

ผลของแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงต่อคุณค่าทางโภชนาการของ
Spirulina platensis เพื่อการผลิตเป็นโปรตีนบาร์

The effect of nitrogen sources and light wavelengths on
nutritional value of *Spirulina platensis* for protein bar
production



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2565

KMITL-2022-AG-M-081-373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The effect of nitrogen sources and light wavelengths on
nutritional value of *Spirulina platensis* for protein bar
production



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN FISHERIES SCIENCE
SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2022

KMITL-2022-AG-M-081-373

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

SCHOOL OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงต่อคุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* เพื่อการผลิตโปรตีนบาร์

ชื่อนักศึกษา

นางสาวเจนต์ธิดา เกียรติมนตรี

รหัสประจำตัว

63604025

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การประมง

พ.ศ.

2565

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. สุรินทร์น์ เรืองสมบูรณ์

บทคัดย่อ

การผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis* สายพันธุ์ KMITL เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตโปรตีนบาร์ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ โดยประเมินแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้ได้ผลผลิตชีวมวลและรงควัตถุซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ได้รับแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ (โซเดียมไนเตรต, โพแทสเซียมไนเตรต, แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์) จากผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมีผลผลิตชีวมวล (0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร) โปรตีน (66.07 ± 2.10 เปอร์เซ็นต์) ไฟโคไซยานิน (198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัม) และไฟโคอิริธริน (155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัม) สูงที่สุดและพบว่าสาหร่ายที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตมีกรดไขมันชนิดที่มีประโยชน์ที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ Gamma-Linolenic acid (GLA) มีค่า 22.08 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการศึกษาผลร่วมกันของแหล่งไนโตรเจน (โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรต) ร่วมกับ ความยาวคลื่นแสง (380 - 440 นาโนเมตร (ม่วง) 485 - 500 นาโนเมตร (ฟ้า) 500 - 565 นาโนเมตร (เขียว) 565 - 590 นาโนเมตร (เหลือง), 620 - 645 นาโนเมตร (แดง) และ 400 - 800 นาโนเมตร (ขาว)) พบว่าโซเดียมไนเตรตที่ได้รับแสงสีแดงมีผลผลิตชีวมวล (1.25 ± 0.01 กรัมต่อลิตร) และโปรตีน (65.89 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์) สูงที่สุด โซเดียมไนเตรตที่ได้รับแสงสีเหลืองมีแคโรทีนอยด์สูงที่สุด 0.0003 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย ส่วนโซเดียมไนเตรตที่ได้รับแสงสีม่วงมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด คือ 40.25 ± 2.07 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย และพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณกรดไขมันที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ Linoleic acid (LA) มีค่า 3.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันต่อไฟโคไซยานิน ไฟโคอิริธริน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย และจากการนำสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงด้วยไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสม (โซเดียมไนเตรตและแสงสีแดง) มาผลิตโปรตีนบาร์ โดยผสมสาหร่าย 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโปรตีนบาร์ที่ผสมสาหร่ายมีปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน ไฟโคอิริธรินและพลังงานสูงกว่าชุดที่ไม่ผสมสาหร่าย ซึ่งแคโรทีนอยด์ ไฟโคไซยานิน และไฟโคอิริธริน เป็นรงควัตถุที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง และพบว่าผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์โปรตีนบาร์เสริมด้วยสาหร่าย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The effect of nitrogen sources and light wavelengths on nutritional value of <i>Spirulina platensis</i> for protein bar production
Student Name	Ms. Janethida Kiatmontri
Student ID	63604025
Degree	Master of Science
Program	Fisheries Science
Year	2022
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon

Abstract

Production of microalga *Spirulina platensis* strain KMITL as raw material for the production of protein bars and health food products, by assessing optimum nitrogen sources and light wavelengths in *S. platensis* cultivation, to obtain the highest biomass and pigments with the highest antioxidant activity. *S. platensis* was cultured with six different nitrogen sources (sodium nitrate, potassium nitrate, ammonium sulfate, urea, ammonium nitrate, and ammonium chloride). The results showed that algae treated with sodium nitrate as a nitrogen source had the highest biomass yield (0.24 ± 0.01 g/L), protein (66.07 ± 2.10 percent), phycocyanin (198.74 ± 11.11 mg/g), and phycoerythrin (155.46 ± 9.81 mg/g). The algae fed with ammonium nitrate had the highest beneficial fatty acid in the omega-6 group, Gamma-Linolenic acid (GLA), with a value of 22.08 percent. The interaction effect of nitrogen sources (sodium nitrate and potassium nitrate) in combination with light wavelengths (380 - 440 nm (purple), 485 - 500 nm (blue), 500 - 565 nm (green), 565 - 590 nm (yellow), 620 - 645 nm (red) and 400 - 800 nm (white)) were studied. It was found that treatment of sodium nitrate exposed to red light had the highest yield of biomass (1.25 ± 0.01 g/l) and protein (65.89 ± 0.70 percent), while sodium nitrate exposed to yellow light and violet light had the highest carotenoid (0.0003 ± 0.00 mg/g algae) and phycocyanin (40.25 ± 2.07 mg/g algae), respectively. It was found that the treatment given potassium nitrate under white light had the highest omega-6 fatty acid content, linoleic acid (LA), at 3.92 percent. Nitrogen sources and light wavelengths interact with phycocyanin, phycoerythrin, chlorophyll, carotenoids, proteins, carbohydrates, lipids, and antioxidants of algae.

Biomass of algae cultivated under an appropriate nitrogen source and light wavelengths (sodium nitrate with red light) were used as material for protein bar production, by mixing algae 0, 1, 2, and 3 percent, it was found that protein bars

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

containing algae had higher protein, chlorophyll, carotenoid, phycocyanin, phycoerythrin, and energy contents than those of the protein bar without algae. In addition carotenoids, phycocyanin, and phycoerythrin are pigments with high antioxidant activity. The highest accepted of the tester is the protein bar supplemented with 1 percent of *S. platensis*.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ เรื่องผลของแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงต่อคุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* เพื่อการผลิตเป็นโปรตีนบาร์ ทำให้ผู้จัดทำได้รับความรู้ ประสบการณ์ ความช่วยเหลือและการสนับสนุนในด้านต่างๆ ที่มีประโยชน์ จึงสามารถทำให้รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ โครงการพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของชุมชนรอบโรงไฟฟ้าบางปะกงและ รศ.ดร. สุณีรัตน์ เรื่องสมบูรณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอย่างยิ่งที่ท่านกรุณามาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและแสดงความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณบุผา จงพัฒน์ (พี่มอญ) และว่าที่ร้อยตรีหญิงสุรีวัลย์ ศรีจาด (พี่กอล์ฟ) ที่ช่วยอธิบายและแนะนำการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์และสารเคมีต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องที่คอยสนับสนุนในส่วนของการศึกษาและคอยให้กำลังใจในการศึกษาโดยตลอด และขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้องในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ ข้อมูลความรู้เพิ่มเติมและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวเจนต์ธิดา เกียรติมนตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการ.....	3
2.2 สารต้านอนุมูลอิสระของ <i>S. platensis</i>	3
2.3 ค่าการแตกตัวของไนโตรเจนและ pH ที่เหมาะสมต่อ <i>S. platensis</i>	6
2.4 ผลของแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง <i>S. platensis</i>	6
2.5 ความยาวคลื่นแสงและค่าดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิด.....	11
2.6 ผลของความยาวคลื่นแสงต่อการเพาะเลี้ยง <i>S. platensis</i>	12
2.7 การนำ <i>S. platensis</i> มาประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องสำอาง ของมนุษย์.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	19
3.1 การวางแผนการทดลอง.....	19
3.1.1 แหล่งไนโตรเจน.....	19
3.1.2 ความยาวคลื่นแสง.....	19
3.1.3 การแปรรูปสาหร่ายเป็นโปรตีนบาร์.....	19
3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมี.....	19
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	19
3.2.2 สารเคมี.....	21
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	22
3.4 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	24
3.5 ผลคาดว่าจะได้รับ.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	26
4.1 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง <i>S. platensis</i>	26
4.1.1 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	26
4.1.2 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรงควัตถุของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	27
4.1.2.1 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2.2 ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริธรีน.....	28
4.1.3 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อโปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมันของ สาหร่าย <i>S. platensis</i>	30
4.1.3.1 โปรตีน.....	30
4.1.3.2 คาร์โบไฮเดรต.....	31
4.1.3.3 ไขมัน.....	32
4.1.4 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อชนิดกรดไขมันของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	33
4.1.5 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	35
4.2 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง <i>S. platensis</i>	36
4.2.1 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของ สาหร่าย <i>S. platensis</i>	36
4.2.2 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อรงควัตถุของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	37
4.2.2.1 คลอโรฟิลล์.....	37
4.2.2.2 แคโรทีนอยด์.....	39
4.2.2.3 ไฟโคไซยานิน.....	40
4.2.2.4 ไฟโคอิริธรีน.....	42
4.2.3 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อโปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมันของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	44
4.2.3.1 โปรตีน.....	44
4.2.3.2 คาร์โบไฮเดรต.....	45
4.2.3.3 ไขมัน.....	46
4.2.4 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อชนิดกรดไขมันของ สาหร่าย <i>S. platensis</i>	48
4.2.5 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระ ของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	52
4.3 การแปรรูป <i>S. platensis</i> เป็นโปรตีนบาร์.....	53
4.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนบาร์เสริมด้วยสาหร่ายที่ระดับแตกต่างกัน....	53
4.3.2 สีของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i> ในระดับแตกต่างกัน.....	54
4.3.3 การประเมินทางสารพิษของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i> ใน ระดับแตกต่างกัน.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลิกของ <i>S. platensis</i> ในหลอดทดลอง.....	4
2.2 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณรงควัตถุของ <i>S. platensis</i>	5
2.3 การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินใน <i>S. platensis</i> ...	5
2.4 ค่าการแตกตัวของไนโตรเจนและ pH ที่เหมาะสมต่อ <i>S. platensis</i>	6
2.5 น้ำหนักแห้ง, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i> ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ชนิดกรดอะมิโนที่แตกต่างกันเป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน.....	11
2.6 ความยาวคลื่นแสงและค่าดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิด.....	11
2.7 องค์ประกอบคุณค่าทางโภชนาการของสแน็คบาร์ที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i> ที่แตกต่างกัน.....	16
2.8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของขนมปังที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i>	18
4.1 ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	33
4.2 ชนิดกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	34
4.3 การประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	35
4.4 ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	47
4.5 ชนิดกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	49
4.6 การประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	52
4.7 การประเมินโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i> ในระดับที่แตกต่างกัน.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะเส้นสายของสาหร่าย <i>S. platensis</i>	3
2.2 เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่แตกต่างกัน.....	4
2.3 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i>	6
2.4 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อโปรตีนของ <i>S. platensis</i>	7
2.5 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อกรดอะมิโนของ <i>S. platensis</i>	7
2.6 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ <i>S. platensis</i>	8
2.7 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อความเข้มข้นของผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i>	9
2.8 รูปแบบโพลีไบโอรีแอกเตอร์.....	10
2.9 ผลของ LED สีแตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i>	12
2.10 ผลของ LED สีแตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i>	13
2.11 ปริมาณไฟโคไซยานินและผลผลิตชีวมวลภายใต้ LED สีแตกต่างกันของ <i>S. platensis</i> ...	14
2.12 แครกเกอร์ที่เสริมด้วยสาหร่ายชนิดแตกต่างกัน.....	16
2.13 ผลของคุณค่าทางโภชนาการของนิวทริชันบาร์.....	17
4.1 ผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	26
4.2 ผลผลิตคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	28
4.3 ผลผลิตไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	30
4.4 ผลผลิตโปรตีนและปริมาณโปรตีนของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	31
4.5 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตและปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน.....	32
4.6 ผลผลิตชีวมวลของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	37
4.7 ผลผลิตคลอโรฟิลล์และปริมาณคลอโรฟิลล์ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	38
4.8 ผลผลิตแคโรทีนอยด์และปริมาณแคโรทีนอยด์ของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลผลิตไฟโคไซยานินและปริมาณไฟโคไซยานินของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	42
4.10 ผลผลิตไฟโคอิริทรินและปริมาณไฟโคอิริทรินของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	43
4.11 ผลผลิตโปรตีนและปริมาณโปรตีนของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	45
4.12 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตและปริมาณคาร์โบไฮเดรตของ <i>S. platensis</i> ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	46
4.13 โปรตีนบาร์เสริมด้วย <i>S. platensis</i> 0, 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์.....	55
4.14 คะแนนความพึงพอใจการประเมินแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย <i>S. platensis</i> ในแต่ละระดับ.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นและกิจกรรมในชีวิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีภาระใส่ใจในการออกกำลังกายและดูแลสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการอาหารให้พลังงานที่ดีต่อสุขภาพ โดยเฉพาะนักกีฬา ผู้ที่ควบคุมน้ำหนัก หรือผู้ที่ออกกำลังกายประจำ มักต้องการอาหารที่มีโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานและมีสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อลดปริมาณอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกาย จึงได้มีความพยายามในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนพลังงานที่เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสำหรับขนาดเล็กเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์นี้ แต่เนื่องจากไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตสำหรับขนาดเล็กจากแหล่งน้ำธรรมชาติได้เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ จึงจำเป็นต้องมีการเพาะเลี้ยงขึ้นมา สำหรับขนาดเล็กสกุล *Spirulina platensis* เป็นสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย สาหร่ายนี้มีปริมาณโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระสูง และมีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม, อาหารมนุษย์, อาหารสัตว์และยา, เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง, ใช้ในด้านการเกษตร, เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตพลังงาน หรือใช้ในด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (Ruangsomboon, 2020)

S. platensis ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์, กรดอะมิโนจำเป็น, กรดไขมันไม่อิ่มตัว, วิตามิน (รวมถึง บี12), รงควัตถุที่ทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระ (คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์และไฟโคบิลิโปรตีน) และสารประกอบฟีนอลิก ที่นิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอางและใช้เป็นสีย้อมในเภสัชกรรม *S. platensis* ถูกนำเข้าสู่ตลาดในรูปของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการของเด็กและผู้ใหญ่

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากและมีคุณภาพตรงตามความต้องการนำไปใช้ประโยชน์มีผลมาจากปัจจัยทั้งกายภาพและเคมี เช่น ธาตุอาหารที่เหมาะสม, แสง, อุณหภูมิ, ความเค็ม, pH, คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนมากที่สุดคือไนโตรเจน (Costa, Cozza, Oliveira & Magagnin, 2001) และปัจจัยที่ส่งผลต่อชีวมวลโดยตรงคือแสง โดยไนโตรเจนนั้นเมื่อใช้ชนิดที่แตกต่างกันพบว่าส่งผลให้การเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีแตกต่างกันด้วย ไนโตรเจนเป็นสารประกอบของกรดอะมิโนและโปรตีน เป็นสารอาหารหลักของสาหร่าย มีหน้าที่ช่วยสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ ปัจจุบันมีการศึกษาเรื่องการใช้ไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งในรูปแบบอินทรีย์ไนโตรเจนและอนินทรีย์ไนโตรเจนอย่างต่อเนื่อง เช่น กรดอะมิโน, ไนไตรต์, ไนเตรตและยูเรีย (Shanti, Premalatha & Anantharaman, 2018) โดยรูปแบบที่เหมาะสมจะส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดี รวมทั้งสามารถเพิ่มผลผลิต, โปรตีนและรงควัตถุที่ต้องการเพิ่มขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการผลิตอาหารพลังงานที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระสูง

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก โดยรงควัตถุจับพลังงานแสงเพื่อดำเนินกระบวนการสังเคราะห์แสง ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดี มีปริมาณรงควัตถุที่เพิ่มขึ้น โดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและสาร

ชีวโมเลกุลแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของสาหร่าย ปัจจุบันนิยมใช้แสงเทียมสีต่างๆ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ทั้งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์และ LED เพื่อเพิ่มองค์ประกอบทางชีวภาพที่มีมูลค่าสูง

จากคุณค่าทางโภชนาการและสารต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ที่มีประโยชน์สูงจึงเป็นที่นิยมในการทำผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและแหล่งอาหารโปรตีนทั้งในรูปของเม็ดแคปซูลและอาหารสำเร็จรูป เช่น สแน็กบาร์, ซีเรียลบาร์ หรือพาวเวอร์บาร์ เพื่อความสะดวกสบายในการรับประทานมากยิ่งขึ้น ซึ่งหากสามารถเพาะเลี้ยง *S. platensis* ให้มีคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ย่อมเป็นวัตถุดิบในการนำไปผลิตเป็นแหล่งอาหารต่างๆ ได้มีคุณภาพสูงที่สุด การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตชีวมวล, ปริมาณโปรตีน, สารต้านอนุมูลอิสระและคุณค่าโภชนาการของ *S. platensis* และศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการยอมรับของผู้บริโภคต่อโปรตีนบาร์ที่ผสมสาหร่าย *S. platensis*

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis*

1.2.2 เพื่อศึกษาความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis*

1.2.3 เพื่อศึกษาการยอมรับโปรตีนบาร์ที่ผสม *S. platensis* และส่วนประกอบที่เหมาะสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาผลของแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ (โซเดียมไนเตรต, โพแทสเซียมไนเตรต, แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์) เพื่อศึกษาแหล่งไนโตรเจนที่ดีที่สุดต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis* และศึกษาผลร่วมกันของแหล่งไนโตรเจนร่วมกับความยาวคลื่นแสง (380 - 440 นาโนเมตร (ม่วง), 485 - 500 นาโนเมตร (ฟ้า), 500 - 565 นาโนเมตร (เขียว), 565 - 590 นาโนเมตร (เหลือง), 620 - 645 นาโนเมตร (แดง), และ 400 - 800 นาโนเมตร (ขาว)) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงในการนำไปใช้เพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อผลิตเป็นโปรตีนบาร์ ร่วมกับการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการและการยอมรับของผู้ทดสอบ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและคุณค่าทางโภชนาการ

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*, *Arthrospira platensis*) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรีย มีหลายเซลล์เรียงตัวกันเป็นเส้นสาย บิดเป็นเกลียว เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมและได้รับธาตุอาหารต่างกันส่งผลให้เซลล์สาหร่ายมีขนาดรูปร่างและลักษณะเกลียวแตกต่างกัน (Ruangsomboon, 2020) ซึ่งมีโครงสร้างผนังเซลล์หนา 40 - 60 นาโนเมตร ประกอบด้วยผนังย่อย 4 ชั้น ชั้นในสุดมีสารเบต้า 1,2-กลูแคน เป็นองค์ประกอบจึงถูกย่อยได้ยาก ชั้นถัดมา มีเพพทิโดไกลแคนเป็นสารประกอบที่มีความคงตัวสูง ส่วนอีก 2 ชั้น เป็นสารประกอบโปรตีน เส้นใยและไกลโคโปรตีน (Phupathna, Suraratchai, Sankhun & Khamhan, 2009)

S. platensis มีองค์ประกอบทางโภชนาการที่สำคัญทั้งต่อมนุษย์และสัตว์ในด้านที่หลากหลายแตกต่างกันมากมาย (Ruangsomboon, 2020) ได้แก่ โปรตีนที่มีอยู่สูงถึง 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ อุดมไปด้วยวิตามินหลายชนิดและแร่ธาตุอาหารสำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะสารอาหารจำพวกพฤษเคมีเป็นสารอาหารที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมา เช่น ไฟโคไซยานิน, คลอโรฟิลล์, เบต้า-แคโรทีน, กรดแกมมาลิโนลิค, ไกลโคไลปิดและซัลโฟไลปิด เป็นต้น สารอาหารเหล่านี้มีความสำคัญในการช่วยปรับสภาพความสมดุลของระบบในร่างกาย กระตุ้นภูมิคุ้มกันและสามารถต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ร่างกายมีสุขภาพที่ดีขึ้น (Phupathna et al., 2009) โดยมีการใช้ทั้งสาหร่ายสด สาหร่ายแห้งหรือการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ นำมาใช้ประโยชน์ (Ruangsomboon, 2020)



รูปที่ 2.1 ลักษณะเส้นสายของสาหร่าย *S. platensis*

2.2 สารต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis*

Anbarasan, Kumar & Venkatachalam (2011) ศึกษาการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ในหลอดทดลองโดยแบบจำลองของสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยสกัด *S. platensis* ด้วยเอทานอล ประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบโดยวิธี Diphenly picryl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

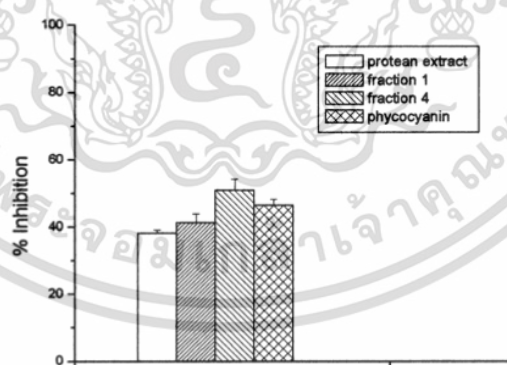
hydrazyl (DPPH) และ Nitric Oxide (NO) พบว่าสารสกัดเอทานอลิกของ *S. platensis* ทำให้เกิดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดีเมื่อเทียบกับกรดแอสคอร์บิกที่เป็นตัวควบคุม (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเอทานอลิกของ *S. platensis* ในหลอดทดลอง

Treatment group	% inhibition (Mean \pm SEM)	
	DPPH	NO
Algae spirulina platensis 25 μ g/mL	10.30 \pm 0.80	1.84 \pm 0.44
Algae spirulina platensis 50 μ g/mL	16.97 \pm 3.33	3.69 \pm 0.60
Algae spirulina platensis 75 μ g/mL	17.27 \pm 1.05	9.72 \pm 0.17
Algae spirulina platensis 100 μ g/mL	27.88 \pm 1.21	20.27 \pm 0.17
Ascorbic acid 200 μ g/mL	87.57 \pm 1.98	94.97 \pm 1.90

ที่มา : ดัดแปลงจาก Anbarasan et al. (2011)

Estrada, Bescos & Fresno (2001) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่เป็นอนุพันธ์ของโปรตีนที่แตกต่างกันของ *S. platensis* สกัดเป็น 4 ส่วน โดยใช้วิธีการทดสอบ TBA (Thiobarbituric acid value) พบว่าส่วนที่ 4 ที่มีไฟโคไซยานินเป็นส่วนประกอบให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเท่ากับ 50.90 ± 3.25 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2.2) ตามด้วยสารสกัดไฟโคไซยานิน 46.40 ± 1.86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารสกัดที่เป็นอนุพันธ์ของโปรตีน จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณไฟโคไซยานินจะสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ดังนั้นไฟโคบิลิโปรตีนจึงเป็นส่วนประกอบหลักที่มีหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจาก *S. platensis*



รูปที่ 2.2 เปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่แตกต่างกัน

ที่มา : Estrada et al. (2001)

Hidayati, Yudiati, Pringgenies, Oktavianti & Kusuma (2020) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและรงควัตถุของ *S. platensis* พบว่า *S. platensis* สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 46.12 ± 2.03 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2.2) โดยอาจมีผลจากไฟโคบิลิโปรตีนร่วมด้วย ปริมาณฟีนอลทั้งหมด คือ 26.64 ± 0.16

มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดจะสัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลอิสระ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในสารประกอบฟีนอล หมู่ไฮดรอกซิลทำหน้าที่สนับสนุนอะตอมไฮโดรเจน โดยทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระผ่านกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือจับอนุมูลอิสระ ซึ่งปริมาณฟีนอลิกจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของสาหร่าย, แหล่งกำเนิด หรือสภาพการเจริญเติบโต เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกที่พบใน *S. platensis* คือ Catechin, Epicatechin, Pyrocatechol, Pyrogallol, Gallic, Protocatechouic และ Salicylic และจากผลการศึกษาค้นคว้าพบว่ามีปริมาณไฟโคไซยานิน 1.3 ± 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัม, อะโลไฟโคไซยานิน 4.1 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม และไฟโคอีริทริน 2.83 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม

ตารางที่ 2.2 กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณรงควัตถุของ *S. platensis*

Content	Value
Radical Scavenging Activity	46.12 ± 2.03 %
Total Phenolic Compound	26.64 ± 0.16 mg GAE/g
Phycocyanin	1.3 ± 0.09 mg/g
Allophycocyanin	4.1 ± 0.01 mg/g
Phycoerythrin	2.83 ± 0.02 mg/g

ที่มา : ดัดแปลงจาก Hidayati et al. (2020)

จากการศึกษาการประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินในรูปแบบผงหรือแห้งของ *S. platensis* (Park et al., 2018) ด้วยวิธี DPPH และ ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) พบว่าไฟโคไซยานินสามารถแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 18.7 ± 0.2 และ 108.3 ± 10.2 ไมโครโมลของวิตามินอีต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.3) ซึ่งสูงกว่าแคโรทีนอยด์ที่มีค่า 18.5 ± 0.5 และ 33.7 ± 5.0 ไมโครโมลของวิตามินอีต่อกรัม ตามลำดับ และการศึกษานี้ได้ตรวจสอบปริมาณฟีนอลทั้งหมดในแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินพบว่าไฟโคไซยานินมีปริมาณฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 82.1 ± 4.8 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัม แต่ไม่พบฟลาโวนอยด์ ส่วนแคโรทีนอยด์มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1.3 ± 0.1 ไมโครกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดมีค่า 26.6 ± 2.4 ไมโครกรัมสมมูลของควอร์ซิทินต่อกรัม แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟีนอลสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis*

ตารางที่ 2.3 การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินใน *S. platensis*

Content	Carotenoid	Phycocyanin
Total Phenolics ($\mu\text{mol GAE/g}$)	1.3 ± 0.1	82.1 ± 4.8
Total Flavonoids ($\mu\text{mol QE/g}$)	26.6 ± 2.4	-
DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$)	18.5 ± 0.5	18.7 ± 0.2
ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$)	33.7 ± 5.0	108.3 ± 10.2

*หมายเหตุ : GAE ; กรดแกลลิก, QE ; ควอร์ซิทิน และ TE ; วิตามินอี

ที่มา : ดัดแปลงจาก Park et al. (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่าการแตกตัวของไนโตรเจนและ pH ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

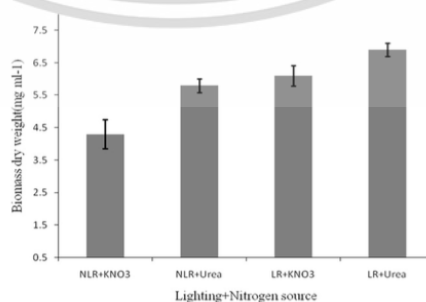
pH เป็นอีกหนึ่งในสภาวะที่สำคัญที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของสารอาหารและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถใช้ได้ โดยส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของสาหร่าย (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 ค่าการแตกตัวของไนโตรเจนและ pH ที่เหมาะสมต่อ *S. platensis*

แหล่งไนโตรเจน	ค่า pKa
โซเดียมไนเตรต	9.5 - 10
โพแทสเซียมไนเตรต	4.5 - 8.5
แอมโมเนียมซัลเฟต	5 - 6
ยูเรีย	7.0 - 7.4
แอมโมเนียมไนเตรต	5.4
แอมโมเนียมคลอไรด์	5.0 - 5.5
<i>S. platensis</i>	9 - 11

2.4 ผลของแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

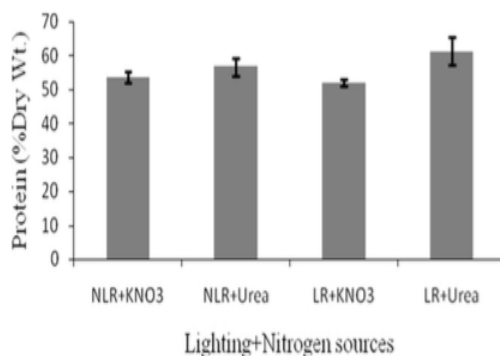
ศึกษาการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อ *S. platensis* โดยใช้ยูเรียและโพแทสเซียมไนเตรตร่วมกับการให้แสงที่แตกต่างกัน พบว่ายูเรียสามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ดีกว่าโพแทสเซียมไนเตรตในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้ยูเรียให้ผลผลิตชีวมวลสูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรต คือประมาณ 6.0 และ 4.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 2.3) และชุดการทดลองที่ใช้ยูเรียมีปริมาณโปรตีนประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2.4) ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรตที่มีค่าประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของกรดอะมิโนชุดการทดลองที่ใช้ยูเรียมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรตเช่นเดียวกัน ประมาณ 42 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 2.5) และชุดการทดลองที่ใช้ยูเรียให้ปริมาณคลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรต โดยมีค่า 14.0 ± 0.07 , 3.12 ± 0.01 , 124.3 ± 2.0 , 2.65 ± 0.11 และ 13.2 ± 0.04 , 2.90 ± 0.01 , 99.2 ± 1.3 และ 2.11 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (Ajayan, Selvaraju & Thirugnanamoorthy, 2012)



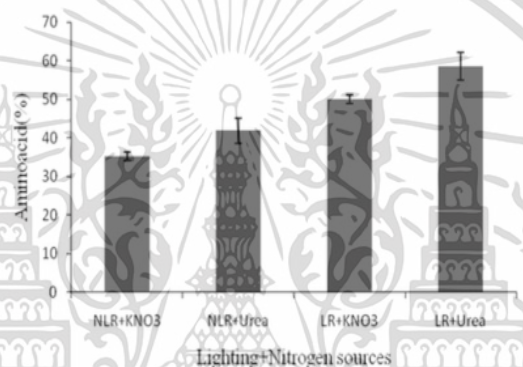
รูปที่ 2.3 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* (NLR) ไม่ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงและ (LR) ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงในระหว่างการเพาะเลี้ยง

ที่มา : Ajayan et al. (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



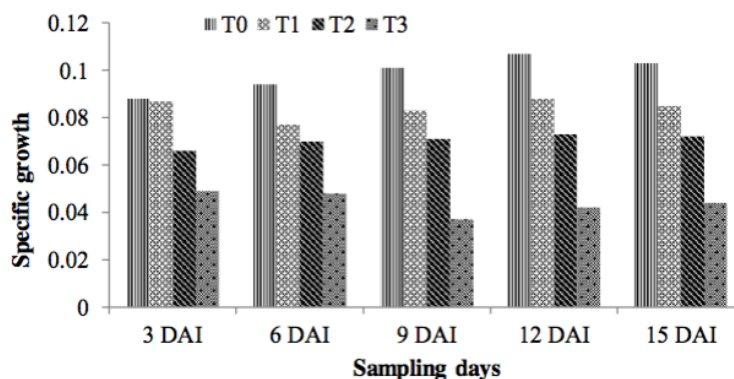
รูปที่ 2.4 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อโปรตีนของ *S. platensis* (NLR) ไม่ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงและ (LR) ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงในระหว่างการเพาะเลี้ยง
ที่มา : Ajayan et al. (2012)



รูปที่ 2.5 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อกรดอะมิโนของ *S. platensis* (NLR) ไม่ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงและ (LR) ใช้ฟิล์มสะท้อนแสงในระหว่างการเพาะเลี้ยง
ที่มา : Ajayan et al. (2012)

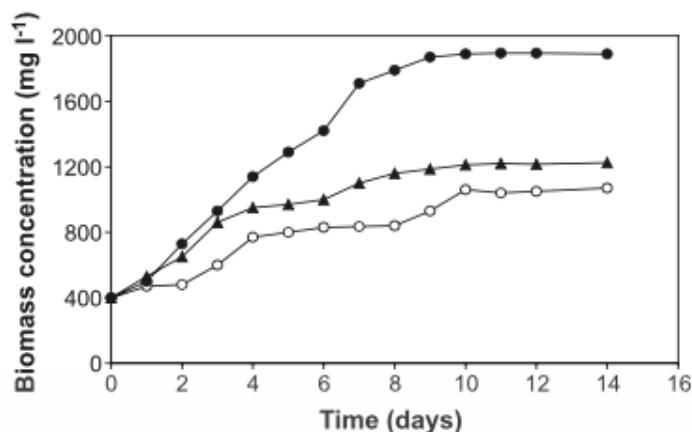
ในส่วนการศึกษาของ Costa et al. (2001) กล่าวว่า การใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ให้ปริมาณผลผลิตชีวมวลสูงสุด มีค่าประมาณ 2.0 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับยูเรียมีค่า 0.8 กรัมต่อลิตร และชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรตมีค่า 1.0 กรัมต่อลิตร อาจเป็นเพราะโซเดียมไนเตรตให้ไนโตรเจน 1 อะตอม เซลล์สาหร่ายสามารถดูดซับได้ง่ายกว่ายูเรียที่ให้ไนโตรเจน 2 อะตอม สัมพันธ์กับการศึกษาของ Uddin, Ifaz, Husna, Sakib & Rakibuzzaman (2020) ทำการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ในเงื่อนไขที่ให้แหล่งไนโตรเจนแตกต่างกันเช่นเดียวกัน ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างโซเดียมไนเตรต (ชุดควบคุม) และยูเรียที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และ 542.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 2.6) เมื่อเทียบกับยูเรียที่ความเข้มข้นทุกระดับโดยมีค่า 0.03 - 0.05 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และ 278.67 - 423.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่ให้อูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในทุกระดับความเข้มข้นเช่นเดียวกัน มีค่าประมาณ 4.0 - 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่า *S. platensis* แสดงการตอบสนองและการปรับตัวได้ดีในชุดการทดลองที่ให้อูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *S. platensis* (T0) โซเดียมไนเตรต, (T1) ยูเรีย 0.60 กรัมต่อลิตร, (T2) ยูเรีย 1.20 กรัมต่อลิตร และ (T3) ยูเรีย 1.80 กรัมต่อลิตร
ที่มา : Uddin et al. (2020)

