H., McMahon, J.B., Rajamani, U., Pannell, L.K. and Boyd, M.R. 1997. Isolation, Primary Sequence Determination, and Disulfide Bond Structure of Cyanovirin-N, and Anti-HIV (Human Immunodeficiency Virus) Protein from the Cyanobacterium *Nostoc ellipsossporum*. Biochemical and Biophysical research. 238:223-228.

Hanagata, N., T. Takeuchi, Y. Fukuju, D.J. Barnes and I. Karube. 1992. Tolerance of microalgae to high CO2 and high temperature. Phytochem. 31: 3345-3348.

Herrera, A., S. Boussiba, V. Napoleone and A. Hohlberg. 1989. Recovery of c-phycococyanin from cyanobacterium *Spirulina maxima*. J. Appl. Phycol. 1:325-331.

IEA (International Energy Agency). 1998. Carbon Dioxide Capture from Power Stations. [available at www.ieagreen.org.uk].

Johnson, E.A., Schroeder. W.A., 1995. Microbial carotenoids. In: Fiechter, A. (Ed.), Advances Biochemical Engineering and Biotechnology, vol 53. Sringer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 119-178.

Kadam, K.L. 1997. Power plant flue gas as a source of CO2 for microalgae cultivation: economic impact of different process options. Energy Conv Manag 38: S505-S510.

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

Kajiyama, S., Kanzaki, H., Kawazu, K., and Kobayashi, A. 1998. Nostofungicidine, an antifungal lipopeptide from the field-grown terrestrial blue-green alga *Nostoc commune*. Tetrahedron Letter 39(1998):3737-3740.

Kaplan, D., Richmond A. E., Dubinsky. Z. and Aaronson. S. 1986. Algal nutrition. In Handbook of microalgae mass culture. CRC Press, Inc., Florida. pp.147-198.

Khairy H. M., Shaltout N.A., El-Naggar M.F. and El-Naggar N.A. 2014. Impact of elevated CO_2 concentrations on the growth and ultrastructure of non-calcifying marine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

diatom (*Chaetoceros gracilis* F.Schutt). Egyptian Journal of Aquatic Research. 40:243–250.

Khajarern, J. and Khajarern S. (1999).

Kim. S. S., Rahimnejad. S., Kim. K. W., Lee. K. Jun. 2013. Partial Replacement of Fish Meal with *Spirulina pacifica* in Diets for Parrot Fish (*Oplegnathus fasciatus*). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 13, 197-204.

Kirk, R.G., Raymond, C.S., Louis, E.H., John, H.C., James, B. M., Umamaheswari, R., Lewis ,K,P. and Michael, R.B. 1997. Isolation, Primary sequence determination and disulfide bond structure of Cyanovirin-N, and Anti-HIV (Human Immunodefieiency Virus) Protein from the Cyanobacterium *Nostoc ellipsosporum*. Biochemical and Biophysical research 238(1997);223-228.

Kishimoto, M., Okakura, T., Nagashima, H., Minowa, T., Yokoyama, S., Yamabe, K., 1994. CO_2 fiation and oil production using microalgae. J. Ferment. Bioeng. 78, 479–482.

Kobayashi, M., Sakamoto, Y. 1999. Singlet oxygen quenching ability of astaxanthin est-ers from from the green algae *Haematococcus pluvialis*. Biotechnol. Lett. 21:265-269. **อ้างโดย** Bocanegra-Dominguez, A.R., I.G. Legarreta, F.M. Jeronimo, A.T. Compocosio. 2004. factors in the production of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. Bioresource Technology. 92:209-214.

Latcha, T. 1990. Carotenoid in animal nutrition. F. Hoffmann-La Roche Ltd., Seitzerland, 110 p.

Lee, J.S., D.K. Kim, J.P. Lee, S.C. Park, J.H. Koh, H.S. Cho and S.W. Kim. 2002. Effects of SO2 and NO on growth of *Chlorella* sp. KR-1. Biores. Biotechnol. 82: 1-4.

Lin Q., Na Gua, Gang Li, Junda Lin, Liangmin Huang, LingLing Tan . 2012. Effects of inorganic carbon concentration on carbon formation, nitrate utilization, biomass and oil accumulation of *Nannochloropsis oculata* CS 179. Bioresource Technology 111:353–359.

Lu, J. and Takeuchi, T. 2004. Spawning and egg quality of the tilapia *Oreochromis niloticus* fed solely on raw *Spirulina* throughout three generations. Aquaculture. 234:625-640.

Lu, J., Takeuchi, T. and Satoh, H. 2004. Ingestion and assimilation of three species of freshwater algae by larval tilapia *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. 238:437-449.

Lu, J., Takeuchi, T., and Satoh, H. 2006. Ingestion, assimilation and utilization of raw *Spirulina* by larval tilapia *Oreochromis niloticus* during larval development. Aquaculture. 254:686-692.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lu, J., Toshio, T., Hiroo, S. 2004. Ingestion and assimilation of three species of freshwater algae by larval Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 238, 437-449.

