

ผลของความเค็มและอุณหภูมิต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ
ของสาหร่ายทะเล *Chaetomorpha* sp.

EFFECTS OF SALINITY AND TEMPERATURE ON PHOTOSYNTHESIS AND
RESPIRATION OF *Chaetomorpha* sp.



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AG-M-081-269

ผลของความเค็มและอุณหภูมิต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ
ของสาหร่ายทะเล *Chaetomorpha* sp.

EFFECTS OF SALINITY AND TEMPERATURE ON PHOTOSYNTHESIS AND
RESPIRATION OF *Chaetomorpha* sp.



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

KMITL-2018-AG-M-081-269

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFECTS OF SALINITY AND TEMPERATURE ON PHOTOSYNTHESIS AND
RESPIRATION OF *Chaetomorpha* sp.**



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

2018

KMITL-2018-AG-M-081-269

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของความเค็มและอุณหภูมิต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจของสาหร่ายทะเล *Chaetomorpha* sp.

ชื่อนักศึกษา

นางสาวปิยะรัตน์ ปิ่นภู

รหัสประจำตัว

56604049

ปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การประมง

พ.ศ.

2561

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ปวีณา ทวีกิจการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.อิชาโอะ ชูชอุยิ

บทคัดย่อ

การศึกษากิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. (Cladophorales, Chlorophyceae) ถูกทำขึ้นทั้งในระดับห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อม และในบ่อเลี้ยงกลางแจ้งภายใต้สภาวะแสงและอุณหภูมิธรรมชาติ โดยใช้เครื่อง Productometer ที่อาศัยหลักการความแตกต่างของปริมาตรก๊าซ โดยการทดลองระดับห้องปฏิบัติการได้ทำขึ้นในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน คือที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 9 ระดับ (0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที) ที่อุณหภูมินี้แตกต่างกัน 3 ระดับ (25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส) และที่ความเค็มแตกต่างกัน 6 ระดับ (0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที) พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มแสง 150 และ 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นลดลงเป็นลำดับจนถึงความเข้มแสงที่ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ในทุกระดับความเค็มและอุณหภูมิ ซึ่งค่าสูงสุดของการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสามารถพบได้ที่ระดับอุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส และที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 พีพีที และมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับอัตราการหายใจ ที่มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส และที่ความเค็ม 10 และ 20 พีพีที ส่วนการทดลองแบบกลางแจ้งภายใต้แสงและอุณหภูมิธรรมชาติตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ของทั้งสามฤดูกาล (ฤดูฝน, ฤดูหนาว และฤดูร้อน) พบว่าค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อวันในฤดูฝนและฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในฤดูหนาว ที่มีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส และในช่วงความเค็มที่ค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้าง (10 ถึง 30 พีพีที) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถปรับตัวได้ดีในหลายระดับ
อุณหภูมิบริเวณพื้นที่น้ำกร่อยในสภาวะแวดล้อมเขตร้อนตลอดช่วงปี โดยเฉพาะช่วงฤดูฝนและฤดู
ร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This Title	Effects of salinity and temperature on photosynthesis and respiration of <i>Chaetomorpha</i> sp.
Student	Miss Piyarat Pinphoo
Student ID	56604049
Degree	Master of Science
Program	Fisheries Science
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Praveena Taveekijakarn
Thesis Co-Advisor	Dr. Isao Tsutsui

ABSTRACT

Photosynthetic and respirational activities of *Chaetomorpha* sp. (Cladophorales, Chlorophyceae) were examined under controlled conditions in the laboratory and in a natural outdoor environment using a gas-volumeter (productometer). Laboratory experiments were set up under different conditions such as nine light irradiances (0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 400 and 600 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$), three water temperatures (25, 30 and 35°C) and six salinities (0.5, 5, 10, 20, 30 and 40 ppt). The resulting net photosynthesis rates rapidly increased at lower irradiances and peaked at 150 and 200 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$, then decreased gradually to 600 $\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at all treatments of temperature and salinity. The highest net photosynthesis rates were observed at 30 and 35°C, and salinities at 10, 20 and 30 ppt. The highest respiration rates also occurred at 30 and 35°C and at 10 and 20 ppt. The net photosynthesis rate per unit wet weight showed interaction between temperature and salinity. Outside experiments were conducted under natural conditions of irradiance and temperature for 24 hours in different seasons (rainy, winter and summer). The daily net photosynthesis rate was higher in both the rainy and summer seasons and relatively lower in the winter season due to lower temperatures. These results suggest that photosynthesis activity of *Chaetomorpha* sp. is greater relative to higher temperatures (30 – 35°C) and in a wide range of salinities (10 – 30 ppt). This indicates that *Chaetomorpha* sp. is well adapted to the temperatures

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ III อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and brackish waters in tropical environments, throughout the year especially during the rainy and summer seasons.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ปวีณา ทวี
กิจการ และ ดร.อิชาโอะ ชูชุย อธิการย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้โอกาสให้ความช่วยเหลือ
ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ไขปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มณฑล แก่นมณี รศ.ดร.สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ ดร.สรวิศ เผ่าทองสุข
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะในการปรับปรุงแก้ไข จนทำ
ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์คุสิต เอื้ออำนวย นางสาวจรรุวรรณ สงพัฒน์แก้ว นางสาวชลดา มี
อนันต์ นางสาวสิริมาศ กลมกลิ้ง และนางสาวหฤทัยชนก สุขฉชัย ที่คอยให้คำปรึกษา คำชี้แนะ
ตลอดจนช่วยเหลือข้าพเจ้าในการทำวิจัย

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการการเลี้ยงกุ้งร่วมกับสาหร่าย (SCORL) ที่มอบความสะดวกสบาย
ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย รวมถึงเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณน้องๆ ในห้องปฏิบัติการการเลี้ยงกุ้งร่วมกับสาหร่าย (SCORL) ทุกท่านที่คอย
ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัวและนายกิตติพงษ์ เชนอักษร ที่ให้การสนับสนุน และ
คอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสามารถก่อให้เกิดความรู้แก่ผู้ที่สนใจ สิ่งที่ข้าพเจ้า
ทำการศึกษาเป็นเพียงจุดเริ่มต้นสำหรับการศึกษาต่อไปในอนาคต ประโยชน์และคุณค่าจาก
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณของข้าพเจ้าทุกท่าน

ปิยะรัตน์ ปิ่นภู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	3
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	3
2.1.2 อนุกรมวิธานของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	3
2.1.3 ถิ่นที่อยู่อาศัย <i>Chaetomorpha</i> sp.	4
2.2 รังสีจากดวงอาทิตย์ที่พืชนำไปใช้ประโยชน์.....	4
2.3. การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ.....	6
2.3.1 ปฏิกริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง.....	7
2.3.1.1 ปฏิกริยาแสง (light reaction).....	7
2.3.1.2 ปฏิกริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ fixation reaction) หรือ Calvin cycle.....	8
2.3.2 ปฏิกริยาการหายใจ.....	8
2.3.2.1 ปฏิกริยาไกลโคไลซิส (glycolysis).....	8
2.3.2.2 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle).....	8
2.3.2.3 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (respiratory chain).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VI อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 รังควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง.....	9
2.5 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ.....	10
2.5.1 แสง (light).....	10
2.5.2 อุณหภูมิ (temperature)	12
2.5.3 ความเข้มข้นของคาร์บอน ไดออกไซด์ (carbon dioxide concentration)..	14
2.5.4 ความเค็ม (salinity).....	15
2.5.5 พีเอช (pH).....	16
2.6 วิธีการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายทะเล.....	16
2.6.1 การวัดด้วยวิธี Differential gas volumeter.....	16
2.6.2 การวัดโดย Pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry.....	18
2.6.3 การวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO meter)...	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	22
3.2 การเตรียมสาหร่ายที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.3 การเตรียมน้ำเค็มสำหรับใช้ทดลอง.....	23
3.4 หลักการทำงานและการเตรียม Productometer.....	23
3.5 การทดลองที่ 1: การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของ <i>Chaetomorpha</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ.....	24
3.6 การทดลองที่ 2: การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของ <i>Chaetomorpha</i> sp. ในบ่อเลี้ยงกลางแจ้ง ภายใต้แสงธรรมชาติและอุณหภูมิ ในรอบวัน.....	25
3.7 การคำนวณปริมาณการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ.....	25
3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์.....	27
4.1 การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ในห้องปฏิบัติการ.....	27
4.2 การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ในบ่อเลี้ยงกลางแจ้ง ภายใต้แสงธรรมชาติและอุณหภูมิในรอบวัน.....	52
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	64
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	73
ประวัติผู้เขียน.....	88



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รงควัตถุในพืชชนิดต่างๆ.....	9
4.1 ผลของความอุณหภูมิและความเค็มต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่ายที่ความเข้มแสง 150 ไมโคร โมล โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) และค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value).....	40
4.2 ผลของความอุณหภูมิและความเค็มต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ที่ความเข้มแสง 150 ไมโคร โมล โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) และค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value).....	44
4.3 อุณหภูมิที่ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดในสาหร่ายชนิดอื่น.....	47
4.4 ความเค็มที่ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดในสาหร่ายชนิดอื่น.....	49
4.5 อัตราส่วนของน้ำหนักเปียกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	50
4.6 ช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงกึ่งทะเล และช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่สาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้.....	51
4.7 ค่าเฉลี่ยปัจจัยความเข้มแสง อุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ ค่าเฉลี่ยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ที่ความเค็ม 20 พีพีที ในรอบวันในฤดูกาลที่ต่างกัน.....	60
4.8 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ในแต่ละฤดูกาล (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	62
4.9 อัตราส่วนของน้ำหนักเปียกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	3
2.2 แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	4
2.3 รังสีดวงอาทิตย์และส่วนที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (PAR).....	5
2.4 เครื่องวัดแสงและหัววัดแสงใต้น้ำแบบ Photosynthetically Active Radiation (PAR).....	6
2.5 ลักษณะภายในคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นที่อยู่ของไทลาคอยด์เมมเบรน.....	7
2.6 แผนภาพแสดง light saturation point และ light compensation point.....	11
2.7 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมของเอนไซม์.....	13
2.8 แผนผังเครื่อง Productmeter.....	17
2.9 เครื่อง PAM fluorometer ขนาดเล็ก สามารถพกพาได้สะดวก และเครื่อง Dving-PAM fluorometer ที่สามารถใช้งานใต้น้ำได้.....	18
3.1 แผนภาพแสดงตำแหน่งต่างๆของเครื่อง Productometer.....	24
4.1 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย).....	30
4.2 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียกสาหร่าย).....	31
4.3 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียกสาหร่าย).....	32
4.4 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับคลอโรฟิลล์เอสาหร่าย).....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบต่อคลอโรฟิลล์เอ สาหร่าย).....	37
4.6 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบต่อคลอโรฟิลล์เอ สาหร่าย).....	38
4.7 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกสาหร่าย (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที ที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที.....	42
4.8 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที ที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที.....	46
4.9 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูฝน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	53
4.10 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูฝน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน).....	54
4.11 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูหนาว ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	55

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูหนาว ที่ ความเข้ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	56
4.13 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อ ปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูร้อน ที่ ความเข้ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	57
4.14 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การหายใจของสาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp. ต่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวันในฤดูร้อน ที่ ความเข้ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	58
4.15 ความเข้มแสงและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนั กเปียก และปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย ที่เวลา 9 นาฬิกา (\pm ความคลาดเคลื่อน มาตรฐาน).....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สาหร่ายทะเลที่อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่งบริเวณเขตนํ้ากร่อย ในกลุ่ม *Ulva*, *Cladophora* และ *Chaetomorpha* เป็นสาหร่ายที่มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ คือ เป็นแหล่งกำบัง แหล่งหลบภัย แหล่งที่อยู่อาศัย (Tsutsui *et al.* 2013) และเป็นอาหารให้กับสัตว์ทะเลและสัตว์หน้าดิน เช่น กุ้ง ปู หอยสองฝา และหอยฝาเดียว (Xu and Lin. 2008) นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นตัวช่วยรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (อิซาโอะ ชูซุยอิ และคณะ 2012) โดยมีความสามารถในการดูดซับค่าแอมโมเนียได้เป็นอย่างดี (McGlathery *et al.* 1997)

สาหร่ายกลุ่ม *Chaetomorpha* เป็นสาหร่ายทะเลที่พบเจอได้ง่ายและแพร่กระจายอยู่โดยทั่วไปทุกภูมิภาคของโลกในเขตร้อนและเขตอบอุ่นตามแนวชายฝั่งบริเวณนํ้ากร่อย (Deng *et al.* 2012) สำหรับประเทศไทยชนิดที่พบบ่อยคือสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เป็นสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวมีลักษณะเป็นเส้นสายที่อ่อนนุ่ม สานรวมกันเป็นกลุ่ม (Tsutsui *et al.* 2015) มักพบอยู่ตามบริเวณแหล่งน้ำปิดที่มีความเค็มต่ำ เช่น คลองส่งน้ำ หรือบ่อเลี้ยงสัตว์นํ้ากร่อย จากรายงานพบว่าสาหร่ายสามารถเป็นอาหารเสริมให้กับกุ้งทะเลได้ โดยพบว่าสาหร่ายเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบของอาหารที่พบในกระเพาะอาหารของกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงร่วมกับสาหร่าย (จริยวดี สุริยพันธุ์. 2551) และจากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการพบว่าสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. น้ำหนักแห้ง 100 กรัม ให้พลังงาน 1,455 กิโลแคลอรี มีโปรตีน 20.4 กรัม ใยอาหาร 21.8 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 64.8 กรัม ซึ่งมากกว่าในสาหร่ายสีเขียว *Ulva clathrate*, *Ulva prolifera* และ *Ulva* sp. (Tsutsui *et al.* 2015) อีกทั้งสาหร่ายยังสามารถดูดซับธาตุอาหารได้เป็นอย่างดี จากลักษณะดังกล่าวทำให้มีความพยายามในการนำสาหร่ายทะเล *Chaetomorpha* sp. มาใช้พัฒนาการเลี้ยงร่วมกับกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) เพื่อลดต้นทุนในการเลี้ยง เนื่องจากสาหร่ายสามารถเป็นอาหารเสริมให้กับกุ้ง และยังช่วยกำจัดของเสียในบ่อเลี้ยงอีกด้วย ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่ไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย (สุปรีชา กลิ่นพูนและนบสร วันชาญเวช. 2010) เป็นการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตกุ้งกุลาดำที่เคยเป็นสัตว์นํ้าเศรษฐกิจอันดับต้นๆ ที่ทำรายได้ให้กับประเทศ ที่ปัจจุบันมีมูลค่าการส่งออกลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับอดีต เนื่องมาจากเกษตรกรผู้เลี้ยงประสบปัญหาต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นจากการเลี้ยงที่กุ้งมีการเจริญเติบโตช้า และมักมีขนาดที่แตกต่างกันมาก รวมไปถึงปัญหาทางสภาพแวดล้อม ส่งผลให้ผลผลิตกุ้งลดลงจนผู้เลี้ยงประสบปัญหาขาดทุน

ดังนั้นข้อมูล และปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญยิ่งต่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายชนิดนี้อย่างยิ่งย่น เช่น ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพแวดล้อม และแหล่งที่อยู่อาศัย ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยังมีค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้าใจเกี่ยวกับกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่ายังเป็นข้อมูลที่ขาดการรายงานไว้ ดังนั้นจึงทำการทดลองครั้งนี้เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจในสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการนำไปใช้ส่งเสริมการเลี้ยงกุ้งร่วมกับสาหร่ายทะเล *Chaetomorpha* sp. ในการผลิตกุ้งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความเค็มและอุณหภูมิ เนื่องจากความเค็มและอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการรอดและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าความเค็มและอุณหภูมิที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อปริมาณการการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาผลของความเค็มและอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในห้องปฏิบัติการ

1.2.2 ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในรอบวัน ที่อุณหภูมิและความเข้มแสงตามธรรมชาติ ในสภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

1.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ใช้เวลาในการดำเนินการศึกษา 2 ปี 6 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงปริมาณการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่ระดับความเค็มและอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และทราบถึงการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในรอบวัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้กับการเลี้ยงร่วมกับกุ้งต่อไป

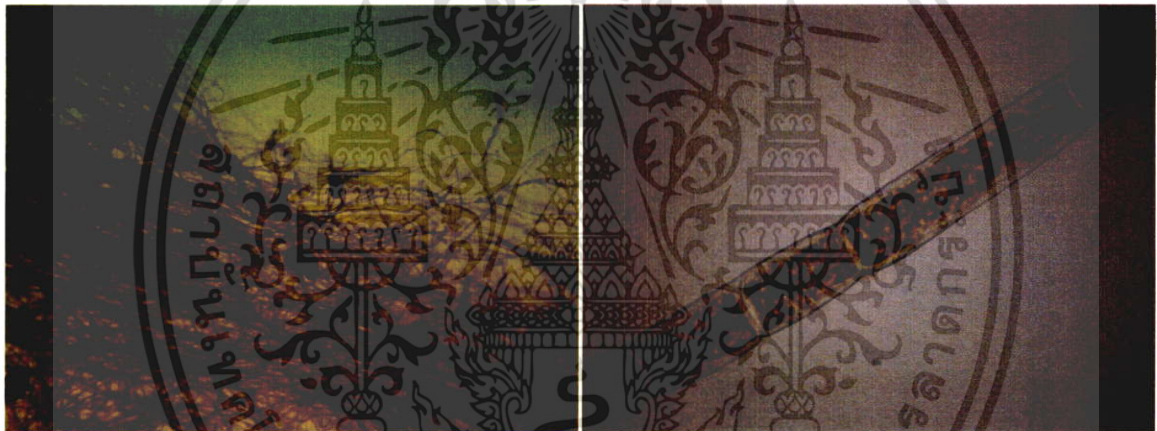
บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เป็นสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย มีความอ่อนนุ่ม มีสีเขียวอ่อนไปจนถึงเขียวเข้ม เกิดจากเซลล์เป็นรูปทรงกระบอกเรียงต่อกัน ไม่มีการแตกแขนง แต่ละเซลล์มีความยาวประมาณ 90 ถึง 100 ไมโครเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 ถึง 40 ไมโครเมตร ในแต่ละเซลล์มี 10 ถึง 17 นิวคลีโอไทด์ (อิซาโอะ ชูซุย และคณะ 2012) เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ เส้นสายของสาหร่ายสามารถยาวได้ถึง 50 ถึง 60 เซนติเมตร (Tsutsui *et al.* 2015)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

2.1.2 อนุกรมวิธานของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

Empire: Eukaryota

Kingdom: Plantae

Phylum: Chlorophyta

Class: Ulvophyceae

Order: Cladophorales

Family: Cladophorraceae

Genus: *Chaetomorpha* (Algaebase. 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ถิ่นที่อยู่อาศัยของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มักล่องลอยอยู่บนผิวน้ำหรือตามพื้นท้องน้ำ มีการสานรวมกันเป็นกลุ่มหรือขดพันกันปกคลุมวัสดุต่างๆ ในแหล่งน้ำ พบได้บริเวณแหล่งน้ำนิ่งที่คลื่นลมสงบ เช่น หนองน้ำ คลองส่งน้ำ ทางน้ำนาเกลือ บ่อน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ พบได้ในแหล่งน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 3.4 ถึง 90 พีพีที และที่อุณหภูมิระหว่าง 23.5 ถึง 36.6 องศาเซลเซียส มีการแพร่กระจายตลอดทั้งปี บริเวณชายฝั่งภาคกลางและภาคตะวันออกของประเทศไทย (อิชาโอะ ชูชุยอิ และคณะ 2012 ; Tsutsui *et al.* 2015)

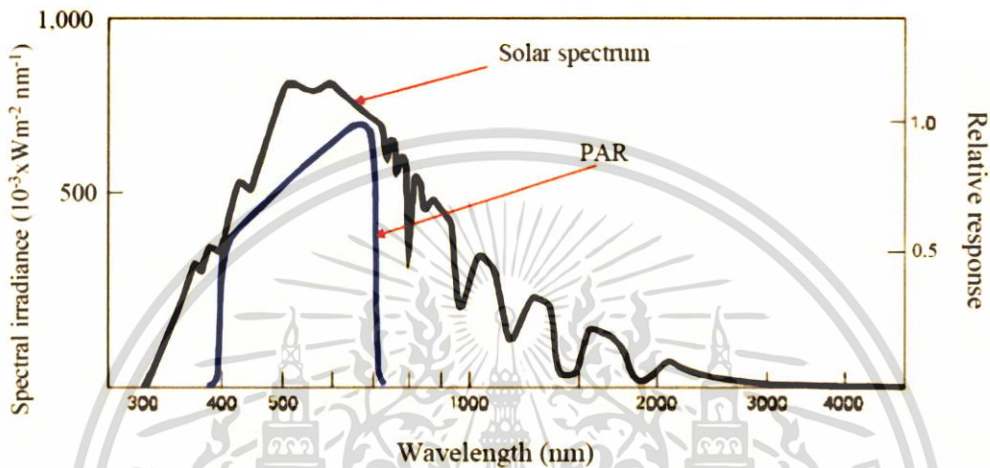


ภาพที่ 2.2 แหล่งน้ำธรรมชาติที่พบสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

2.2 รังสีจากดวงอาทิตย์ที่พืชนำไปใช้ประโยชน์

รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งแผ่มายังโลกจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 300 ถึง 3,000 นาโนเมตร แต่มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่พืชสามารถนำอนุภาคโฟตอนเหล่านั้นมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เรียกช่วงแสงที่พืชสามารถนำมาใช้ได้นี้ว่า รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetically Active Radiation, PAR) ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร เนื่องจากพลังงานแสงที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเป็นพลังงานควอนตัม (quantum) ที่ได้จากอนุภาคโฟตอน (photon) ของโมเลกุลแสงควัตถุ แต่ควอนตัมในทุกค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

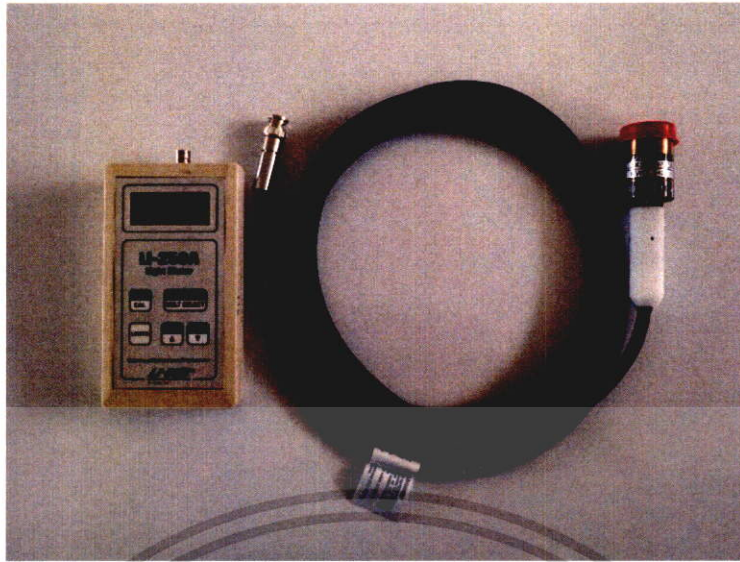
อนุภาคของโฟตอนไม่สามารถเป็นแหล่งพลังงานในการกระตุ้นโมเลกุลของรงควัตถุในพืชให้เกิดพลังงานในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทั้งหมด อนุภาคที่สูงกว่าช่วงความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร จะมีพลังงานควอนตัมที่ไม่เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 400 นาโนเมตร จะมีพลังงานควอนตัมที่สูงเกินไป โดยค่าของ PAR จะแสดงในรูปโฟตอนฟลักซ์เดนซิตี (Photon Flux Density) มีหน่วยเป็นไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)



ภาพที่ 2.3 รังสีดวงอาทิตย์และส่วนที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (PAR)
ที่มา อรรถพล ศรีประดิษฐ์. (2555)

การวัดรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถวัดได้ด้วยเครื่องวัดแสงแบบ PAR หรือที่เรียกกันว่าควอนตัมเซนเซอร์ (quantum sensor) โดยทั่วไปหัววัด PAR ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยตัวรับแสง (photodiode sensor) ทำหน้าที่รับแสงจากภายนอก แล้วกระจายเข้าไปภายในเครื่องวัดแบบ Lambertian แสงจะกระจายออกไปในแนวตั้งฉากกับผิวเซนเซอร์ (sensor) จะมีค่าสูงสุด จากนั้นจะลดหลั่นกันตามโคไซน์ (cosine) ของมุมหักเห แสงที่กระจายเหล่านี้จะผ่านฟิลเตอร์ (filter) ที่กรองแสงแบบ quantum response ระหว่าง 400 ถึง 700 นาโนเมตร แสงที่ผ่านฟิลเตอร์แล้วจะมีเซนเซอร์รับ ซึ่งจะให้สัญญาณ output เป็นศักย์ไฟฟ้า เมื่อทำการสอบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานก็สามารถแปลงเป็นค่า PAR ในหน่วยไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (อรรถพล ศรีประดิษฐ์. 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

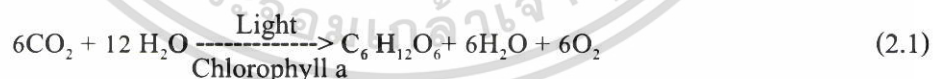


ภาพที่ 2.4 เครื่องวัดแสงและหัววัดแสงใต้น้ำแบบ Photosynthetically Active Radiation (PAR)

2.3 การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ

โดยปกติพืชดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคายก๊าซออกซิเจน (O_2) ในช่วงเวลากลางวัน มีแสงและคลอโรฟิลล์เป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการ ส่วนในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงสว่าง พืชจะคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และดูดก๊าซออกซิเจน แต่ในความเป็นจริงนั้น ช่วงเวลากลางวันที่พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชก็เกิดการหายใจด้วยเช่นกัน เพราะพืชมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา แต่การสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้น ไปบดบังปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เกิดจากการหายใจของพืช (Sunakorn and Kasemsap, 2010)

สมการการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช



สมการการหายใจของพืช

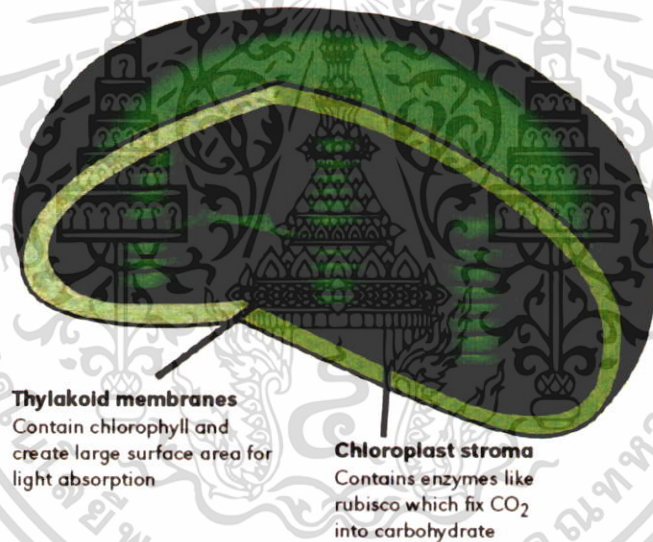


ผลจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) น้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) น้ำ (H_2O) และพลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งพืชจะนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) และการเจริญเติบโตต่อไป ส่วนการหายใจ คือการย่อยสลายโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยน้ำตาลกลูโคสจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซออกซิเจนได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำออกมา

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นที่คลอโรพลาสต์ (chloroplast) ซึ่งคลอโรพลาสต์เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อภายในพับซ้อนทับกันไปมาเป็นถุงแบนคล้ายเหรียญซ้อนเป็นตั้งๆ เรียกว่าไทลาคอยด์เมมเบรน (thylakoid membrane) เป็นที่อยู่ของรงควัตถุต่างๆ ที่ใช้ในการตรึงพลังงานแสง แต่ละถุงแบนลักษณะคล้ายเหรียญเรียกว่ากรานา (grana) ระหว่างกรานาจะมีเยื่อเมมเบรนเชื่อมให้กรานาติดกันเรียกว่าอินเตอร์กรานา (intergrana) โดยแต่ละตั้งที่ซ้อนทับกันเรียกว่า กรานัม (granum) ในตั้งเดียวกันส่วนที่เชื่อมติดกันเรียกว่าสโตรมาลามลลา (stoma lamella) ภายในถุงแต่ละถุงมีของเหลวอยู่เรียกว่าลูเมน (lumen) และภายในคลอโรพลาสต์หรือส่วนที่อยู่ด้านนอกของกรานัมมีของเหลวที่เรียกว่าสโตรมา (stroma) ซึ่งบรรจุเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ rubisco, ribosome, DNA และ RNA (จิรัศย์ เจนพาณิชย์. 2552 ; Holding and Anne. 2013)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะภายในคลอโรพลาสต์ซึ่งเป็นที่อยู่ของไทลาคอยด์เมมเบรน
ที่มา Holding and Anne. (2013)

2.3.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ปฏิกิริยา ดังนี้

2.3.1.1 ปฏิกิริยาแสง (light reaction) ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นบริเวณไทลาคอยด์ โดยเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของ ATP และ NADPH ต้องผ่านระบบการรับพลังงานแสงและกระบวนการถ่ายทอดพลังงานในรูปของการถ่ายทอดอิเล็กตรอน พืชมีระบบแสง 2 ระบบคือ ระบบแสง I (photosystem I) และระบบแสง II (photosystem II) ซึ่งระบบแสงทั้งสองจะทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้สามารถถ่ายทอดพลังงานแสงไปใช้ในการสร้าง ATP และ NADPH การถ่ายทอดอิเล็กตรอนในปฏิกิริยาแสง ระบบแสง หรือ photosystem เป็นโปรตีนคอมเพล็กซ์ (protein complex)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ฝังตัวอยู่ในไทลาคอยด์เมมเบรน แต่ละระบบแสงประกอบด้วย หน่วยรับพลังงานแสง ซึ่งมีรงควัตถุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ โพรตีนชนิดต่างๆมีความจำเพาะต่อการทำงานของระบบแสงแต่ละชนิด ระบบแสง I ประกอบด้วยหน่วยรับพลังงานแสงที่มีศูนย์กลางปฏิกิริยาที่สามารถรับพลังงานในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นไม่ต่ำกว่า 700 นาโนเมตร (P700) ในขณะที่ ระบบแสง II จะประกอบด้วยหน่วยรับพลังงานแสงที่มี ศูนย์กลางปฏิกิริยาที่สามารถรับพลังงานในช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นไม่ต่ำกว่า 680 นาโนเมตร (P680) ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงมี pathway ที่ใช้ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 2 pathway คือ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (non-cyclic electron transfer) และ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (cyclic electron transfer)

2.3.1.2 ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ fixation reaction) หรือ Calvin cycle เป็นปฏิกิริยาที่นำพลังงานจาก ATP และ NADPH มาใช้ในการสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์จาก สารอนินทรีย์ แต่เดิมเชื่อว่า พืชไม่จำเป็นต้องใช้แสงในปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า dark reaction แต่ต่อมาพบว่า เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการนี้ต้องถูกกระตุ้นด้วยแสงก่อน จึงสามารถทำงานได้ ปัจจุบันจึงไม่นิยมเรียกปฏิกิริยานี้ว่า dark reaction นิยมเรียกว่า ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเกิดขึ้นที่บริเวณสโตรมา

2.3.2 ปฏิกิริยาการหายใจ โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ปฏิกิริยา ดังนี้

2.3.2.1 ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (glycolysis) เกิดขึ้นในไซโทพลาส (cytoplasm) เป็นการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส (C₆H₁₂O₆) ที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ให้กลายเป็นไพรูวิก (pyruvate : C₃H₄O₃) ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล ในปฏิกิริยาจะมีการเติมหมู่ฟอสเฟตและได้สารประกอบ ATP เกิดขึ้น อิเล็กตรอนและไฮโดรเจนจะถูกปล่อยออกมา มีสาร NAD เป็นตัวรับในรูปของ NADH₂ ปฏิกิริยาไกลโคไลซิสมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนถูกควบคุมโดยเอนไซม์

ไพรูวิก หรือกรดไพรูวิก จะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่ใช้ออกซิเจน อาจจะไปเป็นกรดแลคติก ซึ่งจะได้พลังงานน้อย กรณีที่ใช้ออกซิเจน ไพรูวิกจะเปลี่ยนเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป

2.3.2.2 วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) เกิดขึ้นที่ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) ขั้นตอนนี้ไพรูวิกจะถูกออกซิไดซ์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ และได้พลังงานเกิดขึ้นมาก วัฏจักรเครบส์มีอยู่หลายขั้นตอน จากปฏิกิริยาบางขั้นตอนจะสังเคราะห์ ATP และสูญเสียอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนออกมาจากสารที่ถูกออกซิไดซ์ มีสาร FAD และ NAD เป็นตัวรับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านไปยังระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป

2.3.2.3 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (respiratory chain) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรเครบส์จะส่งผ่านไปตามระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเป็นทอดๆ ขณะที่ถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะปลดปล่อยพลังงานออกมา เซลล์นำพลังงานนั้นไปสังเคราะห์ ATP ซึ่งเป็นวิธีการเก็บรักษาพลังงานในสิ่งมีชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซออกซิเจนที่พืชได้รับจะทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนในขั้นสุดท้ายโดยรวมกับไฮโดรเจน ได้เป็นโมเลกุลน้ำ ซึ่งเป็นการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์

2.4 รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงขึ้นอยู่กับรงควัตถุ (pigment) ที่ใช้ในการรับแสงจากดวงอาทิตย์ พืชแต่ละชนิดจะตอบสนองต่อความยาวคลื่นของดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับรงควัตถุ รงควัตถุหลักที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีหน้าที่ในการจับพลังงานแสงจากรังสีของดวงอาทิตย์ คือ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุสีเขียวที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) นอกจากนี้คลอโรฟิลล์แล้วยังมีรงควัตถุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ คาโรทีนอยด์ (carotenoid) และ ไฟโคบิลินส์ (phycobilins) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีรงควัตถุหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของพืช (อรรถพล ศรีประดิษฐ์, 2555) รงควัตถุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน คุณสมบัติที่ต่างกันทำให้รงควัตถุแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.1 รงควัตถุในพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของรงควัตถุ	ความยาวคลื่นสูงสุด (นาโนเมตร)	ชนิดของพืช
คลอโรฟิลล์		
คลอโรฟิลล์ เอ	420, 660	พืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่าย
คลอโรฟิลล์ บี	435, 643	พืชชั้นสูงทุกชนิดและ สาหร่ายสีเขียว
คลอโรฟิลล์ ซี	445, 625	ไดอะตอมและสาหร่ายสีน้ำตาล
คลอโรฟิลล์ ดี	450, 690	สาหร่ายสีแดง
คาร์โรทีนอยด์		
เบตา คาร์โรทีน	425, 450, 480	พืชชั้นสูงและสาหร่ายส่วนใหญ่
แอลฟา คาร์โรทีน	420, 440, 470	พืชส่วนใหญ่และสาหร่ายบางชนิด
ลูทีน	425, 445, 470	สาหร่ายสีเขียว สีแดงและ พืชชั้นสูง
ไวโอลาแซนธอล	425, 450, 475	พืชชั้นสูง
แกมมา คาร์โรทีน	-	แบคทีเรีย
ฟูโคแซนธอล	425, 450, 475	ไดอะตอมและสาหร่ายสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดของรงควัตถุ	ความยาวคลื่นสูงสุด (นาโนเมตร)	ชนิดของพืช
ไฟโคบิลินส์		
ไฟโคอีธิรินส์	490, 546, 576	สาหร่ายสีแดง และ สาหร่ายสีน้ำเงิน
ไฟโคไซยานินส์	618	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และสาหร่ายสีแดงบางชนิด

ที่มา อรรถพล ศรีประดิษฐ์ (2555)

2.5 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ

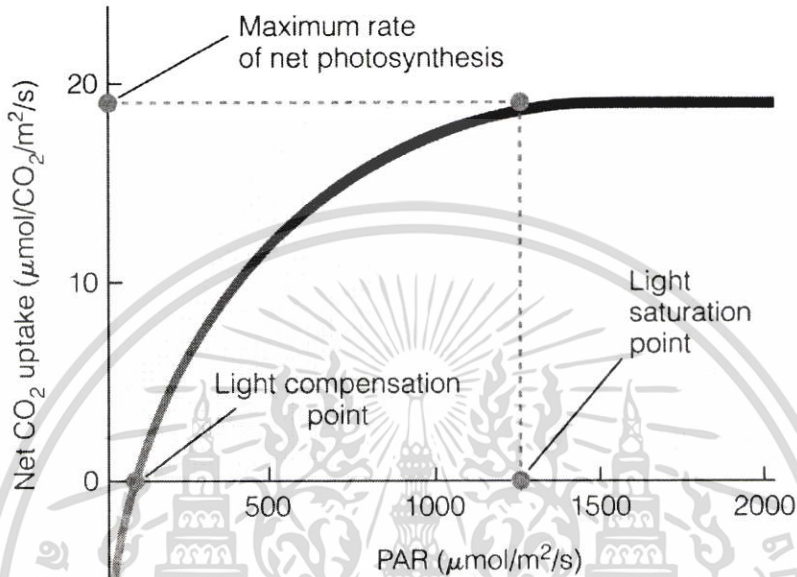
ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายทะเลนั้น มีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ ทั้งปัจจัยที่เป็นสิ่งแวดล้อมที่เป็นปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่เป็นกลไกในตัวของสาหร่ายทะเลเอง

2.5.1 แสง (Light) แสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมามีความเข้มแสงที่แตกต่างกันออกไปตามตำแหน่งพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก มีผลทำให้ความเข้มแสงแตกต่างกันออกไปในพื้นที่เดียวกัน ความเข้มแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงในช่วงเที่ยงวัน จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก ความเข้มแสงที่แตกต่างกันทำให้เกิดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต่างกัน ความเข้มแสงที่สูงเกินไปทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เป็นรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง หรือมีประสิทธิภาพต่ำลง ความเข้มแสงที่ต่ำเกินไป ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าต่ำ ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำไปด้วย เนื่องจากความเข้มแสงมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในช่วงการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในระบบแสง II (photosystem II) โดยไปรบกวนศูนย์กลางปฏิกิริยาและทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (กัญญกาจันท์ พูนศิริ และกัลยา กองเงิน, 2557)

ความเข้มแสงที่เหมาะสม ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าสูง ส่งผลทำให้สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตที่ดี (สังคม เศษวงศ์เสถียร, 2547) โดยทั่วไปเมื่อปัจจัยต่างๆ คงที่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่งที่เหมาะสม อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่เพิ่มขึ้นอีก แม้ว่าความเข้มแสงจะเพิ่มสูงขึ้นก็ตาม เรียกจุดนี้ว่า จุดอิ่มตัวของความเข้มแสง หรือ light saturation point แต่หากความเข้มแสงมีมากเกินไปจะส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง หรือ Photoinhibition เกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมของอิเล็กตรอนในระบบแสง II ที่มากเกินไป อันเนื่องมาจากอัตราการดูดซับแสงมีมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน ส่วนความเข้มแสงที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับศูนย์หรือเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกจุดนี้ว่า light compensation point (ภาพที่ 2.6) โดยพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพที่ความเข้มแสงต่ำกว่าจุดนี้ (จิริสย์ เจนพานิชย์. 2552 ; กัญญากาญจน์ พูนศิริ และ กัลยา กองเงิน. 2557)



ภาพที่ 2.6 แผนภาพแสดง light saturation point และ light compensation point
ที่มา กนกวรรณ เสรีภาพ. (2551)

Murase *et al.* (1989) ได้ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียวที่รวบรวมจากความลึกที่แตกต่างกัน 2 ระดับ ซึ่งระดับความลึกที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายทะเลก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทะเลแตกต่างกันออกไป เนื่องจากความเข้มแสงที่สาหร่ายได้รับมีค่าต่างกัน โดยการศึกษาได้เก็บรวบรวมสาหร่ายจากบริเวณน้ำตื้นและบริเวณน้ำลึก บริเวณน้ำตื้นจะเก็บใกล้บริเวณน้ำลงต่ำสุด ส่วนบริเวณน้ำลึกจะเก็บที่ความลึกประมาณ 25 เมตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยนำสาหร่ายทั้ง 2 ระดับความลึกไปให้ช่วงแสง 2 ระดับ คือแสงสีขาวที่มีช่วงแสงใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติและช่วงแสงสีเขียวที่เป็นช่วงแสงของความยาวคลื่นที่สามารถส่องผ่านลงไปได้ที่ระดับความลึก 25 เมตร พบว่า ในกลุ่มสาหร่ายที่รวบรวมจากบริเวณเขตน้ำตื้นจะมีการตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่คลื่นแสงสีขาวได้ดีกว่าคลื่นแสงสีเขียว และในกลุ่มสาหร่ายที่รวบรวมจากบริเวณน้ำลึกจะมีการตอบสนองต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงคลื่นแสงสีเขียวได้ดีกว่าคลื่นแสงสีขาวย เนื่องจากแสงธรรมชาติที่ส่องลงมาขังสาหร่ายทะเลมีสีที่แตกต่างกัน ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทะเลมีค่าแตกต่างกันไปด้วย

Gao and Umezaki (1989) ได้ทำการทดสอบความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายด้วยการเปรียบเทียบใบส่วนที่อยู่ด้านบนและส่วนที่อยู่ด้านล่างของส่วนคล้ายลำต้น โดยศึกษาในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลสกุล *Sargassum* 5 ชนิด ได้แก่ *S. thunbergia*, *S. serratifolium*, *S. horneri*, *S. autumnale* และ *S. patens* พบว่าใบส่วนบนของสาหร่ายที่ได้รับแสงมากกว่าใบส่วนล่างมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สูงในสาหร่ายชนิด *S. thunbergia*, *S. serratifolium*, *S. autumnale* และ *S. patens*

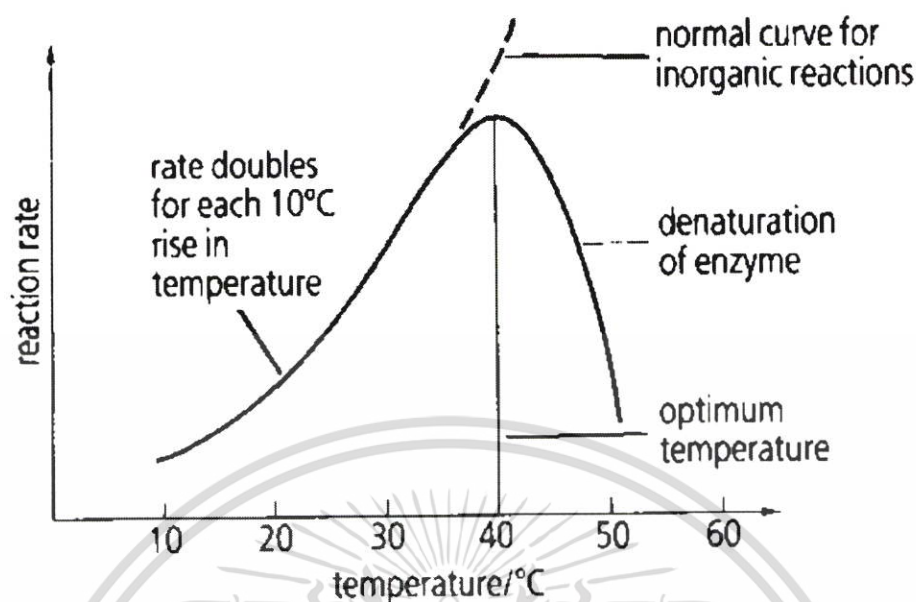
Sakanishi et al. (1988) ศึกษากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีน้ำตาล 2 ชนิด คือ *Ecklonia cava* และ *Eisenia bicyclis* ที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มแสงมากขึ้น มีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 10 กิโลลักซ์ และในช่วงท้ายของการทดลองที่ความเข้มแสงสูงขึ้นไปกว่าความเข้มแสง 20 ถึง 30 กิโลลักซ์ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเริ่มคงที่ เนื่องจากความเข้มแสงที่สูงเกินไปจะยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทะเล

Terada et al. (2016) ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีแดง *Kappaphycus alvarezii* ที่ความเข้มแสง 30, 60, 100, 150, 200, 250 และ 500 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำที่ความเข้มแสง 30 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 500 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที

Borlongan et al. (2017) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสงต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Eucheuma denticulatum* และ *Kappaphycus alvarezii* พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น และที่ความเข้มแสง 500 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเริ่มมีค่าคงที่จนถึงความเข้มแสง 1000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที

2.5.2 อุณหภูมิ (Temperature) เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 10 ถึง 35 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่านี้ (จิรัชย์ เจนพาณิชย์, 2552) อุณหภูมิส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำไปเอนไซม์จะทำงานไม่ได้ไม่ว่าชนิดใด ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของสาหร่าย นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังมีผลต่อการเร่งอัตราการหายใจ และอุณหภูมิที่ต่ำจะยับยั้งการหายใจ หากอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปอาจทำให้การหายใจหยุดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมของเอนไซม์
 ทิมา สังคม เศรษฐศาสตร์. (2547)

Yokohama (1969) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายกับอุณหภูมิ โดยมีการศึกษาในกลุ่มสาหร่ายสีเขียว (Chlorophyceae), สาหร่ายสีน้ำตาล (Phaeophyceae) และสาหร่ายสีแดง (Rhodophyceae) ทำการศึกษาและรวบรวมในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว พบว่าส่วนใหญ่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนมากกว่าช่วงฤดูหนาว และกระบวนการหายใจในช่วงฤดูร้อนจะมีการบริโภคออกซิเจนสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีน้ำตาลจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิระหว่าง 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส ส่วนในสาหร่ายสีแดงจะมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส และจะค่อยๆ ลดลงจนหายไปหลังจากอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Cheshire *et al.* (1996) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการบริโภคออกซิเจนของกลุ่มสาหร่ายสีแดงในฤดูร้อนและฤดูหนาว พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในฤดูร้อนมีค่าการผลิตออกซิเจนที่สูงกว่าในฤดูหนาว และอัตราการบริโภคออกซิเจนในฤดูร้อนก็มีค่าสูงกว่าฤดูหนาวอีกเช่นกัน

Katayama *et al.* (1985) ทำการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Cladophora rudolphiana* ที่อุณหภูมิ 15, 25, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าค่อยๆ สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากนั้นมีค่าลดลงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สำหรับการหายใจพบว่ามีความน้อยๆ สูงขึ้นเล็กน้อยจนถึงอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส

Kurashima *et al.* (2003) ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และ *C. racemosa* ที่อุณหภูมิ 10, 15, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นมีค่าลดลงอย่างมากที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจพบว่ามีความน้อยๆ สูงขึ้นเล็กน้อยจนถึงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Murase *et al.* (1993) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Ulva pertusa* ที่อุณหภูมิ 10, 15, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยๆ สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นมีค่าลดลงอย่างมากที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจพบว่ามีความน้อยๆ สูงขึ้นและสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Terada *et al.* (2016) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Kappaphycus alvarezii* ที่อุณหภูมิ 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34 และ 38 องศาเซลเซียส พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยๆ สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นมีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 34 และ 38 องศาเซลเซียส การหายใจพบว่ามีความน้อยๆ สูงขึ้นและสูงสุดที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส

2.5.3 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide concentration) โดยทั่วไปเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะสูงขึ้นตามไปด้วย แต่หากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเพิ่มจนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้อัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยกระบวนการหายใจ หรือเรียกความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับนี้ว่า CO₂ compensation point ซึ่งเป็นระดับที่มีการแลกเปลี่ยนของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเป็นศูนย์ (กนกวรรณ เสรีภาพ. 2551)

Mercado *et al.* (1999) ได้ศึกษาผลของระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกันต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและส่วนประกอบของเซลล์ในสาหร่ายสีแดง *Porphyra leucosticta* โดยนำสาหร่าย *Porphyra leucosticta* มาเลี้ยงไว้ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ปกติที่มีอยู่ในน้ำ (คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.035 เปอร์เซ็นต์) ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า 0.001 เปอร์เซ็นต์) โดยให้อากาศผ่านทางสารละลาย KOH และ ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูง (คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์) โดยมีการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์มีการให้สารอาหาร และปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 8 เลี้ยงไว้ 7-8 วัน ก่อนนำมาวัดค่าการสังเคราะห์ด้วยแสง พบว่าที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ปกติมีปริมาณการผลิตออกซิเจนที่สูงที่สุด รองลงมาคือที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์สูง และที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำพบว่าปริมาณการผลิตออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์ใดๆ ไม่ว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยสุด แต่เมื่อความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้นพบว่าที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ปกติและคาร์บอนไดออกไซด์สูงเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน

2.5.4 ความเค็ม (Salinity) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากจะส่งผลต่อการกระจายตัว การเจริญเติบโต เกี่ยวข้องกับสัณฐานวิทยา และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่าย นอกจากนี้ในสภาพแวดล้อมมักจะพบระดับความเค็มที่แตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค ความเค็มส่งผลต่อกระบวนการสำคัญต่างๆ ภายในเซลล์พืช อาทิ เช่น การเจริญเติบโต การสังเคราะห์โปรตีน เมทาบอลิซึมของชีวโมเลกุลต่างๆ รวมไปถึงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นต้น (ทวิพร แก้วเนรมิตร และนุชนาถ วุฒิประดิษฐกุล. 2557) พืชที่อยู่ในภาวะความเครียดจากเกลือจะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง อัตราการคายน้ำ ความหนาแน่นของปากใบ และการชักนำการเปิดปิดของปากใบลดลงกว่าพืชที่อยู่ในภาวะความเค็มปกติ (พนิดา ชูติมานุกูล และคณะ. 2013) ความเค็มที่สูงมากทำให้พืชเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากผลของความเค็มทำให้พืชขาดน้ำโดยเกิดจากการสะสมเกลือภายในอะโปพลาสต์ คือการที่น้ำและแร่ธาตุผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์หนึ่ง โดยผ่านช่องว่างระหว่างผนังเซลล์ รวมถึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

Imai *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียว *Rhizoclonium riparium* โดยนำสาหร่ายมาเลี้ยงไว้ที่ระดับความเค็มแตกต่างกัน คือ 0.1, 6.8, 13.6, 20.4, 27.2 และ 34 พีพีที แล้วทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสง 400 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที พบว่าเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้นอัตราการสังเคราะห์แสงก็จะสูงขึ้นตามไปด้วยจนถึงที่ระดับความเค็ม 34 พีพีที พบว่าอัตราการสังเคราะห์เริ่มมีค่าลดลง และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเค็ม 6.8 - 34 พีพีที แต่พบว่าทั้งหมดมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าที่ความเค็ม 0.1 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Shameel (1980) ทำการศึกษาในสาหร่ายสีเขียว *Ulva indica* ที่ความเค็ม 40 - 60 พีพีที พบว่าสาหร่ายมีกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น ที่ความเค็มต่ำกว่า 30 พีพีที จะส่งผลเสียต่อกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนที่ความเค็มที่สูงกว่า 60 พีพีที กิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงค่อยๆลดลง

Jayasankar (2005) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มในสาหร่ายสีแดง *Gracilaria edulis* และ *Gracilaria crassa* ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ โดยใช้ความเค็มที่แตกต่างกันดังนี้ 15, 25, 35 และ 45 พีพีที เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 12 วัน พบว่ากิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Gracilaria crassa* ลดลงในทุกชุดการทดลอง หลังจาก 6 วัน และ 12 วัน ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค็ม โดยเฉพาะในกลุ่มที่ทดสอบที่ความเค็มต่ำ (15 พีพีที) ในวันที่ 6 ที่ความเค็ม 35 พีพีที สาหร่าย *Gracilaria edulis* และ *Gracilaria crassa* มีกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง 6.41 และ 4.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ 45 พีพีที ที่ 12 วัน สาหร่าย *Gracilaria crassa* มีกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงถึง 90 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yamochi (2013) ทำการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่าย *Ulva pertusa* ที่ความเค็ม 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 29 พีพีที พบว่าสาหร่ายมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นเมื่อระดับความเค็มเพิ่มขึ้น โดยมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเค็ม 29 พีพีที

2.5.5 พีเอช (pH) ในน้ำที่มีระดับพีเอชต่างกันจะส่งผลต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ รวมถึงสาหร่ายทะเลที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำก็ย่อมได้รับผลกระทบนั้นไปด้วย รวมไปถึงการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทะเลที่พีเอชจะเข้ามามีบทบาทและส่งผลต่อการแตกตัวของไบคาร์บอเนตซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย

Carvalho *et al.* (2010) ได้ศึกษาผลของพีเอชต่อสมมูลคาร์บอนในการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีน้ำตาล *Undaria pinnatifida* โดยการทดลองแรกทำการเปรียบเทียบระหว่างพีเอชปกติ (ประมาณ 8.1) กับที่พีเอชต่ำ (ประมาณ 5.9) การทดลองที่ 2 ทำการทดลองที่พีเอชต่ำ (ประมาณ 6.5) ที่ระดับความเข้มแสงต่างๆ ตั้งแต่ 10 ถึง 160 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ทำการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ พบว่าที่ระดับพีเอชปกติ สมมูลคาร์บอนในการสังเคราะห์ด้วยแสงมีแนวโน้มสูงขึ้น การสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ระดับพีเอชต่ำพบว่าเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น การสังเคราะห์ด้วยแสงและสมมูลคาร์บอนในการสังเคราะห์ด้วยแสงมีแนวโน้มลดลง

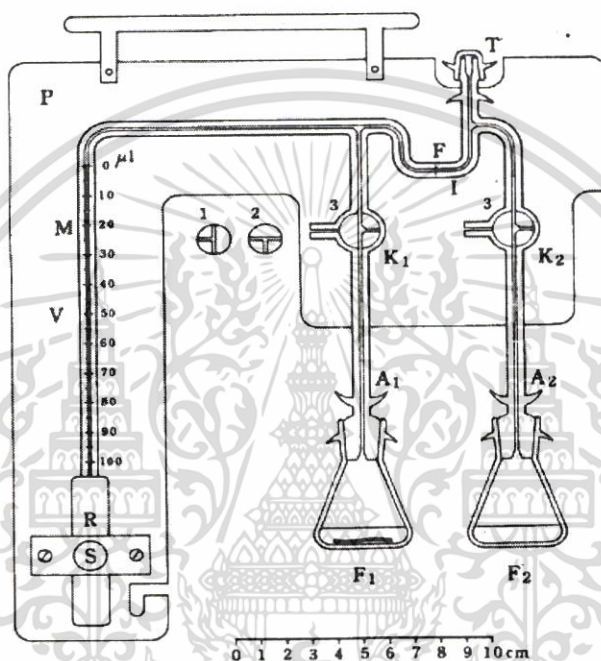
2.6 วิธีการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายทะเล และหญาทะเล

การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายทะเล เป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับสรีรวิทยาของสาหร่ายทะเล ซึ่งวิธีการวัดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่นิยมนำมาใช้งานวิจัยด้านสาหร่าย มีด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น

2.6.1 การวัดด้วยวิธี Differential gas volumeter เป็นการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยวัดจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นและลดลง หลักการทำงานของวิธีการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยวิธีนี้จะมีเครื่องมือที่เรียกว่า “Productmeter” ซึ่งอาศัยหลักการของความแตกต่างของปริมาตรก๊าซ อุปกรณ์ประกอบไปด้วย ขวดสำหรับใส่น้ำ 2 ใบ (F1 และ F2) ใบที่ 1 สำหรับใส่น้ำกับสาหร่ายทะเลที่จะทำการสังเคราะห์ด้วยแสง ใบที่ 2 สำหรับใส่น้ำเพียงอย่างเดียว โดยน้ำที่ใช้จะผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ซึ่งขวดทั้ง 2 จะถูกควบคุมอุณหภูมิโดยวางอยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงจะให้แสงด้วยหลอดไฟ มีการกำหนดความเข้มแสงที่ต้องการใช้วัด ในการวัดแต่ละความเข้มแสงต้องทำการให้แสงและพักทิ้งไว้เป็นเวลา 10-20 นาที เพื่อให้สาหร่ายมีการปรับสภาพเข้ากับแสง ทำการวัดค่าโดยจะวัดทุกๆ 2 นาที จนครบเวลา 20 นาที ซึ่งส่วนต่างๆของเครื่องจะประกอบด้วย A1 และ A2 คือ ส่วนของหลอด capillary ที่เชื่อมต่อขึ้นไปยังวาล์วเปิดปิด K1 และ K2 คือ วาล์วสำหรับเปิดปิด F คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่กำหนด ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางของหลอดแก้วรูปตัวยู I คือ ตำแหน่งสมมติสารชี้วัดที่เกิดขึ้นจากการวัดค่า T คือ ช่องสำหรับใส่สารชี้วัด V คือ หลอด capillary ที่มีขีดบอกปริมาตรหน่วยเป็นไมโครลิตรหรือมิลลิลิตร M คือ ปริมาตรของของเหลวที่ใช้บอกปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้น R คือ ส่วนที่เก็บของเหลวที่ใช้บอกปริมาตร S คือ สลักที่ใช้ในการปรับตำแหน่งของสารชี้วัด P คือ แผงที่ยึดชุดการทดลองไว้ด้วยกัน ดังภาพที่ 2.8 (Yokohama and Ichimura, 1969)



ภาพที่ 2.8 แผนผังเครื่อง Productmeter

การคำนวณปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้หรือถูกใช้ไปจะคำนวณจากสูตรของ Yokohama and Ichimura (1969) ดังนี้

$$\Delta V_0 = v \cdot 273 / (273 + t^0) \quad (2.3)$$

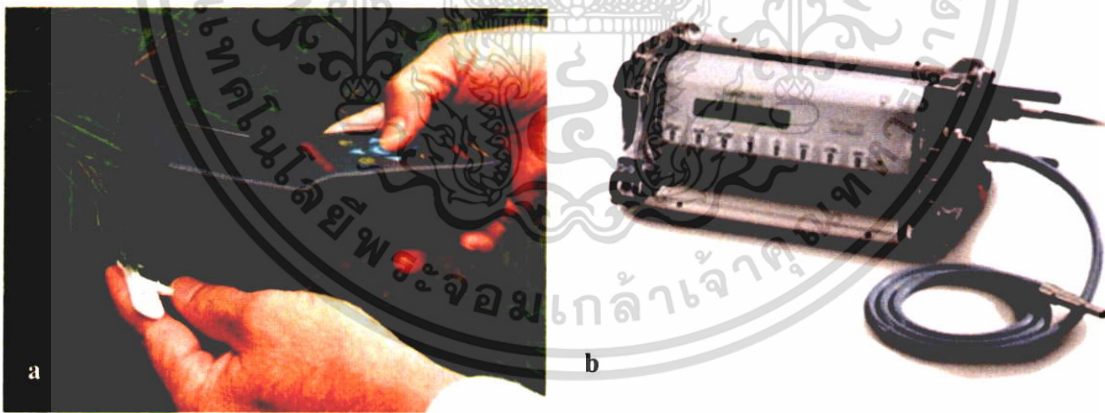
- ΔV_0 คือ ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้ (μL) ที่อุณหภูมิ 0°C ต่อชั่วโมง
 v คือ ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้ (μL) ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่วัดได้
 t^0 คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (เริ่มต้น + สิ้นสุด / 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดการสังเคราะห์แสงด้วยวิธี Differential gas volumeter นี้ มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยต่างๆ ที่ต้องการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายทะเล เช่น ในสาหร่าย *Rhizoclonium riparium*. (Imai et al. 1997) สาหร่าย *Rhizoclonium* sp. (Matsuyama-Serisawa et al. 2004) สาหร่าย *Ecklonia cava* (Serisawa et al. 2004) สาหร่าย *Sargassum ringgoldianum*, *S. spathulophyllum*, *Ecklonia cava* และ *E. bicyclis* (Murakami et al. 2004) เป็นต้น

ข้อดีของวิธีการนี้ คืออุปกรณ์ราคาไม่แพงมาก สามารถประดิษฐ์ขึ้นใช้เองได้ โดยอาศัยหลักการดังกล่าว และนอกจากจะใช้วัดการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วยังสามารถใช้วัดการหายใจได้อีกด้วย สามารถใช้ร่วมกับสาหร่ายทะเล หญาทะเล รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่อาศัยอยู่ในน้ำ สำหรับข้อเสียของวิธีการนี้ คือเป็นอุปกรณ์ที่มีการต่อประกอบทำให้มีความลำบากการเคลื่อนย้าย การนำออกไปใช้นอกสถานที่จึงทำได้ค่อนข้างยาก

2.6.2 การวัดโดย Pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (Beer and Björk. 2000) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในระบบแสง II ปัจจุบันมีเครื่องที่สามารถใช้งานได้น้ำได้ ทำให้สามารถนำไปใช้ในสถานที่จริง (Durako and Kunzelman. 2002)



ภาพที่ 2.9 a. เครื่อง PAM fluorometer ขนาดเล็ก สามารถพกพาได้สะดวก

b. เครื่อง Dving-PAM fluorometer ที่สามารถใช้งานได้น้ำได้

ที่มา a. www.marconi.com.br, b. synergy.st-andrews.ac.uk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการใช้เครื่อง pulse amplitude modulation fluorometer คือ เมื่อแสงส่องกระทบยังพืช พืชจะมีการถ่ายเทพลังงานเพื่อนำพลังงานแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง พลังงานส่วนเกินจะระบายออกเป็นคลื่นความร้อน และแผ่เป็นรังสีฟลูออเรสเซนซ์ เมื่อพลังงานแสงตกใส่เสารับโฟตอน (antenna) และส่งไปยังศูนย์กลางปฏิกิริยาของระบบแสง II พลังงานแสงจะแยกอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของน้ำ แล้วส่งอิเล็กตรอนผ่านระบบส่งถ่ายอิเล็กตรอน ทำให้ควิโนน (quinone) ที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนอยู่ในสภาพรีดิวซ์ กล่าวคือขณะศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ในสภาพปิด พลังงานแสงที่ยังได้รับในช่วงนี้จะกลายเป็นส่วนเกิน เพราะอิเล็กตรอนที่พลังงานแสงแยกให้ไม่สามารถส่งถ่ายต่อไปได้ พลังงานส่วนนี้จึงต้องกำจัดทิ้งในรูปของความร้อนและรังสีฟลูออเรสเซนซ์ ระดับของฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้จึงมีค่าสูง ต่อมาเมื่อศูนย์กลางปฏิกิริยาส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปได้แล้ว จะอยู่ในสภาพออกซิไดซ์ คือศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ในสภาพเปิด ก็จะสามารถเปิดรับอิเล็กตรอนได้อีก รังสีฟลูออเรสเซนซ์จะลดต่ำลง การลดระดับของรังสีฟลูออเรสเซนซ์ในรูปแบบนี้เป็นการลดโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เรียกว่า photochemical Quenching (qP) ส่วนการลดโดยวิธีอื่นทั้งหมดเรียกว่าเป็น non-photochemical quenching (NPQ) วิธีการหลักคือเป็นการลดรังสีความร้อนที่แผ่จากใบ และการลดที่เกี่ยวกับความเข้มข้นของโปรตอน (ประจุบวก หรือ ΔpH) ที่เยื่อของไทลาคอยด์

การวัดรังสีฟลูออเรสเซนซ์โดยเครื่องมือ pulse amplitude modulation fluorometer มีระบบทำงาน โดยเครื่องจะให้แสงเต็มที่แก่ส่วนของใบที่ทำการวัด จากนั้นจึงตรวจอ่านระดับฟลูออเรสเซนซ์ที่ได้ เครื่องจะให้แสงที่ความเข้มแสงต่ำก่อน ซึ่งเครื่องจะอ่านเป็นค่า F_0 (dark minimum fluorescence yield) หลังจากนั้นเครื่องจะให้แสงที่ความเข้มแสงสูงเพื่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเต็มกำลังของระบบแสง II คือให้ศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ในสภาพปิดหมด เพื่อให้เกิดรังสีฟลูออเรสเซนซ์เต็มที่ ค่าที่เครื่องอ่านได้ในช่วงนี้คือค่า F_m (dark maximum fluorescence yield) ผลต่างของทั้งสองค่าเรียกว่า F_v (variable fluorescence, $F_v = F_m - F_0$) ค่าที่คำนวณคือค่าสัดส่วนของ F_v/F_m เรียกว่า dark or maximum quantum yield (Φ_{dark}) ซึ่งจะแสดงถึงประสิทธิภาพของการจับพลังงานโดยศูนย์กลางปฏิกิริยา หรือเป็นค่าสัดส่วนของพลังงานแสงที่พืชดูดซับทั้งหมดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (ศิริลักษณ์ อ่อนน้อม, 2550)

ถ้าใบอยู่ในสภาพมืดและศูนย์กลางปฏิกิริยาอยู่ในสภาพเปิดเต็มที่ คือหลังจากมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่านระบบแสง II สมบูรณ์แล้ว จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$P_{\text{dark}} = \Phi_{\text{dark}} = \frac{F_m - F_o}{F_m} = \frac{F_v}{F_m} \quad (2.4)$$

P_{dark} คือ สัดส่วนของโฟตอนที่ถูกดูดซับที่ระบบแสง II ใช้ในการเกิด photochemistry เป็นค่าสูงสุดที่วัดได้ หลังจากให้ใบอยู่ในความมืดนานพอ

ในทางตรงกันข้ามช่วงกลางวันที่มีแสง เครื่อง PAM มีระบบตรวจจับแสงฟลูออเรสเซนซ์ได้แม้ใบจะอยู่ในสภาพได้รับแสงตามธรรมชาติ ค่าที่อ่านได้ยังคงมีค่าต่ำสุด (F) และสูงสุด (Fm') ซึ่งใช้คำนวณค่า quantum yield ดังสมการ

$$P_{\text{light}} = \Phi_{\text{PSII}} = \frac{F_m' - F}{F_m} = \frac{F_v}{F_m} \quad (2.5)$$

P_{light} คือ สัดส่วนของโฟตอนที่ถูกดูดซับและใช้ในการเกิด photochemistry ในสภาพที่ใบได้รับแสงอยู่ก่อน

ค่าที่ได้จากการวัดในสภาพได้รับแสงนำไปคำนวณหา electron transport rate (ETR) ดังสมการ

$$\text{ETR} = \Phi_{\text{PSII}} \times \text{PPF} \times 0.5 \times \text{ETR - factor} \quad (2.6)$$

PPF คือ ความเข้มแสง

ETR คือ ค่าสัดส่วนแสงตกกระทบใบที่ใบดูดกลืนได้จริง

การวัดการสังเคราะห์แสงด้วย pulse amplitude modulation fluorometry ได้มีการนำไปใช้ในงานวิจัยต่างๆ ของการวัดการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย อาทิเช่น ในสาหร่าย *Ulva conglobata* (Zou and Gao. 2014) สาหร่าย *Ulva lactuca* (Figueroa et al. 2009) สาหร่าย *Sargassum piluliferum*, *S. patens*, *S. fusiforme*, *S. crispifolium*, *S. alternato-pinnatum* (Tsuchiya et al. 2012) สาหร่าย *Pyropia tenera* (Watanabe et al. 2013) สาหร่าย *Ulva fasciata*, *Lobophora veriegata* และ *Plocamium brasiliensis* (Chaloub et al. 2010) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วย Pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry ก็เป็นอุปกรณ์ที่พกพาได้ง่าย สามารถนำไปใช้งานในสถานที่จริงได้ และรวมไปจนถึงได้ทะเลหรือแหล่งน้ำต่างๆ สำหรับข้อเสียของเครื่องนี้ คือ ไม่สามารถวัดอัตราการหายใจได้ และเครื่องมือมีราคาสูง โดยเฉพาะรุ่นที่สามารถใช้งานใต้น้ำได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดที่ว่าสาหร่ายที่จะทำการวัดต้องเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องมีพื้นที่สำหรับเซนเซอร์ของเครื่องมือ ไม่สามารถวัดได้ในสาหร่ายทะเลขนาดเล็ก และสาหร่ายกลุ่มเส้นสาย

2.6.3 การวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO meter) เป็นการใช้เครื่อง DO meter ในการวัดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยสาหร่ายและน้ำที่ทราบปริมาณแน่นอน จะถูกบรรจุลงไปในขวด BOD จากนั้นทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเริ่มต้น ด้วยเครื่อง DO meter ก่อนนำไปไว้ในสภาพแสงต่างๆ ตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสง หลังจากครบเวลาที่กำหนด นำมาวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เวลาสิ้นสุดอีกครั้ง และนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย (Yamochi, 2013) จากสมการ

$$P = \frac{(C_t - C_0) / v}{t} / w \quad (2.7)$$

P	คือ ปริมาณการสังเคราะห์ด้วยแสง (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักสาหร่าย)
C _t	คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเมื่อสิ้นสุด
C ₀	คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเมื่อเริ่มต้น
t	คือ เวลาที่ใช้ในการปรับสภาพ
v	คือ ปริมาตรน้ำในขวด BOD
w	คือ น้ำหนักเปียกของสาหร่ายที่ใส่ลงในขวด BOD

การวัดการสังเคราะห์แสงด้วยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO meter) ก็ได้มีการนำไปใช้ในงานวิจัยการวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่าย เช่น ในสาหร่าย *Ulva pertusa* (Yamochi, 2013) และสาหร่าย *Hizikia fusiforme* (Zou and Gao, 2005) เป็นต้น

ข้อดีของการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยวิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำด้วยเครื่อง DO meter คือ มีความสะดวกสบาย ใช้อุปกรณ์น้อย สามารถใช้งานนอกสถานที่ได้ แต่ข้อเสีย คือ หากสาหร่ายมีการผลิตออกซิเจนในปริมาณที่มากเกินไปกว่าเครื่องมือจะสามารถอ่านค่าได้ อาจทำให้ข้อมูลที่ได้รับเกิดความผิดพลาด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1 เกลือทะเลเทียม (Marine Art SF-1, Tomita Pharmacy Co.,Ltd, Japan)
- 3.1.2 เครื่องวัดความเค็ม (Condo 3210, WTW Inc. Germany)
- 3.1.3 เครื่องวัดแสงและหัววัดแสงใต้น้ำ (LI-250A and LI-192SA, Li-cor Inc. USA)
- 3.1.4 หม้อนิ่งความดัน (HVE-50, Hirayama Manufacturing Crop., Japan)
- 3.1.5 เครื่องวัดพีเอช (SevenGo, Metter Toledo, Switzerland)
- 3.1.6 อ่างอะคริลิกขนาด 63x50x29 เซนติเมตร
- 3.1.7 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermo-Mate BF200, Yamato Co.,Ltd, Japan)
- 3.1.8 หลอดไฟแอลอีดี (Kuramate sangya Co.,Ltd, Japan)
- 3.1.9 ฟิล์มกรองแสงแบบธรรมชาติ (ND filter; New View Electronics Co.,Ltd, China)
- 3.1.10 เครื่องหมุนเหวี่ยง (5800, Kubota Corporation, Co.,Ltd, Japan)
- 3.1.11 ตาชั่ง (PL 602-S, Metter Toledo, Switzerland)
- 3.1.12 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (DR2800, Hach Co.,Ltd, Germany)
- 3.1.13 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแสงอัตโนมัติ (Hobo, UA-002-08, Onset Computer Crop., USA)
- 3.1.14 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- 3.1.15 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.16 สารละลาย Provasoli's enriched seawater; PES (Provasoil.1966)
- 3.1.17 สารละลาย Germanium dooxide; GeO_2 (Lewin. 1966)
- 3.1.18 สารละลายอะซิโตน 80 เปอร์เซ็นต์
- 3.1.19 เครื่อง Productometer (ดัดแปลงจากวิธีการของ Yokohama and Ichimura. 1969)

3.2 การเตรียมสาหร่ายที่ใช้ในการทดลอง

รวบรวมสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากแหล่งน้ำธรรมชาติในตำบลพันท้ายนรสิงห์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม โดยบรรจุในถังพลาสติกและทำการขนย้ายมายังห้องปฏิบัติการการเลี้ยงกุ้งร่วมกับสาหร่าย (SCORL) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำทะเล และพักไว้ในตู้พลาสติกขนาด 13x21x13 เซนติเมตร ภายในห้องปฏิบัติการ ภายใต้สภาพแสงธรรมชาติ ด้วยน้ำเค็มที่เตรียมจากเกลือทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เพื่อประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบให้ได้ความเค็ม 20 พีพีที ก่อนเริ่มการทดลองนำสาหร่ายไปปรับสภาพในน้ำความเค็มแต่ละระดับที่ทดลองเป็นเวลา 3 วัน

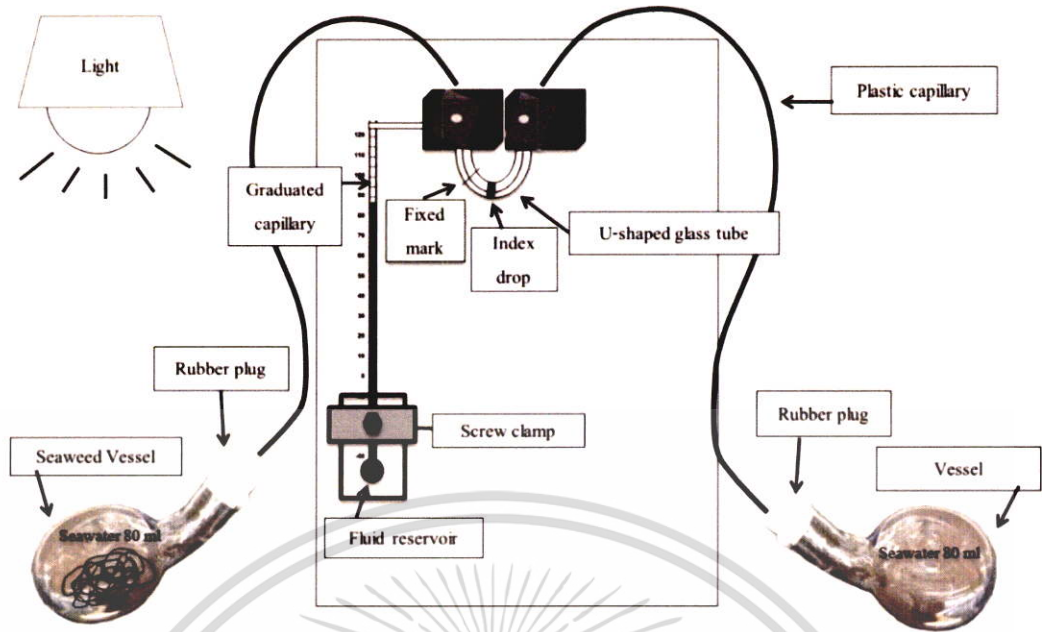
3.3 การเตรียมน้ำสำหรับใช้ทดลอง

ใช้เกลือทำน้ำทะเลเทียมเจือจางกับน้ำกลั่นให้ได้ความเค็มที่ 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปรับ pH ของน้ำให้มีค่า 8.0 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมหาตุอาหารให้กับสาหร่าย โดยใช้สารละลาย Provasoli's enriched seawater (PES) 3 มิลลิลิตรต่อลิตร (Provasoli. 1966) และสารละลาย Germanium oxide (GeO_2) มิลลิลิตรต่อลิตร (Lewin. 1966) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของไดอะตอม

3.4 หลักการทำงานและการเตรียม Productometer

ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Yokohama and Ichimura (1969) หลักการทำงานของเครื่องวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยวิธีนี้ ก็จะมีเครื่องมือที่เรียกว่า "Productometer" ซึ่งประกอบไปด้วย ขวดสำหรับใส่น้ำ 2 ใบ ใบที่ 1 สำหรับใส่น้ำกับสาหร่ายทะเลที่จะทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสง ใบที่ 2 ใส่น้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งขวดทั้ง 2 จะบรรจุน้ำปริมาตร 80 มิลลิลิตร และวางอยู่ในอ่างขนาด 63x50x29 เซนติเมตร ที่เติมน้ำสูง 25 เซนติเมตร ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เมื่อทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงจะให้แสงด้วยหลอดไฟแอลอีดี ปรับความเข้มแสงที่ใช้ในการวัดด้วยฟิล์มกรองแสงแบบธรรมชาติ (Neutral density filter) ในการวัดแต่ละครั้งต้องทำการปรับแสงและพักสาหร่ายไว้เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สาหร่ายมีการปรับสภาพให้เข้ากับแสง ทำการวัดค่า โดยเมื่อสาหร่ายได้รับแสงจะมีการผลิตก๊าซออกซิเจนออกมา ทำให้ปริมาตรก๊าซในขวดด้านที่มีสาหร่ายมีปริมาณมากกว่าด้านที่ไม่มีสาหร่าย ก๊าซจากขวดด้านที่มีสาหร่ายจะเคลื่อนตัวตามสายยางไปยังขวดอีกด้าน ทำให้เมื่อไปถึงตำแหน่งของสารซีวัด ก๊าซที่เคลื่อนตัวไปก็จะดันให้สารซีวัดเคลื่อนตัวไปด้วย เมื่อครบเวลา 2 นาที ก็ทำการปรับสารซีวัดให้กลับมายังตำแหน่งเดิม ปริมาตรของสารสีแดงที่อยู่ในหลอดก็จะเปลี่ยนแปลง จดบันทึกปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงเพื่อนำไปคำนวณต่อไป วัดจนครบเวลา 20 นาที สำหรับการวัดการหายใจของสาหร่าย จะทำการทดลองเช่นเดียวกับการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสง แต่ไม่มีการให้แสงกับสาหร่าย และต้องอยู่ในสภาวะไม่มีแสง โดยปิดชุดการทดลองด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ สำหรับทิศทางการเคลื่อนตัวของก๊าซในสายยางจะเคลื่อนตัวในทิศทางตรงข้ามกับการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากสาหร่ายมีการใช้ออกซิเจนในขวดด้านที่มีสาหร่าย ทำให้ปริมาณก๊าซในขวดที่มีสาหร่ายลดลง ก๊าซจากขวดที่ไม่มีสาหร่ายจึงเคลื่อนตัวมายังขวดที่มีสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.1 แผนภาพแสดงตำแหน่งต่างๆของเครื่อง Productometer

3.5 การทดลองที่ 1: การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของ *Chaetomorpha* sp. ในห้องปฏิบัติการ

ทำการทดลองการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่ความเข้มแตกต่างกัน 6 ระดับ ได้แก่ 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 ฟิฟตี โดยในแต่ละระดับความเข้มจะถูกทำขึ้นภายใต้อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มแสง 9 ระดับ ได้แก่ 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ด้วยแสงจากหลอดไฟแอลอีดีที่ปรับความเข้มของแสงที่ใช้ในการทดลองด้วยฟิล์มกรองแสงแบบธรรมชาติ (Neutral density filter) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง นำค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิจากความเข้มแสงใดความเข้มแสงหนึ่งที่ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่ายที่อุณหภูมิและความเข้มที่แตกต่างกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดที่มีจัดการการทดลองแบบแฟกทอเรียล (3x6) โดยดำเนินการดังนี้

3.4.1 ทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย ด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจาก Yokohama and Ichimura (1969)

3.4.2 นำสาหร่ายไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เพื่อนำน้ำออกจากสาหร่ายให้ได้น้ำหนักที่แท้จริง

3.4.3 ชั่งน้ำหนักเปียกสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 นำสาหร่ายไปวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ตามวิธีการของ Chinnadurai *et al.* (2013)

3.6 การทดลองที่ 2: การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของ *Chaetomorpha* sp. ในบ่อเลี้ยงกลางแจ้ง ภายใต้แสงธรรมชาติและอุณหภูมิในรอบวัน

ทำการทดลองในบ่อเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้ง ขนาด 200x200x40 เซนติเมตร ที่สภาพอากาศที่แตกต่างกัน 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว โดยเลือกวันทำการทดลองจากพยากรณ์อากาศล่วงหน้าของกรมอุตุนิยมวิทยา ทำการทดลองที่ความถี่ 20 พีพีที ที่เวลา 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 12.00 14.00, 16.00, 18.00, 19.00, 20.00, 24.00, 4.00, 6.00, 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา โดยระยะห่างแต่ละช่วงเวลาในการวัดกำหนดจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่วัดได้ในรอบวัน ทำการทดลองฤดูกาลละ 3 ชั่วโมง โดยดำเนินการดังนี้

3.4.1 ทำการวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย ด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจาก Yokohama and Ichimura (1969)

3.4.2 นำสาหร่ายไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที เพื่อนำน้ำออกจากสาหร่ายให้ได้น้ำหนักที่แท้จริง

3.4.3 ชั่งน้ำหนักเปียกสาหร่าย

3.4.4 นำสาหร่ายไปวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ตามวิธีการของ Chinnadurai *et al.* (2013)

3.7 การคำนวณปริมาณการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ

คำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายด้วยวิธีของ Yokohama and Ichimura (1969) จากสมการที่ 3.1 จากนั้นนำไปคำนวณด้วยสมการที่ 3.2 (Lideman *et al.* 2012) เพื่อนำไปสร้างกราฟแสดงค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย

$$\Delta V_o = v \cdot 273 / (273 + t_o) \quad (3.1)$$

ΔV_o คือ ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้ (μL) ที่อุณหภูมิ 0°C ต่อชั่วโมง

v คือ ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้ (μL) ที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่วัดได้

t_o คือ อุณหภูมิเฉลี่ย (เริ่มต้น+สิ้นสุด / 2)

$$P_{net} = P_{maxg} \left(1 - \exp\left(-\frac{I_s}{P_{maxg}} \cdot PI\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{P_c}{P_{maxg}} \cdot PI\right) \right) - R_d \right) \quad (3.2)$$

P_{net} คือ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักสาหร่าย)

P_{maxg} คือ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจริงสูงสุด

I_s คือ ความเข้มเริ่มต้น

PI คือ ความเข้มแสงที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสง

P_c คือ สัมประสิทธิ์ของจุดที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

R_d คือ อัตราการหายใจ

3.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในระดับความเค็มและอุณหภูมิ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในรอบวันของทั้งสามฤดูกาล ด้วยวิธี Tukey-Kramer honestly significant difference (HSD) test ในโปรแกรม SPSS

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 การวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha sp.* ในห้องปฏิบัติการ

การศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha sp.* ภายใต้ความเข้มแสง 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 400, และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที

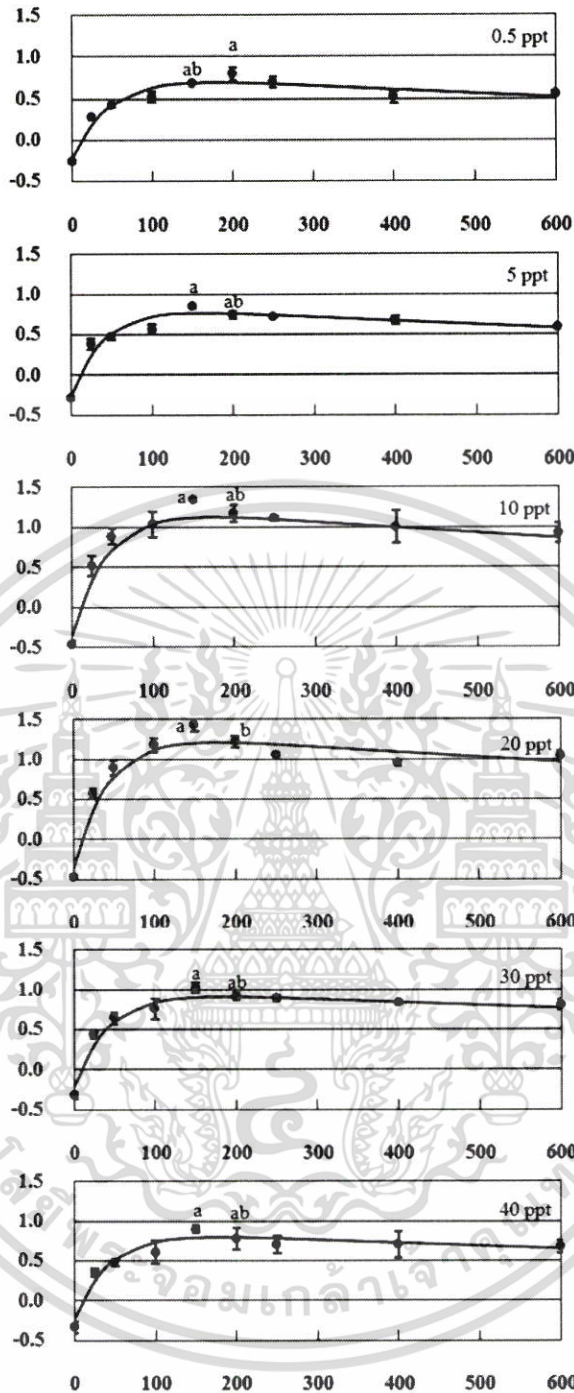
ผลการศึกษการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5 พีพีที ในสภาวะไม่มีแสง สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.263 ± 0.021 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มแสง 25, 50, 100, 150 และ 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยสูงสุดที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.791 ± 0.074 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าลดลงที่ความเข้มแสง 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ความเค็ม 5 พีพีที พบว่าในสภาวะไม่มีแสงสาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.288 ± 0.016 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง และเมื่อสาหร่ายได้รับแสง สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสงที่ 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.850 ± 0.028 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับที่ความเค็ม 10, 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ความเค็ม 5 พีพีที คือสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสงที่ 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที โดยที่ความเค็ม 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีค่าอัตราการหายใจเท่ากับ 0.470 ± 0.053 , 0.475 ± 0.020 , 0.318 ± 0.045 และ 0.331 ± 0.071 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 1.349 ± 0.022 , 1.431 ± 0.085 , 1.024 ± 0.062 และ 0.899 ± 0.043 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่

อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเค็มมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ยกเว้นที่ความเค็ม 0.5 พีพีที ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของทั้งสองระดับความเข้มแสงที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 30 และ 40 พีพีที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) มีเพียงที่ความเค็ม 20 พีพีที ที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าที่ระดับความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.1

สำหรับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเค็ม 0.5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.284 ± 0.011 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตามลำดับ มีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที เท่ากับ 0.836 ± 0.025 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าสาหร่ายมีแนวโน้มการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับที่ความเค็ม 0.5 พีพีที คือเมื่อสาหร่ายได้รับแสงสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยที่ความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.314 ± 0.019 , 0.496 ± 0.074 , 0.481 ± 0.034 , 0.332 ± 0.032 และ 0.340 ± 0.035 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.945 ± 0.014 , 1.539 ± 0.026 , 1.679 ± 0.010 , 1.504 ± 0.077 และ 1.169 ± 0.101 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเค็มมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าที่ความเค็ม 0.5, 5 และ 40 พีพีที อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สำหรับที่ความเค็ม 10, 20 และ 30 พีพีที มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที สูงกว่าที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.2

และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเค็ม 0.5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.359 ± 0.026 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตามลำดับ มีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.825 ± 0.053 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับที่ความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ความเค็ม 0.5 พีพีที คือเมื่อสาหร่ายได้รับแสง สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยที่ความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีทีสาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.366 ± 0.005 , 0.481 ± 0.004 , 0.498 ± 0.074 , 0.348 ± 0.058 และ 0.360 ± 0.012 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.885 ± 0.014 , 1.349 ± 0.030 , 1.437 ± 0.125 , 1.193 ± 0.165 และ 1.074 ± 0.049 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเค็มมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20 และ 30 พีพีที อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ยกเว้นที่ความเค็ม 40 พีพีที ที่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.3

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย (มีผลิตภัณฑ์ออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง)



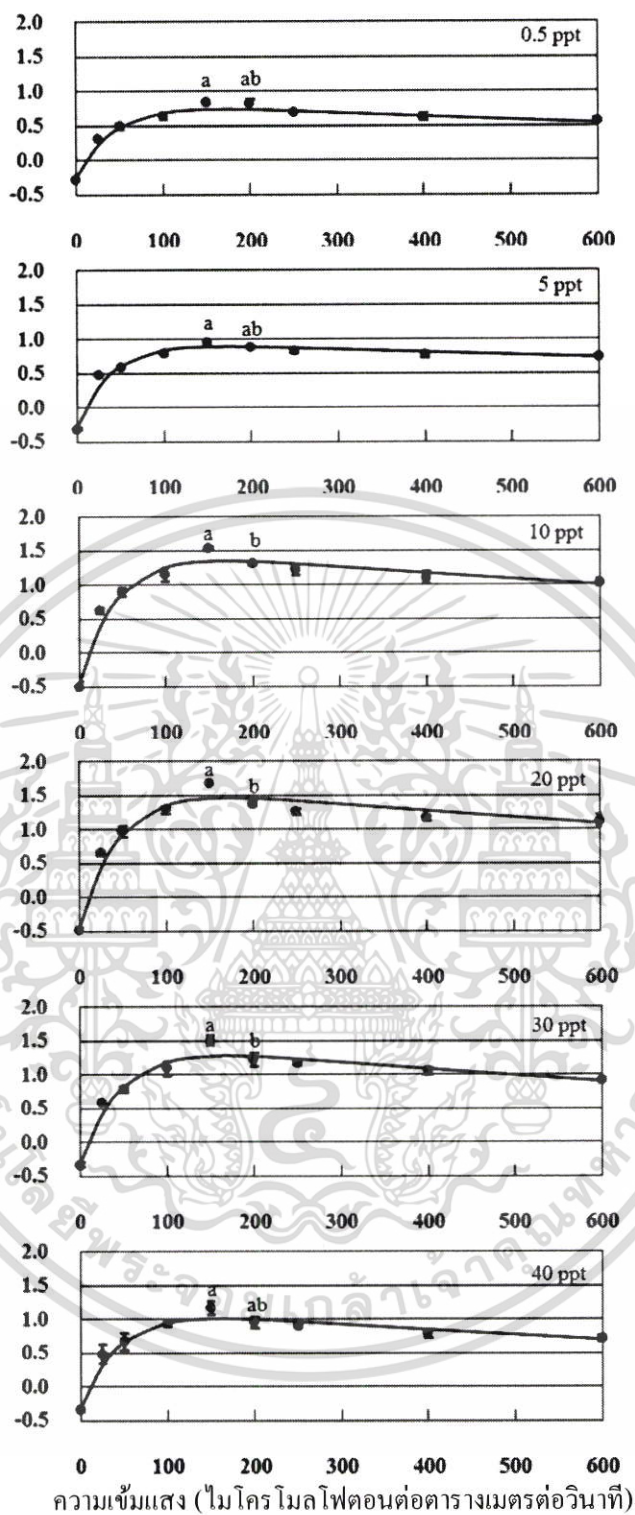
ความเข้มแสง (ไมโคร โมล โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)

ภาพที่ 4.1 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโคร โมล โฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย (มิลลิตริคอกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง)

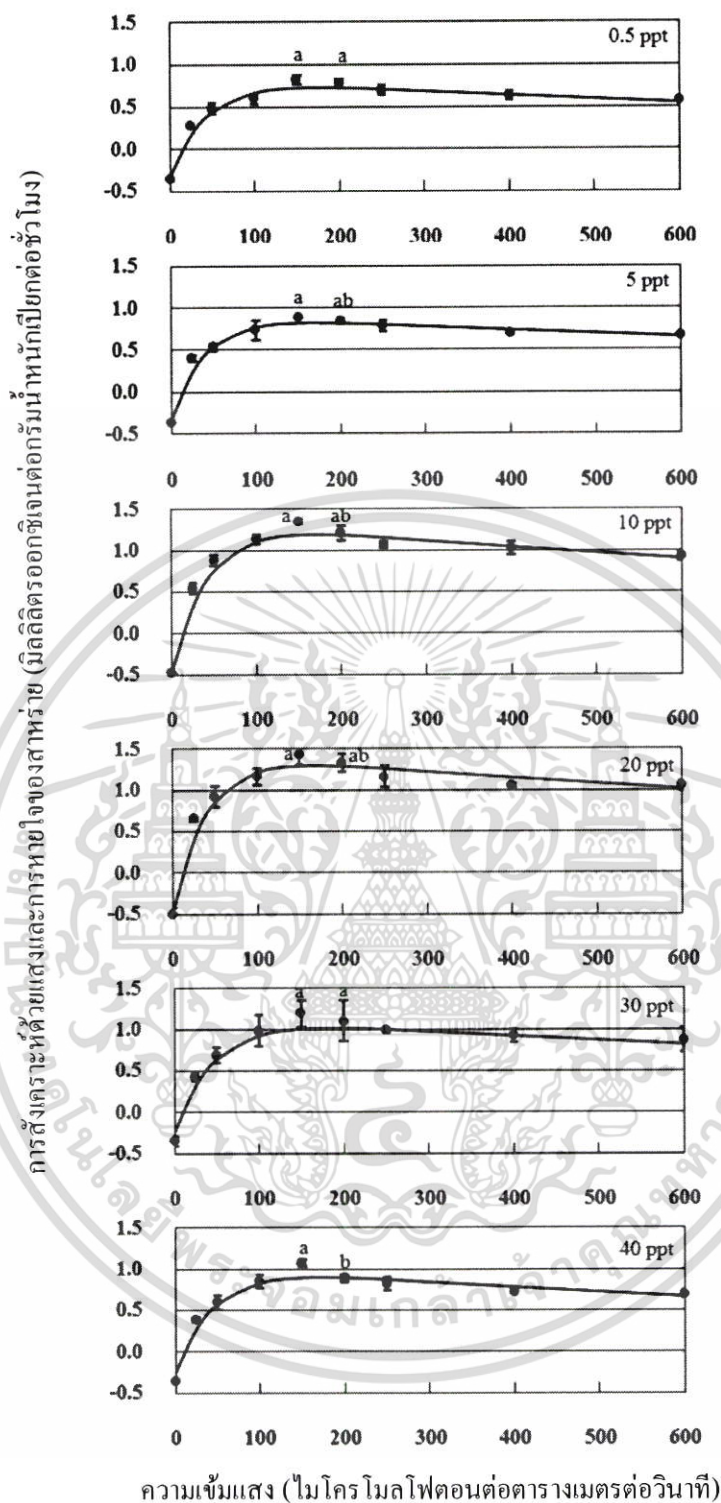


ภาพที่ 4.2 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่าในทุกระดับอุณหภูมิและความเค็มมีแนวโน้มของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักราก แต่อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียกของสาหร่าย โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 0.5 พีพีที ความเข้มแสง 0 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (สภาวะไม่มีแสง) สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.029 ± 0.002 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มแสง 25, 50, 100, 150 และ 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.091 ± 0.003 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่ความเค็ม 5 พีพีที พบว่าสาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.038 ± 0.004 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง และเมื่อสาหร่ายได้รับแสงสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.111 ± 0.009 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับที่ความเค็ม 10, 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ความเค็ม 5 พีพีที โดยเมื่อสาหร่ายได้รับแสงสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเค็ม 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีค่าอัตราการหายใจเท่ากับ 0.048 ± 0.002 , 0.049 ± 0.002 , 0.045 ± 0.010 และ 0.042 ± 0.005 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.138 ± 0.009 , 0.149 ± 0.009 , 0.136 ± 0.012 และ 0.124 ± 0.005 มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเค็มมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ยกเว้นที่ความเค็ม 0.5 พีพีที ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของทั้งสองระดับความเข้มแสงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังภาพที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าที่ความเค็ม 0.5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.037 ± 0.002 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง เมื่อสาหร่ายได้รับแสงที่ความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยมีค่าสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.125 ± 0.006 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง จากนั้นพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที พบว่าสาหร่ายมีแนวโน้มของการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับที่ความเค็ม 0.5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยที่ความเค็ม 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.044 ± 0.004 , 0.051 ± 0.015 , 0.059 ± 0.004 , 0.046 ± 0.004 และ 0.044 ± 0.005 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.132 ± 0.008 , 0.166 ± 0.004 , 0.178 ± 0.008 , 0.156 ± 0.002 และ 0.139 ± 0.004 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเค็มมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ยกเว้นที่ความเค็ม 20 พีพีที ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าสูงกว่าที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังภาพที่ 4.5

และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าทุกความเค็มมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อสาหร่ายได้รับแสง สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ระดับความเข้มแสง 25, 50, 100 และ 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิลดลงที่ความเข้มแสง 200, 250, 400 และ 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยสาหร่ายมีอัตราการหายใจที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที ดังนี้ 0.035 ± 0.004 , 0.042 ± 0.002 , 0.049 ± 0.006 , 0.057 ± 0.004 , 0.044 ± 0.001 และ 0.044 ± 0.002 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 0.100 ± 0.005

0.118±0.010, 0.157±0.022, 0.165±0.002, 0.152±0.001 และ 0.141±0.016 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทุกระดับความเข้มมีค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกันทางสถิติในทุกระดับความเข้มแสงแล้ว พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาทีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ความเข้มแสง 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 4.6

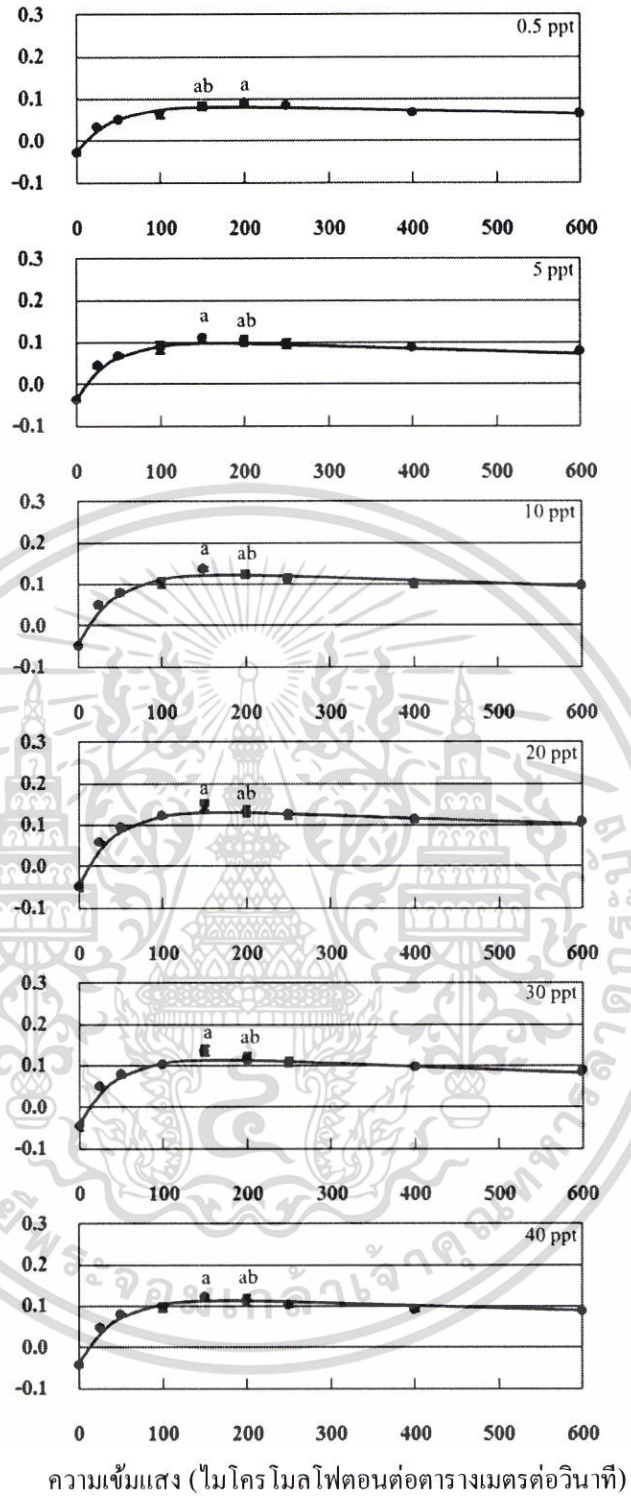
จากผลการศึกษาดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าความเข้มแสงที่ทำให้สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดอยู่ที่ 150 และ 200 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที และพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของสาหร่ายมีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวมีความแตกต่างจากการสังเคราะห์ด้วยแสงในสาหร่ายทะเลชนิดอื่นๆ ที่พบในบริเวณน้ำตื้น ที่รายงานว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง ที่ความเข้มแสงใดแสงหนึ่ง จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีค่าคงที่แม้ว่าความเข้มแสงจะสูงขึ้นก็ตาม (Light saturation) เช่น ในสาหร่าย *Rhizoclonium* sp. (Serisawa et al. 2004) สาหร่าย *Caurelpa lentillifera* และ *Caurelpa racemosa* (Kurashima et al. 2003) สาหร่าย *Gracilaria cornea* (Dawes et al. 1999) และสาหร่าย *Pyropia tenera* (Watanabe et al. 2013) รวมทั้งในหญ้าทะเล *Zostera japonica* (Abe et al. 2009)

อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานในสาหร่ายบางชนิดที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสงใดแสงหนึ่ง จากนั้นมีค่าลดลงเมื่อความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้น (Photoinhibition) เช่น ในสาหร่าย *Sargassum piluliferum*, *S. patens*, *S. fusiforme*, *S. crispifolium* และ *S. alternato-pinnatum* ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสง 200 – 400 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น (Tsuchiya et al. 2012) รวมทั้งในสาหร่าย *Eucheuma denticulatum* และ *Kappaphycus* sp. ที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสง 400 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นลดลงเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้น (Lideman et al. 2012) ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้มีถิ่นที่อยู่อาศัยบริเวณแหล่งน้ำลึก ตามปกติมักได้รับแสงน้อย เมื่อได้รับแสงที่มากเกินไปจึงเกิดภาวะ Photoinhibition คือภาวะที่การสังเคราะห์ด้วยแสงถูกยับยั้งเนื่องจากความเข้มแสงที่สูงเกินไป

สำหรับสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นสาหร่ายที่พบอยู่บริเวณผิวน้ำหรือพื้นที่ตื้นน้ำในแหล่งน้ำตื้น มักได้รับความเข้มแสงมากในช่วงเวลากลางวัน แต่พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดที่ความเข้มแสงต่ำ และยังเกิดภาวะ Photoinhibition เช่นเดียวกับสาหร่ายที่มีแหล่งที่อยู่อาศัยบริเวณแหล่งน้ำลึก จากผลการศึกษาดังกล่าวนำมาซึ่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจ ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย (มีผลิตภัณฑ์ออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง)

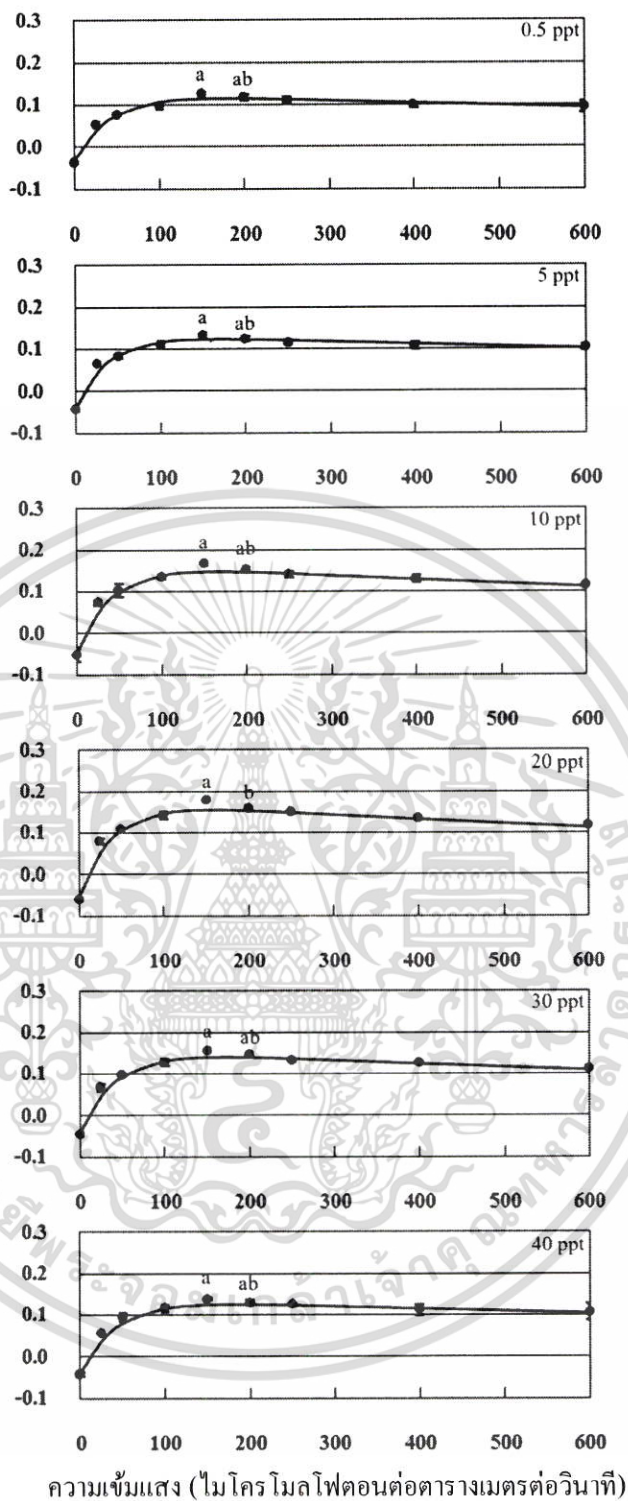


ภาพที่ 4.4 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโคร โมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

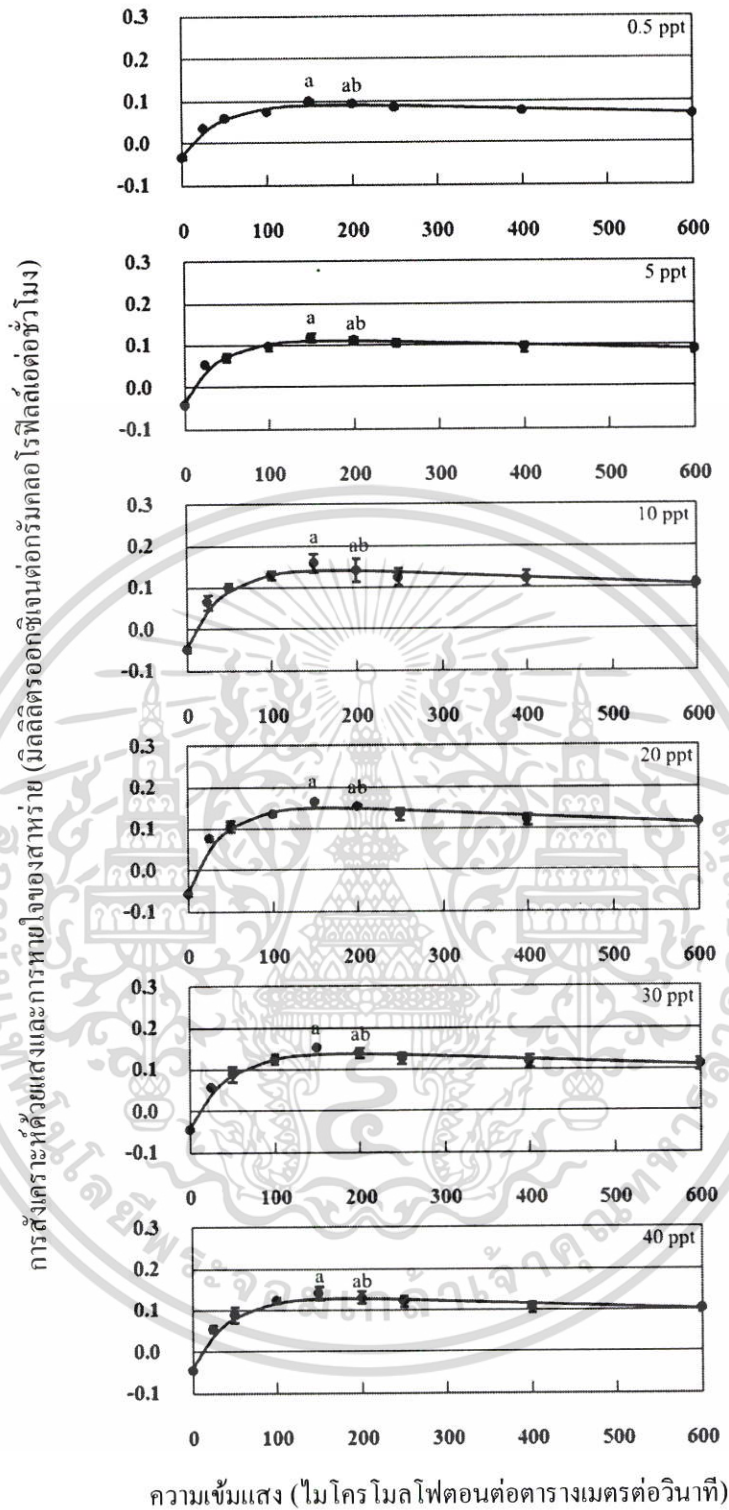
การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย (มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง)



ภาพที่ 4.5 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp.