การศึกษาของ Soletto, Binaghi, Lodi, Carvalho & Converti (2005) ศึกษาการเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยใช้แอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่า *S. platensis* มีการเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30°C และชุดการทดลองใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2.7) ซึ่งการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน โดยค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นขึ้นอย่างช้าๆ จะช่วยป้องกันการสะสมของแอมโมเนียในอาหารเพาะเลี้ยงที่มากเกินไป อาจส่งผลให้มีการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ในส่วนของการศึกษาของ Sassano et al. (2007) ทำการศึกษาเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 1.0 และ 10 มิลลิโมลาร์ พบว่าชุดการทดลองที่ใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ให้ผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 736.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดการทดลองที่ให้ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ 366.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนของปริมาณโปรตีน ชุดการทดลองที่ใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ให้ปริมาณโปรตีนสูงถึง 62.76 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ให้ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ มีค่า 19.1 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงไม่เหมาะสมต่อเซลล์ของ *S. platensis* โดยการใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้แอมโมเนียเป็นพิษต่อ *S. platensis* และทำให้ผลิตภัณฑ์ประกอบชีวมวลได้ต่ำอีกด้วย การใช้แหล่งไนโตรเจนและความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อชนิดของสาหร่าย จะทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตและสามารถผลิตองค์ประกอบชีวมวลที่ต้องการได้ดี



รูปที่ 2.7 ผลของการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อความเข้มข้นของผลผลิตชีวมวลของ

S. platensis (●) ยูเรียที่ความเข้มข้น 0.36 มิลลิโมลาร์, (▲) แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.36 มิลลิโมลาร์ และ (○) ยูเรียที่ความเข้มข้น 1.1 มิลลิโมลาร์

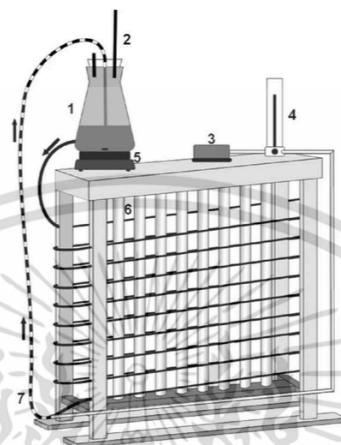
ที่มา : Soletto et al. (2005)

จากการศึกษาของ Ferreira, Rodrigues, Converti, Sato & Carvalho (2010) ศึกษาการเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยการใช้โซเดียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนในโฟโตไบโอรีแอกเตอร์ (รูปที่ 2.8) ระยะการเพาะเลี้ยง 14 วัน ควบคุม pH ที่ 9.5 ± 0.5 ในแต่ละวัน พบว่าในช่วงวันที่ 4 ของการทดลอง ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 15 - 16 มิลลิโมลาร์ ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S. platensis* โดยเมื่อใช้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้เซลล์สาหร่ายสลาย เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง เนื่องจากแอมโมเนียมภายใต้สภาวะที่เป็นด่างเป็นพิษต่อเซลล์สาหร่ายและยับยั้งเอนไซม์ไนเตรรีดักเตส (Chasoy et al., 2022) ซึ่งแอมโมเนียมซัลเฟตจะแตกตัวที่ pH 5 - 6 ซึ่งต่ำกว่า pH ของการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก (Mirhosseini et al., 2021) ค่า pH เป็นอีกหนึ่งในสภาวะที่สำคัญที่สุดในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของสารอาหารและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถใช้ได้ โดยส่งผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของสาหร่าย (Costa et al., 2018) ชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตให้ผลผลิตชีวมวลสูงสุด 1.54 กรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่า 0.34 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไนเตรตให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเช่นเดียวกันเท่ากับ 35.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแอมโมเนียมซัลเฟตให้โปรตีนเท่ากับ 27.4 เปอร์เซ็นต์ สัมพันธ์กับการศึกษาของ Mirhosseini et al. (2021) ศึกษาการใช้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0 - 5 กรัมต่อลิตร และโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้น 0 - 10 กรัมต่อลิตร เป็นทางเลือกใหม่ในการเพาะเลี้ยง *Arthrospira maxima* โดยระยะการเพาะเลี้ยงแตกต่างกัน ชุดการทดลองที่ใช้แอมโมเนียมซัลเฟตทำการเพาะเลี้ยง 5 วัน และชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตทำการเพาะเลี้ยง 8 วัน พบว่าชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตให้ปริมาณน้ำหนักรวม 1.20 กรัมต่อลิตร และไฟโคไซยานิน 0.065 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในช่วงวันที่ 5 ของการเพาะเลี้ยงพบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 และ 5 กรัมต่อลิตร เซลล์สาหร่าย *A. maxima* ทอยตาย อาจเป็นเพราะแอมโมเนียมในอาหารเพาะเลี้ยงทำให้ค่า pH ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์ปกติของการเจริญเติบโตของ *A. maxima* จากเหตุนี้ทำให้ pH ที่ลดลงยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์สามารถนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟโคบิลิโปรตีน สำหรับขนาดเล็กสามารถใช้ไนโตรเจนได้ 3 รูปแบบ คือ ไนไตรต์, ไนเตรตและแอมโมเนียม โดยการลดการออกซิไดซ์ของไนโตรเจน จากการศึกษาพบว่าแอมโมเนียมซัลเฟตไม่เหมาะต่อการใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับสาหร่าย *A. maxima* เนื่องจากแอมโมเนียมอาจไวต่อการสูญเสียก๊าซในสภาวะที่เป็นด่างจึงทำให้องค์ประกอบแอมโมเนียมถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรต์โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยแอมโมเนียมซัลเฟตส่งผลให้ปริมาณไฟโคไซยานินของ *A. maxima* ลดลงอย่างรวดเร็ว มีค่าประมาณ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.8 รูปแบบโฟโตไบโอรีแอกเตอร์

ที่มา : Ferreira et al. (2010)

ในส่วนของการศึกษาของ Avila, Matsudo, Sato & Carvalho (2012) ศึกษาการเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตชีวมวลและโปรตีน พบว่ายูเรียให้ปริมาณผลผลิตชีวมวลได้ถึง $1,415 \pm 5.6$ มิลลิกรัมต่อลิตร และให้ปริมาณโปรตีนสูงถึง 71.9 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าทางเลือกใช้แหล่งไนโตรเจนทางเลือกใหม่ควรคำนึงและควบคุมให้เหมาะสม โดยสามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนทางเลือกเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพื่อใช้เพิ่มมูลค่ามากขึ้นได้เช่นกัน

ในการศึกษาของ Shanthi et al. (2018) ศึกษาผลของกรดอะมิโนเป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนต่ออัตราการเจริญเติบโต องค์ประกอบทางชีวเคมี โดยใช้กรดอะมิโน 18 ชนิด ได้แก่ Lysine, Arginine, Proline, Threonine, Tyrosine, Glutamic acid, Tryptophan, Aspartic acid, Glutamine, Alanine, Glycine, Asparagine, Leucine, Histidine, Serine, Valine, Cysteine และ Methionine เป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ Arginine ที่ความเข้มข้น 0.05 และ 0.1 กรัมต่อลิตร มีปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 0.994 ± 0.03 และ 1.129 ± 0.05 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีค่าสูงที่สุดโดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (โซเดียมไนเตรต) และชุดการทดลองอื่น (ตารางที่ 2.5) พบว่าชุดควบคุมที่ใช้โซเดียมไนเตรตให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 0.05 กรัมต่อลิตร ประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ แต่ชุดการทดลองที่ใช้ Valine เป็นแหล่งไนโตรเจนให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดที่ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตชุดการทดลองที่ใช้โซเดียมไนเตรตมีค่าสูงที่สุดทั้ง 2 ระดับ คือ 42 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ชุดการทดลองที่ใช้ Asparagine ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิตร โดยมีค่า 23 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาพบว่าการใช้อินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจนสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยง *S. platensis* ได้เช่นเดียวกับอนินทรีย์ไนโตรเจน

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักแห้ง, อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะและผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยใช้ชนิดกรดอะมิโนที่แตกต่างกันเป็นแหล่งอินทรีย์ไนโตรเจน

Nitrogen source	Dry cell weight (g L ⁻¹)	Specific growth rate (μ day ⁻¹)	Biomass productivity (mg L ⁻¹ day ⁻¹)	Dry cell weight (g L ⁻¹)	Specific growth rate (μ day ⁻¹)	Biomass productivity (mg L ⁻¹ day ⁻¹)
Control 1	0.542 ± 0.09	0.318 ± 0.002	77.0 ± 0.003			
Control 2	0.756 ± 0.09	0.324 ± 0.001	114.0 ± 0.003			
	Amino acid concentration (0.05 g L ⁻¹)			Amino acid concentration (0.1 g L ⁻¹)		
L-Lys	0.688 ± 0.04	0.358 ± 0.003	101.3 ± 0.004	0.769 ± 0.02	0.377 ± 0.004	114.8 ± 0.005
L-Arg	0.994 ± 0.03	0.419 ± 0.001	152.3 ± 0.002	1.129 ± 0.05	0.441 ± 0.006	174.8 ± 0.006
L-Pro	0.808 ± 0.08	0.385 ± 0.002	121.3 ± 0.003	0.932 ± 0.05	0.409 ± 0.005	142.0 ± 0.005
L-Thr	0.459 ± 0.06	0.291 ± 0.004	63.1 ± 0.012	0.394 ± 0.02	0.265 ± 0.002	52.3 ± 0.003
L-Tyr	0.481 ± 0.08	0.298 ± 0.007	66.8 ± 0.015	0.501 ± 0.04	0.305 ± 0.004	70.2 ± 0.005
L-Glu	0.807 ± 0.09	0.385 ± 0.002	121.1 ± 0.004	0.822 ± 0.09	0.388 ± 0.016	123.6 ± 0.001
L-Trp	0.737 ± 0.07	0.370 ± 0.001	109.5 ± 0.023	0.752 ± 0.05	0.373 ± 0.009	112.0 ± 0.012
L-Asp	0.873 ± 0.03	0.398 ± 0.002	132.1 ± 0.003	0.830 ± 0.03	0.389 ± 0.021	125.0 ± 0.009
L-Gln	0.890 ± 0.12	0.401 ± 0.009	135.0 ± 0.012	0.945 ± 0.09	0.411 ± 0.001	144.2 ± 0.003
L-Ala	0.704 ± 0.09	0.362 ± 0.023	104.0 ± 0.003	0.699 ± 0.08	0.361 ± 0.001	103.2 ± 0.003
L-Gly	0.494 ± 0.15	0.303 ± 0.008	69.0 ± 0.034	ND	ND	ND
L-Asn	0.889 ± 0.04	0.401 ± 0.021	134.8 ± 0.003	0.998 ± 0.05	0.420 ± 0.021	153.0 ± 0.001
L-Leu	0.713 ± 0.08	0.364 ± 0.005	105.5 ± 0.005	0.753 ± 0.025	0.373 ± 0.002	112.2 ± 0.003
L-His	0.714 ± 0.13	0.364 ± 0.006	105.6 ± 0.005	0.587 ± 0.09	0.332 ± 0.006	84.5 ± 0.006
L-Ser	0.774 ± 0.07	0.378 ± 0.004	115.6 ± 0.005	0.807 ± 0.02	0.358 ± 0.004	121.1 ± 0.004
L-Val	0.537 ± 0.04	0.317 ± 0.027	75.1 ± 0.007	0.412 ± 0.04	0.273 ± 0.001	55.3 ± 0.001
L-Cys	0.685 ± 0.1	0.357 ± 0.009	100.8 ± 0.004	0.490 ± 0.021	0.302 ± 0.003	68.3 ± 0.003
L-Met	0.723 ± 0.05	0.366 ± 0.008	107.1 ± 0.009	0.517 ± 0.09	0.311 ± 0.004	72.8 ± 0.006

ที่มา : Shanthi et al. (2018)

2.5 ความยาวคลื่นแสงและค่าดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิด

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันส่งผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบชีวมวลในแต่ละชนิดของสาหร่าย โดยรงควัตถุแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงสีแตกต่างกันอีกด้วย *S. platensis* มีคลอโรฟิลล์ เอ, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินเป็นรงควัตถุในการจับพลังงานและสังเคราะห์แสง (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ความยาวคลื่นแสงและค่าดูดกลืนแสงของรงควัตถุแต่ละชนิด

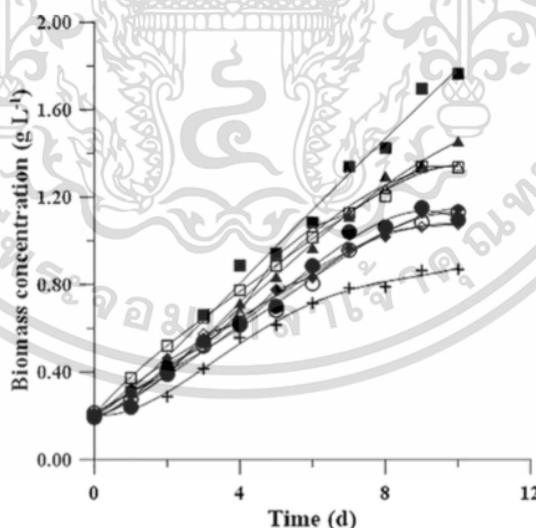
แสงสี	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	รงควัตถุ	การดูดกลืนคลื่นแสง
ม่วง	380 - 440	Chlorophyll a	ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินดีที่สุด
ฟ้า	485 - 500	Chlorophyll b	ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินดีที่สุด
เขียว	500 - 565	Chlorophyll c	ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินดีที่สุด
เหลือง	565 - 590	Carotenoids	ดูดกลืนแสงสีน้ำเงินดีที่สุด
แดง	620 - 645	Phycocyanin	ดูดกลืนแสงสีเขียวดีที่สุด
ขาว	400 - 800	Phycocerythrin	ดูดกลืนแสงสีเขียวดีที่สุด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ruangsomboon (2020)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ผลของความยาวคลื่นแสงต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

จากการศึกษาของ Prates, Radmann, Duarte, Morais & Costa (2018) ศึกษาการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. LEB 18 ภายใต้แสงสีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตและการผลิตไฟโคไซยานิน ทำการทดลองโดยใช้แสงสีน้ำเงิน, เขียว, แดงและขาว โดยมีเงื่อนไขการให้แสง LED 6 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง พบว่าการประยุกต์ใช้ LED เป็นแหล่งพลังงานแสงในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อกระตุ้นการผลิตชีวมวลและองค์ประกอบทางชีวเคมี LED แสงสีแดงที่ช่วงแสง 12 ชั่วโมง ให้ปริมาณความเข้มข้นผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คือ 1.77 ± 0.02 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 2.9) คาร์โบไฮเดรต 12.8 เปอร์เซ็นต์, ปริมาณโปรตีน 57.4 เปอร์เซ็นต์, ไขมัน 12.7 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมัน ได้แก่ Palmitic, Linoleic และ γ -linolenic ในส่วนของไฟโคไซยานินพบว่าแสงสีเขียวที่ช่วงแสง 6 ชั่วโมง ให้ปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด โดยมีค่า 126.39 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง เนื่องจากในช่วงแสง 6 ชั่วโมง เซลล์สาหร่ายสามารถสะสมอาหารในช่วงที่ไม่ได้รับแสงได้ ขณะที่การให้แสงตลอดเวลาจะทำให้เซลล์มีการนำพลังงานมาสังเคราะห์แสงอยู่ตลอด หลอดไฟ LED มีลักษณะเฉพาะด้วยความยาวคลื่นที่จำเพาะเจาะจงอาจทำให้คลอโรฟิลล์ดูดซับพลังงานได้ไม่ดี เซลล์สาหร่ายจึงมีการเพิ่มไฟโคไซยานินเพื่อเพิ่มปริมาณการดูดซับ หรือจับพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยโมเลกุลของไฟโคไซยานินมีหน้าที่ในการดูดซับพลังงานในสเปกตรัมแสงที่เด่นชัดที่คลอโรฟิลล์ทำหน้าที่ได้ไม่ดีและถ่ายทอดพลังงานไปยังปฏิกิริยาสังเคราะห์แสง โดยรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสงของ *S. platensis* คือคลอโรฟิลล์ เอ ที่สามารถดูดซับหรือจับพลังงานที่ความยาวคลื่นในแถบ 430 และ 680 นาโนเมตร และไฟโคบิลิโพรตีนสามารถดูดซับพลังงานที่ความยาวคลื่นในแถบ 550 และ 620 นาโนเมตร ซึ่งไฟ LED สีแดงครอบคลุมการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่ 620 - 645 นาโนเมตร ส่งผลให้เซลล์สาหร่ายมีการใช้หรือได้รับพลังงานมากขึ้นและมีการผลิตผลผลิตชีวมวลสูงขึ้น

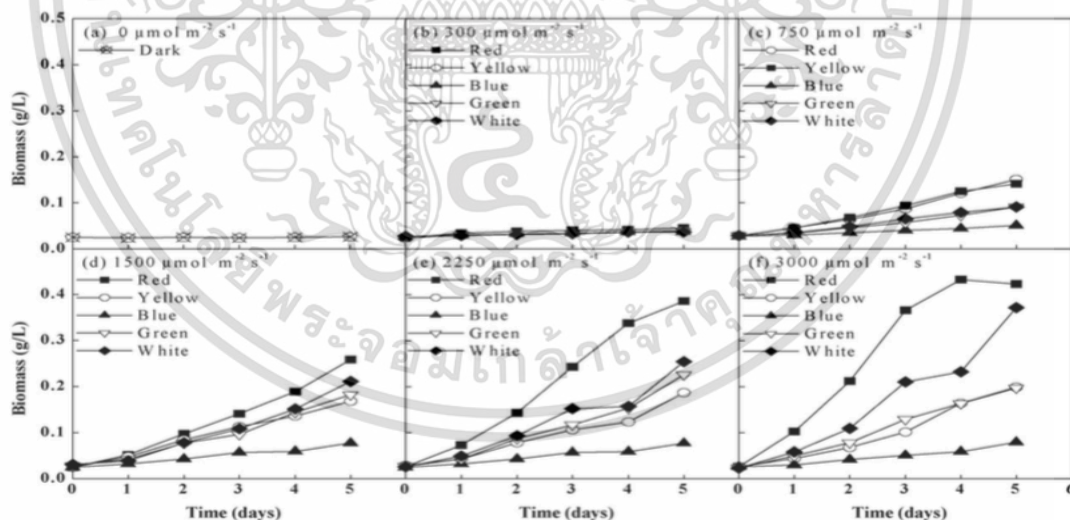


รูปที่ 2.9 ผลของ LED สีแตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* (+) ชุดควบคุม, (o) LED สีฟ้าช่วงแสง 6 ชั่วโมง, (●) LED สีฟ้าช่วงแสง 12 ชั่วโมง, (Δ) LED สีเขียวช่วงแสง 6 ชั่วโมง, (▲) LED สีเขียวช่วงแสง 12 ชั่วโมง, (□) LED สีแดงช่วงแสง 6 ชั่วโมง, (■) LED สีแดงช่วงแสง 12 ชั่วโมง, (◇) LED สีขาวช่วงแสง 6 ชั่วโมง และ (◆) LED สีขาวช่วงแสง 12 ชั่วโมง

ที่มา : Prates et al. (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพันธ์กับการศึกษาของ Wang, Fu & Liu (2007) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบ LED สีแตกต่างกัน ได้แก่ สีแดง, เหลือง, ฟ้า, เขียวและขาวเป็นชุดควบคุมที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน (300, 750, 1,500, 2,250 และ 3,000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ต่อ *S. platensis* โดยใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 6 วัน จากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มแสงต่ำ เซลล์จะผลิตองค์ประกอบชีวมวลต่ำ LED สีแดงให้ปริมาณผลผลิตชีวมวลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น มีค่าประมาณ 0.45 กรัมต่อลิตร ที่ความเข้มแสง 3,000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (รูปที่ 2.10) เนื่องจากเซลล์ดูดซับแสงสีแดงผ่านคลอโรฟิลล์จึงทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดี อาจเป็นเพราะ LED สีแดงมีการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง เซลล์สาหร่ายจึงสามารถดูดซับแสงสีแดงผ่านคลอโรฟิลล์ ส่วนการศึกษาของ Ravelonandro, Ratianarivo, Joannis, Isambert & Raherimandimby (2008) ศึกษาผลของคุณภาพแสงและความเข้มแสงในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยทำการทดลองแสงสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ สีเขียว, ขาว, แดงและฟ้าที่ความเข้มแสง 400, 800, 1000 และ 1,200 ลักซ์ โดยใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน เพาะเลี้ยง 8 วัน พบว่าแสงสีเขียวให้ความเข้มข้นชีวมวลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงสีอื่น เท่ากับ 2,446 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่แสงสีฟ้าให้ความเข้มข้นชีวมวลต่ำที่สุด 1,726 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนแสงสีขาวให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ 61 เปอร์เซ็นต์ และแสงสีฟ้าให้คลอโรฟิลล์สูงที่สุดเท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือแสงสีแดง เท่ากับ 0.21 เปอร์เซ็นต์ สัมพันธ์กับข้อมูลที่ว่าคลอโรฟิลล์ เอ มีการดูดซับสูงสุดในความยาวคลื่นสีฟ้าและสีแดง ในขณะที่แสงสีเขียวมีการดูดซับของคลอโรฟิลล์เพียงเล็กน้อย โดยพบว่าความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อสาหร่ายสไปรูลินาคือมากกว่า 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ขึ้นไป



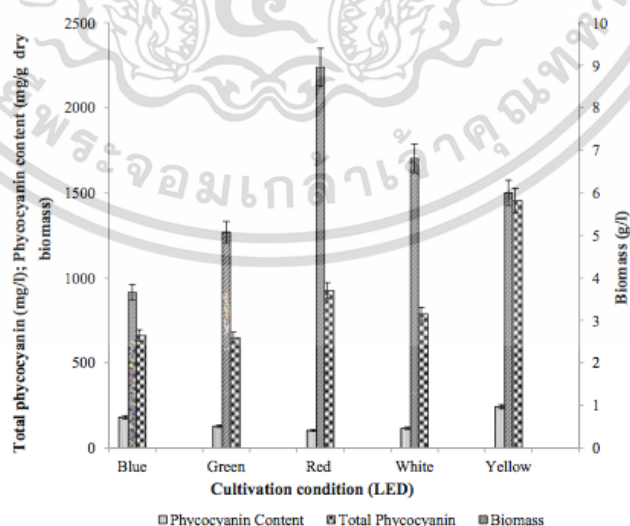
รูปที่ 2.10 ผลของ LED สีแตกต่างกันต่อผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis*

ที่มา : Wang et al. (2007)

Ajayan et al. (2012) ศึกษาการให้แสงที่แตกต่างกันรวมกับการใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อ *S. platensis* โดยใช้ยูเรียและโพแทสเซียมเป็นแหล่งไนโตรเจนและใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงในการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มความเข้มแสง ชุดการทดลองที่ไม่ใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงมีความเข้มแสง 4.8 กิโลลักซ์ และชุดการทดลองที่ใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงมีความเข้มแสง 6 กิโลลักซ์ จากการศึกษาพบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการเพาะเลี้ยง ชุดการทดลองที่ใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงที่ใช้โพแทสเซียมและยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนให้ผลผลิตชีวมวล มีค่า 6.0 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาณไฟโคไซยานินมีค่า 121.0 ± 1.9 และ 148.1 ± 2.2 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนปริมาณไฟโคอีริทรินมีค่า 4.40 ± 0.11 และ 5.80 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 55 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่ใช้อุปกรณ์สะท้อนแสง แต่ชุดการทดลองที่ใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ต่ำกว่า โดยมีค่าเท่ากับ 10.2 ± 0.03 และ 11.4 ± 0.07 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และปริมาณแคโรทีนอยด์ 2.65 ± 0.12 และ 2.74 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าฟิล์มสะท้อนแสงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนและพลังงานได้ในการผลิตสาหร่ายได้อีกด้วย

Bachchhav, Kulkarni & Ingale (2017) ศึกษาการใช้ LED ในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อเพิ่มปริมาณไฟโคไซยานิน โดยใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนและ LED สีแตกต่างกัน ได้แก่ สีแดง, ขาว, เหลือง, เขียวและฟ้า พบว่าแสงสีเหลืองให้ปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงสีอื่น โดยมีค่าประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2.11) รองลงมาคือแสงสีฟ้าและแสงสีเขียว มีค่า 200 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งชุดการทดลองที่ให้แสงสีแดงมีปริมาณผลผลิตชีวมวลสูงที่สุดเท่ากับ 8.95 กรัมต่อลิตร รองลงมา คือแสงสีขาวมีค่า 7.9 กรัมต่อลิตร โดย Peter, Barreira, Pereira, Perales & Varela (2014) กล่าวว่าสาหร่ายขนาดเล็กเจริญเติบโตได้ดีในแสงสีฟ้า (ความยาวคลื่น 420 - 470 นาโนเมตร) หรือแสงสีแดง (ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร) โดยจากองค์ประกอบของเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้คลอโรฟิลล์ เอ (ความยาวคลื่น 430 และ 680 นาโนเมตร) และไฟโคบิลิโปรตีน เช่น ไฟโคอีริทริน (ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร) และไฟโคไซยานิน (ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร) ในการดูดซับแสงส่งผลให้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้ประโยชน์จากแสงสีแดง, เหลืองและเขียวเป็นส่วนใหญ่ ที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่สามารถดูดซับแสงสีฟ้าได้เต็มที่ เป็นเพราะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่มีคลอโรฟิลล์ บี เช่นเดียวกับไฟโคบิลิน ไฟโคบิลินเป็นรงควัตถุที่ช่วยในการจับแสงสีเขียวและเหลือง



รูปที่ 2.11 ปริมาณไฟโคไซยานินและผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* ภายใต้ LED สีแตกต่างกัน
ที่มา : Bachchhav et al. (2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การนำ *S. platensis* มาประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องสำอางของมนุษย์

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Food and Drug Administration) ให้การยอมรับว่าการใช้สาหร่ายเป็นอาหารหรือใช้เพื่อผสมในอาหารมีความปลอดภัย โดยมีการศึกษางานวิจัยการนำผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเสริมสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น คูกี้, บิสกิต, พาสต้า, แท่งกราโนล่าและเครื่องดื่ม พบว่าการผสมสาหร่ายไม่ทำให้เนื้อสัมผัส หรือรสชาติของอาหารเปลี่ยนไป (Ruangsomboon, 2020)

การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) มีบทบาทสำคัญมากในงานทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอุตสาหกรรมเกษตรโดยเฉพาะในด้านอาหารและมีความสำคัญต่อทางด้านเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วย เพราะสามารถเป็นเครื่องมือที่แสดงออกทางอ้อมได้อย่างชัดเจน เช่น ลักษณะของผลิตภัณฑ์, สี, กลิ่น, รสชาติและเนื้อสัมผัส โดยสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการวิจัยและพัฒนาต่อไป โดยสถาบันของนักเทคโนโลยีทางด้านอาหาร (The Institute of Food Technologists ; IFT) กล่าวว่า การประเมินทางประสาทสัมผัสเป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัดค่า, วิเคราะห์ผลและสรุปผลจากปฏิกิริยาต่างๆต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากความรู้สึกของมนุษย์ในแง่การมองเห็น, การได้รับกลิ่น, รสชาติและการสัมผัส โดยปฏิกิริยาของมนุษย์สามารถอธิบายได้ในลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี, กายภาพและชีวภาพของผลิตภัณฑ์ (Wiryachari, 2018)

ปัจจุบันการใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นอาหารสำหรับมนุษย์สามารถใช้เป็นแหล่งของโปรตีน, วิตามิน, แร่ธาตุ, กรดอะมิโนและกรดไขมันที่ร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างได้เอง ซึ่งในสาหร่ายขนาดเล็กมีธาตุอาหาร แร่ธาตุที่ล้วนเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค สามารถบริโภคได้ทั้งในรูปแบบสดและแห้ง โดยในรูปแบบสาหร่ายแห้งจะทำการบดเพื่อนำไปผสมในอาหารต่างๆ เช่น เส้นพาสต้า, ขนมปัง และในซูป เป็นต้น หรือสามารถนำมาแปรรูปโดยการทำเป็นอาหารเสริมสุขภาพในรูปแบบของผง, เม็ด, บรรจุแคปซูลและแปรรูปในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เช่น สบู่ หรือสครับ นอกจากนี้ *S. platensis* ยังมีสารสี หรือรงควัตถุที่มีประโยชน์ในการต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้เป็นสีย้อมทั้งในเภสัชกรรมและอาหาร (Ruangsomboon, 2020)

สาหร่ายขนาดเล็กถูกนำมารวมเข้ากับสูตรอาหารหลายชนิด จากการศึกษาของ Lucas et al. (2020) ศึกษาการยอมรับสแน็คบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* สำหรับเด็กนักเรียน โดยเสริม *Spirulina* 0, 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสแน็คบาร์ที่มีส่วนผสมของ *S. platensis* มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าชุดควบคุม (*Spirulina* 0 เปอร์เซ็นต์) ทุกระดับ โดยมีค่า 9.31 ± 0.13 , 10.40 ± 0.03 และ 12.09 ± 0.05 กรัมต่อสแน็คบาร์ 100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2.7) ซึ่งโปรตีนจำเป็นต่อสุขภาพพลังงานและการเจริญเติบโตของเด็กและผู้ใหญ่ แต่ชุดการทดลองสแน็คบาร์ที่เสริมด้วย *Spirulina* 0 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่เสริมด้วย *Spirulina* โดยมีค่า 6.12 ± 0.09 และ 72.60 กรัมต่อสแน็คบาร์ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนของเถ้าและความชื้นพบว่าชุดการทดลองที่เสริมด้วย *Spirulina* 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงสุด เท่ากับ 2.00 ± 0.03 และ 12.68 ± 0.66 กรัมต่อสแน็คบาร์ 100 กรัม ตามลำดับ สัมพันธ์กับการศึกษาอื่นที่ใช้ *S. platensis* เป็นส่วนประกอบในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร เช่น คูกี้และพาสต้า พบว่ามีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยมีค่า 59 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการปรุงอาหาร สาหร่ายไม่มีการสูญเสียทางชีวภาพโดยอิงจากปริมาณเถ้าและไขมันที่กล่าวไว้ข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

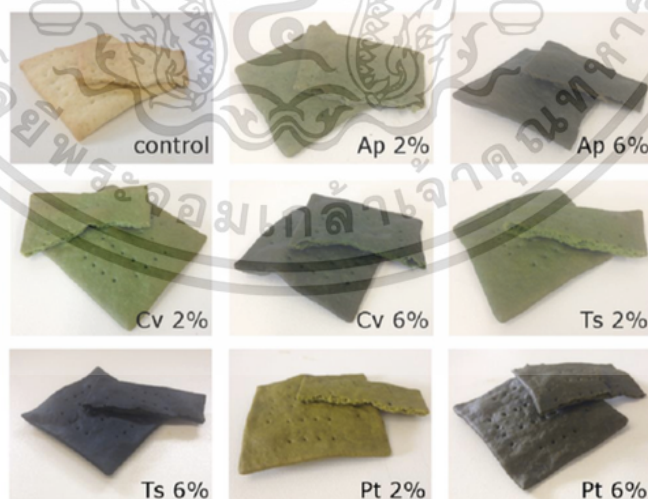
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบคุณค่าทางโภชนาการของสแน็คบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ที่แตกต่างกัน

Parameters	C	SP2	SP6
Protein (g/100 g dry basis)	9.31 ^a ± 0.13	10.40 ^b ± 0.03	12.09 ^c ± 0.05
Lipids (g/100 g dry basis)	6.12 ^a ± 0.09	6.02 ^a ± 0.12	6.16 ^a ± 0.13
Ash (g/100 g dry basis)	1.24 ^a ± 0.01	1.46 ^b ± 0.02	2.00 ^c ± 0.03
Moisture (g/100 g)	10.73 ^b ± 0.38	10.75 ^b ± 0.10	12.68 ^c ± 0.66
Carbohydrates (g/100 g)	72.60	71.37	67.07

Mean ± standard deviation (n = 3). Different letters in the same line mean significant differences between samples (p < 0.05).