Maeda, K., M. Owada, N. Kimura, K. Omata and I. Karube. 1995. CO2 fixation from the flue gas on coal-fired thermal power plant by microalgae. Energy Conv. Manag. 36: 717-720.

Marcias-Sancho, J., Poersch L. H., Bauer W., Romano L. A., Wasielesky W., Tesser M. B. (2014). Fishmeal substitution with *Arthrospira* (*Spirulina platensis*) in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: Effects on growth and immunological parameters. Aquaculture. 426–427, 120–125.

Marukami, M., Ikenouochi, M., 1997. The biological CO 2 fiation and utilization project by RITE (2) – screening and breeding of microalgae with high capability in fiing CO_2 . Energy Convers. Mange. 38, 493–497.

Maursich, W. L. and J.C. Bauernfeind. 1981. Oxycarotenoid in poultry feeds, pp. 319–462. In J.C. Bauernfeind (ed.). Carotenoids as colorants and vitamin A Precursors: Food Science and Technology a series of Monograph. Academic Press, Inc.London.

Mazzone, E.J., J.L. Guentzel and M. Olaizola. 2002. Carbon removal through algal mediated precipitation of calcium carbonate. MarSci.200201.020105. [available at www.marsci.schc.sc.edu]

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

Mitra M., Shailesh Kumar Patidar, Basil George, Freny Shaha, Sandhya Mishra. 2015. A euryhaline *Nannochloropsis gaditana* with potential for nutraceutical (EPA) and biodiesel production. Algal Research. 8:161–167.

Morais, M.G., Costa, J.A.V., 2007. Carbon dioxide fiation by *Chlorella kessleri, C. vulgaris, Scenedesmus obliquus and Spirulina* sp. cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactors. Biotechnol. Lett. 29, 1349–1352.

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

Murakami, M., and M. Ikenouchi. 1997. The biological CO2 fixation and utilization by RITE (2) Screening and breeding of microalgae with high capability in fixing CO2. Energy Conv. Manag. 38: S493-S497.

Nakamura, H. 1982. *Spirulina*: Food for Hungry World. California: University of the Tress. Press.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Negoro, M., N. Shioji, K. Miyamoto and Y. Miura. 1991. Growth of microalgae in high CO2 gas and effects of SO x and NOx. Appl. Biochem. Biotechnol. 28-29: 877-886.

Olaizola, M. 2003. Microalgal removal of CO2 from flue gases: changes in medium pH and flue gas composition do not appear to affect the photochemical yield of microalgal cultures. Biotech. Bioproc. Eng. 8: 360-367.

Oswald, W.J. and C.G. Golueke. 1968. Large scale production of algae. In: Matele s RI, Tanebaum SR, editors. Single Cell Protein. Cambridge: MIT Press. p 271-305.

Palozza, P. and N.I. Krinsky. 1992. Antioxidant effects of carotenoids *in vivo* and *in vitro* : an overview. Method Enzymol. 213:403-420.

Patricia, A., Austin, I., Stuart, R. and John D.M. 1996. Regulation of pigment content and enzyme activity in the cyanobacterium *Nostoc* sp. Mac grown in continuous light , alight-dark photoperiod, or darkness. Biochimica et Biophysica Acta 1277:141-149.

Prachom et al (2013). Impact of dietary high protein distillers dried grains on amino acid utilization, growth response, nutritional health status and waste output in juvenile rainbow trout. Aquaculture. 426–427, 120–125.

Promya, J. and Saetun, K. 2005. *Cultivation of Spirulina Alga for Health*.Fisheries Technology, Department, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Thailand

Qin S., Guo-Xiang Liu, Zheng-Yu Hu. 2008. The accumulation and metabolism of astaxanthin in *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyceae. Process Biochemistry 43:795–802.

Reis, A., Mendes, A., Lobo-Fernandes, H., Empis, J.A. and Maggiolly, N.J. 1998. Production, extraction and purification of phycobiliproteins from *Nostoc* sp. Bioresource Technology. 66(1998):181-187.

Sarada R., Pillai M.G., and Ravishankar G.A. 1999. Phycocyanin from *Spirulina* sp: influence of processing of biomass on phycocyanin yield, analysis of efficacy of extraction methods and stability studies on phycocyanin. Process Biochemistry 34 (1999) 795–801.

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

Sheehan, J., T. Dunahay, J. Benemann and P. Roessler. 1998. A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program – Biodiesel from algae. National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, NREL/TP-580-24190. 291 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Starkey, T.J., 1994. Status of fish meal supplies and market demand. Miscellaneous report. H.J. Baker and Bro., Stamford, CT, USA, 28 pp.