(±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่ระดับความเข้มแสง 0 – 600 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย) สัญลักษณ์ตัวอักษรที่แตกต่างกันบนเส้นกราฟแสดงความแตกต่างอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติของแต่ละระดับความเข้มแสง ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากผลการศึกษาเมื่อนำค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มาเปรียบเทียบกับเพื่อหาระดับอุณหภูมิและความเค็มที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย ทุกระดับอุณหภูมิมีแนวโน้มของการสังเคราะห์ด้วยแสงไปในทิศทางเดียวกัน คืออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าสูงขึ้นตามความเค็มที่ 0.5, 5, และ 10 พีพีที โดยสูงสุดที่ความเค็ม 20 พีพีที จากนั้นมีค่าลดลงที่ความเค็ม 30 และ 40 พีพีที ตามลำดับ (ภาพที่ 4.7) สำหรับปัจจัยความเค็มและอุณหภูมิพบว่าทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย ($p < 0.05$) โดยพบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1.679 ± 0.010 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 30 พีพีที, อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที และ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.504 ± 0.077 , 1.431 ± 0.085 และ 1.437 ± 0.125 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ ($p \geq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

สำหรับการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายมีอัตราการหายใจใกล้เคียงกันในทุกระดับอุณหภูมิและความเค็ม (ภาพที่ 4.7) และพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิกับความเค็มต่ออัตราการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย (ตารางที่ 4.1) ซึ่งอัตราการหายใจของสาหร่ายที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 มีค่าเท่ากับ 0.358 ± 0.094 , 0.375 ± 0.091 และ 0.402 ± 0.072 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สาหร่ายมีอัตราการหายใจสูงสุด แต่เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติแล้ว พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ($p \geq 0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาระดับความเค็มพบว่าที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.302 ± 0.047 , 0.325 ± 0.037 , 0.482 ± 0.047 , 0.485 ± 0.043 , 0.333 ± 0.042 และ 0.344 ± 0.042 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งแต่ละระดับความเค็มมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติ พบว่าสาหร่ายมีอัตราการหายใจสูงสุดที่ความเค็ม 10 และ 20 พีพีที และพบว่าทั้งสองระดับความเค็มมีอัตราการหายใจที่แตกต่างกับที่ระดับความเค็ม 0.5, 5, 30 และ 40 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักรายวันที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) และค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value)

ปัจจัย	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกสาหร่าย)	อัตราการหายใจ
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
25	1.004 \pm 0.229 ^c	0.358 \pm 0.094 ^b
30	1.214 \pm 0.308 ^a	0.375 \pm 0.091 ^{ab}
35	1.091 \pm 0.222 ^b	0.402 \pm 0.072 ^a
ความเค็ม (พีพีที)		
0.5	0.817 \pm 0.051 ^d	0.302 \pm 0.047 ^b
5	0.893 \pm 0.045 ^d	0.325 \pm 0.037 ^b
10	1.108 \pm 0.112 ^c	0.482 \pm 0.047 ^a
20	1.516 \pm 0.144 ^a	0.485 \pm 0.043 ^a
30	1.340 \pm 0.231 ^b	0.333 \pm 0.042 ^b
40	1.044 \pm 0.138 ^c	0.344 \pm 0.042 ^b
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) \times ความเค็ม (พีพีที)		
25 \times 0.5	0.791 \pm 0.074 ^f	0.263 \pm 0.021
25 \times 5	0.850 \pm 0.028 ^{cf}	0.288 \pm 0.016
25 \times 10	1.039 \pm 0.162 ^{cdef}	0.470 \pm 0.053
25 \times 20	1.431 \pm 0.085 ^{ab}	0.475 \pm 0.020
25 \times 30	1.024 \pm 0.062 ^{cdef}	0.318 \pm 0.045
25 \times 40	0.899 \pm 0.043 ^{def}	0.331 \pm 0.071
30 \times 0.5	0.836 \pm 0.074 ^{cf}	0.284 \pm 0.011
30 \times 5	0.945 \pm 0.014 ^{cdef}	0.314 \pm 0.019
30 \times 10	1.152 \pm 0.095 ^c	0.496 \pm 0.074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

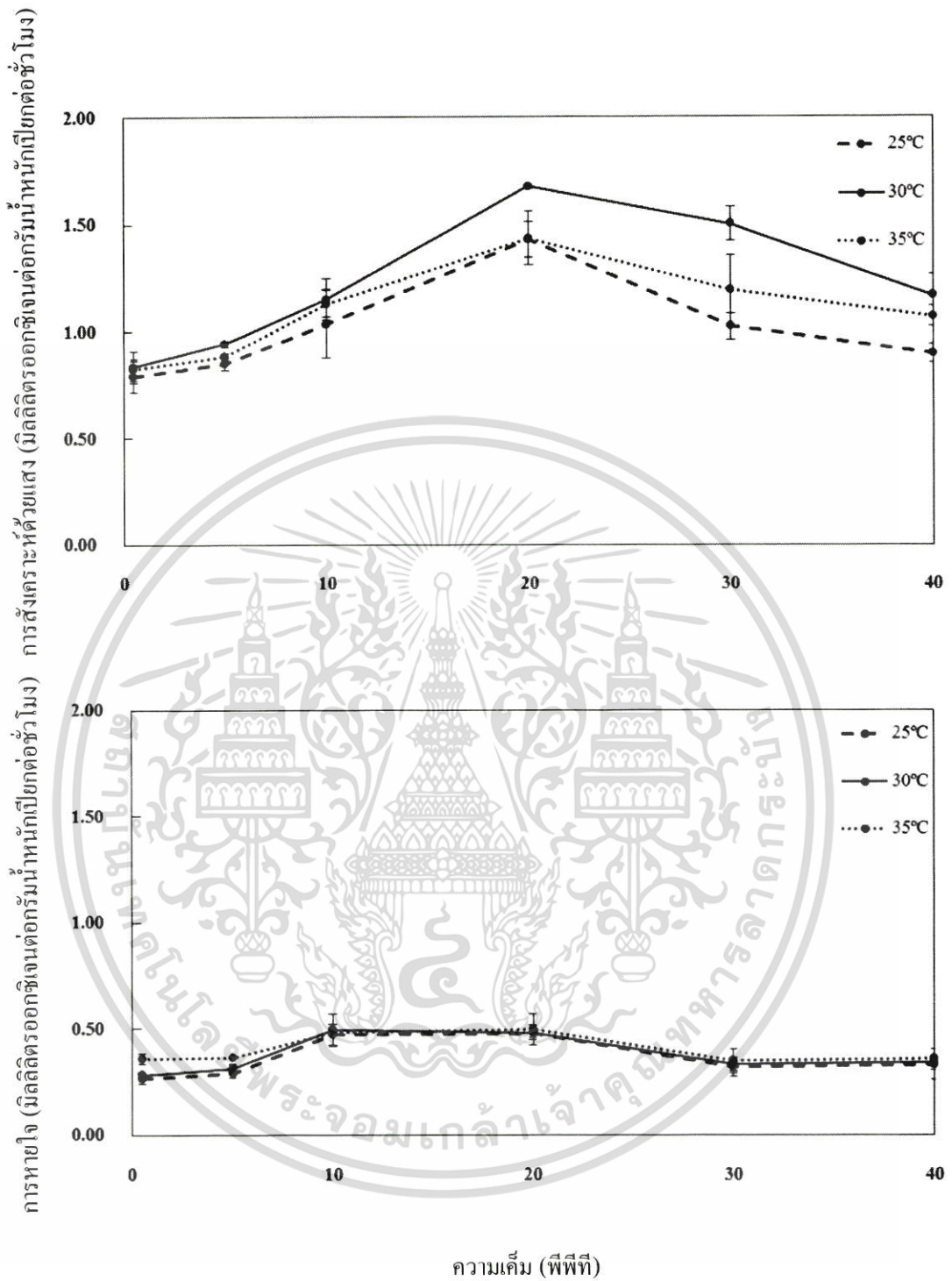
ปัจจัย	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ	อัตราการหายใจ
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง)		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) x ความเค็ม (พีพีที)		
30 x 20	1.679±0.010 ^a	0.481±0.034
30 x 30	1.504±0.077 ^a	0.332±0.032
30 x 40	1.169±0.101 ^c	0.340±0.035
35 x 0.5	0.825±0.051 ^{cf}	0.359±0.026
35 x 5	0.885±0.014 ^{def}	0.366±0.005
35 x 10	1.133±0.064 ^{cd}	0.481±0.004
35 x 20	1.437±0.125 ^{ab}	0.498±0.074
35 x 30	1.193±0.165 ^{bc}	0.348±0.058
35 x 40	1.074±0.049 ^{cdc}	0.360±0.012
Significance (p-value)		
อุณหภูมิ	*	*
ความเค็ม	*	*
อุณหภูมิ x ความเค็ม	*	ns

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สัญลักษณ์ * แสดงถึงการพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สัญลักษณ์ ns แสดงถึงไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ต่อปริมาณน้ำหนักเปียก (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที ที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิในทุกระดับอุณหภูมิมีแนวโน้มการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คืออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นจากความเค็มที่ 0.5, 5, และ 10 พีพีที โดยมีค่าสูงสุดที่ความเค็ม 20 พีพีที จากนั้นลดลงที่ความเค็ม 30 และ 40 พีพีที ตามลำดับ (ภาพที่ 4.8) และไม่พบอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิกับความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (ตารางที่ 4.2) สำหรับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 มีค่าเท่ากับ 0.123 ± 0.023 , 0.149 ± 0.020 และ 0.139 ± 0.026 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอสาหร่ายต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถิติกับที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยความเค็มพบว่าที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเท่ากับ 0.103 ± 0.019 , 0.120 ± 0.012 , 0.154 ± 0.017 , 0.163 ± 0.014 , 0.148 ± 0.011 และ 0.145 ± 0.012 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอสาหร่ายต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติพบว่า ที่ความเค็ม 20 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุด แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ความเค็ม 10 พีพีที ($p \geq 0.05$) และพบว่าที่ความเค็ม 0.5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ น้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

สำหรับอัตราการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ พบว่าสาหร่ายมีค่าอัตราการหายใจใกล้เคียงกันในทุกระดับอุณหภูมิและความเค็ม (ภาพที่ 4.8) และไม่พบอิทธิพลร่วมกัน (interaction) ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิกับความเค็มต่ออัตราการหายใจเมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (ตารางที่ 4.2) ซึ่งอัตราการหายใจของสาหร่ายที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 มีค่าเท่ากับ 0.042 ± 0.008 , 0.047 ± 0.009 และ 0.045 ± 0.008 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สาหร่ายมีอัตราการหายใจสูงสุด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับทางสถิติแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ($p \geq 0.05$) แต่พบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการหายใจที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาปัจจัยความเค็มพบว่าที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเท่ากับ 0.034 ± 0.004 , 0.041 ± 0.004 , 0.049 ± 0.008 , 0.055 ± 0.005 , 0.045 ± 0.006 และ 0.043 ± 0.004 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับทางสถิติพบว่า ที่ความเค็ม 20 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจสูงสุด แต่ไม่แตกต่างกับอัตราการหายใจที่ความเค็ม 10 พีพีที ($p \geq 0.05$) ซึ่งพบว่าทั้งสองระดับความเค็มมีอัตราการหายใจแตกต่างกับที่ความเค็ม 0.5, 5,

30 และ 40 พีพีที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ความเค็ม 0.5 และ 5 พีพีที สาหร่ายมีอัตราการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอนน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอนในสาหร่ายที่ความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) และค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value)

ปัจจัย	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอนสาหร่าย)	อัตราการหายใจ
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
25	0.123 \pm 0.023 ^c	0.042 \pm 0.008 ^b
30	0.149 \pm 0.020 ^a	0.047 \pm 0.009 ^a
35	0.139 \pm 0.026 ^b	0.045 \pm 0.008 ^{ab}
ความเค็ม (พีพีที)		
0.5	0.103 \pm 0.019 ^c	0.034 \pm 0.004 ^d
5	0.120 \pm 0.012 ^d	0.041 \pm 0.004 ^{cd}
10	0.154 \pm 0.017 ^{ab}	0.049 \pm 0.008 ^{ab}
20	0.163 \pm 0.014 ^a	0.055 \pm 0.005 ^a
30	0.148 \pm 0.011 ^b	0.045 \pm 0.006 ^{bc}
40	0.145 \pm 0.012 ^c	0.043 \pm 0.004 ^{bc}
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) x ความเค็ม (พีพีที)		
25 x 0.5	0.084 \pm 0.008	0.029 \pm 0.002
25 x 5	0.111 \pm 0.009	0.038 \pm 0.004
25 x 10	0.138 \pm 0.005	0.048 \pm 0.002
25 x 20	0.149 \pm 0.009	0.049 \pm 0.002
25 x 30	0.136 \pm 0.012	0.045 \pm 0.010
25 x 40	0.124 \pm 0.005	0.042 \pm 0.005
30 x 0.5	0.125 \pm 0.006	0.037 \pm 0.002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

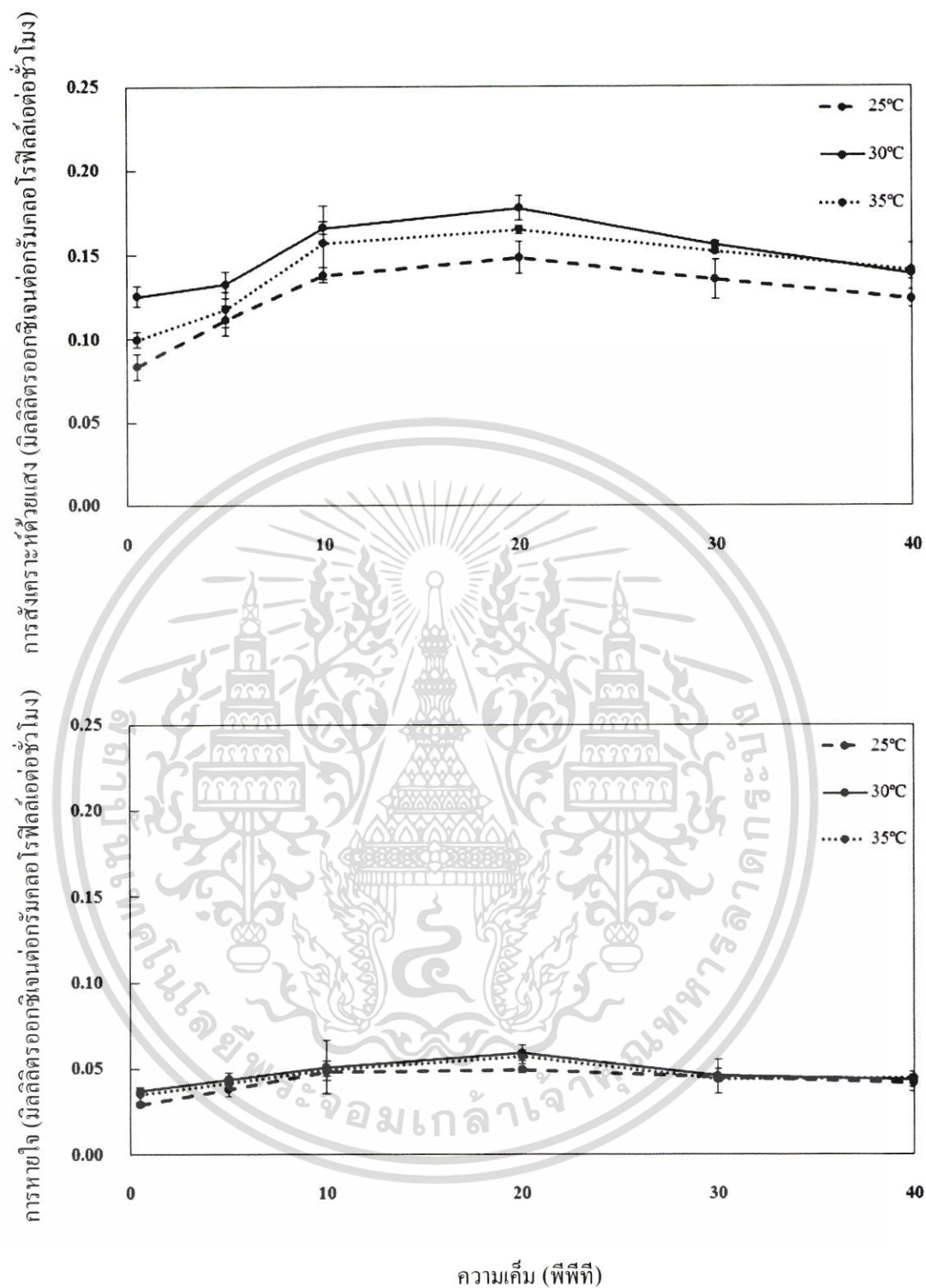
ปัจจัย	อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ	อัตราการหายใจ
	(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอสาหร่าย)	
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) x ความเค็ม (พีพีที)		
30 x 5	0.132±0.008	0.044±0.004
30 x 10	0.166±0.004	0.051±0.015
30 x 20	0.178±0.008	0.059±0.004
30 x 30	0.156±0.002	0.046±0.004
30 x 40	0.139±0.004	0.044±0.005
35 x 0.5	0.100±0.005	0.035±0.004
35 x 5	0.118±0.010	0.042±0.002
35 x 10	0.157±0.022	0.049±0.006
35 x 20	0.165±0.022	0.057±0.004
35 x 30	0.152±0.001	0.044±0.001
35 x 40	0.141±0.016	0.044±0.002
Significance (p-value)		
อุณหภูมิ	*	*
ความเค็ม	*	*
อุณหภูมิ x ความเค็ม	ns	ns

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สัญลักษณ์ * แสดงถึงการพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สัญลักษณ์ ns แสดงถึงไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน) ที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเค็ม 0.5, 5, 10, 20, 30 และ 40 พีพีที ที่ระดับความเข้มแสง 150 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษามีเพียงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบต่อน้ำหนักเปียกของสาหร่ายเพียงเท่านั้นที่ได้รับอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยอุณหภูมิและความเค็ม (interaction) โดยพบว่าสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีการอัตราสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่ายได้ดีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที, ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 และ 30 พีพีที และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที จากผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Tsutsui *et al.* (2015) ที่ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. โดยพบว่าสาหร่ายมีการเจริญเติบโตสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเค็ม 30 พีพีที, ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 30 พีพีที, ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที, ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเค็ม 10 พีพีที และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความเค็ม 10 พีพีที ซึ่งมีช่วงความเค็มและอุณหภูมิที่สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ คือ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 30 พีพีที และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 20 พีพีที เนื่องจากการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยผลของการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้ได้ก๊าซออกซิเจน น้ำ และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งสาหร่ายจะเก็บสะสมสารอาหารที่ได้เหล่านี้เพื่อไว้ใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมในการเจริญเติบโตต่อไป (อรรถพล ศรีประดิษฐ์, 2555) โดยน้ำตาลกลูโคสที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นแป้งเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล (Vacuole) และจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอีกครั้งเมื่อมีการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

การสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายพบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ดีที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส สอดคล้องกับการศึกษาในสาหร่ายชนิดอื่น (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดในสาหร่ายชนิดอื่น

ชนิดสาหร่าย	อุณหภูมิที่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (องศาเซลเซียส)	อ้างอิง
<i>Ulva pertusa</i>	30	Murase <i>et al.</i> (1993)
<i>Cladophora rudolphiana</i>	35	Katayama <i>et al.</i> (1985)
<i>Kappaphycus alvarezii</i>	30	Terada <i>et al.</i> (2016)
<i>Hizikia fusiforme</i>	30	Zou and Kunshan. (2005)

ซึ่งอุณหภูมิมีผลอย่างยิ่งต่อการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสง (ดวงรัตน์ ศตคุณ. 2541) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่เอนไซม์ที่มีความสำคัญอย่างมาก คือ เอนไซม์รูบิสโก (Rubisco) มีชื่อเต็มว่า ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการเร่งปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carboxylation) ในวัฏจักรเคลวิน (Calvin cycle) ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ความสามารถในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่งผลให้เอนไซม์รูบิสโกไปจับกับออกซิเจนแทน ซึ่งเมื่อเอนไซม์ไปรวมกับก๊าซออกซิเจนแล้ว โมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีประโยชน์กับพืช อีกทั้งยังต้องนำพลังงานในรูปของ ATP จากปฏิกิริยาแบบใช้แสงมาใช้อีกด้วย ทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์น้ำตาลในคลอโรพลาสต์ลดลง ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เรียกกระบวนการที่เอนไซม์รูบิสโกไปรวมกับก๊าซออกซิเจนว่า การหายใจเชิงแสง (photorespiration) เกิดจากการสลายสารอินทรีย์ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งคล้ายคลึงกับกระบวนการหายใจ (respiration) ที่มีการสลายสารอินทรีย์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยการใช้ออกซิเจน

และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30 – 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมเขตร้อน จากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยวัดจากสถานีตรวจวัดสภาพอากาศสุวรรณภูมิ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ในปี พ.ศ. 2559 ตั้งแต่เดือน มกราคมถึงเดือนธันวาคม พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 23 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส (Weather underground. 2017) ซึ่งสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิที่อยู่ในสถานะที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในการศึกษาครั้งนี้

สำหรับความเค็มพบว่าความเค็มที่ทำให้สาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงอยู่ที่ 10 และ 20 พีพีที โดยความเค็มที่ต่ำเกินไปและสูงเกินไปทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าลดลง จากผลการศึกษาในครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับสาหร่ายชนิดอื่น คืออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นได้ดีที่ระดับความเค็มหนึ่งๆ และลดลงเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นหรือต่ำกว่านั้น (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ความเค็มที่ทำให้มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุดในสาหร่ายชนิดอื่น

ชนิดสาหร่าย	ความเค็มที่มีการสังเคราะห์ ด้วยแสงสูงสุด (พีพีที)	อ้างอิง
<i>Rhizoclonium</i> sp.	30	Matsuyama-Serisawa <i>et al.</i> (2004)
<i>Rhizoclonium riparium</i>	30	Imai <i>et al.</i> (1997)
<i>Grateloupia filicina</i>	20	Wong and Chang. (2000)

แสดงให้เห็นว่าความเค็มที่สูงขึ้น ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายที่อยู่ภายนอกเซลล์สูงกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ ทำให้น้ำมีการแพร่ออกนอกเซลล์ ทำให้เซลล์เหี่ยว เกิดการเสื่อมสภาพของไทลาคอยด์เมมเบรน ซึ่งเป็นที่อยู่ของรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ คลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอย ทำให้รงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (ธราทิพย์ สอนสุด และคณะ 2557) เป็นผลทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง

สำหรับการหายใจ พบว่าอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกและต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย แม้ว่าอัตราการหายใจของสาหร่ายทั้งสามระดับอุณหภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่พบว่าในสาหร่ายมีอัตราการหายใจที่สูงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส เห็นได้ว่าสาหร่ายมีการหายใจสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แม้อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก็ตาม เช่นเดียวกับการศึกษาของ Murase *et al.* (1993) พบว่าสาหร่าย *Ulva pertusa* มีการหายใจต่ำที่อุณหภูมิ 10, 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส และในสาหร่ายอื่นๆ ก็พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น ในสาหร่าย *Hizikia fusiforme* (Zou and Gao, 2005) สาหร่าย *Pyropia tenera* (Watanabe *et al.* 2013) สาหร่าย *Sargassum piluliferum*, *S. patens*, *S. fusiforme*, *S. crispifolium* และ *S. alternato-pinnatum* (Tsuchiya *et al.* 2012) สาหร่าย *Ecklonia cava* (Serisawa *et al.* 2001) และสาหร่าย *Kappaphycus alvarezii* (Terada *et al.* 2016) ที่พบว่าอัตราการหายใจมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงจะมีผลในการเร่งอัตราการหายใจของพืช (ดวงรัตน์ ศตคุณ. 2541) และอุณหภูมิที่ต่ำทำให้พืชมีอัตราการหายใจลดลง (สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2547)

สำหรับผลของความเค็มพบว่าสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีอัตราการหายใจสูงสุดที่ความเค็ม 10 และ 20 พีพีที โดยที่ความเค็มต่ำหรือสูงไปกว่านี้อัตราการหายใจมีค่าลดลง และในสาหร่ายชนิดอื่น พบว่าอัตราการหายใจของสาหร่ายจะมีค่าสูงสุดที่ความเค็มหนึ่งๆ และลดลงเมื่อความเค็มสูงหรือต่ำไปกว่านั้น เช่น ในสาหร่าย *Ulva indica* สาหร่ายมีการหายใจสูงสุดที่ความเค็ม 20 พีพีที และมีการหายใจลดลงที่ความเค็ม 50, 40, 30, 10 และ 0 พีพีที (Shamel. 1980) และในสาหร่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rhizoclonium sp. มีการหายใจสูงสุดที่ความเค็ม 30 พีพีที และลดลงที่ความเค็ม 40, 20, 10 และ 0 พีพีที (Matsuyama-Serisawa *et al.* 2004)

โดยปกติการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายทะเลมักแสดงค่าตามน้ำหนักสดหรือน้ำหนักแห้งของสาหร่าย เนื่องจากสามารถตรวจสอบได้ง่าย แต่ในความเป็นจริงแล้วอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมักขึ้นอยู่กับปริมาณของคลอโรฟิลล์เอซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Kaiser and Attrill. 2011) การศึกษาในครั้งนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาทั้งหน่วยของปริมาณน้ำหนักเปียกและปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่าย และพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบต่อหน่วยทั้งสองมีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากปริมาณสัดส่วนของน้ำในค่าน้ำหนักเปียกของสาหร่ายที่ไม่แน่นอน ซึ่งให้เห็นว่าค่าการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อเทียบต่อหน่วยคลอโรฟิลล์เอ เป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากคลอโรฟิลล์เอเป็นรงควัตถุหลักที่ทำให้เกิดสังเคราะห์ด้วยแสง และจากตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนของน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายที่ใช้ทดลองในแต่ละระดับอุณหภูมิและความเค็ม

ตารางที่ 4.5 อัตราส่วนของน้ำหนักเปียกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเค็ม (พีพีที)	อัตราส่วนน้ำหนักเปียกต่อคลอโรฟิลล์เอ ของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง
25	0.5	0.123 \pm 0.012
	5	0.156 \pm 0.008
	10	0.082 \pm 0.007
	20	0.104 \pm 0.008
	30	0.140 \pm 0.024
	40	0.186 \pm 0.022
30	0.5	0.194 \pm 0.010
	5	0.140 \pm 0.006
	10	0.101 \pm 0.017
	20	0.106 \pm 0.004
	30	0.125 \pm 0.104
	40	0.111 \pm 0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเค็ม (พีพีที)	อัตราส่วนน้ำหนักเปียกต่อคลอโรฟิลล์เอ ของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง
35	0.5	0.121±0.007
	5	0.133±0.013
	10	0.117±0.017
	20	0.115±0.011
	30	0.129±0.016
	40	0.147±0.019

จากผลการศึกษากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ตลอดในช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่ทำการศึกษาคือช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส และช่วงความเค็ม 0.5 ถึง 40 พีพีที โดยพบว่าช่วงอุณหภูมิและความเค็มดังกล่าวเป็นช่วงครอบคลุมอุณหภูมิและความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงกุ้งทะเล และช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่สาหร่าย *Chaetomorpha* sp. สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้