ที่มา : Lucus et al. (2020)

การศึกษาของ Batista et al. (2019) ศึกษาการเสริมสาหร่ายขนาดเล็กเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารคาว เพื่อใช้เป็นแหล่งโปรตีน, สารต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ โดยการศึกษานี้จะทดลองเสริม *S. platensis* ในแครกเกอร์ที่ระดับ 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis suecica* และ *Phaeodactylum tricornutum* (รูปที่ 2.11) พบว่าแครกเกอร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่เสริมด้วยสาหร่ายชนิดอื่น เท่ากับ 11.0 ± 0.1 และ 14.3 ± 0.1 กรัมต่อแครกเกอร์ 100 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ตามลำดับ และแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด มีค่า $0.70 \mu\text{g VCEAC mg}^{-1}$ ปริมาณเถ้าเท่ากับ 3.4 ± 0.5 และ 4.6 ± 0.5 กรัมต่อแครกเกอร์ 100 กรัม ตามลำดับ คาร์โบไฮเดรต 67.5 และ 61.5 กรัมต่อแครกเกอร์ 100 กรัม ตามลำดับ พลังงานมีค่า 438 และ 433 กิโลแคลอรี ตามลำดับ ส่วนความสามารถในการยอมรับผลิตภัณฑ์แสดงให้เห็นว่าแครกเกอร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* มีคะแนนการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่า *T. suecica* และ *P. tricornutum*

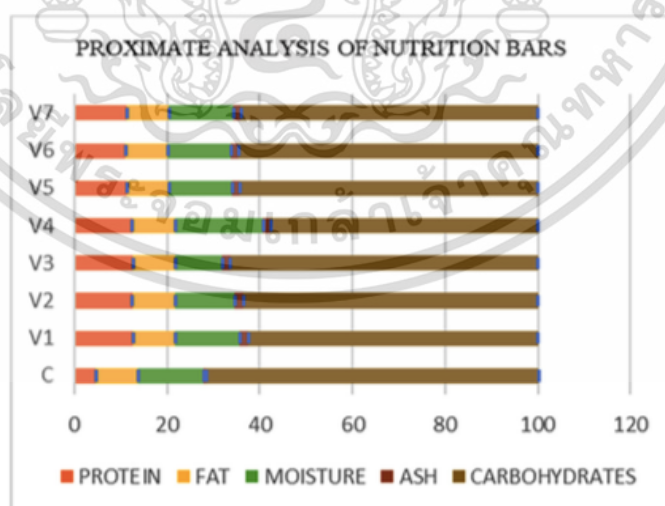


รูปที่ 2.12 แครกเกอร์ที่เสริมด้วยสาหร่ายชนิดแตกต่างกัน Control (ชุดที่ไม่ผสมสาหร่าย), (Ap) แครกเกอร์ที่เสริมด้วย *S. platensis*, (Cv) แครกเกอร์ที่เสริมด้วย *C. vulgaris*, (Ts) แครกเกอร์ที่เสริมด้วย *T. suecica* และ (Pt) แครกเกอร์ที่เสริมด้วย *P. tricornutum*

ที่มา : Batista et al. (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kumar, Mohanty & Yashaswini (2018) ศึกษาการพัฒนาเนืวนิวทริชันบาร์โปรตีนสูงที่เสริมด้วย *S. platensis* สำหรับเด็กที่ภาวะขาดสารอาหาร โดยทดสอบด้วยการใส่ *S. platensis* ที่ระดับแตกต่างกัน ได้แก่ 0, 3, 4, 5 และ 6 กรัมต่อส่วนผสม 100 กรัม พบว่าชุดการทดลองที่เสริมด้วย *S. platensis* 6 กรัม ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด มีค่า 12.57 ± 0.01 กรัมต่อนิวทริชันบาร์ 100 กรัม (รูปที่ 2.12) ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองที่เสริมด้วย *S. platensis* 0 กรัม 2 เท่า (4.66 ± 0.02 กรัมต่อนิวทริชันบาร์ 100 กรัม) จากการศึกษาพบว่าร่างกายมนุษย์สามารถย่อย *S. platensis* ได้ง่าย เนื่องจากสาหร่ายมีปริมาณเซลลูโลสน้อยจึงสามารถนำมาแปรรูปเพื่ออำนวยความสะดวกในการบริโภคได้ โดยชุดการทดลอง *S. platensis* 0 กรัม มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเท่ากับ 71.78 ± 0.02 กรัมต่อนิวทริชันบาร์ 100 กรัม ส่วนถ้าพบว่าชุดการทดลอง *S. platensis* 6 กรัม มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.79 ± 0.03 กรัมต่อนิวทริชันบาร์ 100 กรัม และชุดการทดลอง *S. platensis* 6 กรัม มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด 48.50 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่า 4 เท่า ต่อชุดการทดลอง *S. platensis* 0 กรัม โดยมีค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเพียง 9.14 ± 0.76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดพบว่าชุดการทดลองที่เสริมด้วย *S. platensis* 6 กรัม มีค่าสูงที่สุด 7.90 ± 0.01 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม โดยฟีนอลิกมีส่วนสำคัญในความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายขนาดเล็ก จากการศึกษานี้ก็กล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์แปรรูปที่มีส่วนผสมของ *S. platensis* เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ให้คุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีนและสารต้านอนุมูลอิสระ ทั้งยังมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดีเช่นกัน เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการสารอาหารพลังงาน, ผู้ที่ควบคุมอาหาร, นักกีฬาและเด็ก สัมพันธ์กับการศึกษาของ Grahl, Strack, Mensching & Morlein (2020) พบว่าการปรับสูตรอาหารที่มีส่วนผสมของ *S. platensis* หรือการเสริมด้วย *S. platensis* ไม่ทำให้สูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ได้แก่ โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตามข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้น เพียงแต่เมื่อลดกลิ่น หรือรสชาติของสาหร่าย จะทำให้รับประทานได้ง่ายและได้รับการยอมรับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 ผลของคุณค่าทางโภชนาการของเนืวนิวทริชันบาร์ โดย (C) *S. platensis* 0 กรัม, (V₁ - V₄) *S. platensis* 6 กรัม, (V₅) *S. platensis* 4 กรัม, (V₆) *S. platensis* 3 กรัม และ (V₇) *S. platensis* 5 กรัม

ที่มา : Kumar et al. (2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาของ Saharan & Jood (2020) ศึกษาขนมปังที่เสริมด้วยผงสาหร่าย *S. platensis* เพื่อศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสและการเก็บรักษา โดยใช้ *S. platensis* ผสมกับแป้งสาลีในระดับ 0, 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าชุดการทดลองที่ใช้ *S. platensis* 6 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเทียบกับขนมปังโฮลวีต และขนมปังที่เสริมด้วย *S. platensis* ระดับอื่น คือ 1.79 ± 0.13 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม และ 16.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2.8) โดยขนมปังที่เสริมด้วย *S. platensis* สามารถเก็บไว้ได้ 2 วัน ที่อุณหภูมิห้องและเก็บได้นานถึง 4 วัน ในตู้เย็น

ตารางที่ 2.8 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของขนมปังที่เสริมด้วย *S. platensis*

Breads	Total phenolic contents (mg GAE/g)	DPPH (%)
Control (100% WWF)	0.62 ± 0.03	11.80 ± 0.74
<i>Supplementation level (%) WWF: SP</i>		
98: 2	0.85 ± 0.04	13.37 ± 0.99
96: 4	1.19 ± 0.06	15.10 ± 1.00
94: 6	1.79 ± 0.13	16.51 ± 0.85
CD ($P \leq 0.05$)	0.13	0.99

WWF whole wheat flour, SP *Spirulina* powder

ที่มา : Saharan & Jood (2020)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การวางแผนการทดลอง

3.1.1 แหล่งไนโตรเจน

การทดลองวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยสูตรอาหารซาร์รุกที่ปรับให้มีแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3), แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), ยูเรีย ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_{16}$), แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3), แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) (ชุดควบคุม) ที่ระดับไนโตรเจน 0.4 กรัมต่อลิตร เท่ากันทุกชุดการทดลอง ดำเนินการทดลอง 4 ซ้ำ เป็นเวลา 14 วัน ให้แสงโดยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มแสง 3,000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จำนวน 2 หลอด) เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีด 12 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิที่ 25 ± 1 องศาเซลเซียส ให้พองอากาศเพื่อให้มีการหมุนเวียนของสาหร่ายต่อเนื่องตลอดเวลา

วิเคราะห์ค่าผลผลิตชีวมวล, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริธรีน ทุก 2 วัน และวิเคราะห์ค่าไขมัน, กรดไขมันและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สิ้นสุดการทดลอง จากนั้นนำแหล่งไนโตรเจนที่ให้ผลผลิตชีวมวลและผลผลิตโปรตีนที่ดีที่สุด 2 ลำดับแรกมาทำการทดลองขั้นที่ 3.1.2 เพื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยผันแปรที่ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

3.1.2 ความยาวคลื่นแสง

การทดลองด้วยชุดการทดลองแบบ Factorial in CRD (2×6) โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหารซาร์รุกที่ปรับให้มีแหล่งไนโตรเจนแตกต่างกัน 2 แหล่ง (ผลจาก 3.1.1) และให้แสงด้วยหลอดไฟ LED ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ประกอบด้วย สีม่วง (380 - 440 นาโนเมตร), ฟ้า (485 - 500 นาโนเมตร) เขียว (500 - 565 นาโนเมตร), เหลือง (565 - 590 นาโนเมตร), แดง (620 - 645 นาโนเมตร) และขาว (400 - 800 นาโนเมตร) (ชุดควบคุม) ดำเนินการทดลอง 4 ซ้ำ เป็นเวลา 14 วัน

วิเคราะห์ค่าผลผลิตชีวมวล, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริธรีน ทุก 2 วัน วิเคราะห์ค่าไขมัน, กรดไขมันและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สิ้นสุดการทดลอง เมื่อประเมินแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่ดีที่สุด (ผลผลิตชีวมวลและผลผลิตโปรตีนดีที่สุด) จะนำมาผันแปรเพื่อเพาะเลี้ยงสาหร่ายและนำผลผลิตไปใช้ในการทดลองขั้นที่ 3.1.3 ต่อไป

3.1.3 การแปรรูปสาหร่ายเป็นโปรตีนบาร์

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ผลิตโปรตีนบาร์โดยใช้ปริมาณสาหร่าย *S. platensis* แตกต่างกัน 0 (ชุดควบคุม), 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ดำเนินการทดลอง 4 ซ้ำ วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ, สี, เนื้อสัมผัสและความชอบของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน

3.2 อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์ และเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.1.1 ฟลาสก์ขวดลูกชมพู่ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
- 3.2.1.2 หลอดหยดสาร
- 3.2.1.3 สายออกซิเจน
- 3.2.1.4 ไชริงค์
- 3.2.1.5 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
- 3.2.1.6 หลอดไฟ LED
- 3.2.1.7 สำลี
- 3.2.1.8 แผ่นอลูมิเนียม
- 3.2.1.9 กระจกบอทวง
- 3.2.1.10 ปีกเกอร์
- 3.2.1.11 หลอดทดลอง
- 3.2.1.12 แ่งแก้วคนสาร
- 3.2.1.13 คิวเวต
- 3.2.1.14 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
- 3.2.1.15 ลูกยาง
- 3.2.1.16 ปากคีบ
- 3.2.1.17 กระจดาษกรอง
- 3.2.1.18 เม็ดแก้ว
- 3.2.1.19 กระจกพอยล์
- 3.2.1.20 ซ้อนตักสาร
- 3.2.1.21 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.2.1.22 ไมโครปิเปตต์
- 3.2.1.23 ไมโครปิเปตต์ทึบ
- 3.2.1.24 ปิเปตต์
- 3.2.1.25 เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง
- 3.2.1.26 เครื่องนึ่งความดันไอ
- 3.2.1.27 ตู้บลมร้อน
- 3.2.1.28 เครื่องมือวัด pH
- 3.2.1.29 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง
- 3.2.1.30 เครื่อง Freeze dye
- 3.2.1.31 ตู้ปลอดเชื้อ
- 3.2.1.32 โถดูดความชื้น
- 3.2.1.33 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- 3.2.1.34 ตู้เย็น
- 3.2.1.35 เครื่องล้างความถี่สูง
- 3.2.1.36 ตู้ดูดควัน
- 3.2.1.37 เครื่องเขย่าสาร
- 3.2.1.38 เครื่องกวนแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 สารเคมี

- 3.2.2.1 โซเดียมไนเตรต (NaNO_3)
- 3.2.2.2 โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)
- 3.2.2.3 ยูเรีย ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}_16$)
- 3.2.2.4 แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3)
- 3.2.2.5 แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)
- 3.2.2.6 แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
- 3.2.2.7 ไตรโพแทสเซียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (K_2HPO_4)
- 3.2.2.8 แมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.9 โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
- 3.2.2.10 แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)
- 3.2.2.11 เกลือแกง (NaCl)
- 3.2.2.12 เฟอร์รัสซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.13 โซเดียมอีดีทีเอ 2-ไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.14 กรดบอริก (H_3BO_3)
- 3.2.2.15 แมงกานีสคลอไรด์ 4 ไฮเดรต ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.16 ซิงค์ซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.17 คอปเปอร์ซัลเฟต 5-ไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.18 โมลิบดินัมออกไซด์ (MoO_3)
- 3.2.2.19 แอมโมเนียมวานาเดต (NH_4VO_3)
- 3.2.2.20 โพแทสเซียมไดโครเมตซัลเฟต 24-ไฮเดรต ($\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.21 นิกเกิลซัลเฟต 7-ไฮเดรต ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.22 โซเดียมทังสเตต 2-ไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.23 ทิทาเนียมซัลเฟต ($\text{Ti}(\text{SO}_4)_3$)
- 3.2.2.24 โคบอลต์ไนเตรต 6-ไฮเดรต ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- 3.2.2.25 เมทานอล (CH_3OH)
- 3.2.2.26 คลอโรฟอร์ม (CHCl_3)
- 3.2.2.27 สารละลายฟีนอล 95 เปอร์เซ็นต์ ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$)
- 3.2.2.28 อะซีโตน 90 เปอร์เซ็นต์ ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)
- 3.2.2.29 Reagent A : 5 เปอร์เซ็นต์ Na_2CO_3
- 3.2.2.30 Reagent B : 1 เปอร์เซ็นต์ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- 3.2.2.31 Reagent C : 2 เปอร์เซ็นต์ $\text{NaKC}_4\text{H}_6\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- 3.2.2.32 Reagent D : Reagent A 50 มิลลิลิตร + Reagent B และ Reagent C 1 มิลลิลิตร
- 3.2.2.33 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
- 3.2.2.34 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.2.2.35 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.2.2.36 Folin-cicaltea reagent : น้ำกลั่น (1:1)
- 3.2.2.37 กลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2.2.38 Bovine serum albumin
- 3.2.2.39 5 เปอร์เซ็นต์ KOH in 30 เปอร์เซ็นต์ Methanol
- 3.2.2.40 เฮกเซน (C₆H₁₄)
- 3.2.2.41 ฟอสเฟตบัพเฟอร์
- 3.2.2.42 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)
- 3.2.2.43 สารต้านอนุมูลอิสระวิตามินซี (Ascorbic acid)
- 3.2.2.44 สารต้านอนุมูลอิสระวิตามินอี (Tocopherol)
- 3.2.2.45 BHT

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.3.1 การทดลองการเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันในการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

- 3.3.1.1 เตรียมสารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารเพาะเลี้ยง *S. platensis* (NaNO₃, KNO₃, (NH₄)₂SO₄, CH₄N₂O₁₆, NH₄NO₃ และ NH₄Cl) (v/v)
- 3.3.1.2 เตรียมหัวเชื้อ *S. platensis* 10 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดการทดลอง ทำการเพาะเลี้ยงในฟลาสก์ 1 ลิตร
- 3.3.1.3 ดำเนินการทดลองโดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันในการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

ชุดการทดลองที่ 1 NaNO ₃ เป็นแหล่งไนโตรเจน	2.5	กรัม	(ชุดควบคุม Zarrouk)
ชุดการทดลองที่ 2 KNO ₃ เป็นแหล่งไนโตรเจน	2.9	กรัม	
ชุดการทดลองที่ 3 (NH ₄) ₂ SO ₄ เป็นแหล่งไนโตรเจน	1.9	กรัม	
ชุดการทดลองที่ 4 CH ₄ N ₂ O ₁₆ เป็นแหล่งไนโตรเจน	0.86	กรัม	
ชุดการทดลองที่ 5 NH ₄ NO ₃ เป็นแหล่งไนโตรเจน	1.14	กรัม	
ชุดการทดลองที่ 6 NH ₄ Cl เป็นแหล่งไนโตรเจน	1.5	กรัม	

โดยแหล่งไนโตรเจนทั้ง 6 รูปแบบ จะมีปริมาณไนโตรเจนที่เท่ากันคือ 0.4 กรัมต่อลิตร

3.3.1.4 การบันทึกผลการทดลอง

วิเคราะห์น้ำหนักแห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง (Ruangsomboon, 2020) วิเคราะห์คลอโรฟิลล์โดยสกัดด้วยเมทานอลและวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 655 นาโนเมตร (Becker, 1994) วิเคราะห์แคโรทีนอยด์โดยสกัดด้วยอะซิโตนและวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 480 นาโนเมตร (Becker, 1994) วิเคราะห์ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินโดยสกัดด้วยฟอสเฟตบัพเฟอร์และนำไปแช่เย็น 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 545 และ 620 นาโนเมตร ตามลำดับ วิเคราะห์โปรตีนด้วยวิธี Lowry's method ทำการย่อยและทำให้เกิดสีด้วย Folin-Ciocalteu และวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร (Lowry, Rosebrough, Farr & Randall, 1951) วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตด้วยวิธี Phenol Sulphuric acid method โดยการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกและวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตร (Becker, 1994) เมื่อได้ข้อมูลดิบเรียบร้อยแล้ว จะนำไปคำนวณตามสูตรให้ได้เป็นผลผลิตต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย ดังนี้

ผลผลิตต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย = (ข้อมูลดิบของผลผลิต/น้ำหนักแห้งสาหร่าย)

จากนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งสาหร่าย = (ผลผลิตต่อน้ำหนักแห้งสาหร่าย × 100) / 1,000

และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการวิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยสกัดด้วยคลอโรฟอร์มเมทานอล (Bligh & Dyer, 1959) จากนั้นทำ Transmethylation กรดไขมันด้วยวิธีของ Yongmanitchai & Ward (1991) และวิเคราะห์กรดไขมันโดยการฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง GC (Gas Chromatography) (Ruangsomboon, 2020) และวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Free radical scavenging assay ด้วยวิธี DPPH สกัดเซลล์ด้วยเอทานอลและอะซีโตน เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์โดยเปรียบเทียบจากสารมาตรฐาน ได้แก่ วิตามินอี, กรดแอสคอร์บิกและบีเอชที

การเก็บข้อมูลจะดำเนินการโดยบันทึกข้อมูลทุก 2 วันระหว่างการทดลองและเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 14 ของการเพาะเลี้ยง

3.3.2 การทดลองการเปรียบเทียบสีไฟ LED ที่แตกต่างกันในการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

3.3.2.1 เตรียมหลอดไฟ LED สีต่างๆ (ม่วง, ฟ้ำ, เขียว, เหลือง, แดงและขาว) สีละจำนวน 2 หลอดที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานแสงในการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

หลอดไฟ LED สีม่วง	ความยาวคลื่น 380 - 440	นาโนเมตร
หลอดไฟ LED สีฟ้า	ความยาวคลื่น 485 - 500	นาโนเมตร
หลอดไฟ LED สีเขียว	ความยาวคลื่น 500 - 565	นาโนเมตร
หลอดไฟ LED สีเหลือง	ความยาวคลื่น 565 - 590	นาโนเมตร
หลอดไฟ LED สีแดง	ความยาวคลื่น 620 - 645	นาโนเมตร
หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ สีขาว	ความยาวคลื่น 400 - 800	นาโนเมตร (ชุดควบคุม)

3.3.2.2 เตรียมอาหารเพาะเลี้ยง โดยใช้โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) และโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) เป็นแหล่งไนโตรเจน ดัดแปลงจากสูตรอาหารซาร์รูด

3.3.2.3 เตรียมหัวเชื้อ *S. platensis* 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อชุดการทดลอง ทำการเพาะเลี้ยงในฟลาสก์ 1 ลิตร

3.3.2.4 ดำเนินการทดลองโดยหลอดไฟ LED ที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันในการเพาะเลี้ยง *S. platensis*

3.3.2.5 การบันทึกผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวล, คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานิน, ไฟโคอีริทริน, โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ทุก 2 วัน และเมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการวิเคราะห์ไขมัน, กรดไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระ

โดยวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลและองค์ประกอบชีวมวล เช่นเดียวกับ 3.3.1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การแปรรูป *S. platensis* เป็นโปรตีนบาร์

3.3.3.1 เมื่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* ในปริมาณมากจากการใช้ไซโตเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยให้แสงสีแดงเป็นความยาวคลื่นแสงในการเพาะเลี้ยง นำ *S. platensis* จากการทดลองบดแห้งและนำมาผสมเป็นอาหารเสริมโปรตีนบาร์ที่ 4 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งสำหรับ โดยมียัตถุดิบ ได้แก่ *S. platensis*, คอร์นเฟลก, ข้าวโอ๊ต, ถั่ว, ผลไม้อบแห้ง, น้ำตาลทรายแดง, เกลือ, น้ำผึ้ง น้ำมันมะพร้าวและกลีนาวนิลลา ดัดแปลงจากวิธีของ Lucus et al. (2020)

3.3.3.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการด้วยวิธี Lowry's method, Phenol-Sulphuric method และด้วยวิธีของ Becker (1994)

3.3.3.3 การวิเคราะห์สีและเนื้อสัมผัสของโปรตีนบาร์

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) ด้วยวิธีของ Wiriyaehari (2018)

3.3.3.4 การวิเคราะห์พลังงานอาหาร

คำนวณได้จากโปรตีน, ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต โดยพลังงานที่เกิดจากโปรตีน เท่ากับ 4 พลังงานที่เกิดจากไขมัน เท่ากับ 9 และพลังงานที่เกิดจากคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 4 โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

พลังงานที่เกิดจากโปรตีน	$4 \times a$	$a =$ ปริมาณโปรตีน
พลังงานที่เกิดจากไขมัน	$9 \times b$	$b =$ ปริมาณไขมัน
พลังงานที่เกิดจากคาร์โบไฮเดรต	$4 \times c$	$c =$ ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

จากนั้นนำค่าทั้งหมด $a + b + c =$ ค่าพลังงานของอาหาร (กิโลแคลอรี) (Rattanapanon, n.d.)

3.3.3.5 การประเมินความชอบ

การประเมินความชอบโดยผู้ทดสอบ 50 คน โดยชิมโปรตีนบาร์จากความชอบในแง่ของคุณลักษณะต่างๆ เช่น รูปลักษณ์, รสชาติ, กลิ่นและเนื้อสัมผัสและวิเคราะห์จากการให้คะแนน (1 = ไม่พึงพอใจ, 2 = พึงพอใจปานกลาง และ 3 = พึงพอใจมาก) (Lucus et al., 2020)

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์แบบ One way ANOVA และ Univariate จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS

3.4 ระยะเวลาดำเนินงาน

มกราคม 2564 - กรกฎาคม 2565

3.5 ผลคาดว่าจะได้รับ

3.5.1 ทราบแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis*

3.5.2 ทราบความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของ *S. platensis*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 ทราบระดับที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูป *S. platensis* ที่เหมาะสมในการผลิตเป็นโปรตีนบาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

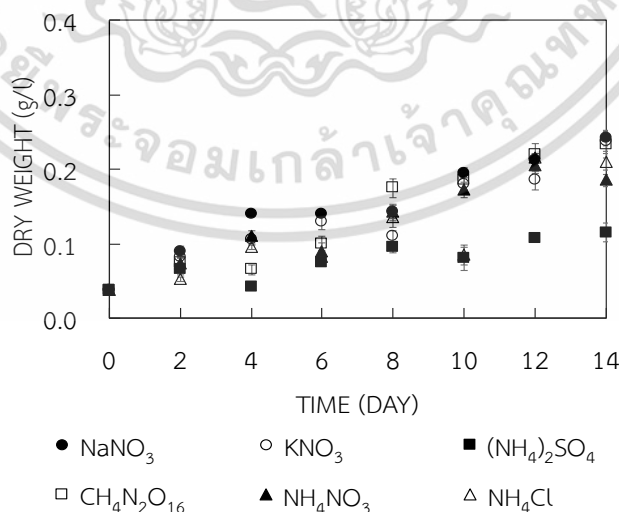
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis*

4.1.1 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis*

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรต, แอมโมเนียมซัลเฟต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรต, แอมโมเนียมคลอไรด์และ โซเดียมไนเตรต พบว่าที่สิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมี ผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คือ 0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.1, ตารางผนวกที่ 1) โดยมีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต ($p < 0.05$) เนื่องจากแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ *S. platensis* มีการเจริญเติบโต แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้อง Costa et al. (2001) กล่าวว่าเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถดูด ซึมไนเตรตและแอมโมเนียมไอออนได้รวดเร็วจึงอาจส่งผลให้ *S. platensis* ดูดซึมธาตุอาหาร แอมโมเนียมหมดเร็วกว่าชุดการทดลองอื่น ส่วนชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น ที่ 0.01 โมลาร์ อาจทำให้เป็นพิษต่อ *S. platensis* จึงทำให้ *S. platensis* มีการเจริญเติบโตที่ไม่ดี สัมพันธ์กับการศึกษาของ Chasoy et al. (2022) พบว่าโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ส่งเสริม การเจริญเติบโตที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.80 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 16 ของการเพาะเลี้ยง ส่งผลให้เอ็นไซม์ ไนเตรตรีดักเตสทำงานได้อย่างเต็มที่ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลการศึกษานี้ ขณะที่แอมโมเนียมซัลเฟตให้อัตรา การเจริญเติบโตที่ไม่ดีเนื่องจาก *S. platensis* เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่เป็นด่างที่ pH อยู่ในช่วง 9 - 11 (El-Sheekh, Hassan & Morsi, 2021) ขณะที่แอมโมเนียมซัลเฟตสามารถแตกตัวที่ pH 5 - 6 (Mirhosseini et al., 2021) เมื่อแอมโมเนียมอยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะทำให้เป็นพิษต่อเซลล์และ ยับยั้งเอ็นไซม์ไนเตรตรีดักเตสที่ทำหน้าที่ดูดซึมแอมโมเนียมเพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม



รูปที่ 4.1 ผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อรงควัตถุของสาหร่าย *Spirulina platensis*

4.1.2.1 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

สาหร่าย *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนในวันที่ 4 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือ 1.82 ± 0.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร (รูปที่ 4.2A, ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่นเมื่อเทียบกับแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต ($p < 0.05$) ไนเตรตไอออนมีความสามารถในการละลายได้ง่ายที่ pH 9.5 - 10 (Mirhosseini, Davarnejad, Hallajisani, Tavakoli & Europa, 2021) *S. platensis* จึงสามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น (Uddin et al., 2020) และที่สิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ได้รับโพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือ 0.96 ± 0.02 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$) สัมพันธ์กับการศึกษาของ El-Sheekh et al. (2021) ศึกษาเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (โซเดียมไนเตรต, โพแทสเซียมไนเตรตและแคลเซียมไนเตรต) ต่อ *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น คือ 5.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร โดยผลจากการศึกษานี้พบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อกรัมของสาหร่ายสูงที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง คือ 4.58 ± 0.48 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (รูปที่ 4.2B, ตารางผนวกที่ 3) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้ยูเรียและแอมโมเนียมคลอไรด์ ($p < 0.05$) ส่วนการศึกษาของ Danesi, Yagui, Sato & Carvalho (2011) เเพาะเลี้ยงโดยใช้ยูเรียและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตและคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีค่าคลอโรฟิลล์สูง 12.30 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยมีความสูงว่าผลการศึกษาเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้ยูเรียทุกระดับความเข้มข้นมีค่า 10.00 - 11.70 มิลลิกรัมต่อกรัม

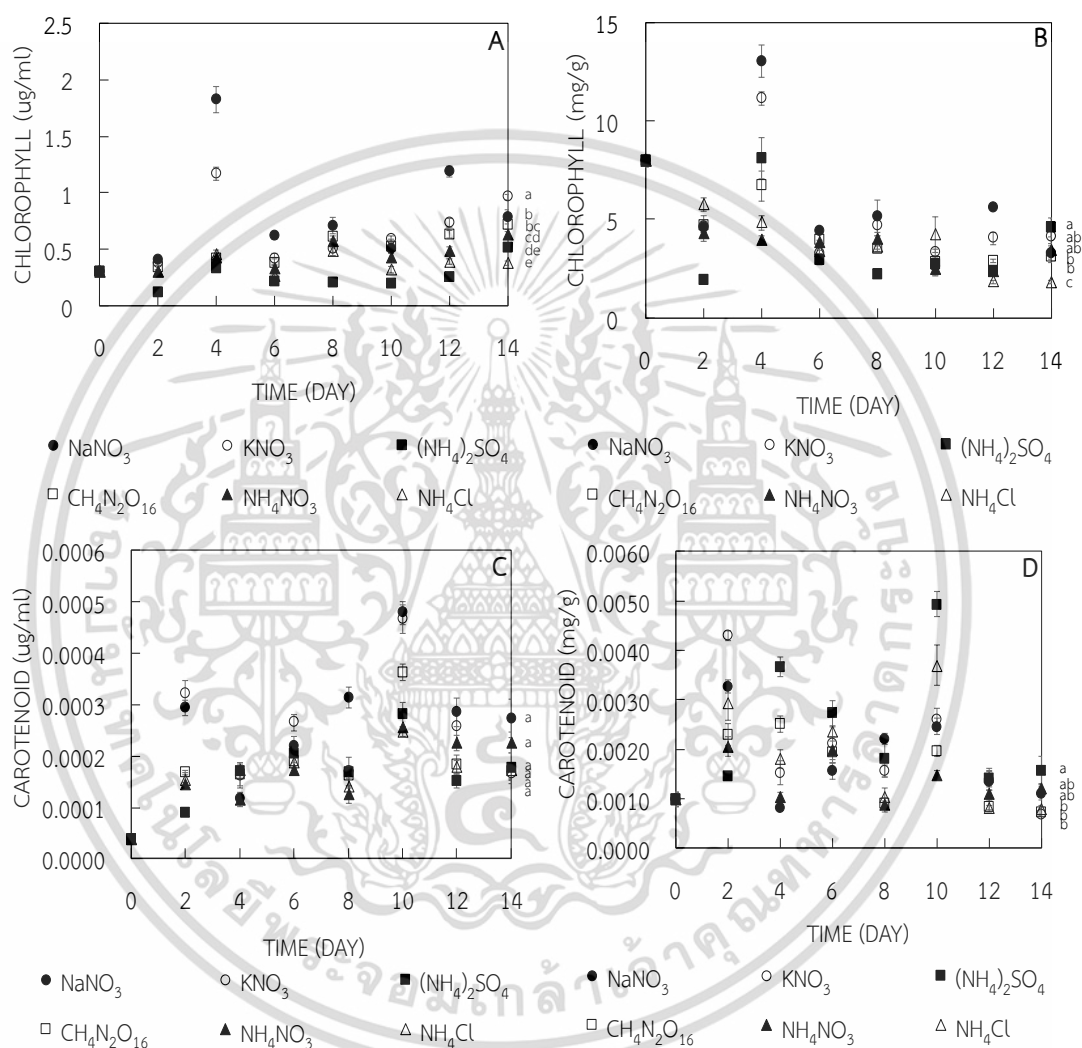
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด 0.0002 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร (รูปที่ 4.2C, ตารางผนวกที่ 4) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ต่อกรัมสาหร่ายพบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด 0.0015 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่ายที่สิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 4.2D, ตารางผนวกที่ 5) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต, ยูเรียและแอมโมเนียมคลอไรด์ ($p < 0.05$) เมื่อสาหร่ายเจริญเติบโตได้ไม่ดี (รูปที่ 4.1) ส่งผลให้สาหร่ายเกิดความเครียดและสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันเซลล์เสื่อมสภาพในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

การศึกษาของ Santos, Correa, Dantas & Teixeira (2019) ซึ่งศึกษารูปแบบไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อ *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่จำกัดไนโตรเจนให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าชุดควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 3.6 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบไนโตรเจนที่ไม่เหมาะสมต่อ *S. platensis* ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เอนไซม์ไม่สมดุลกันทำให้เซลล์มีการผลิตแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ส่วนการศึกษาของ Ajayan et al. (2012) เปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนโดยใช้ยูเรียและโพแทสเซียม พบว่าชุดการทดลองที่ให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต 3.12 ± 0.01 และ 2.90 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

โดยแคโรทีนอยด์มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ สามารถขับออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยวและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุมูลเปอร์ออกซิลในร่างกายมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Stahl & Sies, 2003) และพบว่ามี ความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าปริมาณฟีนอล หรือฟลาโวนอยด์จากสารสกัด (Park et al., 2018) และสามารถเพิ่มการตอบสนองของภูมิคุ้มกันและป้องกันโรคต่างๆ เช่น มะเร็ง ซึ่ง *S. platensis* มีเบต้าแคโรทีนสูง มากกว่าแคโรทีนถึง 10 เท่า เป็นหนึ่งในสารที่มีประสิทธิภาพในการ ต้านอนุมูลอิสระสูง (Asghari, Fazilati, Latifi, Salavati & Choopani, 2016) เหมาะสมต่อการใช้เป็น ส่วนผสมในโปรตีนบาร์ซึ่งต้องการสารต้านอนุมูลอิสระสูง