Sullivan A. M. O, Y. C. O'Callaghan, T. P. O'Connor and N. M. O'Brien. 2011. The content and bioaccessibility of carotenoids from selected commercially available health supplements . Proceedings of the Nutrition Society (2011), 70 (OCE3), E62

Sung, K.D., J.S. Lee, C.S. Shin, S.C. Park, and M.J. Choi (1999) CO2 fixation by *Chlorella* sp. KR-1 and its cultural characteristics. Biores. Biotechnol. 68: 269-273.

Sydney, E.B., Sturm, W., Carvalho, J.C., Thomax-Soccol, V., Larroche, C., Pandey, A. and Soccol, C.R. 2010. Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae. Bioresource technology. 101:5892-5896.

Tacon, A.G.J., 1998. Global trends in aquaculture production with particular reference to low income food deficit countries. FAO Technical Paper No. 1 2 . Rome, Italy.

Tchernov, A.A., Minkova, K.M., Houbavenska, N.B. and Kovacheva, N.G. 1999. Purification of phycobiliproteins from *Nostoc* sp. by aminohexyl-sepharose chromatography. Journal of Biotechnology 69(1999); 69-73.

Teimouri, M., Amirkolaie, A. K., Yeganeh, S. (2013). The effects of Spirulina platensis meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture. 396–399, 14–19.

Teimouri, M., Amirkolaie, A. K., Yeganeh, S. 2013. The effects of *Spirulina platensis* meal as a feed supplement on growth performance and pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 396-399, 14-19.

Terao, J. 1989. Antioxidant activity of β-carotene-related carotenoids in solution. Lipid. 24:659-661.

Teuling E., Schrama J. W., Gruppena, H., Wierengaa, P. A. (2017). Effect of cell wall characteristics on algae nutrient digestibility in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African catfish (*Clarus gariepinus*). Aquaculture 479, 490–500.

Wang L., Li Y., Sommerfeld M., Hu Q. 2013. A flexible culture process for production of the green microalga *Scenedesmus dimorphus* rich in protein, carbohydrate or lipid. Bioresource Technology 129:289–295.

Wang T.H., Shu-Hsien Chu, Ya-Yi Tsai, Fung-Ching Lin, Wen-Chien Lee. 2015. Influence of inoculum cell density and carbon dioxide concentration on fed-batch cultivation of *Nannochloropsis oculata*. biomass and bioenergy. 77:9-15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yun, Y.S., Lee, S.B., Park, J.M., Lee, C.I., Yang, J.W., 1997. Carbon dioxide fixation by algal cultivation using wastewater nutrients. J. Chem. Technol. Biotechnol. 69, 451–455.

Yun, Y.S., S.B. Lee, J.M. Park, C.I. Lee and J.W. Yang. 1997. Carbon dioxide fixation by algal cultivation using wastewater nutrients. J. Chem. Tech. Biotechnol. 69: 451-455.

Zhu B., Sun F., Yang M., .Lu L., Yang G., and Pan K. 2014.Large-scale biodiesel production using flue gas from coal-fired power plants with *Nannochloropsis* microalgal biomass in open raceway ponds. Bioresource Technology 174: 53–59.

เจียมจิตต์ บุญสม. 2535. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง ผลทางการรักษาโรคที่นายแพทย์ชาวญี่ปุ่นค้นพบ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 237 น.

บานชื่น ชลสวัสดิ์. 2532. การใช้สาหร่ายเกลียวทองสดเป็นส่วนปะกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาวและปลาดุกอุย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 78 น.

พิเชต พลายเพชร มนทกานต์ ท้ามดิ้น สิริพร ลือชัย ชัยกุล จีรรัตน์ เกื้อแก้ว เพ็ญศรี เมืองเยาว์ นงลักษณ์ สำราญราษฎร์ และสุพิศ ทองรอด. 2551. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพเนื้อของปลากะพงขาว (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) ที่เลี้ยงด้วยปลาสดและอาหารสำเร็จรูป. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46. กรุงเทพฯ. หน้า 156-166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
Miss Suneerat Ruangsomboon

เพศ หญิง

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ8

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2538	ตรี	วท.บ. (ประมง) วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม)	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2541	โท	วท.ม. (วิทยาศาสตร์การประมง) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2549	เอก	Ph.D. (Environmental Technology)	King Mongkut's University of Technology Thonburi (International program)	ไทย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