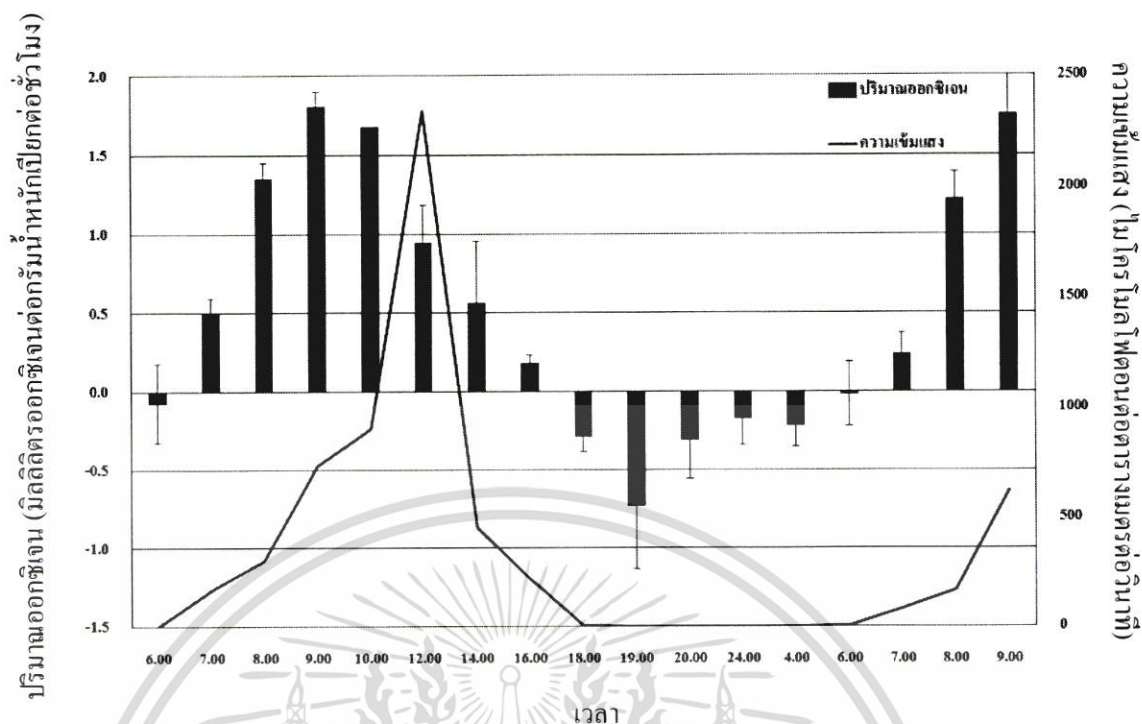
ชนิด	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ช่วงความเค็ม (พีพีที)	อ้างอิง
กุ้งกุลาดำ (<i>Penaeus monodon</i>)	28 – 33	10 – 35	สถาบันวิจัยและพัฒนาการเลี้ยงกุ้งทะเล. (ม.ป.ท.)
กุ้งขาว (<i>Litopenaeus vannamei</i>)	28 – 32	2 – 35	สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. (2550)
สาหร่าย <i>Chaetomorpha</i> sp.	25 – 35	0.5 – 40	การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วัดการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของ *Chaetomorpha* sp. ในบ่อเลี้ยงกลางแจ้ง ภายใต้อุณหภูมิและแสงธรรมชาติในรอบวัน

สำหรับการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในรอบวัน ได้จัดทำขึ้นในบ่อเลี้ยงสาหร่ายกลางแจ้งแบบปิด ณ อาคารวิทยาศาสตร์การประมงหลังเก่า ในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2559 เพื่อศึกษาอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายในรอบวัน ในช่วงฤดูกาลที่ต่างกันทั้ง 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน

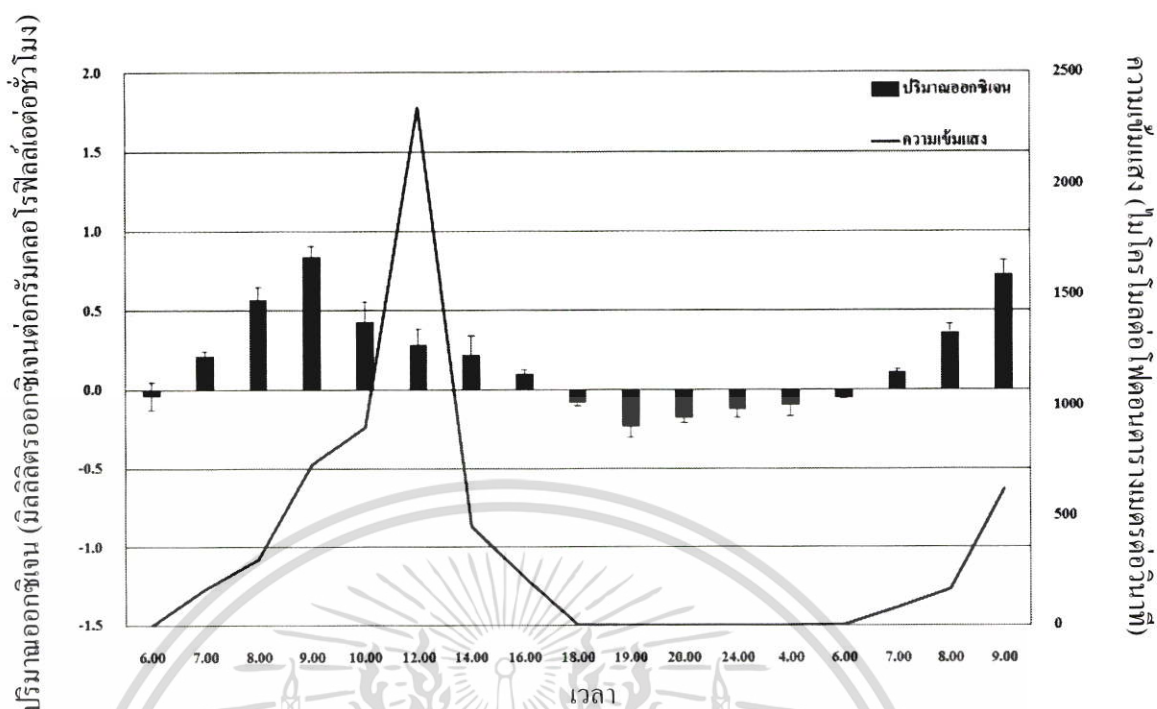
ผลการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในฤดูฝน เมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย พบว่าที่เวลา 6.00 นาฬิกา วัดค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 0.4 ± 0.529 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที สาหร่ายแสดงค่าอัตราการหายใจเท่ากับ 0.075 ± 0.251 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นเริ่มวัดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของสาหร่ายได้ที่เวลา 7.00 และ 8.00 นาฬิกา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.501 ± 0.091 และ 1.350 ± 0.100 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่เวลา 9.00 นาฬิกา วัดค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 730.7 ± 294.275 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที มีค่า 1.805 ± 0.095 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นลดลงที่เวลา 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา ตามลำดับ โดยมีค่า 1.676 ± 0.004 , 0.942 ± 0.241 , 0.562 ± 0.392 และ 0.176 ± 0.058 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นจะเริ่มวัดค่าการหายใจของสาหร่ายได้อีกครั้งที่เวลา 18.00 นาฬิกา โดยอัตราการหายใจของสาหร่ายที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00, 4.00 และ 6.00 นาฬิกา มีค่าดังนี้ 0.286 ± 0.098 , 0.727 ± 0.404 , 0.307 ± 0.251 , 0.172 ± 0.168 , 0.216 ± 0.137 และ 0.015 ± 0.204 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นอัตราการหายใจได้ถูกบดบังด้วยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เวลา 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา เท่ากับ 0.238 ± 0.135 , 1.218 ± 0.173 และ 1.761 ± 0.245 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.9)



ภาพที่ 4.9 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูฝน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอพบว่า อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและการหายใจของสาหร่ายเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลต่อ ปริมาณน้ำหนักเปียกแต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อคำนวณด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย โดยค่าอัตราการหายใจที่เวลา 6.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.041 ± 0.019 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อ ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ที่เวลา 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.210 ± 0.034 , 0.567 ± 0.077 , 0.834 ± 0.070 , 0.428 ± 0.129 , 0.280 ± 0.104 , 0.216 ± 0.125 และ 0.095 ± 0.030 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นเริ่มวัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ที่เวลา 18.00 นาฬิกา โดยอัตราการหายใจของสาหร่ายที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00, 4.00 นาฬิกา และ 6.00 นาฬิกา ของวันถัดไป มีค่าดังนี้ 0.079 ± 0.022 , 0.233 ± 0.071 , 0.179 ± 0.034 , 0.125 ± 0.053 , 0.096 ± 0.070 และ 0.046 ± 0.008 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นเริ่มวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของสาหร่ายได้อีกครั้งที่เวลา 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา โดยมีค่า 0.106 ± 0.021 , 0.355 ± 0.059 และ 0.722 ± 0.090 มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ นนาฬิกา (ภาพที่ 4.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

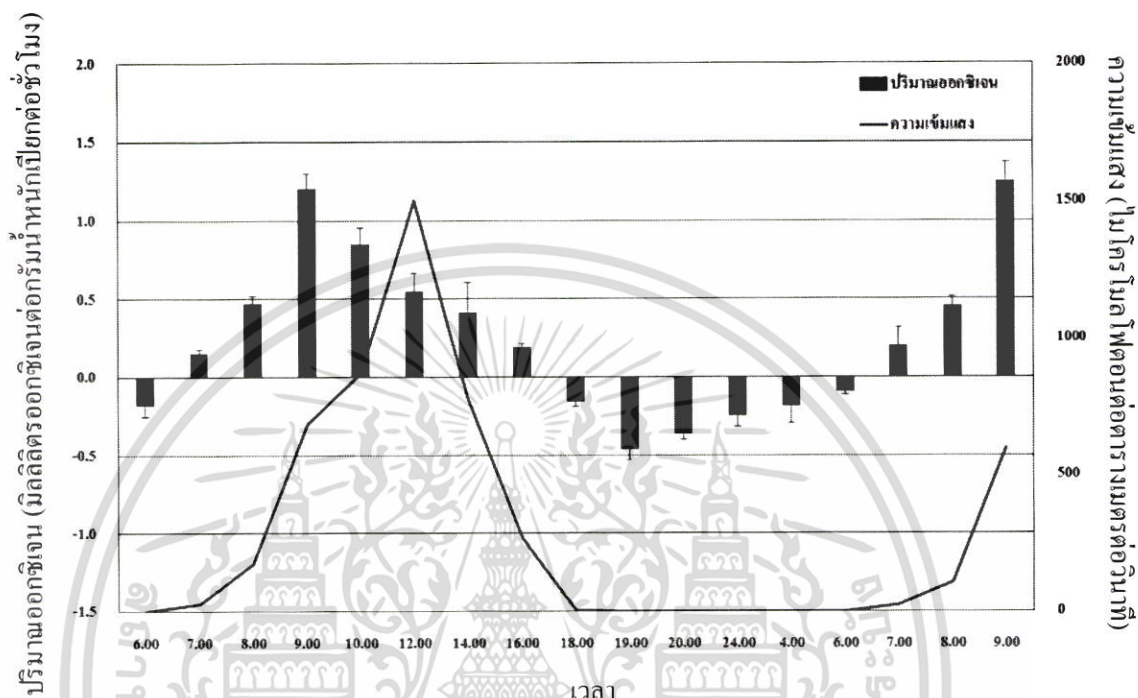


ภาพที่ 4.10 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูฝน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

สำหรับฤดูหนาวพบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักราชสาหร่าย ที่เวลา 6.00 นาฬิกา ซึ่งมีความเข้มแสงเท่ากับ 0.0 ± 0.000 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที วัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ 0.177 ± 0.076 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักราชต่อชั่วโมง จากนั้นที่เวลา 7.00 นาฬิกา เริ่มวัดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของสาหร่ายได้ และมีค่าสูงขึ้นที่เวลา 8.00 และ 9.00 นาฬิกา ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.152 ± 0.025 , 0.467 ± 0.050 , และ 1.205 ± 0.097 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักราชต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งที่เวลา 9 นาฬิกา วัดค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 683.3 ± 163.048 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นลดลงที่เวลา 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.845 ± 0.110 , 0.546 ± 0.119 , 0.409 ± 0.193 และ 0.187 ± 0.029 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักราชต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นเริ่มวัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ที่เวลา 18.00 นาฬิกา โดยค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00 4.00 นาฬิกา และ 6.00 นาฬิกาของวันถัดไป มีค่าเท่ากับ 0.159 ± 0.033 , 0.461 ± 0.069 , 0.361 ± 0.041 , 0.247 ± 0.073 , 0.185 ± 0.113 และ 0.095 ± 0.019 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักราชต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นสาหร่ายแสดงค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงขึ้นตามลำดับที่เวลา 7.00, 8.00 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

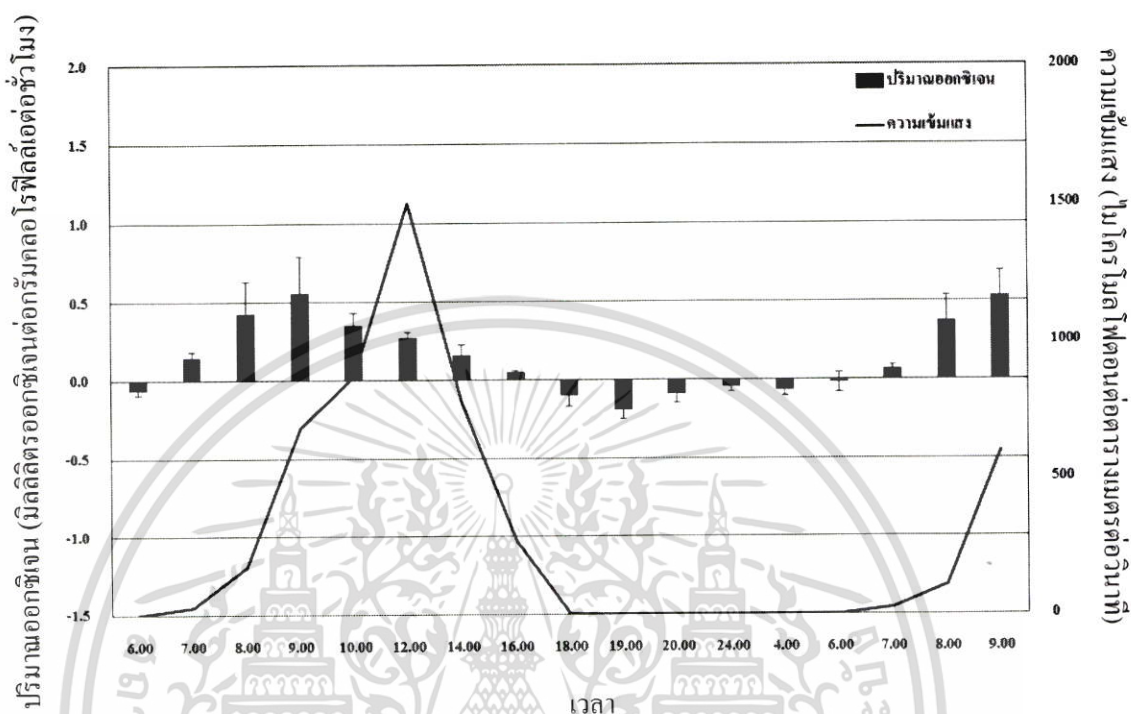
9.00 นาฬิกา โดยมีค่าเท่ากับ 0.202 ± 0.116 , 0.451 ± 0.059 และ 1.246 ± 0.125 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง และพบค่าความเข้มแสงที่เวลา 9 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 596.4 ± 50.173 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูหนาว ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลต่อปริมาณน้ำหนักเปียก แต่พบมีค่าน้อยกว่าเมื่อคำนวณด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยที่เวลา 6.00 นาฬิกา วัดค่าอัตราการหายใจได้เท่ากับ 0.062 ± 0.029 จากนั้นเริ่มวัดค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ที่เวลา 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.148 ± 0.037 , 0.424 ± 0.206 , 0.555 ± 0.231 , 0.351 ± 0.080 , 0.270 ± 0.038 , 0.154 ± 0.071 และ 0.050 ± 0.007 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ ที่เวลา 18.00 นาฬิกา เริ่มวัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ โดยมีค่าอัตราการหายใจที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00, 4.00 นาฬิกา และ 6.00 นาฬิกา ของวันถัดไป เท่ากับ 0.096 ± 0.072 , 0.191 ± 0.055 , 0.088 ± 0.059 , 0.042 ± 0.033 , 0.065 ± 0.040 และ 0.017 ± 0.063 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นวัดค่าอัตราการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

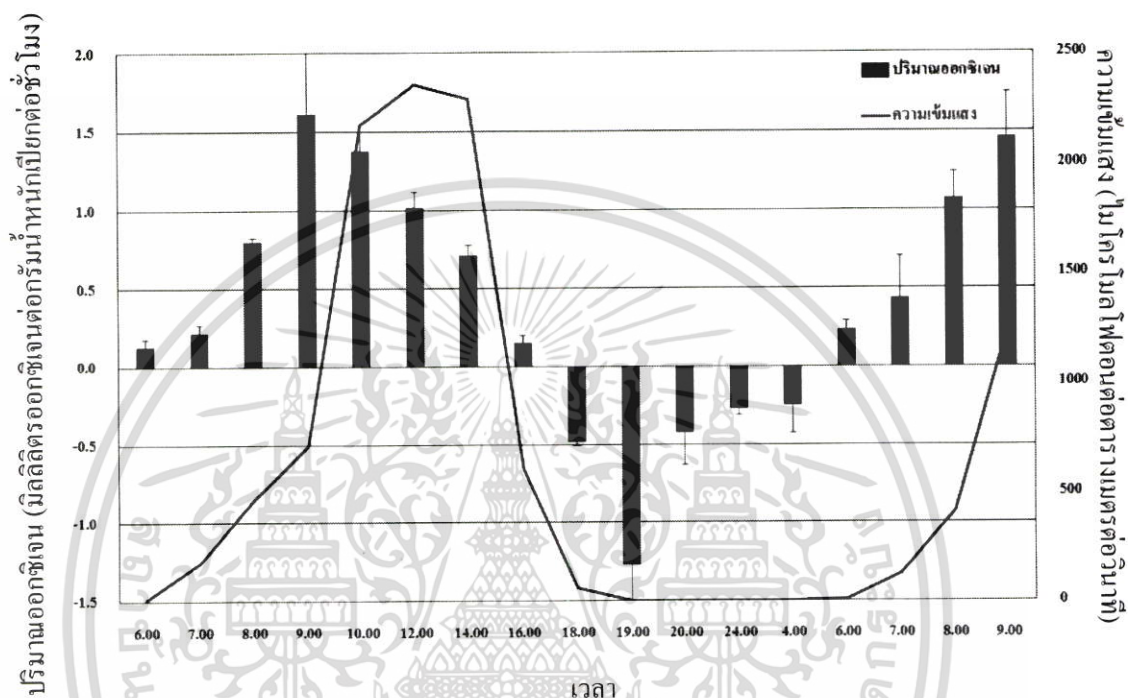
สังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิได้ที่เวลา 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.067 ± 0.025 , 0.374 ± 0.162 และ 0.527 ± 0.164 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10)



ภาพที่ 4.12 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูหนาว ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

สำหรับฤดูร้อนพบว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกสาหร่าย สาหร่ายแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิตั้งแต่ที่เวลา 6.00 นาฬิกา ซึ่งวัดค่าความเข้มแสงได้เท่ากับ 7.0 ± 1.833 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที โดยมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเท่ากับ 0.130 ± 0.046 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง จากนั้นค่อยๆเพิ่มขึ้นที่เวลา 7.00, 8.00 และสูงสุดที่เวลา 9.00 นาฬิกา ตามลำดับ โดยมีค่าดังนี้ 0.215 ± 0.056 , 0.801 ± 0.026 , และ 1.611 ± 0.407 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งที่เวลา 9 นาฬิกา มีค่าความเข้มแสงเท่ากับ 709.6 ± 76.149 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที จากนั้นลดลงที่เวลา 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1.378 ± 0.123 , 1.013 ± 0.104 , 0.705 ± 0.069 และ 0.151 ± 0.050 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ เริ่มวัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ที่เวลา 18.00 นาฬิกา โดยค่าการหายใจที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00 4.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.483 ± 0.026 ,

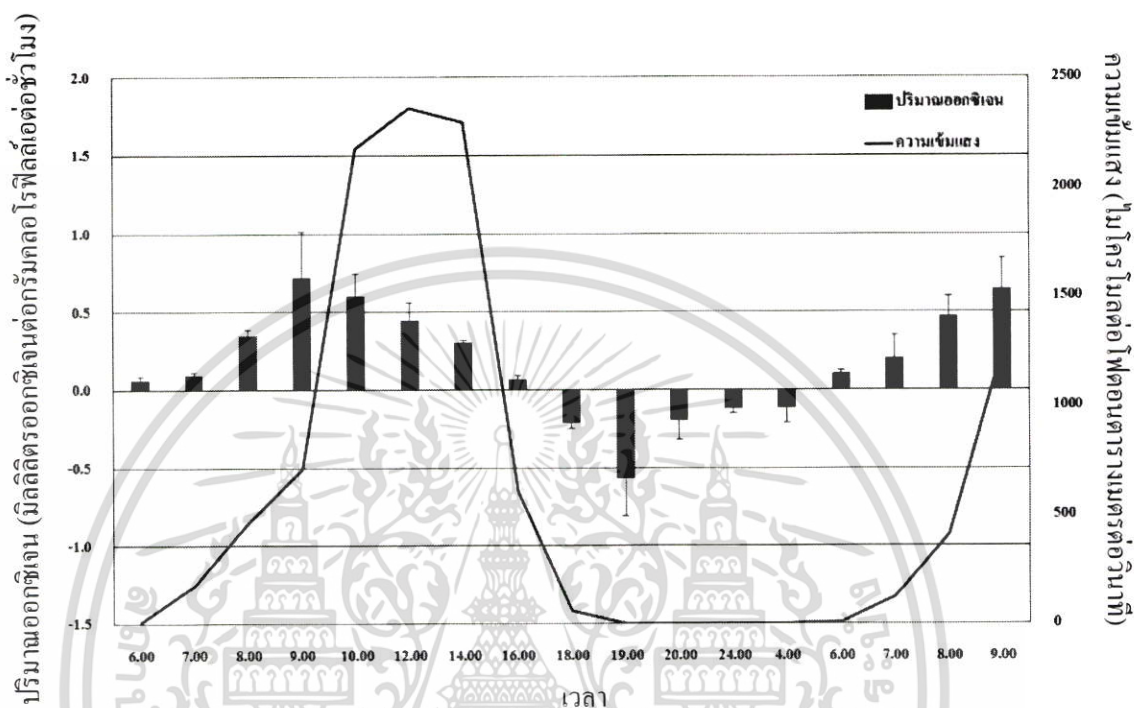
1.270±0.346, 0.424±0.206, 0.270±0.044 และ 0.246±0.182 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นที่เวลา 6.00, 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา สำหรับย้อมี้อตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเท่ากับ 0.234±0.056, 0.431±0.269, 1.070±0.170 และ 1.457±0.293 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกสำหรับต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูร้อน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่ายพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่ายเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลต่อปริมาณน้ำหนักเปียก แต่พบมีค่าน้อยกว่าเมื่อคำนวณด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย โดยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เวลา 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 12.00, 14.00 และ 16.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.058±0.030, 0.092±0.020, 0.345±0.043, 0.715±0.300, 0.601±0.145, 0.443±0.117, 0.302±0.016 และ 0.066±0.027 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นเริ่มวัดค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายได้ที่เวลา 18.00 นาฬิกา โดยค่าอัตราการหายใจของสาหร่ายที่เวลา 18.00, 19.00, 20.00, 24.00, 4.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.209±0.039, 0.565±0.248, 0.192±0.125, 0.117±0.032 และ 0.113±0.097 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

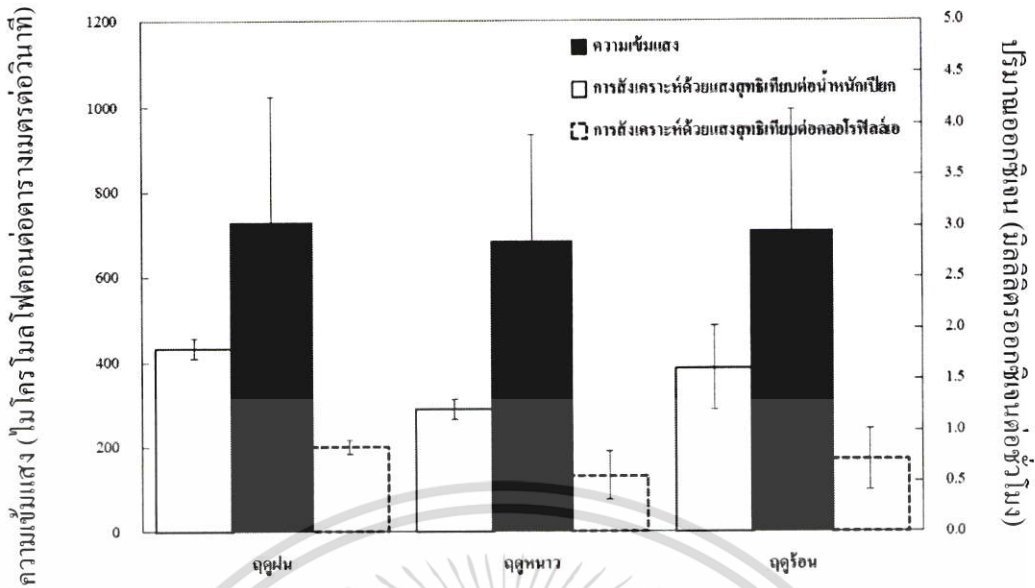
เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ และสาหร่ายเริ่มมีการสังเคราะห์ด้วยแสงอีกครั้งที่เวลา 6.00, 7.00, 8.00 และ 9.00 นาฬิกา โดยมีค่า 0.100 ± 0.022 , 0.199 ± 0.154 , 0.467 ± 0.129 และ 0.639 ± 0.203 มิลลิลิตร ออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย และค่าความเข้มแสงในรอบวัน ในฤดูร้อน ที่ความเค็ม 20 พีพีที (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

จากผลการศึกษาพบว่าในทุกฤดูกาลสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่เวลา 9 นาฬิกา โดยค่าความเข้มแสงในฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ 730.7 ± 294.275 , 683.7 ± 251.71 และ 709.7 ± 284.739 ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ เห็นได้ว่าความเข้มแสงที่เวลา 9 นาฬิกาของทั้งสามฤดูกาลมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แต่พบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงในฤดูหนาวมีค่าน้อยกว่าในฤดูฝนและฤดูร้อนอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากอุณหภูมิที่มีค่าต่ำในฤดูหนาวส่งผลให้สาหร่ายเกิดภาวะ photoinhibition ได้สูงขึ้น (ภาพที่ 4.15) ดังนั้นหากมีการนำสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. มาเลี้ยงในช่วงฤดูหนาวควรป้องกันหรือหลีกเลี่ยงไม่ให้สาหร่ายได้รับความเข้มแสงที่สูงเพราะจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ความเข้มแสงและอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนั้เปียก และปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย ที่เวลา 9 นาฬิกา (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ตารางที่ 4.7 เมื่อนำค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่เกิดขึ้นในรอบวันมาเปรียบเทียบกันในแต่ละฤดูกาล พบว่าเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนั้เปียกของสาหร่ายมีค่าสูงสุดใ้ฤดูฝน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.023 ± 0.626 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนั้เปียกต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติทั้งสามฤดูกาล พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิในฤดูฝนกับฤดูร้อน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิในฤดูฝนมีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิในฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนั้เปียกของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายมีค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจสูงสุดใ้ฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ 0.539 ± 0.424 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนั้เปียกต่อชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับใ้ฤดูฝน และฤดูหนาว ($p < 0.05$) สำหรับค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่าสาหร่ายมีค่าเฉลี่ยของอัตราการงั้เคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดใ้ฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 0.381 ± 0.255 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติแล้วพบว่าทั้งสามฤดูกาลมีค่าเฉลี่ยการงั้เคราะห์ด้วยแสงไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) ส่วนอัตราการหายใจเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่ามีสาหร่ายมีค่าเฉลี่ยของอัตราหายใจสูงสุดใ้ฤดูร้อนเช่นกัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.239 ± 0.207 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง และพบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าเฉลี่ยอัตราการหายใจใ้ฤดูฝนและฤดูหนาว ($p < 0.05$) สำหรับค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงพบว่าฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยในรอบวันสูงที่สุด โดยมีเท่ากับ 625.3 ± 830.8 ไมโครโมลโฟตอนต่อตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องใช้เอกสารฉบับนี้ กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตรต่อวินาที ส่วนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศมีค่าสูงสุดในฤดูร้อน โดยมีค่าเท่ากับ 33.7 ± 2.951 และ 32.1 ± 3.514 องศาเซลเซียส ตามลำดับ รองลงมาคือฤดูฝน และต่ำสุดคือฤดูหนาว ซึ่งค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำและอุณหภูมิอากาศในรอบวันของทั้งสามฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยปัจจัยความเข้มแสง อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิอากาศ ค่าเฉลี่ยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ที่ความเต็ม 20 ฟิฟตี ในรอบวันในฤดูกาลที่ต่างกัน