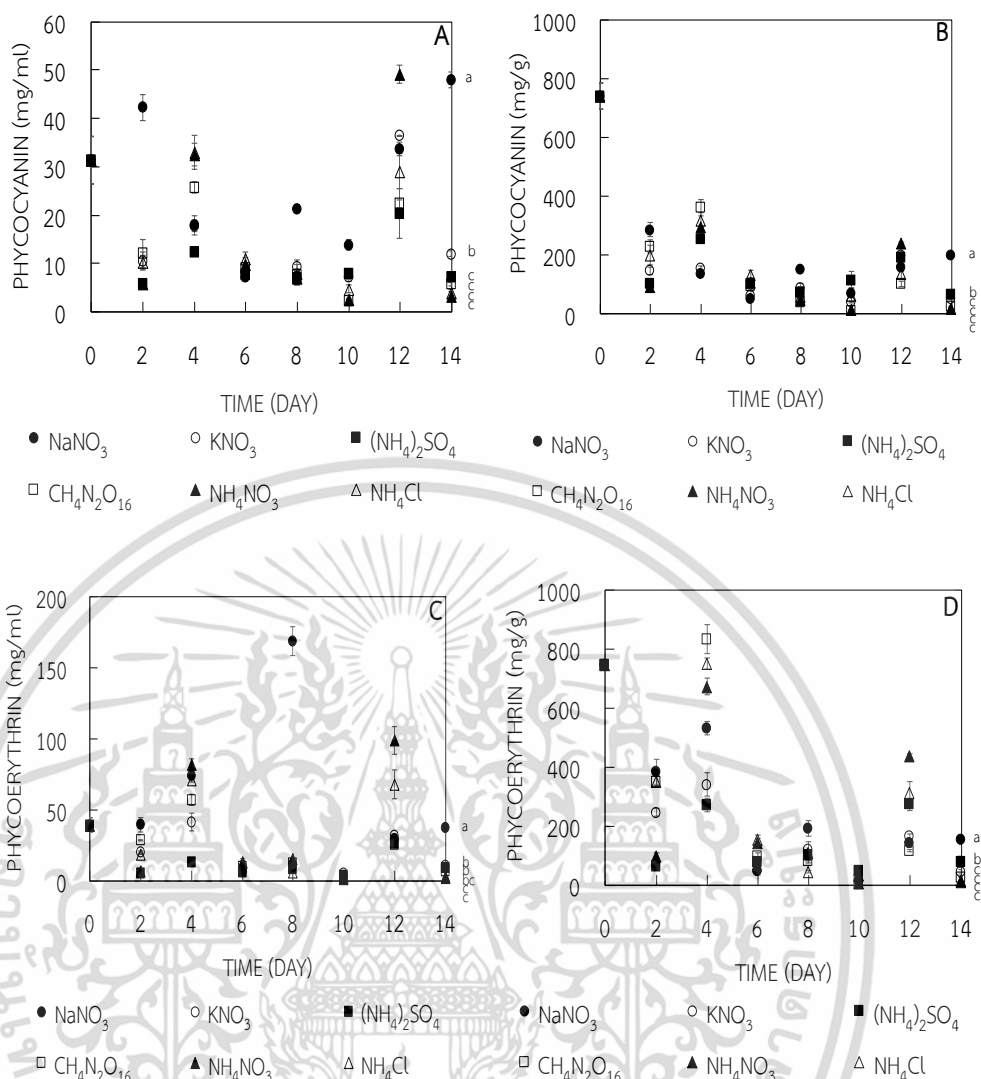
รูปที่ 4.2 ผลผลิตคลอโรฟิลล์ (A-B) และแคโรทีนอยด์ (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยง ที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.1.2.2 ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริทริน

สำหรับ *S. platensis* ที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนในวันที่ 12 ของ การเพาะเลี้ยงมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงสุด คือ 49.09 ± 1.84 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงสุด คือ 47.93 ± 1.64 มิลลิกรัมต่อ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิลิตร (รูปที่ 4.3A, ตารางผนวกที่ 6) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ (รูปที่ 4.3B, ตารางผนวกที่ 7) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ส่วน Mirhosseini et al. (2021) ศึกษาเปรียบเทียบแหล่งไนโตรเจนที่ต่างกันต่อ *Arthrospira maxima* โดยใช้โซเดียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 0.074 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าต่ำกว่าการศึกษานี้ ขณะที่ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตส่งผลให้ปริมาณไฟโคไซยานินลดลงอย่างรวดเร็ว โดยไฟโคไซยานินจะแปรผันตามแหล่งไนโตรเจน ซึ่ง *S. platensis* มีความสามารถในการเก็บสะสมธาตุอาหารและถ่ายโอนเป็นอะโลไฟโคไซยานินภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (Ajayan et al., 2012) ส่งผลให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคไซยานินสูง ซึ่งไฟโคบิลิโพรตีนเป็นชีวโมเลกุลประเภทโพรตีน โดยมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบ (Ruangsomboon, 2020)

ชุดการทดลองที่ได้รับโซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคอิริธรีนสูงที่สุดในวันที่ 8 คือ 168.99 ± 10.03 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคอิริธรีนสูงที่สุดเช่นเดียวกันมีค่าเท่ากับ 37.44 ± 1.40 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.3C, ตารางผนวกที่ 8) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณไฟโคอิริธรีนต่อกรัมสำหรับพบว่าชุดการทดลองที่ให้ยูเรียมีปริมาณไฟโคอิริธรีนสูงที่สุดในวันที่ 4 คือ 833.27 ± 48.82 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตมีปริมาณไฟโคอิริธรีนสูงที่สุดคือ 155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ (รูปที่ 4.3D, ตารางผนวกที่ 9) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) เมื่อความหนาแน่นของการเพาะเลี้ยง หรือการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสูงขึ้นจะส่งผลให้สาหร่ายสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ไฟโคบิลิโพรตีน (ไฟโคไซยานินและไฟโคอิริธรีน) ที่ทำหน้าที่ในการรับแสงจะเพิ่มขึ้น (Ajayan et al., 2012) (รูปที่ 4.1) โดยรงควัตถุในกลุ่มไฟโคบิลิโพรตีนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ, เพิ่มภูมิคุ้มกันและมีหน้าที่ในการปกป้องเซลล์จากความเครียดที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งไฟโคไซยานินมีความสามารถในการต้านการอักเสบของเซลล์ สามารถกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและอนุมูลอิสระออกซิเจนได้ จากการศึกษาของ Hirata, Tanaka, Ooike, Tsunomura & Sakaguchi (2000) รายงานว่าไฟโคบิลิโพรตีนมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระใกล้เคียงกับ α -tocopherol และ caffeic acid ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ โดยไฟโคบิลิโพรตีนสามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารปลังงานที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงสำหรับนักกีฬา (โปรตีนบาร์)



รูปที่ 4.3 ผลผลิตไฟโคไซยานิน (A-B) และไฟโคอีริทริน (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.1.3 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อปริมาณโปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

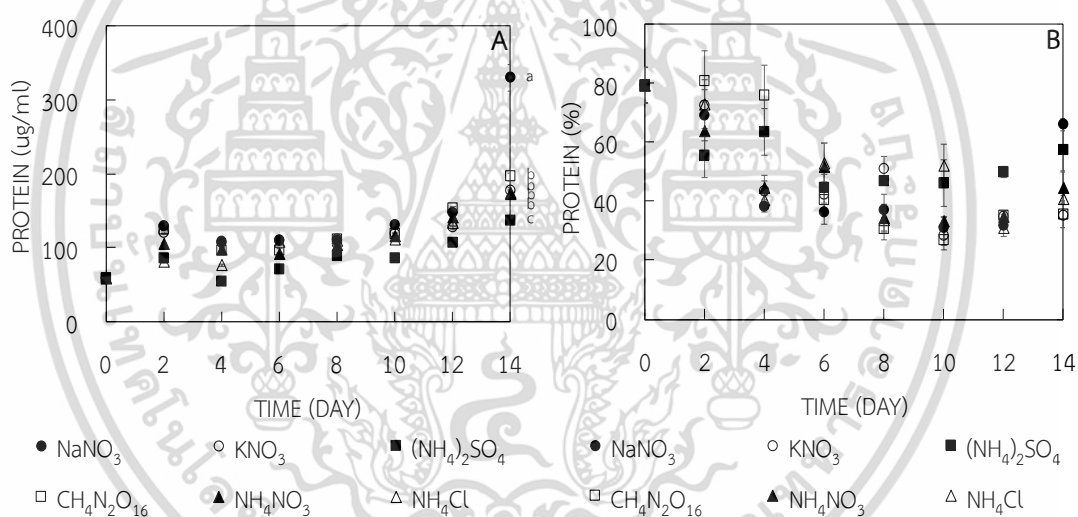
4.1.3.1 โปรตีน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ได้รับโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนมีผลผลิตโปรตีนสูงที่สุด คือ 329.89 ± 17.56 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.4A, ตารางผนวกที่ 10) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 66.07 ± 2.10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย (รูปที่ 4.4B, ตารางผนวกที่ 11) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต, ยูเรีย, แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมคลอไรด์ ($p < 0.05$) โดยไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีนและมีบทบาทในการสังเคราะห์กรดอะมิโนซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน *S. platensis* อาจดูดซึมโซเดียมไนเตรตเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสังเคราะห์โปรตีนได้ง่ายและโซเดียมไนเตรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนช่วยในการทำงานของเอ็นไซม์รีดักเตส (Costa et al., 2018) ซึ่งสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความต้องการโซเดียมมากกว่าชนิดอื่นๆ (Ruangsomboon, 2020) ในส่วนของการศึกษาของ Madkour, Kamil & Nasr (2012) ทำการผันแปรแหล่งไนโตรเจน โดยมีโซเดียมไนเตรต, แอมโมเนียมไนเตรตและยูเรียพบว่าโซเดียมไนเตรตให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งไนโตรเจนอื่น คือ 52.62 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลการศึกษา

ซึ่งโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเทียบเท่าคาร์โบไฮเดรต ใน 1 กรัม ให้พลังงานโดยประมาณ 4 กิโลแคลอรี และโปรตีนทำหน้าที่ในการซ่อมแซมและเสริมสร้างส่วนที่สึกหรอของร่างกาย เนื่องจากโปรตีนในร่างกายมีการย่อยสลายและสร้างใหม่อยู่ตลอดเวลา ร่างกายมนุษย์จึงต้องการกรดอะมิโนเพื่อใช้เป็นแหล่งในการผลิตโปรตีน, การบริโภคโปรตีนจากพืช หรือสาหร่ายขนาดเล็กเป็นหนึ่งในการควบคุมการได้รับพลังงานจากไขมันส่วนเกินจากเนื้อสัตว์และยังได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายอีกด้วย ซึ่งนักกีฬาต้องการโปรตีน 1.7 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม การเสริมโปรตีนเพื่อเร่งการฟื้นตัวของนักกีฬาจากการออกกำลังกาย หรือร่างกายจากภาวะเหนื่อยล้าจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม นอกจากนี้โปรตีนยังมีหน้าที่ในการผลิตสารแอนติบอดี หรือภูมิคุ้มกันในร่างกาย การใช้ *S. platensis* ที่มีโปรตีนสูงผสมในโปรตีนบารจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม



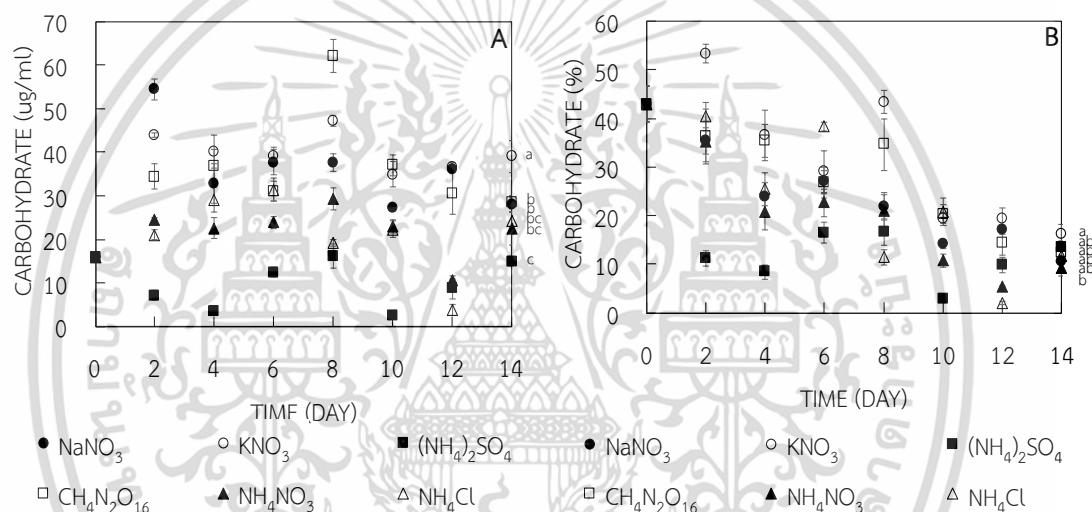
รูปที่ 4.4 ผลผลิตโปรตีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (A) และปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) (B) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.1.3.2 คาร์โบไฮเดรต

สาหร่าย *S. platensis* ที่ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนในวันที่ 8 ของการเพาะเลี้ยงมีคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด คือ 62.05 ± 3.80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรตให้คาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด คือ 39.01 ± 3.72 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.5A, ตารางผนวกที่ 12) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักแห้งพบว่าชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมไนเตรตมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดที่สิ้นสุดการทดลอง คือ 16.26 ± 1.87 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสหาร่าย (รูปที่ 4.5B, ตารางผนวกที่ 13) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรต ($p < 0.05$) โดยคาร์โบไฮเดรตจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีน พบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูง ขณะที่โปรตีนมีค่าต่ำ เนื่องจากธาตุอาหารอาจไม่เพียงพอ *S. platensis* จึงสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน ซึ่งจะทำให้เซลล์มีการสะสมแป้งและไขมันมากกว่าปกติ (Ruangsomboon, Choochote & Taveekijakarn, 2010) ในส่วนการศึกษาของ Madkour et al. (2012) เมื่อผันแปรแหล่งไนโตรเจนระหว่างโซเดียมไนเตรต, แอมโมเนียมไนเตรตและยูเรียต่อ *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรตมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าชุดการทดลองอื่นในทุกระดับความเข้มข้นไนโตรเจนเท่ากับ 16.30 - 24.50 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสหาร่าย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้



รูปที่ 4.5 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (A) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์) (B) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.1.3.3 ไขมัน

ชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตมีปริมาณไขมันสูงที่สุด คือ 34.65 ± 1.78 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสหาร่าย (ตารางที่ 4.1) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$) ซึ่งสัมพันธ์กับผลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต เมื่อโปรตีนมีค่าต่ำจะส่งผลให้ *S. platensis* มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพิ่มขึ้น (Uslu, Isik, Koc & Goksan, 2010) เนื่องจากระยะปลายการเพาะเลี้ยงแหล่งไนโตรเจนที่มีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสหาร่าย ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้สหาร่ายสะสมลิพิดมากขึ้น (Ruangsomboon, 2020) ขณะที่การศึกษาของ Madkour et al. (2012) พบว่าชุดการทดลองที่ให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณไขมันสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น คือ 15.39 ± 1.31 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสหาร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Nitrogen sources	Lipid content (%)
NaNO ₃	24.15 ± 0.45 ^b
KNO ₃	34.65 ± 1.78 ^a
(NH ₄) ₂ SO ₄	26.30 ± 1.71 ^b
CH ₄ N ₂ O ₁₆	26.22 ± 1.27 ^b
NH ₄ NO ₃	22.95 ± 0.55 ^b
NH ₄ Cl	27.47 ± 0.93 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.1.4 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อชนิดกรดไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

จากการศึกษาพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับแหล่งไนโตรเจนทุกรูปแบบมีกรดไขมัน C16:0 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 24.08 - 74.64 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.2) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 48.90 - 81.71 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดพบในสาหร่ายที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตและโซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 18.29 - 51.10 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) อยู่ในช่วง 1.16 - 13.67 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) 15.13 - 37.43 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดไขมันชนิดที่พบมากที่สุด ใน *S. platensis* คือ C16:0 หรือ Palmitic acid และพบว่าชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมไนเตรตมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์สูงสุด ซึ่งพบว่าเป็นชนิดที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ C18:2n6c หรือ Linoleic acid (LA) และ C18:3n6 หรือ γ -linolenic acid (GLA) มีค่า 3.42 และ 22.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ชุดการทดลองที่ให้แอมโมเนียมซัลเฟตมีกรดไขมันชนิด C18:1n9c หรือ Oleic acid สูงที่สุด คือ 2.46 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตพบกรดไขมันชนิด C18:3n3 หรือ Linolenic acid สูงที่สุด ซึ่งอยู่ในกลุ่มโอเมก้า-3 คือ 2.22 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 ชนิดกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Fatty acid		NaNO ₃	KNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CH ₄ N ₂ O ₁₆	NH ₄ NO ₃	NH ₄ Cl
Butyric Acid	C4:0	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
Caproic Acid	C6:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Capric Acid	C10:0	0.04	0.02	0.03	0.00	0.14	0.01
Lauric Acid	C12:0	2.44	0.00	2.25	4.96	7.54	0.04
Tridecanoic Acid	C13:0	0.00	4.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Myristic Acid	C14:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.49
Myristoleic Acid	C14:1	0.96	2.33	0.60	2.51	10.54	0.00
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.02	0.00	0.02	0.05	0.12	0.00
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.04	0.03	0.03	0.03	0.26	0.03
Palmitic Acid	C16:0	72.35	37.77	74.64	40.05	24.08	39.48
Heptadecanoic Acid	C17:0	0.00	8.92	0.00	9.14	0.00	7.36
Stearic Acid	C18:0	0.34	0.30	0.28	0.15	0.00	0.28
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.06	0.00	0.07	0.24	0.01	0.00
Oleic Acid	C18:1n9c	2.10	0.93	2.46	0.87	1.69	1.07
Linoleic Acid	C18:2n6c	2.58	2.14	2.42	1.53	3.42	2.06
Linolenic Acid	C18:3n3	2.22	0.00	1.78	0.00	1.33	0.00
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	1.05	19.34	6.57	19.46	22.09	19.47
Arachidic Acid	C20:0	2.24	19.45	2.14	19.72	12.86	19.33
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.00	0.07	0.35	0.02	1.17	0.06
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.99	0.15	0.03	0.07	6.44	0.19
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	3.19	1.96	0.00	0.47	0.00	3.02
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.75	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00
Heneicosanoic Acid	C21:0	3.19	0.55	0.00	0.19	0.00	1.06
Behenic Acid	C22:0	0.00	1.74	0.00	0.55	3.47	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Fatty acid		NaNO ₃	KNO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	CH ₄ N ₂ O ₁₆	NH ₄ NO ₃	NH ₄ Cl
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.00	0.00	1.15	0.00	1.59	0.00
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic Acid	C22:6n3	4.34	0.00	4.15	0.00	2.58	0.00
Tricosanoic Acid	C23:0	1.04	0.00	0.41	0.00	0.51	0.04
Lignoceric Acid	C24:0	0.00	0.00	0.04	0.00	0.15	0.01
SFA		81.71	73.06	79.83	74.81	48.90	74.11
UFA		18.29	26.94	20.17	25.19	51.10	25.89
MUFA		3.16	3.36	3.51	3.66	13.67	1.16
PUFA		15.13	23.58	16.66	21.53	37.43	24.74
TFA		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

SFA-Saturated fatty acid, UFA-Unsaturated fatty acid, MUFA-Monounsaturated fatty acid, PUFA-Polyunsaturated fatty acid, TFA-Total fatty acid.

4.1.5 แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Spirulina platensis*

สาหร่ายที่ได้รับปุ๋ยเป็นแหล่งไนโตรเจนมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ 31.65 ± 0.65 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3) โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ได้รับแอมโมเนียมซัลเฟต ($p < 0.05$) ซึ่งการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบโดยวิธี Diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) โดยใช้สารสกัดจากแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *S. platensis* การศึกษาของ Anbarasan et al. (2011) รายงานว่าสารสกัดเอทานอลิกของ *S. platensis* มีค่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ 27.88 ± 1.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการศึกษานี้ ส่วนการศึกษาของ Hidayati et al. (2020) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและรงควัตถุของ *S. platensis* พบว่า *S. platensis* สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระเท่ากับ 46.12 ± 2.03 เปอร์เซ็นต์ โดยอาจมีผลจากไฟโคบิลิโปรตีนร่วมด้วย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษานี้และการศึกษาของ Park et al. (2018) ศึกษาการประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินในรูปแบบผงของ *S. platensis* พบว่าไฟโคไซยานินและแคโรทีนอยด์สามารถแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 18.7 ± 0.2 และ 18.5 ± 0.5 ไมโครโมลของวิตามินอีต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 การประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

Treatment	% inhibition (Mean \pm SE)	
	DPPH	
<i>S. platensis</i> cultivated under NaNO ₃	26.80 ± 0.75^{de}	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

Treatment	% inhibition (Mean \pm SE)
	DPPH
<i>S. platensis</i> cultivated under KNO ₃	25.38 \pm 0.45 ^{de}
<i>S. platensis</i> cultivated under (NH ₄) ₂ SO ₄	23.25 \pm 0.69 ^e
<i>S. platensis</i> cultivated under CH ₄ N ₂ O ₁₆	31.65 \pm 0.65 ^d
<i>S. platensis</i> cultivated under NH ₄ NO ₃	30.02 \pm 0.31 ^d
<i>S. platensis</i> cultivated under NH ₄ Cl	29.22 \pm 0.44 ^{de}
Ascorbic acid	95.99 \pm 0.98 ^a
Vitamin E (Tocopherol)	77.93 \pm 1.40 ^b
BHT	69.66 \pm 3.62 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis*

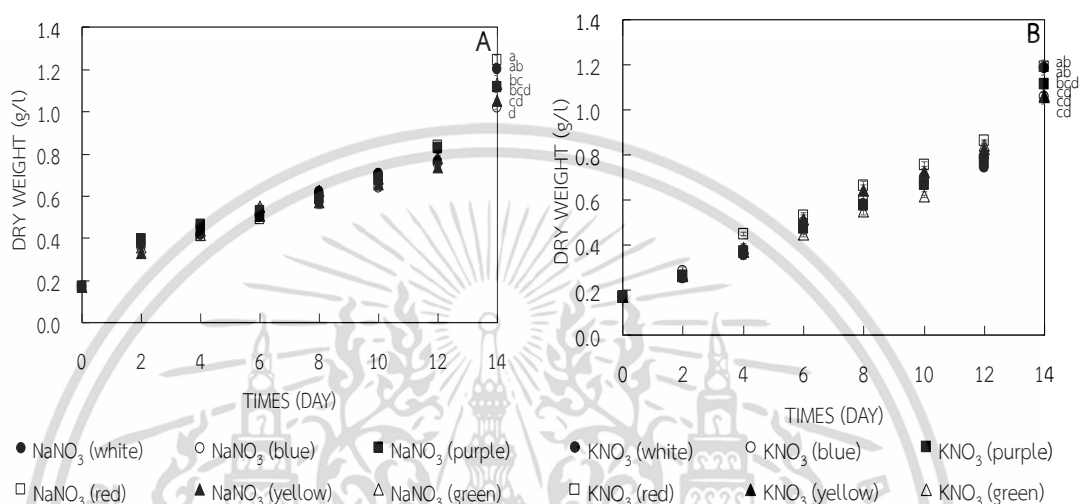
4.2.1 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis*

การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน โดยผันแปรความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน 6 สี ได้แก่ สีม่วง, ฟ้า, เขียว, เหลือง, แดงและขาว ซึ่งมีความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 380 - 440, 485 - 500, 500 - 565, 565 - 590, 620 - 645 และ 400 - 800 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าที่สิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนและได้รับแสงสีแดงมีผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คือ 1.25 \pm 0.01 กรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.6, ตารางผนวกที่ 14) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, ม่วง, เหลือง, เขียวและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, ม่วง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ต่างกันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตแตกต่างกัน โดย Prates et al. (2018) พบว่าการประยุกต์ใช้ LED เป็นแหล่งพลังงานแสงในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* เพื่อกระตุ้นการผลิตชีวมวลได้ดี โดยเปรียบเทียบแสงสีน้ำเงิน, เขียว, แดงและขาว โดย LED สีแดงให้ปริมาณความเข้มข้นผลผลิตชีวมวลสูงที่สุด คือ 1.77 \pm 0.02 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษานี้ โดยตรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสงของ *S. platensis* คลอโรฟิลล์ เอ ที่สามารถดูดซับหรือจับพลังงานที่ความยาวคลื่นในแถบ 430 และ 680 นาโนเมตรและไฟโคบิลิโพรตีนสามารถดูดซับพลังงานที่ความยาวคลื่นในแถบ 550 และ 620 นาโนเมตร ซึ่งไฟ LED สีแดงครอบคลุมการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่ 620 - 645 นาโนเมตร ส่งผลให้เซลล์สาหร่ายมีการใช้พลังงานมากขึ้นและมีการผลิตผลผลิตชีวมวลสูงขึ้นเนื่องจากแสงสีแดงสามารถกระตุ้นการดูดซึมอาหารโดยเอ็นไซม์รีดักเตส (Peter et al., 2014) สัมพันธ์กับการศึกษาของ Wang et al. (2007) ศึกษาเปรียบเทียบ LED สีแตกต่างกันต่อ *S. platensis* พบว่า LED สีแดงให้ผลผลิตชีวมวลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า 0.45 กรัมต่อลิตร อาจเป็นเพราะ LED สีแดงมีการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดที่จำเป็นสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์แสง เซลล์สาหร่ายจึงสามารถดูดซับแสงสีแดงผ่านคลอโรฟิลล์ ส่วนการศึกษาของ Ravelonandro et al. (2008) ทำการเปรียบเทียบแสงสีแตกต่างกันต่อ *S. platensis* โดยใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน พบว่าแสงสีเขียวให้ความเข้มข้นชีวมวลสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแสงสีอื่นเท่ากับ 2,446 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่แสงสีฟ้าให้ความเข้มข้นชีวมวลต่ำที่สุด 1,726 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาพบว่าแหล่งไนโตรเจนและแสงสีไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* ($p = 0.203$)



รูปที่ 4.6 ผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรต (A) และ โพแทสเซียมไนเตรต (B) เป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

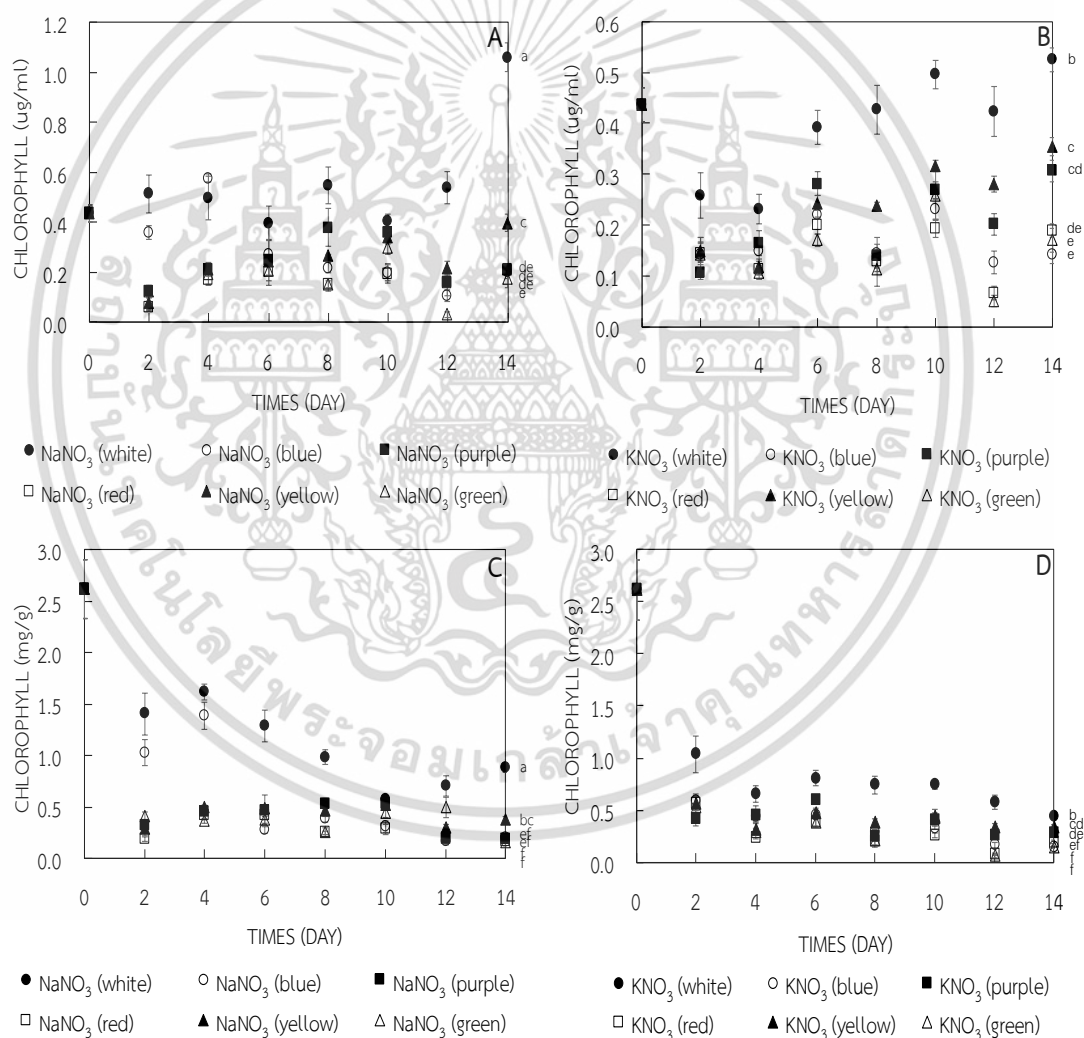
4.2.2 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อปริมาณรงควัตถุของสาหร่าย *Spirulina platensis*

4.2.2.1 คลอโรฟิลล์

สาหร่าย *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวในวันที่ 8 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือ 0.54 ± 0.07 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.7A-B, ตารางผนวกที่ 15) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, ม่วง, แดง, เหลือง, เขียวและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตที่ได้รับแสงสีฟ้า, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือ 1.05 ± 0.05 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เช่นเดียวกัน ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$) เนื่องจากคลอโรฟิลล์สามารถดูดซับหรือจับพลังงานที่ความยาวคลื่นในแถบ 430 และ 680 นาโนเมตร ซึ่งแสงสีขาวครอบคลุมการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่ 400 - 800 นาโนเมตร ส่งผลให้เซลล์มีการผลิตคลอโรฟิลล์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงมากขึ้น (Prates et al., 2018) ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อกรัมของสาหร่ายสูงที่สุดในวันที่ 4 ของการเพาะเลี้ยงเท่ากับ 1.62 ± 1.28 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (รูปที่ 4.7C-D, ตารางผนวกที่ 16) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วง, แดง, เหลือง, เขียวและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลองชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือ 0.88 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อกรัมสหาร่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$) จากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาวส่งผลให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง ส่วนการศึกษาของ Ravelonandro et al. (2008) เปรียบเทียบแสงสีเขียว, ขาว, แดงและฟ้าต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ให้แสงสีฟ้าให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า 0.23 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบหลักของดีเอ็นเอ, อาร์เอ็นเอ, เอนไซม์และกรดอะมิโน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในคลอโรพลาสต์ที่ทำหน้าที่สร้างคลอโรฟิลล์ ซึ่งคลอโรฟิลล์มีหน้าที่ในการจับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสง แสดงให้เห็นว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงต่อการผลิตคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis* ($p = 0.000$)

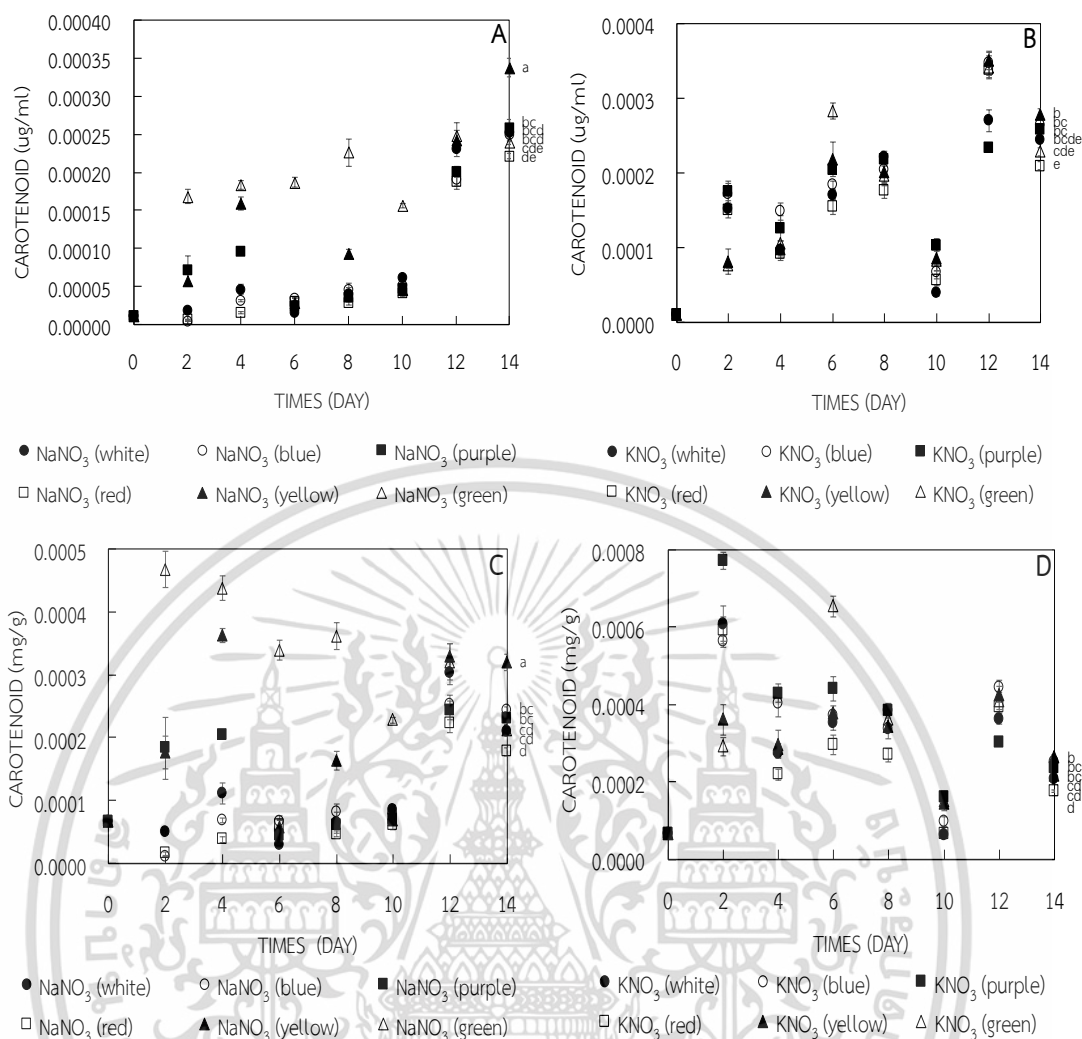


รูปที่ 4.7 ผลผลิตคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (A-B) และปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยมีความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ($p < 0.05$) สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 แครอทินอยด์