อนุกรมวิธานของแพลงก์ตอน การใช้ประโยชน์สารสกัดจากสาหร่าย การบำบัดน้ำเสีย

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การเจริญเติบโต และคุณค่าทางโภชนาการของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* (รายได้ภาคฯ 2551)
12. ศักยภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Nostoc commune* (งบประมาณแผ่นดิน 2551-2552)
13. ศักยภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เซลล์สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียที่มีชีวิตในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสีย (สกว. มิ.ย. 2550- มิ.ย. 2552)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2544. การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 9(3):19-23.
2. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* โดยใช้ฟอร์มาลินและคลอรีน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 18(3):30-37.
3. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนโดยใช้แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla* Torr.). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 20 (3):1-11.
4. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย : *Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:48-60.
5. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ จตุพร บัณฑิต. 2546. ผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการสร้างไข่พักของไรแดง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:61-68
6. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็ก *Phormidium angustissimum* และ *Chlorella vulgaris*. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 3(1): 287-296.
7. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ *Scenedesmus dimorphus* เป็นตัวดูดซับ. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 12(1):42-47.
8. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2547. การผลิตไข่พักของไรแดงภายใต้สภาวะการควบคุมระดับพีเอชและแอมโมเนีย. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 22(2):65-75.
9. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2548. ผลของสารสกัดจากสาหร่ายต่อการงอกของพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 36:978-981.
10. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ บุปผา จงพัฒน์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2548. คุณค่าทางโภชนาการของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 23(2):38-47.
11. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การสร้างไข่พักของไรแดงที่ระดับอุณหภูมิต่ำและอัตราฟักของไข่พักที่ฆ่าเชื้อด้วยฟอร์มาลิน และไข่พักที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(2):54-62.
12. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไข่น้ำ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimmer. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(3):1-14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2549. ผลของแสงและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ *Phormidium angustissimum* ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37(6):925-928.
14. ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher. 2549. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14(2):40-49.
15. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2550. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Calothrix marchica* Lemm. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 25:13-26.
16. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2550. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria jasorvensis* และ *Microcystis aeruginosa*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14:46-54.
17. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ นิธิ พันธุ์คงชื่น. 2551. การเจริญเติบโตของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม *Spirulina platensis* แห้ง. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 95-104.
18. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ ชาติสุพล เตรียมธนานันท์. 2551. คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 105-115
19. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. .การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย Stigonema sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 28:20-30.
20. อภิญญา สโมสร, สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, อำมร อินทร์สังข์ และ จรงศักดิ์ พุมนวน. 2553. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนาดใหญ่ ต่อไรฝุ่น *Dematophagoides pteronyssinus* (Trouessart) โดยวิธีสัมผัส. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 184-191.
21. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. การเจริญเติบโตและการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้สารอาหารที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 193-202.
22. นำถม ตั้งคำ และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. หน้า 305-312.
23. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. ผลของการจำกัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการดูดซับตะกั่วของไซยาโนแบคทีเรีย *Hapalosiphon* sp. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 7-8 ธันวาคม 2553. หน้า 1931-1938.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. กวิน พันธุ์สัมฤทธิ์ และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. ผลของพีเอชต่อการดูดซับสีย้อม benewol red โดยสาหร่าย. การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 8 สาขาวิทยาศาสตร์การเกษตร. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก. ระหว่างตีพิมพ์.
25. กวิน พันธ์สัมฤทธิ์ อทิยา สะพานกลาง และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2554. การดูดซับสีย้อมแอซิด benewol red โดยสาหร่ายสีแดง *Gracilaria fisheri*. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2554. หน้า 497-506.
26. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2555. การใช้อาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* สดและแห้งในการเลี้ยงปลาหมอสี Kenyi Cichlid, Pseudotropheus lombardoi. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40:208-217.
27. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ดุสิต เอื้ออำนวย. 2556. ผลของระยะเวลา แสง และอุณหภูมิในการเก็บรักษาสารสกัดจากไซยาโนแบคทีเรีย, *Phormidium angustissimum* ต่อความสามารถในการยับยั้งการงอกของเมล็ดผักกาดเขียวกวางตุ้ง (*Brassica chinensis* var. *parachinensis* Tsen & Lee). วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 41:973-984.
28. ปิยมาภรณ์ เวียนรอบทิศ และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของเหล็กต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria limnetica* (Lemmermann). ในการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 6 เชียงใหม่ มีนาคม 2556. หน้า 28-37.
29. ศุภลักษณ์ โภชนสมบูรณ์ เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำและแพลงก์ตอนพืชในระบบเครือข่ายอ่างเก็บน้ำ (อ่างพวง) บริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. ในการประชุมวิชาการสาหร่ายและแพลงก์ตอนแห่งชาติครั้งที่ 6 เชียงใหม่ มีนาคม 2556. หน้า 77-89
30. จิรรัตน์ พรหมนารถ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของความเข้มข้นของไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 7:92-101
31. วัฒนา นุชชอและ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2556. ผลของความเข้มข้นของเหล็กที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไขมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus*. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 7:14-24.
32. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ มณฑล แก่นมณี และ จรงศักดิ์ พุมนวน. 2557. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาชะโดและบ่อปลูกผักกระเฉด. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2557. หน้า 275-283.
33. ปิยมาภรณ์ เวียนรอบทิศ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2557. ผลของเหล็กต่อการเจริญเติบโต ปริมาณไขมันและชนิดกรดไขมันในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Botryococcus braunii*. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ กุมภาพันธ์ 2557. หน้า 334-342.
34. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, อำมร อินทร์สังข์ และ จรงศักดิ์ พุมนวน. 2557. ผลของสารสกัดจากไซยาโนแบคทีเรีย *Phormidium angustissimum* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารต่างกัน ที่มีต่อฤทธิ์การกำจัดไรฝุ่น *Dermatophagoides pteronyssinus*. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32:(1)13-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

35. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ ศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2557. องค์ประกอบทางเคมีและการเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมสาหร่ายสี*เขียว Cladophora glomerata*.วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 32:(2)1-8
36. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2558. การดูดซับสีย้อมแอซิด เบเนวอล เรด โดยใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus dimorphus* ที่มีชีวิตแบบตรึงเซลล์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 33:(2) 82-92.

งานวิจัยที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษ

1. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004. Bioremoval of Lead by cyanobacteria : *Gloeocapsa* sp. and *Calothrix marchi*ca. Proceeding of the 1st KMITL International Conference on Integration of Science and technology. 2:188-191.
2. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004 . Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .
3. Ruangsomboon, S., A. Chidthaisong, B. Bunnag, D. Inthorn and N.W. Harvey. 2004b. Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .
4. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*C. regularis)*, zooplankton (*M. macrocopa)*, and the predatory catfish. Aquatic Toxicology. 78:15-20.
5. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2006. Production, composition and Pb^{2+} adsorption characteristics of capsular polysaccharides extracted from a cyanobacterium *Gloeocapsa gelatinosa.* Water Research. 40:3759-3766.
6. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2007. Bioaccumulation of Cadmium in an Experimental Aquatic Ecosystem Involving Phytoplankton, Zooplankton, Catfish and Sediment. Kasetsart Journal (Natural Science) 41:180-185.
7. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology", Bangkok, Thailand. 26-27 April 2007, 340-344.
8. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2007. Lead (Pb^{2+}) adsorption characteristics and sugar composition of capsular polysaccharides of cyanobacterium *Calothrix marchica.* Songklanakarin Journal of Science and Technology. 29:529-541.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology". 26-27 April 2007. p. 340-344.
10. Ruangsomboon, S. 2007. Nitrate, ammonia and orthophosphate removal from wastewater by duckweed *Lemna perpusilla* Torr. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 922-925.
11. Ruangsomboon, S. 2007. Study of the parameters affecting the binding of cadmium (Cd^{2+}) in solution by *Phormidium angustissimum* West & G.S. West. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 918-921.
12. Ruangsomboon, S. and Choochote, S. 2007. Effect of feeding diets containing *Nostoc commune* on growth, survival, protein and carotenoid content of red tilapia *Oreochromis niloticus*. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 772-775.
13. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2008. Removal of lead (Pb^{2+}) by cyanobacteria *Gloeocapsa sp.* Bioresource Technology. 99:5650-5658.
14. Ruangsomboon, S. Choochote, S. and Taveekijakarn P. 2010. Growth performance and nutritional composition of red tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) fed Diets containing raw *Spirulina platensis*. The international conference on Sustainable community development 2010. 21-23 January, 2010. Khon Kaen University, Nong Khai campus, Thailand and Vientiane, Lao PDR. P. 27-31.
9. Saparnklang, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effects of Nitrogen and Phosphorus Limitation on Polysaccharides Content and Lead (Pb2+) Biosorption Capacity of Cyanobacterium *Phormidium* sp. Proceedings of 16th Asian Agricultural Symposium and 1st International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 476-479.
10. Samosorn, A., Pumnuan, J., Insung, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effectiveness of Cyanobacteria Extracts on the House Dust Mite, *Dermatophagoides Pteronyssinus* (Trouessart) by Contact Method. Proceedings of 16th Asian Agricultural Symposium and 1st International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 700-703.
11. Pumnuan, J., Ruangsomboon, S., Kangkunt, S. 2010. Insecticide Residues in Neptunia Plantation Water and Related Canals:A Case Study in Amphur Bangplee, Samutprakarn Province. .Proceedings of 16th Asian Agricultural Symposium and 1st

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Symposium on Agricultural Technology "Sufficiency Agriculture". 25-27 August 2010, Bangkok, Thailand. p. 460-463.