พารามิเตอร์	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
การสังเคราะห์ด้วยแสงต่อหน้าหนักเปียก			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมหน้าหนักเปียกต่อชั่วโมง)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	1.023 ± 0.642^a	0.571 ± 0.396^b	0.766 ± 0.545^{ab}
ค่าสูงสุดในรอบวัน	1.805	1.246	1.611
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	0.176	0.152	0.130
การหายใจต่อหน้าหนักเปียก			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมหน้าหนักเปียกต่อชั่วโมง)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	0.296 ± 0.254^b	0.241 ± 0.134^b	0.539 ± 0.424^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	0.727	0.461	1.270
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	0.015	0.095	0.246
การสังเคราะห์ด้วยแสงต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	0.381 ± 0.255^a	0.292 ± 0.206^a	0.336 ± 0.255^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	0.555	0.622	0.715
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	0.050	0.077	0.020
การหายใจต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	0.114 ± 0.073^b	0.079 ± 0.063^b	0.239 ± 0.207^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	0.191	0.233	0.565
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	0.017	0.046	0.113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.7 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
ความเข้มแสง			
(ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	351.9±587.7 ^{ab}	296.0±445.7 ^b	625.3±830.8 ^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	2345.0	1500.0	2360.0
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	0.0	0.0	0.0
อุณหภูมิน้ำ (องศาเซลเซียส)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	30.8±1.937 ^b	26.1±2.201 ^c	33.7±2.951 ^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	33.2	30.2	39.7
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	29.1	23.7	30.4
อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)			
ค่าเฉลี่ยในรอบวัน	28.8±2.275 ^b	24.12±5.088 ^c	32.1±3.514 ^a
ค่าสูงสุดในรอบวัน	33.3	34.0	38.0
ค่าต่ำสุดในรอบวัน	26.4	18.4	27.8

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อคำนวณค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. จากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นในรอบวันของแต่ละฤดูกาล พบว่าผลเมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียก สาหร่ายมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อวันสูงในฤดูฝนและฤดูร้อน โดยทั้งสองฤดูกาลมีค่าสูงกว่าในฤดูหนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าอัตราการหายใจต่อวันเมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียก รวมทั้งค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันเมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของทั้งสามฤดูกาลไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากผลการศึกษาแม้จะไม่พบค่าความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าในฤดูฝนและฤดูร้อนสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อวันสูงกว่าในฤดูหนาว ส่วนอัตราการหายใจพบว่าในฤดูร้อนมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนและฤดูหนาวตามลำดับ และเมื่อสังเกตจากค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันกับอัตราการหายใจที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนในรอบวัน พบว่าในทุกฤดูกาลสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อวันสูงกว่าอัตราการหายใจต่อวัน โดยฤดูฝนสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่สูงและมีอัตราการหายใจที่ต่ำทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้ในช่วงเวลากลางวันและหลังจากถูกใช้ไปในช่วงเวลากลางคืนยังคงเหลืออยู่สูง สำหรับฤดูร้อนที่แม้ว่าจะมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงแต่ก็พบว่ามียค่าอัตราการหายใจที่สูงเช่นเดียวกัน ส่วนในฤดูหนาวแม้ว่าจะมียค่าอัตราการหายใจที่ต่ำแต่พบว่าอุณหภูมิที่ต่ำทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าต่ำไปด้วย แสดงให้เห็นว่าในฤดูฝนปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะคงเหลืออยู่ในระบบได้มากกว่าฤดูร้อนและฤดูหนาวตามลำดับ แม้ว่าปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะถูกใช้ไปแล้วจากกระบวนการหายใจก็ตาม (ตารางที่ 4.8) และค่าอัตราส่วนของน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่ายที่ใช้ทดลองในแต่ละฤดูกาล แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันของสาหร่าย

Chaetomorpha sp. ในแต่ละฤดูกาล (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
ผลเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกสาหร่ายต่อวัน)			
อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อวัน	6.777 \pm 0.453 ^a	3.642 \pm 0.464 ^b	5.863 \pm 0.543 ^a
อัตราการหายใจต่อวัน	1.549 \pm 0.479 ^a	1.380 \pm 0.297 ^a	2.328 \pm 0.664 ^a
ผลเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย			
(มิลลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอสาหร่ายต่อวัน)			
อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อวัน	2.519 \pm 0.455 ^a	1.853 \pm 0.410 ^a	2.559 \pm 0.646 ^a
อัตราการหายใจต่อวัน	0.695 \pm 0.238 ^a	0.436 \pm 0.022 ^a	1.035 \pm 0.467 ^a

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.9 อัตราส่วนของน้ำหนักเปียกต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอของสาหร่ายที่ใช้ทดลอง (\pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ฤดูกาล	อัตราส่วนน้ำหนักเปียกต่อคลอโรฟิลล์เอ
ฤดูฝน	0.203 \pm 0.058
ฤดูหนาว	0.186 \pm 0.029
ฤดูร้อน	0.151 \pm 0.028

จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันในทุกฤดูกาล จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงเวลาเช้า และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 9 นาฬิกา จากนั้นอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิค่อยๆ ลดลงในช่วงบ่ายจนถึงเวลาเย็น กลายเป็นค่าอัตราการหายใจเพียงอย่างเดียวในช่วงเวลากลางคืน ซึ่ง เจษฎา เหลืองแจ่ม และจตุพร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มังกลารัตน์ (2552) ได้รายงานไว้ว่า โดยทั่วไปการสังเคราะห์ด้วยแสงในรอบวันจะมีค่าต่ำในช่วงเช้าตรู่ เนื่องจากความเข้มแสงและอุณหภูมิยังมีค่าต่ำ และการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดในเวลา ก่อนเที่ยงวัน อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงในตอนเที่ยง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปทำให้มีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะมีค่าลดลงในช่วงบ่ายจนถึงช่วงเย็น และจากผลการศึกษาพบว่าที่เวลา 19.00 นาฬิกา สำหรับรายแสงค่าอัตราการหายใจที่สูงกว่าในช่วงเวลาอื่น อาจเป็นผลมาจากที่เวลา 19.00 นาฬิกา เป็นช่วงเวลาเริ่มต้นที่เข้าสู่ช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงสว่าง อัตราการหายใจที่เกิดขึ้นจึงไม่มีผลจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้ามาบดบัง อีกทั้งการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันที่มีแสง ทำให้สำหรับมีการสะสมของแป้ง น้ำตาล รวมถึงก๊าซออกซิเจนที่เป็นสารตั้งต้นของกระบวนการหายใจ (Sunakorn and Kasemsap, 2010) สำหรับจึงสามารถนำอาหารสะสมเหล่านี้มาใช้ในกระบวนการหายใจได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งระดับของอุณหภูมิน้ำที่มีค่าสูงกว่าในช่วงเวลาอื่นของช่วงกลางคืน เป็นผลทำให้อัตราการหายใจในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลาอื่น

และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย พบว่าสาหร่ายมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดในฤดูฝน รองลงมาคือฤดูร้อน แต่เมื่อเปรียบเทียบกันทางสถิติแล้วพบว่าทั้งสองฤดูกาลมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) สำหรับค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่าทุกฤดูกาลไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ ($p \geq 0.05$) รวมถึงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละฤดูกาล ($p \geq 0.05$) แต่พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีค่าสูงในฤดูฝนและฤดูร้อน ส่วนในฤดูหนาวพบว่ามีค่าที่ต่ำ เป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เหมาะสมในฤดูร้อนและฤดูฝนทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้ดีกว่าอุณหภูมิที่ต่ำในฤดูหนาว

ค่าเฉลี่ยของอัตราการหายใจของสาหร่ายเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกและคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย พบว่าในฤดูร้อนสาหร่ายมีอัตราการหายใจสูงกว่าในฤดูฝนและฤดูหนาว เช่นเดียวกับผลของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและอัตราการหายใจต่อวันที่ในฤดูร้อนมีค่าสูงที่สุด เป็นผลจากอิทธิพลของอุณหภูมิ เนื่องจากระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า มีผลให้อัตราการหายใจของสาหร่ายมีค่าลดลง (ดวงรัตน์ ศตคุณ. 2541 ; สังคม เศรษฐกิจเสถียร. 2547)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในห้องปฏิบัติการภายใต้การควบคุมปัจจัยความเค็มและอุณหภูมิ พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยความเค็มและอุณหภูมิต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับน้ำหนักเปียกสาหร่าย แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมกันต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอ อัตราการหายใจทั้งต่อปริมาณน้ำหนักเปียกและปริมาณคลอโรฟิลล์เอ โดยพบว่าผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอเป็นผลที่มีความน่าเชื่อถือเนื่องจากเป็นแรงควัตถุที่สำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยตรง พบว่าสาหร่ายมีค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.149 ± 0.020 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง และที่ความเค็ม 20 พีพีที มีค่าเท่ากับ 0.163 ± 0.014 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง สำหรับการหายใจนั้นพบว่าทุกระดับอุณหภูมิและความเค็มมีค่าต่างกันเล็กน้อย โดยพบมีอัตราการหายใจสูงที่อุณหภูมิ 30 และ 35 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.047 ± 0.009 และ 0.045 ± 0.008 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ และที่ระดับความเค็ม 20 พีพีที มีค่าเท่ากับ 0.055 ± 0.005 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง

การศึกษาภายใต้แสงและอุณหภูมิธรรมชาติในรอบวัน พบว่าในทุกฤดูกาลสาหร่ายมีการสังเคราะห์ด้วยแสงค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาเช้าและสูงสุดที่เวลา 9 นาฬิกา จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลาเที่ยงและต่อเนื่องตลอดช่วงบ่ายจนถึงช่วงเย็น จนกลายเป็นค่าอัตราการหายใจในช่วงเวลาตั้งแต่ 18 นาฬิกา โดยอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเฉลี่ยในรอบวันของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ในฤดูฝนและฤดูร้อน มีค่าเท่ากับ 0.381 ± 0.255 และ 0.336 ± 0.255 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิในรอบวันในฤดูหนาว มีค่าเท่ากับ 0.292 ± 0.206 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง สำหรับอัตราการหายใจพบว่าในฤดูร้อนมีค่าเท่ากับ 0.239 ± 0.207 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าในฤดูฝนและฤดูหนาวที่มีค่าเท่ากับ 0.114 ± 0.073 และ 0.079 ± 0.046 มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง ตามลำดับ

จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงระดับของอุณหภูมิและความเค็มที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. โดยพบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีในช่วงอุณหภูมิของประเทศไทย และช่วงความเค็มที่อยู่ในเขตน้ำกร่อย ซึ่งสาหร่ายชนิดนี้ยังสามารถเกิดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ในช่วงอุณหภูมิและความเค็มที่ครอบคลุมระดับอุณหภูมิและความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงกุ้งทะเล และเกษตรกรผู้เลี้ยงไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบหรือระบบการเลี้ยงจากเดิมหากมีสาหร่ายชนิดนี้อยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเพื่อทราบถึงข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเกี่ยวกับสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต การนำสาหร่ายชนิดนี้ไปใช้ร่วมกับระบบการเลี้ยงกุ้งทะเล จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยข้องอีกหลายปัจจัย เนื่องจากยังมีปัจจัยและอิทธิพลอื่นๆที่ควรคำนึงถึง อาทิเช่น ขนาดของบ่อเลี้ยง ปริมาณสาหร่ายที่เหมาะสม ความหนาแน่นของสัตว์น้ำ รวมไปถึงจนถึงช่วงอายุของสัตว์น้ำที่เลี้ยงร่วมกันในบ่อเลี้ยง ซึ่งในอนาคตอาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและนำไปศึกษาในสภาพบ่อเลี้ยงจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กนกวรรณ เสรีภาพ. 2551. “การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis).” กรุงเทพฯ : ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. เอกสารอัดสำเนา.
- กัญญกาญจน์ พูนศิริ และกัลยา กองเงิน. 2557. “อิทธิพลของความเข้มแสงต่อสรีรวิทยาบางประการและการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในใบข้าวเหนียวดำ.” ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จริยวดี สุริยพันธุ์. 2551. “การศึกษาสัณฐานพื้นดิน แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตอิงอาศัยในการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) ร่วมกับสาหร่ายไส้ไก่ (*Ulva intestinalis* Linnaeus).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาชีววิทยาประมง บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน.
- จิรัชย์ เจนพานิชย์. 2552. **ชีววิทยาสำหรับนักเรียนมัธยมปลาย.** กรุงเทพฯ: บลูมกัลเลอร์ไลน์.
- เจษฎา เหลืองแจ่ม และจตุพล มังคลารัตน์. 2552. “การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้สักในแปลงทดลองจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย.” **รายงานผลงานวิจัยประจำปี พ.ศ. 2552. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.**
- ดวงรัตน์ สดคุณ. 2541. “อิทธิพลของแสง อายุ และตำแหน่งใบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบฝ้าย.” วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทวีพร แก้วเนรมิตร และนุชนาด วุฒิประดิษฐกุล. 2557. “ผลของภาวะเค็มต่อการเจริญเติบโตและรงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงในข้าวทรานสเจนิกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีการแสดงออกของยีน OsCaM1-1 เกินปกติ.” **Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University. 5:**11-18.
- ธราทิพย์ สอนสุด พัทรี บุญกอแก้ว พูนพิภพ เกษมทรัพย์ และประเดิม วณิชชนานันท์. 2557. “อิทธิพลความเค็มของน้ำจากเกลือสมุทรต่อการเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของกล้าวยไม้สกุลหวายพันธุ์เอี้ยสกุล.” ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**
- พนิดา ชูติมานุกุล อัญชลี ใจดี ชีรพงษ์ บัวบุชา มีชัย เชียงหลิว ชีรยุทธ สุจินดา สุขชัย ชัชวาล และบุญธิดา โหมจิตทรัพย์. 2013. “ผลของภาวะความเค็มต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตในข้าวสายพันธุ์ทนเค็มได้จากประชากร CSSL.” หน้า 276-279. ใน **การประชุมวิชาการพันธุศาสตร์แห่งชาติ ครั้งที่ 18. กรุงเทพฯ : โรงแรมแอมบาสเดอร์ สุขุมวิท.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศิริลักษณ์ อ่อนน้อม. 2550. “ผลของหลังคาพลาสติกต่ออัตราแลกเปลี่ยนแก๊สของใบ การติดผล คุณภาพและการเกิดโรคของผลของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิชาพฤกษศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 2550. **คำแนะนำการปฏิบัติที่ดีสำหรับการเลี้ยงกุ้งขาว (*Litopenaeus vannamei*) แบบพัฒนา.** กรุงเทพฯ. ฝ่ายเผยแพร่สำนักพัฒนาและถ่ายทอด เทคโนโลยีการประมง.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเล. ม.ป.ท. **การเลี้ยงกุ้งกุลาดำ ระบบบำบัดหมุนเวียน ด้วยวิธีชีวภาพ.** กรุงเทพฯ. ฝ่ายเผยแพร่กองส่งเสริมการประมง.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2547. “ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช.” ขอนแก่น: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. เอกสารอัดสำเนา.
- สุปรีชา กลิ่นบุญ และ นบสร วันชาญเวช. 2010. “ญี่ปุ่นวิจัยใช้คีโตมอร์ฟาลีเลี้ยงกุ้งกุลาดำ *Chaetomorpha ligustica*.” **Aqua Biz.** 37: 46-49.
- อรรถพล ศรีประดิษฐ์. 2555. “การศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สถานีวัด 4 แห่ง ในภูมิภาคหลักของประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- อิซาโอะ ชูซุอิ คาโอรุ ฮามาโน คุสิด เอื้ออำนวย จารุวรรณ สงพัฒน์แก้ว ประพันธ์ศักดิ์ ศรีษะภูมิ สุนิรัตน์ เรื่องสมบูรณ์ สิริมาศ กลมกลิ้ง มณฑล แก่นมณี ปวีณา ทวีกิจการ และ ยูกิโอะ มาเอโนะ. 2012. **คู่มือแนะนำพืชทะเลที่พบได้ในประเทศไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. อิบารากิ. ศูนย์วิจัย วิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติแห่งประเทศไทยญี่ปุ่น.
- Abe, M., Yokota, K., Kurashima, A. and Meagawa, M. 2009. “High water temperature tolerance in photosynthetic activity of *Zostera japonica* Ascherson & Graebner seedlings from Ago Bay, Mie Prefecture, central Japan.” **Fisheries Science.** 75: 1117-1123.
- Algaebase. 2015. “**Taxonomy Browser.**” [Online]. Available: www.algaebase.org.
- Beer, S. and Björk, M. 2000. “Measuring rates of photosynthesis of two tropical seagrasses by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry.” **Aquatic botany.** 66: 69-76.
- Borlongan, I. A. G., Gerung, G. S., Nishihara, G. N. and Terada, R. 2017. “Light and temperature effects on photosynthetic activity of *Euclima denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* (brown and green color morphotypes) from Sulawesi Utara, Indonesia.” **Phycological Research.** 65: 69-79.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Carvalho, M.C.de., Hayashizaki, K. and Ogawa, H. 2010. "Effect of pH on the carbon stable isotope fractionation in photosynthesis by the kelp *Undaria pinnatifida*." **Coastal Marine Science**. 34: 135-139.
- Chaloub, R. M., Reinert, F., Nassar, C. A. G., Fleury, B. G., Mantuana, D. G. and Larkum, A. W. D. 2010. "Photosynthetic properties of three Brazilian seaweeds." **Revista Brasileira de Botânica**. 33: 371-374.
- Cheshire, A.C., Westphalen, G., Wenden, A., Scriven L. J. and Rowland, B.C. 1996. "Photosynthesis and respiration of phaeophycean-dominated macroalgal communities in summer and winter." **Aquatic Botany**. 55: 159-170.
- Chinnadurai, S., Kalyanasundaram, G., Chermampandi, P., Annadurai H. and Perumal, A. 2013. "Estimation of major pigment content in seaweeds collected from Pondicherry coast." **International Journal of Science and Technology**. 9(1): 522-525.
- Dawes, C. J., Orduna-Rojas, J. and Robledo, D. 1999. "Response of the tropical red seaweed *Gracilaria cornea* to temperature, salinity and irradiance." **Journal of Applied Phycology**. 10: 419-425.
- Deng, Y., Tang, X. and Huang, B. 2012. "Effect of temperature and irradiance on the growth and reproduction of the green macroalga, *Chaetomorpha valida* (Cladophoraceae, Chlorophyta)." **Journal of Applied Phycology**. 24: 927-933.
- Durako, M. and Kunzelman, J. I. 2002. "Photosynthetic characteristics of *Thalassia tesudinum* measured in situ by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry: methodological and scale-based considerations." **Aquatic botany**. 73: 173-185.
- Figuroa, F. L., Israel, A., Neori, A., Martínez, B., Malta, E., Put, A. J., Inken, S., Marquardt, R. and Korbee, N. 2009. "Effects of nutrient supply on photosynthesis and pigmentation in *Ulva lactuca* (Chlorophyta): responses to short-term stress." **Aquatic biology**. 7: 173-183.
- Gao, K. and Umezaki, I. 1989. "Comparative studies of photosynthesis in different parts of *Sargassum thunbergii*." **Japanese Journal of Phycology**. 37: 7-16.
- Holding, D. R. and Streich, A. M. 2013. **Plant growth processes: transpiration, photosynthesis and respiration**. Omaha: University of Nebraska-Lincoln.
- Imai, M., Katayama, N. and Yamaguchi, Y. 1997. "Effect of salinity on growth, photosynthesis and respiration in freshwater alga *Rhizoclonium riparium* (Chlorophyceae, Cladophorales)." **Phycological Research**. 45: 233-237.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jayasankar, R. 2005. "Effect of salinity on physiology of *Gracilaria* spp. (Gigartinales, Rhodophyta)." **Seaweed Research Utiln.** 27: 19-24.
- Kaiser, J. M., Attrill, J. M. 2011. **Marine Ecology Processes, System, and Impact.** New York. Oxford university.
- Katayama, N., Tokunaga, Y. and Yokohama, Y. 1985. "Effect of growth temperature on photosynthesis-temperature relationships of tide pool alga *Cladophora rudophiana*." **Japanese Society of Phycology.** 33: 312-316.
- Kurashima, A., Serisawa, Y., Kanbayashi, T., Toma, T. and Yokonama, Y. 2003. "Characteristics in photosynthesis of *Caulerpa lentillifera* J. Agardh and *C. racemosa* (Forsskal) J. Agardh var. *laete-virens* (Montagne) Weber-van Bosse with reference to temperature and light intensity." **Japanese Society of Phycology.** 51: 167-172.
- Lewin, J. 1966. "Silicon metabolism in diatom. V. Germanium dioxide, a specific inhibitor of diatom growth." **Phycologia.** 6: 1-12.
- Lideman, Nishihara, N. G., Nora, T. and Terada, R. 2012. "Effect of temperature and light on the photosynthesis as measured by chlorophyll fluorescence of cultured *Eucheuma denticulatum* and *Kappaphycus* sp. (Sumba strain) from Indonesia." **Journal of Applied Phycology.** 25: 399-406.
- Matsuyama-Serisawa, K., Serisawa, Y. and Tanaka, J. 2004. "Growth maturation and photosynthesis of the brackish water alga *Rhizoclonium* sp. (Cladophoraceae, Chlorophyta) in relation to salinity." **Phycological Research.** 52: 204-210.
- McGlathery, K. J., Krause-Jensen, D., Rysgaard, S. and Christensen, P. B. 1997. "Patterns of ammonium uptake within dense mats of the filamentous macroalga *Chaetomorpha linum*." **Aquatic Botany.** 59: 99-115.
- Mercado, J. M., Javier, F., Gordillo, L., Niell, F. X. and Figueroa, F. L. 1999. "Effects of different levels of CO₂ on photosynthesis and component of the red alga *Porphyra leucosticte*." **Journal of the Applied Phycology.** 11: 455-461.
- Murakami, H., Serisawa, Y., Kurashima, A. and Yokohama, Y. 2004. "Photosynthetic performances of temperate *Sargassum* and Kelp species growing in the same habitat." **Algae Research.** 19(3): 207-216.

- Murase, N., Maegawa, M and Kida, W. 1989. "Photosynthetic characteristics of several species of Rhodophyceae from different depths in the coastal area of Shima Peninsula, central Japan." **Japanese Journal of Phycology**. 37: 213-220.
- Murase, N., Meagawa, M., Matsui, T. and Ohgai, M. 1993. "Growth and photosynthesis temperature characteristics of the sterile *Ulva pertusa*." **Nippon Suisan Gakkaishi**. 60: 625-630.
- Provasoli, L. 1966. "Media and prospects for the cultivation of marine algae. 63-75. in the US-Japan Conference. **Japanese Society of Plant Physiologists**. Tokyo.
- Sakanishi, Y., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1988. "Photosynthesis measurement of blade segments of brown algae *Ecklonia cava* Kjellman and *Eisenia bicyclis* Setchell." **Japanese Journal of Phycology**. 36: 24-28.
- Serisawa, K. M., Serisawa, Y. and Tanaka, T. 2004. "Growth, maturation and photosynthesis of the brackish water alga *Rhizoclonium* sp. (Cladophoraceae, Chlorophyta) in relation to salinity." **Phycological Research**. 52: 204-210.
- Serisawa, Y., Yokohama, Y., Aruga, Y. and Tanaka, J. 2001. "Photosynthesis and respiration in bladelets of *Ecklonia cava* Kjellman (Laminariales, Phaeophyta) in two localities with different temperature condition." **Phycological Research**. 49: 1-11.
- Shameel, M. 1980. "Influence of salinity on the rates of photosynthesis and respiration in *Ulva indica* Anand." **Pakistan Journal of Botany**. 12(1): 77-80.
- Sunakorn, P. and Kasemsap, P. 2010. "CO₂ Uptake performance of climbing plant wall." **Journal of Architectural Research and Studies**. 7(2): 173-187.
- Terada, R., Vo, T. D. and Nishihara, G. N. 2016. "The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis and growth of a cultivated red alga *Kappaphycus alvarezii* (Solieriaceae) from Vietnam, based on in situ and in vitro measurements." **Journal of Applied Phycology**. 28: 457-467.
- Tsuchiya, Y., Nishihara, G. N. and Terada, R. 2012. "Photosynthetic and temperature characteristics of five *Sargassum* species (Fucales), *S. piluliferum*, *S. patens*, *S. fusiforme*, *S. cripifolium*, and *S. alternato-pinnatum* from Kagoshima, Japan, using dissolved oxygen sensor and pulse-amplitude-modulated (PAM) fluorometer." **Nippon Suisan Gakkaishi**. 78(2): 189-197.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Tsutsui, I., Miyoshi, T., Aue-umneoy, D., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Klomkling, S., Sukchai, H., Pinphoo, P., Yamaguchi, I., Ganmanee, M., Maeno, Y. and Hamano, K. 2015. "High tolerance of *Chaetomorpha* sp. to salinity and water temperature enables survival and growth in stagnant water of central Thailand." **International Aquatic Research**. 7: 47-62.
- Tsutsui, I., Miyoshi, T., Aue-umneoy, D., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Klomkling, S., Sukchai, H., Ganmanee, H., Maeno, Y. and Hamano, K. 2013. "Development of a co-culture system of giant tiger prawn with a filamentous seaweed, *Chaetomorpha* sp. For small-scale shrimp farmers: III. Euryhaline, eurythermal and high growth rate of *Chaetomorpha* sp." 238. in **21st International Seaweed Symposium**. Seaweed Science for Sustainable Prosperity. Indonesia, Bali.
- Tsutsui, T., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Aue-umneoy, D., Sukchai, H., Pinphoo, P., Klomkling, S., Ganmanee, M., Sudo, H. and Hamano, K. 2015. "Co-culture with *Chaetomorpha* sp. enhanced growth performance and reduced feed conversion ratio of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*." **International Aquatic Research**. 7: 193-199.
- Watanabe, Y., Nishihara, G. N. and Terada, R. 2013. "The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis of a red alga, *Pyropia tenera* (= *Porphyra tenera*) from a natural community in Kumamoto, Japan." **Japanese Society of Phycology**. 61: 141-148.
- Weather underground. 2017. "Monthly weather history." [Online]. Available: <http://wunderground.com>
- Wong, S. L. and Chang, J. 2000. "Salinity and light effects on growth photosynthesis and respiration of *Grateloupia filicina* (Rhodophyta)." **Aquaculture**. 182: 387-395.
- Xu, Y. and Lin, J. 2008. "Effect of temperature, salinity, and light intensity on the growth of the green macroalga, *Chaetomorpha linum*." **The world aquaculture society**. 39: 847-851.
- Yamochi, S. 2013. "Effects of desiccation and salinity on the outbreak of a green tide of *Ulva pertusa* in a created salt marsh along the coast Osaka Bay, Japan." **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 116: 21-28.
- Yokohama, Y. 1969. "Photosynthesis-Temperature relationships in several benthic marine algae." **Marine Biological**. 223: 286-291.
- Yokohama, Y. and Ichimura, S. 1969. "A New of differential Gas-volumeter for ecological studies on small aquatic organisms." **Oceanographical Society of Japan**. 25: 75-80.