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเหลืองมีปริมาณแครอทินอยด์สูงที่สุด 0.0003 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.8A-B, ตารางผนวกที่ 17) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกชุดการทดลอง ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณแครอทินอยด์ต่อกรัมสารหว่ายพบว่าวันที่ 2 ของการเพาะเลี้ยง ชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงมีปริมาณแครอทินอยด์สูงที่สุด คือ 0.0007 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมสารหว่าย (รูปที่ 4.8C-D, ตารางผนวกที่ 18) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเหลืองให้ปริมาณแครอทินอยด์สูงที่สุด คือ 0.0003 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมสารหว่าย ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) จากการศึกษาจะพบได้ว่าชุดการทดลองที่มีปริมาณแครอทินอยด์สูงที่สุดเป็นชุดการทดลองที่ *S. platensis* เจริญเติบโตได้ไม่ดี (รูปที่ 4.6A-B) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสารหว่ายเจริญเติบโตได้ไม่ดีจะส่งผลให้สารหว่ายเกิดความเครียดและสะสมแครอทินอยด์เพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันเซลล์เสื่อมสภาพในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่วนการศึกษาของ Saavedra, Jimenez & Figueroa (1996) ศึกษาแสงสีที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตการสะสมแครอทินอยด์ของ *Dunaliella bardawil* โดยเปรียบเทียบระหว่างสีขาวและแดง พบว่าแสงสีแดงยับยั้งการเจริญเติบโตของสารหว่ายแต่ให้ปริมาณแครอทินอยด์สูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาว โดยมีค่า 8.09 ± 0.32 และ 1.30 ± 0.09 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผลการศึกษาและการสะสมของแครอทินอยด์สามารถลดอัตราการก่อตัวของสารอนุมูลอิสระ (Xu & Harvey, 2019) จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงสีในการผลิตแครอทินอยด์ของ *S. platensis* ($p = 0.010$)



รูปที่ 4.8 ผลผลิตแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (A-B) และปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัม) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

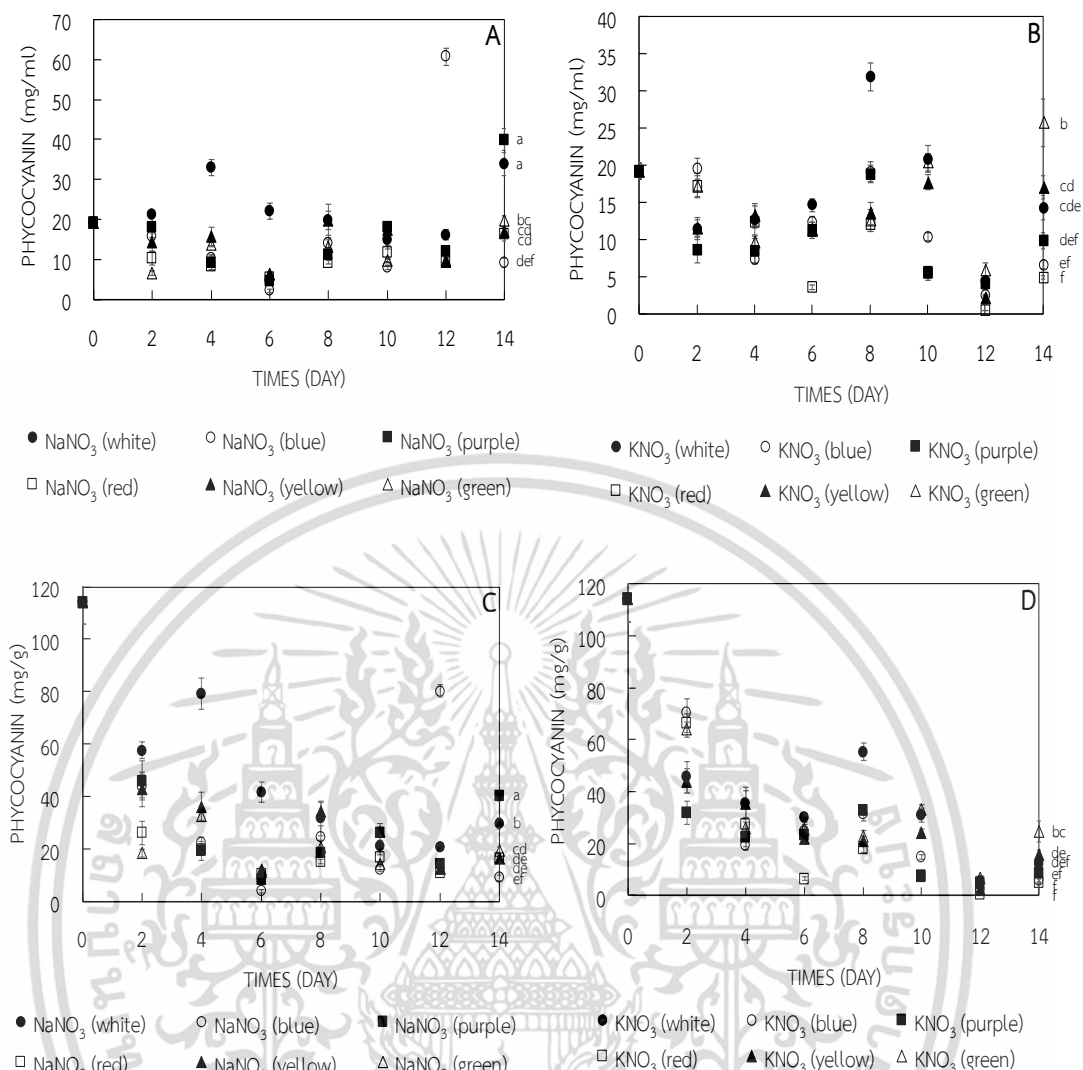
4.2.2.3 ไฟโคไซยานิน

S. platensis ที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้าในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด คือ 60.67 ± 2.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.9A-B, ตารางผนวกที่ 19) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไม่สามารถดูดซับแสงสีฟ้าได้อย่างเต็มที่เพราะสาหร่ายชนิดนี้ไม่มีคลอโรฟิลล์ บีและซีในการจับความยาวคลื่นแสงสีฟ้า สาหร่ายจึงต้องผลิตไฟโคไซยานินเพิ่มเพื่อช่วยในการดูดซับแสง (Schulze, Barreira, Pereira, Perales & Varela, 2014) โดยผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าที่สิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด คือ 39.94 ± 2.73 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, แดง, เหลือง, เขียวและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยได้รับแสงสีขาว, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) และเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเท่ากับ 40.25 ± 2.07 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย (รูปที่ 4.9C-D, ตารางผนวกที่ 20) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ส่วนการศึกษาของ Prates et al. (2018) โดยเปรียบเทียบแสงสีน้ำเงิน, เขียว, แดงและขาวต่อ *S. platensis* พบว่าแสงสีเขียวให้ปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น มีค่า 126.39 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเขียวมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงกว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตแต่ได้รับแสงสีอื่น ส่วนการศึกษาของ Bachchhav et al. (2017) ศึกษาแสงสีที่แตกต่างกันในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* โดยเปรียบเทียบแสงสีแดง, ขาว, เหลืองและฟ้า พบว่าแสงสีเหลืองให้ปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น โดยมีค่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยจากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงให้ปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด แต่ชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเขียวมีปริมาณไฟโคไซยานินสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงสีในการผลิตไฟโคไซยานิน ($p = 0.000$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



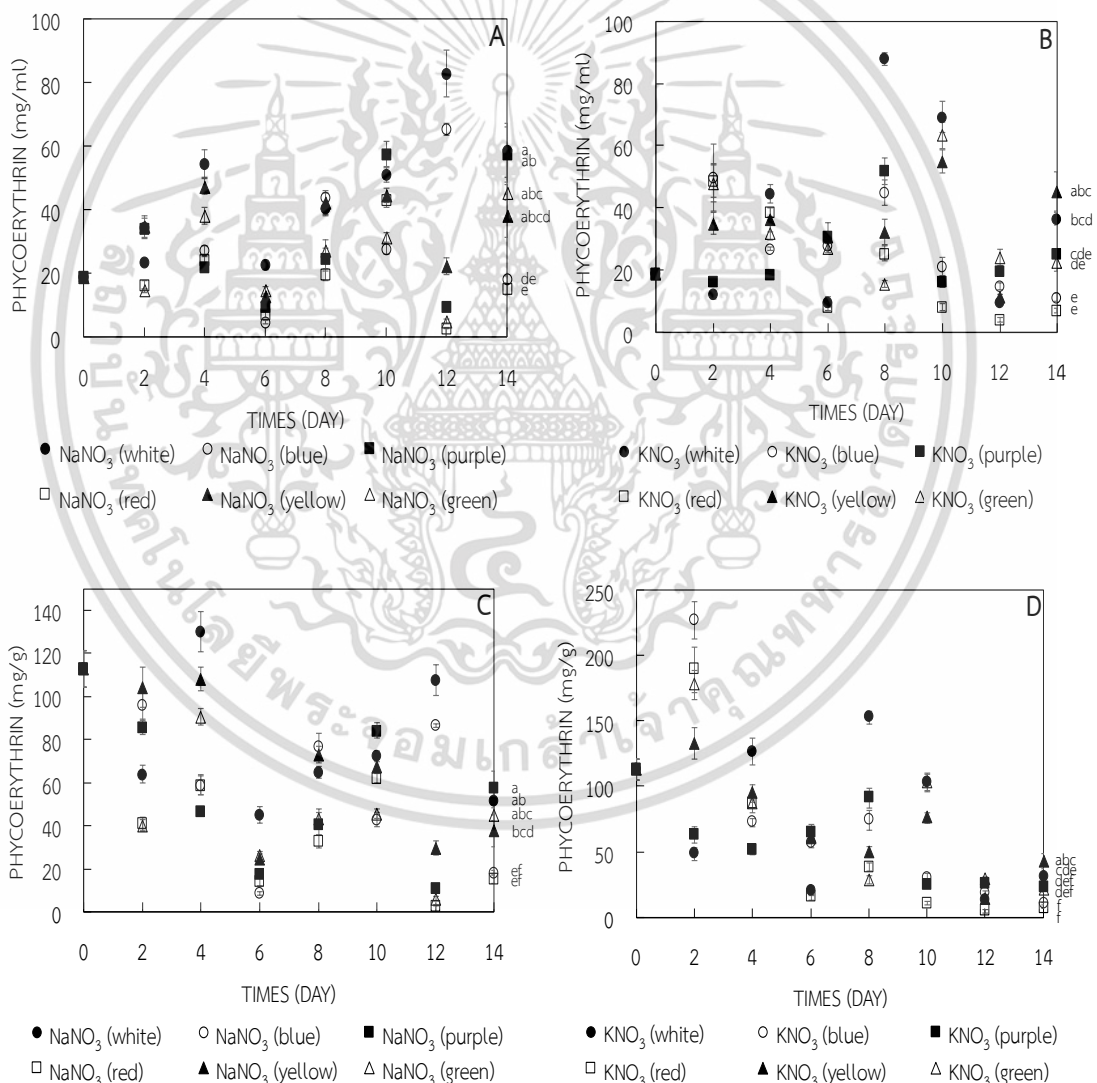
รูปที่ 4.9 ผลผลิตไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) (A-B) และปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัม) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.2.2.4 ไฟโคอิริธริน

ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณไฟโคอิริธรินสูงที่สุดในวันที่ 12 คือ 82.76 ± 7.36 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.10A-B, ตารางผนวกที่ 21) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลองพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณไฟโคอิริธรินสูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 58.65 ± 8.38 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, แดงและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้า, ม่วง, แดงและเขียว ($p < 0.05$) ส่วนปริมาณไฟโคอิริธรินต่อกรัมสาหร่ายพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้ามีปริมาณไฟโคอิริธรินสูงที่สุดในวันที่ 2 คือ $226.64 \pm$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่สิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงมีปริมาณไฟโคอิริทริน สูงที่สุด คือ 57.68 ± 7.94 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ (รูปที่ 4.10C-D, ตารางผนวกที่ 22) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, แดง, เหลืองและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้า, ม่วง, แดงและเขียว ($p < 0.05$) จากการศึกษาพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเขียวก็มีปริมาณไฟโคอิริทรินสูงเช่นเดียวกัน โดยมีค่า 45.22 ± 2.94 มิลลิกรัมต่อกรัมสำหรับ เนื่องจากแสงสีเขียวสามารถกระตุ้นการผลิตไฟโคบิลิโปรตีนของสาหร่ายได้ โดย LED แสงสีเขียวและสีเหลืองส่งผลให้มีปริมาณไฟโคบิลิโปรตีนสูง (Schulze et al., 2014) เนื่องจากไฟโคอิริทรินดูดกลืนคลื่นแสงสีเขียวได้ดีที่สุด (Ruangsomboon, 2020) จากการศึกษาพบว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงสีในการผลิตไฟโคอิริทริน ($p = 0.000$)



รูปที่ 4.10 ผลผลิตไฟโคอิริทริน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) (A-B) และปริมาณไฟโคอิริทริน (มิลลิกรัมต่อกรัม) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

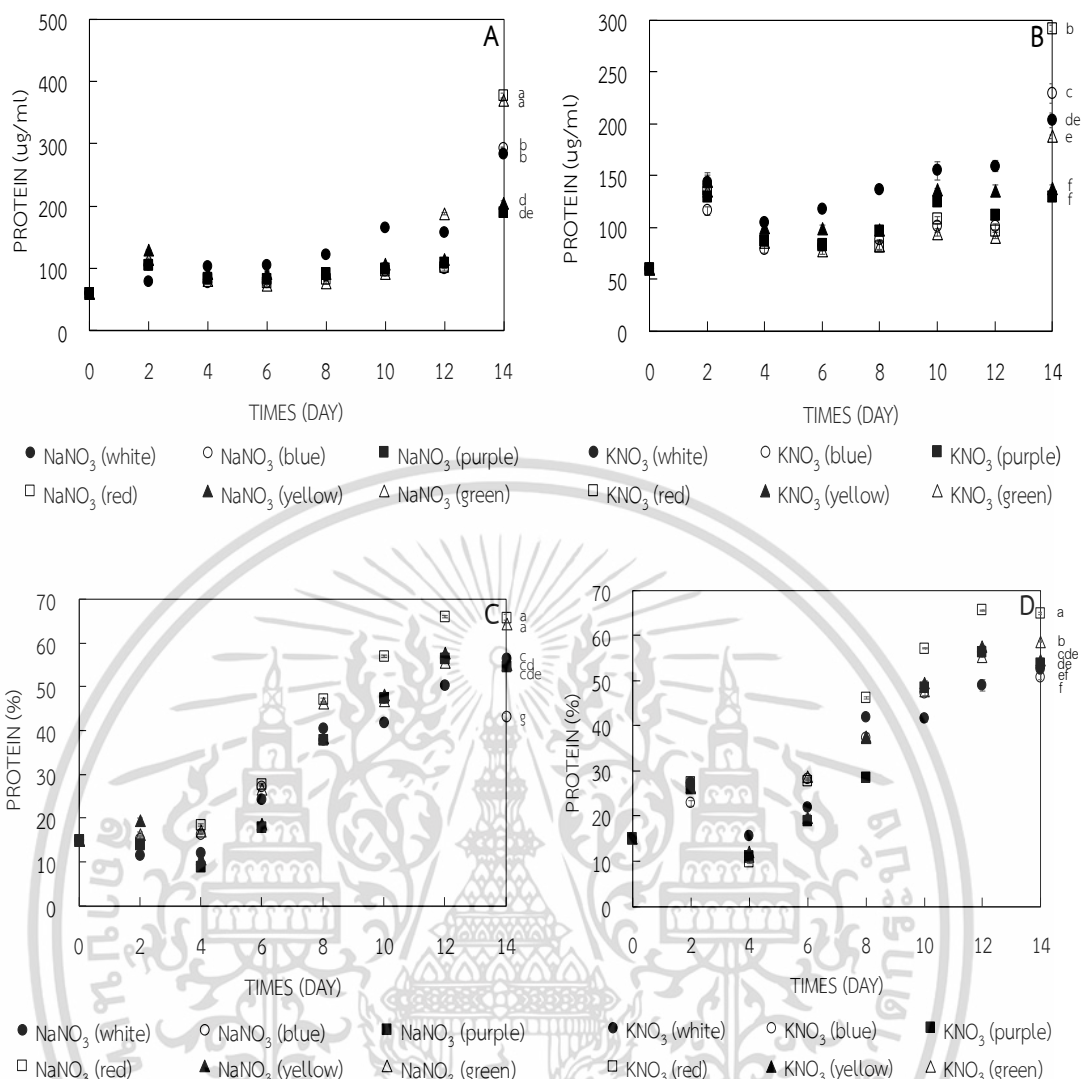
พิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2.3 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อโปรตีน, คาร์โบไฮเดรตและไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

4.2.3.1 โปรตีน

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนและรับแสงสีแดงมีผลผลิตโปรตีนสูงสุด คือ 377.85 ± 3.20 ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร (รูปที่ 4.11A-B, ตารางผนวกที่ 23) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, เหลืองและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 65.89 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย (รูปที่ 4.11C-D, ตารางผนวกที่ 24) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, เหลืองและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) สัมพันธ์กับการศึกษาของ Prates et al. (2018) โดยเปรียบเทียบแสงสีน้ำเงิน เขียว, แดงและขาว พบว่าแสงสีแดงและเขียวให้ความเข้มข้นโปรตีนสูงสุด มีค่า 57.40 และ 56.03 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่ายตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลการศึกษานี้ โดยแสงสีแดงสามารถกระตุ้นกระบวนการเมตาบอลิซึมและการผลิตโปรตีนของ *S. platensis* (Peter et al., 2014) สัมพันธ์กับผลผลิตชีวมวลภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ได้รับแสงสีแตกต่างกัน สาหร่ายมีแนวโน้มที่จะผลิตโปรตีนเพื่อรักษาความสมดุลของความเข้มข้นของเซลล์ที่สูงขึ้น ส่วนการศึกษาของ Ravelonandro et al. (2008) เปรียบเทียบแสงสีเขียว, ขาว, แดงและฟ้าต่อการเพาะเลี้ยง *S. platensis* พบว่าชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาวให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 61 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย เมื่อเทียบกับแสงสีฟ้า, แดงและเขียว แต่ชุดการทดลองที่ให้แสงสีเขียวให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แสงสีแดงและเขียว มีค่า 59 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย โดยจากผลการศึกษานี้พบว่าในชุดการทดลองที่ให้แหล่งไนโตรเจนทั้ง 2 แหล่งที่ได้รับแสงสีแดงให้ปริมาณโปรตีนสูง ถึงแม้ว่าในชุดการทดลองที่ใช้โพแทสเซียมเป็นแหล่งไนโตรเจนมีปริมาณโปรตีนเพียง 52.60 ± 0.59 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย แต่กลับมีปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับแสงสีอื่น พบว่าแสงสีมีปฏิสัมพันธ์กับแหล่งไนโตรเจนในการผลิตโปรตีน ($p = 0.000$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

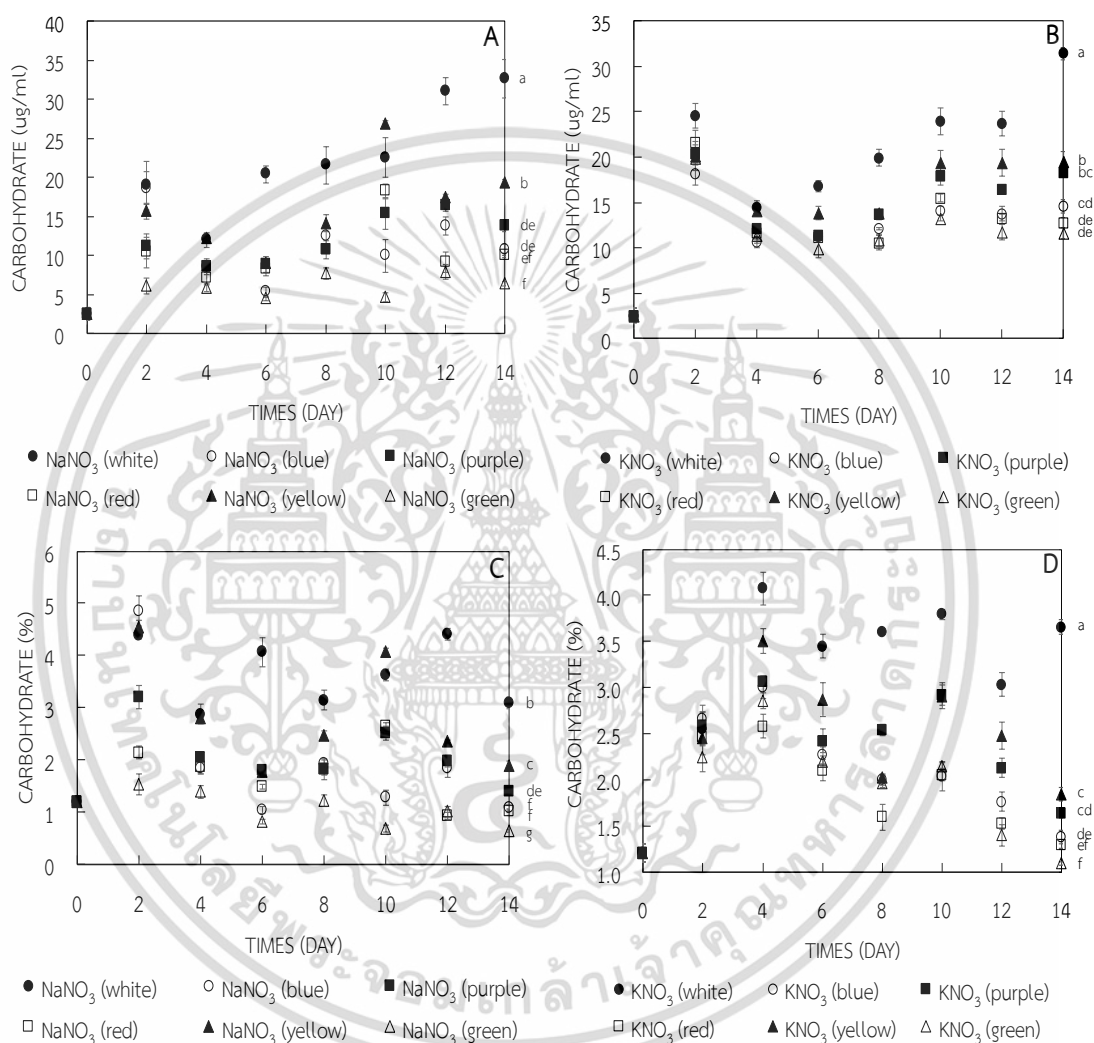


รูปที่ 4.11 ผลผลิตโปรตีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) (A-B) และปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.2.3.2 คาร์โบไฮเดรต

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง *S. platensis* ที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวให้ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด คือ 32.64 ± 2.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร (รูปที่ 4.11A-B, ตารางผนวกที่ 25) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) ขณะที่เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักรวมพบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้าในวันที่ 2 ของการเพาะเลี้ยงมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด คือ 4.85 ± 0.29 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสารแห้ง (รูปที่ 4.12C-D, ตารางผนวกที่ 26) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) และที่สิ้นสุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด คือชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวเท่ากับ 3.65 ± 0.08 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสารแห้ง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p < 0.05$) เมื่อถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะปลายการทดลองสาหร่ายมักจะสะสมคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น โดยจากผลการศึกษารังนี้พบว่า การผันแปรความยาวคลื่นแสงโดยแสงสีฟ้า, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียวส่งผลให้สาหร่ายผลิตคาร์โบไฮเดรตต่ำเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาว การศึกษาของ Prates et al. (2018) โดยเปรียบเทียบแสงสีน้ำเงิน, เขียว, แดงและขาว พบว่าชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาวให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดในทุกระดับความเข้มแสงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แสงสีฟ้า, เขียวและแดง จากการศึกษาพบว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงสีในการผลิตคาร์โบไฮเดรต ($p = 0.000$)



รูปที่ 4.12 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) (A-B) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์) (C-D) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$))

4.2.3.3 ไขมัน

ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีเหลืองมีปริมาณไขมันสูงที่สุด คือ 32.37 ± 1.33 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักสาหร่าย โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ฟ้ำ, ม่วง, เขียวและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาว, ม่วง, แดง, เหลืองและเขียว ($p < 0.05$) ซึ่งสัมพันธ์กับผลของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11) เมื่อโปรตีนมีค่าต่ำจะส่งผลให้สาหร่ายมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพิ่มขึ้น (Uslu et al., 2010) เนื่องจากสาหร่ายอาจอยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต สาหร่ายจึงสะสมลิพิดเพิ่มมากขึ้น (Ruangsomboon, 2020) ส่วนการศึกษาของ Prates et al. (2018) พบว่าชุดการทดลองที่ให้แสงสีขาวให้ปริมาณไขมันสูงที่สุดในทุกระดับความเข้มแสงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ให้แสงสีฟ้า, เขียวและแดง นอกจากนี้ผลการศึกษารังนี้แสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้แสงสีแดงสามารถผลิตไขมันสูงในระยะเวลาเดียวกับการผลิตองค์ประกอบชีวมวลอื่นๆ จากการศึกษาพบว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับแสงสีในการผลิตไขมันของ *S. platensis* ($p = 0.000$)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรตและโพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

Treatment	Lipid content (%)
NaNO ₃ white light	22.48 ± 0.23 ^b
NaNO ₃ blue light	20.81 ± 0.24 ^b
NaNO ₃ purple light	22.21 ± 0.46 ^b
NaNO ₃ red light	28.47 ± 0.77 ^a
NaNO ₃ yellow light	32.37 ± 1.33 ^a
NaNO ₃ green light	21.28 ± 0.97 ^b
KNO ₃ white light	23.31 ± 0.84 ^b
KNO ₃ blue light	30.16 ± 1.77 ^a
KNO ₃ purple light	22.89 ± 0.07 ^b
KNO ₃ red light	24.78 ± 1.24 ^b
KNO ₃ yellow light	22.46 ± 0.90 ^b
KNO ₃ green light	21.26 ± 0.86 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อชนิดกรดไขมันของสาหร่าย *Spirulina platensis*

จากการศึกษาพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงทุกรูปแบบ มีกรดไขมัน C16:0 เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 34.58 - 95.22 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.5) กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 50.55 - 97.33 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าต่ำสุดและสูงสุดพบใน *S. platensis* ที่ได้รับโพแทสเซียมที่ให้แสงสีขาวและ *S. platensis* ได้รับโซเดียมไนเตรตที่ให้แสงสีเหลือง ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มีค่าอยู่ในช่วง 2.66 - 49.44 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated fatty acid) อยู่ในช่วง 0.66 - 22.64 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acid) 2.00 - 31.97 เปอร์เซ็นต์ โดยกรดไขมันชนิดที่พบมากที่สุด ใน *S. platensis* คือ C16:0 หรือ Palmitic acid และพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์สูงสุด ซึ่งพบว่าเป็นชนิดที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ C18:2n6c หรือ Linoleic acid (LA) มีค่า 3.92 เปอร์เซ็นต์ และพบกรดไขมันชนิดที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-9 สูงที่สุด คือ C20:1 หรือ cis-11-Eicosenoic acid มีค่า 18.09 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้ามีกรดไขมันชนิด C18:1n9c หรือ Oleic acid สูงที่สุด คือ 1.281 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตและได้รับแสงสีเขียวพบกรดไขมันชนิด C18:3n3 หรือ Linolenic acid สูงที่สุด ซึ่งอยู่ในกลุ่มโอเมก้า-3 เท่ากับ 2.438 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 ชนิดกรดไขมัน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) ของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้โซเดียมไนเตรดและโพแทสเซียมไนเตรดเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

Fatty acid		NaNO ₃ (white)	NaNO ₃ (blue)	NaNO ₃ (purple)	NaNO ₃ (red)	NaNO ₃ (yellow)	NaNO ₃ (green)	KNO ₃ (white)	KNO ₃ (blue)	KNO ₃ (purple)	KNO ₃ (red)	KNO ₃ (yellow)	KNO ₃ (green)
Butyric Acid	C4:0	11.307	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Caproic Acid	C6:0	0.000	0.000	0.960	0.162	0.000	1.870	0.000	0.000	0.600	0.000	0.336	0.123
Capric Acid	C10:0	1.828	0.067	0.002	0.408	0.004	0.117	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Lauric Acid	C12:0	6.726	3.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tridecanoic Acid	C13:0	0.000	0.000	0.004	0.030	0.008	0.031	0.004	0.020	0.014	0.016	0.059	0.000
Myristic Acid	C14:0	1.841	6.146	0.000	0.000	0.031	0.131	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
Myristoleic Acid	C14:1	0.000	1.940	0.067	0.000	0.068	2.686	0.068	0.000	0.114	0.086	0.151	0.163
Pentadecanoic Acid	C15:0	0.000	0.094	1.108	2.304	1.208	0.010	3.018	2.790	2.215	0.714	0.000	4.255
cis-10-Pentadecenoic Acid	C15:1	0.000	0.000	0.101	0.000	0.126	3.373	2.649	3.289	1.845	0.346	0.255	11.102
Palmitic Acid	C16:0	34.585	40.900	89.763	62.014	94.028	55.544	45.861	55.704	74.947	91.404	95.220	49.951
Heptadecanoic Acid	C17:0	7.457	5.261	0.276	1.545	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
cis-10-Heptadecanoic Acid	C17:1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.331	0.118	0.052	0.111	0.666	0.177	0.000
Stearic Acid	C18:0	0.180	0.328	0.000	0.310	0.013	0.097	0.038	0.000	0.000	0.063	0.000	0.034

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Fatty acid		NaNO ₃ (white)	NaNO ₃ (blue)	NaNO ₃ (purple)	NaNO ₃ (red)	NaNO ₃ (yellow)	NaNO ₃ (green)	KNO ₃ (white)	KNO ₃ (blue)	KNO ₃ (purple)	KNO ₃ (red)	KNO ₃ (yellow)	KNO ₃ (green)
Elaidic Acid	C18:1n9t	0.048	0.000	0.000	0.035	0.071	0.000	0.019	0.000	0.041	0.116	0.142	0.034
Oleic Acid	C18:1n9c	0.662	1.281	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.687	0.000	0.000
Linoleic Acid	C18:2n6c	1.039	1.529	0.000	0.000	0.000	0.000	3.925	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000
Linolenic Acid	C18:3n3	0.000	0.094	0.495	1.279	0.507	0.249	1.477	2.315	0.623	0.436	0.907	2.438
γ-Linolenic Acid	C18:3n6	14.703	15.928	0.000	0.564	0.154	0.448	0.770	0.410	0.305	0.760	0.129	0.487
Arachidic Acid	C20:0	16.851	15.542	2.687	1.270	1.228	1.046	1.158	1.305	1.300	2.084	0.729	1.369
cis-11-Eicosenoic Acid	C20:1	0.000	0.124	0.000	1.235	0.400	16.256	18.095	0.749	0.419	0.303	0.236	1.095
cis-11,14-Eicosadienoic Acid	C20:2	0.089	2.035	0.000	12.458	0.000	13.572	16.055	26.504	3.011	0.366	0.442	20.328
cis-11,14-17-Eicosadienoic Acid	C20:3n3	0.000	0.000	0.000	3.682	0.688	1.038	0.000	0.723	0.000	0.229	0.000	2.208
cis-8,11,14-Eicosatrienoic Acid	C20:3n6	1.908	5.731	0.041	0.122	0.230	0.090	0.090	0.054	0.123	0.703	0.264	0.056
Arachidonic Acid	C20:4n6	0.000	0.000	1.401	3.916	0.422	0.000	0.000	0.908	0.000	0.395	0.000	0.000
Heneicosanoic Acid	C21:0	0.104	0.000	0.214	0.000	0.385	0.000	0.000	0.000	0.139	0.292	0.316	0.000
Behenic Acid	C22:0	0.582	0.000	0.055	0.234	0.040	0.256	0.471	0.000	0.000	0.074	0.058	0.561

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

Fatty acid		NaNO ₃ (white)	NaNO ₃ (blue)	NaNO ₃ (purple)	NaNO ₃ (red)	NaNO ₃ (yellow)	NaNO ₃ (green)	KNO ₃ (white)	KNO ₃ (blue)	KNO ₃ (purple)	KNO ₃ (red)	KNO ₃ (yellow)	KNO ₃ (green)
cis-13,16-Docosadienoic Acid	C22:2	0.000	0.000	0.408	1.815	0.000	2.853	6.182	1.063	12.624	0.025	0.562	5.795
Tricosanoic Acid	C23:0	0.000	0.000	0.000	6.467	0.196	0.000	0.000	3.703	0.000	0.000	0.000	0.000
Lignoceric Acid	C24:0	0.000	0.000	0.691	0.000	0.072	0.000	0.000	0.398	0.989	0.234	0.015	0.000
Nervonic Acid	C24:1	0.000	0.000	1.728	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.528	0.000	0.000	0.000
SFA		81.461	71.340	95.759	74.745	97.333	59.103	50.552	63.934	80.207	94.881	96.734	56.292
UFA		18.539	28.660	4.241	25.255	2.667	40.897	49.448	36.066	19.793	5.119	3.266	43.708
MUFA		0.710	3.344	1.896	1.419	0.665	22.646	20.950	4.089	3.058	2.204	0.961	12.395
PUFA		17.829	25.316	2.345	23.836	2.002	18.251	28.498	31.976	16.735	2.914	2.306	31.313
TFA		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

SFA-Saturated fatty acid, UFA-Unsaturated fatty acid, MUFA-Monounsaturated fatty acid, PUFA-Polyunsaturated fatty acid, TFA-Total fatty acid.