12. Samosorn, A., Pumnuan, J., Insung, A. and Ruangsomboon, S. 2010. Effects Of Nitrogen And Phosphorus In Culture Medium On Bioactive Compounds Of *Oscillatoria* sp. Extracts On The House Dust Mite, *Dermatophagoides pteronyssinus* (Trouessart). The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 215-219.
13. Pansamrit, K. and Ruangsomboon, S. 2010. Effect of pH on biosorption of basic-dye malachite green by algae. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 220-224.
14. Saparnklang, A. and Ruangsomboon S. 2010. Effects of nitrogen and phosphorus limitation on polysaccharides content and lead (Pb^{2+}) biosorption capacity of cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 225-230.
15. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakarn P. and Worasing S. 2010. Antibacterial activity of lipophilic and hydrophilic extracts of algae. The 8th International Symposium on Biocontrol and Biotechnology. 4-6 October, 2010, Pattaya, Thailand. 231-237.
16. Suneerat Ruangsomboon and Ladda Wongrat. 2012. Toxic Effects of Low pH and Pb^{2+} on Chlorophyll Fluorescence and Growth of Cyanobacterium, *Hapalosiphon* sp. 2012 International Conference on Sustainable Environmental Technologies (ICSET). Century Park Hotel, Bangkok, Thailand; 26-27 April, 2012. p. 1-7
17. Suneerat Ruangsomboon and Sakchai Choochote. 2012. Effects of Different media on growth and lipid production in the green microalga, Botryococcus braunii KMITL2. Proceeding of 2nd Asia-Oceania algae innovation summit: algae for sustainable development, September 3-5, 2012.
18. Suneerat Ruangsomboon, Sakchai Choochote, Paveena Thaweekijakarn, Dusit Aue-umneoy. 2012. Nitrogen and Phosphorus removal from wastewater by green microalga, Scenedesmus dimorphus. Proceeding of 2nd Asia-Oceania algae innovation summit: algae for sustainable development, September 3-5, 2012.
19. Suneerat Ruangsomboon, Sakchai Choochote, Paveena Thaweekijakarn, Monthon Ganmanee and Chamroon Laosinwattana. 2012. Acute toxicity of cyanotbacterial extracts, Oscillatoria tenuis and Phormidium angustissimum on freshwater invertebrate, Water flea (Moina Macrocopa). Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution ot Organic Agriculture in the 21st Centrury". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p.329-338.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakran P., and Ganmanee M. 2012. Effect of different nitrogen sources and concentrations on growth and microcystin production of toxic cyanobacterium, *Microcystis aeruginosa*. Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution ot Organic Agriculture in the 21st Century". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p 339-346.
21. Ruangsomboon S., Choochote S., Taveekijakran P., and Ganmanee M. 2012. Toxic effect of *Oscillatoria tenuis* and *Arthrospira platensis* extracts on freshwater invertebrate, Lanchester's freshwater prawn (*Macrobrachium lanchesteri*). Proceeding of 2nd International symposium of Biopesticides and Ecotoxicological Network (ISBioPEN): Contribution to Organic Agriculture in the 21st Centrury". September 24-26, 2012, Bangkok Thailand, p 347-354.
22. Ruangsomboon S., Aue-Umneoy D., and Saparnklang A. 2013. Biosorption of basic dye, malachite green by brown alga Padina sp. Proceeding of 2nd International conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST 2013): Biological diversity, food and agricultural technology. November 28-29, 2013, Bangkok Thailand, p.490-501
23. Saparnklang A. and Ruangsomboon S. 2013. Growth, polysaccharide contents and biosorption of lead (Pb2+) by the cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. cultured under different medium concentrations. Proceeding of 2nd International conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST 2013): Biological diversity, food and agricultural technology. November 28-29, 2013, Bangkok Thailand, p.193-202.
24. Ruangsomboon S. 2015. Preliminary study on used microalga (*Nostoc commune*) as a protein supplement in dry-wet mixtures feed for juveniles snakehead (*Channa striata*). Proceeding of 2nd International Symposium on Agricultural Technology:Global Agriculture Trends for Sustainability (ISAT). July 1-3, 2015, Pattaya, Thailand, p. 321-324.

<u>International Journal</u>

1. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*C. regularis*), zooplankton (*M. macrocopa*), and the predatory catfish. Aquatic Toxicology. 78:15-20.
2. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2006. Production, composition and Pb^{2+} adsorption characteristics of capsular polysaccharides extracted from a cyanobacterium *Gloeocapsa gelatinosa*. Water Research. 40:3759-3766.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2008. Removal of lead (Pb^{2+}) by cyanobacteria *Gloeocapsa sp.* Bioresource Technology. 99:5650-5658.
4. Ruangsobmoon S. 2012. Effect of Light, Nutrient, Cultivation Time and Salinity on Lipid Production of Newly Isolated Strain of the Green Microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. Bioresource Technology. 109:261-265.
5. Ruangsomboon S., Ganmanee M, and Choochote S. 2013. Effects of different nitrogen, phosphorus, and iron concentrations and salinity on lipid production in newly isolated strain of the tropical green microalga, *Scenedesmus dimorphus* KMITL. Journal of Applied Phycology. 25:867-874.
6. Ruangsomboon S., Wongrat L., Choochote S., Ganmanee M. and Saparnklang A. 2013. Effects of low pH and Pb^{2+} stress on living cyanobacterium, *Phormidium angustissimum* West & G.S. West : A test of its feasibility as a living biosorbent. Journal of Applied Phycology. 25:905-911.
7. Ruangsomboon S. 2013. The effect of light, nutrient, cultivation time and salinity on lipid production of the tropical cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* KMITL. Academic Journal of Science. 2:311-321.
8. Ruangsomboon S. 2014. Effect of media and salinity on lipid content of cyanobacterium *Hapalosiphon* sp. *Chiang Mai J. Sci.* 41:307-315.
9. Ruangsomboon S., Yongmanitchai W., Taveekijakarn P., Ganmanee M. 2014. Cyanobacterial Composition and Microcystin Accumulation in Catfish Pond. *Chiang Mai J. Sci.* 41:27-38.
10. Ruangsomboon S. 2014. Biosorption of lead (Pb^{2+}) by living cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* Lemmermann. Academic Journal of Science. 03(02):459-469.
11. Ruangsomboon S. 2015. Enhanced Production of Polysaccharides and Protein Content in Cyanobacterium, *Oscillatoria limnetica* as a Defense Mechanism Against Low pH and Pb^{2+}. *Chiang Mai J. Sci.* 42(1):34-43.
12. Ruangsomboon S. 2015. Effects of different media and nitrogen sources and levels on growth and lipid of green microalga *Botryococcus braunii* KMITL and its biodiesel properties based on fatty acid composition Bioresource Technology. 191:377-384.