Zou, D. and Gao, K. 2005. "Photosynthetic characteristics of the economic brown seaweed *Hizikia fusiforme* (Sargassaceae, Phaeophyta) with special reference to its leaf and receptacle." **Journal of Applied Phycology**. 17: 255-259.

Zou, D. and Gao, K. 2014. "The photosynthetic and respiratory responses to temperature and nitrogen supply in the marine green macroalga *Ulva conlobata* (Chlorophyta)." **Phycologia**. 53: 86-94.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสภาวะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกของสาหร่าย (มิลลิลิตรออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 6 ระดับ (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเค็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.263±0.021 ^c	-0.288±0.0161 ^f	-0.470±0.053 ^d	-0.475±0.020 ^c	-0.318±0.045 ^c	-0.331±0.071 ^c
25	0.273±0.030 ^d	0.385±0.066 ^e	0.520±0.122 ^c	0.572±0.060 ^d	0.435±0.042 ^d	0.355±0.048 ^d
50	0.423±0.019 ^c	0.465±0.033 ^{dc}	0.882±0.102 ^b	0.890±0.096 ^c	0.040±0.069 ^c	0.476±0.046 ^{cd}
100	0.524±0.063 ^c	0.561±0.060 ^{cd}	1.039±0.162 ^{ab}	1.177±0.085 ^b	0.755±0.133 ^{bc}	0.608±0.144 ^{bcd}
150	0.682±0.005 ^{ab}	0.850±0.028 ^a	1.349±0.022 ^a	1.431±0.085 ^a	1.024±0.062 ^a	0.899±0.043 ^a
200	0.791±0.074 ^a	0.042±1.170 ^{ab}	1.170±0.107 ^{ab}	1.221±0.074 ^b	0.914±0.046 ^{ab}	0.776±0.136 ^{ab}
250	0.688±0.063 ^{ab}	0.011±1.112 ^b	1.112±0.030 ^{ab}	1.058±0.034 ^{bc}	0.890±0.038 ^{ab}	0.705±0.106 ^{abc}
400	0.519±0.069 ^c	0.046±1.004 ^{bc}	1.004±0.206 ^{ab}	0.946±0.028 ^c	0.841±0.028 ^{ab}	0.704±0.161 ^{abc}
600	0.552±0.032 ^{bc}	0.017±0.926 ^{cd}	0.926±0.125 ^b	1.041±0.065 ^{bc}	0.802±0.068 ^{bc}	0.673±0.074 ^{abc}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางผนวกที่ 2 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสภาวะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกของสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมแห้งต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเต็ม 6 ระดับ (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเต็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.284 \pm 0.011 ^b	-0.314 \pm 0.019 ^b	-0.496 \pm 0.074 ^f	-0.481 \pm 0.034 ^b	-0.332 \pm 0.032 ^f	-0.340 \pm 0.035 ^f
25	0.320 \pm 0.015 ^f	0.471 \pm 0.025 ^f	0.623 \pm 0.044 ^c	0.656 \pm 0.039 ^f	0.583 \pm 0.019 ^c	0.483 \pm 0.145 ^c
50	0.491 \pm 0.035 ^c	0.591 \pm 0.008 ^c	0.893 \pm 0.066 ^d	0.967 \pm 0.079 ^c	0.789 \pm 0.049 ^d	0.671 \pm 0.127 ^{dc}
100	0.634 \pm 0.035 ^{cd}	0.782 \pm 0.028 ^{cd}	1.152 \pm 0.095 ^{bc}	1.288 \pm 0.057 ^{bc}	1.086 \pm 0.112 ^{bc}	0.932 \pm 0.049 ^{abc}
150	0.836 \pm 0.025 ^a	0.945 \pm 0.014 ^a	1.539 \pm 0.026 ^a	1.679 \pm 0.010 ^a	1.504 \pm 0.077 ^a	1.169 \pm 0.101 ^a
200	0.814 \pm 0.074 ^{ab}	0.885 \pm 0.005 ^{bc}	1.311 \pm 0.021 ^b	1.372 \pm 0.037 ^b	1.220 \pm 0.100 ^b	0.953 \pm 0.078 ^{ab}
250	0.701 \pm 0.013 ^{bc}	0.827 \pm 0.023 ^{bc}	1.220 \pm 0.078 ^{bc}	1.258 \pm 0.038 ^{bcd}	1.169 \pm 0.030 ^b	0.899 \pm 0.017 ^{bcd}
400	0.631 \pm 0.047 ^{cd}	0.763 \pm 0.036 ^d	1.102 \pm 0.094 ^c	1.163 \pm 0.040 ^{cd}	1.053 \pm 0.053 ^{bc}	0.787 \pm 0.066 ^{bcd}
600	0.563 \pm 0.042 ^{dc}	0.734 \pm 0.017 ^d	1.031 \pm 0.058 ^{cd}	1.118 \pm 0.091 ^d	0.915 \pm 0.011 ^{cd}	0.706 \pm 0.046 ^{cdc}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสถานะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณน้ำหนักรากเปียกของสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเค็ม 6 ระดับ (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเค็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.359±0.026 ^c	-0.366±0.005 ^f	-0.481±0.004 ^s	-0.498±0.074 ^c	-0.348±0.058 ^d	-0.360±0.012 ^g
25	0.289±0.011 ^d	0.401±0.037 ^c	0.546±0.067 ^f	0.654±0.024 ^d	0.434±0.057 ^c	0.391±0.030 ^f
50	0.485±0.059 ^c	0.532±0.044 ^d	0.873±0.066 ^c	0.925±0.126 ^c	0.684±0.093 ^{bc}	0.600±0.087 ^c
100	0.596±0.053 ^{bc}	0.733±0.122 ^{bc}	1.133±0.064 ^{bc}	1.167±0.102 ^{abc}	0.982±0.189 ^{abc}	0.847±0.077 ^{bc}
150	0.825±0.053 ^a	0.885±0.014 ^a	1.349±0.030 ^a	1.437±0.125 ^a	1.193±0.165 ^a	1.074±0.049 ^a
200	0.771±0.051 ^a	0.842±0.038 ^{ab}	1.205±0.087 ^{ab}	1.331±0.108 ^{ab}	1.102±0.247 ^a	0.888±0.041 ^b
250	0.696±0.064 ^{ab}	0.786±0.065 ^{abc}	1.066±0.034 ^{bcd}	1.160±0.129 ^{bc}	0.989±0.026 ^{abc}	0.824±0.078 ^{bcd}
400	0.628±0.050 ^b	0.698±0.031 ^{bc}	1.024±0.081 ^{cde}	1.051±0.022 ^c	0.923±0.075 ^{abc}	0.724±0.015 ^{cde}
600	0.566±0.023 ^{bc}	0.667±0.005 ^{cd}	0.927±0.055 ^{de}	1.047±0.062 ^c	0.865±0.145 ^{abc}	0.695±0.043 ^{dc}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสภาวะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมแห้ง) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเค็ม 6 ระดับ (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเค็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.029 \pm 0.002 ^f	-0.038 \pm 0.004 ^f	-0.048 \pm 0.002 ^f	-0.049 \pm 0.002 ^c	-0.045 \pm 0.010 ^f	-0.042 \pm 0.005 ^f
25	0.033 \pm 0.000 ^c	0.044 \pm 0.005 ^c	0.050 \pm 0.007 ^c	0.060 \pm 0.011 ^d	0.049 \pm 0.000 ^c	0.049 \pm 0.004 ^c
50	0.052 \pm 0.004 ^d	0.068 \pm 0.005 ^d	0.081 \pm 0.006 ^d	0.093 \pm 0.016 ^c	0.078 \pm 0.005 ^d	0.078 \pm 0.003 ^d
100	0.064 \pm 0.009 ^{cd}	0.088 \pm 0.012 ^{bcd}	0.105 \pm 0.011 ^{bc}	0.122 \pm 0.013 ^{abc}	0.103 \pm 0.003 ^{bc}	0.097 \pm 0.009 ^{bcd}
150	0.084 \pm 0.008 ^{ab}	0.111 \pm 0.009 ^a	0.138 \pm 0.005 ^a	0.149 \pm 0.009 ^a	0.136 \pm 0.012 ^a	0.124 \pm 0.005 ^a
200	0.091 \pm 0.003 ^a	0.105 \pm 0.012 ^{ab}	0.124 \pm 0.009 ^{ab}	0.133 \pm 0.008 ^{ab}	0.120 \pm 0.012 ^{ab}	0.114 \pm 0.014 ^{ab}
250	0.084 \pm 0.004 ^{ab}	0.097 \pm 0.010 ^{abc}	0.113 \pm 0.013 ^{bc}	0.125 \pm 0.005 ^{ab}	0.109 \pm 0.009 ^{bc}	0.103 \pm 0.005 ^{bc}
400	0.069 \pm 0.004 ^{bc}	0.089 \pm 0.003 ^{bcd}	0.102 \pm 0.009 ^{bcd}	0.114 \pm 0.010 ^{bc}	0.098 \pm 0.005 ^{bcd}	0.092 \pm 0.004 ^{cd}
600	0.066 \pm 0.008 ^{cd}	0.080 \pm 0.005 ^{cd}	0.097 \pm 0.006 ^{cd}	0.108 \pm 0.013 ^{bc}	0.088 \pm 0.009 ^{cd}	0.089 \pm 0.006 ^{cd}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสภาวะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (มิลลิกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเค็ม 6 ระดับ (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเค็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.037 \pm 0.002 ^f	-0.044 \pm 0.004 ^c	-0.051 \pm 0.015 ^f	-0.059 \pm 0.004 ^g	-0.046 \pm 0.004 ^g	-0.044 \pm 0.005 ^c
25	0.055 \pm 0.006 ^c	0.066 \pm 0.005 ^d	0.073 \pm 0.005 ^c	0.079 \pm 0.003 ^f	0.067 \pm 0.008 ^f	0.055 \pm 0.004 ^d
50	0.078 \pm 0.003 ^d	0.083 \pm 0.005 ^d	0.102 \pm 0.016 ^d	0.109 \pm 0.002 ^c	0.097 \pm 0.004 ^c	0.094 \pm 0.010 ^c
100	0.097 \pm 0.006 ^{bcd}	0.110 \pm 0.008 ^{bc}	0.135 \pm 0.005 ^{bc}	0.142 \pm 0.005 ^{bc}	0.127 \pm 0.009 ^{cd}	0.117 \pm 0.008 ^{abc}
150	0.125 \pm 0.006 ^a	0.132 \pm 0.008 ^a	0.166 \pm 0.004 ^a	0.178 \pm 0.008 ^a	0.156 \pm 0.002 ^a	0.139 \pm 0.004 ^a
200	0.117 \pm 0.006 ^{ab}	0.124 \pm 0.006 ^{ab}	0.153 \pm 0.004 ^{ab}	0.159 \pm 0.004 ^b	0.145 \pm 0.003 ^{ab}	0.130 \pm 0.006 ^{ab}
250	0.110 \pm 0.008 ^{abc}	0.116 \pm 0.007 ^{abc}	0.141 \pm 0.007 ^{abc}	0.149 \pm 0.005 ^{bc}	0.133 \pm 0.004 ^{bc}	0.125 \pm 0.003 ^{ab}
400	0.099 \pm 0.006 ^{bc}	0.107 \pm 0.008 ^{bc}	0.130 \pm 0.009 ^{bc}	0.135 \pm 0.007 ^{cd}	0.127 \pm 0.003 ^{cd}	0.112 \pm 0.013 ^{abc}
600	0.095 \pm 0.013 ^{cd}	0.103 \pm 0.007 ^c	0.115 \pm 0.008 ^{cd}	0.119 \pm 0.012 ^{dc}	0.112 \pm 0.006 ^d	0.107 \pm 0.020 ^{bc}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน และอัตราการหายใจในสภาวะไม่มีแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. เมื่อเทียบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมของคลอโรฟิลล์ต่อชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความเค็ม 6 ระดับ (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ความเข้มแสง (ไมโครโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที)	ความเค็ม (พีพีที)					
	0.5	5	10	20	30	40
0	-0.035±0.004 ^k	-0.042±0.002 ^c	-0.049±0.006 ^d	-0.057±0.004 ^f	-0.044±0.001 ^c	-0.044±0.002 ^c
25	0.035±0.003 ^f	0.053±0.001 ^d	0.064±0.017 ^c	0.075±0.005 ^c	0.057±0.002 ^d	0.055±0.010 ^d
50	0.059±0.004 ^c	0.071±0.010 ^{cd}	0.101±0.008 ^{bc}	0.106±0.013 ^d	0.089±0.019 ^{cd}	0.088±0.019 ^{cd}
100	0.072±0.002 ^d	0.096±0.009 ^{ab}	0.130±0.010 ^{ab}	0.136±0.006 ^{bc}	0.125±0.011 ^{ab}	0.123±0.008 ^{abc}
150	0.100±0.005 ^a	0.118±0.010 ^a	0.157±0.022 ^a	0.165±0.002 ^a	0.152±0.001 ^a	0.141±0.016 ^a
200	0.093±0.004 ^{ab}	0.112±0.006 ^{ab}	0.141±0.028 ^{ab}	0.153±0.004 ^{ab}	0.139±0.012 ^{ab}	0.130±0.015 ^{ab}
250	0.084±0.004 ^{bc}	0.104±0.009 ^{ab}	0.124±0.021 ^{ab}	0.133±0.016 ^{bc}	0.127±0.013 ^{ab}	0.120±0.012 ^{abc}
400	0.076±0.002 ^{cd}	0.093±0.013 ^{abc}	0.119±0.019 ^{ab}	0.121±0.013 ^{cd}	0.119±0.014 ^{ab}	0.106±0.013 ^{abc}
600	0.069±0.004 ^d	0.089±0.009 ^{bc}	0.108±0.012 ^{bc}	0.114±0.003 ^{cd}	0.110±0.015 ^{bc}	0.102±0.009 ^{bc}

สัญลักษณ์ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ และอัตราการหายใจของสาหร่าย

Chaetomorpha sp. เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักเปียกของสาหร่าย (มิลลิลิตร ออกซิเจนต่อกรัมน้ำหนักเปียกต่อชั่วโมง) ที่ความเค็ม 20 พีพีที ภายใต้ความเข้มแสงธรรมชาติ อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิอากาศในรอบวัน (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

เวลา	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
6.00	-0.075±0.251	-0.177±0.076	0.130±0.046
7.00	0.501±0.091	0.152±0.025	0.215±0.056
8.00	1.350±0.100	0.467±0.050	0.801±0.026
9.00	1.805±0.095	1.205±0.097	1.611±0.407
10.00	1.676±0.004	0.845±0.110	1.378±0.123
12.00	0.942±0.241	0.546±0.119	1.013±0.104
14.00	0.562±0.392	0.409±0.193	0.705±0.069
16.00	0.176±0.058	-0.187±0.029	0.151±0.050
18.00	-0.286±0.098	-0.159±0.033	-0.483±0.026
19.00	-0.727±0.404	-0.461±0.069	-1.270±0.346
20.00	-0.307±0.251	-0.361±0.041	-0.424±0.206
24.00	-0.172±0.168	-0.247±0.073	-0.270±0.044
4.00	-0.216±0.137	-0.185±0.113	-0.246±0.182
6.00	-0.015±0.204	-0.095±0.019	0.234±0.056
7.00	0.238±0.135	0.202±0.116	0.431±0.269
8.00	1.218±0.173	0.451±0.059	1.070±0.170
9.00	1.761±0.245	1.246±0.125	1.457±0.293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 8 อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ และอัตราการหายใจของสาหร่าย

Chaetomorpha sp. เมื่อเทียบกับปริมาณคลอโรฟิลล์เอในสาหร่าย (มิลลิลิตร ออกซิเจนต่อกรัมคลอโรฟิลล์เอต่อชั่วโมง) ที่ความเค็ม 20 พีพีที ภายใต้ความเข้มแสงธรรมชาติ อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิอากาศในรอบวัน (±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

เวลา	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
6.00	-0.041±0.091	-0.062±0.029	0.058±0.030
7.00	0.210±0.034	0.148±0.037	0.092±0.020
8.00	0.567±0.077	0.424±0.206	0.345±0.043
9.00	0.834±0.070	0.555±0.231	0.715±0.300
10.00	0.428±0.129	0.351±0.080	0.601±0.145
12.00	0.280±0.104	0.270±0.038	0.443±0.117
14.00	0.216±0.125	0.154±0.071	0.302±0.016
16.00	0.095±0.030	0.050±0.007	0.066±0.027
18.00	-0.079±0.022	-0.096±0.072	-0.209±0.039
19.00	-0.233±0.071	-0.191±0.055	-0.565±0.248
20.00	-0.179±0.034	-0.088±0.059	-0.192±0.125
24.00	-0.125±0.053	-0.042±0.033	-0.117±0.032
4.00	-0.096±0.070	-0.065±0.040	-0.113±0.097
6.00	-0.046±0.008	-0.017±0.063	0.100±0.022
7.00	0.106±0.021	0.067±0.025	0.199±0.154
8.00	0.355±0.059	0.374±0.162	0.476±0.129
9.00	0.722±0.090	0.527±0.164	0.639±0.203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 9 ความเข้มแสงตามธรรมชาติในรอบวันของฤดูกาลที่ต่างกัน (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

เวลา	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
6.00	0.4 \pm 0.529	0.0 \pm 0.000	7.0 \pm 1.833
7.00	165.7 \pm 121.417	26.7 \pm 23.104	178.9 \pm 58.553
8.00	299.5 \pm 176.029	176.0 \pm 64.193	463.4 \pm 127.531
9.00	730.7 \pm 294.275	683.3 \pm 163.048	709.6 \pm 76.149
10.00	901.8 \pm 672.724	867.8 \pm 160.559	2172.6 \pm 560.603
12.00	2345.0 \pm 444.436	1500.9 \pm 382.464	2360.0 \pm 165.117
14.00	450.3 \pm 96.541	778.1 \pm 588.995	2291.5 \pm 230.401
16.00	217.0 \pm 21.535	268.7 \pm 364.834	605.8 \pm 65.540
18.00	2.1 \pm 3.355	3.2 \pm 1.861	56.4 \pm 25.401
19.00	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000
20.00	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000
24.00	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000
4.00	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000	0.0 \pm 0.000
6.00	3.10 \pm 3.717	0.0 \pm 0.000	7.9 \pm 2.732
7.00	79.4 \pm 17.769	23.3 \pm 3.086	123.4 \pm 33.436
8.00	167.1 \pm 65.775	107.7 \pm 39.125	407.5 \pm 54.140
9.00	619.6 \pm 435.494	596.4 \pm 50.173	1246.6 \pm 280.379

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 10 อุณหภูมิน้ำในรอบวันของฤดูกาลที่ต่างกัน (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

เวลา	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
6.00	29.0 \pm 1.137	24.2 \pm 0.058	30.4 \pm 0.379
7.00	29.1 \pm 1.206	24.4 \pm 0.723	30.8 \pm 0.513
8.00	29.4 \pm 1.323	24.6 \pm 1.012	31.4 \pm 0.709
9.00	30.9 \pm 1.447	25.2 \pm 0.833	32.6 \pm 0.839
10.00	32.6 \pm 1.801	25.9 \pm 0.451	34.5 \pm 1.752
12.00	35.3 \pm 1.201	28.8 \pm 0.351	37.9 \pm 0.709
14.00	34.4 \pm 1.518	30.2 \pm 1.050	39.7 \pm 0.529
16.00	32.2 \pm 1.609	29.5 \pm 1.058	38.3 \pm 0.436
18.00	30.7 \pm 0.473	28.8 \pm 0.945	36.3 \pm 0.757
19.00	31.1 \pm 1.290	28.3 \pm 0.819	35.1 \pm 0.153
20.00	30.7 \pm 1.041	27.2 \pm 1.500	34.3 \pm 0.252
24.00	30.1 \pm 0.721	25.4 \pm 1.429	32.7 \pm 0.700
4.00	29.4 \pm 0.608	24.4 \pm 1.115	31.3 \pm 0.656
6.00	29.2 \pm 0.808	24.1 \pm 0.802	30.7 \pm 0.551
7.00	29.2 \pm 0.700	23.7 \pm 0.839	30.8 \pm 0.603
8.00	29.5 \pm 0.929	24.0 \pm 0.764	31.5 \pm 0.600
9.00	30.1 \pm 0.551	25.1 \pm 0.751	33.8 \pm 1.401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 11 อุณหภูมิอากาศในรอบวันของฤดูกาลที่ต่างกัน (\pm ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

เวลา	ฤดูฝน	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน
6.00	26.8 \pm 0.500	20.0 \pm 1.323	28.1 \pm 0.764
7.00	27.1 \pm 0.764	20.5 \pm 0.874	30.4 \pm 1.843
8.00	28.4 \pm 0.764	23.4 \pm 1.127	34.0 \pm 3.192
9.00	30.6 \pm 1.665	26.1 \pm 0.970	35.3 \pm 2.466
10.00	33.3 \pm 3.224	28.7 \pm 2.466	36.1 \pm 2.021
12.00	31.8 \pm 2.385	33.8 \pm 3.185	37.3 \pm 1.377
14.00	31.7 \pm 1.107	34.0 \pm 0.433	38.0 \pm 1.323
16.00	29.5 \pm 1.000	31.2 \pm 3.700	35.3 \pm 1.607
18.00	28.1 \pm 1.809	23.7 \pm 0.407	31.4 \pm 1.041
19.00	27.2 \pm 1.173	22.3 \pm 0.520	30.1 \pm 0.878
20.00	27.1 \pm 0.722	21.5 \pm 0.433	29.4 \pm 0.722
24.00	27.0 \pm 0.250	19.8 \pm 1.041	28.9 \pm 0.520
4.00	26.4 \pm 0.804	19.1 \pm 0.144	27.9 \pm 0.144
6.00	26.3 \pm 0.000	18.4 \pm 0.382	27.7 \pm 0.144
7.00	27.1 \pm 0.382	18.8 \pm 0.250	29.3 \pm 1.127
8.00	28.7 \pm 1.155	23.5 \pm 0.901	32.1 \pm 0.785
9.00	31.9 \pm 3.146	25.1 \pm 0.764	35.2 \pm 2.184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลาย Provasoli's enriched seawater; PES (Provasoil.1966)

- | | | |
|--|-----|-----------|
| 1. เตรียมน้ำกลั่น (<i>Distilled water</i>) | 300 | มิลลิลิตร |
| 2. เติม Tris hydroxymethyl aminimethane | 5 | กรัม |
| 3. เติม Sodium nitrate | 3.5 | กรัม |
| 4. เติม Disodium glycerophosphate | 0.5 | กรัม |
| 5. เติม Fe Stock solution | 250 | มิลลิลิตร |
| 6. เติม P ₂ metal mix | 250 | มิลลิลิตร |
| 7. เติม Vitamin B12 stock solution (0.1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) | 1 | มิลลิลิตร |
| 8. เติม Thiamine HCL stock solution (1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) | 5 | มิลลิลิตร |
| 9. เติม Biotin stock solution | 0.5 | มิลลิลิตร |
| 10. ปรับ pH สารละลายให้เป็น 7.8 โดยใช้ Concentrate HCL | | |
| 11. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (<i>Distilled water</i>) ให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร | | |
| 12. นำไปฆ่าเชื้อด้วยน้ำนิ่งความดัน (autoclave) | | |
| 13. เก็บในตู้เย็นใช้สำหรับเป็นปุ๋ยให้สาหร่าย โดยใส่ 3 มิลลิลิตรต่อน้ำหนึ่งลิตร | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลาย Germanium dioxide; GeO_2 (Lewin. 1966)

1. เตรียมน้ำกลั่น (Distilled water) 200 มิลลิลิตร
2. เติม Sodium hydroxide 8 กรัม
3. กวนสารให้ละลายด้วยความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส
4. จากนั้นย้ายไปวางที่อุณหภูมิปกติ
5. เติม Germanium dioxide 0.5 กรัม
6. ปรับ pH สารละลายให้เป็น 7.8 โดยใช้ 1N HCL
7. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น (Distilled water) ให้เป็น 500 มิลลิลิตร
8. นำไปฆ่าเชื้อด้วยน้ำนิ่งความดัน (autoclave)
9. เก็บในตู้เย็นใช้เพื่อไม่ให้เกิดโคอะตอมกับสาหร่าย โดยใส่ 3 มิลลิลิตรต่อน้ำหนึ่งลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดและการคำนวณหาค่าคลอโรฟิลล์เอ (Chinnadurai *et al.* 2013)

- | | | |
|--|-----|-----------|
| 1. เตรียมสาหร่ายน้ำหนักเปียก | 100 | มิลลิกรัม |
| 2. เติมน้ำสารละลายอะซีโตน 80 เปอร์เซ็นต์ | 10 | มิลลิลิตร |
| 3. บดสาหร่ายให้ละเอียด | | |
| 4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ เป็นเวลา | 15 | นาที |
| 5. เก็บสารส่วนใสที่อยู่ด้านบน | | |
| 6. เติมน้ำสารละลายอะซีโตน 80 เปอร์เซ็นต์
ลงในส่วนที่เหลือเพื่อสกัดอีกครั้งหนึ่ง | 5 | มิลลิลิตร |
| 7. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 รอบ เป็นเวลา | 15 | นาที |
| 8. เก็บสารส่วนใสที่อยู่ด้านบน | | |
| 9. วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ที่ความยาวคลื่น 645 และ 663 นาโนเมตร | | |
| 10. จากนั้นนำไปคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์เอตามสมการ ดังนี้ | | |

$$\text{Chlorophyll a} = \frac{(12.7 \times \Delta A_{663} - 2.69 \times \Delta A_{645})}{1000 \times W} \times V$$

Chlorophyll a คือ ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักสาหร่าย)

ΔA_{663} คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นที่ความยาวคลื่น 663

ΔA_{645} คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นที่ความยาวคลื่น 645

W คือ น้ำหนักสาหร่าย (กรัม)

V คือ ปริมาณสารละลายอะซีโตน (มิลลิลิตร)

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล นางสาวปิยะรัตน์ ปิ่นภู
- วัน เดือน ปีเกิด 20 ตุลาคม 2533 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี
- ที่อยู่ 182/3 หมู่ที่ 4 ตำบลรั้วใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72000
- ประวัติการศึกษา 2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย
- พ.ศ. 2558 Tsutsui, I., Miyoshi, T., Aue-ummeoy, D., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Klomkling, S., Sukchai, H., Pinphoo, P., Yamaguchi, I., Ganmanee, M., Maeno, Y. and Hamano, K. 2015. "High tolerance of *Chaetomorpha* sp. to salinity and water temperature enables survival and growth in stagnant water of central Thailand." **International Aquatic Research**. 7: 47-62.
- พ.ศ. 2558 Tsutsui, T., Songphatkaew, J., Meeanan, C., Aue-ummeoy, D., Sukchai, H., Pinphoo, P., Klomkling, S., Ganmanee, M., Sudo, H. and Hamano, K. 2015. "Co-culture with *Chaetomorpha* sp. enhanced growth performance and reduced feed conversion ratio of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*." **International Aquatic Research**. 7: 193-199.
- พ.ศ. 2561 ปิยะรัตน์ ปิ่นภู อีชาโอะ ชูชอุธิ คุสิต เอื้ออำนวย และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2561. "ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย *Chaetomorpha* sp. ภายใต้สภาวะความเค็มต่ำ" หน้า 68 ใน การประชุมวิชาการเกษตรพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้