4.2.5 แหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันต่อสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่าย *Spirulina platensis*

ชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีม่วงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ 37.35 ± 0.80 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.6) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, แดงและชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตโดยได้รับแสงสีฟ้า, แดงและเหลือง ($p < 0.05$) สัมพันธ์กับปริมาณแคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริทรินที่เป็นรงควัตถุหลักในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ซึ่งประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบโดยวิธี Diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) พบว่าชุดการทดลองที่ให้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนทุกความยาวคลื่นแสงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนทุกความยาวคลื่นแสง ในส่วนการศึกษาของ Xu & Harvey (2019) พบว่าแสงสีแดงส่งผลให้ *D. salina* สะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นจึงสามารถลดอัตราการก่อตัวของอนุมูลอิสระและส่งผลให้มียูบิควินอลีนสูง โดยแสงสีมีผลต่อชนิดของสาหร่ายในการเจริญเติบโตและการผลิตองค์ประกอบชีวมวลต่างๆ (Peter et al., 2014) แหล่งไนโตรเจนส่งผลต่อการเจริญเติบโต แสงสีส่งผลต่อการดูดซึมอาหารของสาหร่ายเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง โดยจากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าแหล่งไนโตรเจนมีปฏิสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงต่อการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ($p = 0.000$)

ตารางที่ 4.6 การประเมินฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่ให้ ความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

Treatment	% inhibition (Mean \pm SE)
	DPPH
NaNO ₃ white light	35.39 \pm 0.95 ^d
NaNO ₃ blue light	26.38 \pm 0.74 ^e
NaNO ₃ purple light	37.35 \pm 0.80 ^d
NaNO ₃ red light	28.47 \pm 0.50 ^e
NaNO ₃ yellow light	34.12 \pm 0.20 ^d
NaNO ₃ green light	37.02 \pm 1.09 ^d
KNO ₃ white light	36.10 \pm 0.38 ^d
KNO ₃ blue light	25.73 \pm 0.55 ^e
KNO ₃ purple light	34.70 \pm 1.16 ^d
KNO ₃ red light	24.16 \pm 0.17 ^e
KNO ₃ yellow light	25.53 \pm 0.22 ^e
KNO ₃ green light	34.13 \pm 1.19 ^d
Ascorbic acid	95.99 \pm 0.98 ^a
Vitamin E (Tocopherol)	77.93 \pm 1.40 ^b
BHT	69.66 \pm 3.62 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การแปรรูป *S. platensis* เป็นโปรตีนบาร์

4.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนบาร์เสริมด้วยสาหร่ายที่ระดับแตกต่างกัน

จากการศึกษาโปรตีนบาร์โดยเสริม *S. platensis* ที่ระดับแตกต่างกันพบว่าโปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* ทุกระดับมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 0 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.7) ซึ่งโปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* 3 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด คือ 39.94 ± 1.66 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ที่ระดับอื่น ($p < 0.05$) สัมพันธ์กับการศึกษาของ Lucas et al. (2020) ศึกษาสแน็คบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* สำหรับเด็กนักเรียน โดยเสริม *S. platensis* 0, 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสแน็คบาร์ที่มีส่วนผสมของ *S. platensis* มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสแน็คบาร์ชุดควบคุม (*S. platensis* 0 เปอร์เซ็นต์) โดยมีค่าเท่ากับ 10.40 ± 0.03 และ 12.09 ± 0.05 กรัมต่อแท่งสแน็คบาร์ ตามลำดับ ซึ่งโปรตีนจำเป็นต่อสุขภาพ, พลังงานและการเจริญเติบโตของเด็ก, ผู้ใหญ่และนักกีฬา โดยผลจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าในโปรตีนบาร์ 1 แท่ง (น้ำหนัก 30 กรัม) ให้พลังงาน 140 กิโลแคลอรี โปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ให้พลังงาน 142, 165 และ 180 กิโลแคลอรี ตามลำดับ จากตารางแสดงให้เห็นว่าโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการสารอาหารพลังงาน, ผู้ที่ควบคุมอาหารและนักกีฬา

โปรตีนบาร์ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่สุด คือโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 5.41 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับโปรตีนบาร์ที่ไม่มีการเสริม *S. platensis* ($p < 0.05$) ซึ่งคลอโรฟิลล์จาก *S. platensis* สามารถกระตุ้นการขับถ่ายของมนุษย์และป้องกันภาวะท้องผูกได้ (Ruangsomboon, 2020) โดยจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าโปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์และไฟโคไซยานินที่เป็นรงควัตถุหลักในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือ 0.0005 ± 0.00 และ 0.51 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับโปรตีนบาร์ที่ไม่มีการเสริม *S. platensis* และโปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) ขณะที่โปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* 2 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไฟโคอิริธรินสูงที่สุด คือ 0.42 ± 0.03 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับโปรตีนบาร์ที่ไม่มีการเสริม *S. platensis* และโปรตีนบาร์ที่มีการเสริมด้วย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) สัมพันธ์กับการศึกษาของ Kumar et al. (2018) ศึกษาการพัฒนาเนื้อชานบาร์ด้วย *S. platensis* ที่ระดับที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 3, 4, 5 และ 6 กรัมต่อส่วนผสม 100 กรัม พบว่าเนื้อชานบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 6 กรัม ให้ปริมาณโปรตีนสูงที่สุด 12.57 ± 0.01 กรัมต่อแท่งเนื้อชานบาร์คาร์โบไฮเดรต 62.59 ± 0.02 กรัมต่อแท่งเนื้อชานบาร์ และไขมัน 9.07 ± 0.02 กรัมต่อแท่งเนื้อชานบาร์ โดยสาหร่ายชนิดนี้มีเซลล์ulosบางกว่าชนิดอื่น ร่างกายมนุษย์จึงสามารถย่อย *S. platensis* ได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แสดงให้เห็นว่าเนื้อชานบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ถึง 48.50 ± 0.32 เปอร์เซ็นต์ และยังมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดีเช่นกัน

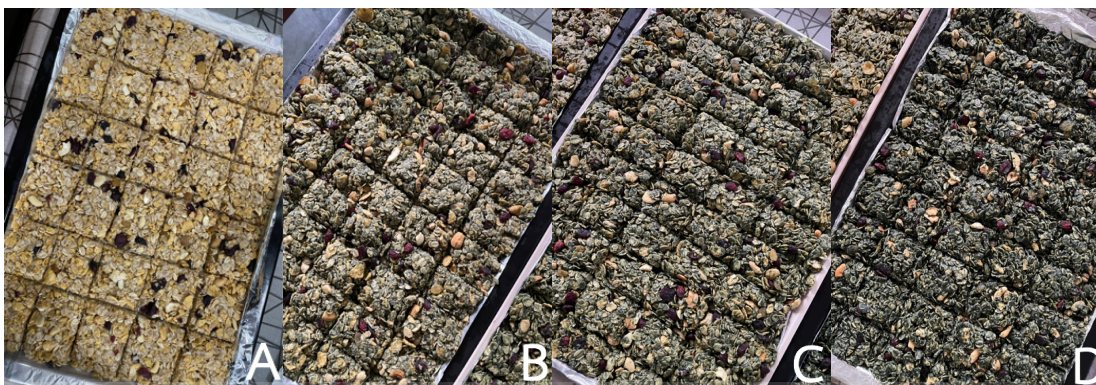
ตารางที่ 4.7 การประเมินโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับที่แตกต่างกัน

Parameters (Nutritional value)	Treatments			
	<i>Spirulina</i> 0 %	<i>Spirulina</i> 1 %	<i>Spirulina</i> 2 %	<i>Spirulina</i> 3 %
Moisture (%)	1.61 ± 0.07 ^c	2.27 ± 0.09 ^a	2.09 ± 0.03 ^{ab}	1.96 ± 0.01 ^b
Ash (%)	1.43 ± 0.00 ^a	1.53 ± 0.04 ^a	1.59 ± 0.02 ^a	1.52 ± 0.06 ^a
Protein (%)	29.97 ± 1.77 ^a	37.16 ± 3.81 ^a	37.59 ± 3.48 ^a	39.94 ± 1.66 ^a
Carbohydrates (%)	30.36 ± 1.91 ^a	23.29 ± 4.59 ^a	28.61 ± 5.69 ^a	30.12 ± 1.82 ^a
Lipids (%)	36.61 ± 1.19 ^a	35.73 ± 1.16 ^a	30.09 ± 2.52 ^{ab}	26.44 ± 0.72 ^b
Chlorophyll (%)	0.00 ± 0.00 ^b	3.30 ± 0.76 ^{ab}	4.18 ± 0.18 ^a	5.41 ± 0.70 ^a
Carotenoids (%)	0.0000 ± 0.00 ^c	0.0003 ± 0.00 ^b	0.0004 ± 0.00 ^{ab}	0.0005 ± 0.00 ^a
Phycocyanin (%)	0.35 ± 0.01 ^b	0.34 ± 0.02 ^b	0.49 ± 0.03 ^a	0.51 ± 0.03 ^a
Phycocerythrin (%)	0.30 ± 0.01 ^b	0.26 ± 0.01 ^b	0.42 ± 0.03 ^a	0.39 ± 0.02 ^a
Energy (Kcal)	140	142	165	180

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.3.2 สีของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับแตกต่างกัน

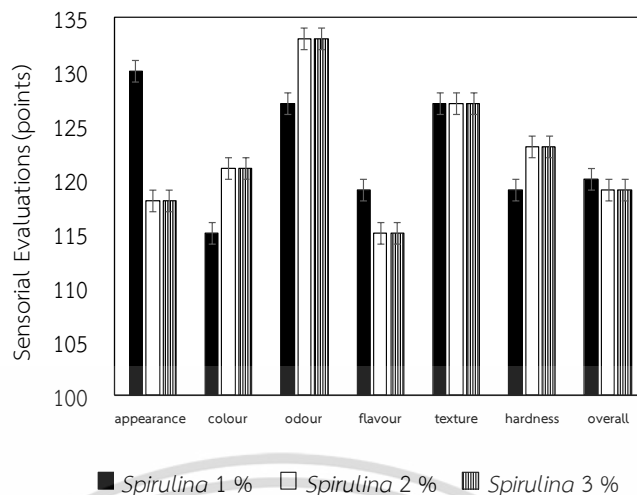
จากการประเมินทางประสาทสัมผัส โปรตีนบาร์เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับต่างๆ แสดงให้เห็นถึงสีที่แปลกตาและน่าดึงดูดของสาหร่าย (รูปที่ 4.13) ถึงแม้ว่าระดับที่เสริม *S. platensis* 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นสีเขียวเข้มที่สุดเมื่อเทียบกับระดับอื่นซึ่งทำให้ดูแปลกตาจากโปรตีนบาร์ในท้องตลาดทั่วไป แต่กลับดึงดูดความสนใจและความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์แก่ผู้ทดสอบ ซึ่งจากการแปรรูปโปรตีนบาร์พบว่าการใส่สาหร่ายลงไปไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง แต่สามารถเพิ่มความดึงดูดต่อความแปลกใหม่ของผลิตภัณฑ์ การศึกษาของ Batista et al. (2019) ศึกษาการเสริมสาหร่ายขนาดเล็กเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารคาว (แครกเกอร์) ที่ระดับ 2 และ 6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผู้ทดสอบ 30 คน พบว่าแครกเกอร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบทั้ง 2 ระดับ แต่แครกเกอร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ระดับ 2 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบสูงที่สุดจากการศึกษาผลิตภัณฑ์แปรรูปที่มีส่วนผสมของ *S. platensis* เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ทั้งยังมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการอาหารพลังงาน โดยหากสามารถลดกลิ่นหรือรสชาติของสาหร่ายลงจะทำให้รับประทานได้ง่ายและได้รับการยอมรับเพิ่มขึ้น โดยสีเป็นอีกหนึ่งลักษณะสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค



รูปที่ 4.13 โปรตีนบาร์เสริมด้วย *S. platensis* (A) 0, (B) 1, (C) 2 และ (D) 3 เปอร์เซ็นต์

4.3.3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วยสไปรูลินาในระดับแตกต่างกัน

การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation) สามารถเป็นเครื่องมือที่แสดงออกโดยทางอ้อมได้อย่างชัดเจน เช่น ลักษณะของผลิตภัณฑ์, สี, กลิ่น, รสชาติและเนื้อสัมผัส (Wiryachari, 2018) โดยการศึกษานี้ได้ทำการประเมินเพื่อทดสอบความพึงพอใจและการยอมรับผลิตภัณฑ์โปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับที่แตกต่างกัน โดยมีผู้ประเมินผลิตภัณฑ์จำนวน 50 คน เป็นเพศหญิงจำนวน 38 คน เพศชายจำนวน 12 คน แบ่งเป็นช่วงวัย ต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 1 คน, 11 - 30 ปี จำนวน 28 คน, 31 - 50 ปี จำนวน 11 คน และมากกว่า 50 ปี จำนวน 10 คน โดยเป็นนักกีฬาจำนวน 10 คน ซึ่งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร 37 คน และจังหวัดอื่น 13 คน สามารถแบ่งเป็นกลุ่มเด็ก (ต่ำกว่า 10 ปี), วัยรุ่น (อายุ 11 - 30 ปี) และผู้ใหญ่ (31 - มากกว่า 50 ปี) พบว่ากลุ่มเด็กชอบโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ทุกระดับ ส่วนกลุ่มวัยรุ่นชอบโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ ที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์อาจไม่ค่อยมีกลิ่นเหม็นเขียว และกลุ่มผู้ใหญ่ชอบโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับที่ 1 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน โดยจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผู้ประเมินสามารถยอมรับต่อผลิตภัณฑ์โปรตีนบาร์ได้ในทุกระดับ (รูปที่ 4.14) ซึ่งโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับด้านคุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์, รสชาติและความชอบโดยรวมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่โปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในระดับ 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับทางด้านสี, กลิ่นและความแข็งสูงกว่าโปรตีนบาร์เสริมด้วย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในเรื่องของเนื้อสัมผัสได้รับคะแนนจากผู้ประเมินไม่แตกต่างกัน โดยปฏิกิริยาของมนุษย์สามารถอธิบายได้ในลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี, กายภาพและชีวภาพของผลิตภัณฑ์ (Wiryachari, 2018) นอกจากนี้ผู้ประเมินกลุ่มนักกีฬา หรือออกกำลังกายเป็นประจำให้ความเห็นว่าการแปรรูปโปรตีนบาร์นี้สามารถทานได้ง่าย แต่ควรปรับขนาดให้เล็กลงเพื่อสามารถพกพาระหว่างออกกำลังกายได้อย่างสะดวก



รูปที่ 4.14 คะแนนความพึงพอใจการประเมินแบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* ในแต่ละระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

แหล่งไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *S. platensis* สายพันธุ์ KMITL คือโซเดียมไนเตรต เนื่องจากให้ผลผลิตชีวมวล, โปรตีน, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริธรีนสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 0.24 ± 0.01 กรัมต่อลิตร, 66.07 ± 2.10 เปอร์เซ็นต์, 198.74 ± 11.11 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 155.46 ± 9.81 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า *S. platensis* ที่ได้รับแอมโมเนียมไนเตรตมีกรดไขมันชนิดที่มีประโยชน์ที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ Gamma-Linolenic acid (GLA) มีค่า 22.08 เปอร์เซ็นต์ และความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสม คือแสงสีแดง โดยใช้โซเดียมไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจน เนื่องจากให้ผลผลิตชีวมวลและโปรตีนสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 1.25 ± 0.01 กรัมต่อลิตร และ 65.89 ± 0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่าชุดการทดลองที่ให้โพแทสเซียมไนเตรต โดยได้รับแสงสีขาวมีปริมาณกรดไขมันชนิดที่มีประโยชน์ที่อยู่ในกลุ่มโอเมก้า-6 สูงที่สุด คือ Linoleic acid (LA) มีค่า 3.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันต่อไฟโคไซยานิน, ไฟโคอีริธรีน, คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมันและสารต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis* และจากการแปรรูปโปรตีนบาร์ที่เสริมด้วย *S. platensis* 1, 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน, คลอโรฟิลล์, แคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริธรีนสูงกว่าโปรตีนบาร์ที่ไม่ผสมสาหร่ายและให้พลังงานที่สูงกว่า 2, 25 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแคโรทีนอยด์, ไฟโคไซยานินและไฟโคอีริธรีน เป็นรงควัตถุที่สำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงในส่วนของกรดยอมรับประทานที่พบว่าผู้ทดสอบสามารถยอมรับผลิตภัณฑโปรตีนบาร์เสริมด้วย *S. platensis* 1 เปอร์เซ็นต์ สูงที่สุด *S. platensis* จึงเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตโปรตีนบาร์อาหารเพื่อสุขภาพต่อนักกีฬาและผู้ที่ควบคุมอาหาร

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากทำการศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ ควรพิจารณาในเรื่องของการลดความหวานและลดขนาดเพื่อความสะดวกต่อการรับประทานระหว่างออกกำลังกาย

เอกสารอ้างอิง

- Ajayan, K. V., M. Selvaraju & K. Thirugnanamoorthy. (2012). Enrichment of chlorophyll and phycobiliproteins in *Spirulina platensis* by the use of reflector light and nitrogen sources : An in-vitro study. **Biomass and Bioenergy**. 47, 436-441.
- Anbarasan, V. K., V. K. Kumar & T. P. S. Venkatachalam. (2011). In vitro evaluation of antioxidant activity of blue green algae *Spirulina platensis*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**. 2(10), 2616-2618.
- Asghari, A., M. Fazilati, A. M. Latifi, H. Salavati & A. Choopani. (2016). A review on antioxidant properties of *Spirulina*. **Journal of Applied Biotechnology Reports**. 3, 345-351.
- Avila-leon, I., M. C. Matsudo, S. Sato & J. C. M. Carvalho. (2012). *Arthrospira platensis* biomass with high protein content cultivated in continuous process using urea as nitrogen source. **Journal of Applied Microbiology**. 112, 1086-1094.
- Bachchhav, M. B., M. V. Kulkarni & A. G. Ingale. (2017). Enhanced phycocyanin production from *Spirulina platensis* using light emitting diode. **Journal of The Institution of Engineers (India)**. 98, 41-45.
- Batista, A. P., A. Niccolai, I. Bursic, I. Sousa, A. Raymundo, L. Rodolfi, N. Biondi & M. R. Tredici. (2019). Microalgae as functional ingredients in savory food products: Application to wheat crackers. **Foods**. 8, 1-22.
- Becker, E. W. (1994) **Microalgae Biotechnology and Microbiology**. Great Britain: Cambridge University Press.
- Bligh, E. G. & W. J. Dyer. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**. 37, 911-917.
- Chasoy, G. R., R. M. R. Jasso, C. N. Aguilar, G. Buitron, I. Chairez & H. A. Ruiz. (2022). Growth kinetics and quantification of carbohydrate, protein, lipids, and chlorophyll of *Spirulina platensis* under aqueous conditions using different carbon and nitrogen sources. **Bioresource Technology**. 346, 1-6.
- Costa, J. A. V., K. L. Cozza, L. Oliveira & G. Magagnin. (2001). Different nitrogen sources and growth responses of *Spirulina platensis* in microenvironments. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**. 17, 439-442.
- Costa, S. S., A. L. Miranda, B. B. Andrade, D. Assis, C. O. Souza, M. Morais, J. A. V. Costa & J. I. Druzian. (2018). Influence of nitrogen on growth, biomass composition, production, and properties of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by microalgae. **Biological Macromolecules**. 1-41.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Danesi, E. D. G., C. O. R. Yagui, S. Sato & J. C. M. Carvalho. (2011). Growth and content of *Spirulina platensis* biomass chlorophyll cultivated at different values of light intensity and temperature using different nitrogen sources. **Brazilian Journal of Microbiology**. 42, 362-373.
- El-Sheekh, M. M., L. H. Hassan & H. H. Morsi. (2021). Growth enhancement of *Spirulina platensis* through optimization of media and nitrogen sources. **Egyptian Journal of Botany**. 61, 61-69.
- Estrada, P., P. B. Bescos & A. M. Fresno. (2001). Antioxidant activity of different fractions of *Spirulina platensis* protean extract. **IL Farmaco**. 56, 497-500.
- Ferreira, L. S., M. S. Rodrigues, A. Converti, S. Sato & J. C. M. Carvalho. (2010). A new approach to ammonium sulphate feeding for fed-batch *Arthrospira (Spirulina) platensis* cultivation in tubular photobioreactor. **Biotechnology Progress**. 26, 1271-1277.
- Grahl, S., M. Strack, A. Mensching & D. Morlein. (2020). Alternative protein sources in Western diets : Food product development and consumer acceptance of spirulina-filled pasta. **Food Quality and Preference**. 84, 1-12.
- Hidayati, J. R., E. Yudiati, D. Pringgenies, D. T. Oktavianti & A. P. Kusuma. (2020). Comparative study on antioxidant activities, total phenolic compound and pigment contents of tropical *Spirulina platensis*, *Gracilaria arcuata* and *Ulva lactuca* extracted in different solvents polarity. in **The 4th International Symposium on Marine and Fisheries Research**. (pp. 1-9) . Semarang: Diponegoro University.
- Hirata, T., M. Tanaka, M. Ooike, T. Tsunomura & M. Sakaguchi. (2000). Antioixidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis*. **Journal of Applied Phycology**. 12, 435-439.
- Kumar, A., V. Mohanty & P. Yashaswini. (2018). Development of high protein nutrition bar enriched with *Spirulina platensis* for undernourished children. **Current Research in Nutrition and Food Science**. 06(3), 835-844.
- Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr & R. J. Randall. (1951). Protein measurement with folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**. 193(1), 265-275.
- Lucas, B. F., A. P. C. Rosa, L. F. Carvalho, M. G. Morais, T. D. Santos & J. A. V. Costa. (2020). Snack bars enriched with *Spirulina* for schoolchildren nutrition. **Food Science and Technology**. 40, 146-152.
- Madkour, F. F., A. E. Kamil & H. S. Nasr. (2012). Production and nutritive value or *Spirulina platensis* in reduced cost media. **Egyptian Journal of Aquatic Research**. 38, 51-57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mirhosseini, N., R. Davarnejad, A. Hallajisani, O. Tavakoli & E. Cano-Europa. (2021) Nitrogen starvation effect versus its excess on the performance of *Arthrospira maxima* in Zarrouk's medium. **International Journal of Engineering**. 34, 1557-1568.
- Mirhosseini, N., R. Davarnejad, A. Hallajisani, E. Cano-Europa, O. Tavakoli, M. Franco-Colin & V. Blas-Valdivia. (2021). Cultivations of *Arthrospira maxima* (Spirulina) using ammonium sulfate and sodium nitrate as an alternative nitrogen sources. **Iranian Journal of Fisheries Sciences**. 20, 475-489.
- Park, W. S., H. Kim, M. Li, D. H. Lim, J. Kim, S. Kwak, C. Kang, M. G. Ferruzzi & M. Ahn. (2018). Two classes of pigments, carotenoids and c-phycoyanin, in Spirulina powder and their antioxidant activities. **Molecules**. 23, 1-11.
- Peter, S. S., L. A. Barreira, H. Pereira, J. A. Perales & J. Varela. (2014). Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. **Cell Press**. 32, 422-430.
- Phupathna, N., Suraratchai L., Sankhun R. & Khamhan P. (2009). **kānphalit sārāi klīeo thōng** [Commercial Spirulina Cultivation]. Bangkok: Kasetsart University.
- Prates, D. F., E. M. Radmann, J. H. Duarte, M. G. Morais & J. A. V. Costa. (2018). *Spirulina* cultivated under different light emitting diodes : Enhanced cell growth and phycoyanin production. **Bioresource Technology**. 256, 38-43.
- Rattanapanon, N. (n.d.). withī khamnūan phalangngān čhāk sān 'āhān [How to calculate energy from nutrients]. Retrieved from: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/>.
- Ravelonandro, P. H., D. H. Ratianarivo, C. Joannis-Cassan, A. Isambert & M. Raherimandimby. (2008). Influence of light quality and intensity in the cultivation of *Spirulina platensis* from Toliara (Madagascar) in a closed system. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**. 83, 842-848.
- Ruangsomboon, S. (2020). **kān pho liang sārāi khanāt lek læ kānchai prayōt** [Microalgae Cultivation and Utilizations]. Bangkok: Department of Fisheries Science, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Ruangsomboon, S., Choochote S. & Taveekijakarn P. (2010). khunkhā thāng phōchanākān læ parimān rongkhawatthu khōng *Spirulina platensis* thī liang nai pui phasom mūn sukōn [Nutritional value and pigment content of *Spirulina platensis* grown in diluted pig waste. **Journal of Fisheries Technology Research**. 4(2), 34-43.
- Saavedra, M. P., C. Jimenez & F. L. Figueroa. (1996). Far-red light inhibits growth but promote carotenoid accumulation in the green microalga *Dunaliella bardawil*. **Physologia Plantarum**. 98, 419-423.

- Saharan, V. & S. Jood. (2020). Effect of storage on *Spirulina platensis* powder supplemented breads. **Journal of Food Science and Technology**. 1-7.
- Santos, R. R., P. S. Correa, F. M. Dantas & C. M. Teixeira. (2019). Evaluation of the co-production of total carotenoids, c-phycocyanin and polyhydroxyalkanoates by *Arthrospira platensis*. **Bioresource Technology Reports**. 7, 1-9.
- Sassano, C. E. N., L. A. Gioielli, K. A. Almeida, S. Sato, P. Perego, A. Converti & J. C. M. Carvalho. (2007). Cultivation of *Spirulina platensis* by continuous process using ammonium chloride as nitrogen source. **Biomass & Bioenergy**. 31, 593-598.
- Schulze, P. S. C., L. A. Barreira, H. G. C. Pereira, J. A. Perales & J. C. S. Varela. (2014). Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. **Trends in Biotechnology**. 32, 422-430.
- Shanti G., M. Premalatha & N. Anantharaman. (2018). Effects of L-amino acids as organic nitrogen source on the growth rate, biochemical composition and polyphenol content of *Spirulina platensis*. **Algal Research**. 35, 471-478.
- Soletto, D., L. Binaghi, A. Lodi, J. C. M. Carvalho & A. Converti. (2005). Batch and fed batch cultivations of *Spirulina platensis* using ammonium sulphate and urea as nitrogen sources. **Aquaculture**. 243, 217-224.
- Stahl, W. & H. Sies. (2003). Antioxidant activity of carotenoids. **Molecular Aspects of Medicine**. 24, 345-351.
- Uddin, A. J., M. I. Ifaz, M. A. Husna, I. Sakib & M. Rakibuzzaman. (2020). Comparative growth analysis of *Spirulina platensis* using urea as a nitrogen substitute for NaNO₃. **International Journal of Business, Social and Scientific Research**. 8, 76-80.
- Uslu, L., O. Isik, K. Koc & T. Goksan. (2011). The effects of nitrogen deficiencies on the lipid and protein contents of *Spirulina platensis*. **African Journal of Biotechnology**. 10(3), 386-389.
- Wang, C. Y., C. C. Fu & Y. C. Liu. (2007). Effects of using light emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis*. **Biochemical Engineering Journal**. 37, 21-25.
- Wiriyachari, P. (2018). **kānp̄ramōē n thāng prasāt samphat** [Sensory Evaluation]. Chiangmai: Office of Research Administration, Chiangmai University.
- Xu, Y. & P. J. Harvey. (2019). Carotenoid production by *Dunaliella salina* under red light. **Antioxidants**. 8, 1-14.
- Yongmanitchai, W. & O. P. Ward. (1991). Screening of algae for potential alternative sources of eicosapentaenoic acid. **Phycochemistry**. 30, 2963-2967.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณปริมาณไนโตรเจน

โดยแหล่งไนโตรเจนทั้ง 6 รูปแบบ จะมีปริมาณไนโตรเจนที่เท่ากันคือ 0.4 กรัมต่อลิตร
คำนวณจากการหาค่าน้ำหนักของเลขมวลอะตอมโดยใช้ปริมาณของไนโตรเจนจากสูตร Zarrouk
medium เป็นหลัก ดังนี้

$$1. \text{NaNO}_3 = 85 (23 + 14 + 48)$$

$$\text{Na} = 23$$

$$\text{N} = 14$$

$$\text{O}_3 = 48$$

$$\text{NaNO}_3 = 85 \text{ กรัม } \text{N} = 14 \text{ กรัม}$$

$$\text{NaNO}_3 = 2.5 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

$$2. \text{KNO}_3 = 101 (39 + 14 + 48)$$

$$\text{K} = 39$$

$$\text{N} = 14$$

$$\text{O}_3 = 48$$

$$\text{KNO}_3 = 101 \text{ กรัม } \text{N} = 14 \text{ กรัม}$$

$$\text{KNO}_3 = 2.9 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

$$3. (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 132 (36 + 32 + 64)$$

$$(\text{NH}_4)_2 = 36$$

$$\text{S} = 32$$

$$\text{O}_4 = 64$$

$$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 132 \text{ กรัม } \text{N} = 28 \text{ กรัม}$$

$$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 1.9 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

$$4. \text{CH}_4\text{N}_2\text{O} = 60 (16 + 28 + 16)$$

$$\text{CH}_4 = 16$$

$$\text{N}_2 = 28$$

$$\text{O} = 16$$

$$\text{Urea} = 60 \text{ กรัม } \text{N} = 28 \text{ กรัม}$$

$$\text{Urea} = 0.86 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

$$5. \text{NH}_4\text{NO}_3 = 80 (18 + 14 + 48)$$

$$\text{NH}_4 = 18$$

$$\text{N} = 14$$

$$\text{O} = 48$$

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 80 \text{ กรัม } \text{N} = 28 \text{ กรัม}$$