1. นายนรธัช ประชุม (ดร.)

2. Mr. Noratat Prachom, Dr.
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
   โทรศัพท์ 0856159915 โทรสาร 02-3298000, 023298517
   E-mail Noratat.pr@kmitl.ac.th และ noratat58@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ประวัติการศึกษา

Ph.D. (Aquatic Marine Bioscience), Laboratory of Fish Nutrition, Tokyo University of Marine Science and Technology, Tokyo, Japan

M.Sc. (Aquaculture Technology), Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand

M.Sc. (Environmental Toxicology Technology and Management), Chulabhorn Research Institute, Mahidol University, and Asian Institute of Technology, Thailand

B.Sc. (Zoology), Department of Zoology, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

สาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา

(กลุ่มวิชาการประมง: ด้านโภชนศาสตร์สัตว์น้ำ, Aquaculture Nutrition)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

โครงการวิจัยปี 2559

(รวมทั้งสิ้น 3 โครงการ มูลค่าประมาณ 1,430,000 บาท)

1. หัวหน้าโครงการวิจัย : วิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์น้ำ

แหล่งทุน: บริษัทบลูฟาโล่ จำกัด นครปฐม ประเทศไทย

เงินวิจัย: 660,000 บาท (1 เมษายน 2559 – 31 มีนาคม 2560)

สถานภาพ (ร้อยละ 15)

2. หัวหน้าโครงการวิจัย: Nutritional assessment of Ajitein as an alternative protein for Asian seabass (*Lates calcarifer*)

แหล่งทุน: Ajinomoto Animal Nutrition Group, Inc., Tokyo, Japan

เงินวิจัย: 330,000 บาท (1 มีนาคม – 31 พฤษภาคม 2559)

สถานภาพ (ร้อยละ 95)

3. หัวหน้าโครงการวิจัย : Nutritional assessment of Ajitein as an alternative protein for White shrimp (*Penaeus vannamei*)

แหล่งทุน: Ajinomoto Animal Nutrition Group, Inc., Tokyo, Japan

เงินวิจัย: 440,000 บาท (15 มิถุนายน – 31 ตุลาคม 2559)

สถานภาพ (อยู่ระหว่างตรวจสอบสัญญาจ้างจากสถาบัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ นามสกุล นายดุสิต เอื้ออำนวย
ตำแหน่งทางวิชาการ
วัน/เดือน/ปี เกิด 25 มกราคม 2520
ความชำนาญ (ประสบการณ์ทำงาน ปี) 10 ปี
สถานที่ติดต่อ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์สถานที่ทำงาน 02-3298517
โทรศัพท์มือถือ 081-914-2122
Email: kadusit@kmitl.ac.th

วุฒิการศึกษา (เอก โท และตรี)

ปีการศึกษาที่เข้าศึกษา พ.ศ. 2542 ปีการศึกษาที่จบการศึกษา พ.ศ. 2547
สถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาและสาขาที่สำเร็จการศึกษา วท.ม. (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ)

ปีการศึกษาที่เข้าศึกษา พ.ศ. 2538 ปีการศึกษาที่จบการศึกษา พ.ศ. 2542
สถาบันการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาและสาขาที่สำเร็จการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์การประมง)

ประสบการณ์การทำงาน

- อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 – ปัจจุบัน

ประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องกับที่ได้รับมอบหมาย ลำดับล่าสุด (5 ปีย้อนหลัง) เช่นงานโครงการต่างๆ

- การติดตามตรวจสอบการปฏิบัติตามมาตรการป้องกัน แก้ไข และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระยะดำเนินการของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ปีงบประมาณ 2553 พ.ศ. 2553-2554 ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพน้ำทิ้ง