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.14 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

$$6. \text{NH}_4\text{Cl} = 53 (18 + 35)$$

$$\text{NH}_4 = 18$$

$$\text{Cl} = 35$$

$$\text{NH}_4\text{Cl} = 53 \text{ กรัม } \text{N} = 14 \text{ กรัม}$$

$$\text{NH}_4\text{Cl} = 1.5 \text{ กรัม } \text{N} = 0.4 \text{ กรัม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 ผลผลิตชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	0.04±0.00 ^a	0.09±0.00 ^a	0.14±0.00 ^a	0.14±0.00 ^a	0.14±0.01 ^{ab}	0.20±0.00 ^a	0.21±0.00 ^a	0.24±0.01 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	0.04±0.00 ^a	0.08±0.00 ^a	0.11±0.00 ^b	0.13±0.01 ^{ab}	0.11±0.00 ^{bc}	0.18±0.00 ^a	0.19±0.01 ^a	0.24±0.01 ^{ab}
แอมโมเนียมซัลเฟต	0.04±0.00 ^a	0.06±0.00 ^{ab}	0.04±0.00 ^d	0.07±0.00 ^c	0.09±0.00 ^c	0.08±0.01 ^b	0.11±0.00 ^b	0.12±0.01 ^c
ยูเรีย	0.04±0.00 ^a	0.07±0.00 ^{ab}	0.07±0.00 ^c	0.10±0.01 ^{bc}	0.17±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a	0.22±0.01 ^a	0.23±0.01 ^{ab}
แอมโมเนียมไนเตรต	0.04±0.00 ^a	0.07±0.00 ^{ab}	0.11±0.00 ^b	0.09±0.01 ^c	0.14±0.00 ^{ab}	0.17±0.01 ^a	0.21±0.01 ^a	0.19±0.00 ^b
แอมโมเนียมคลอไรด์	0.04±0.00 ^a	0.05±0.00 ^b	0.10±0.00 ^b	0.08±0.00 ^c	0.14±0.01 ^{abc}	0.09±0.01 ^b	0.22±0.00 ^a	0.21±0.01 ^{ab}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	0.30±0.02 ^a	0.40±0.01 ^a	1.82±0.11 ^a	0.61±0.02 ^a	1.10±0.09 ^a	0.49±0.08 ^{ab}	1.18±0.04 ^a	0.78±0.06 ^b
โพแทสเซียมไนเตรต	0.30±0.02 ^a	0.37±0.01 ^{ab}	1.16±0.05 ^b	0.41±0.04 ^b	0.50±0.02 ^b	0.59±0.02 ^a	0.73±0.03 ^b	0.96±0.02 ^a
แอมโมเนียมซัลเฟต	0.30±0.02 ^a	0.12±0.01 ^d	0.32±0.00 ^c	0.21±0.01 ^d	0.20±0.00 ^c	0.19±0.00 ^c	0.25±0.00 ^d	0.51±0.03 ^{de}
ยูเรีย	0.30±0.02 ^a	0.34±0.02 ^{bc}	0.42±0.01 ^c	0.37±0.03 ^{bc}	0.60±0.01 ^b	0.51±0.03 ^a	0.63±0.03 ^b	0.71±0.03 ^{bc}
แอมโมเนียมไนเตรต	0.30±0.02 ^a	0.30±0.01 ^c	0.43±0.00 ^c	0.32±0.03 ^{bcd}	0.56±0.02 ^b	0.42±0.03 ^{ab}	0.48±0.04 ^c	0.62±0.03 ^{cd}
แอมโมเนียมคลอไรด์	0.30±0.02 ^a	0.30±0.01 ^c	0.45±0.03 ^c	0.26±0.02 ^{cd}	0.48±0.03 ^b	0.32±0.02 ^{bc}	0.39±0.02 ^c	0.37±0.02 ^e

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	7.95±0.29 ^a	4.57±0.21 ^a	13.01±0.83 ^a	4.40±0.11 ^a	7.91±0.92 ^a	2.60±0.49 ^a	5.60±0.15 ^a	3.25±0.24 ^b
โพแทสเซียมไนเตรต	7.95±0.29 ^a	4.62±0.29 ^a	11.12±0.33 ^a	3.26±0.41 ^a	4.66±0.50 ^b	3.31±0.15 ^a	4.02±0.31 ^b	4.10±0.31 ^{ab}
แอมโมเนียมซัลเฟต	7.95±0.29 ^a	1.91±0.18 ^b	8.08±1.03 ^b	2.93±0.26 ^a	2.19±0.15 ^c	2.67±0.45 ^a	2.37±0.14 ^{cd}	4.58±0.48 ^a
ยูเรีย	7.95±0.29 ^a	4.66±0.50 ^a	6.69±0.75 ^{bc}	3.92±0.51 ^a	3.50±0.15 ^{bc}	2.82±0.17 ^a	2.88±0.09 ^c	3.11±0.29 ^b
แอมโมเนียมไนเตรต	7.95±0.29 ^a	4.30±0.44 ^a	3.95±0.23 ^d	3.82±0.54 ^a	4.01±0.16 ^{bc}	2.49±0.32 ^a	2.36±0.23 ^{cd}	3.41±0.25 ^{ab}
แอมโมเนียมคลอไรด์	7.95±0.29 ^a	5.74±0.35 ^a	4.82±0.34 ^{cd}	3.35±0.57 ^a	3.61±0.11 ^{bc}	4.20±0.90 ^a	1.82±0.06 ^d	1.80±0.07 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	0.0000±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0003±0.00 ^a	0.0004±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	0.0000±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0004±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0001±0.00 ^a
แอมโมเนียมซัลเฟต	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0001±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^a
ยูเรีย	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^b	0.0003±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^{abc}	0.0001±0.00 ^a
แอมโมเนียมไนเตรต	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^{abc}	0.0002±0.00 ^a
แอมโมเนียมคลอไรด์	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^{bc}	0.0001±0.00 ^a

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางหมวดที่ 5 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาราย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่ต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	0.0009±0.00 ^a	0.0032±0.00 ^b	0.0008±0.00 ^a	0.0015±0.00 ^a	0.0022±0.00 ^a	0.0024±0.00 ^c	0.0013±0.00 ^a	0.0011±0.00 ^{ab}
โพแทสเซียมไนเตรต	0.0009±0.00 ^a	0.0043±0.00 ^a	0.0015±0.00 ^{cd}	0.0021±0.00 ^a	0.0015±0.00 ^{abc}	0.0026±0.00 ^c	0.0013±0.00 ^a	0.0007±0.00 ^b
แอมโมเนียมซัลเฟต	0.0009±0.00 ^a	0.0014±0.00 ^d	0.0036±0.00 ^a	0.0027±0.00 ^a	0.0018±0.00 ^{ab}	0.0049±0.00 ^a	0.0014±0.00 ^a	0.0015±0.00 ^a
ยูเรีย	0.0009±0.00 ^a	0.0022±0.00 ^{cd}	0.0025±0.00 ^b	0.0019±0.00 ^a	0.0009±0.00 ^c	0.0019±0.00 ^{cd}	0.0008±0.00 ^a	0.0007±0.00 ^b
แอมโมเนียมไนเตรต	0.0009±0.00 ^a	0.0020±0.00 ^d	0.0010±0.00 ^{de}	0.0019±0.00 ^a	0.0008±0.00 ^c	0.0014±0.00 ^d	0.0011±0.00 ^a	0.0012±0.00 ^{ab}
แอมโมเนียมคลอไรด์	0.0009±0.00 ^a	0.0029±0.00 ^{bc}	0.0018±0.00 ^c	0.0023±0.00 ^a	0.0010±0.00 ^{bc}	0.0036±0.00 ^b	0.0008±0.00 ^a	0.0008±0.00 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	31.26±4.92 ^a	42.24±2.57 ^a	17.97±1.98 ^{bc}	7.36±0.13 ^a	21.41±0.83 ^a	13.89±0.98 ^a	33.76±1.36 ^b	47.93±1.64 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	31.26±4.92 ^a	10.56±1.85 ^b	17.78±1.26 ^{bc}	8.19±1.77 ^a	9.44±1.36 ^b	7.36±1.02 ^b	36.40±0.16 ^b	12.04±0.57 ^b
แอมโมเนียมซัลเฟต	31.26±4.92 ^a	5.97±0.26 ^b	12.36±0.76 ^c	7.64±0.61 ^a	6.94±1.25 ^b	7.92±1.02 ^b	20.37±5.06 ^c	7.22±0.78 ^c
ยูเรีย	31.26±4.92 ^a	12.08±2.99 ^b	25.70±1.14 ^{ab}	9.17±0.73 ^a	7.78±2.11 ^b	2.36±0.26 ^c	22.37±0.86 ^c	5.83±0.35 ^c
แอมโมเนียมไนเตรต	31.26±4.92 ^a	5.97±0.57 ^b	32.60±2.36 ^a	9.72±1.47 ^a	7.08±1.36 ^b	2.64±0.26 ^c	49.09±1.84 ^a	3.33±0.81 ^c
แอมโมเนียมคลอไรด์	31.26±4.92 ^a	10.28±1.46 ^b	32.97±3.60 ^a	11.11±1.36 ^a	8.05±0.83 ^b	4.72±0.83 ^{bc}	29.08±3.68 ^{bc}	3.89±0.81 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัมสหร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	739.51±44.84 ^a	286.49±25.04 ^a	138.06±10.31 ^c	52.73±1.79 ^c	151.96±7.34 ^a	71.21±4.51 ^{ab}	160.07±11.40 ^{ab}	198.74±11.11 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	739.51±44.84 ^a	147.95±12.04 ^{bc}	157.16±7.43 ^c	64.15±13.42 ^c	87.64±15.58 ^b	40.78±4.78 ^b	199.49±13.39 ^{ab}	50.92±2.09 ^b
แอมโมเนียมซัลเฟต	739.51±44.84 ^a	104.89±11.07 ^c	256.59±16.84 ^b	102.97±11.43 ^{abc}	75.16±17.49 ^b	116.10±30.14 ^a	191.33±46.58 ^{ab}	65.63±10.59 ^b
ยูเรีย	739.51±44.84 ^a	230.34±22.06 ^{ab}	361.37±29.14 ^a	95.43±13.93 ^{abc}	42.75±8.27 ^b	12.73±1.03 ^b	103.09±8.40 ^b	25.41±2.03 ^c
แอมโมเนียมไนเตรต	739.51±44.84 ^a	91.75±10.42 ^c	296.04±5.13 ^{ab}	108.63±11.62 ^{ab}	49.99±9.30 ^b	15.23±0.82 ^b	240.01±4.31 ^a	17.90±4.17 ^c
แอมโมเนียมคลอไรด์	739.51±44.84 ^a	199.16±33.36 ^b	320.30±25.68 ^{ab}	135.24±11.57 ^a	59.71±3.03 ^b	64.74±23.15 ^{ab}	135.97±18.52 ^b	18.83±4.17 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณไฟโคอิริธรีน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	39.13±5.11 ^a	39.53±5.05 ^a	74.48±3.08 ^a	6.77±0.70 ^{ab}	168.99±10.03 ^a	2.98±0.47 ^{bc}	29.87±1.91 ^c	37.44±1.40 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	39.13±5.11 ^a	20.31±0.81 ^c	41.42±6.33 ^c	5.97±0.98 ^b	11.25±2.98 ^b	5.37±0.89 ^a	31.96±0.52 ^c	10.75±0.97 ^b
แอมโมเนียมซัลเฟต	39.13±5.11 ^a	5.07±0.65 ^d	13.44±1.28 ^d	5.87±0.57 ^b	8.06±1.51 ^b	3.48±0.34 ^b	26.68±3.78 ^c	8.86±1.70 ^b
ยูเรีย	39.13±5.11 ^a	28.381±0.73 ^b	56.76±4.05 ^b	9.75±1.90 ^{ab}	12.54±3.21 ^b	1.09±0.25 ^c	25.89±2.66 ^c	6.57±0.80 ^{bc}
แอมโมเนียมไนเตรต	39.13±5.11 ^a	6.87±0.75 ^d	81.85±4.15 ^a	12.74±1.27 ^a	15.53±0.16 ^b	1.29±0.29 ^c	98.98±9.89 ^a	2.78±0.48 ^c
แอมโมเนียมคลอไรด์	39.13±5.11 ^a	18.42±0.25 ^c	71.30±1.91 ^a	12.94±2.62 ^a	6.27±0.83 ^b	2.68±0.44 ^{bc}	67.71±10.37 ^b	2.48±0.19 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณไฟโคอิริธรีน (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่ง ไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไน เตรต	746.89±0.00 ^a	383.87±43.05 ^a	532.07±22.07 ^c	48.53±5.27 ^b	192.02±27.13 ^a	15.54±2.95 ^{bcd}	142.01±14.25 ^c	155.46±9.81 ^a
โพแทสเซียม ไนเตรต	746.89±0.00 ^a	246.89±12.37 ^b	341.46±38.27 ^d	48.97±13.10 ^b	122.87±25.57 ^b	29.72±4.27 ^{abc}	165.10±8.63 ^c	46.37±6.57 ^c
แอมโมเนียม ซัลเฟต	746.89±0.00 ^a	66.31±5.35 ^c	272.86±23.27 ^d	78.42±7.64 ^b	101.61±18.73 ^b	47.69±7.41 ^a	274.63±19.86 ^b	79.69±17.47 ^b
ยูเรีย	746.89±0.00 ^a	350.63±19.29 ^a	833.27±48.82 ^a	97.17±13.02 ^b	82.82±7.13 ^b	5.79±1.27 ^d	116.96±4.89 ^c	28.43±3.52 ^c
แอมโมเนียม ไนเตรต	746.89±0.00 ^a	97.21±12.52 ^c	673.35±28.26 ^b	144.33±12.61 ^a	110.23±6.85 ^b	7.42±1.60 ^{cd}	437.18±7.12 ^a	15.18±2.91 ^c
แอมโมเนียม คลอไรด์	746.89±0.00 ^a	353.20±16.69 ^a	751.54±19.13 ^{ab}	153.55±17.72 ^a	46.22±3.69 ^b	35.04±9.93 ^{ab}	311.76±40.26 ^b	12.07±1.48 ^c

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	58.55±0.08 ^a	128.45±2.62 ^a	107.52±6.03 ^a	110.29±3.28 ^a	109.86±4.03 ^a	130.05±3.66 ^a	146.41±5.50 ^{ab}	329.89±17.56 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต	58.55±0.08 ^a	119.32±1.23 ^b	106.89±4.41 ^a	109.33±4.72 ^a	110.39±3.11 ^a	118.68±1.70 ^b	127.18±2.41 ^c	176.58±5.28 ^b
แอมโมเนียมซัลเฟต	58.55±0.08 ^a	86.06±0.80 ^d	54.08±4.06 ^c	70.66±2.26 ^d	88.51±4.06 ^b	85.85±3.02 ^c	106.78±3.12 ^d	136.95±5.67 ^c
ยูเรีย	58.55±0.08 ^a	124.84±2.19 ^{ab}	96.37±4.45 ^a	95.52±3.85 ^{bc}	111.56±2.62 ^a	118.89±1.65 ^b	153.31±2.61 ^a	196.02±5.34 ^b
แอมโมเนียมไนเตรต	58.55±0.08 ^a	104.65±2.61 ^c	97.11±1.57 ^a	90.95±2.25 ^c	104.23±1.04 ^a	114.85±2.70 ^b	141.31±3.68 ^{abc}	174.67±1.83 ^b
แอมโมเนียมคลอไรด์	58.55±0.08 ^a	80.54±1.18 ^d	76.71±1.64 ^b	107.63±2.55 ^{ab}	109.12±2.15 ^a	111.77±2.26 ^b	133.76±3.57 ^{bc}	171.80±6.07 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสหร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด	79.28±6.10 ^a	69.10±8.66 ^a	38.40±2.15 ^b	36.56±4.25 ^a	37.21±5.20 ^{ab}	31.05±3.56 ^{ab}	31.85±3.67 ^b	66.07±2.10 ^a
โพแทสเซียมไนเตรด	79.28±6.10 ^a	72.45±1.62 ^a	43.57±5.38 ^b	42.38±6.66 ^a	51.01±4.33 ^a	28.62±3.50 ^b	34.77±2.10 ^b	35.33±4.07 ^c
แอมโมเนียมซัลเฟต	79.28±6.10 ^a	55.72±7.50 ^a	63.60±7.92 ^{ab}	44.77±5.34 ^a	46.82±1.46 ^{ab}	46.19±7.90 ^{ab}	49.85±1.85 ^a	57.69±7.40 ^{ab}
ยูเรีย	79.28±6.10 ^a	80.84±10.07 ^a	75.83±10.39 ^a	40.47±5.22 ^a	30.78±3.84 ^b	26.89±3.17 ^b	35.19±1.76 ^b	35.60±4.46 ^c
แอมโมเนียมไนเตรด	79.28±6.10 ^a	63.78±9.79 ^a	44.60±2.39 ^b	51.93±7.74 ^a	34.57±4.54 ^{ab}	33.51±1.33 ^{ab}	34.74±1.99 ^b	44.74±5.23 ^{bc}
แอมโมเนียมคลอไรด์	79.28±6.10 ^a	72.91±8.41 ^a	40.54±1.94 ^b	53.14±6.73 ^a	33.89±4.15 ^{ab}	52.09±7.48 ^a	31.13±0.50 ^b	41.02±0.88 ^{bc}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	15.84±0.64 ^a	54.42±2.44 ^a	32.88±4.53 ^{ab}	37.66±2.97 ^a	37.51±2.01 ^c	27.35±0.96 ^b	36.08±0.38 ^a	27.94±1.62 ^b
โพแทสเซียมไนเตรต	15.84±0.64 ^a	43.83±0.45 ^b	40.15±3.85 ^a	39.21±1.93 ^a	47.27±1.26 ^b	34.94±2.92 ^a	36.48±0.98 ^a	39.01±3.72 ^a
แอมโมเนียมซัลเฟต	15.84±0.64 ^a	7.14±1.07 ^e	3.55±0.79 ^c	12.44±1.04 ^c	16.16±2.73 ^d	2.56±0.89 ^c	8.88±2.71 ^b	14.97±1.07 ^c
ยูเรีย	15.84±0.64 ^a	34.38±2.93 ^c	36.79±3.90 ^a	31.02±2.26 ^{ab}	62.05±3.80 ^a	37.03±2.37 ^a	30.51±4.80 ^a	28.45±1.54 ^b
แอมโมเนียมไนเตรต	15.84±0.64 ^a	24.54±0.39 ^d	22.52±2.36 ^b	23.91±1.42 ^b	29.28±2.58 ^c	22.96±1.57 ^b	10.62±0.20 ^b	22.33±3.78 ^{bc}
แอมโมเนียมคลอไรด์	15.84±0.64 ^a	21.02±1.19 ^d	29.09±2.91 ^{ab}	31.38±2.71 ^{ab}	19.16±0.81 ^d	22.29±1.87 ^b	3.82±1.26 ^b	24.18±1.98 ^{bc}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยให้แหล่งไนโตรเจนที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต	42.94±3.78 ^a	35.33±2.70 ^b	23.77±2.98 ^{ab}	27.01±2.36 ^{abc}	21.92±2.75 ^b	14.10±0.89 ^{ab}	17.08±0.85 ^a	10.55±0.57 ^{ab}
โพแทสเซียมไนเตรต	42.94±3.78 ^a	53.30±1.94 ^a	36.57±5.26 ^a	29.04±4.23 ^{ab}	43.40±2.44 ^a	19.42±1.39 ^a	19.24±2.29 ^a	16.26±1.87 ^a
แอมโมเนียมซัลเฟต	42.94±3.78 ^a	11.14±1.60 ^c	8.39±1.56 ^c	16.45±2.13 ^c	16.59±2.76 ^b	2.94±0.47 ^c	9.88±1.53 ^{bc}	13.37±1.51 ^{ab}
ยูเรีย	42.94±3.78 ^a	36.36±5.68 ^b	35.43±3.38 ^{ab}	26.78±3.14 ^{abc}	34.64±5.26 ^a	20.30±1.89 ^a	14.32±2.38 ^{ab}	12.44±1.16 ^{ab}
แอมโมเนียมไนเตรต	42.94±3.78 ^a	35.28±4.16 ^b	20.70±3.52 ^{bc}	22.62±2.89 ^{bc}	20.94±3.32 ^b	10.77±1.35 ^b	5.22±0.24 ^{cd}	9.13±1.43 ^b
แอมโมเนียมคลอไรด์	42.94±3.78 ^a	40.29±2.96 ^b	25.44±3.32 ^{ab}	38.27±0.88 ^a	11.39±1.52 ^b	20.78±2.84 ^a	2.03±0.38 ^d	11.75±1.63 ^{ab}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 14 ผลผลิตชีวมวล (กรัมต่อลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต (ขาว)	0.17±0.01 ^a	0.37±0.01 ^{ab}	0.42±0.00 ^{abc}	0.51±0.01 ^{abc}	0.62±0.02 ^a	0.71±0.02 ^{abc}	0.77±0.02 ^{bc}	1.20±0.01 ^{ab}
โซเดียมไนเตรต (ฟ้า)	0.17±0.01 ^a	0.36±0.01 ^{ab}	0.46±0.00 ^a	0.52±0.02 ^{abc}	0.57±0.02 ^a	0.65±0.01 ^{bc}	0.76±0.01 ^{bc}	1.03±0.01 ^d
โซเดียมไนเตรต (ม่วง)	0.17±0.01 ^a	0.40±0.00 ^a	0.47±0.00 ^a	0.53±0.01 ^{ab}	0.59±0.02 ^a	0.68±0.02 ^{abc}	0.83±0.02 ^{abc}	1.12±0.00 ^{bcd}
โซเดียมไนเตรต (แดง)	0.17±0.01 ^a	0.40±0.00 ^a	0.41±0.00 ^{abc}	0.50±0.00 ^{abc}	0.60±0.01 ^a	0.69±0.02 ^{abc}	0.84±0.01 ^{ab}	1.25±0.01 ^a
โซเดียมไนเตรต (เหลือง)	0.17±0.01 ^a	0.33±0.00 ^{bc}	0.44±0.01 ^{ab}	0.51±0.01 ^{abc}	0.57±0.02 ^a	0.66±0.01 ^{abc}	0.74±0.00 ^c	1.06±0.00 ^{cd}
โซเดียมไนเตรต (เขียว)	0.17±0.01 ^a	0.36±0.00 ^{ab}	0.42±0.01 ^{abc}	0.55±0.00 ^a	0.63±0.01 ^a	0.69±0.01 ^{abc}	0.78±0.02 ^{abc}	1.13±0.03 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรต (ขาว)	0.17±0.01 ^a	0.25±0.00 ^d	0.36±0.01 ^c	0.49±0.01 ^{abc}	0.58±0.01 ^a	0.67±0.01 ^{abc}	0.75±0.01 ^c	1.19±0.03 ^{ab}
โพแทสเซียมไนเตรต (ฟ้า)	0.17±0.01 ^a	0.28±0.02 ^{cd}	0.37±0.00 ^c	0.50±0.01 ^{abc}	0.61±0.01 ^a	0.70±0.02 ^{abc}	0.78±0.00 ^{abc}	1.06±0.02 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรต (ม่วง)	0.17±0.01 ^a	0.26±0.01 ^d	0.37±0.02 ^c	0.47±0.02 ^{bc}	0.57±0.01 ^a	0.67±0.03 ^{abc}	0.78±0.02 ^{abc}	1.11±0.02 ^{bcd}
โพแทสเซียมไนเตรต (แดง)	0.17±0.01 ^a	0.26±0.01 ^d	0.45±0.00 ^a	0.53±0.01 ^{ab}	0.66±0.00 ^a	0.75±0.01 ^a	0.86±0.00 ^a	1.19±0.00 ^{ab}
โพแทสเซียมไนเตรต (เหลือง)	0.17±0.01 ^a	0.26±0.00 ^d	0.38±0.02 ^{bc}	0.51±0.01 ^{abc}	0.64±0.04 ^a	0.73±0.02 ^{ab}	0.83±0.01 ^{abc}	1.06±0.01 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรต (เขียว)	0.17±0.01 ^a	0.27±0.01 ^d	0.37±0.00 ^c	0.45±0.01 ^c	0.55±0.01 ^a	0.62±0.00 ^c	0.84±0.02 ^{ab}	1.06±0.03 ^{cd}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิเมตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่ต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	0.4369±0.03 ^a	0.5144±0.07 ^a	0.4972±0.08 ^a	0.3965±0.06 ^a	0.5482±0.07 ^a	0.4048±0.02 ^{ab}	0.5376±0.06 ^a	1.0594±0.05 ^a
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	0.4369±0.03 ^a	0.3605±0.02 ^b	0.5777±0.01 ^a	0.2720±0.12 ^a	0.2182±0.02 ^{cd}	0.1992±0.03 ^d	0.1075±0.02 ^{cde}	0.2024±0.02 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	0.4369±0.03 ^a	0.1265±0.02 ^{cd}	0.2119±0.01 ^b	0.2498±0.08 ^a	0.3795±0.07 ^{bc}	0.3605±0.04 ^{bc}	0.1613±0.03 ^{bcd}	0.2087±0.02 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	0.4369±0.03 ^a	0.0633±0.01 ^e	0.1708±0.01 ^b	0.2056±0.01 ^a	0.1518±0.02 ^d	0.1961±0.03 ^d	0.1581±0.04 ^{bcd}	0.2119±0.00 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	0.4369±0.03 ^a	0.0791±0.02 ^d	0.2151±0.01 ^b	0.2435±0.01 ^a	0.2657±0.00 ^{bcd}	0.3416±0.02 ^{bc}	0.2182±0.02 ^{bc}	0.3985±0.03 ^c
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	0.4369±0.03 ^a	0.1233±0.02 ^{cd}	0.1961±0.04 ^b	0.2087±0.01 ^a	0.1550±0.01 ^d	0.3004±0.02 ^{bcd}	0.0316±0.01 ^e	0.1739±0.03 ^e
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	0.4369±0.03 ^a	0.2593±0.04 ^{bc}	0.2309±0.02 ^b	0.3922±0.03 ^a	0.4269±0.04 ^{ab}	0.4965±0.02 ^a	0.4238±0.04 ^a	0.5250±0.02 ^b
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	0.4369±0.03 ^a	0.1423±0.03 ^{cd}	0.1486±0.01 ^b	0.2214±0.00 ^a	0.1455±0.02 ^d	0.2309±0.02 ^{cd}	0.1265±0.02 ^{cde}	0.1423±0.01 ^e
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	0.4369±0.03 ^a	0.1075±0.01 ^{cd}	0.1645±0.02 ^b	0.2815±0.02 ^a	0.1392±0.02 ^d	0.2688±0.01 ^{bcd}	0.2024±0.02 ^{bcd}	0.3068±0.02 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	0.4369±0.03 ^a	0.1455±0.01 ^{cd}	0.1139±0.01 ^b	0.1992±0.01 ^a	0.1297±0.02 ^d	0.1929±0.01 ^d	0.0664±0.01 ^{cde}	0.1898±0.01 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	0.4369±0.03 ^a	0.1486±0.01 ^{cd}	0.1170±0.01 ^b	0.2435±0.01 ^a	0.2372±0.00 ^{cd}	0.3163±0.01 ^{bcd}	0.2815±0.01 ^b	0.3542±0.01 ^c
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	0.4369±0.03 ^a	0.1423±0.03 ^{cd}	0.1075±0.01 ^b	0.1708±0.01 ^a	0.1139±0.03 ^d	0.2593±0.04 ^{cd}	0.0506±0.01 ^{de}	0.1708±0.02 ^e

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 16 ปริมาณคลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาราย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	2.6147±0.28 ^a	1.4057±0.20 ^a	1.6204±0.07 ^a	1.2897±0.15 ^a	0.9831±0.06 ^a	0.5743±0.03 ^{ab}	0.7061±0.09 ^a	0.8801±0.03 ^a
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	2.6147±0.28 ^a	1.0248±0.12 ^a	1.3836±0.13 ^a	0.2744±0.02 ^c	0.3808±0.02 ^{cd}	0.3105±0.05 ^d	0.1684±0.02 ^{cd}	0.1982±0.02 ^{ef}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	2.6147±0.28 ^a	0.3189±0.05 ^b	0.4535±0.02 ^{bc}	0.4652±0.14 ^c	0.5320±0.04 ^c	0.5260±0.05 ^{bc}	0.1952±0.03 ^{cd}	0.1862±0.02 ^{ef}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	2.6147±0.28 ^a	0.1909±0.02 ^b	0.4133±0.03 ^{bc}	0.4152±0.03 ^c	0.2560±0.04 ^d	0.2813±0.04 ^d	0.1899±0.06 ^{cd}	0.1702±0.00 ^f
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	2.6147±0.28 ^a	0.2894±0.06 ^b	0.4895±0.03 ^{bc}	0.4812±0.02 ^c	0.4666±0.02 ^{cd}	0.5186±0.02 ^{bc}	0.2960±0.03 ^{bcd}	0.3776±0.03 ^{bc}
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	2.6147±0.28 ^a	0.4072±0.04 ^b	0.3645±0.01 ^{bc}	0.3771±0.03 ^c	0.2476±0.01 ^e	0.4417±0.04 ^{bcd}	0.4905±0.09 ^{ab}	0.1552±0.03 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	2.6147±0.28 ^a	1.0373±0.17 ^a	0.6517±0.07 ^b	0.8064±0.07 ^b	0.7398±0.08 ^b	0.7407±0.03 ^a	0.5694±0.06 ^a	0.4423±0.00 ^b
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	2.6147±0.28 ^a	0.5905±0.04 ^b	0.4353±0.03 ^{bc}	0.4480±0.01 ^c	0.2883±0.02 ^{de}	0.3291±0.01 ^{cd}	0.1614±0.02 ^{cd}	0.1492±0.01 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	2.6147±0.28 ^a	0.4195±0.07 ^b	0.4540±0.08 ^{bc}	0.5971±0.02 ^{bc}	0.2437±0.03 ^e	0.4074±0.03 ^{bcd}	0.2623±0.02 ^{bcd}	0.2757±0.01 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	2.6147±0.28 ^a	0.5634±0.06 ^b	0.2389±0.02 ^c	0.3780±0.03 ^c	0.1958±0.03 ^e	0.2554±0.01 ^d	0.0770±0.01 ^d	0.1943±0.01 ^{ef}
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	2.6147±0.28 ^a	0.5639±0.06 ^b	0.3160±0.06 ^c	0.4780±0.03 ^c	0.3787±0.04 ^{cde}	0.4392±0.02 ^{bcd}	0.3421±0.02 ^{bc}	0.3358±0.02 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	2.6147±0.28 ^a	0.5319±0.11 ^b	0.2912±0.03 ^c	0.3864±0.03 ^c	0.2108±0.06 ^e	0.4232±0.08 ^{bcd}	0.0607±0.01 ^d	0.1441±0.01 ^f

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่น แสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^{cd}	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^{cde}	0.0002±0.00 ^{bcd}	0.0002±0.00 ^{bcd}
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^{cde}	0.0001±0.00 ^d	0.0002±0.00 ^{bcd}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^b	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^{cde}	0.0002±0.00 ^{cd}	0.0002±0.00 ^{bc}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^e	0.0001±0.00 ^d	0.0002±0.00 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^{bc}	0.0001±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^{de}	0.0002±0.00 ^{bcd}	0.0003±0.00 ^a
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^{bcd}	0.0002±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{bc}	0.0002±0.00 ^{cde}
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^{cd}	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^e	0.0002±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{bcd}
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^{ab}	0.0001±0.00 ^{bcd}	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^{bcd}	0.0003±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^{bc}	0.0002±0.00 ^{bc}	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0001±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{bcd}	0.0002±0.00 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^d	0.0001±0.00 ^b	0.0000±0.00 ^{cde}	0.0003±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^e
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^b	0.0000±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^{bc}	0.0003±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^b
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^b	0.0001±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^{bcd}	0.0003±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{cde}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาราย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และ ความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด(ขาว)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0003±0.00 ^{defg}	0.0002±0.00 ^{cd}
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^{efg}	0.0002±0.00 ^{bc}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^f	0.0002±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^{fg}	0.0002±0.00 ^{bc}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^c	0.0000±0.00 ^d	0.0000±0.00 ^c	0.0002±0.00 ^g	0.0001±0.00 ^d
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	0.0000±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^f	0.0003±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^c	0.0001±0.00 ^f	0.0000±0.00 ^c	0.0003±0.00 ^{bcdde}	0.0003±0.00 ^a
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	0.0000±0.00 ^a	0.0004±0.00 ^{cd}	0.0004±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^{cd}	0.0003±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^{cdef}	0.0002±0.00 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	0.0000±0.00 ^a	0.0006±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{cd}	0.0003±0.00 ^{cd}	0.0003±0.00 ^a	0.0000±0.00 ^c	0.0003±0.00 ^{abcd}	0.0002±0.00 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	0.0000±0.00 ^a	0.0005±0.00 ^{bc}	0.0004±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^{bcd}	0.0003±0.00 ^{ab}	0.0000±0.00 ^c	0.0004±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	0.0000±0.00 ^a	0.0007±0.00 ^a	0.0004±0.00 ^a	0.0004±0.00 ^b	0.0003±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0003±0.00 ^{efg}	0.0002±0.00 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	0.0000±0.00 ^a	0.0005±0.00 ^b	0.0002±0.00 ^{cd}	0.0002±0.00 ^d	0.0002±0.00 ^b	0.0000±0.00 ^c	0.0003±0.00 ^{abc}	0.0001±0.00 ^d
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	0.0000±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^{de}	0.0002±0.00 ^{bc}	0.0003±0.00 ^{bc}	0.0003±0.00 ^{ab}	0.0001±0.00 ^b	0.0004±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^b
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	0.0000±0.00 ^a	0.0002±0.00 ^{ef}	0.0002±0.00 ^{bcd}	0.0006±0.00 ^a	0.0003±0.00 ^a	0.0001±0.00 ^b	0.0004±0.00 ^{ab}	0.0002±0.00 ^{cd}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่ต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต (ขาว)	19.22±1.07 ^a	21.08±0.51 ^a	32.97±1.91 ^a	22.01±2.04 ^a	19.71±4.15 ^b	14.85±2.33 ^{ab}	16.11±1.25 ^b	33.73±2.80 ^a
โซเดียมไนเตรต (ฟ้า)	19.22±1.07 ^a	15.58±1.23 ^{abcd}	10.36±0.74 ^{bc}	2.09±0.49 ^d	13.94±2.11 ^{bc}	8.03±0.54 ^{cd}	60.67±2.22 ^a	9.16±1.13 ^{def}
โซเดียมไนเตรต (ม่วง)	19.22±1.07 ^a	18.07±2.66 ^{ab}	9.06±1.66 ^c	4.54±0.09 ^{cd}	11.05±0.86 ^{bc}	18.01±1.10 ^a	11.88±1.22 ^c	39.94±2.73 ^a
โซเดียมไนเตรต (แดง)	19.22±1.07 ^a	10.35±1.73 ^{cde}	8.22±0.80 ^c	5.25±0.34 ^{cd}	9.16±0.39 ^c	11.81±1.63 ^{bc}	9.32±0.40 ^{cd}	16.21±1.65 ^{cd}
โซเดียมไนเตรต (เหลือง)	19.22±1.07 ^a	14.20±2.28 ^{abcd}	15.73±2.22 ^b	6.17±0.34 ^c	19.71±2.30 ^b	17.50±2.06 ^a	9.48±0.84 ^{cd}	16.74±1.42 ^{cd}
โซเดียมไนเตรต (เขียว)	19.22±1.07 ^a	6.64±0.33 ^e	13.73±0.61 ^{bc}	6.27±0.49 ^c	13.14±1.75 ^{bc}	9.72±0.16 ^{bcd}	9.79±0.69 ^{cd}	19.76±0.99 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรต (ขาว)	19.22±1.07 ^a	11.41±1.51 ^{bcde}	12.59±1.94 ^{bc}	14.65±0.85 ^b	31.91±1.92 ^a	20.81±1.79 ^a	4.25±0.33 ^{ef}	14.24±1.62 ^{cde}
โพแทสเซียมไนเตรต (ม่วง)	19.22±1.07 ^a	8.50±1.70 ^{de}	8.43±1.67 ^c	11.19±1.08 ^b	18.81±1.13 ^b	5.37±0.95 ^d	4.00±0.81 ^{ef}	9.75±1.08 ^{def}
โพแทสเซียมไนเตรต (แดง)	19.22±1.07 ^a	17.13±1.40 ^{abc}	12.33±0.84 ^{bc}	3.53±0.34 ^{cd}	12.04±1.05 ^{bc}	5.53±0.65 ^d	0.39±0.00 ^f	4.84±0.25 ^f
โพแทสเซียมไนเตรต (เหลือง)	19.22±1.07 ^a	11.53±1.06 ^{bcde}	13.31±1.50 ^{bc}	11.26±0.52 ^b	13.51±1.45 ^{bc}	17.71±1.04 ^a	2.09±0.34 ^{ef}	17.03±1.55 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรต (เขียว)	19.22±1.07 ^a	17.22±1.68 ^{abc}	9.61±0.82 ^{bc}	11.41±0.90 ^b	12.59±1.51 ^{bc}	20.41±1.18 ^a	5.95±0.88 ^{de}	25.72±3.18 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	114.41±8.85 ^a	57.71±3.09 ^{abc}	79.35±6.04 ^a	41.75±3.85 ^a	31.82±6.61 ^{bc}	21.17±3.50 ^{cde}	20.99±1.55 ^b	29.71±2.11 ^b
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	114.41±8.85 ^a	43.98±4.36 ^{bcd}	22.61±1.91 ^b	3.98±0.77 ^e	24.58±4.24 ^{bcd}	12.47±0.89 ^{fg}	80.32±2.22 ^a	9.28±1.05 ^{ef}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	114.41±8.85 ^a	46.15±7.43 ^{bcd}	19.37±3.53 ^b	8.57±0.07 ^{de}	18.72±1.03 ^{cd}	26.50±1.53 ^{abc}	14.33±1.51 ^c	40.25±2.07 ^a
โซเดียมไนเตรด (แดง)	114.41±8.85 ^a	26.29±4.55 ^{de}	20.03±2.17 ^b	10.59±0.52 ^{de}	15.44±0.84 ^d	16.97±2.01 ^{def}	11.06±0.44 ^{cd}	16.70±1.64 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	114.41±8.85 ^a	42.90±6.68 ^{cd}	36.20±5.41 ^b	12.24±0.99 ^d	34.29±3.52 ^b	26.65±3.12 ^{abc}	12.81±1.11 ^c	16.51±1.64 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	114.41±8.85 ^a	18.56±1.36 ^e	32.80±1.74 ^b	11.32±0.71 ^d	20.95±2.45 ^{bcd}	14.21±0.26 ^{efg}	12.61±1.10 ^c	19.66±1.01 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	114.41±8.85 ^a	45.67±6.04 ^{bcd}	35.35±5.27 ^b	30.10±1.81 ^b	55.29±3.34 ^a	31.04±2.60 ^{ab}	5.74±0.54 ^e	12.12±1.62 ^{def}
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	114.41±8.85 ^a	70.59±5.29 ^a	19.63±1.96 ^b	24.96±1.49 ^{bc}	31.47±2.47 ^{bc}	14.89±0.89 ^{efg}	3.05±0.21 ^{ef}	6.21±0.46 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	114.41±8.85 ^a	31.89±4.45 ^{de}	22.48±3.68 ^b	23.70±1.37 ^{bc}	32.91±1.86 ^{bc}	7.96±1.10 ^g	5.07±0.86 ^{ef}	8.82±1.06 ^{ef}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	114.41±8.85 ^a	66.45±3.56 ^{ab}	27.61±2.14 ^b	6.66±0.58 ^{de}	18.22±1.42 ^{cd}	7.39±0.97 ^g	0.46±0.00 ^f	4.95±0.28 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	114.41±8.85 ^a	44.16±4.75 ^{bcd}	35.77±6.08 ^b	21.96±0.34 ^c	21.19±1.93 ^{bcd}	24.43±1.12 ^{bcd}	2.55±0.45 ^{ef}	16.09±1.37 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	114.41±8.85 ^a	64.07±2.88 ^{abc}	26.02±2.38 ^b	25.63±1.91 ^{bc}	22.87±2.60 ^{bcd}	33.19±1.89 ^a	7.03±0.87 ^{de}	24.64±4.00 ^{bc}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณไฟโคอิริธรีน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และ ความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต (ขาว)	18.98±1.01 ^a	23.34±0.89 ^{bc}	54.50±4.46 ^a	22.58±1.52 ^b	40.24±2.29 ^{bc}	51.10±2.47 ^{bcd}	82.76±7.36 ^a	58.65±8.38 ^a
โซเดียมไนเตรต (ฟ้า)	18.98±1.01 ^a	34.34±3.00 ^{ab}	26.97±1.57 ^{def}	4.51±0.57 ^d	43.66±1.69 ^{bc}	27.66±1.84 ^{ef}	65.38±1.78 ^b	17.89±1.20 ^{de}
โซเดียมไนเตรต (ม่วง)	18.98±1.01 ^a	33.81±0.98 ^{ab}	21.81±0.98 ^{ef}	9.41±0.64 ^{cd}	24.29±3.64 ^{de}	57.52±4.17 ^{abc}	9.32±0.26 ^{efg}	57.41±8.75 ^{ab}
โซเดียมไนเตรต (แดง)	18.98±1.01 ^a	16.25±1.33 ^{bc}	24.27±1.55 ^{ef}	7.22±1.10 ^{cd}	19.52±1.81 ^{de}	42.91±2.05 ^d	2.66±0.24 ^g	14.98±2.00 ^e
โซเดียมไนเตรต (เหลือง)	18.98±1.01 ^a	34.57±3.66 ^{ab}	47.33±2.43 ^{ab}	12.61±0.77 ^c	42.21±3.71 ^{bc}	44.58±2.22 ^{cd}	22.08±2.69 ^{cd}	38.12±6.88 ^{abcd}
โซเดียมไนเตรต (เขียว)	18.98±1.01 ^a	14.49±0.67 ^{bc}	38.09±2.77 ^{bc}	14.53±1.31 ^c	27.19±3.16 ^{de}	31.22±1.49 ^e	4.84±0.68 ^{fg}	45.35±2.39 ^{abc}
โพแทสเซียมไนเตรต (ขาว)	18.98±1.01 ^a	12.11±1.28 ^c	44.60±3.03 ^{ab}	9.71±1.65 ^{cd}	87.93±1.91 ^a	69.24±4.97 ^a	9.62±0.92 ^{efg}	36.48±2.09 ^{bcd}
โพแทสเซียมไนเตรต (ฟ้า)	18.98±1.01 ^a	49.74±10.66 ^a	26.88±0.68 ^{def}	27.92±1.71 ^{ab}	44.92±4.14 ^{bc}	21.19±2.93 ^{ef}	14.66±1.11 ^{cdef}	11.14±1.30 ^e
โพแทสเซียมไนเตรต (ม่วง)	18.98±1.01 ^a	16.42±1.53 ^{bc}	18.72±0.70 ^f	30.99±4.37 ^a	51.96±4.30 ^b	16.44±1.89 ^{fg}	19.63±1.07 ^{cde}	25.06±1.33 ^{cde}
โพแทสเซียมไนเตรต (แดง)	18.98±1.01 ^a	48.82±5.55 ^b	38.75±1.51 ^{bc}	8.16±1.24 ^{cd}	25.39±2.29 ^{de}	8.20±1.00 ^g	4.00±0.84 ^{fg}	7.03±0.60 ^e
โพแทสเซียมไนเตรต (เหลือง)	18.98±1.01 ^a	34.92±3.52 ^{ab}	36.29±3.94 ^{bcd}	30.6409±0.90 ^a	32.24±4.04 ^{cd}	55.06±3.72 ^{bcd}	11.41±0.78 ^{defg}	45.27±6.30 ^{abc}
โพแทสเซียมไนเตรต (เขียว)	18.98±1.01 ^a	47.98±6.05 ^a	32.00±2.37 ^{cde}	27.0053±1.47 ^{ab}	15.45±1.15 ^e	63.35±4.12 ^{ab}	24.23±2.59 ^c	22.47±2.81 ^{de}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณไฟโคอิริธรีน (มิลลิกรัมต่อกรัมสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	112.86±8.25 ^a	63.96±4.30 ^{def}	130.27±9.36 ^a	44.97±3.91 ^b	64.92±2.88 ^{cd}	72.44±2.41 ^{bc}	107.42±7.16 ^a	51.56±6.67 ^{ab}
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	112.86±8.25 ^a	96.17±6.97 ^{cd}	58.81±4.18 ^d	8.70±0.82 ^d	77.09±6.08 ^{bc}	42.97±3.10 ^d	86.56±0.81 ^b	18.26±1.32 ^{ef}
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	112.86±8.25 ^a	85.78±3.62 ^{de}	46.66±2.07 ^d	17.71±0.78 ^{cd}	41.00±5.22 ^e	84.30±3.61 ^b	11.27±0.55 ^{de}	57.68±7.94 ^a
โซเดียมไนเตรด (แดง)	112.86±8.25 ^a	41.07±3.01 ^f	59.05±4.60 ^a	14.58±2.18 ^{cd}	32.81±2.88 ^e	62.22±2.56 ^c	3.15±0.25 ^e	15.44±2.03 ^{ef}
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	112.86±8.25 ^a	104.22±9.20 ^{cd}	108.34±5.44 ^{ab}	25.01±2.06 ^c	73.28±3.82 ^{bc}	67.80±3.29 ^{bc}	29.76±3.36 ^c	37.78±7.41 ^{bcd}
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	112.86±8.25 ^a	40.41±2.69 ^f	90.51±3.92 ^{bc}	26.25±2.09 ^c	43.39±4.36 ^e	45.64±2.34 ^d	6.29±1.03 ^e	45.22±2.94 ^{abc}
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	112.86±8.25 ^a	48.45±5.13 ^{ef}	126.45±10.39 ^a	20.06±3.73 ^{cd}	152.46±4.95 ^a	103.30±7.13 ^a	12.98±1.45 ^{de}	30.95±2.49 ^{cde}
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	112.86±8.25 ^a	226.64±14.20 ^a	72.34±2.82 ^{cd}	56.47±3.44 ^{ab}	74.15±7.55 ^{bc}	30.18±3.33 ^{de}	18.70±1.25 ^{cd}	10.49±1.08 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	112.86±8.25 ^a	62.94±5.93 ^{def}	51.08±2.97 ^d	65.13±5.97 ^a	91.01±7.57 ^b	24.45±1.81 ^{ef}	25.32±0.97 ^c	22.63±1.40 ^{cdef}
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	112.86±8.25 ^a	188.98±17.50 ^b	86.62±3.30 ^{bc}	15.34±2.23 ^{cd}	38.40±3.14 ^d	10.85±1.17 ^f	4.67±1.02 ^e	7.15±0.55 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	112.86±8.25 ^a	132.84±12.27 ^c	94.58±6.44 ^{bc}	59.89±1.69 ^a	49.91±4.07 ^{de}	75.95±4.27 ^{bc}	13.87±1.04 ^{de}	42.74±5.67 ^{abc}
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	112.86±8.25 ^a	177.43±11.42 ^b	86.68±7.17 ^{bc}	60.77±3.58 ^a	28.41±2.99 ^e	103.01±6.60 ^a	28.69±2.40 ^c	21.02±1.97 ^{cdef}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณโปรตีน (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	60.10±2.27 ^a	79.97±1.46 ^c	104.14±3.22 ^a	105.68±1.71 ^b	122.90±4.39 ^b	166.19±3.58 ^a	157.47±3.62 ^b	283.80±1.23 ^b
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	60.10±2.27 ^a	105.68±2.47 ^c	78.27±1.98 ^d	77.42±2.20 ^c	89.35±0.49 ^{cd}	96.79±1.09 ^c	99.50±2.74 ^{cd}	293.72±1.12 ^b
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	60.10±2.27 ^a	105.79±2.24 ^c	82.52±1.34 ^{cd}	82.88±1.04 ^{cd}	92.85±2.48 ^{cd}	100.99±2.80 ^c	108.92±2.08 ^{def}	189.51±1.88 ^{de}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	60.10±2.27 ^a	105.42±2.32 ^c	85.95±1.68 ^{cd}	78.39±2.23 ^c	84.14±1.99 ^{cd}	95.66±1.61 ^c	102.94±2.36 ^{def}	377.85±3.20 ^a
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	60.10±2.27 ^a	129.30±1.73 ^{ab}	93.31±1.39 ^{bc}	91.73±4.10 ^{cd}	92.42±0.41 ^{cd}	107.46±1.34 ^c	115.07±2.63 ^d	205.36±3.41 ^d
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	60.10±2.27 ^a	114.74±1.99 ^{bc}	82.27±0.66 ^{cd}	74.31±1.99 ^c	78.27±1.83 ^b	93.39±1.78 ^c	188.54±1.64 ^a	369.46±1.84 ^a
โพแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	60.10±2.27 ^a	143.37±7.03 ^a	104.55±0.80 ^b	116.84±1.10 ^b	136.25±2.28 ^a	154.53±8.53 ^a	159.06±4.92 ^b	203.03±7.23 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	60.10±2.27 ^a	115.87±4.09 ^{bc}	78.88±3.63 ^d	82.03±2.09 ^{cd}	87.37±0.63 ^{cd}	100.19±2.36 ^c	100.19±2.46 ^{cd}	229.34±9.00 ^c
โพแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	60.10±2.27 ^a	128.97±2.57 ^{ab}	86.88±2.15 ^{cd}	82.64±1.82 ^{cd}	95.98±2.91 ^c	123.98±3.65 ^b	111.51±1.29 ^{de}	129.16±2.40 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (แดง)	60.10±2.27 ^a	136.58±5.94 ^a	86.60±2.98 ^{cd}	81.67±2.66 ^{cd}	81.10±3.50 ^b	107.79±2.17 ^c	96.14±1.60 ^{fs}	292.24±2.52 ^b
โพแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	60.10±2.27 ^a	144.88±8.10 ^a	99.70±1.84 ^{ab}	98.08±4.01 ^{bc}	96.95±1.04 ^c	136.09±1.46 ^b	135.44±5.10 ^c	137.46±3.31 ^f
โพแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	60.10±2.27 ^a	135.28±2.57 ^a	85.31±3.97 ^{cd}	77.22±4.01 ^c	81.75±3.22 ^{cd}	93.55±1.72 ^c	90.16±0.86 ^g	187.41±2.00 ^e

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 24 ปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสหาร่าย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรด (ขาว)	14.94±0.29 ^a	11.51±0.47 ^e	12.06±0.23 ^d	24.22±0.09 ^c	40.58±0.41 ^b	41.79±0.18 ^d	50.27±0.20 ^e	56.37±0.71 ^c
โซเดียมไนเตรด (ฟ้า)	14.94±0.29 ^a	15.43±0.41 ^d	16.51±0.22 ^{bc}	27.31±0.11 ^{ab}	37.86±0.40 ^c	47.52±0.23 ^c	56.59±0.15 ^{bcd}	43.28±0.78 ^s
โซเดียมไนเตรด (ม่วง)	14.94±0.29 ^a	13.88±0.38 ^{de}	8.82±0.18 ^e	18.06±0.08 ^f	37.90±0.31 ^c	47.46±0.37 ^c	56.58±0.29 ^{bcd}	54.52±0.04 ^{cde}
โซเดียมไนเตรด (แดง)	14.94±0.29 ^a	14.16±0.56 ^{de}	18.57±0.26 ^a	27.91±0.08 ^{ab}	47.09±0.30 ^a	56.95±0.26 ^a	66.12±0.21 ^a	65.89±0.70 ^a
โซเดียมไนเตรด (เหลือง)	14.94±0.29 ^a	19.56±0.64 ^c	10.93±0.24 ^d	18.72±0.10 ^{ef}	38.31±0.27 ^c	48.17±0.12 ^{bc}	57.77±0.10 ^b	55.18±0.22 ^{cd}
โซเดียมไนเตรด (เขียว)	14.94±0.29 ^a	16.50±0.36 ^d	17.16±0.18 ^b	26.72±0.12 ^b	46.27±0.22 ^a	46.82±0.18 ^c	55.69±0.26 ^{cd}	64.45±0.34 ^a
โทแทสเซียมไนเตรด (ขาว)	14.94±0.29 ^a	27.37±0.52 ^a	15.49±0.31 ^c	22.00±0.28 ^d	41.79±0.04 ^b	41.54±0.63 ^d	48.94±1.18 ^e	52.60±0.59 ^{ef}
โทแทสเซียมไนเตรด (ฟ้า)	14.94±0.29 ^a	22.81±0.70 ^b	11.03±0.33 ^d	28.30±0.28 ^a	37.20±0.21 ^c	47.23±0.45 ^c	56.40±0.12 ^{bcd}	50.86±0.54 ^f
โทแทสเซียมไนเตรด (ม่วง)	14.94±0.29 ^a	26.24±0.89 ^a	11.07±0.16 ^d	18.85±0.45 ^{ef}	28.42±0.48 ^d	48.35±0.64 ^{bc}	56.23±0.53 ^{bcd}	53.84±0.64 ^{de}
โทแทสเซียมไนเตรด (แดง)	14.94±0.29 ^a	27.50±0.99 ^a	9.67±0.27 ^e	27.72±0.34 ^{ab}	46.15±0.33 ^a	57.16±0.10 ^a	65.59±0.10 ^a	64.91±0.22 ^a
โทแทสเซียมไนเตรด (เหลือง)	14.94±0.29 ^a	26.24±1.02 ^a	12.06±0.25 ^d	19.64±0.73 ^e	37.69±0.60 ^c	49.43±0.45 ^b	57.48±0.45 ^{bc}	54.50±0.21 ^{cde}
โทแทสเซียมไนเตรด (เขียว)	14.94±0.29 ^a	26.36±0.62 ^a	11.05±0.37 ^d	28.67±0.37 ^a	37.43±0.09 ^c	47.60±0.13 ^c	55.38±0.17 ^d	58.69±0.19 ^b

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 25 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต (ขาว)	2.52±0.80 ^a	18.98±3.13 ^{ab}	12.03±0.96 ^{ab}	20.45±1.09 ^a	21.57±2.43 ^a	22.57±2.57 ^{ab}	31.10±1.72 ^a	32.64±2.44 ^a
โซเดียมไนเตรต (ฟ้า)	2.52±0.80 ^a	18.62±2.11 ^{ab}	8.55±0.72 ^{cd}	5.36±0.58 ^e	12.48±1.13 ^b	10.00±2.11 ^{de}	13.85±1.16 ^{def}	10.75±0.77 ^{de}
โซเดียมไนเตรต (ม่วง)	2.52±0.80 ^a	11.22±1.56 ^{cd}	8.59±0.98 ^{cd}	8.87±1.02 ^d	10.71±0.37 ^{bc}	15.37±2.00 ^{cd}	16.39±0.67 ^{cde}	13.76±0.74 ^{de}
โซเดียมไนเตรต (แดง)	2.52±0.80 ^a	10.41±1.96 ^{cd}	7.16±0.75 ^d	8.36±0.95 ^d	10.77±1.10 ^{bc}	18.23±0.91 ^{bc}	9.13±1.33 ^{fg}	9.98±0.29 ^{ef}
โซเดียมไนเตรต (เหลือง)	2.52±0.80 ^a	15.69±0.94 ^{bc}	12.27±0.29 ^{ab}	8.98±0.52 ^d	14.15±1.03 ^b	26.82±0.47 ^a	17.38±0.45 ^{cd}	19.28±0.48 ^b
โซเดียมไนเตรต (เขียว)	2.52±0.80 ^a	6.13±1.01 ^d	5.81±0.43 ^d	4.49±0.22 ^e	7.65±0.72 ^c	4.70±0.57 ^e	7.93±0.96 ^g	6.39±0.31 ^f
โพแทสเซียมไนเตรต (ขาว)	2.52±0.80 ^a	24.52±1.35 ^a	14.43±0.75 ^a	16.78±0.58 ^b	19.90±0.94 ^a	23.97±1.50 ^{ab}	23.72±1.36 ^b	31.41±0.63 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต (ฟ้า)	2.52±0.80 ^a	18.12±1.20 ^{ab}	10.64±0.64 ^{bc}	11.20±0.36 ^{cd}	12.14±0.11 ^{bc}	14.09±0.52 ^{cd}	13.76±0.76 ^{def}	14.60±0.73 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรต (ม่วง)	2.52±0.80 ^a	20.35±0.98 ^{ab}	12.05±0.37 ^{ab}	11.31±0.32 ^{cd}	13.66±0.51 ^b	17.89±0.94 ^{bc}	16.39±0.22 ^{cde}	18.21±0.44 ^{bc}
โพแทสเซียมไนเตรต (แดง)	2.52±0.80 ^a	21.61±1.31 ^{ab}	11.56±0.68 ^{abc}	11.14±0.46 ^{cd}	10.52±0.80 ^{bc}	15.47±0.46 ^{cd}	13.17±0.59 ^{def}	12.76±0.54 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรต (เหลือง)	2.52±0.80 ^a	20.13±1.65 ^{ab}	14.09±0.39 ^a	13.81±0.74 ^c	13.83±0.18 ^b	19.34±1.40 ^{bc}	19.43±1.48 ^c	19.56±1.04 ^b
โพแทสเซียมไนเตรต (เขียว)	2.52±0.80 ^a	19.90±0.82 ^{ab}	11.35±0.82 ^{abc}	9.83±0.87 ^d	10.82±0.65 ^{bc}	13.23±0.30 ^{cd}	11.78±0.86 ^{efg}	11.65±0.61 ^{de}

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางหมวดที่ 26 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสหาราย) ของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงโดยแหล่งไนโตรเจนและความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

แหล่งไนโตรเจน (และความยาวคลื่นแสง)	เวลา (วัน)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
โซเดียมไนเตรต (ขาว)	1.20±0.10 ^a	4.38±0.05 ^a	2.87±0.18 ^c	4.06±0.28 ^a	3.14±0.19 ^b	3.62±0.20 ^b	4.40±0.11 ^a	3.08±0.11 ^b
โซเดียมไนเตรต (ฟ้า)	1.20±0.10 ^a	4.85±0.29 ^a	1.85±0.13 ^{de}	1.03±0.07 ^{gh}	1.93±0.08 ^d	1.28±0.14 ^f	1.84±0.18 ^{efg}	1.09±0.04 ^f
โซเดียมไนเตรต (ม่วง)	1.20±0.10 ^a	3.20±0.22 ^b	2.04±0.06 ^d	1.79±0.12 ^{ef}	1.82±0.11 ^d	2.51±0.13 ^{cd}	1.98±0.10 ^{def}	1.38±0.06 ^{de}
โซเดียมไนเตรต (แดง)	1.20±0.10 ^a	2.14±0.11 ^{cd}	1.87±0.13 ^{de}	1.49±0.04 ^{fg}	1.81±0.18 ^d	2.63±0.07 ^c	0.93±0.06 ⁱ	1.03±0.03 ^f
โซเดียมไนเตรต (เหลือง)	1.20±0.10 ^a	4.53±0.15 ^a	2.81±0.09 ^c	1.76±0.07 ^{ef}	2.46±0.08 ^c	4.08±0.05 ^a	2.34±0.04 ^{cd}	1.89±0.07 ^c
โซเดียมไนเตรต (เขียว)	1.20±0.10 ^a	1.53±0.19 ^d	1.39±0.12 ^e	0.81±0.04 ^h	1.22±0.11 ^e	0.68±0.07 ^g	1.00±0.09 ^{hi}	0.63±0.02 ^g
โพแทสเซียมไนเตรต (ขาว)	1.20±0.10 ^a	2.55±0.17 ^{bc}	4.07±0.18 ^a	3.44±0.12 ^b	3.59±0.01 ^a	3.79±0.05 ^{ab}	3.03±0.12 ^b	3.65±0.08 ^a
โพแทสเซียมไนเตรต (ฟ้า)	1.20±0.10 ^a	2.66±0.14 ^{bc}	3.00±0.12 ^{bc}	2.26±0.08 ^{de}	2.00±0.06 ^d	2.03±0.14 ^e	1.76±0.10 ^{efg}	1.38±0.06 ^{de}
โพแทสเซียมไนเตรต (ม่วง)	1.20±0.10 ^a	2.58±0.14 ^{bc}	3.06±0.04 ^{bc}	2.42±0.13 ^{cd}	2.53±0.06 ^c	2.92±0.10 ^c	2.12±0.10 ^{cde}	1.64±0.05 ^{cd}
โพแทสเซียมไนเตรต (แดง)	1.20±0.10 ^a	2.46±0.10 ^{bc}	2.58±0.12 ^c	2.10±0.11 ^{de}	1.59±0.13 ^{de}	2.05±0.06 ^e	1.53±0.06 ^{fg}	1.30±0.03 ^{ef}
โพแทสเซียมไนเตรต (เหลือง)	1.20±0.10 ^a	2.45±0.18 ^{bc}	3.50±0.13 ^b	2.87±0.18 ^c	2.02±0.02 ^d	2.91±0.13 ^c	2.48±0.14 ^c	1.84±0.07 ^c
โพแทสเซียมไนเตรต (เขียว)	1.20±0.10 ^a	2.24±0.16 ^{cd}	2.85±0.09 ^c	2.20±0.05 ^{de}	1.96±0.04 ^d	2.15±0.04 ^{de}	1.40±0.11 ^{gh}	1.09±0.01 ^f

*หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 27 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อผลผลิตชีวมวลของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	0.005002083	1	0.005002083	2.547930669	0.11918	4.113165277
Wavelengths	0.208360417	5	0.041672083	21.22667138	0.00000	2.477168673
Interaction	0.015060417	5	0.003012083	1.534276618	0.20375	2.477168673
Within	0.070675	36	0.001963194			
Total	0.299097917	47				

ตารางผนวกที่ 28 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อคลอโรฟิลล์ของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	0.060506225	1	0.060506225	29.01383055	0.00000	4.113165277
Wavelengths	1.524309067	5	0.304861813	146.1867591	0.00000	2.477168673
Interaction	0.348490349	5	0.06969807	33.42148634	0.00000	2.477168673
Within	0.075075372	36	0.002085427			
Total	2.008381013	47				

ตารางผนวกที่ 29 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อแคโรทีนอยด์ของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	0.0000000	1	0.00000	1.874136268	0.17948	4.113165277
Wavelengths	0.0000000	5	0.00000	35.23441369	0.00000	2.477168673
Interaction	0.0000000	5	0.00000	3.452070378	0.01192	2.477168673
Within	0.0000000	36	0.00000			
Total	0.0000000	47				

ตารางผนวกที่ 30 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อไฟโคไซยานินของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	1170.685921	1	1170.685921	91.53523031	0.00000	4.113165277
Wavelengths	1783.715597	5	356.7431195	27.89353065	0.00000	2.477168673
Interaction	1767.397861	5	353.4795722	27.63835584	0.00000	2.477168673
Within	460.4204632	36	12.78945731			
Total	5182.219842	47				

ตารางผนวกที่ 31 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อไฟโคอิริธรินของ *S. platensis*

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
N-source	2757.874095	1	2757.874095	37.09992307	0.00000	4.113165277
Wavelengths	7509.477068	5	1501.895414	20.2040421	0.00000	2.477168673
Interaction	2028.147755	5	405.6295509	5.45667591	0.00000	2.477168673
Within	2676.109792	36	74.33638311			
Total	14971.60871	47				

ตารางผนวกที่ 32 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อโปรตีนของ *S. platensis*

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
N-source	6.103280333	1	6.103280333	6.110809949	0.01829	4.113165277
Wavelengths	1646.22859	5	329.245718	329.6519084	0.00000	2.477168673
Interaction	207.3648515	5	41.4729703	41.52413549	0.00000	2.477168673
Within	35.95564153	36	0.99876782			
Total	1895.652364	47				

ตารางผนวกที่ 33 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อคาร์โบไฮเดรตของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	1.079041458	1	1.079041458	66.13494807	0.00000	4.113165277
Wavelengths	32.3721222	5	6.47442444	396.8204566	0.00000	2.477168673
Interaction	0.453247943	5	0.090649589	5.555955049	0.00068	2.477168673
Within	0.587367098	36	0.016315753			
Total	34.4917787	47				

ตารางผนวกที่ 34 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อไขมันของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	2.455993603	1	2.455993603	0.69074074	0.41139	4.113165277
Wavelengths	245.523914	5	49.1047828	13.810571	0.00000	2.477168673
Interaction	398.6305297	5	79.72610595	22.42272511	0.00000	2.477168673
Within	128.0013825	36	3.555593959			
Total	774.6118199	47				

ตารางผนวกที่ 35 ค่าปฏิสัมพันธ์ของแหล่งไนโตรเจนและแสงสีต่อการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของ *S. platensis*

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
N-source	84.46467755	1	84.46467755	48.74651576	0.00000	4.259677273
Wavelengths	686.4584977	5	137.2916995	79.23420996	0.00000	2.620654148
Interaction	78.3441761	5	15.66883522	9.042846609	0.00000	2.620654148
Within	41.58558267	24	1.732732611			
Total	890.852934	35				

ตารางผนวกที่ 36 คุณค่าทางโภชนาการของ *S. platensis*

Parameters (Nutritional value)	<i>S. platensis</i>
Moisture (%)	1.27 ± 0.34
Protein (%)	34.03 ± 2.91
Carbohydrates (%)	3.45 ± 0.22
Lipids (%)	27.49 ± 1.14
Chlorophyll (%)	55.55 ± 0.48
Carotenoids (%)	0.0342 ± 0.00
Phycocyanin (%)	11.28 ± 1.94
Phycocerythrin (%)	6.35 ± 0.65

ภาคผนวก ข

แบบฟอร์มการประเมินการแปรรูปโปรตีนบาร์

แบบสอบถามการทดสอบคะแนนความชอบ วิทยานิพนธ์การแปรรูปโปรตีนบาร์เสริมด้วยสาหร่ายสไปรูลิน่า

ตอนที่ ๑ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

๑. ชื่อ-สกุล.....
๒. อายุ ต่ำกว่า 10 ปี 11-30 31-50 มากกว่า 50 ปี
๓. เพศ ชาย หญิง
๔. จังหวัด กรุงเทพมหานคร อื่นๆ.....

ตอนที่ ๒ ความพึงพอใจ

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่างเพื่อประเมินคุณภาพ และประเมินคะแนนลงในช่องทางขวามือตามความชอบในแต่ละปัจจัยที่กำหนดไว้ด้านล่างที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด และกรุณาตีมน้ำเปล่าล้างปากระหว่างตัวอย่าง โดยกำหนดให้

ระดับคะแนน ๓ หมายถึง พึงพอใจมาก ระดับคะแนน ๒ หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

ระดับคะแนน ๑ หมายถึง ไม่พึงพอใจ

หมายเหตุ : บรรจุภัณฑ์นี้เป็นเพียงแค่มockup ทดลองเพื่อประเมินคุณภาพตัวอย่าง

ปัจจัย	ระดับความพึงพอใจ		
	ชุดที่ ๑	ชุดที่ ๒	ชุดที่ ๓
๑. ลักษณะของโปรตีนบาร์			
๒. สี			
๓. กลิ่น			
๔. รสชาติ			
๕. เนื้อสัมผัส			
๖. ความแข็ง			
๗. ความชอบโดยรวม			

ราคาที่เหมาะสม 10-50 บาท 60-100 บาท มากกว่า 150 บาท

ข้อเสนอแนะ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



KRIS and Ethics Committee, **KMITL**

Certificate of Attendance

This is to certify
that

Janethida Kiatmontri

January 27, 2022

**The 5th of Training on Human Research Ethics : Ethical Principles of
Human Research**

“Effective date through January 27, 2024”

Theraphan Luangthongkum

Prof. Emerita Dr. Theraphan Luangthongkum
Former Chairperson of the Human Research Ethics Committee
United Institute Group, set 2, Chulalongkorn University

Rutchanee Gullayanon

Asst. Prof. Rutchanee Gullayanon, PhD.
Executive Vice President for Research and Innovation
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวเจนต์ธิดา เกียรติมนตรี
วัน เดือน ปีเกิด	30 ตุลาคม พ.ศ. 2540
ที่อยู่ปัจจุบัน	96/94 ม.2 ซอยพีโอนี่ 9 เฟส 6 ถนนสุขุมวิทวงค์ หมู่บ้าน ฟลอราวิลล์ พาร์ค ซิตี เขตหนองจอก แขวงลำผักชี กรุงเทพมหานครฯ 10530
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2563 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง เกรดเฉลี่ย 2.90 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	1. โครงการพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของชุมชนรอบ โรงไฟฟ้าบางปะกง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้