ผลงานวิชาการ/ผลงานตีพิมพ์/ผลงานอื่นๆ

- รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ ดุสิต เอื้ออำนวย ปวีณา ทวีกิจการ และชลลดา มีอนันต์. 2551. การศึกษาวิธีการฝังอาร์เอฟไอดีแท็กในปลาดุกบิ๊กอุย. การประชุมวิชาการประมง ครั้งที่ 3 “เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ” 8-9 พฤศจิกายน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
-
- รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ ดุสิต เอื้ออำนวย ปวีณา ทวีกิจการ และ สรัญญา พันธุ์พฤกษ์. 2551. การใช้เทคโนโลยี RFID ในสัตว์น้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ และดุสิต เอื้ออำนวย. 2552. การใช้ระบบฟิชเทคฟาร์มบันทึกข้อมูลแบบรายตัวในปลานิล (*Oreochromis niloticus,* Linn.). ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 วันที่ 17-20 มีนาคม 2552.

- ชลดา มือนันต์ รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ ดุสิต เอื้ออำนวย ชัยชนะ มิตรพันธ์ และปวีณา ทวีกิจการ. 2552. การฝังอาร์เอฟไอดีแท็กต่อการเปลี่ยนแปลงทางเนื้อเยื่อในปลาดุกลูกผสม.ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 วันที่ 17-20 มีนาคม 2552.

- ณิชนันทน์ ทินปราณี ชัยชนะ มิตรพันธ์ ดุสิต เอื้ออำนวย รุ่งตะวัน พนากุลชัยวิทย์ และสรัญญา พันธุ์พฤกษ์. 2552. การศึกษาเบื้องต้นของการแสดงออกของยีนฮีตช็อคโปรตีนในเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันของปลานิล. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 วันที่ 17-20 มีนาคม 2552.
- Aue-umneoy D. and Y. Musig. 2009. Laboratory Scale Evaluation of a Treatment System for Effluents from Hybrid Catfish Ponds. Kasetsart University Fisheries Research Bulletin. Vol. 33 pp 22-31.
- Musig Y. and D. Aue-umneoy. 2009. Quality and Charecteristics of Effluents from Hybrid Catfish Ponds. Kasetsart University Fisheries Research Bulletin. Vol. 32 pp 1-8.
- Tsutsui I., P. Kanjanaworakul., P. Srisapoome., D. Aue-umneoy. and K. Hamano. 2009. Growth of giant tiger prawn, *Penaeus monodon* Fabricius, under co-culture with a discarded filamentous seaweed, *Chaetomorpha ligustica* (Kützing) Kützing, at an aquarium-scale. Aquaculture International. *Online*
- Yano Y. , K. Hamano., M. Satomi., I. Tsutsui. and D. Aue-umneoy. 2011. Diversity and characterization of oxytetracycline-resistant bacteria associated with non-native species, white-leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*), and native species, black tiger shrimp (*Penaeus monodon*), intensively cultured in Thailand. Journal of applied microbiology. Vol. 110 pp 713–722.
- Tsutsui I., Aue-umneoy D., Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai, H., Ganmanee M., Maeno Y., Miyoshi T. and Hamano K. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, I: A concept of a co-culture system based on *Chaetomorpha* sp. 21 st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Miyoshi T., Hamano K., Aue-umneoy D., Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai H., Ganmanee M., Maeno Y. and Tsutsui I. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, II: Morphological, and molecular-sequencing analyses of *Chaetomorpha* sp. 21 st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.
- Tsutsui I., Miyoshi T., Aue-umneoy D., Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai H., Ganmanee M., Maeno Y. and Hamano K. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, III: Euryhaline, eurythermal and high growth rate of *Chaetomorpha* sp. 21 st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.
- Aue-umneoy D., Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai H., Ganmanee M., Maeno Y., Miyoshi T., Hamano K. and Tsutsui I. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, IV: Advantages of *Stenothyra* sp. 21 st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.
- Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai, H., Aue-umneoy D., Ganmanee M., Maeno Y., Miyoshi T., Hamano K. and Tsutsui I. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, V: Effect of *Chaetomorpha* sp. on shrimp color and free amino acid composition under co-culture system. 21st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.
- Hamano K., Aue-umneoy D., Songphatkaew J., Meeanan C., Klomkling S., Sukchai H., Ganmanee M., Maeno Y., Miyoshi T. and Tsutsui I. 2013. Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. for small-scale shrimp farmer, VI: Effect of *Chaetomorpha* sp. on shrimp growth under co-culture system. 21 st International seaweed symposium, Bali, Indonesia, 21-26 April 2013.
- Yano Y., K. Hamano, M. Satomi, I. Tsutsui, M. Ban and D. Aue-umneoy. 2014. Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Vibrio* species related to food safety isolated from shrimp cultured at inland ponds in Thailand. Food Control 38: 30-36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T149086

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้